SILVIJA S. MADERA

BIOLOĢIJA

2. DAĻA





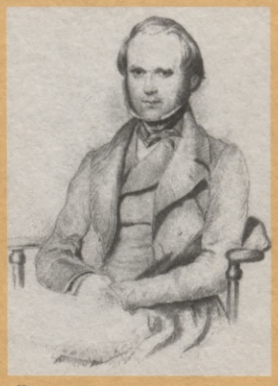
ZVAIGZNE ABC

Bioloģijas vēsture



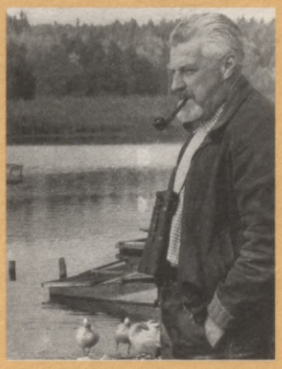
Antonijs Van Lēvenhūks

Gads	Vārds, uzvārds	Valsts	Nopelni
1673	**Antonijs van Lēvenhūks**	Nīderlande	Lietoja mikroskopu dzīvu būtņu saskatīšanai.
1735	**Kārlis Linnejs**	Zviedrija	Ieviesa divkāršos nosaukumus dzīvo būtņu klasifikācijā.
1809	**Žans Batists Lamarks**	Francija	Atbalsta evolūcijas ideju, bet uzskata, ka organismiem piemīt iekšēja tieksme iegūt noteiktas īpašības.
1825	**Žoržs Kivjē**	Francija	Radīja paleontoloģiju un pierādīja, ka fosilijas ir radniecīgas mūsdienu organismiem.



Čārlzs Darvins

Gads	Vārds, uzvārds	Valsts	Nopelni
1858	**Čārlzs Darvins**	Anglija	Pierāda, ka dabiskā izlase virza evolūciju.
1858	**Alfreds Volless**	Anglija	Neatkarīgi no Darvina nonāca pie tiem pašiem secinājumiem.
1937	**Konrāds Lorencs**	Austrija	Rada zinātnes nozari etoloģiju un pierāda iemācīšanās lomu agrā bērnībā.
1953	**Harolds Urijs Stenlijs Millers**	Amerikas Savienotās Valstis	Pierāda, ka pirmās organisko vielu molekulas, iespējams, ir radušās no gāzēm, kas bija pirmatnējā atmosfērā.



Konrāds Lorencs

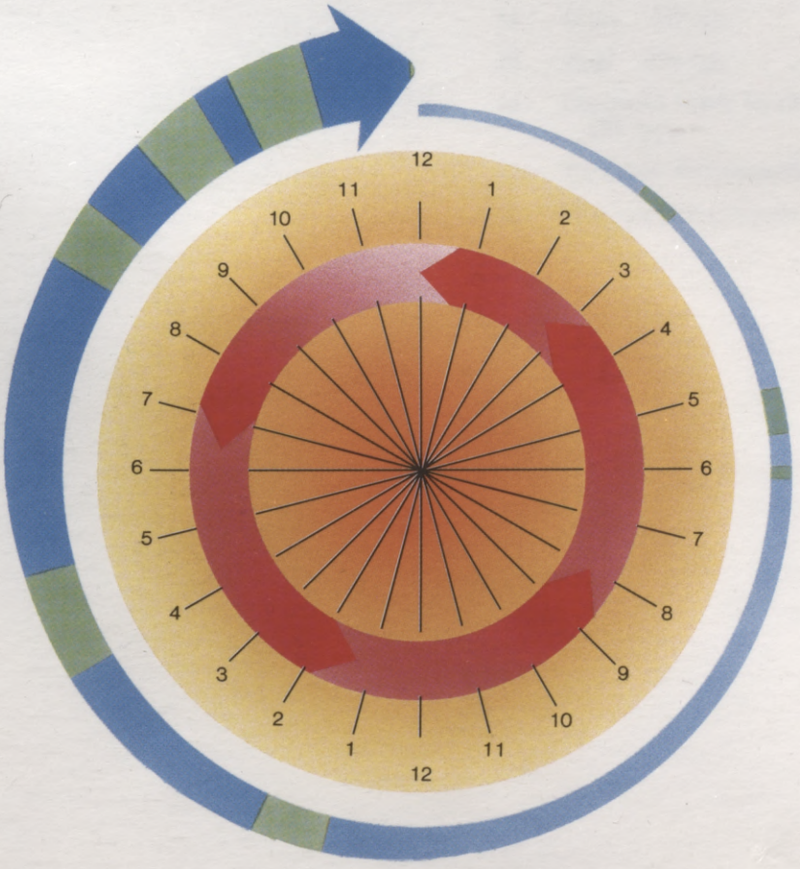
2001-6
40

SILVIJA S. MADERA

BIOLOĢIJA

2. DAĻA

EKSPERIMENTĀLA MĀCĪBU GRĀMATA



ZVAIGZNE ABC

57 (075.3)
Ma 185

Copyright © 1998 by The Mc Graw-Hill Companies, Ync.
BIOLOGY, 6/E by Sylvia S. Mader

Latvijas Nacionālā
BIBLIOTĒKA
0301046447

Silvija S. Madera
BIOLOĢIJA
2. daļa

No angļu valodas tulkojuši:
I. Kabucis
A. Piterāns
D. Tjarve

Visas šīs darba tiesības ir aizsargātas. Izdevumu reproducēt, kopēt vai citādi pavairot aizliegts bez apgāda rakstiskas atļaujas.

© Tulkojums latviešu valodā, Apgāds Zvaigzne ABC

ISBN 0-697-34079-1 (angļu izd.)
ISBN 9984-17-794-7 (latviešu izd.)

Saturs (īsumā)

I DAĻA

Evolūcija 2. lpp.

1. Darvins un evolūcija 3. lpp.
2. Evolūcijas process 21. lpp.
3. Dzīvības rašanās un attīstība 41. lpp.
4. Cilvēka evolūcija 65. lpp.

II DAĻA

Uzvedība un ekoloģija 84. lpp.

5. Dzīvnieku uzvedība 85. lpp.
6. Populāciju ekoloģija 101. lpp.
7. Biocenožu ekoloģija 123. lpp.
8. Ekosistēmas 145. lpp.
9. Biosfēra 161. lpp.
10. Cilvēka ietekme uz vidi 189. lpp.

III DAĻA

Dzīvības daudzveidība 208. lpp.

11. Dzīvo būtņu klasifikācija 209. lpp.
12. Vīrusi, baktērijas un arheji 225. lpp.
13. Protisti 241. lpp.
14. Sēnes 257. lpp.
15. Augi 271. lpp.
16. Dzīvnieku valsts. Ievads bezmugurkaulnieku zooloģijā 293. lpp.
17. Dzīvnieki. Pirmmutnieki 311. lpp.
18. Dzīvnieki. Otrmutnieki 331. lpp.

Saturs

I DAĻA

Evolūcija 2. lpp.

1. nodaļa
Darvins un evolūcija 3. lpp.

1.1. Zeme bija gatava 4. lpp.
Atklājumi astoņpadsmitā gadsimta vidū 5. lpp.
Atklājumi astoņpadsmitā gadsimta beigās 6. lpp.

1.2. Darvina izstrādātā teorija 7. lpp.
Izcelšanās ir notikusi 7. lpp.
Dabiskā izlase ir evolūcijas mehānisms 10. lpp.
▶ **Uzziniet tuvāk. Alfreds Rasels Volless 11. lpp.**
Darvins raksta grāmatu 13. lpp.

1.3. Pierādījumu uzkrāšanās 14. lpp.
Fosilijas atklāj notikumus 14. lpp.
Bioģeogrāfiskā nošķirtība 15. lpp.
Anatomiskā līdzība 16. lpp.
Bioķīmiskās atšķirības 17. lpp.

2. nodaļa
Evolūcijas process 21. lpp.

2.1. Evolūcija ģenētikas kontekstā 22. lpp.
Kas rada mainību? 22. lpp.
Kā atklāt evolūciju? 23. lpp.
Kas rada evolūciju? 25. lpp.
Gēnu mutāciju rašanās 25. lpp.

2.2. Pielāgošanās notiek dabiskā ceļā 28. lpp.
Pielāgotība 28. lpp.
Izlases veidi 28. lpp.
Mainība saglabājas 31. lpp.

2.3. Sugu veidošanās 32. lpp.
Kas ir sugas? 32. lpp.
Kā rodas sugas? 34. lpp.
▶ **Uzziniet tuvāk. Havaju salu ahinahina *(Argyroxipium)* alianses rašanās un adaptīvā radiācija 36. lpp.**

3. nodaļa
Dzīvības rašanās un attīstība 41. lpp.

3.1. Dzīvības rašanās 43. lpp.
Atmosfēras veidošanās 43. lpp.
Nelielu organisko molekulu izveidošanās 43. lpp.
Makromolekulu evolūcija un mijiedarbība 44. lpp.
Protošūnas attīstība 44. lpp.
Pašreplicēšanās sistēmu attīstība 45. lpp.

3.2. Dzīvības vēsture 46. lpp.
Fosiliju stāsti 46. lpp.
Notikumu attīstība 48. lpp.
▶ **Uzziniet tuvāk. Īstie dinozauri, celieties! 54.** lpp.

3.3. Faktori, kas ietekmē evolūciju 56. lpp.
Masveida izmiršanu izzināšana 58. lpp.
Mikroevolūcija pretstatā makroevolūcijai 60. lpp.

4. nodaļa
Cilvēka evolūcija 65. lpp.

4.1. Cilvēki ir primāti 66. lpp.
Kas raksturīgs primātiem? 67. lpp.

4.2. Primāti ir daudzveidīgi 67. lpp.
Pirmie izveidojās puspērtiķi 67. lpp.
Antropoīdi bija nākamie 69. lpp.

4.3. Hominīdi dodas prom 72. lpp.
Hominīdi staigāja stāvus 72. lpp.
▶ **Uzziniet tuvāk. *Homo* ģints rašanās 74. lpp.**
Homo habilis gatavoja rīkus 75. lpp.
Homo erectus ceļoja 76. lpp.
Kā radās mūsdienu cilvēki? 77. lpp.
Neandertālieši bija arhaiski 78. lpp.
Kromaņonieši bija mūsdienu cilvēki 78. lpp.
Ieteicamā papildliteratūra I daļai 83. lpp.

II DAĻA

Uzvedība un ekoloģija 84. lpp.

5. nodaļa
Dzīvnieku uzvedība 85. lpp.

5.1. Uzvedība ir saistīta ar iedzimtību 86. lpp.

5.2. Uzvedības pārmaiņas dzīves laikā 88. lpp.
Putna dziesmas iemācīšanās 89. lpp.

5.3. Uzvedības evolūcija 90. lpp.
Mātītes izvēle 90. lpp.
Tēviņu konkurence 91. lpp.
▶ **Uzziniet tuvāk. Kā daba ietur ritmu 93. lpp.**

5.4. Dzīvnieki ir sabiedriski 94. lpp.
Sazināšanās ir dažāda 94. lpp.

5.5. Sociālbioloģija un dzīvnieku uzvedība 96. lpp.
Altruisms vai egoisms 96. lpp.

6. nodaļa
Populāciju ekoloģija 101. lpp.

6.1. Ekoloģisko pētījumu virzieni 102. lpp.
Populācijas blīvums un teritoriālā struktūra 103. lpp.

6.2. Populāciju raksturojošās pazīmes 104. lpp.
Populācijas augšanas tipi 104. lpp.
Vides ekoloģiskā kapacitāte 107. lpp.
Izdzīvotības līkņu tipi 108. lpp.
Vecumstruktūra 109. lpp.

6.3. Populācijas lieluma regulācija 110. lpp.
▶ **Uzziniet tuvāk. Pētījumi par mazo salnas sprīžmeti 112. lpp.**

6.4. Populācijas attīstības modeļi 114. lpp.
▶ **Uzziniet tuvāk. Gliemenes mercenārijas izplatība Lielajā Dienvidu līcī 116. lpp.**

6.5. Cilvēku populācijas augšana 117. lpp.
Attīstītās valstis un mazattīstītās valstis 117. lpp.
Līdzsvarota pasaule 119. lpp.

7. nodaļa
Biocenožu ekoloģija 123. lpp.

7.1. Kas ir biocenoze? 124. lpp.
Biocenozes sastāvs un daudzveidība 124. lpp.

7.2. Biocenožu struktūra 127. lpp.
Biotops un ekoloģiskā niša 127. lpp.
Konkurence starp populācijām 128. lpp.
Plēsonība 130. lpp.
Simbiotiskās attiecības 134. lpp.
▶ **Uzziniet tuvāk. Mijiedarbība un koevolūcija 135. lpp.**

7.3. Biocenozes struktūras pārmaiņas laika gaitā 138. lpp.
Ekoloģiskā sukcesija 138. lpp.

7.4. Kā palielināt biocenozes daudzveidību 140. lpp.
Vidējo traucējumu hipotēze 140. lpp.
Plēsonība, konkurence un daudzveidība 140. lpp.

8. nodaļa
Ekosistēmas 145. lpp.

8.1. Ekosistēmas uzbūve 146. lpp.
Ekosistēmas biotiskie komponenti 146. lpp.

8.2. Enerģijas plūsma un vielu aprite 148. lpp.
Barošanās tīkli un trofiskie līmeņi 151. lpp.

8.3. Globālie bioģeoķīmiskie cikli 152. lpp.
Ūdens aprite 153. lpp.
Oglekļa aprite 154. lpp.
Slāpekļa aprite 155. lpp.
Fosfora aprite 156. lpp.
Piesārņojuma cēloņi 158. lpp.

9. nodaļa
Biosfēra 161. lpp.

9.1. Biosfēra un klimats 162. lpp.
Globālā gaisa un ūdens cirkulācija 162. lpp.
Reljefa ietekme 165. lpp.

9.2. Pasaules biomas 167. lpp.
Augsnes tipi 168. lpp.

9.3. Sauszemes biomas 169. lpp.
Tundra 169. lpp.
Skujkoku meži 170. lpp.
Platlapju meži 171. lpp.
Tropiskie meži 172. lpp.
Krūmāji 174. lpp.
Zālāji 174. lpp.
Tuksneši 176. lpp.

9.4. Ūdens biomas 177. lpp.
Ezeri 178. lpp.
Piekrastes biocenozes 180. lpp.
Okeāni 182. lpp.
Koraļļu rifi 184. lpp.

10. nodaļa
Cilvēka ietekme uz vidi 189. lpp.

10.1. Cilvēku populācija un industrializācija 190. lpp.
Industrializācijas sekas 191. lpp.

10.2. Globālās klimata pārmaiņas 192. lpp.
Prognozētie rezultāti 192. lpp.

10.3. Globālās ķīmiskās pārmaiņas 194. lpp.
Fotoķīmiskais smogs 195. lpp.

10.4. Ozona samazināšanās stratosfērā 196. lpp.

10.5. Virszemes ūdeņi, pazemes ūdeņi un okeāni 197. lpp.
Virszemes ūdeņu piesārņojums 197. lpp.
Okeānu piesārņojums 198. lpp.

▶ **Uzziniet tuvāk. Iznīkst haizivis – vismazāk mīlētie dzīvnieki pasaulē 199. lpp.**

10.6. Augsnes erozija, tuksnešu veidošanās un mežu platību samazināšanās 200. lpp.

Augsnes erozija un tuksnešu veidošanās 200. lpp.

Mežu platību samazināšanās 201. lpp.

10.7. Cilvēka ietekme uz bioloģisko daudzveidību 202. lpp.

Izmiršana 202. lpp.

Dabas aizsardzības bioloģija 203. lpp.

Ieteicamā papildliteratūra II daļai 206. lpp.

III DAĻA

Dzīvības daudzveidība 208. lpp.

11. nodaļa

Dzīvo būtņu klasifikācija 209. lpp.

11.1. Organismu nosaukšana un klasifikācija 210. lpp.

Divdaļīgo (bināro) nosaukumu pieņemšana 210. lpp.

Kā klasificēt? 212. lpp.

11.2. Filoģenētisko koku veidošana 214. lpp.

Kādi ir dati? 215. lpp.

Filoģenētisko koku veidošana 217. lpp.

Kladistu objektīvisms 218. lpp.

Skaitliskā fenētika 218. lpp.

▶ **Uzziniet tuvāk. Kā veidot kladogrammu 219. lpp.**

11.3. Valstu skaita noteikšana 220. lpp.

12. nodaļa

Vīrusi, baktērijas un arheji 225. lpp.

12.1. Vīrusi ir daļiņas 226. lpp.

Vīrusi nesastāv no šūnas 226. lpp.

Vīrusu replikācija 228. lpp.

Vīrusu infekcijas 230. lpp.

12.2. Baktērijas veido šūna 231. lpp.

Baktēriju uzbūve ir vienkārša 232. lpp.

Baktērijas vairojas bezdzimumiski 233. lpp.

Baktēriju daudzveidīgā barošanās 234. lpp.

12.3. Baktēriju klasifikācija 235. lpp.

Ciānbaktērijas 235. lpp.

12.4. Arheju un baktēriju salīdzinājums 237. lpp.

13. nodaļa

Protisti 241. lpp.

13.1. Aļģes – augiem līdzīgi organismi 242. lpp.

Zaļaļģes ir vislīdzīgākās augiem 242. lpp.

▶ **Uzziniet tuvāk. Vienšūnas aļģu dzīvesveids 243. lpp.**

Brūnaļģes un zeltainās aļģes ir bioķīmiski līdzīgas 245. lpp.

Bruņvicaiņiem ir divas vicas 246. lpp.

Eiglēnaļģes ir lokanas 246. lpp.

Sārtaļģes ir agara izejviela 247. lpp.

13.2. Protozoji – dzīvniekiem līdzīgi organismi 248. lpp.

Amēbas un to radinieki pārvietojas ar māņkājiņām 248. lpp.

Skropstaiņi jeb infuzorijas pārvietojas ar skropstiņām 249. lpp.

Zoovicaiņi kustas ar vicām 250. lpp.

Sporaiņi veido sporas 251. lpp.

▶ **Uzziniet tuvāk. Protistu dzīves cikli 252. lpp.**

13.3. Gļotsēnes un aļģsēnes – sēnēm līdzīgi organismi 253. lpp.

Gļotsēnes atgādina amēbas 253. lpp.

Aļģsēnes ir pavedienveida 254. lpp.

14. nodaļa

Sēnes 257. lpp.

14.1. Kas ir sēnes? 258. lpp.

Vairums sēņu ir pavedienveida 258. lpp.

Lielākā daļa sēņu veido sporas 259. lpp.

14.2. Sēņu klasifikācija 260. lpp.

Zigomicētes veido zigosporas 260. lpp.

Askusēnes veido askusporas 263. lpp.

Raugi ir atsevišķas šūnas 263. lpp.

Bazīdijsēnēm ir bazīdijsporas 265. lpp.

▶ **Uzziniet tuvāk. Iznīcinošās sēnes 266. lpp.**

Nepilnīgi pazīstamās sēnes vairojas tikai bezdzimumceļā 267. lpp.

14.3. Sēnes veido simbiotiskas attiecības 267. lpp.

Ķērpji uzlabo augsnes apstākļus 267. lpp.

Mikoriza ir "sēņu saknes" 268. lpp.

15. nodaļa

Augi 271. lpp.

15.1. Kas ir augs? 272. lpp.

15.2. Augi bez vadaudiem ir daudzveidīgi 273. lpp.

Aknu sūnas ir augi bez vadaudiem 274. lpp.

Lapu sūnas ir augi bez vadaudiem 274. lpp.

Sūnaugu izmantošana 276. lpp.

Sūnaugu pielāgošanās videi 276. lpp.

15.3. Vaskulārie augi – sporaugi un sēklaugi 276. lpp.

▶ **Uzziniet tuvāk. Pirmie meži 277. lpp.**

15.4. Papardes un tām radniecīgi augi ir vaskulārie sporaugi 278. lpp.

Psiloti 278. lpp.

Staipekņiem ir vālesveida sastati jeb strobili 279. lpp.

Kosām ir posmaini stublāji 279. lpp.

Papardēm ir lapas 280. lpp.

Paparžu izmantošana 280. lpp.

Paparžu pielāgošanās videi 280. lpp.

15.5. Kailsēkļiem ir kailas sēklas 282. lpp.

Kailsēkļu daudzveidība 282. lpp.

Ar cikadejām barojās dinozauri 284. lpp.

Ginki grezno parkus 284. lpp.

Gnetofīti 285. lpp.
Kailsēkļu izmantošana 285. lpp.
Kailsēkļu pielāgošanās videi 285. lpp.
15.6. Segsēkļu sēklas ir auglī 285. lpp.
Segsēkļu rašanās un evolūcija 285. lpp.
Ziedaugu klasifikācija 286. lpp.
Zieds sastāv no pārveidotām lapām 286. lpp.
▶ **Uzziniet tuvāk. Augu dzīves ciklu salīdzinājums 287. lpp.**
Zieds sekmē daudzveidību 289. lpp.
Segsēkļu izmantošana 289. lpp.
Segsēkļu pielāgošanās videi 289. lpp.

16. nodaļa
Dzīvnieku valsts. Ievads bezmugurkaulnieku zooloģijā 293. lpp.

16.1. Dzīvnieku attīstība un klasifikācija 294. lpp.
16.2. Daudzšūnu dzīvnieku izcelšanās 296. lpp.
Sūkļiem ir poras 296. lpp.
16.3. Audu veidošanās 298. lpp.
Zarndobumaiņiem raksturīga starainā simetrija 298. lpp.
Zarndobumaiņu daudzveidība 299. lpp.
Hidra un obēlija 300. lpp.
16.4. Divpusējas simetrijas attīstība 302. lpp.
Plakantārpiem ir plakans ķermenis 302. lpp.
▶ **Uzziniet tuvāk. Ķermeņa dobuma veidi 306. lpp.**
16.5. Primārā dobuma attīstība 306. lpp.
Veltņtārpiem nav posmojuma 307. lpp.

17. nodaļa
Dzīvnieki. Pirmmutnieki 311. lpp.

17.1. Celoms 312. lpp.
17.2. Trīsdaļīgs ķermenis 314. lpp.
Gliemjiem ir mīksts ķermenis 314. lpp.
17.3. Posmojuma attīstība 318. lpp.
Posmtārpiem raksturīgs posmojums 318. lpp.
▶ **Uzziniet tuvāk. Asinssūcēji 320. lpp.**
17.4. Ekstremitāšu locītavu attīstība 321. lpp.
Posmkāju ekstremitātēm ir locītavas 321. lpp.
Helicerātiem ir spīļveida ekstremitātes 322. lpp.
Vēžiem ir kaļķa eksoskelets 323. lpp.
Traheāti elpo ar trahejām 324. lpp.
▶ **Uzziniet tuvāk. Pirmmutnieku evolūcijas norise 325. lpp.**

18. nodaļa
Dzīvnieki. Otrmutnieki 331. lpp.

18.1. Vēlreiz par staraino simetriju 332. lpp.
Adatādaiņus klāj adatas 332. lpp.
18.2. Hordaiņu pazīmju veidošanās 334. lpp.
Hordaiņi – bezmugurkaulnieki 335. lpp.
18.3. Mugurkaulnieku uzbūves īpatnības 337. lpp.
Nēģi un miksīnas 337. lpp.
Žokļu attīstība 338. lpp.
Kāju attīstība 340. lpp.
18.4. Amniotu olas attīstība 342. lpp.
Rāpuļi 342. lpp.
▶ **Uzziniet tuvāk. Indīgo čūsku ir diezgan maz 344. lpp.**
18.5. Spārnu un spalvu attīstība 347. lpp.
Putniem ir apspalvojums 347. lpp.
18.6. Zīdītāji ir siltasiņu dzīvnieki 347. lpp.
Zīdītājiem ir apmatojums un piena dziedzeri 347. lpp.
Zīdītāji, kas dēj olas 347. lpp.
Zīdītāji, kam ir soma 348. lpp.
Zīdītāji, kuriem ir placenta 348. lpp.
Ieteicamā papildliteratūra III daļai 353. lpp.







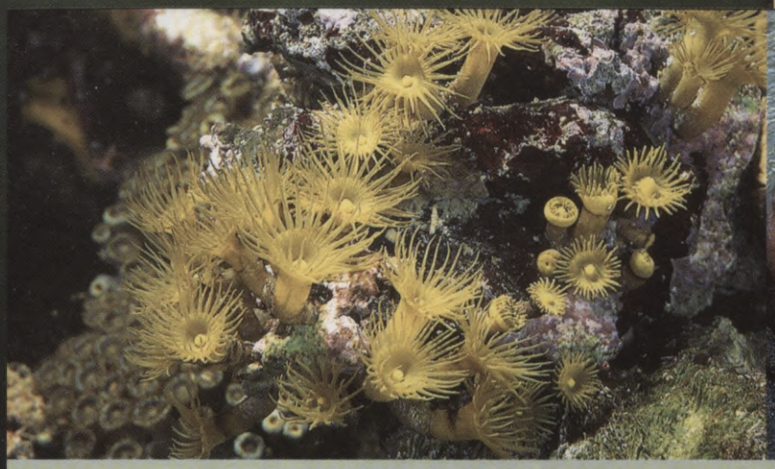








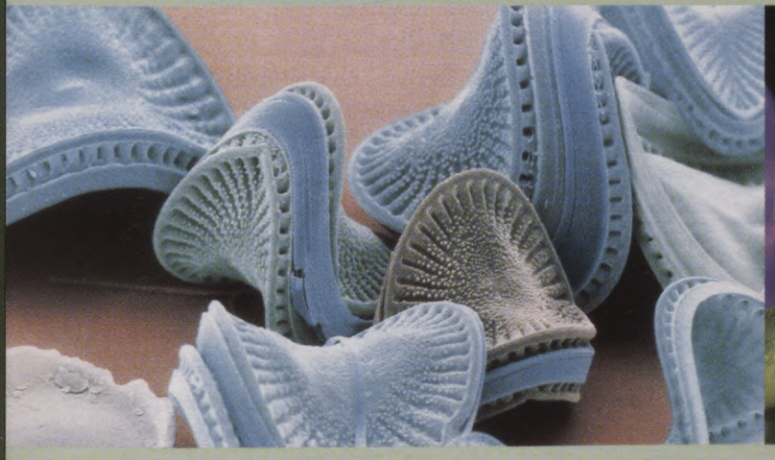


















DAĻA I

Evolūcija

1. **Darvins un evolūcija**
2. **Evolūcijas process**
3. **Dzīvības rašanās un attīstība**
4. **Cilvēka evolūcija**

Evolūcija ir izcelšanās, organismiem mainoties un pielāgojoties videi. Izcelsme no kopējā senča izskaidro dzīvības vienotību – dzīvajiem organismiem ir kopējs ķīmiskais sastāvs un šūnas uzbūve, jo tās visas ir veidojušās no viena pirmsākuma. Katrai dzīvo būtņu grupai ir sava vēsture, ko atspoguļo atrastās fosilijas un ko var atklāt, veicot dzīvo būtņu salīdzināšanu. Arī cilvēka evolūciju izprast palīdz šo evolucionāro principu izmantošana.

Dzīvības daudzveidība ir izskaidrojama ar pielāgošanos vides apstākļiem. Šo pielāgošanās procesu mūsdienās izskaidro modernā ģenētika. Ģenētiskās pārmaiņas rada mainību, kuras rezultātā rodas jaunas sugas (īpatņu grupa, kas nekrustojas ar citām grupām, lai arī cik līdzīgas tās būtu). Katra suga ir pielāgojusies konkrētiem vides apstākļiem. Tai raksturīgs noteikts evolūcijas procesā izveidojies barošanās veids, partnera izvēle un vairošanās. Pielāgošanās videi notiek ar dabiskās izlases palīdzību.

Darvins un evolūcija

1. NODAĻA

Nodaļas saturs

1.1. Zeme bija gatava

- Astoņpadsmitajā gadsimtā zinātnieki sāka īpaši aizrautīgi klasificēt dzīvos organismus un meklēt saikni starp daudzveidīgajām pastāvošajām un izmirušajām dzīvības formām. 4. lpp.
- Astoņpadsmitajā gadsimtā zinātnieki pakāpeniski sāka pieņemt uzskatu, ka Zeme ir ļoti veca un dzīvības formas laika gaitā evolucionē jeb pārmainās. 5. lpp.
- Evolūcijai ir divi aspekti: izcelšanās no kopēja senča un pielāgošanās vides apstākļiem. 5. lpp.

1.2. Darvina izstrādātā teorija

- Savā ceļojumā apkārt dienvidu puslodei ar angļu karakuģi *Beagle* Čārlzs Darvins guva pierādījumus tam, ka pasaule ir ļoti veca un mainības rezultātā notiek jaunu sugu veidošanās. 7. lpp.
- Gan Čārlzs Darvins, gan Alfreds Volless secināja, ka pielāgošanos videi sekmē dabiskā izlase. Saskaņā ar mūsdienu ģenētikas atziņām dabiskā izlase darbojas pastāvīgi. 8., 13. lpp.

1.3. Pierādījumu uzkrāšanās

- Fosilijas, bioģeogrāfija, salīdzinošā anatomija un salīdzinošā bioķīmija pamato hipotēzi par izcelsmi no kopēja senča. 14. lpp.



Dienvidamerikas nagaiņa *Notoungulata* fosilija no terciāra perioda

Mūsdienu ģeologi uzskata, ka Zeme ir vairāk nekā 4 miljardus gadu veca. Viņi uzskata, ka pašlaik pastāvošie kalni, tuksneši un okeāni ir veidojušies lēnas, pakāpeniskas erozijas un Zemes garozas pacelšanās procesa rezultātā. Dzīvības attīstība sākās pirms 3,5 miljardiem gadu. No vienkāršiem vienšūnas organismiem veidojās jaunas dzīvības formas, kas pēc tam mainījās, reaģējot uz vides apstākļu pārmaiņām. Tā radās senā un mūsdienās pastāvošā bioloģiskā daudzveidība.

Tomēr tās ir salīdzinoši jaunas idejas. Līdz deviņpadsmitajam gadsimtam lielākā daļa cilvēku domāja, ka Zeme ir tikai dažus tūkstošus gadus veca. Tāpat viņi uzskatīja, ka sugas ir nemainīgas un radītas noteiktā laikā. To dzīvo būtņu atliekas, kuras vairs uz Zemes nav sastopamas (fosilijas), viņi izskaidroja ar globālajām katastrofām – masveida izmiršanām un sugu atgriešanos, kas periodiski notikusi vēstures gaitā.

Laikā, kad dominēja šādi uzskati, radās Čārlza Darvina, Alfreda Vollesa un citu zinātnieku atziņas, kas uz visiem laikiem pārmainīja bioloģisko domāšanu. Piecu gadu ilgajā jūrasbraucienā Darvins novēroja dažādās dzīvības formas un secināja, ka vides apstākļu ietekmē sugas mainās. Viņš uzskatīja, ka visām dzīvajām būtnēm piemīt kopējas īpašības tāpēc, ka tās visas ir cēlušās no kopēja senča. Šī ideja bija izaicinājums plaši pieņemtajai Bībeles dogmai par radīšanu. Līdz ar to idejas par evolūciju izraisīja ļoti nozīmīgu intelektuālo revolūciju.

1.1. Zeme bija gatava

Čārlzam Darvinam 1831. gadā bija tikai 22 gadi, kad viņu pieņēma par dabaszinātnieku uz angļu karakuģa *Beagle*, lai dotos ceļojumā apkārt pasaulei (1.1. att.). Darvina galvenais pienākums bija paaugstināt karaflotes zināšanas par dabas resursiem (piemēram, ūdeni un pārtiku) svešajās zemēs. Kapteinis vēl cerēja, ka Darvins atradīs liecības Bībeles dogmai par radīšanu. Tomēr izrādījās, ka Darvina novērojumu rezultāti bija tieši pretēji kapteiņa iecerēm.

1.1. tabula parāda, ka pirms Darvina cilvēkiem bija pilnīgi citāds priekšstats par pasauli. Viņu uzskatus noteica dziļi iesakņojusies ticība, kas bija pasludināta par neapstrīdamu patiesību. Lai atbrīvotos no šiem uzskatiem un pieņemtu Darvina viedokli par pasauli, bija nepieciešama liela


B


C


D


A


E


F


G

1.1. attēls. Ceļojums ar angļu karakuģi *Beagle*

A. Karte, kas ataino angļu karakuģa *Beagle* ceļojumu apkārt pasaulei. Attēli krāsainajos rāmīšos attēlo to, ko varēja redzēt Čārlzs Darvins. **B.** Ceļojot gar Dienvidamerikas austrumu krastu, viņš novēroja, ka putns nandu ir līdzīgs Āfrikas strausam. **C.** Patagonijas tuksneša skrajā veģetācija kontinenta dienvidu daļā. **D.** Andu kalni rietumu krastā ar slāņiem, kuros ieslēgtas dzīvnieku fosilijas. **E.** Lietusmeža sulīgā veģetācija. **F.** Galapagu salās jūras iguānām ir gari nagi, kas palīdz viņām rāpties klintīs un ēdot notraust jūraszāles no purna. **G.** Galapagu žubītes ir pielāgojušās atšķirīgas barības izmantošanai.

1.1. tabula

Pasaules uzskatu salīdzinājums

Pirmsdarvina uzskats	Pēcdarvina uzskats
1. Zeme ir salīdzinoši jauna – vecums novērtēts tūkstošos gadu.	1. Zeme ir salīdzinoši veca – vecums novērtēts miljardos gadu.
2. Katra suga ir radīta; sugas nemainās, un nemainīgs ir arī sugu skaits.	2. Sugas izcelsmes ziņā ir radniecīgas – ir iespējams noskaidrot dzīvības attīstības gaitu uz Zemes.
3. Pielāgošanās vides apstākļiem ir Radītāja roku darbs, viņš izlēma, kādai jābūt katras organismu grupas uzbūvei un funkcijām. Jebkuras atšķirības ir nepilnības.	3. Pielāgošanās videi ir nejaušas mainības un vides apstākļu mijiedarbības rezultāts.
4. Novērojumi pamato valdošo pasaules uzskatu.	4. Novērojumus un eksperimentus izmanto, lai pamatotu hipotēzes, arī hipotēzes par evolūciju.

mēroga intelektuālā revolūcija. Šo revolūciju virzīja pārmaiņas zinātnē un sociālajā sfērā.

Šajā nodaļā tiks aplūkots tikai dažu zinātnieku ieguldījums, kas palīdzēja izveidot jauno pasaules uzskatu.

Lai gan bieži uzskata, ka tieši Darvins bija jaunā pasaules uzskata kaldinātājs, tomēr biologi jau 18. gadsimtā sāka pamazām pieņemt ideju par **evolūciju** (lat. *evolutio* – atritināšana) – sugu pārmaiņām laika gaitā. Evolūcija izskaidro dzīvības vienotību un daudzveidību. Dzīvajām būtnēm ir līdzīgas īpašības tāpēc, ka tās radušās no kopēja senča. Dzīvās būtnes ir daudzveidīgas tāpēc, ka katra suga ir pielāgojusies noteiktai dzīves videi un dzīvesveidam. Evolucionārā domāšana nozīmē to, ka tiek atzīta izcelšanās no kopīga senča un pielāgošanās idejas atzīšana. Darvins lietoja jēdzienu "izcelšanās ar mainību". Ar to viņš saprata, ka rašanās nenotiek uzreiz, bet gan ilgstošā laika periodā. Viņš uzskatīja, ka daudzveidība rodas pielāgošanās rezultātā.

Atklājumi astoņpadsmitā gadsimta vidū

Astoņpadsmitā gadsimta vidū pētnieki lielas pūles veltīja taksonomijai – zinātnei par organismu klasifikāciju. Vadošais taksonomists bija Kārlis Linnejs (1707–1778), kurš ieviesa divkāršo (bināro) nomenklatūru (sugu nosaukumi no diviem vārdiem, piemēram, *Homo sapiens*). Viņš izveidoja klasifikācijas sistēmu visiem zināmajiem augiem. Līdzīgi citiem sava laika taksonomiem, Linnejs atbalstīja uzskatus par sugu radīšanu un sugu nemainību (1.2. att.). Viņš bija pārliecināts, ka katrai sugai ir "ideāla" uzbūve un funkcijas, kā arī sava vieta uz dzīvības secības kāpnēm (scala naturze). Vienkāršākās būtnes viņš ierindoja kāpņu zemākajā daļā, bet sarežģītākās un garīgākās būtnes atradās augstākajos līmeņos. Cilvēki bija uz visaugstākā kāpņu pakāpiena.

Šīs idejas saskanēja ar kristietības dogmām, kas bija radušās ievērojamo grieķu filozofu Platona un Aristoteļa laikā. Platons sacīja, ka katrs objekts uz zemes ir nepilnvērtīga kopija no ideālas formas, kuru var atrast prātojumu un pētījumu ceļā. Platons individuālās atšķirības uzskatīja par nepilnībām, kas tikai samulsina novērotāju. Aristotelis redzēja, ka organismi ir daudzveidīgi un ka vieni ir sarežģītāki nekā citi. Tā bija Aristoteļa ideja, ka organismus var sarindot pieaugošas sarežģītības secībā – izveidot kāpņu sistēmu.

Linnejs un citi taksonomi vēlējās raksturot katras sugas iedomātās pazīmes, kā arī atrast katrai sugai noteiktu vietu uz dzīvības secības kāpnēm. Gandrīz visu mūžu Linnejs pat nepieļāva domu, ka dabā varētu notikt evolucionāras pārmaiņas. Ir liecības, ka viņš ir nodarbojies ar krustošanas eksperimentiem, kas mūža beigās viņu pamudinājuši uz domām, ka vismaz sugas, ja ne augstākas klasifikācijas kategorijas, laika gaitā varētu mainīties.

Žoržs Luijs Leklerks, kurš labāk pazīstams kā grāfs Bifons (1707–1788), bija franču dabaszinātnieks. Viņš daudzus gadus veltījis, lai sarakstītu savas dabaszinību grāmatas 44 sējumus, kurās raksturoti visi zināmie augi un dzīvnieki. Bifons minēja faktus, kas apstiprināja izcelšanos mainības rezultātā, kā arī izteica pieņēmumus par šā procesa dažādiem mehānismiem. Savos darbos viņš atzīmēja, ka evolucionāras pārmaiņas var izraisīt tieša vides ietekme, migrācijas, ģeogrāfiskā izolācija, pārapdzīvotība un cīņa par eksistenci. Bifons, šķiet, nav spējis izlemt, vai ticēt vai neticēt evolucionārai izcelsmei. Viņš atklāti paudis uzskatu par sugu radīšanu un sugu nemainību.



1.2. attēls. Linnejs
Dzīves lielāko daļu Linnejs uzskatīja, ka katra suga ir atsevišķi radīta un klasifikācijai ir jāatspoguļo Dieva plāns, bet mainība ir nepilnības bez reālas nozīmes.

Čārlza Darvina vectēvs Erasms Darvins (1731–1802) bija ārsts un dabaszinātnieks. Viņa darbos gan botānikā, gan zooloģijā bija daudz komentāru, kuros viņš pieļāva izcelšanās iespēju no kopēja senča. Tomēr tie bija galvenokārt malu piezīmju veidā. Šos secinājumus viņš pamatoja ar pārmaiņām, kādas vērojamas dzīvnieku attīstībā un cilvēku veiktajā mākslīgajā izlasē, kā arī ar rudimentāro orgānu (orgāni, kuri, visticamāk, funkcionēja senčiem, bet ir reducēti un nefunkcionē to pēctečiem) eksistenci. Līdzīgi Bifonam, Erasms Darvins neizskaidroja veidu, kādā varēja notikt evolucionārā izcelšanās.



1.3. attēls. Mastodonts
Lai gan ir zināmas tikai mastodontu fosilijas, Kivjē viņus rekonstruēja tad, kad viņa rīcībā bija viens vienīgs kauls. Viņš sacīja, ka šie dzīvnieki bijuši īsāki par mūsdienu ziloņiem, bet ar masīvām stabveida kājām. Galvaskauss bijis zemāks un plakanāks, un viņam bijusi vienkāršāka uzbūve nekā mūsdienu ziloņiem.

Atklājumi astoņpadsmitā gadsimta beigās

Kivjē un katastrofisms

Pirms Darvina biologi interesējās ne tikai par taksonomiju, bet arī par salīdzinošo anatomiju. Pētnieki un kolekcionāri apceļoja pasauli un pārveda ne tikai tolaik dzīvojošas sugas klasificēšanai, bet arī fosilijas (kādreiz dzīvojošu organismu atliekas), lai tās izpētītu. Žoržs Kivjē (1769–1832) bija plaši pazīstams mugurkaulnieku (dzīvnieki ar mugurkaulu) zoologs un pirmais, kas izmantoja salīdzinošo anatomiju, lai izveidotu dzīvnieku klasifikācijas sistēmu. Viņš izveidoja jaunu zinātnes nozari **paleontoloģiju** (gr. *palaios* – sens, vecs, *ontos* – kādreiz dzīvojis un *logy* – mācība no *logikos* – saprātīgs, uztverams), zinātni par fosilijām. Viņš apgalvoja, ka ir nepieciešams tikai viens vienīgs fosils kauls, lai rastu priekšstatu par visu dzīvnieka uzbūvi (1.3. att.).

Tā kā Kivjē bija nelokāms sugu radīšanas un nemainības idejas piekritējs, viņš saskārās ar nopietnām grūtībām gadījumos, kad konkrētā apvidus Zemes nogulumieži dažādos līmeņos liecināja par dzīvības formu nomaiņu tajos. Lai izskaidrotu šos novērojumus, viņš izvirzīja hipotēzi, ka vairākas cita citai sekojošas vietēja mēroga katastrofas vai masveida izmiršanas ir notikušas vienmēr, kad nākamajā iežu slānī parādījušās cita veida fosilijas. Viņš domāja, ka pēc katras katastrofas apvidū no jauna ieceļojušas sugas no apkārtējiem apgabaliem, tāpēc jaunas fosilijas parādās jaunajā slānī. Visu šo katastrofu rezultāti ir pārmaiņas, kas notikušas laika gaitā. Daži no viņa sekotājiem pat pieļāva domu, ka ir bijušas vispasaules katastrofas un ka pēc katras šādas katastrofas Dievs radījis jaunu sugu sastāvu. Šādu dzīvības vēstures izskaidrojumu sauc par **katastrofismu** (gr. *catastrophe* – posts, nelaime).

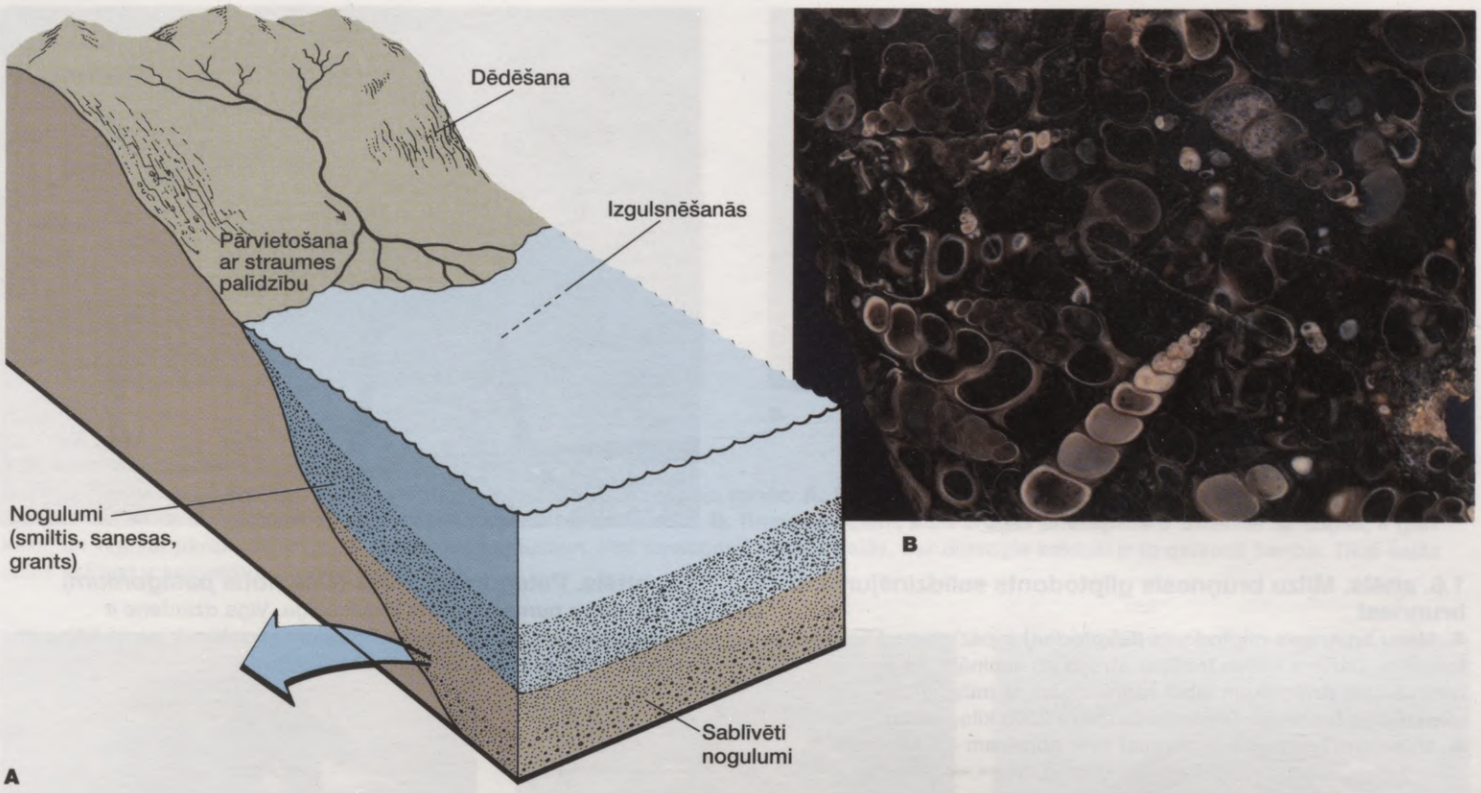


1.4. attēls. Iegūto pazīmju iedzimšana
Žana Batista Lamarka vispazīstamākā teorija ir par vides izraisītām iedzimtām pārmaiņām. Viņš sacīja, ka žirafei garš kakls ir tādēļ, ka tā ir ilgstoši stiepusies pēc barības. Katra žirafu paaudze sniedzās nedaudz augstāk, un šī spēja tika nodota nākamajai paaudzei. Tikai līdz ar mūsdienu ģenētikas izveidošanos kļuva iespējams izskaidrot, kāpēc šī teorija nav pareiza, jo iegūtās pazīmes nevar iedzimt.

Lamarka evolūcijas teorija

Žans Batists Lamarks (1744–1829) bija pirmais biologs, kas uzskatīja, ka notiek evolūcija, un saistīja daudzveidību ar pielāgošanos videi. Lamarka idejas par izcelšanos bija pilnīgi atšķirīgas no Kivjē uzskatiem, iespējams, tāpēc, ka viņš bija bezmugurkaulnieku (dzīvnieki bez mugurkaula) zoologs. Lamarks pētīja dzīvības formu nomaiņu dažādos slāņos un secināja, ka sarežģītākie organismi veidojušies no mazāk sarežģītiem organismiem. Viņš tomēr kļūdaini apgalvoja, ka sarežģītības palielināšanos rada visām dzīvajām būtnēm piemītošs dabisks spēks – tieksme pēc pilnības.

Pielāgošanos Lamarks izskaidroja ar **iegūto pazīmju iedzimšanu**. Viņš uzskatīja, ka vide izraisa iedzimstošās pārmaiņas. Viens no piemēriem, kuru viņš minēja un kura dēļ viņš kļuva tik populārs, bija žirafes kakla izveidošanās laika gaitā, dzīvniekiem izstiepjot kaklus, lai sasniegtu barību augstu kokos. Pēc tam garo kaklu pārmantoja viņu mazuļi (1.4. att.). Iegūto pazīmju iedzimšanas teorija nekad nav tikusi eksperimentāli pierādīta. Šo teoriju noliedz iedzimtības molekulārais mehānisms. Fenotipiskas pārmaiņas organisma dzīves laikā nerada ģenētiskas pārmaiņas, kuras var tikt nodotas nākamajām paaudzēm.



1.5. attēls. Nogulumiežu veidošanās
A. Diagrammā attēlots, kā ūdens ieskalo nogulsnes jūrā; tad tās sablīvējas, veidojot nogulumiežus. Fosilijas bieži ir ieslēgtas šajos iežos, un vēlāk – Zemes garozas ģeoloģiskās pacelšanās rezultātā ieži var nokļūt virspusē. **B.** Saldūdens gliemežu *Turritella* fosilās atliekas nogulumiežos.

1.2. Darvina izstrādātā teorija

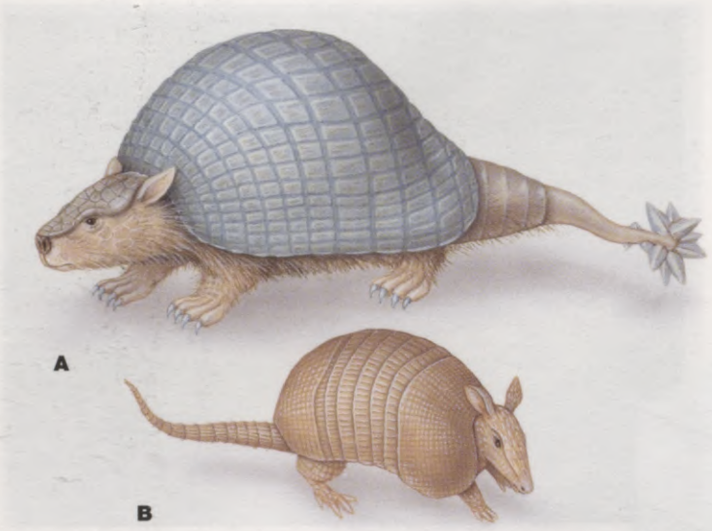
Kad Darvinu iecēla par dabaspētnieku uz angļu karakuģa *Beagle*, viņam jau bija šim pienākumam atbilstošas iemaņas. Viņš bija aizrautīgs dabaspētnieks un jau ilgstoši kolekcionēja kukaiņus. Jūtīgais raksturs bija atturējis viņu no medicīnas studijām. Viņš bija apmeklējis teoloģijas skolu Kembridžā. Tomēr viņš noklausījās arī daudzas lekcijas gan bioloģijā, gan ģeoloģijā. Šajos priekšmetos viņu bija izglītojis arī draugs un skolotājs viņa svētība Džons Henslovs, kurš piedāvāja Darvinam iespēju 1831. gada vasarā piedalīties Kembridžas ģeologa Adama Sedžvika ekspedīcijā. Henslovs arī ieteica Darvinu darbam uz angļu karakuģa *Beagle*. Ceļojums ilga piecus gadus, un kuģis šķērsoja dienvidu puslodi (sk. 1.1. att.), kur, kā mēs tagad zinām, dzīvība ir visbagātīgākā un daudzveidīgākā. Ceļojuma laikā Darvins novēroja tādas dzīvības formas, kādas nebija sastopamas viņa dzimtajā Anglijā.

Izcelšanās ir notikusi

Lai gan tā nebija viņa sākotnējā iecere, Darvins sāka vākt liecības par to, ka dzīvībai raksturīga kopēja izcelšanās, bet pielāgošanās dažādiem vides apstākļiem ir radījusi daudzveidību.

Ģeoloģija un fosilijas palīdz Darvinam izlemt

Jūrasbraucienā līdzi Darvins paņēma Čārlza Laiela "Ģeoloģijas pamatus" *(Principles of Geology)*, kuros sniegts ģeoloģisko pārmaiņu teorijas pamatojums. Šo teoriju radījis Džeimss Hetons. Pretstatā katastrofu teorijas piekritējiem Hetons uzskatīja, ka uz Zemes noris lēni un pakāpeniski erozijas un celšanās cikli. Laika apstākļi izraisa eroziju. Pēc tam putekļi un iežu daļiņas tiek ieskalotas upēs un straume tās aiznes okeānā. Šīs irdenās nogulsnes sakrājas biezos slāņos, kas galu galā pārveidojas par nogulumiežiem (1.5. att.). Nogulumieži, kas bieži satur fosilijas, paceļas virs jūras līmeņa un veido sauszemi. Hetons secināja, ka ārkārtējas ģeoloģiskās pārmaiņas var izraisīt lēns, dabisks process, kas noris pietiekami ilgi. Laiels izdarīja vēl tālejošu secinājumu, apgalvojot, ka šīs lēnās pārmaiņas noris ar pastāvīgu ātrumu. Hetona pamatidejas par lēnām un pakāpeniskām ģeoloģiskām pārmaiņām tiek atzītas līdz pat mūsdienām, kaut gan tagad ģeologi ir sapratuši, ka pārmaiņu ātrums ne vienmēr ir nemainīgs. Darvinu nepārliecināja ideja par vienveidīgām pārmaiņām, bet viņš, tāpat kā Laiels, bija pārliecināts, ka Zemes iespaidīgās ģeoloģiskās pārmaiņas ir lēna procesa rezultāts un ka Zeme tādēļ varētu būt ļoti veca.



1.6. attēls. Milzu bruņnesis gliptodonts salīdzinājumā ar bruņnesi
A. Milzu bruņnesis gliptodonts *(Glyptodon)* ir pazīstams tikai no fosilijām. Darvins šādas fosilijas atrada un secināja, ka šim izmirušajam dzīvniekam jābūt radniecīgam ar mūsdienās eksistējošo bruņnesi. Gliptodonts svēra 2000 kilogramus.
B. Mūsdienu bruņnesis *(Dasypus)* sver apmēram 4,5 kilogramus.



1.7. attēls. Patagonijas zaķis (*Dilichotis patagonium*)
Šā dzīvnieka purns atgādina jūrascūciņu. Viņa dzimtene ir Dienvidamerika, kur nav trušu. Patagonijas zaķim ir garas kājas un citas adaptācijas, kas raksturīgas trušiem.

Sava ceļojuma laikā Darvins vispirms pamanīja grandiozas ģeoloģiskas pārmaiņas. Kad viņš pētīja mūsdienu Argentīnas teritoriju, lielā attālumā no krasta viņa uzmanību piesaistīja kādreizējās pludmales, kas tagad pacēlušās augstu virs jūras līmeņa. Kad Darvins nokļuva Andos, viņu iespaidoja to ievērojamais augstums. Čīles iekšzemē augstu virs jūras līmeņa viņš atrada jūras gliemežnīcas, kā arī bija aculiecinieks zemestrīces sekām, kas izraisīja zemes pacelšanos par vairākām pēdām. Ģeoloģisko novērojumu laikā Darvins vāca fosilijas. Piemēram, Dienvidamerikas austrumu krastā viņš atrada milzu zemes sliņķa fosilās atliekas, kā arī dzīvnieku, kas atgādināja bruņnesi (1.6. att.). Darvins atzina uzskatu, ka Zeme varētu būt ļoti veca. Viņš sāka domāt, ka ir bijis pietiekami daudz laika, lai varētu būt notikusi izcelšanās mainības rezultātā. Esošās formas varētu būt izveidojušās no izmirušajām, kas zināmas tikai no fosilajiem atradumiem. Tas nozīmē, ka sugas nav nemainīgas, bet – pilnīgi pretēji – tās laika gaitā pārmainās.

Darvina ģeoloģiskie novērojumi sakrita ar Hutona un Laiela veiktajiem novērojumiem. Viņš sāka uzskatīt, ka Zeme ir ļoti veca un ir bijis pietiekami daudz laika, lai notiktu izcelšanās mainības rezultātā.

Arī bioģeogrāfija palīdz

Bioģeogrāfija (gr. *bios* – dzīvība, *geo* – zeme un *grapho* – aprakstīšana) ir zinātne par dzīvības formu ģeogrāfisko izplatību uz Zemes. Darvins salīdzināja Dienvidamerikas dzīvniekus ar tiem, kas bija viņam pazīstami. Piemēram, Dienvidamerikas zālājos viņš atrada nevis trušus, bet Patagonijas zaķus. Patagonijas zaķim ir garas kājas un ausis, bet purns ir līdzīgs jūrascūciņai, kas ir Dienvidamerikas savvaļas grauzējs (1.7. att.). Vai Patagonijas zaķis atgādina trusi tāpēc, ka abas dzīvnieku sugas ir pielāgojušās līdzīgiem vides apstākļiem? Abas sugas pārtiek no zāles, patveras krūmos un ātri pārvietojas, izmantojot garās pakaļkājas. Vai Patagonijas zaķim jūrascūciņai līdzīgs purns ir tāpēc, ka tam ir kopēja izcelsme ar jūrascūciņām?

Ceļojot uz dienvidiem gar Dienvidamerikas kontinenta austrumu krastu, Darvins redzēja, cik līdzīgas sugas ir aizstājušas cita citu. Piemēram, lielo nandu (strausam līdzīgu putnu), kas dzīvo ziemeļos, dienvidos aizstāj mazais nandu. Tādējādi Darvins secināja, ka radniecīgas sugas var mainīties atbilstoši vides apstākļiem. Kad viņš nokļuva Galapagu salās, viņš atrada tam vēl citus pierādījumus. Galapagu salas ir neliela vulkānisku salu grupa pie Dienvidamerikas rietumu krasta. Dažas šeit atrastās augu un dzīvnieku sugas bija nedaudz atšķirīgas no tām sugām, kuras Darvins bija novērojis kontinentā, bet – kas bija pat vēl svarīgāk – tās dažādās salās bija atšķirīgas.

Darvins novēro bruņurupučus. Šķita, ka katrā no Galapagu salām ir sava bruņurupuču suga, un Darvins sāka interesēties, vai tas nav saistīts ar augu valsts atšķirībām salās (1.8. att.). Garkakla bruņurupuči, šķiet, apdzīvoja tikai sausos apvidus, kur barība bija izklaidus, un tāpēc garākais kakls, visticamāk, bija derīgs, lai aizsniegtu kaktusus. Mitrajos apvidos ar salīdzinoši bagātīgu zelmeni zemsedzē ir sastopami īskaklaini bruņurupuči. Vai viens bruņurupuču sencis devis aizsākumu šīm atšķirīgajām sugām, no kurām katra ir piemērojusies dažādiem vides apstākļiem?



A



B

1.8. attēls. Galapagu bruņurupucis *Testudo*
Darvins interesējās, vai dažādu salu bruņurupuči ir cēlušies no kopēja senča. **A.** Bruņurupuči ar kupolveidīgām bruņām un īsiem kakliem barojas uz zemes un sastopami mitrās salās, kurās ir pieejama zāle. **B.** Bruņurupučiem, kuru bruņas priekšpusē ir izliektas uz augšu, ir gari kakli, un viņi var pārtikt no augstiem kokveida kaktusiem. Viņi sastopami sausās salās, kur durstīgie kaktusi ir to galvenā barība. Tikai šajās salās kaktusi ir kokveidīgi.



A



B



C

1.9. attēls. Galapagu žubītes
Katrai no trīspadsmit mūsdienu žubīšu sugām knābis ir pielāgojies noteiktam dzīvesveidam. **A.** Piemēram, masīvais lielās uz zemes mītošās žubītes knābis ir piemērots, lai pārtiktu no sēklām. **B.** Ķauķžubītes knābis ir piemērots, lai pārtiktu no kukaiņiem, kas mīt starp zemsegas augiem vai tiek noķerti gaisā. **C.** Kaktusu žubītes garais, nedaudz līkais knābis un dalītā mēle ir piemērota, lai no kaktusu ziediem izsūktu nektāru.

Darvins novēro žubītes. Kaut gan Galapagu salu žubītes Darvinam atgādināja kontinentā sastopamās žubītes, tomēr salās bija daudz vairāk sugu (1.9. att.). Mūsdienās tās ir uz zemes mītošās sugas ar dažādiem knābjiem, kuru forma atkarīga no sēklu lieluma, no kurām tās pārtiek, kā arī kaktusēdējžubīte ar visizteiktāko knābi. Knābja lielums kokos mītošajām sugām arī ir atšķirīgs, bet to nosaka kukaiņu lielums, no kuriem tās pārtiek. Visneparastākā žubīšu suga ir dzeņveida žubīte. Šī putna knābis ir ass, lai caururbtu koka mizu, bet tam nav dzeņa garās mēles, lai ēstu kukaiņus. Lai pārvarētu šo trūkumu, putns knābī tur zaru vai kaktusa adatu un to izmanto plaisu izbakstīšanai. Kad kukainis parādās, žubīte nomet šo rīku un kukaini satver ar savu knābi.

Vēlāk Darvins izteica varbūtību, ka visas daudzveidīgās žubīšu sugas, kuras viņš novēroja, varētu būt veidojušās no kontinentā sastopamās sugas. Citiem vārdiem sakot, kontinenta žubīte varētu būt visu Galapagu salu sugu kopējais sencis. Vai sugu veidošanās notikusi tāpēc, ka salas ļāva izolētajām putnu populācijām evolucionēt neatkarīgi? Vai mūsdienu sugas varētu būt rezultāts tām pārmaiņām, kas uzkrājušās katrā no šīm izolētajām populācijām?

Bioģeogrāfija spēcīgi ietekmēja Darvina uzskatus par to, ka daudzveidību izraisa pielāgošanās videi. No vienas sugas var izveidoties daudz sugu, no kurām katra ir atšķirīgi pielāgojusies videi.

Dabiskā izlase ir evolūcijas mehānisms

Izšķīries par to, ka pielāgošanās notiek laika gaitā, nevis ir Radītāja momentāns roku darbs, Darvins sāka domāt par mehānismu, kas izraisa pielāgošanos jeb adaptāciju. Gan Darvins, gan Alfreds Rasels Volless izteica domu, ka **dabiskā izlase** ir evolucionāro pārmaiņu mehānisms, par ko tuvāk pastāstīts 11. lpp. Dabiskā izlase ir process, kura gaitā priekšnoteikumi (1–3) var izraisīt noteiktas sekas (4 5).

1. Populācijas īpatņiem piemīt iedzimta mainība.
2. Populācijā katra paaudze rada vairāk pēcnācēju, nekā izdzīvo un vairojas.
3. Dažiem īpatņiem ir radušās pazīmes, kas palīdz tiem izdzīvot un vairoties labāk nekā citiem īpatņiem.
4. Pieaugošam īpatņu skaitam turpmākajās paaudzēs piemīt šīs adaptīvās pazīmes.
5. Dabiskās izlases rezultātā ir populācija, kas pielāgojusies (adaptējusies) vietējiem vides apstākļiem.

Tātad dabiskā izlase iedarbojas tikai uz tām pazīmēm, ko izraisījušas ģenētiskas pārmaiņas, bet izlasei nav nekādas nojausmas par nākotnes vajadzībām. Dabiskā izlase ir nebeidzams process tāpēc, ka dzīvo būtņu apdzīvotā vide nepārtraukti mainās. Izmiršana (sugas izzušana) var notikt tad, kad iepriekšējās adaptācijas vairs nav piemērotas pārmainītajai videi.



Organismiem piemīt mainība

Darvins uzsvēra, ka vienas populācijas indivīdiem uzbūve, fizioloģija un uzvedības pazīmes ir atšķirīgas (1.10. att.). Pirms Darvina (sk. 1.1. tabulu) mainību uzskatīja par nepilnībām, kuras varēja neņemt vērā kā sugu aprakstiem nesvarīgas. Darvinam mainība bija būtiski nepieciešama dabiskās izlases sastāvdaļa. Darvins pieņēma, ka mainības rašanās ir pilnīgi nejauša, bet viņam nebija to pierādījumu, kādi ir mūsdienās; mainība rodas nejauši un bez noteikta mērķa. Jaunās atšķirības var būt organismam gan noderīgas, gan arī kaitīgas.

Iespējams, ka tieši tā mainība, kas rada pielāgošanos videi, tiek nodota no paaudzes uz paaudzi. Ģenētika vēl nebija īsti izveidojusies, tāpēc Darvinam tā arī nebija izdevies izskaidrot mainības cēloņus un to, kā tā tiek nodota tālāk. Mūsdienās mēs saprotam, ka gēni nosaka organisma fenotipu un ka alēļu mutācijas un rekombinācijas dzimumvairošanās laikā var izraisīt jaunu variāciju veidošanos.

Organismu cīņa par eksistenci

Darvina laikabiedrs socioekonomists Tomass Maltuss pievērsa uzmanību cilvēku vairošanās potenciālam. Viņš izteica domu, ka nāve un bads ir nenovēršams, ja iedzīvotāju skaitam ir tendence pieaugt ātrāk nekā nodrošinājumam ar pārtiku. Darvins šo pieeju izmantoja, aplūkojot visus organismus, un ievēroja, ka pieejamie resursi parasti nebija pietiekami, lai izdzīvotu visi populācijas pārstāvji. Viņš aprēķināja ziloņu vairošanās potenciālu. Pieņemot, ka to dzīves ilgums ir aptuveni 100 gadu, bet vairošanās laiks ir no 30 līdz 90 gadiem, jebkura mātīte var dzemdēt vismaz sešus mazuļus. Ja izdzīvotu visi šie mazuļi un ziloņi turpinātu tādā pašā tempā vairoties, tikai pēc 750 gadiem viena vienīga ziloņu pāra pēcnācēju skaits sasniegtu 19 miljonus!

Katrai paaudzei ir tāds pats vairošanās potenciāls kā iepriekšējai. Tādēļ noris nemitīga cīņa par eksistenci un tikai atsevišķi populācijas pārstāvji no katras paaudzes izdzīvo un vairojas.

Organismu pielāgotība ir atšķirīga

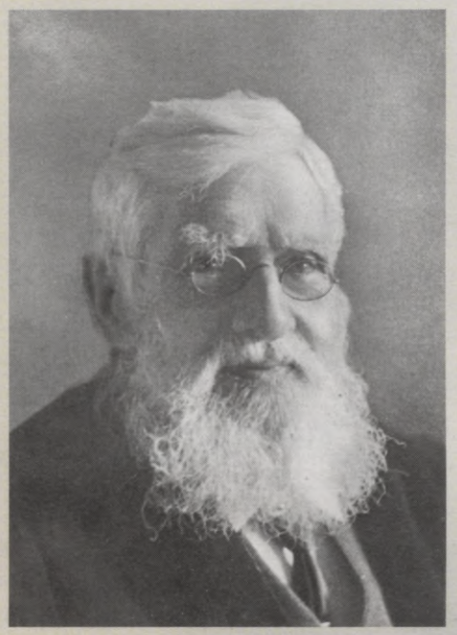
Pielāgotība ir organismu spēja izdzīvot un vairoties konkrētajos vides apstākļos. Vispielāgotākie organismi ir tie, kas izdzīvo, spēj izmantot neproporcionāli pieejamos resursus un rada lielāku skaitu dzīvotspējīgu pēcnācēju. Tā kā organismi atšķiras anatomiski un fizioloģiski un atšķirīgi ir to dzīves apstākļi, tad arī faktori, kas nosaka pielāgotību, dažādām populācijām ir atšķirīgi. Piemēram, starp rietumu bedrgalvčūskām *(Crotalus atrox)*, kas dzīvo uz sastingušas lavas, vispielāgotākās ir tās, kas ir melnā krāsā. Bet starp tām, kas dzīvo uz tuksnešainas augsnes, vispielāgotākās ir tās, kuras ir tai raksturīgajā gaiši un tumši brūnajā krāsā. Atbilstība vides fonam palīdz dzīvniekam gan noķert laupījumu, gan izvairīties no ienaidniekiem, tāpēc uzskata, ka tā sekmē izdzīvošanu un paaugstinātu vairošanās potenciālu.

Uzziniet tuvāk

Alfreds Rasels Volless

Angļu dabaszinātnieks Alfreds Rasels Volless (1823–1913) ir pazīstams ar savu no Darvina neatkarīgi izteikto domu par dabisko izlasi kā procesu, kas izskaidro sugu veidošanos (1.A. att.). Līdzīgi Darvinam, Volless ievāca paraugus kolekcijām gan dzimtenē, gan ārzemēs. Jau 14 gadu vecumā, mācoties mērnieka amatu, viņš sāka interesēties par botāniku un ievākt augus. Strādājot par skolotāju Lesterā 1844.–1845. gadā, viņš sastapa entomologu Henriju Valteru Beitsu, kas ieinteresēja viņu par kukaiņiem. Viņi kopā devās papildināt kolekcijas vairākus gadus ilgā ceļojumā uz Amazoni. Vollesa zināšanas par pasaules floras un faunas daudzveidību ievērojami papildināja ceļojums uz Malajas arhipelāgu 1854.–1862. gadā. Dzīvnieku pētījumi visās nozīmīgākajās salās ļāva viņam tās sadalīt rietumu salu grupā, kurās sastopami tādi paši dzīvnieki kā Austrumu (Orientālajā) apgabalā, un austrumu salu grupā, kuras apdzīvo Austrālijas faunai līdzīgi dzīvnieki. Robeža, kas sadala šīs arhipelāga salas, ir šaurs, dziļš jūrasšaurums, ko mēdz saukt par Vollesa līniju.

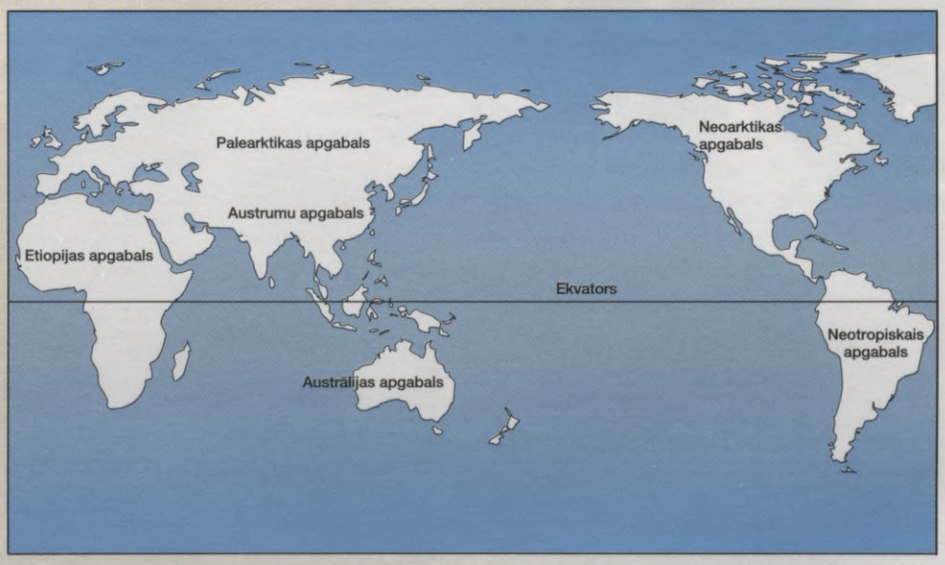
Līdzīgi Darvinam, Volless publicēja rakstus un grāmatas. Amazones ceļojuma rezultātā viņš uzrakstīja divas grāmatas – "Ceļojumi uz Amazoni un Rio Negro" *(Travels on the Amazon and Rio Negro)* un "Amazones palmas" *(Palm Trees of the Amazon)*. Malajas ceļojuma laikā viņš uzrakstīja eseju "Par likumu, kas nosaka jaunu sugu parādīšanos" *(On the Law Which Has Regulated the Introduction of New Species)*. Šajā esejā viņš rakstīja, ka katras sugas aizsākums no jau eksistējošas tuvu radniecīgas sugas ir nejaušība laikā un telpā. Tādējādi ir skaidrs, ka viņš bija vairāk pārliecināts par jaunu sugu veidošanos, nekā ticēja sugu nemainībai. Vēlāk viņš rakstīja, ka daudzus gadus ir meklējis mehānismu, kas izskaidrotu sugu veidošanos. Arī viņš bija lasījis Maltusa traktātu par iedzīvotāju skaita pieaugumu, un 1858. gadā, slimojot ar malāriju, viņam radās ideja par pielāgotāko izdzīvošanu. Viņš ātri pabeidza eseju, kurā aprakstīja dabiskās izlases procesu, un aizsūtīja to Darvinam. Darvins bija apstulbis no šī sūtījuma. Viņa priekšā bija hipotēze, ko viņš



1.A. attēls. Alfreds Rasels Volless

bija formulējis jau 1844. gadā, bet līdz tam nebija uzdrīkstējies publicēt. 1856. gadā viņš bija sācis rakstīt grāmatu, kurai bija jāpapildina bagātīgā informācija, lai pamatotu, ka dabiskā izlase ir evolucionāro pārmaiņu mehānisms. Viņš sacīja savam draugam un kolēģim Čārlzam Laielam, ka Vollesa idejas ir tik līdzīgas viņa secinājumiem, ka Vollesa termini pat var noderēt par virsrakstiem viņa grāmatas nodaļām.

Darvins ieteica Vollesam rakstu tūdaļ publicēt, apzinoties, ka viņš pats publicēšanai neko vēl nav nodevis. Laiels un citi, kas zināja par Darvina detalizēto darbu par dabiskās izlases procesu, ierosināja Linneja biedrībā nolasīt kopēju ziņojumu. Vollesa daļas virsraksts bija "Par mainības tendencēm, nenoteikti attālinoties no sākotnējā tipa" *(On the Tendency of Varieties to Depart Indefinitely from the Original Type)*. Darvins nolasīja pārskatu par rakstu, kas bija uzrakstīts 1844. gadā, kā arī kopsavilkumu grāmatai "Par sugu izcelšanos" *(On the Origin of Species)*, kas tika publicēta 1859. gadā.



1.B. attēls. Bioģeogrāfiskie reģioni
Alfreds Rasels Volless ne tikai izteica hipotēzi par dabisko izlasi, kas pamato jaunu sugu veidošanos, viņš ir plaši pazīstams ar vēl kādu ieguldījumu. Viņš pasauli iedalīja sešos bioģeogrāfiskajos apgabalos, ko nodala nepārvarami šķērsļi. Dziļūdens starp Austrumāziju un Austrāliju ir nosaukts par Vollesa līniju.



1.11. attēls. Dzīvnieku mākslīgā izlase
Visi suņi *Canis familiaris* ir izveidojušies no vilka *Canis lupus*, kura domesticēšana iesākās apmēram pirms 14 000 gadiem. Evolucionārajos laika mērogos diverģence ir bijusi ļoti strauja. To varēja veicināt vairāki faktori: domesticētie vilki tika nošķirti no pārējiem vilkiem, jo cilvēku apmetnes bija nošķirtas un cilvēki katrā ciltī veica izlasi pēc jebkurām pazīmēm, kuras tiem likās pievilcīgas. Suņu mākslīgā izlase turpinās arī mūsdienās.

Darvins ievēroja, ka cilvēki veic **mākslīgo izlasi** – procesu, kurā audzētājs izvēlas saglabājamās pazīmes un atlasa vēlamos dzīvniekus krustošanai. Piemēram, senie cilvēki, iespējams, ievēroja vēlamas pazīmes starp vilkiem un izvēlējās noteiktus dzīvniekus krustošanai. Tāpēc nākamajā paaudzē vēlamo īpašību biežums pieauga. Šāda rīcība tika daudzkārt atkārtota. Mūsdienās ir redzams šādas izlases rezultāts – daudzās suņu šķirnes, kas visas radušās no vilka (1.11. att.). Līdzīgi var atrast kopēju senci dažādajām dārzeņu šķirnēm (1.12. att.).

Dabā to, kuri populācijas indivīdi vairosies intensīvāk par citiem, nosaka mijiedarbība ar vidi. Pretstatā mākslīgajai izlasei dabiskās izlases rezultāts nav paredzams. Dabiskā izlase notiek tāpēc, ka noteiktiem populācijas indivīdiem ir pazīmes, kas palīdz tiem izdzīvot un vairoties. Piemēram, jebkuras pārmaiņas, kas palielina nagaiņu pārvietošanās ātrumu, palīdz tiem izbēgt no plēsējiem un dzīvot ilgāk. Mainība, kas samazina ūdens zudumus, palīdz izdzīvot tuksneša augam. Labāka oža savvaļas sunim palīdz atrast laupījumu. Tāpēc var pieņemt, ka organismiem ar šīm pazīmēm ir paaugstināta pielāgotība. *Diferencētā vairošanās* ir vairošanās, kuras rezultātā piemērotie organismi atstāj vairāk pēcnācēju nekā tie, kas ir mazāk pielāgojušies videi.

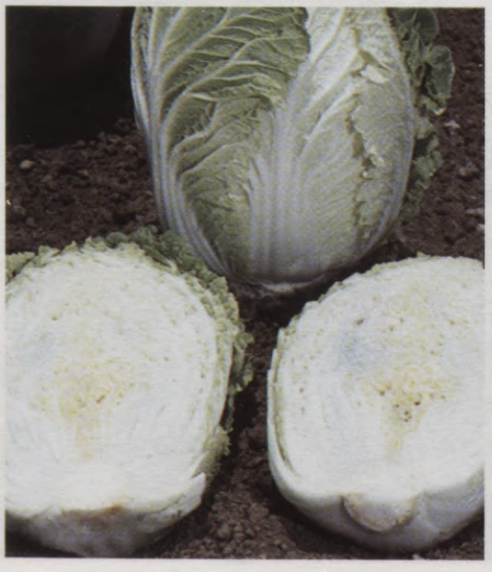
Organismu adaptācija

Adaptācija (lat. *ad* – uz priekšu un *aptus* – derīgs, piemērots) ir pazīme, kas palīdz organismam būt piemērotam konkrētajiem vides apstākļiem. Īpaši labi adaptācijas vērojamas gadījumos, kad attāli radniecīgiem organismiem, dzīvojot līdzīgos vides apstākļos, novērojamas līdzīgas pazīmes. Piemēram, lamantīniem, pingvīniem un jūras bruņurupučiem ir pleznas, kas palīdz tiem pārvietoties ūdenī. Dabiskās izlases rezultāts ir populācijas pielāgošanās (adaptēšanās) konkrētajiem specifiskajiem vides apstākļiem. Diferenciālās vairošanās dēļ daudzu paaudžu laikā adaptīvās īpašības katrā nākamajā paaudzē parādās aizvien biežāk. Līdzās dabiskajai izlasei pastāv arī citi evolucionārie procesi, bet dabiskā izlase ir vienīgais process, kura rezultātā veidojas adaptācijas konkrētajiem vides apstākļiem.

Darvins raksta grāmatu

Kopš angļu karakuģis *Beagle* 1836. gadā atgriezās Anglijā, pagāja 20 gadu, līdz Darvins publicēja savas idejas. Šajos gados viņš radīja hipotēzi par to, ka dažādās mūsdienās pastāvošās dzīvības formas veidojušās no kopēja senča un ka dabiskā izlase ir veids, kādā sugas var mainīties un pat veidot jaunas sugas. Kad Darvins izlasīja līdzīgu Alfreda Rasela Vollesa hipotēzi, par ko rakstīts 9. lappusē ievietotajā fragmentā, viņš izjuta pamudinājumu publicēt savas grāmatas.

Darvins ieguva pārliecību, ka dzīvības attīstības gaita ir izskaidrojama ar izcelšanos mainības rezultātā. Viņa dabiskās izlases teorija izskaidro mehānismu, kādā noris adaptēšanās vides apstākļos.



A



B



C

1.12. attēls. Augu mākslīgā izlase
Visi attēlā redzamie dārzeņi ir veidojušies no vienas vienīgas sugas *Brassica oleracea*. **A.** Ķīnas kāposti. **B.** Briseles (rožu) kāposti. **C.** Kolrābji. Darvins uzskatīja, ka mākslīgā izlase piedāvā modeli, kas palīdz izprast dabisko izlasi. Dabiskās izlases spēks ir vides apstākļi.

1.3. Pierādījumu uzkrāšanās

Hipotēzi par kopēju izcelšanos pamato daudzi dažāda veida pierādījumi. Jo daudzveidīgāki kādai hipotēzei ir pierādījumi, jo pārliecinošāka tā kļūst. Darvins sniedza daudzas liecības, bet viņam, protams, nebija zināšanu par molekulārās bioloģijas datiem, kas kļuva pieejami tikai vēlākajos gadsimtos.

Fosilijas atklāj notikumus

Fosilie atradumi jeb pagātnē eksistējušu dzīvo radību atliekas raksturo dzīvības attīstības gaitu. Fosilijas ir vismaz 10 000 gadus vecas. Tie ir kauli, augu nospiedumi un pat kukaiņi, kas ieslēgti koku sveķos, ko sauc par dzintaru. Triju iepriekšējo gadsimtu laikā paleontologi ir izpētījuši fosilijas zemes slāņos visā pasaulē un daudz ko noskaidrojuši par dzīvības pagātni.

Informācija, ko sniedz fosilijas, ir daudzveidīga. Viena no nozīmīgākajām likumsakarībām ir dzīvības formu nomaiņa laika gaitā. Katastrofu teorijas piekritēji izskaidroja izmiršanas un katastrofām sekojošo jauno formu stāšanos iepriekšējo vietā, bet viņi nevarēja izskaidrot tās pārmaiņas, kas vēsturiski sasaistīja organismu grupas. Īpaši interesantas ir fosilijas, kas uzskatāmas par pārejas formām starp grupām. Piemēram, pirmputna *(Archaeopteryx)* fosilijas ir pārejas forma starp rāpuļiem un putniem (1.13. att.). Dinozauram līdzīgajam fosilijas skeletam ir rāpuļu pazīmes, piemēram, žokļi ar zobiem un gara, posmaina aste. Tomēr pirmputnam bija arī spalvas un spārni. Starp fosilajiem mugurkaulniekiem ir arī citas pārejas formas, piemēram, amfībiskā zivs *Eustheopteron*, rāpuļveida abinieks seimūrijs *(Seymouria)*, kā arī zīdītājiem līdzīgi rāpuļi – zvērzobu rāpuļi jeb terapsīdi. Šīs fosilijas ļauj secināt, ka zivis dzīvības attīstības gaitā bijušas pirms abiniekiem, bet tiem sekojuši rāpuļi, kurus savukārt nomainījuši gan putni, gan zīdītāji.

Dažkārt fosilijas ļauj iezīmēt kāda konkrēta organisma, piemēram, mūsdienu zirga *(Equus)* attīstības gaitu. Zirgs ir veidojies no suņa lieluma senča hirakotērija *(Hyracotherium)*. Šim fosilajam dzīvniekam bija asi dzerokļi ar zemiem vainadziņiem, priekškājas ar četriem pirkstiem, bet pakaļkājas ar trim pirkstiem. Kad zālāji nomainīja mežus, kuros viņi dzīvoja, izlases spiediens sekmēja zirgu izturības, prāta un ātruma, kā arī zobu virsmas attīstību. Lielāks ķermenis nodrošināja cīņām nepieciešamo spēku, lielāks galvaskauss radīja papildu telpu galvas smadzenēm, pagarinātās kājas, ko noslēdza makstnagi, nodrošināja lielāku ātrumu, lai izvairītos no ienaidniekiem, bet zobi ļāva dzīvniekiem pārtikt no zāles. Visi pašlaik dzīvojošie organismi ir līdzīgāki savu attīstības līniju jaunākajām fosilijām. Meklējot līdzības, ir iespējams atrast izcelsmes līnijas ļoti tālā pagātnē.

Liecības apstiprina hipotēzi par kopēju izcelšanos. Dažāda vecuma fosilijas iespējams saistīt, jo, neskatoties uz novērstajām pārmaiņām, tām ir arī daudz līdzību.

Fosilijas raksturo dzīvo organismu attīstības gaitu un daudz precīzāk ļauj noteikt konkrētu grupu attīstību.



A



B

1.13. attēls. Pārejas formu fosilijas

A. Pirmputns *(Archaeopterix)* ir pārejas forma starp rāpuļiem un putniem. Viņam bija spalvas un smailnagi pie spārniem. Visticamāk, ka tas bija slikts lidotājs. Iespējams, ka pirmputns skrēja pa zemi ar spēcīgajām kājām un rāpās kokos ar nagu palīdzību. **B.** Viņam bija ar spalvām klāta, rāpuļa astei līdzīga aste, kas labi saskatāma šajā zīmējumā.

Bioģeogrāfiskā nošķirtība

Bioģeogrāfija ir zinātne par augu un dzīvnieku izplatību pasaulē. Izplatību pamato hipotēze par to, ka radniecīgas formas ir veidojušās vienā apvidū un tad izplatījušās citos blakus esošos apvidos. Kā jau iepriekš minēts, Darvins norādīja, ka Dienvidamerikā nav trušu, lai gan vides apstākļi tiem ir samērā piemēroti. Viņš secināja, ka Dienvidamerikā trušu nav tāpēc, ka tie izveidojušies kaut kur citur un nav spējuši sasniegt šo kontinentu.

Pasaulē uz salām sastopamas daudzas unikālas augu un dzīvnieku sugas, kādas nav sastopamas nekur citur pat tad, ja augsne un klimats tur ir tāds pats. Kāpēc ir tik daudz žubīšu sugu Galapagu salās, ja tādas pašas sugas nav sastopamas kontinentā? Pieņemams izskaidrojums ir tāds, ka tās visas ir veidojušās no viena kopēja senča, kas nejauši nokļuvis uz salas.

Tādi fizikālie faktori kā kontinentu novietojums bieži nosaka, kur populācija var izplatīties. Gan kaktusi, gan eiforbijas ir augi, kas pielāgojušies dzīvei karstos un sausos vides apstākļos. Tie abi ir sukulenti, adataini ziedaugi. Kāpēc kaktusi aug Ziemeļamerikas tuksnešos, bet eiforbijas – Āfrikas tuksnešos, ja katra no tām labi varētu augt abos kontinentos? Acīmredzot šo augu attīstība ir notikusi tieši šajos kontinentos.

Noteiktā vēsturiskās attīstības laikā Dienvidamerika, Antarktīda un Austrālija bija savstarpēji saistītas. Somaiņi (zīdītāji ar somu) veidojās tieši šajā laikā un mūsdienās ir sastopami gan Dienvidamerikā, gan Austrālijā. Kad Austrālija atdalījās un dreifēja projām, somaiņi diverģēja, veidojot daudzveidīgas formas, kas pielāgojušās dažādiem vides apstākļiem (1.14. att.). Viņi nesastapās ne ar kādiem šķēršļiem, jo Austrālijā nebija neviena placentāļa. Citur, piemēram, Dienvidamerikā, kur bija placentāļi, somaiņu daudzveidība ir mazāka.

Organismu izplatība uz Zemes ir izskaidrojama ar to, ka radniecīgas formas ir izveidojušās vienā apvidū. Tad, izplatoties uz citiem piemērotiem apvidiem, tās ir diverģējušas.



Ar sarainu vilnu klātais vombats *(Vombatus)* ir naktsdzīvnieks, kas dzīvo alās.



Austrālijas vietējais kaķis *(Dasyurus)* ir plēsējs, kas dzīvo mežos.



Petaurista ir koku iemītnieks.

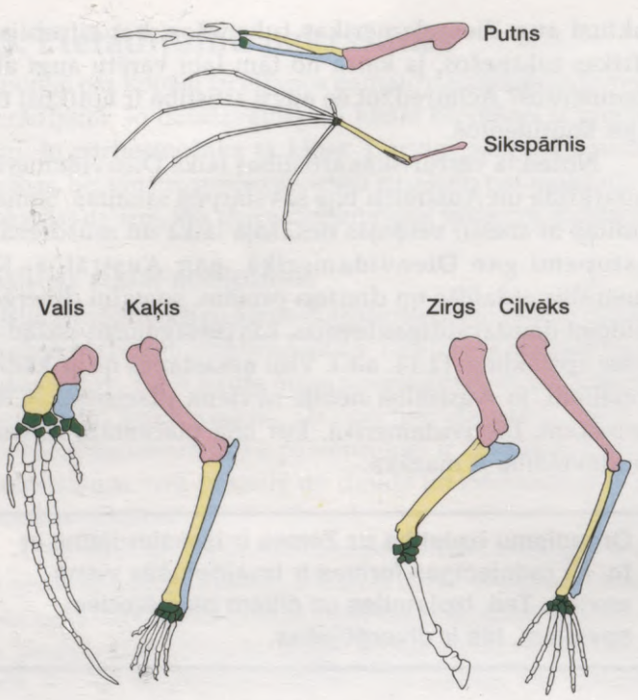
Ķengurs *(Macropus)* ir līdzenumu un mežu iemītnieks zālēdājs.



Tasmānijas vilks *(Thylacinus)* ir nakts plēsējs, kas mīt tuksnešos un līdzenumos.

1.14. attēls. Bioģeogrāfija

Ikviens no Austrālijas somaiņiem ir pielāgojies savam atšķirīgam dzīvesveidam. Visi Austrālijas somaiņi acīmredzot evolucionējuši no kopēja senča, kas nokļuvis Austrālijā apmēram pirms 60 miljoniem gadu.

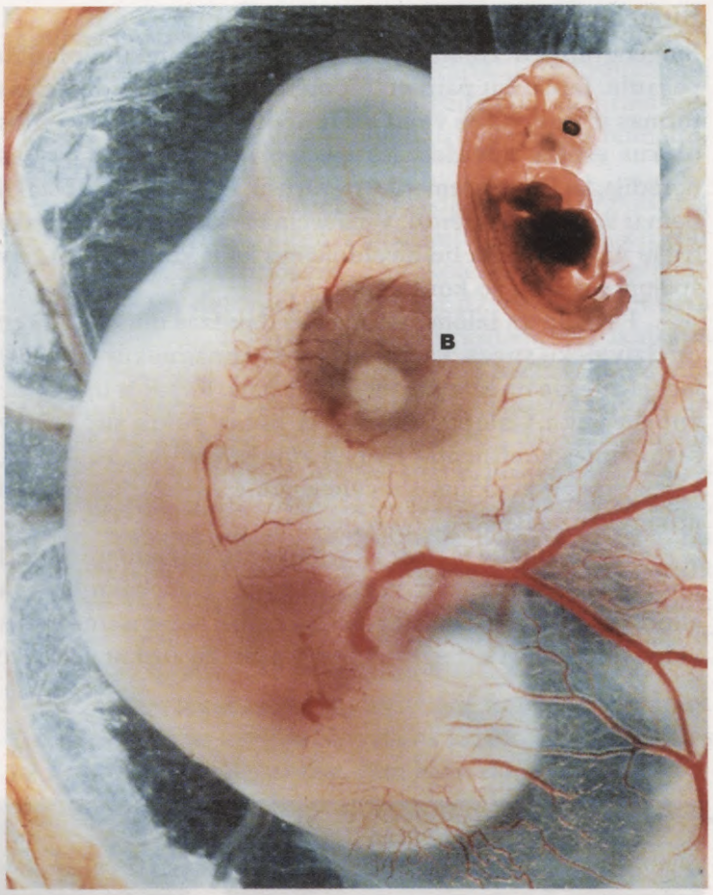


1.15. attēls. Uzbūves līdzības nozīme
Mugurkaulnieku priekškājas veido tie paši kauli (attēloti vienā krāsā), lai gan uzbūves detaļas ir atšķirīgas. Šī uzbūves plāna vienotība liecina par izcelšanos no kopēja senča.

Anatomiskā līdzība

Darvins parādīja, ka hipotēze par izcelšanos no kopēja senča ir ticams izskaidrojums organismu anatomiskajai līdzībai. Mugurkaulnieki priekškājas izmanto lidošanai (putni un sikspārņi), peldēšanai (vaļi un roņi), skriešanai (zirgi), kāpšanai kokos (kokos dzīvojošās ķirzakas), lai šūpotos koku zaros (pērtiķi). Neraugoties uz atšķirīgajām funkcijām, mugurkaulnieku priekškājas sastāv no līdzīgā veidā sakārtotiem vieniem un tiem pašiem kauliem (1.15. att.). Visticamākais izskaidrojums šai vienotībai ir tāds, ka priekškāju uzbūves pamatplāns ir izveidojies kopējam sencim un tad šis plāns nākamajās grupās ticis modificēts, jo katra grupa attīstījusies pa savu evolucionāro attīstības ceļu. Struktūras, kas ir līdzīgas tāpēc, ka tās pārmantotas no kopēja senča, sauc par **homologām struktūrām** (gr. *homologos* – līdzīgs, atbilstošs).

Rudimentārās struktūras (lat. *rudimentum* – pirmsākums, aizmetnis) ir anatomiskās pazīmes, kas pilnībā attīstījušās vienā organismu grupā, bet ir reducētas un var būt nefunkcionālas līdzīgās grupās. Lielākajai daļai putnu, piemēram, ir labi attīstīti, lidošanai piemēroti spārni. Dažām putnu sugām (piemēram, strausiem) spārni ir ievērojami reducēti, un viņi nespēj lidot. Līdzīgi čūsku pakaļkājām nav pielietojuma, tomēr dažām no tām ir saglabājušās iegurņa joslas un kāju iezīmes. Cilvēkam ir asteskauls, bet nav astes. Rudimentāro struktūru esamību var izskaidrot ar hipotēzi par izcelšanos no kopēja senča. Rudimentārās struktūras ir sastopamas tāpēc, ka savu anatomisko uzbūvi organismi



A

1.16. attēls. Embrioloģisko līdzību nozīme
A. Vistas embrijs. **B.** Cūkas embrijs. Salīdzinot abu embriju agrīnās attīstības stadijas, redzama liela līdzība, kaut gan galarezultātā no embrijiem attīstīsies pilnīgi atšķirīgi dzīvnieki. Tas ir pierādījums, ka viņi ir veidojušies no kopēja senča.

ir mantojuši no senčiem – tās ir organisma evolucionārās attīstības vēstures pēdas.

Mugurkaulnieku kopējā uzbūves plāna aizsākumi saistīti ar to embrionālo attīstību (1.16. att.). Kādā no attīstības stadijām visiem mugurkaulniekiem ir balsta orgāns – muguras stiegra notohorda un saskatāmas pāra rīkles kabatas. Zivīm un abinieku kāpuriem šīs kabatas attīstās par funkcionējošām žaunām. Cilvēkiem pirmais rīkles kabatu pāris pārveidojas par vidusauss dobumu un dzirdes kanālu. Otrais pāris pārveidojas par mandelēm, bet trešais un ceturtais pāris kļūst par aizkrūts dziedzeri un epitēlijķermenīšiem. Kāpēc sauszemes dzīvniekiem vispirms izveidojas, bet pēc tam pārveidojas tādas struktūras kā rīkles kabatas, kas zaudējušas savu sākotnējo struktūru? Visticamākais izskaidrojums ir tāds, ka zivis ir pārējo mugurkaulnieku grupu sencis.

Radniecīgiem organismiem ir kopējs uzbūves plāns, jo tiem ir kopīga izcelsme. To pamato salīdzinošā anatomija un embrioloģija.

Bioķīmiskās atšķirības

Gandrīz visos dzīvajos organismos ir vienas un tās pašas bioķīmiskās pamatsastāvdaļas, tādas kā DNS (dezoksiribonukleīnskābe) molekulas, ATP (adenozīntrifosfāts) un daudzi identiski vai gandrīz identiski enzīmi. Organismi izmanto to pašu DNS tripletu kodu un tās pašas 20 aminoskābes olbaltumvielu sintēzei. Organismiem pat ir tie paši introni un atkārtojumu tips. Pilnīgi skaidrs, ka nav funkcionālas nepieciešamības, lai šie elementi būtu līdzīgi. Bet šo līdzību var izskaidrot ar izcelsmi no kopēja senča.

Kad nosaka DNS bāzu secību vai olbaltumvielas aminoskābju secību līdzības pakāpi, rezultāti, kā jau bija paredzams, apstiprina kopīgu izcelšanos. Citohroms *c* ir molekula, ko visi 1.17. attēlā minētie organismi izmanto elektronu transporta sistēmā. Dati par aminoskābju secības atšķirībām citohromā *c* parāda, ka cilvēkiem un pērtiķiem tā atšķiras tikai ar vienu aminoskābi; ar pīli atšķirīgas ir 11 aminoskābes, bet ar nepilnīgi pazīstamo sēni *Candida* – 51 aminoskābe. Šie dati sakrīt ar datiem par šo organismu anatomisko līdzību un tātad par to radniecību.

Darvins atklāja, ka daudzu nozaru pierādījumi pamato hipotēzi par izcelšanos no kopēja senča. Vēlāk ir atklāts, ka arī bioķīmiskie pierādījumi pamato šo hipotēzi. Hipotēze kļūst ticamāka, ja to atbalsta daudzu dažādu nozaru pierādījumi.

Evolūciju vairs neuzskata par hipotēzi. Tā ir viena no lielākajām apvienojošajām teorijām bioloģijā. Zinātnē par teorijām sauc tās konceptuālās shēmas, ko pamato liels novērojumu skaits un kas nav apstrīdētas. Evolūcijas teorijai zinātnē ir tāds pats statuss, kāds medicīnā ir slimību ierosinātāju teorijai (infekcijas slimības ierosina noteikti vīrusi vai baktērijas).

	Cilvēks	Pērtiķis	Cūka, govs, aita	Zirgs	Suns	Trusis	Ķengurs	Vista, tītars	Pīle	Bedrgalvčūska	Bruņurupucis	Tunzivs	Naktstauriņš	*Neurospora*	Maizes raugs *Saccharomyces*	*Candida*
Cilvēks	0															
Pērtiķis	1	0														
Cūka, govs, aita	10	9	0													
Zirgs	12	11	3	0												
Suns	11	10	3	6	0											
Trusis	9	8	4	6	5	0										
Ķengurs	10	11	6	7	7	6	0									
Vista, tītars	13	12	9	11	10	8	12	0								
Pīle	11	10	8	10	8	6	10	3	0							
Bedrgalvčūska	14	15	20	22	21	18	21	19	17	0						
Bruņurupucis	15	14	9	11	9	9	11	8	7	22	0					
Tunzivs	21	21	17	19	18	17	18	17	17	26	18	0				
Naktstauriņš	31	30	27	29	25	26	28	28	27	31	28	32	0			
Neurospora	48	47	46	46	46	46	49	47	46	47	49	48	47	0		
Maizes raugs *Saccharomyces*	45	45	45	46	45	45	46	46	46	47	49	47	47	41	0	
Candida	51	51	50	51	49	50	51	51	51	51	53	48	47	42	27	0

1.17. attēls. Bioķīmisko atšķirību nozīme

Šī diagramma parāda aminoskābju atšķirības citohromā *c* dažādiem organismiem. Atšķirīgo aminoskābju skaitu starp diviem organismiem norāda skaitlis, kas atrodas atbilstošo joslu krustpunktā (saraksti sānos un apakšā). Jo radniecīgākas ir sugas, jo mazāka ir bioķīmiskā atšķirība.

Latvijas Nacionālā
BIBLIOTĒKA
0301046447

Pārskats

Pirms 1800. gada lielākā cilvēku daļa uzskatīja, ka dzīvības rašanās un daudzveidība ir pārdabiskas būtnes darba rezultāts, kas radījusi katru sugu pasaules sākumā, un mūsdienu organismi ir pamatos nepārmainīti savu senču pēcnācēji. Zinātnieki tomēr meklēja pierādāmas dabiskas hipotēzes, kas izskaidrotu norises dabā, nevis paļautos uz reliģiskām dogmām.

Pirms Čārlzs Darvins uzkāpa uz kuģa *Beagle* klāja, viņš bija studējis sava vectēva Erasma Darvina, kā arī Džeimsa Čārlza Laiela, Lamarka, Maltusa, Linneja un citu domātāju darbus. Viņam bija pietiekami ilgs laiks, lai piecus gadus ilgajā ceļojumā apcerētu šo autoru idejas. Šīs idejas palīdzēja pierādīt viņa teoriju par izcelšanos mainības rezultātā.

Viena no ģēnija īpašībām ir prasme novērot – redzēt to, ko citi neievēro vai nenovērtē. Šajā ziņā Darvins izcēlās. Laikā, kad Darvins sasniedza Galapagu salas, viņu nodarbināja ideja par to, ka sugas varētu mainīties atbilstoši vides apstākļiem. Viņa žubīšu novērojumi izolētajās Galapagu salās apstiprināja šo hipotēzi. Viņš domāja, ka žubītes uz katras salas ir atšķirīgas un atšķiras no kontinentā sastopamajām žubītēm tāpēc, ka katra suga pielāgojusies atšķirīgam biotopam. Tāpēc viena suga ir devusi aizsākumu vairākām. Fakts, ka gandrīz vienlaikus Alfreds Volless izteica atziņu par dabisko izlasi kā evolucionāro mehānismu, liecina, ka pasaule bija gatava pieņemt citādus uzskatus par dzīvību uz Zemes.

Evolūcijas teoriju ne bez pamata sauc par bioloģijas lielo, apvienojošo teoriju. Fosilijas, salīdzinošā anatomija, bioģeogrāfija un bioķīmiskā informācija norāda, ka dzīvajām būtnēm ir kopēji senči. Evolucionārie principi palīdz saprast, kāpēc organismi ir atšķirīgi un līdzīgi, kāpēc dažas sugas savairojas, bet citas izmirst. Mainoties Zemes biotopiem, miljoniem gadu ilgā laika posmā indivīdi ar pazīmēm, kas labāk piemērotas jaunajiem apstākļiem, izdzīvoja un vairojās. Tādēļ laika gaitā populācijas pārmainījās.

Kopsavilkums

11.1. Zeme bija gatava

Kopumā pirmsdarvina laika pasaules uzskats atšķīrās no pēcdarvina laika pasaules uzskata (sk. 1.1. tabulu). Zinātniskā sabiedrība tomēr bija sagatavojusies uztvert Darvina hipotēzi, kas guva plašu atzinību.

Gadsimtu pirms Darvina ceļojuma galvenais darbalauks bioloģijā bija organismu klasifikācija. Atbalstot pasaules uzskatu, kas bija pirms Darvina, Linnejs apgalvoja, ka klasifikācijai jāapraksta sugu nemainīgās īpašības un jāatklāj dievišķais plāns. Pakāpeniski daži dabaszinātnieki, piemēram, grāfs Bifons un Erasms Darvins, sāka izvirzīt nepierastākus secinājumus par to, ka sugas laika gaitā mainās.

Žorža Kivjē un Žana Batista Lamarka, astoņpadsmitā gadsimta beigu zinātnieku, uzskati par evolūciju krasi atšķīrās. Lai izskaidrotu kāda apvidus fosilijas, Kivjē izvirzīja domu, ka ir notikušas cita citai sekojošas katastrofas (izmiršanas), pēc kurām sugas no jauna ieceļojušas no citiem apvidiem. Lamarks uzskatīja, ka ir notikusi izcelšanās mainības rezultātā un organismi ir pielāgojušies konkrētajiem vides apstākļiem. Tomēr, lai pamatotu un izskaidrotu evolucionāro pārmaiņu mehānismu, viņš izmantoja plaši izplatītus, bet kļūdainus uzskatus par dabas sistēmu un iegūto pazīmju iedzimšanu.

1.2. Darvina izstrādātā teorija

Čārlzs Darvins pēc ceļojuma apkārt pasaulei dabaszinātnieka amatā uz angļu karakuģa *Beagle* (1831–1836) formulēja hipotēzi par evolūciju. Viņa hipotēze apgalvo, ka sugas ir cēlušās no kopēja senča un dabiskās izlases rezultātā ir pielāgojušās apkārtējās vides apstākļiem.

Ceļojumā Darvins guva galvenokārt divu veidu novērojumus. Ģeoloģijas un fosiliju pētījumi ļāva viņam piekrist Laiela uzskatiem, ka novērotās grandiozās ģeoloģiskās norises ir izraisījušas lēnas, bet nepārtrauktas pārmaiņas. Tādēļ viņš secināja, ka Zeme ir pietiekami veca, lai varētu notikt izcelšanās mainības rezultātā.

Bioģeogrāfisko pētījumu, arī Galapagu salu dzīvnieku pētījumu ietekmē Darvins secināja, ka pielāgošanās vides apstākļiem var izraisīt diverģenci, arī jaunu sugu veidošanos.

Darvins uzskatīja, ka dabiskās izlases rezultātā izveidojas jaunas adaptācijas. Vienas populācijas īpatņiem piemīt nejauša, bet iedzimta mainība. (Pretstatā iepriekšējam pasaules uzskatam Darvinam mainība ir ļoti nozīmīga.) Balstoties uz Maltusa ideju par pārapdzīvotību, Darvins uzsvēra, ka notiek cīņa par eksistenci. Vispielāgotākie organismi ir tie, kam piemīt pazīmes, kuras ļauj viņiem labāk izmantot resursus, izdzīvot un dot vairāk pēcnācēju nekā mazāk piemērotākiem organismiem. Šajā situācijā dabiskās izlases rezultāts ir pielāgošanās konkrētajiem vides apstākļiem.

1.3. Pierādījumu uzkrāšanās

Hipotēzi par to, ka organismi ir cēlušies no kopēja senča, pamato daudzas dažāda veida liecības. Fosilijas, bioģeogrāfija, salīdzinošā anatomija un salīdzinošā bioķīmija pierāda šo hipotēzi. Fosilijas sniedz vispārēju priekšstatu par dzīvības attīstību un dod iespēju iezīmēt katras konkrētas grupas izcelšanās gaitu. Bioģeogrāfija pierāda, ka organismu izplatība uz Zemes ir izskaidrojama, pieņemot, ka organismi ir radušies vienā konkrētā teritorijā. Salīdzinot organismu anatomiju un attīstību, atklājas, ka tuvu radniecīgiem organismiem uzbūves plāns ir līdzīgs. Jo vairāk atšķirīgu grupu pierādījumi atbalsta kādu hipotēzi, jo tā kļūst pamatotāka.

Mūsdienās evolūcijas teorija ir viena no lielākajām vienojošajām teorijām bioloģijā, jo to pamato daudzi dažāda veida pierādījumi.

Pārbaudiet sevi

1. Salīdziniet pasaules uzskatu atšķirības pirms Darvina atklājumiem un pēc tiem! 5. lpp.
2. Nosauciet dabaszinātniekus, kas devuši ieguldījumu bioloģijas attīstībā astoņpadsmitā gadsimta vidū! Raksturojiet viņu uzskatus par evolucionāro izcelsmi! 5. lpp.
3. Kā Kivjē izskaidroja dzīvības formu pārmaiņas Zemes nogulumiežu slāņos? 6. lpp.
4. Ko nozīmē iegūto pazīmju iedzimšana – hipotēze, ko Lamarks izmantoja, lai izskaidrotu pielāgošanos apkārtējai videi? 6. lpp.
5. Kādus darbus ģeoloģijā bija studējis Darvins? Kādus novērojumus viņš veica? 7. lpp.
6. Kādi bija Darvina bioģeogrāfiskie novērojumi? Kā tie ilustrē viņa secinājumus par jaunu sugu veidošanos? 8.–9. lpp.
7. Kādas ir Darvina piedāvātās dabiskās izlases pamatpazīmes? 10. lpp.
8. Izskaidrojiet atšķirību starp jēdzieniem "izdzīvotība" un "adaptācija vides apstākļiem"! 10., 13. lpp.
9. Kā fosilijas pamato priekšstatu par izcelšanos no kopēja senča? Izskaidrojiet, kāpēc zirgs *(Equus)* ievērojami atšķiras no tā senča *Hyracoterium*, kurš ir dzīvojis mežos! 14. lpp.
10. Kā bioģeogrāfiskā informācija pamato priekšstatu par izcelšanos no kopēja senča? Izskaidrojiet, kāpēc Austrālijā izveidojās atšķirīgas somaiņu grupas! 15. lpp.
11. Kā salīdzinošās anatomijas dati pamato priekšstatu par izcelšanos no kopēja senča? Izskaidrojiet, kāpēc mugurkaulnieku priekškājas, neskatoties uz atšķirīgajām funkcijām, ir līdzīgas! 16. lpp.
12. Kā bioķīmisko pētījumu rezultāti pamato priekšstatu par izcelšanos no kopēja senča? Paskaidrojiet, kāpēc aminoskābju secība dažādu organismu citohromā *c* atšķiras! 17. lpp.

Tests

Izvēlieties vienu pareizo atbildi uz katru jautājumu!

1. Kurš apgalvojums ir saskaņā ar iegūto pazīmju iedzimšanas hipotēzi?
   A. Ja cilvēks zaudē roku, arī viņa bērnam nebūs vienas rokas
   B. Pārmaiņas fenotipā ar genotipa palīdzību tiek nodotas nākamajai paaudzei
   C. Organismi ir spējīgi izraisīt pārmaiņas savā fenotipā
   D. Visi apgalvojumi ir pareizi
2. Kāpēc Darvinam bija svarīgi uzzināt, ka Laiels Zemi uzskatīja par ļoti vecu?
   A. Uz vecas zemes ir daudz vairāk fosiliju nekā uz jaunas
   B. Tas nozīmēja, ka organismiem bija pietiekami daudz laika lēnai evolūcijai
   C. Evolūcija nenoritēja bez Zemes garozas pacelšanās
   D. Darvins sacīja, ka mākslīgā izlase noris lēni
3. Kurš apgalvojums par žubītēm Galapagu salās ir pareizs?
   A. Viņas nekādā ziņā nav radniecīgas
   B. Viņas cēlušās no kopēja senča
   C. Starp viņām ir konkurence, jo tās visas pārtiek no sēklām
   D. Pareiza ir gan A, gan C atbilde
4. Kurš apgalvojums par organismiem ir pareizs?
   A. Viņi konkurē ar citiem savas sugas pārstāvjiem
   B. Viņi atšķiras ar pielāgotību
   C. Viņi ir adaptējušies noteiktiem vides apstākļiem
   D. Visi apgalvojumi ir pareizi
5. Ko pierāda DNS nukleotīdu atšķirības dažādiem organismiem?
   A. Norāda, cik tuvu radniecīgi tie ir
   B. Parāda, kā norit evolūcija
   C. Izskaidro, kāpēc pastāv fenotipiskas atšķirības
   D. Visi apgalvojumi ir pareizi
6. Ko var sagaidīt atšķirīgos bioģeogrāfiskos reģionos ar līdzīgiem vides apstākļiem, ja noris evolūcija?
   A. Būs tāds pats augu un dzīvnieku sugu sastāvs
   B. Katrā būs tikai tam raksturīgs augu un dzīvnieku sugu sastāvs
   C. Būs augi un dzīvnieki ar līdzīgām adaptācijām
   D. Pareiza ir B un C atbilde
7. Kāpēc fosilijas sniedz tiešu pierādījumu tam, ka organismi ir cēlušies no kopēja senča?
   A. Fosiliju tipi laika gaitā mainās
   B. Dažkārt ir atrasti kopējie senči
   C. Var iezīmēt konkrētas grupas izcelsmes gaitu
   D. Visi apgalvojumi ir pareizi
8. Kas raksturīgs organismiem, kas pielāgojušies līdzīgam dzīvesveidam?
   A. Viņiem ir struktūras, kas norāda, ka pastāv līdzīgs uzbūves plāns
   B. Viņiem ir līdzīgas pazīmes, kas nav saistītas ar līdzīgu uzbūves plānu
   C. Viņu dzīvesvieta ir tajā pašā bioģeogrāfiskajā reģionā
   D. Pareiza ir gan A, gan C atbilde

Izskaidrojiet katru no 9.–12. jautājumā minētajiem novērojumiem, pamatojoties uz informāciju, kas atrodama norādītajās lappusēs! Uzrakstiet savu atbildi!

9. Fosilijas var datēt saistībā ar nogulumiežu slāni, kurā tās atrastas. Sk. "Fosilijas atklāj notikumus" 14. lappusē.
10. Kaktusi un eiforbijas aug dažādos kontinentos, bet katram no tiem ir dzeloņaini, ūdeni uzkrājoši, bezlapu stublāji. Sk. "Bioģeogrāfiskā nošķirtība" 15. lappusē.
11. Abiniekiem, rāpuļiem, putniem un zīdītājiem kādā no attīstības posmiem ir rīkles maisi. Sk. "Anatomiskā līdzība" 16. lappusē.
12. DNS bāzu secība dažādām sugām ir atšķirīga. Sk. "Bioķīmiskās atšķirības" 17. lappusē.

Papildjautājumi

1. *Visiem organismiem piemīt noteiktas līdzīgas pazīmes, jo tie ir cēlušies no kopēja senča.*
   Kādu pierādījumu jūs varat nosaukt tam, ka tik atšķirīgiem organismiem kā baktērijām un cilvēkam ir bijis kopējs sencis?
2. *Dzīvības daudzveidība izveidojusies, tai pielāgojoties atšķirīgiem vides apstākļiem.*
   Rudimentāro struktūru esamība liecina, ka pielāgošanās process nav mērķtiecīgs. Kāpēc?
3. *Lai pierādītu apvienojošās teorijas bioloģijā, izmanto zinātnisko metodi, ko veido hipotēze, eksperimenti un secinājumi.*
   Pierādiet, ka zinātnisko metodi var izmantot, lai pārbaudītu priekšstatu par evolucionāro izcelsmi!

Multimediju izmantošana

Tēmu par Darvinu un evolūciju palīdzēs apgūt šādi multimediji.

Interneta izmantošana

Šo nodaļu jums palīdzēs apgūt Maderas mājas lapa

http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader
(izvēlieties bioloģiju)

Jēdzienu izpratne

Adaptācija 3. lpp.
Bioģeogrāfija 8. lpp.
Dabiskā izlase 10. lpp.
Evolūcija 5. lpp.
Homologa struktūra 16. lpp.
Iegūto pazīmju iedzimšana 6. lpp.
Katastrofu teorija 6. lpp.
Paleontoloģija 6. lpp.
Pielāgotība 10. lpp.
Rudimentāra struktūra 16. lpp.

Sameklējiet definīcijām atbilstošos jēdzienus!

A. _____ – zinātne par organismu ģeogrāfisko izplatību.
B. _____ – zinātne par fosilijām, kas sniedz zināšanas par dzīvības attīstības gaitu.
C. _____ – vāji attīstīta struktūra, kas sencim bijusi pilnvērtīga un funkcionāla, bet pēctecim vairs nefunkcionē.
D. _____ – organisma uzbūves, funkciju vai uzvedības pārmaiņas, kas piemērotas vides apstākļiem.
E. _____ – Lamarka uzskats, ka organismi to dzīves laikā pielāgojas konkrētajiem vides apstākļiem un šīs pazīmes nodod saviem pēcnācējiem.
F. _____ – struktūra, kas evolūcijas procesā saglabājas un ir līdzīga atšķirīgiem organismiem, kas cēlušies no kopēja senča.
G. _____ – evolucionārs mehānisms, kad vides apstākļi atsijā organismus, kas ir vispiemērotākie, lai dotu pēcnācējus, un rezultātā rada adaptācijas.
H. _____ – organismu izcelsme no kopējiem senčiem, veidojoties ģenētiskām un fenotipiskām pārmaiņām laika gaitā, kas veicina to pielāgošanos vides apstākļiem.
I. _____ – Kivjē paustais uzskats, ka pēc katastrofām ir bijuši izmiršanas periodi, pēc kuriem izdzīvojušās sugas ir atgriezušās un laika gaitā pārmainījušās.
J. _____ – organismu spēja izdzīvot konkrētos vides apstākļos un dot pēcnācējus.

Evolūcijas process

2. NODAĻA

Nodaļas saturs

2.1. Evolūcija ģenētikas kontekstā

- Evolucionāro pārmaiņu izejmateriāls ir gan gēnu, gan hromosomu mutācijas. Vēl viens pārmaiņu cēlonis organismiem, kuri vairojas dzimumvairošanās ceļā, ir gēnu rekombinācijas. 22. lpp.
- Hārdija–Veinberga likums definē evolūciju kā laika gaitā notiekošas alēļu sastopamības biežuma pārmaiņas populācijā. 23. lpp.
- Papildu mutācijas un gēnu plūsma, nerandomizēta pārošanās, gēnu dreifs un dabiskā izlase var izraisīt alēļu sastopamības biežuma pārmaiņas nākamajās paaudzēs. 25. lpp.

2.2. Pielāgošanās notiek dabiskā ceļā

- Dabiskā izlase ir alēļu sastopamības biežuma pārmaiņas populācijā, ko rada noteiktu fenotipu atšķirīgā spēja vairoties. 28. lpp.
- Dabiskās izlases rezultātā notiek pielāgošanās (adaptēšanās) vides apstākļiem. Ir trīs dabiskās izlases tipi: virzošā izlase, stabilizējošā izlase un pārtrauktā izlase. 28. lpp.

2.3. Sugu veidošanās

- Jauna suga ir izveidojusies, kad populācija ir kļuvusi reproduktīvi izolēta no citām līdzīgām populācijām. 32. lpp.
- Adaptīvā radiācija ir vairāku sugu ātra attīstība no vienas sugas, kad katra no sugām ir pielāgojusies (adaptējusies) videi tikai sev raksturīgā veidā. 35. lpp.



Labības apsmidzināšana

Kad jūsu vecvecāki bija jauni, tādas infekcijas slimības kā tuberkuloze, pneimonija un sifiliss katru gadu nonāvēja tūkstošiem cilvēku. Kad 20. gadsimta četrdesmitajos gados atklāja penicilīnu un citas antibiotikas, sabiedrības veselības iestādes uzskatīja, ka infekcijas slimības pieder pagātnei. Tomēr mūsdienās tuberkuloze, pneimonija un daudzas citas saslimšanas ir atgriezušās un plaši izplatījušās. Kas tad ir noticis? Ir notikusi dabiskā izlase.

Darvins un Volless uzsvēra, ka visās populācijās un organismu grupās notiek īpatņu mainība. Tāpat kā kaķi atšķiras cits no cita, slimību ierosinošās baktērijas arī atšķiras cita no citas. Piemēram, nejauši dažas no tuberkulozes baktērijām izrādījās rezistentas (spējīgas pretoties) medikamentiem. Šo rezistenci neizraisīja antibiotikas: baktērijas jau bija rezistentas. Šīs pret antibiotikām izturīgās baktērijas izdzīvo un vairojas. Tagad, pēc vairāk nekā 50 gadiem, ir radušās "superbaktērijas", kas ierosina slimības, bet tās vairs nevar iznīcināt ar antibiotikām. Ir atrastas pat baktērijas, kas pārtiek no antibiotikas vankomicīna!

Tie īpatņi, kuru pazīmes ir vislabāk pielāgotas konkrētajiem vides apstākļiem, vairojas intensīvāk par citiem populācijas pārstāvjiem. Notiekot izlasei, populācijā mainās gēnu sastopamības biežumi (frekvences). Tādā veidā noris evolūcija.

2.1. Evolūcija ģenētikas kontekstā

Kas rada mainību?

Vienas populācijas pārstāvju vidū pastāv atšķirības. **Populāciju** veido vienas sugas pārstāvji, kas vienā laikā apdzīvo noteiktu teritoriju. Populācija var būt visas zaļās vardes dīķī, visas lauku peles klētī vai visas vienas pļavas mārpuķītes. Populācijas locekļi savā starpā krustojas, radot turpmākās paaudzes.

Mainība ir evolucionāro pārmaiņu izejmateriāls, ko populācijā rada gēnu mutācijas, hromosomu mutācijas un rekombinācijas.

Gēnu mutācijas

Gēnu mutācijas rada jaunas alēles, un tādējādi tās ir sākotnējais mainības cēlonis. Gēnu mutācija ir kādas alēles DNS nukleotīdu bāzu secības pārmaiņa. Jau noskaidrojām, ka tikai vienas DNS bāzes nomaiņa rada atšķirību starp normālu hemoglobīna molekulu un sirpjveida šūnu hemoglobīnu. Arī regulatorgēna pārmaiņas var palielināt vai samazināt strukturālā gēna izpausmi.

Mutācijas rodas nejauši. Mutācija ir līdzīga šāvienam tumsā. Jebkurš gēns var mutēt jebkurā laikā. Tas nozīmē, ka mutācijas rašanās nav saistīta ar tās noderību. Noteikta mutācija nerodas tāpēc, ka tā ir labvēlīga organismam. Piemēram, var šķist, ka medikamentu lietošana ir tā, kas izraisa baktēriju rezistenci. Tomēr tā nav. Pret medikamentiem rezistentas mutācijas baktērijām var rasties nejauši, pirms šīs baktērijas ir nonākušas saskarē ar medikamentu.

Mutācijas var būt gan organismam labvēlīgas, gan neitrālas vai pat kaitīgas tā pašreizējā dzīves vidē. Daudzas no zināmajām mutācijām ir kaitīgas, piemēram, tās izraisa cilvēka ģenētiskās slimības. Iespējams, ka populāciju īpatņi ir tik labi pielāgojušies saviem pašreizējiem vides apstākļiem, ka gandrīz visas mutācijas, kas rodas no jauna, rada nelabvēlīgas pārmaiņas. Kā turpmāk aprakstīts, dažas mutācijas var saglabāties apslēptā veidā diploīdā organismā un kļūt par svarīgu mainības avotu, ja vides apstākļi pārmainītos. Tās pašas mutācijas var rasties no jauna, kad apstākļi jau ir mainījušies un tās pašas mutācijas ir kļuvušas labvēlīgas.

Hromosomu mutācijas

Dažas hromosomu mutācijas ir vienkārši iedzimtas hromosomu skaita pārmaiņas. Poliploīdiem augiem ir vairāk nekā divi hromosomu komplekti.

Citas hromosomu mutācijas ir pārmainīts alēļu sakārtojums hromosomās. Inversijas (hromosomas fragments ir apgriezts) un translokācijas (hromosomu fragmentu apmaiņa starp nehomologām hromosomām) var radīt alēles aktivitātes pārmaiņas, ja alēle tādējādi nonāk cita regulējošā gēna kontrolē. Cilvēka genomā alēles dubultošanās, pēc kuras notiek pārmaiņas vienas kopijas bāzu secībā, rada jaunu alēli, vienlaikus saglabājoties arī vecajai alēlei. Šādas pārmaiņas vislabāk izpētītas ir globīna alēlēm, kas atrodas dažādos lokusos, bet ar līdzīgām DNS secībām. Pieauguša cilvēka hemoglobīnā ir divas α (alfa) globīna ķēdes un divas β (beta) globīna ķēdes. Bez tām, kas atrastas hemoglobīnā, cilvēkiem vēl ir vairāki citi abu globīna alēļu varianti. Lielākā daļa no tiem izpaužas jau attīstības laikā, bet daži parādās pieaugušajiem.

Rekombinācijas

Organismiem, kas vairojas dzimumvairošanās ceļā, alēļu un hromosomu rekombinācijas ir nozīmīgs mainības avots. Mejozes laikā veidojas atšķirīgas gametas, jo notiek krustmija starp nehomologu hromosomu hromatīdām, un gametās nokļūst pa vienai hromosomai no katra homologo hromosomu pāra. Apaugļošanās laikā gametas saplūst pēc nejaušības principa. Tāpēc veidojas tāds genotips, kurš nav līdzīgs nevienam no vecāku genotipiem. Kopumā katrai populācijai krājumā ir alēļu un hromosomu kombinācijas, kas potenciāli pārsniedz īpatņu skaitu šajā populācijā.

Dabiskās izlases procesam ir pakļauts viss genotips, nevis individuālas alēles. Jaunas un atšķirīgas alēļu kombinācijas tādējādi var būt ar augstu selektīvo vērtību. Gliemežu populācijā svītrojuma un brūnās krāsas kombinācija padara dzīvniekus grūtāk pamanāmus meža biotopos. Ja svītrojumu nosaka viena alēle, bet brūno krāsojumu nosaka cita alēle, izlase ietekmē abu šo alēļu kombināciju. Rekombinācija kādā brīdī var savienot abas alēles kopā, tādējādi apvienotais fenotips var tikt pakļauts dabiskajai izlasei.

Tāpat jāņem vērā, ka daudzas pazīmes, kas ir saistītas ar uzbūvi, funkcijām un uzvedību, ir poligēnas. Poligēnās pazīmes regulē vairāki gēni, no kuriem katrs atrodas citā lokusā. Noteiktas vairāku alēļu kombinācijas konkrētajos vides apstākļos var būt vairāk piemērotas nekā citas. Vispiemērotākā kombinācija veidojas tikai tad, kad rekombinācijas rezultātā ir sagrupējušās pareizās alēles. Kad vismazāk iespējamais, bet vispiemērotākais fenotips ir izveidojies, tas populācijā izlases rezultātā var kļūt par dominējošo fenotipu.

Mainību, evolucionāro pārmaiņu izejmateriālu, regulē gēni. Tikai gēnu mutāciju rezultātā veidojas jaunas alēles. Arī hromosomu mutācijas un rekombinācijas dod ievērojamu ieguldījumu dažādu genotipu un fenotipu veidošanā.

Kā atklāt evolūciju

Mainība ne tikai rodas, bet arī tiek saglabāta un nodota no vienas paaudzes citai. Visu populācijas īpatņu dažādas alēles, kas atrodas visos gēnu lokusos, veido populācijas **genofondu**. Populācijas genotipu ir pieņemts raksturot ar gēnu sastopamības biežumu (frekvencēm). Piemēram, ja augļu mušiņas *(Drosophila)* populācijā viena ceturtdaļa īpatņu ar gariem spārniem ir dominanti homozigotiski, viena puse ir heterozigoti, bet viena ceturtdaļa ir ar īsiem spārniem – recesīvi homozigotiski, populācijā ar 100 īpatņiem ir

25 *GG* 50 *Gg* 25 *gg*.

Cik alēļu *G* un *g* ir populācijā?

***G* alēļu skaits:**	***g* alēļu skaits:**
GG (2 *G* x 25) = 50	*GG* (0 *g*) = 0
Gg (*g*G x 50) = 50	*Gg* (1 *g* x 50) = 50
gg (0 *G*) = 0	*gg* (2 *g* x 25) = 50
100 *G*	100 *g*

Lai noteiktu katras alēles sastopamības biežumu, jāaprēķina tās procentuālais daudzums no populācijas kopējā alēļu skaita. Abos gadījumos tas ir 100/200 = 50 % = 0,5. Arī šīs populācijas veidotajos spermatozoīdos un olšūnās šo alēļu sastopamības biežums būs tāds pats. Pieņemot, ka notiek īpatņu nejauša krustošanās (katrai gametai ir vienādas iespējas kombinēties ar jebkuru citu gametu), var aprēķināt genotipu attiecību nākamajā paaudzē, izmantojot Penneta režģi.

Starp zemāk redzamo Penneta režģi un to, kuru izmanto aprēķiniem indivīdu krustošanās gadījumā, ir nozīmīga atšķirība. Tabulā norādītie spermatozoīdi un olšūnas ir tie, ko veidojuši vienas populācijas pārstāvji, nevis atsevišķs tēviņš vai mātīte. Kā redzams Penneta režģa rezultātos, katras alēles frekvence nākamajā paaudzē ir tā pati – 0,5.

	Spermatozoīdi: 0,5 *G*	0,5 *g*	Rezultāti:
Olšūnas: 0,5 *G*	0,25 *GG*	0,25 *Gg*	0,25 *GG* + 0,5 *Gg* + 0,25 *gg*
0,5 *g*	0,25 *Gg*	0,25 *gg*	($\frac{1}{4}$ *GG* + $\frac{1}{2}$ *Gg* + $\frac{1}{4}$ *gg*)

Tādēļ dzimumvairošanās viena pati nevar mainīt alēļu sastopamības biežumu. Arī dominantā alēle skaitliski nepieaug katrā nākamajā paaudzē. Dominance neizraisa alēles kļūšanu par parastu (bieži sastopamu) alēli. Iespējamo genofonda sastopamības biežumu nemainību jeb līdzsvara stāvokli neatkarīgi vienu no otra 1908. gadā atklāja angļu matemātiķis G. Hārdijs un vācu ārsts V. Veinbergs. Viņi izmantoja izteiksmi ($p^2 + 2pq + q^2$), lai aprēķinātu genotipu un alēļu biežumu populācijā. 2.1. attēlā parādīts, kā to dara.

$p^2 + 2pq + q^2$

p^2 = dominanto homozigotisko īpatņu % daudzums
p = dominantās alēles sastopamības biežums
q^2 = recesīvo homozigotisko īpatņu % daudzums
q = recesīvās alēles sastopamības biežums
$2pq$ = heterozigotisko īpatņu % daudzums

Realizē to: $p + q = 1$ (ir tikai 2 alēles)
$p^2 + 2pq + q^2 = 1$ (tie ir vienīgie genotipi)

Piemērs

Pētnieks, apsekojot iedzīvotājus, konstatējis, ka 16 % ir nepārtraukta matu līnija (recesīvā pazīme). Izmantojot šo informāciju, var noskaidrot visu populācijas genotipu un alēļu sastopamības biežumu, ņemot vērā Hārdija–Veinberga vienādojuma nosacījumus.

Dots: q^2 = 16 % = 0,16 ir homozigotisku recesīvu īpatņu.

Tādējādi:
$q = \sqrt{0,16} = 0,4$ = recesīvās alēles frekvence,
$p = 1,0 - 0,4 = 0,6$ = dominantās alēles frekvence,
$p^2 = (0,6)\,(0,6) = 0,36 = 36$ % ir dominantu homozigotisku īpatņu,
$2pq = 2(0,6)\,(0,4) = 0,48 = 48$ % ir heterozigotu īpatņu
} 84 % ir dominantais fenotips
vai
= 1,00 – 0,52 = 0,4

2.1. attēls. Genofondu sastopamības biežumu aprēķināšana, izmantojot Hārdija–Veinberga vienādojumu

1. papilduzdevums*

1. Zirņu populācijā 9 % īpatņu ir īsi (recesīva pazīme). Kāds ir recesīvās alēles *g* un dominantās alēles *G* sastopamības biežums? Kāds ir šīs populācijas genotipu sastopamības biežums?
2. Traukā ar barotni students ievieto 600 augļu mušiņas ar genotipu *Gg* un 400 – ar genotipu *gg*. Kāds būs genotipu sastopamības biežums nākamajā paaudzē un katrā no sekojošajām paaudzēm, ņemot vērā Hārdija–Veinberga vienādojumu?

* *Uzdevumu atbildes ievietotas A pielikumā.*

Hārdija–Veinberga likums apgalvo, ka genotipa alēļu sastopamības biežuma līdzsvars, kas aprēķināts ar izteiksmi $p^2 + 2pq + q^2$, būs spēkā katrā populācijas paaudzē, kas vairojas dzimumiski, ja darbosies pieci priekšnosacījumi.

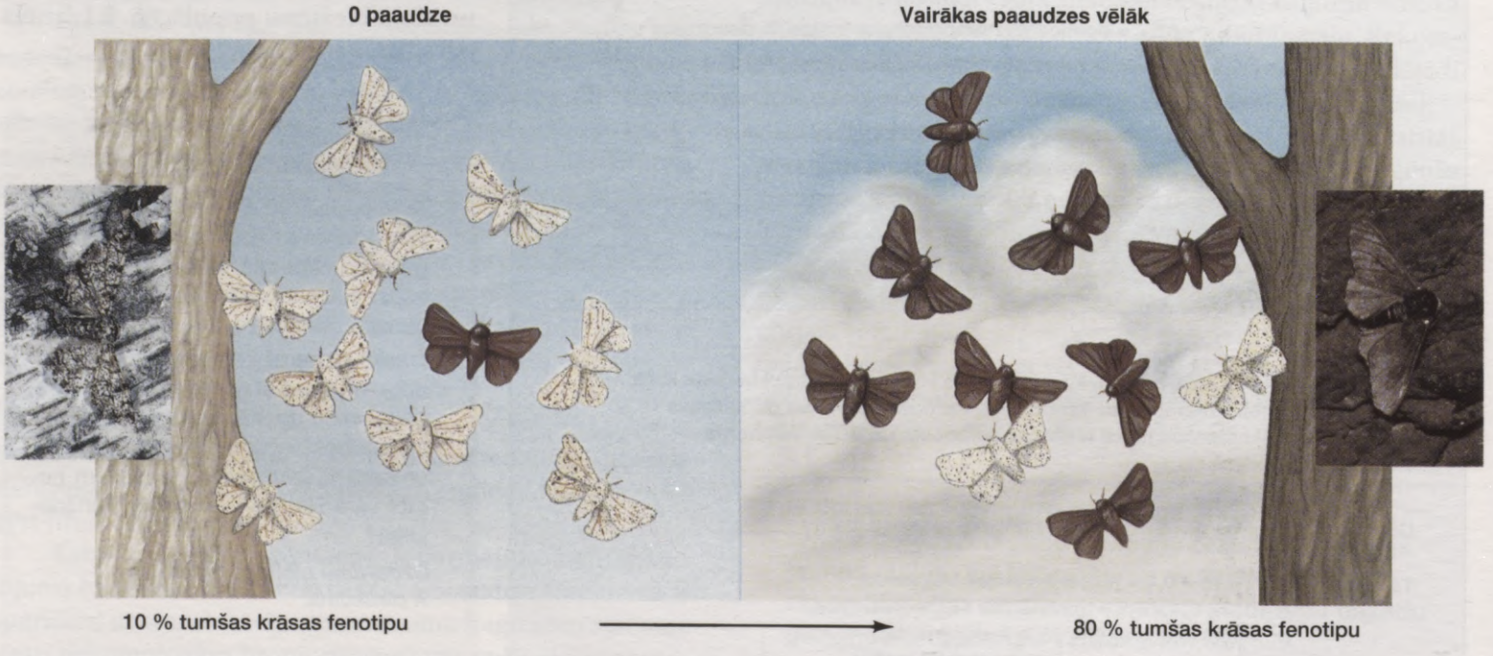
1. Nerodas mutācijas: nenotiek alēļu pārmaiņas vai arī pārmaiņas vienā virzienā līdzsvarojas ar pārmaiņām pretējā virzienā.
2. Nav gēnu plūsmas: nenotiek alēļu migrācijas – neienāk jaunas alēles, un populācija tās arī nezaudē.
3. Notiek nejauša krustošanās: īpatņi pārojas nejauši, nevis saskaņā ar to genotipiem vai fenotipiem.
4. Nav gēnu dreifa: populācija ir ļoti liela, un pārmaiņas alēļu sastopamības biežumā nejaušību dēļ ir nenozīmīgas.
5. Nenotiek izlase: izlases spiediens nedod priekšrocību kādam no genotipiem.

Reālajā dzīvē šādi apstākļi, ja vispār ir iespējami, tad tikai retos gadījumos, un populācijas genofondā alēļu sastopamības biežums no paaudzes paaudzē mainās. Tādā veidā noris evolūcija. Hārdija–Veinberga likuma nozīme ir tā, ka tas pasaka, kādi faktori ietekmē evolūciju, – tie, kuri pārkāpj minētos priekšnosacījumus. Par evolūciju liecina jebkura populācijas genofonda alēļu sastopamības biežuma novirze no Hārdija–Veinberga vienādojuma.

Nelielu pārmaiņu uzkrāšanos genotipā salīdzinoši īsā laika periodā (divu vai vairāku paaudžu laikā) sauc par mikroevolūciju. Ar **mikroevolūciju** ir saistīta jaunu sugu veidošanās, kā arī visa dzīvības attīstības vēsture; par to liecina fosilijas.

Pārmaiņas alēļu sastopamības biežumā rada pārmaiņas fenotipu sastopamības biežumā. 2.2. attēlā redzamajā sākotnējā bērzu sprīžmeša populācijā ir tikai 10 % tumšas krāsas tauriņu. Kad tumšas krāsas tauriņi nosēžas uz gaišiem stumbriem, tie ir viegli pamanāmi un tos apēd kukaiņēdāji putni. Vienlaikus ar šīs populācijas ierašanos koku stumbri sāka nomelnēt, tāpēc gaišās krāsas tauriņi bija viegli pamanāmi un tika apēsti. Putni darbojās par izlases faktoriem, un notika mikroevolūcija. Pēdējā apsekotajā paaudzē bija 80 % tumšas krāsas tauriņu.

Hārdija–Veinberga vienādojums ļauj spriest par to, vai evolūcija notiek. Katra alēļu sastopamības biežuma maiņa populācijas genofondā norāda, ka ir notikusi evolūcija.



2.2. attēls. Mikroevolūcija
Mikroevolūcija ir notikusi, ja ir mainījies genofonda sastopamības biežums, – šajā gadījumā tas noticis dabiskās izlases rezultātā. Malējā kreisajā attēlā parādīts, ka putni nevar saskatīt gaišos tauriņus uz gaišajiem koku stumbriem, tāpēc populācijā vairāk pārstāvēti gaišie tauriņi. Malējā labajā attēlā redzams, ka putniem grūti pamanīt tumšos tauriņus uz tumšajiem koku stumbriem, tāpēc tumšie tauriņi populācijā ir biežāk sastopami. Tumšās krāsas fenotipu procentuālais daudzums populācijā ir palielinājies, jo kukaiņēdāji putni var pamanīt gaiši krāsotos tauriņus uz koku stumbriem, kas piesārņojuma dēļ ir nokvēpuši.

Kas rada evolūciju?

Viss, kas ir pretrunā ar noteikumiem, kuriem ir jābūt spēkā, lai pastāvētu ģenētiskais līdzsvars, var radīt evolucionāras pārmaiņas. Mutācijas, gēnu plūsma, nerandomizētā pārošanās, gēnu dreifs un dabiskā izlase var radīt novirzes no Hārdija–Veinberga līdzsvara. Vienīgi dabiskā izlase rada pielāgošanos videi.

Gēnu mutāciju rašanās

Kā jau minēts, gēnu mutācijas piedāvā jaunas alēles, kas ir evolucionāro pārmaiņu izejmateriāls. Mutācijas ir pamatā visiem citiem mehānismiem, kas rada mainību. Komplicētā DNS replikācijas un DNS labošanas mehānisma dēļ atsevišķu gēnu mutāciju parādīšanās biežums ir zems (apmēram 10^{-5} vienam gēnam vienā šūnas ciklā), bet katram organismam ir daudz gēnu un populācijā ir daudz īpatņu. Tādējādi katram īpatnim un katrai populācijai mutācijas ir parasta parādība, kā to pierāda šie aprēķini.

Vienam atsevišķam cilvēkam: tā kā cilvēkam ir apmēram 100 000 gēnu (200 000 alēļu), vidējais mutāciju rašanās biežums vienā gametā ir (2 x 10^5 alēles) x (10^{-5} mutācijas vienam gēnam) = 2 mutācijas katrā cilvēka gametā.

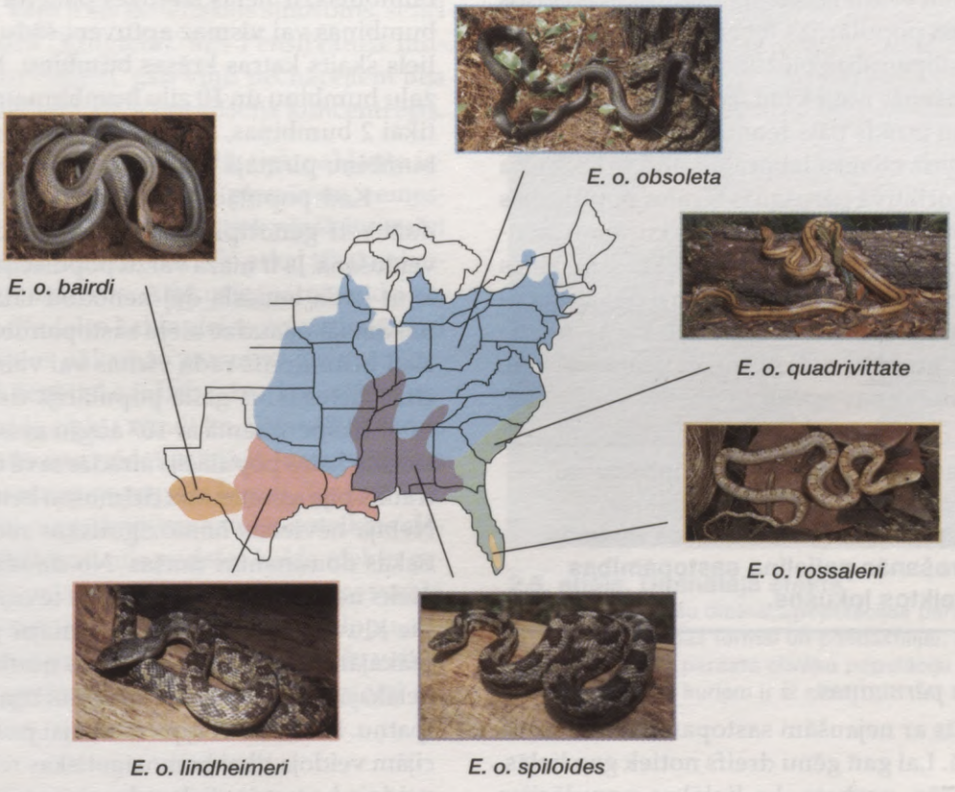
Iedzīvotāju grupai (cilvēku populācijai): tā kā Amerikas Savienotajās Valstīs ir apmēram 252 miljoni iedzīvotāju, mutāciju biežums vienā paaudzē ir (2,5 x 10^8 indivīdu) x (2 mutācijas katrā gametā) = 5 x 10^8 jaunu mutāciju katrā paaudzē.

Līdz ar to pat niecīgs mutāciju biežums rada populācijā ļoti lielu ģenētisko mainību.

R. Levontins un Dž. Habijs noteica molekulāro polimorfismu (mainību) 18 dažādiem enzīmiem dabiskās *Drosophila pseudoobscura* populācijās. Viņi ekstraģēja dažādus enzīmus un veica to elektroforēzi – procesu, kas sašķiro proteīnus pēc to lieluma un lādiņa. Viņi secināja, ka mušu populācija ir polimorfa ne mazāk kā 30 % no visu gēnu lokusiem un atsevišķa muša varētu būt heterozigotiska apmēram 12 % no tās lokusiem.

Līdzīgi rezultāti tika iegūti, pētot daudzas sugas. Tas pierāda, ka molekulārās mainības augstais līmenis dabiskajās populācijās ir likumsakarīgs. Daudzas no šīm mutācijām neietekmē fenotipu, un tāpēc tās var netikt atklātas. Mainīgos vides apstākļos pat šķietami kaitīgas mutācijas var būt cēlonis mainībai, kas palīdz populācijai pielāgoties jaunajiem vides apstākļiem. Piemēram, ūdensblusas *(Daphnia)* dzīvo apmēram 20 °C temperatūrā, taču ir zināma mutācija, kas ļauj šīm ūdensblusām dzīvot 25 °C līdz 30 °C temperatūrā. Šīs mutācijas nozīme ir pilnīgi atkarīga no vides apstākļiem.

Mutācijas genofondā rada daudzu gēnu multiplās alēles.



2.3. att. Gēnu plūsma

Katrs pelēkais ložņzalktis *(Elaphe)* ir kādas šīs čūsku sugas populācijas pārstāvis. Tā kā populācijas atrodas blakus cita citai, starp tām novērojama krustošanās un līdz ar to arī gēnu plūsma. Tas padara to genofondus daudzējādā ziņā līdzīgus, un katra no šīm populācijām ir pelēkā ložņzalkša *(Elaphe obsoleta)* pasuga. Tāpēc to nosaukumi ir trīsdaļīgi.

Gēnu plūsma piegādā jaunus gēnus

Gēnu plūsma, ko sauc arī par gēnu migrāciju, ir alēļu pārvietošanās starp populācijām. To izraisa vairoties spējīgu īpatņu migrācija. Gēnu plūsma starp blakus esošām dzīvnieku populācijām var būt pastāvīga, jo to pārstāvji regulāri migrē (2.3. att.). Lai novērtētu gēnu plūsmas sekas, ir jāzina gēnu sastopamības biežuma atšķirības starp divām populācijām un migrējošo gēnu proporciju.

Gēnu plūsma var palielināt populācijas mainību, ieviešot jaunas alēles, kas mutāciju rezultātā radušās kādā citā populācijā. Ilgstoša gēnu plūsma starp populācijām padara to genotipus līdzīgākus un samazina alēļu sastopamības biežuma atšķirību starp tām. Tātad gēnu plūsma starp populācijām var novērst jaunu sugu veidošanos.

Gēnu plūsma samazina atšķirības starp populācijām, padarot to genofondus līdzīgākus.

Pārošanās ne vienmēr ir nejauša

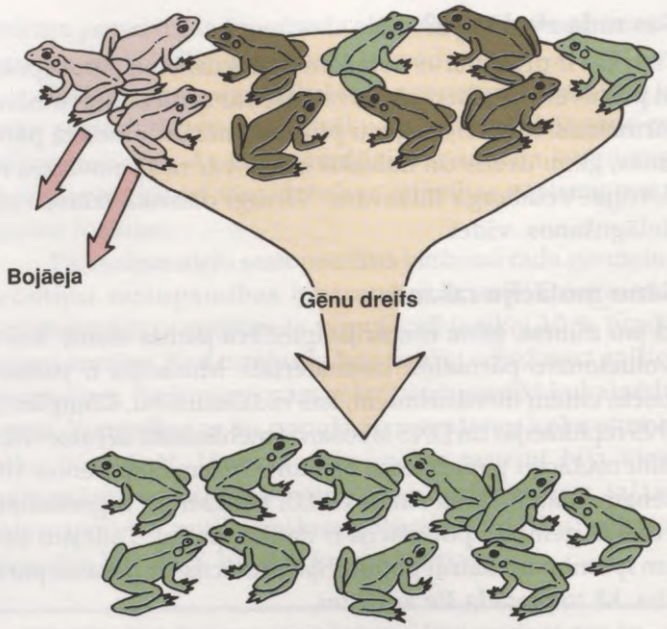
Nejauša pārošanās novērojama tad, ja īpatņi pārojas gadījuma rakstura pēc, nevis saskaņā ar to genotipiem vai fenotipiem. Inbrīdings jeb pārošanās ar tuvradnieciskiem partneriem, nevis nejaušiem partneriem ir **nerandomizētās pārošanās** piemērs. Tas notiek tad, ja izkliede ir tik neliela, ka partneri nevar nebūt radniecīgi. Inbrīdings neizmaina alēļu sastopamības biežumu, bet samazina heterozigotu proporciju un palielina abu veidu homozigotu proporciju visos gēnu lokusos. Cilvēku populācijās inbrīdings palielina recesīvo patoloģiju sastopamības biežuma fenotipā.

Asortatīvā pārošanās notiek tad, ja īpatņi dod priekšroku partneriem, kam ir tāds pats fenotips – kāda noteikta pazīme. Piemēram, garš cilvēks labprātāk dod priekšroku garam partnerim. Asortatīvā pārošanās izraisa populācijas sadalīšanos divās fenotipiskās klasēs, starp kurām ir ierobežota gēnu apmaiņa. Pieaug homozigotisko, bet samazinās heterozigotisko īpatņu sastopamības biežums pēc šīs pazīmes. Citiem lokusiem ir spēkā Hārdija–Veinberga vienādojums, bet lokusiem, kuri ļoti cieši saistīti ar tiem lokusiem, kas nosaka šo pazīmi, tas nav spēkā.

Nerandomizēta pārošanās ir saistīta ar inbrīdingu un asortatīvo pārošanos. Inbrīdings palielina homozigotu sastopamības biežumu visos lokusos, bet asortatīvā pārošanās palielina sastopamības biežumu tikai noteiktos lokusos.

Gēnu dreifs palielina pārmaiņas

Gēnu dreifs ir saistīts ar nejaušām sastopamības biežuma pārmaiņām genotipā. Lai gan gēnu dreifs notiek gan lielās, gan mazās populācijās, uzskata, ka lielākas populācijas mazāk cieš no parauga kļūdas nekā mazākas populācijas.



2.4. attēls. Gēnu dreifs
Gēnu dreifs notiek tad, ja nejaušības dēļ tikai daži populācijas pārstāvji (šajā gadījumā – zaļās vardes) vairojas un nodod savus gēnus turpmākajām paaudzēm. Alēļu sastopamības biežums nākamās paaudzes genotipā var ievērojami atšķirties no tā, kāds bija iepriekšējai paaudzei.

Ja lielā somā atrodas 1000 zaļu bumbiņu un 1000 zilu bumbiņu un uz labu laimi izņem 10 % no tām jeb 200 bumbiņas, ir lielas izredzes paņemt 100 zaļās un 100 zilās bumbiņas vai vismaz aptuveni šādu proporciju, jo somā ir liels skaits katras krāsas bumbiņu. Bet, ja somā ir tikai 10 zaļu bumbiņu un 10 zilu bumbiņu un no tās izņem 10 % jeb tikai 2 bumbiņas, iespēja izņemt vienu zaļu un vienu zilu bumbiņu pirmajā paņēmienā ir ievērojami mazāka.

Kad populācija ir maza, pastāv lielākas iespējas, ka daži reti genotipi vispār nepiedalās nākamās paaudzes veidošanā. Ja ir maza varžu populācija, kurā noteiktas vardes kaut kāda iemesla dēļ nenodod tālāk savas pazīmes, tad nākamajā paaudzē alēļu sastopamības biežums būs citāds. Kad gēnu dreifs rada vienas vai vairāku alēļu zaudējumu, citas alēles laika gaitā populācijā tiek fiksētas (2.4. att.).

Eksperimentā ar 107 augļu mušiņu *(Drosophila)* populācijām katra populācija atradās savā traukā ar barotni. Katrā traukā bija astoņas abu dzimumu heterozigotiskas mušiņas. Nebija nevienas homozigotiskas recesīvas vai homozigotiskas dominantas mušas. No daudziem pēcnācējiem pētnieks nejauši izvēlējās astoņus tēviņus un astoņas mātītes. Tie kļuva par vecākiem nākamajai paaudzei, kā arī turpmākajām 19 paaudzēm. Dažos traukos pirmajās paaudzēs lielākajā daļā populāciju joprojām bija daudz heterozigotisku īpatņu. Bet līdz deviņpadsmitajai paaudzei 25 % no populācijām veidoja tikai homozigotiskas recesīvas mušas un 25 % veidoja homozigotiskas dominantas mušas pēc brūnas acu krāsas alēles.

Gēnu dreifs ir nejaušs process, tādēļ dažādās populācijās nevar rasties vienāds gala rezultāts. Eksperimentā ar augļu mušiņām tika ņemts vērā tikai viens alēļu pāris, bet, ja ņemtu vērā daudzus alēļu pārus, visticamāk, katrā no 107 populācijām pēc 19 paaudzēm genofonda sastāvs būtu atšķirīgs daudzos alēļu pāros. Kalifornijā ir vairākas ciprešu audzes, kas katra veido atsevišķu populāciju. Vienas audzes koki fenotipiski ir daudz tuvāki cits citam nekā citu audžu koku fenotipam. Dažās audzēs koku vainagi ir iegareni, bet citās – piramidāli. Miza dažu populāciju kokiem ir raupja, bet citu – gluda. Lapas ir pelēkzaļas, spilgti zaļas vai zilganas, bet čiekuri ir sīki vai lieli. Tā kā vides apstākļi visām audzēm ir līdzīgi un korelācija starp fenotipu un vides apstākļiem audžu apkaimē netiek atrasta, ir izteikta hipotēze, ka šīs atšķirības starp populācijām radušās gēnu dreifa rezultātā.

Dibinātāja efekts ir gēnu dreifa piemērs, kad retas alēles vai alēļu kombinācijas sastopamības biežums ir lielāks populācijā, kas izolēta no kopējās populācijas. Turklāt dibinātājiem īpatņiem ir tikai daļa no sākotnējā genofonda kopējās ģenētiskās daudzveidības. To, kuras konkrētās alēles nes dibinātāji, nosaka tikai nejaušība. Pensilvānijā ir izolēta amišu grupa, kas aizsākusies no vācu ieceļotājiem. Mūsdienās vismaz vienam no 14 indivīdiem ir recesīva alēle, kas izraisa netipisku pundurainību (skar tikai roku un kāju lejasdaļu) un polidaktīliju (papildu pirksti) (2.5. att.). Citās nenoslēgtās populācijās tikai vienam no 1000 indivīdiem ir šī alēle.

Visiem amišiem, kam ir šis ģenētiskais sindroms, senči ir cēlušies no kāda pāra (Kingiem), kas Pensilvānijā imigrējuši 1744. gadā. Gan viņiem, gan viņu pēcnācējiem bija lielas ģimenes, un tādēļ retā alēle populācijā koncentrējās.

Pudeles kakla efekts. Dažreiz populācija tiek pakļauta izmiršanas draudiem kādas dabas stihijas (piemēram, zemestrīces vai ugunsgrēka) dēļ, kā arī tad, ja tā tiek pārāk intensīvi izmantota vai ir zaudējusi dzīves vidi. Un atkal tikai nejaušība nosaka, kuri īpatņi izdzīvos. Atlikušie īpatņi veido ģenētisko pudeles kaklu. Pudeles kakla efekts neļauj lielākajai daļai genotipu piedalīties nākamās paaudzes veidošanā.

Uzskata, ka lielā ģenētiskā līdzība, kas konstatēta gepardiem, ir pudeles kakla efekta rezultāts. Pētot 47 dažādus enzīmus, no kuriem katrs var veidot vairākas formas, visiem gepardiem atklāja tikai vienu un to pašu formu. Tas pierāda, ka gēnu dreifa rezultātā populācija var zaudēt noteiktas alēles. Nav zināms, kas tieši izraisījis pudeles kakla efektu gepardiem. Pieņem, ka iespējamie cēloņi ir gepardu masveida nogalināšana deviņpadsmitajā gadsimtā, kad liellopu audzētāji tā aizsargāja savus ganāmpulkus, vai ēģiptiešu veiktā gūstīšana un turēšana nebrīvē pirms 4000 gadiem, vai arī to masveida bojāeja pirms desmitiem tūkstošu gadu. Mūsdienās gepardi cieš no intensīva inbrīdinga izraisītas relatīvas neauglības, kas sākusies pudeles kakla efekta rezultātā.

Gēnu dreifs pastiprinās, kad darbojas dibinātāja efekts vai pudeles kakla efekts. Šādos gadījumos tikai daži no genotipu veidiem veido populācijas genofondu, kurš ir daudz mazāks nekā sākotnējai populācijai.



2.5. attēls. Dibinātāja efekts
Pensilvānijā amišu dibinātājpopulācijas pārstāvim bija recesīva alēle retai pundurainības formai un polidaktilijai. Amišu populācijā salīdzinājumā ar parastu cilvēku populāciju ievērojami pieaudzis to pārstāvju skaits, kuriem ir šī alēle.

2.2. Pielāgošanās notiek dabiskā ceļā

Dabiskā izlase ir process, kurā populācija pielāgojas noteiktiem biotiskajiem un abiotiskajiem vides apstākļiem. Biotiskos vides apstākļus rada organismi, kas meklē resursus sacensības, plēsonības un parazītisma ceļā. Abiotiskie apstākļi ir laikapstākļi, kas galvenokārt atkarīgi no temperatūras un nokrišņiem. Deviņpadsmitajā gadsimtā evolūcijas tēvs Čārlzs Darvins pierādīja, ka sugas laika gaitā evolucionē (pārmainās), un izteica domu, ka dabiskā izlase ir process, kura laikā tās pielāgojas noteiktiem vides apstākļiem. Aplūkosim Darvina hipotēzi par dabisko izlasi mūsdienu evolūcijas teorijas kontekstā.

Lai notiktu evolūcija dabiskās izlases ceļā, ir nepieciešama

- **mainība. Populācijas pārstāvji cits no cita atšķiras;**
- **iedzimtība. Daudzas no šīm atšķirībām ir ģenētiski iedzimtas;**
- **diferencētā spēja pielāgoties. Dažas no šīm atšķirībām nosaka to, cik labi organisms ir pielāgojies noteiktiem vides apstākļiem;**
- **diferencētā vairošanās. Īpatņiem, kas labāk pielāgojušies noteiktiem vides apstākļiem, ir lielākas iespējas vairoties, un to auglīgie pēcnācēji veido lielāku daļu no nākamās paaudzes.**

Kā jau iepriekš atzīmēts, nejaušas gēnu mutācijas ir mainības pirmavots, jo tās rada jaunas alēles. Tomēr organismiem, kuri vairojas dzimumvairošanās ceļā, alēļu un hromosomu pārkombinēšanās mejozes krustmijā, neatkarīgā hromosomu grupēšanās un apaugļošanās ievērojami palielina mainību. Dažkārt rekombināciju rezultātā veidojas labvēlīgāka alēļu kombinācija. Turklāt izveidojies fenotips tiek pakļauts dabiskajai izlasei.

Pielāgotība

Pielāgotība ir pakāpe, līdz kurai īpatņa pazīmes nodrošina spēju tam sekmīgi vairoties un radīt auglīgus pēcnācējus nākamajai paaudzei. Izlasi pretstatā pielāgotībai var raksturot kā spēku, kas ierobežo indivīda vairošanās iespējas. Pielāgotība ir sekas adaptācijas procesam konkrētajos vides apstākļos, un tāpēc tā var mainīties atkarībā no vides apstākļiem, kuros indivīdi dzīvo. Tas nozīmē, ka vienam un tam pašam indivīdam pielāgotība dažādos vides apstākļos var būt atšķirīga. Pielāgotība ir relatīva, tā ir vērsta pret citu īpatņu vairošanās sekmēm tajos pašos vides apstākļos. Jo piemērotāks ir īpatnis, jo lielāks tā ģenētiskais ieguldījums nākamajās paaudzēs salīdzinājumā ar citiem tās pašas populācijas pārstāvjiem.

Izlases veidi

Lielākā daļa pazīmju, uz kurām iedarbojas dabiskā izlase, ir poligēnas pazīmes, un tās regulē vairāk nekā viens pāris alēļu, kas novietotas dažādos gēnu lokusos. Šādām pazīmēm atbilst virkne fenotipu, kuru izplatības biežumu parasti raksturo zvanveida jeb normālā sadalījuma līkne. Katru pazīmi var ietekmēt trīs dabiskās izlases veidi – virzošā izlase, stabilizējošā izlase un pārtrauktā izlase.

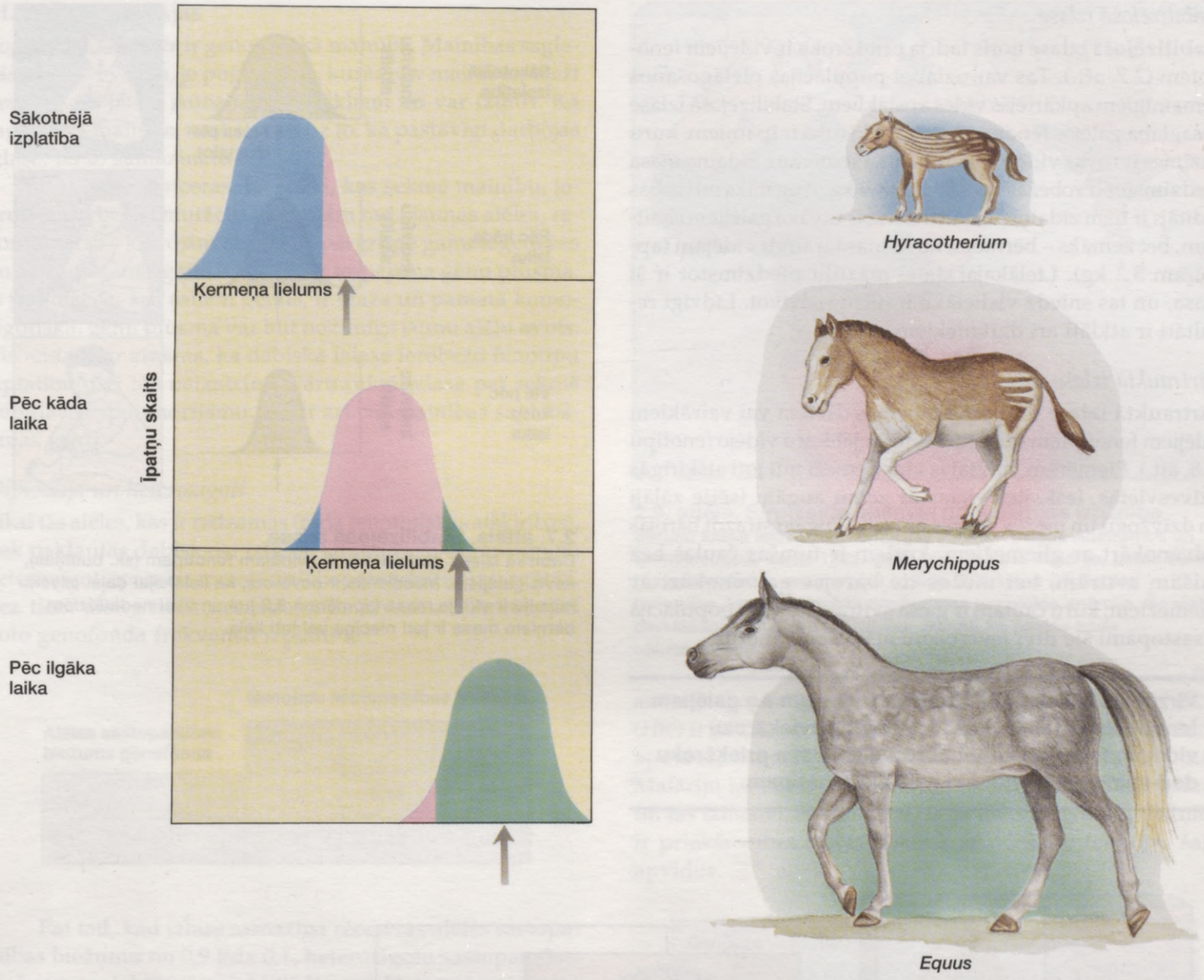
Virzošā izlase

Virzošā izlase notiek tad, ja priekšroku gūst galējie fenotipi un sadalījuma līkne nobīdās šajā virzienā (2.6. att.). Šāda nobīde var notikt, ja populācija pielāgojas mainīgiem vides apstākļiem. Piemēram, pakāpenisko mūsdienu zirgu *(Equus)* izmēru palielināšanos var izskaidrot ar pielāgošanos videi, kurā mežam raksturīgus apstākļus nomainīja zālājiem raksturīgi apstākļi. Tomēr zirga evolūciju nedrīkst aplūkot kā taisnu attīstības līniju, jo ir zināmi daudzi sānu atzari, kas ir izmiruši.

Rūpnieciskais melānisms. Pirms rūpnieciskās revolūcijas Anglijā, ievācot bērzu sprīžmeša *(Biston betularia)* tauriņus, pētnieki ievēroja, ka viņu lielākā daļa ir gaišā krāsā, tomēr šad un tad tika sagūstīti arī tumšas krāsas tauriņi. Vairākus gadu desmitus pēc rūpnieciskās revolūcijas sākuma tumšie tauriņi apvidos ar piesārņotu gaisu veidoja 99 % no visas populācijas.

Oksfordas Universitātes zinātnieka H. Ketlela eksperimenta rezultāti pierādīja, ka gadījumos, kad tauriņu krāsa saskan ar koka toni, tiem visbiežāk izdodas izvairīties no kukaiņēdājiem putniem, kas tos varētu apēst un kas tādējādi darbojas par izlases faktoriem. Šie naktstauriņi dienā atpūšas uz koku stumbriem (sk. 2.2. att.). Ja viņi ir pamanāmi, putni tos apēd. Tā kā parastos vides apstākļos koki ir gaišā krāsā, gaišie tauriņi dzīvo un vairojas. Bet, kad koku miza rūpnieciskā piesārņojuma dēļ nomelnē, tumšas krāsas naktstauriņi izdzīvo un vairojas daudz intensīvāk par gaišajiem tauriņiem. Tumšas krāsas fenotips populācijā sāk dominēt. Pēc tam kad piesārņojums samazinās un koku stumbri atgūst savu parasto krāsu, palielinās gaišas krāsas naktstauriņu skaits.

Baktērijas un kukaiņi. Neierobežotas antibiotiku un pesticīdu lietošanas rezultātā veidojas baktēriju un kukaiņu populācijas, kas ir rezistentas pret šīm ķimikālijām. Mutācija, kas piešķir rezistenci, ir sastopama jau pirms vielu iedarbības, bet ķimikālijas darbojas kā izlases faktori. Tie organismi, kas izdzīvo pēc vielu izmantošanas, rada pēcnācējus, kuri arī ir rezistenti. Šādā veidā populācija kopumā kļūst rezistenta.



2.6. attēls. Virzošā izlase
Tā notiek, ja dabiskajā izlasē priekšrocība ir kādam no galējiem fenotipiem (sk. bultiņas) un sadalījuma līkne pārbīdās. Mūsdienu zirgs *(Equus)* ir attīstījies no suņa lieluma senča *Hyracotherium*. Šis mazais dzīvnieks varēja paslēpties starp kokiem, un, barojoties ar lapotni, viņam noderēja zobi ar zemiem vainadziņiem. Kad zālāji sāka aizstāt mežus, uz zirga senčiem sāka iedarboties izlases spiediens, kas veicināja izturības, prāta spēju, ātruma un izturīgu dzerokļu attīstību. Liels augums piešķīra savstarpējām cīņām nepieciešamo izturību, liels galvaskauss radīja telpu lielākām smadzenēm, garākas kājas, kurām ir makstnagi, piešķīra skrējienam lielāku ātrumu, lai izvairītos no ienaidniekiem, bet izturīgāki dzerokļi ļāva dzīvniekiem efektīvi baroties ar zāli.

Cits virzošās izlases piemērs ir cilvēka cīņa ar malāriju – aknu un sarkano asinsšūnu slimību. Malārijas ods *(Anopheles)* no cilvēka uz cilvēku pārnes slimības izraisītāju – vienšūni, trīsdienu malārijas plazmodiju *(Pasmodium vivax)*. 20. gadsimta sešdesmito gadu sākumā starptautiskās veselības organizācijas uzskatīja, ka malārija ātri tiks uzveikta. Jaunais medikaments hlorohinīns bija daudz efektīvāks par hinīnu, ko līdz tam izmantoja pret malāriju, un DDT (insekticīds) izsmidzināšana bija samazinājusi odu populāciju. Bet sešdesmito gadu vidū plazmodijs kļuva rezistents pret hlorohinīnu un – pat vēļ ļaunāk – arī odi kļuva rezistenti pret DDT. Daži pret medikamentiem rezistenti plazmodiji un atsevišķi pret DDT rezistenti odi izdzīvoja un savairojās, padarot cīņu ar malāriju daudz sarežģītāku nekā jebkad agrāk. Tagad tiek meklēts cits ceļš – vakcīnas radīšana pret malāriju.

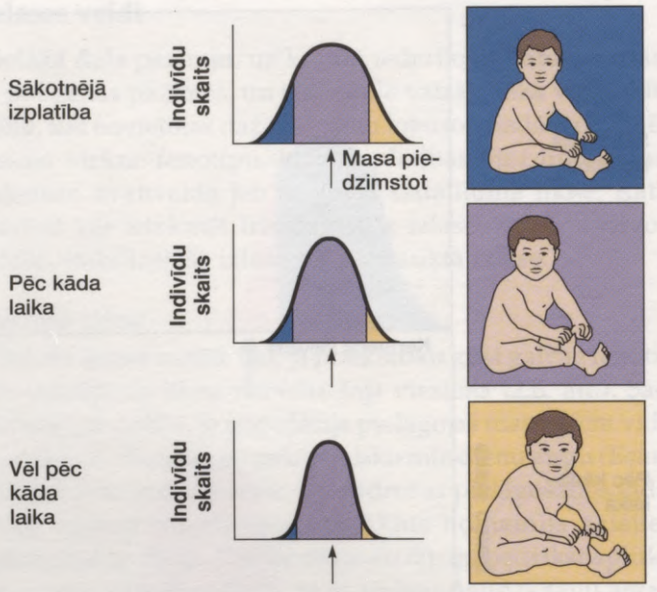
Stabilizējošā izlase

Stabilizējošā izlase noris tad, ja priekšroka ir vidējiem fenotipiem (2.7. att.). Tas var uzlabot populācijas pielāgošanos nemainīgiem apkārtējās vides apstākļiem. Stabilizējošā izlase nesaglabā galējos fenotipus, bet priekšroka ir īpatņiem, kuru pazīmes ir tuvas vidējam lielumam. Piemēram, zīdaiņa masa piedzimstot ir robežās no 0,89 līdz 4,9 kg. Augstāks mirstības rādītājs ir tiem zīdaiņiem, kuru masa ir tuvāka galējiem skaitļiem, bet zemāks – bērniem, kuru masa ir tuvu vidējam (apmēram 3,2 kg). Lielākajai daļai mazuļu piedzimstot ir šī masa, un tas sniedz vislielāko iespēju izdzīvot. Līdzīgi rezultāti ir atklāti arī dzīvniekiem.

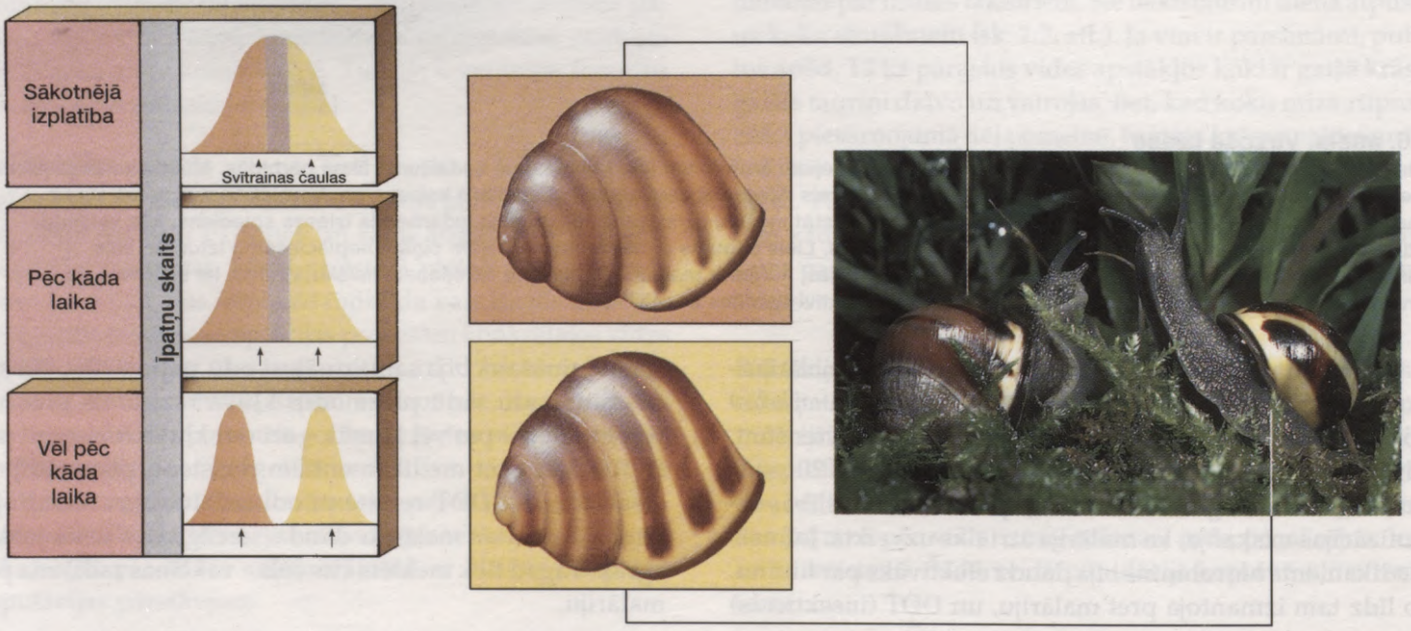
Pārtrauktā izlase

Pārtrauktā izlase dod priekšrocības diviem vai vairākiem galējiem fenotipiem salīdzinājumā ar jebkuru vidējo fenotipu (2.8. att.). Piemēram, birztalas vīngliemeži mīt ļoti atšķirīgās dzīvesvietās, ieskaitot vietas ar zemu augāju (sētie zālāji un dzīvžogi) un mežus. Vietās ar zemu augāju strazdi barojas galvenokārt ar gliemežiem, kuriem ir tumšas čaulas bez gaišām svītrām, bet mežos tie barojas galvenokārt ar gliemežiem, kuru čaulām ir gaiša svītra. Tādējādi populācijā ir sastopami šie divi ievērojami atšķirīgie fenotipi.

Virzošajā izlasē priekšrocības ir vienam no galējiem fenotipiem, stabilizējošā izlase dod priekšroku vidējam fenotipam, bet pārtrauktā izlase priekšroku dod vairāk nekā vienam galējam fenotipam.



2.7. attēls. Stabilizējošā izlase
Dabiskā izlase dod priekšroku vidējam fenotipam (sk. bultiņas), nevis galējiem. Mūsdienās ir novērots, ka lielākajai daļai cilvēku mazuļu ir vidēja masa (apmēram 3,2 kg) un tikai nedaudziem bērniem masa ir ļoti niecīga vai ļoti liela.



2.8. attēls. Pārtrauktā izlase
Dabiskajā izlasē priekšroka ir diviem galējiem fenotipiem (sk. bultiņas). Mūsdienās ir novērots, ka birztalas vīngliemežiem ir galvenokārt divi atšķirīgi fenotipi, katrs no kuriem ir adaptējies noteiktiem vides apstākļiem.

Mainība saglabājas

Populācijā vienmēr ir genotipiskā mainība. Mainības saglabāšana ir labvēlīga, jo populācijas, kurās nav mainības, bieži nespēj adaptēties jaunajiem apstākļiem un var izmirt. Kā saglabājas mainība, neskatoties uz to, ka pastāvīgi darbojas izlase, lai to samazinātu?

Pirmkārt, jāatceras, ka spēki, kas sekmē mainību, joprojām darbojas; mutācijas joprojām rada jaunas alēles, rekombinācijas joprojām šīs alēles pārgrupē gametoģenēzes un apaugļošanās gaitā. Otrkārt, ir iespējama gēnu plūsma. Ja populācija, kas saņem gēnus, ir maza un pamatā homozigotiska, gēnu plūsma var būt nozīmīgs jaunu alēļu avots. Visbeidzot, ir zināms, ka dabiskā izlase ierobežo fenotipu izplatību, bet tos neiznīcina. Pārtrauktā izlase pat sekmē populācijas polimorfismu. Bet ir arī citi mainības saglabāšanas veidi.

Diploīdija un heterozigoti

Tikai tās alēles, kas ir redzamas (rada fenotipiskas atšķirības), tiek pakļautas dabiskajai izlasei. Diploīdiem organismiem heterozigoti īpatņi ir recesīvo alēļu potenciālie aizsargātāji. Bez tiem alēles tiktu no genofonda izvadītas. Aplūkojiet doto genofonda frekvenču izplatību.

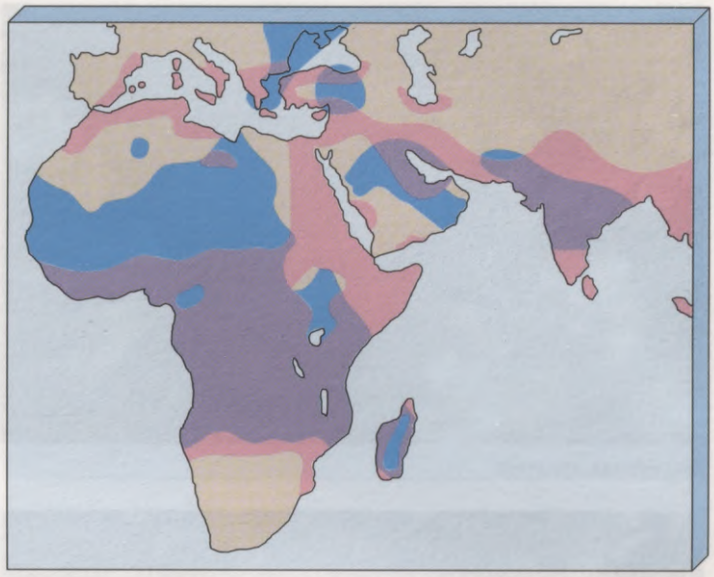
	Genotipu sastopamības biežums		
Alēles sastopamības biežums genofondā	*AA*	*Aa*	*aa*
0,9	0,01	0,18	0,81
0,1	0,81	0,18	0,01

Pat tad, kad izlase samazina recesīvās alēles sastopamības biežumu no 0,9 līdz 0,1, heterozigotu sastopamības biežums saglabājas iepriekšējā līmenī. Heterozigoti īpatņi ir recesīvās alēles avots nākamajām paaudzēm. Mainīgos vides apstākļos recesīvā alēle dabiskās izlases procesā var radīt kādu priekšrocību.

Sirpjveida anēmija

Dažos Āfrikas reģionos sirpjveida anēmija ir piemērs heterozigotu nozīmei mainības saglabāšanā. Relatīvā heterozigotu pielāgotība un divu veidu homozigoti nosaka to procentuālo daudzumu populācijā. Ja divu vai vairāku fenotipu proporcija saglabājas viena un tā pati katrā paaudzē, tad šādu līdzsvaru sauc par **līdzsvaroto polimorfismu**. Optimālas ir tās proporcijas, kas korelē ar lielākās daļas mazuļu izdzīvošanu.

Ar sirpjveida anēmiju slimo indivīdu genotips ir Hb^SHb^S, un tie parasti nomirst agrā bērnībā hemorāģijas un orgānu noārdīšanās dēļ. Tiem, kuri ir heterozigoti ar sirpjveida anēmijas pazīmi (Hb^AHb^S), klājas labāk. Parasti viņu sarkanās asinsšūnas kļūst sirpjveidīgas tikai tad, kad vidē ir zems skābekļa saturs. Ģenētiķi, kas pētījuši sirpjveida



2.9. attēls. Sirpjveida anēmija un malārijas izplatība
Sārtajā krāsā iekrāsotas teritorijas Āfrikā, Tuvajos Austrumos un Dienvideiropā, kurās 1920. gadā bija izplatīta malārija, pirms sākās tās apkarošanas programmu izpilde. Zilā krāsā iekrāsotas teritorijas, kurās visbiežāk novērojama sirpjveida anēmija. Šo vietu pārklāšanās (purpura krāsā) liek domāt, ka pastāv kāda cēloņsakarība.

anēmijas izplatību Āfrikā, ir atklājuši, ka recesīvajai alēlei (Hb^S) ir lielāks sastopamības biežums (0,2 līdz pat 0,4 dažos apvidos) reģionos, kuros sastopama malārija (2.9. att.). Malāriju izraisa parazīts, kas dzīvo sarkanajās asinsšūnās un tās iznīcina. Hb^S saglabājas, jo heterozigotiem īpatņiem ir priekšrocības salīdzinājumā ar normālo fenotipu šajos apvidos.

Genotips	Fenotips	Rezultāts
Hb^AHb^A	Normāls	Mirst, inficējoties ar malāriju
Hb^AHb^S	Sirpjveida anēmijas pazīme	Izdzīvo, jo pasargāts no abām
Hb^SHb^S	Sirpjveida anēmija	Mirst no sirpjveida anēmijas

Malārijas parazīts dzīvo normālos homozigotos īpatņos, bet iet bojā heterozigotos īpatņos, jo to asinsšūnas kļūst sirpjveidīgas, kad tās inficētas ar malārijas parazītu. Sirpjveida sarkanās asinsšūnas zaudē kāliju, un tas izraisa parazīta bojāeju.

Pat tad, kad populācijas adaptējas konkrētajiem vides apstākļiem, dažādi mehānismi sekmē un uztur mainību. Diploīdajos organismos heterozigotais genotips var palīdzēt saglabāt mainību.



Empidonax minimus



Acadian Hycatcher



Empidonax trailli

2.10. attēls. Sugas bioloģiskā definīcija
Lai arī redzamās sugas ir gandrīz vienādas, pastāv iespēja atrast dažas uzbūves iezīmes, kas tās atšķir. Tās ir atsevišķas sugas, jo tās ir reproduktīvi izolētas – katras sugas indivīdi pārojas tikai ar savas sugas pārstāvjiem. Katrai sugai ir raksturīga dziesma un noteikta dzīvesvieta vairošanās periodā.

2.3. Sugu veidošanās

Sugu veidošanās ir process, kurā no vienas sugas veidojas viena vai vairākas citas sugas vai arī kāda suga pārveidojas par jaunu sugu. Sugas izveidošanās ir galarezultāts genotipa alēļu un gēnu sastopamības biežumu pārmaiņām.

Kas ir sugas?

Dažkārt ir ļoti grūti nodalīt vienu sugu no otras. Pirms apskata sugu veidošanos, vispirms nepieciešams noskaidrot, kas ir suga. Taksonomijas izveidotājs Linnejs vienu sugu no otras atdalīja pēc morfoloģiskajām pazīmēm, t. i., ārējām atšķirīgajām pazīmēm. Darvins redzēja, ka līdzīgas sugas, piemēram, 2.10. attēlā redzamās trīs mušķērāju sugas, vieno kopīgā izcelsme. Populāciju ģenētika ir ļāvusi formulēt **sugas bioloģisko definīciju**: vienas sugas īpatņi savstarpēji krustojas, tiem ir kopīgs genofonds, un katra suga ir reproduktīvi izolēta no jebkuras citas sugas. 2.10. attēlā redzamie mušķērāji pieder pie dažādām sugām tāpēc, ka tie savvaļā nekrustojas.

Gēnu plūsma noris starp vienas sugas populācijām, bet ne starp dažādu sugu populācijām. Piemēram, cilvēku sugai ir daudz populāciju, kas pēc ārējā izskata ievērojami atšķiras. Tomēr ir zināms, ka visi cilvēki pieder pie vienas sugas tāpēc, ka šo populāciju locekļi var radīt auglīgus pēcnācējus. Savukārt sarkanā kļava un cukura kļava ir dažādas sugas. Katra suga ir izplatīta ģeogrāfiski plašā areālā Amerikas Savienoto Valstu austrumdaļā, un tām ir daudz populāciju. Kaut arī reti, tomēr katras sugas populāciju īpatņi savvaļā krustojas. Tādēļ šie augi pieder pie divām radniecīgām, bet tomēr dažādām sugām.

Līdz ar bioķīmiskās ģenētikas attīstību ir radusies jauna iespēja sugu atšķiršanai. Organismu grupu radniecību var noskaidrot, salīdzinot to DNS.

Reproduktīvās izolācijas mehānismi

Lai nodalītu divas sugas, tām jābūt reproduktīvi izolētām. Tas nozīmē, ka starp tām nedrīkst pastāvēt plūsma. **Reproduktīvās izolācijas mehānisms** ir jebkura uzbūves, funkcionāla vai uzvedības īpatnība, kas kavē sekmīgu vairošanās procesu. Mehānismi, kas nodrošina reproduktīvo izolāciju, ir minēti 2.1. tabulā.

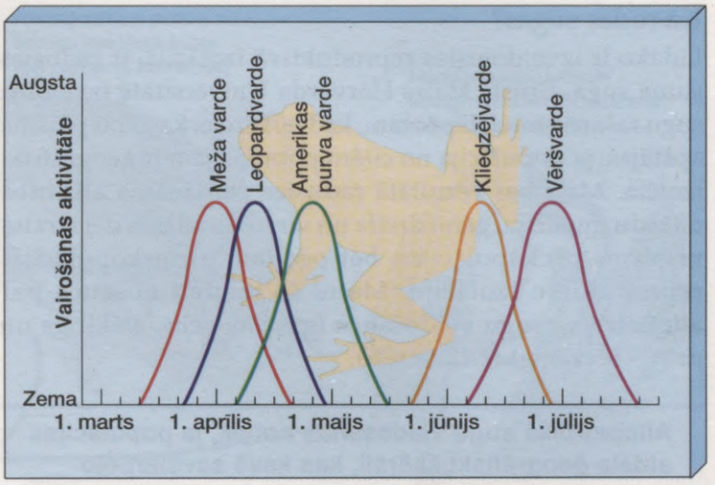
Pirmskopulācijas izolējošie mehānismi novērš vairošanās iespējamību. Dzīvesvietu izolācija, sezonālā izolācija, uzvedības izolācija un mehāniskā izolācija novērš iespēju konkrētajiem genotipiem papildināt populācijas genofondu.

Dzīvesvietu izolācija. Kad divas sugas aizņem atšķirīgas dzīvesvietas pat vienā un tajā pašā ģeogrāfiskajā apvidū, tām ir mazāka iespēja sastapties un krustoties.

2.1. tabula

Reproduktīvās izolācijas mehānismi

Izolējošais mehānisms	Piemērs
Pirmskopulācijas	
Dzīvesvietu izolācija	Sugas vienā vietā aizņem dažādas dzīvesvietas
Sezonālā izolācija	Sugas vairojas atšķirīgās sezonās vai atšķirīgās diennakts stundās
Uzvedības izolācija	Atšķiras dzīvnieku riesta uzvedība, viņi atbild uz atšķirīgu dziesmu, saucieniem, feromoniem vai citiem signāliem
Mehāniskā izolācija	Ģenitālijas nav savstarpēji piemērotas
Pēckopulācijas	
Gametu izolācija	Spermatozoīdi nevar sasniegt vai apaugļot olšūnu
Zigotas bojāeja	Notiek apaugļošanās, bet zigota neizdzīvo
Hibrīda neauglība	Hibrīds izdzīvo, bet ir neauglīgs un nevar vairoties
F_2 pielāgotība	Hibrīdi ir auglīgi, bet F_2 hibrīdiem ir pazemināta pielāgotība



2.11. attēls. Sezonālā izolācija
Itakā, Ņujorkas štatā, sastopamas piecas *Rana* ģints varžu sugas. Sugas saglabājas kā atsevišķas sugas, jo katrai no tām ir atšķirīgs visaktīvākās vairošanās periods, un, pat ja šie periodi pārklājas, sugas izmanto dažādas vairošanās vietas. Piemēram, Amerikas purva varde dzīvo kalnu strautos un ezeros, leopardvarde – līdzenumu dūksnājos, bet meža varde – mežu ezeros vai lāmās.

Tas ir viens no iemesliem, kāpēc 2.10. attēlā redzamie mušķērāji nepārojas, bet jau pieminētā sarkanā kļava un cukura kļava savstarpēji neapputeksnējas. Tropiskajos lietusmežos daudzas dzīvnieku sugas ir saistītas ar noteiktu augstumu koku lapotnē, un šādā veidā tās ir izolētas no līdzīgām sugām.

Sezonālā izolācija. Divas sugas var dzīvot vienā vietā, bet, ja tās vairojas atšķirīgos gadalaikos, tām nav iespējas krustoties. Piemēram, *Reticulitermes hageni* un *R. virginicus* ir divas termītu sugas. Pirmajai vairošanās lidojumi notiek no marta līdz maijam, bet otra suga vairojas rudenī un ziemas mēnešos. Līdzīgi visaktīvākās vairošanās periodi atšķiras vardēm, un tie attēloti 2.11. attēlā.

Uzvedības izolācija. Daudzām dzīvnieku sugām riesta uzvedības veids ļauj tēviņiem un mātītēm atpazīt citam citu. Jāņtārpiņu mātītes savas sugas tēviņus pazīst pēc to gaismas signālu veida; circeņa mātītes savas sugas tēviņus pazīst pēc to sisināšanas. Daudzi tēviņi pazīst savas sugas mātītes, sajūtot to ķīmiskos signālus, ko sauc par feromoniem. Piemēram, mātītes izdala ķīmisku sekrētu no speciāliem vēdera dziedzeriem. Šīs gaisa plūsmas nestās vielas uztver receptori, kas atrodas uz tēviņu taustekļiem.

Mehāniskā izolācija. Kad dzīvnieku dzimumorgāni vai augu zieda sastāvdaļu uzbūve nav savstarpēji piemērota, vairošanās nevar notikt. Ja augu putekšņi nav pieejami kādai apputeksnētāju grupai, tiek novērsta augu svešappute. Daudzām kukaiņu sugām ir atšķirīgi savstarpēji neatbilstoši dzimumorgāni vai arī kādas citas pazīmes, kas padara pārošanos neiespējamu. Piemēram, spāru tēviņiem ir spīlītes, kas piemērotas tikai savas sugas mātītes satveršanai.

Pēckopulācijas izolējošie mehānismi kavē pēcnācēju attīstību vai augšanu, pat ja vairošanās mēģinājums ir bijis sekmīgs. Gametu izolācija, zigotas bojāeja, hibrīdu neauglība un samazināta F_2 pielāgotība novērš iespēju noteiktiem genotipiem papildināt populācijas genofondu.

Gametu izolācija. Pat ja divu dažādu sugu gametas sastopas, tās var nesaplūst un neveidot zigotu. Vienas sugas dzīvnieku spermatozoīdi var neizdzīvot citas sugas vairošanās ceļos, vai arī olšūnas receptori atbilst tikai savas sugas spermatozoīdiem. Augiem drīksna regulē to, kuri putekšņi veiks apputeksnēšanu.

Zigotas bojāeja, hibrīdu neauglība un F_2 pielāgotība. Ja divas 2.1. attēlā minētās varžu sugas nejauši izveido hibrīdu zigotu, tās attīstība nenoris līdz galam vai arī pēcnācēji ir vārgi. Plaši pazīstams zirga un ēzeļa hibrīds ir mūlis, kas parasti ir neauglīgs – nespēj vairoties. Dažos gadījumos mūļi ir auglīgi, bet to F_2 paaudze – neauglīga. Hibrīdu neauglību var novērot arī naktssvecēm un kokvilnai.

Bioloģiskās sugas pārstāvji ir spējīgi vairoties un radīt auglīgus pēcnācējus tikai ar citiem šīs sugas īpatņiem. Ir vairāki mehānismi, kas nodrošina sugu reproduktīvo izolāciju.

Kā rodas sugas?

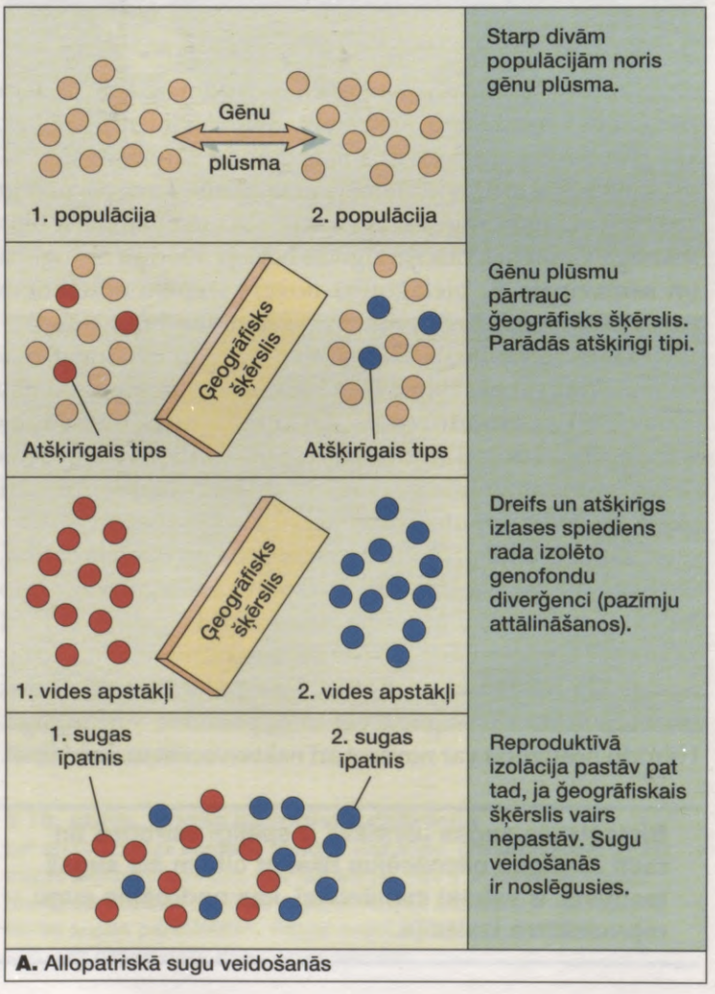
Līdzko ir izveidojusies reproduktīvā izolācija, ir radusies jauna suga. Ernsts Mairs Hārvarda Universitātē izveidoja sugu rašanās modeli pēc tam, kad novēroja, ka gēnu plūsma apstājas, ja populācija no citām populācijām ir ģeogrāfiski izolēta. Mainības rezultātā radusies pamanāma atšķirība dažādu mutāciju, gēnu dreifa un virzošās izlases dēļ izraisa vispirms pēckopulācijas, bet pēc tam pirmskopulācijas reproduktīvo izolāciju. Mairs šo modeli nosauca par **allopatrisko sugu veidošanos** (gr. *allo* – cits, atšķirīgs un *patri* – tēvzeme) (2.12. attēls).

Allopatriskā sugu veidošanās notiek, ja populācijas atdala ģeogrāfiski šķēršļi, kas kavē savstarpējo krustošanos.

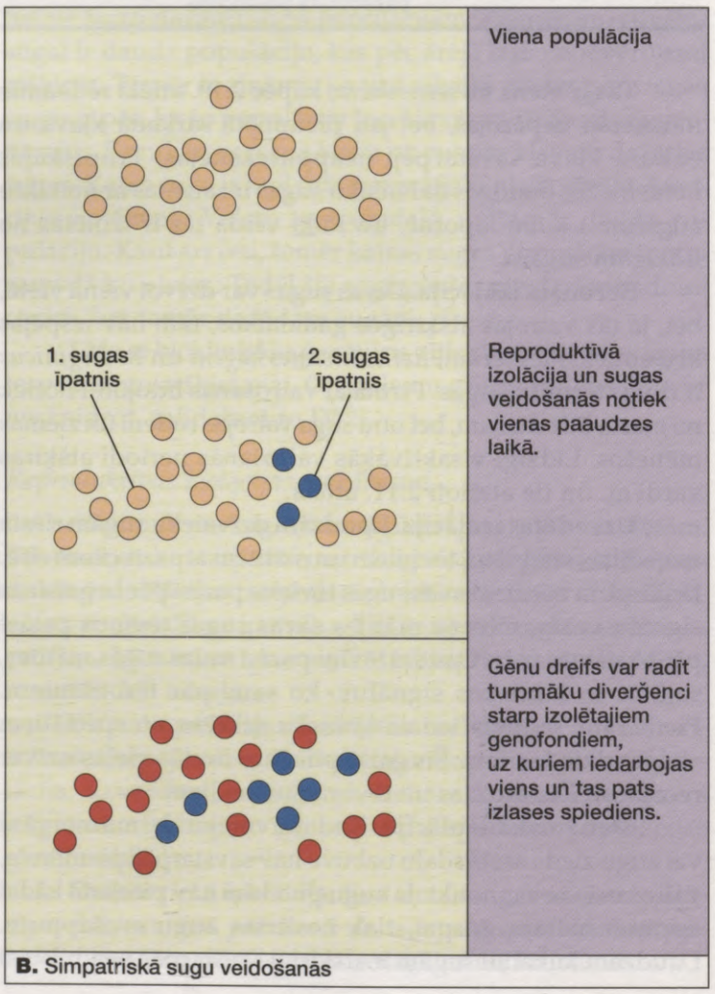
Simpatriskā sugu veidošanās (gr. *sym* – kopā un *patri* – tēvzeme) notiek tad, ja populācijā veidojas divas vai vairākas reproduktīvi izolētas grupas bez iepriekšējas ģeogrāfiskās izolācijas. Vislabāk šo sugu veidošanās tipu var novērot augu valstī, kur to var izraisīt poliploīdija. Šajā gadījumā vienas sugas atsevišķiem augiem novērojama hromosomu skaita palielināšanās. Simpatriskā sugu veidošanās var notikt, veidojoties divu sugu hibrīdiem, kam seko hromosomu skaita palielināšanās. Poliploīdi augi ir reproduktīvi izolēti ar pēckopulācijas mehānismu. Tie var krustoties tikai ar citiem sev līdzīgiem poliploīdiem, bet atpakaļkrustojumi ar diploīdajām vecāku formām ir neauglīgi.

Simpatriskā sugu veidošanās notiek, ja atsevišķas populācijas īpatņiem attīstās ģenētiskas atšķirības, kas kavē to krustošanos ar vecāku genotipu.

2.12. attēlā salīdzināta allopatriskā un simpatriskā sugu veidošanās. Allopatriskā sugu veidošanās ir visbiežāk izplatītais sugu veidošanās ceļš.



A. Allopatriskā sugu veidošanās

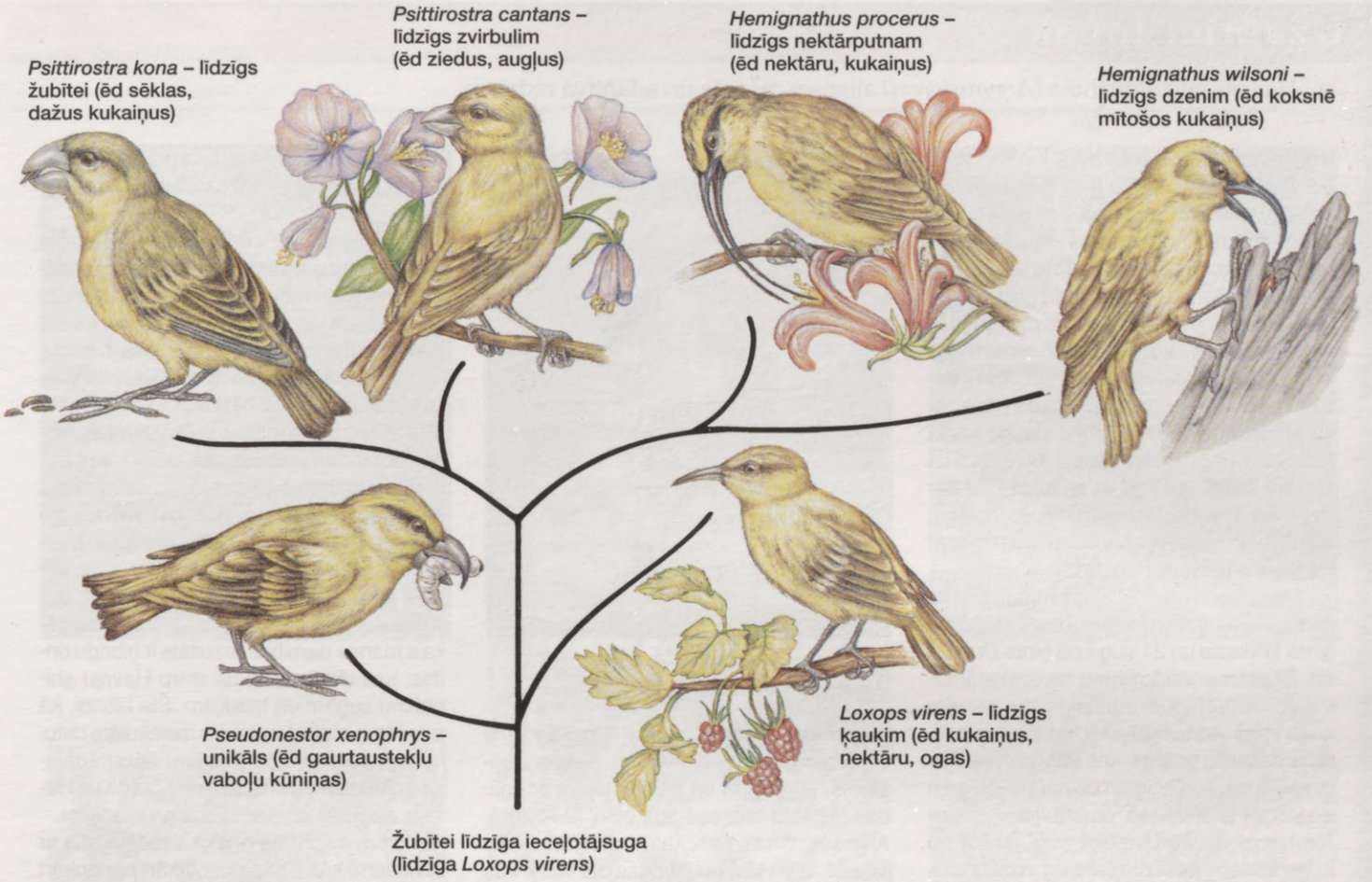


B. Simpatriskā sugu veidošanās

2.12. attēls. Allopatriskās un simpatriskās sugu veidošanās salīdzinājums

A. Allopatriskā sugu veidošanās notiek pēc tam, kad ģeogrāfisks šķērslis novērš gēnu plūsmu starp populācijām, kas sākotnēji piederējušas vienai sugai.

B. Simpatriskā sugu veidošanās notiek, ja populācijas īpatņiem veidojas tūlītēja reproduktīvā izolācija bez jebkāda sākotnēja ģeogrāfiskā šķēršļa.



2.13. attēls. Havaju nektārputnu adaptīvā radiācija
Vairāk nekā 20 sugu ir evolucionējušas no vienas žubītei līdzīgas putnu sugas, kas apmetās Havaju salās. Šī ilustrācija attēlo tikai sešas visatšķirīgāk pielāgotās formas.

Adaptīvajā radiācijā veidojas daudzas sugas

Adaptīvā radiācija ir straujš jaunu sugu veidošanās process, kurā no vienas izejas sugas veidojas daudzas sugas, kas izplatās un pielāgojas atšķirīgiem dzīves apstākļiem. Tiek uzskatīts, ka 13 Galapagu salu žubīšu sugas ir izveidojušās no kontinentā sastopamas žubītes, kas izplatījās salās. Vecāku sugas izplatībai paplašinoties, uz dažādām salām izveidojās meitpopulācijas. Šīs meitpopulācijas tika pakļautas dibinātājefektam un dabiskajai izlasei. Dabiskās izlases dēļ katra populācija pielāgojās konkrētajai dzīvesvidei savā salā. Laika gaitā katra populācija kļuva tik genotipiski atšķirīga, ka mūsdienās, ja gadījuma dēļ tās dzīvo uz vienas un tās pašas salas, tās nekrustojas un tātad pieder atsevišķām sugām. Ir pierādījumi, ka žubītēm riesta laikā knābja forma kalpo par pazīšanās zīmi, lai pazītu savas sugas īpatņus. Noraidījums pielūdzējam ar nepareizo knābja formu ir pirmskopulācijas izolējošais mehānisms – uzvedības izolācija.

Havaju salās ir arī liela nektārputnu daudzveidība, kas veidojusies no viena dadzītim līdzīga senča, kas ieradies no Āzijas vai Ziemeļamerikas apmēram pirms 5 miljoniem gadu. Mūsdienās nektārputniem knābju forma un lielums variē atkarībā no viņu barības objektiem, piemēram, sēklām, augļiem, ziediem un kukaiņiem (2.13. att.). Adaptīvā radiācija ir novērojama arī Havaju salu augiem, kā tas aprakstīts 36.–37. lappusē.

Pēc tam kad suga pakļauta adaptīvajai radiācijai, izveidojas daudzas jaunas sugas, kas pielāgojušās dzīvei atšķirīgās dzīves vidēs.

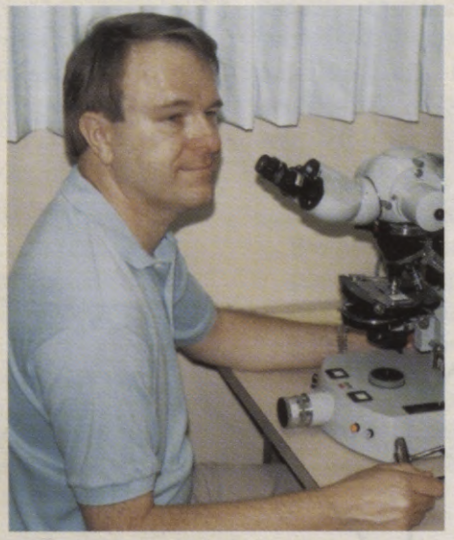
Uzziniet tuvāk

Havaju salu ahinahina *(Argyroxipium)* alianses rašanās un adaptīvā radiācija

Kad es studēju Kalifornijas Universitātē Deivisā, es pētīju augu ģinti *Calycadenia*, kura pieder pie galvenokārt Kalifornijā sastopamas augu grupas madijām. Es zināju, ka madijas un augi no ahinahinu alianses (alianse – tuvu radniecīgu sugu grupa) pieder pie vienas un tās pašas lielās augu dzimtas, ko sauc par asteru jeb kurvjziežu *(Asteraceae)* dzimtu. Bet Šervina Karlkvista anatomijas pētījumi parādīja, ka ahinahinas un madijas ir daudz tuvāk radniecīgi augi. Ahinahinas ir atrastas tikai Havaju salās, un, kad es sāku strādāt par docētāju Havaju Universitātē, es nolēmu savākt liecības, kas varētu apstiprināt Karlkvista pētījumu rezultātus.

Aliansei pieder 28 augu sugas: piecas ģints *Argyroxiphium* sugas, divas sugas no ģints *Wilkesia* un 21 suga no ģints *Dubautia*. Šī alianse veido vienu no uzskatāmākajiem adaptīvās radiācijas piemēriem augu valstī. Adaptīvā radiācija raksturo daudzas salveida grupas, kas evolucionējušas izolācijā no radniecīgām un neradniecīgām sugām. Pie alianses pārstāvjiem pieder formas ziņā daudzveidīgi augi, sākot no klājeniskiem puskrūmiem un rozetveida krūmiem un beidzot ar lieliem kokiem un kāpelējošiem vīteņaugiem (liānām). Tie aug tik daudzveidīgās augtenēs – lavas laukos, sausos krūmājos, sausos mežos, mitros mežos, slapjos mežos un purvos. Šīs augtenenes atrodas no 75 līdz 3800 metriem virs jūras līmeņa, bet ikgadējie nokrišņi tur svārstās no 38 līdz 1230 cm.

Alianses pārstāvjiem, kas aug gan mitros, gan slapjos apstākļos, parasti



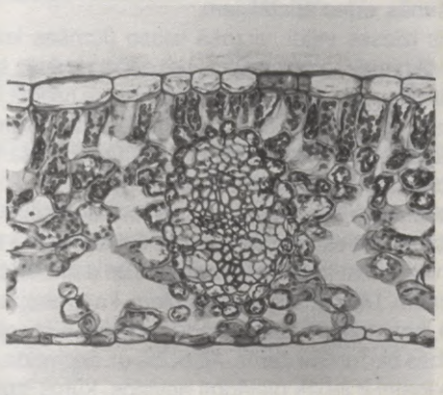
Džeralds D. Karrs
Havaju Universitāte Manoā

raksturīgas atšķirības, kas ir pielāgojumi cīņai par gaismu, piemēram, lielāks augstums, stīgošana un plānas lapas ar salīdzinoši lielu virsmas laukumu (2.A. att.). Alianses pārstāvjiem, kas aug klajās, daudz sausākās vietās, raksturīgas pazīmes, kas saistītas ar ūdens saglabāšanu, piemēram, samazināts garums, uzbiezinātas lapas ar salīdzinoši nelielu virsmas laukumu un blīviem iekšējiem audiem (2.B. att.). Ģints *Argyroxiphium* sugām ir vairāk vai mazāk sukulentas lapas ar blīviem audiem un ailēm, kas pildītas ar ūdeni saistošu želejveida pektīna masu (2.C. att.). Šīs adaptācijas palīdz sugām izdzīvot ekstrēmos ūdens trūkuma apstākļos tām raksturīgajās augtenēs – skābajos purvos, kur lielākoties ir skābekļa deficīts, vai sausajās kalnu augtenēs.

Es hibrīdiem citoģenētiski analizēju hromosomu pāru veidošanos mejozes gaitā, lai noteiktu radniecību starp ahinahinām un madijām. Es meklēju un atradu daudz dabisku starpsugu un starpģinšu hibrīdu, kas veidojušies starp dažādām alianses sugām. Daudzi šādi hibrīdi tika veidoti mākslīgi. Katrs jaunatklātais vai izveidotais hibrīds potenciāli sniedza informāciju, kas aizpildīja robu intriģējošajā un mistiskajā dabiskās evolūcijas mīklā, bet dažreiz šie atradumi kopainu vēl tālāk sarežģīja. Pašlaik, pēc gandrīz 20 gadiem kopaina, pilnībā joprojām nav iegūta. Iespējams, vissatraucošākais un personīgi visnozīmīgākais manas darbības rezultāts ir hibrīdu rindas, kas tika izveidotas starp Havaju ahinahinu sugām un madijām. Šie hibrīdi, kā arī pieaugošais daudzums molekulāro datu, ko ieguvis viens no maniem līdzstrādniekiem Brūss Boldvins, skaidri norāda uz Havaju alianses izveidošanos no madijām.

Man sagādāja prieku strādāt kopā ar cilvēkiem, kas ir tikpat zinātkāri par apkārt esošo dabu, cik es, un kas veic zinātnisko darbu vienīgi personīgās apmierinātības dēļ. Mani zinātniskie pētījumi palīdz ieskatīties brīnišķīgajā dabas daudzveidības noslēpumā un nozīmībā. Papildu satraukumu rada kopīgi atminēts dabas noslēpums, ko citi, iespējams, nav noskaidrojuši. Tādēļ man mācīšana un zinātniskais darbs ir pašsaprotamas vērtības un patīkama nodarbošanās.

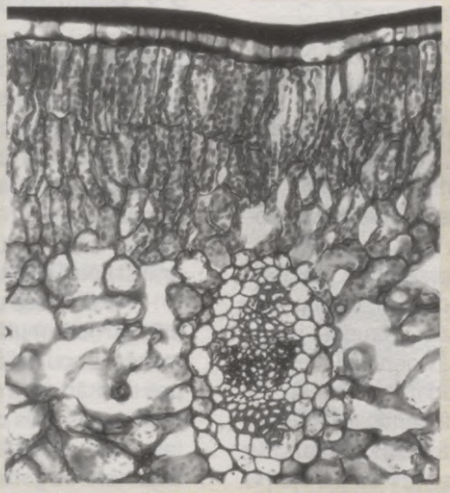




200 µm

2.A. attēls. *Dubautia knudsenii* ir pielāgojusies augšanai mitrā augtenē.
Lapas šķērsgriezumā ir irdeni audi, bet apakšējai un augšējai epidermai ir plāna kutikula.

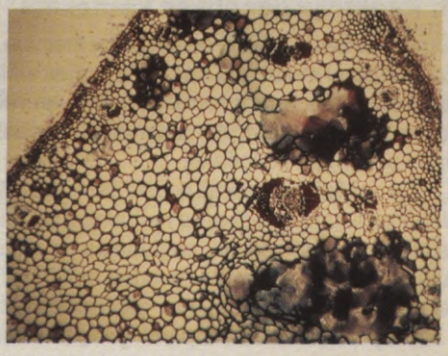




200 µm

2.B. attēls. *Dubautia menziesii* ir pielāgojusies augšanai atklātākās, daudz sausākās augtenēs.
Lapa ir bieza un ar blīvi izvietotiem audiem un ļoti labi attīstītu augšējās un apakšējās epidermas kutikulu (apakšējā epiderma nav attēlota).





1 mm

2.C. attēls. *Argyroxiphium kauense* ir piemērojusies augšanai apstākļos, kuros trūkst ūdens.
Šķērsgriezumā var redzēt blīvus audus ar lielām ailēm, kurās ir ūdeni uzkrājošais starpšūnu pektīns, kas atrodas pretim vadaudu kūlīšiem.

Pārskats

Katrā populācijā novērojama mainība, vienalga, vai tā ir tuberkulozi izraisošu baktēriju populācija kādā pilsētā vai viena uzkalniņa mārpuķītes, vai vāveres jūsu mājas tuvākajā apkaimē. Mainību rada mutācijas, bet sugām, kas vairojas dzimumvairošanās ceļā, – arī alēļu un hromosomu rekombinācijas, kas veidojas mejozē un apaugļošanās procesā.

Populāciju ģenētikas pētījumi, kuros izmanto Hārdija–Veinberga likumu, pierāda, kā evolucionārie pētījumi no subjektīviem var kļūt par samērā objektīviem. Pārmaiņas genofonda alēļu sastopamības biežumā norāda un apliecina, ka evolūcija notiek. Ir vairāki evolucionāro pārmaiņu izraisītāji, un dabiskā izlase ir viens no tiem.

Populāciju ģenētika rada bioloģisko sugas definīciju: vienas sugas īpatņi var sekmīgi savstarpēji vairoties, bet vairošanās ar jebkuras citas sugas īpatņiem ir nesekmīga. Šis kritērijs ļauj spriest par to, kad ir izveidojusies jauna suga. Sugu veidošanās parasti sākas tad, kad divas populācijas kļūst ģeogrāfiski izolētas. Piemēram, ja plaša meža teritorija applūst un rada vāveru populācijas sadalīšanos, ar laiku izveidojas divas ģenētiski atšķirīgas populācijas, kas ir ģeogrāfiski izolētas viena no otras. Ja teritorija rietumos no applūdušās teritorijas ir mazliet sausāka nekā austrumos no tās, pēc kāda laika katra populācija būs pielāgojusies saviem dzīves apstākļiem. Rezultātā divas populācijas var kļūt ģenētiski tik atšķirīgas, ka, pat īpatņiem no abām populācijām sastopoties, tie nevarēs radīt auglīgus pēcnācējus. Tā kā gēnu plūsma starp abām populācijām nav iespējama, vāveres varēs uzskatīt par atsevišķām sugām. Šādā procesā var veidoties arī vairākas sugas, kā tas bijis ar Darvina žubītēm, kurām no kopēja senča ir izveidojušās trīspadsmit sugas.

Kopsavilkums

2.1. Evolūcija ģenētikas kontekstā

Populācijas īpatņu starpā novērojama mainība. Sākotnējais mainības cēlonis ir gēnu mutācijas, kas rada jaunas alēles, hromosomu mutācijas, kas alēles hromosomā pārkārto, un rekombinācijas, kas var noteiktas alēles iekļaut vienā genotipā. Lielākā daļa evolucionāri nozīmīgo pazīmju ir poligēnas.

Visi dažādie populācijā esošie gēni veido tās genofondu. Hārdija–Veinberga likums nosaka, ka nemainīgs genofonda alēļu sastopamības biežums (frekvences) saglabājas no paaudzes paaudzē, ja saglabājas noteikti apstākļi – nerodas mutācijas, nav gēnu plūsmas, ir tikai nejauša krustošanās, nav gēnu dreifa un nedarbojas izlase. Tā kā šādi apstākļi ir reti sastopami, genofonda sastopamības biežuma pārmaiņas ir ļoti iespējamas. Kad genofonda sastopamības biežums pārmainās, notiek evolūcija. Novirzes no Hārdija–Veinberga likuma ļauj noteikt, kad noris evolūcija.

Evolucionāro pārmaiņu izraisītāji ir mutācijas, nerandomizēta pārošanās, gēnu plūsma, gēnu dreifs un dabiskā izlase. Viena gēna mutāciju biežums vienā paaudzē ir zems. Tā kā katram indivīdam ir daudz gēnu un populācijā ir daudz indivīdu, mutāciju biežums populācijā ir nozīmīgs jaunu alēļu avots. Genotipiskām atšķirībām evolucionāra nozīme var būt vienīgi līdz ar vides pārmaiņām. Nerandomizēta pārošanās ir tad, jad krustojas radniecīgi īpatņi (inbrīdings), kā arī tad, ja notiek asortatīvā (ar kādu pazīmi saistītā) pārošanās. Abos gadījumos palielinās homozigotisko īpatņu skaits. Gēnu plūsmu novēro, kad īpatņi (dzīvnieki) vairošanās nolūkā migrē uz citu populāciju, kā arī gametas un sēklas (augiem) tiek pārnestas uz citu populāciju. Pastāvīga gēnu plūsma starp divām populācijām samazina atšķirības starp to genofondiem. Gēnu dreifu novēro, kad alēļu sastopamības biežums (frekvences) pārmainās nejaušību rezultātā, tas ir, parauga kļūdas dēļ. Gēnu dreifa rezultātā divu izolētu populāciju genofondi kļūst ļoti atšķirīgi, jo dažas alēles tiek zaudētas, bet citas savukārt nostiprinātas. Īpaši uzskatāms gēnu dreifs ir gadījumos, ja atsevišķi dibinātāji dod aizsākumu jaunai populācijai, kā arī pudeles kakla efekta gadījumā, kad noris intensīvs inbrīdings.

2.2. Pielāgošanās notiek dabiskā ceļā

Dabiskās izlases procesu var raksturot no populāciju ģenētikas viedokļa. Genofonda sastopamības biežumu pārmaiņu rezultātā novērojama pielāgošanās vides apstākļiem.

Ir novērojami trīs izlases veidi: virzošā izlase (tumšas krāsas bērzu sprīžmeši dominē piesārņotos apvidos, bet gaišas krāsas sprīžmeši dominē nepiesārņotos apvidos), stabilizējošā izlase (vidējā jaundzimušo bērnu masa ir tuva izdzīvošanai optimālajai jaundzimušo masai) un pārtrauktā izlase (*Capea* gliemežu mainību izraisa ģeogrāfiski plašā izplatība, kad izlase sekmē dažādību).

Neskatoties uz pastāvīgu dabisko izlasi, mainība saglabājas. Pastāvīgi rodas mutācijas un notiek rekombinācijas. Gēnu plūsma starp mazām populācijām var ienest tajās jaunas alēles, un dabiskā izlase pati dažkārt rada mainību. Diploīdiem organismiem, kas vairojas dzimumvairošanās ceļā, heterozigoti īpatņi ir tādu recesīvo alēļu glabātava, kuru sastopamības biežums ir zems. Attiecībā uz sirpjveida anēmiju heterozigotiskie īpatņi ir labāk pielāgoti apvidos, kuros izplatīta malārija, un tādējādi populācijā tiek uzturēts arī noteikts homozigotisko īpatņu skaits.

2.3. Sugu veidošanās

Sugas bioloģiskā definīcija norāda, ka vienas sugas populācijas krustojas tikai savā starpā un ir reproduktīvi izolētas no citām sugām. Reproduktīvās izolācijas mehānismi novērš gēnu plūsmu starp sugām. Pirmskopulācijas izolējošie mehānismi (dzīvesvietu, sezonālā, uzvedības un mehāniskā izolācija) novērš iespēju pāroties. Pēckopulācijas izolējošie mehānismi (gametu izolācija, zigotu bojāeja, hibrīdu neauglība un F_2 pielāgotība) novērš hibrīdu iespēju izdzīvot un vairoties.

Allopatriskās sugu veidošanās gaitā ģeogrāfiskā izolācija izveidojas pirms reproduktīvās izolācijas. Simpatriskās sugu veidošanās gaitā nav nepieciešama ģeogrāfiskā izolācija, lai veidotos reproduktīvā izolācija. Poliploīdija augu valstī ir šādas sugu veidošanās piemērs.

Adaptīvā radiācija, kuras piemērs ir Havaju nektārputni, ir allopatriskās sugu veidošanās gadījums. Tas notiek tāpēc, ka jaunajām sugām ir iespēja pielāgoties jaunajām dzīvesvietām.

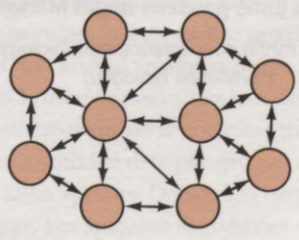
Pārbaudiet sevi

1. Kādi ir mainības cēloņi diploīdiem organismiem, kas vairojas dzimumvairošanās ceļā? 12. lpp.
2. Kāds ir Hārdija–Veinberga likums? 13.–14. lpp.
3. Nosauciet un raksturojiet piecus evolucionāro pārmaiņu cēloņus! 15.–17. lpp.
4. Kas ir dibinātāja efekts? Kas ir pudeles kakla efekts? 17. lpp.
5. Izmantojot jaunākās zināšanas, raksturojiet posmus, kuros dabiskās izlases ceļā notiek pielāgošanās! 18. lpp.
6. Izmantojot piemērus, salīdziniet virzošo, stabilizējošo un pārtraukto izlasi! 18.–20. lpp.
7. Nosauciet piemērus, kā populācijā tiek uzturēta mainība! 21. lpp.
8. Kāda ir sugas bioloģiskā definīcija? 22. lpp.
9. Kādi ir reproduktīvās izolācijas mehānismi? Nosauciet gan pirmskopulācijas, gan pēckopulācijas izolācijas mehānismu piemērus! 22.–23. lpp.
10. Kā notiek allopatriskā sugu veidošanās? Kā notiek simpatriskā sugu veidošanās? 24. lpp.
11. Kas ir adaptīvā radiācija? Kā to raksturo Galapagu žubītes un Havaju nektārputni? 25. lpp.

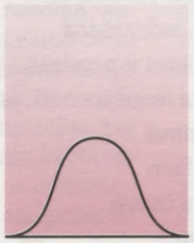
Tests

Atrodiet vienu pareizo atbildi uz katru jautājumu!

1. Ņemot vērā Hārdija–Veinberga vienādojumu, 21 % īpatņu populācijā ir homozigoti dominanti, 50 % ir heterozigoti, 29 % ir homozigoti recesīvi īpatņi. Cik procentu homozigotu recesīvu īpatņu būs nākamajās paaudzēs?
   A. 21 %
   B. 50 %
   C. 29 %
   D. 25 %
2. Kāds ir visticamākais izskaidrojums tam, ka cilvēku populācijā procentuāli vairāk nekā citu sugu populācijās ir īpatņi ar kādu ģenētisku slimību?
   A. Gēnu plūsma
   B. Dabiskā izlase
   C. Gēnu dreifs
   D. Visas atbildes ir pareizas
3. Kāds ir izskaidrojums tam, ka labāk pielāgoto īpatņu pēcnācēji nākamajā paaudzē veido lielāku proporciju?
   A. Mutācijas
   B. Gēnu plūsma
   C. Dabiskā izlase
   D. Gēnu dreifs
4. Ar ko ir saistīta pastāvīga sirpjveida anēmijas sastopamība atsevišķās Āfrikas daļās, kurās sastopama arī malārija?
   A. Ar pastāvīgām mutācijām
   B. Ar gēnu plūsmu starp populācijām
   C. Ar heterozigotu pielāgotību
   D. Ar disruptīvo izlasi
5. Kas no minētā ir nepieciešams, lai notiktu dabiskā izlase?
   A. Mainība
   B. Diferenciālā vairošanās
   C. Pārmaiņu iedzimšana
   D. Visas atbildes ir pareizas
6. Kam ir lielāka iespēja notikt, ja populācija ir maza?
   A. Gēnu plūsmai
   B. Gēnu dreifam
   C. Dabiskajai izlasei
   D. Mutācijām
7. Kura ir sugas bioloģiskā definīcija?
   A. Uzbūves un attīstības atšķirības starp divām organismu grupām
   B. Divu organismu grupu ģeogrāfiskā izplatība
   C. Atšķirības divu organismu grupu pielāgotībā
   D. Divu organismu grupu reproduktīvā izolācija
8. Kurš no nosauktajiem ir pirmskopulācijas izolējošais mehānisms?
   A. Dzīvesvietu izolācija
   B. Sezonālā izolācija
   C. Gametu izolācija
   D. Pareizā atbilde ir A un B
9. Naktstauriņu tēviņi savas sugas mātītes pazīst pēc ķīmiskajiem signāliem – feromoniem. Kāda veida izolācija ir šis piemērs?
   A. Gametu izolācija
   B. Dzīvesvietu izolācija
   C. Uzvedības izolācija
   D. Mehāniskā izolācija
10. Kas rodas allopatriskās sugu veidošanās gaitā, bet nav nepieciešams simpatriskās sugu veidošanās laikā?
    A. Reproduktīvā izolācija
    B. Ģeogrāfiskā izolācija
    C. Sākotnēja hibridizācija
    D. Atšķirības starp tēviņiem un mātītēm
11. Daudzas Galapagu salu žubīšu sugas ir pielāgojušās atšķirīgiem barības objektiem. Kas ir tā iemesls?
    A. Gēnu plūsma
    B. Adaptīvā radiācija
    C. Simpatriskā sugu veidošanās
    D. Visas atbildes ir pareizas
12. Shēmā atainota viena suga. (A) Pierakstiet, kur ir populācija un kur – gēnu plūsma! (B) Kādas pārmaiņas nepieciešamas zīmējumā, lai tas raksturotu divas sugas?



13. Grafikos attēlota fenotipu izplatība populācijā. Pēc (A) uzzīmējiet citu grafiku, kas parāda, ka notikusi pārtrauktā izlase, pēc (B) uzzīmējiet grafiku, kas raksturo stabilizējošās izlases rezultātus, bet pēc (C) – virzošās izlases rezultātus!



A. Pārtrauktā izlase



B. Stabilizējošā izlase



C. Virzošā izlase

Ģenētikas papilduzdevumi*

1. Kāds ir recesīvā fenotipa procentuālais daudzums populācijā, ja $p = 0{,}36$?
2. Kāds ir dominantā fenotipa procentuālais daudzums, ņemot vērā Hārdija–Veinberga likumu, ja 1 % indivīdu cilvēku populācijā ir recesīvais fenotips?
3. Četri procenti no zirņu populācijas augiem ir ar īsu stumbru (recesīvā pazīme). Kāds ir recesīvās alēles un kāds ir dominantās alēles sastopamības biežums? Kāds ir genotipa sastopamības biežums šajā populācijā, ņemot vērā Hārdija–Veinberga likumu?

Papildjautājumi

1. *Evolucionārajam procesam ir ģenētisks pamats.*
   Kāpēc evolūcijas process labāk saskan ar iedzimtības korpuskulāro teoriju, nevis ar pazīmju sajaukšanās teoriju?
2. *Izlases gaitā populācijā uzkrājas adaptīvas pazīmes.*
   Izskaidrojiet šo apgalvojumu, izmantojot zināšanas par izlasi indivīdu līmenī!
3. *Dzīvības daudzveidība ir saistīta ar sugu veidošanās procesu.*
   Kāda nozīme ir augstāka ranga taksoniem (klasifikācijas kategorijām), ja dabā veidojas tikai jaunas sugas?

Multimediju izmantošana

Tēmu par evolūciju palīdzēs apgūt šādi multimediji.



Interneta izmantošana

Šo nodaļu jums palīdzēs apgūt Maderas mājas lapa

http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader
(izvēlieties bioloģiju)

* Ģenētikas papilduzdevumu atbildes atrodamas pielikumā A.

Jēdzienu izpratne

Adaptīvā radiācija 25. lpp.
Allopatriskā sugu veidošanās 24. lpp.
Asortatīvā pārošanās 16. lpp.
Dibinātāja efekts 17. lpp.
Genofonds 13. lpp.
Gēnu dreifs 16. lpp.
Gēnu plūsma 16. lpp.
Hārdija–Veinberga likums 14. lpp.
Nerandomizētā pārošanās 16. lpp.
Pārtrauktā izlase 20. lpp.
Pēckopulācijas izolējošais mehānisms 23. lpp.
Pielāgotība 18. lpp.
Pirmskopulācijas izolējošais mehānisms 22. lpp.
Populācija 12. lpp.
Pudeles kakla efekts 17. lpp.
Simpatriskā sugu veidošanās 24. lpp.
Stabilizējošā izlase 20. lpp.
Suga 22. lpp.
Sugu veidošanās 22. lpp.
Virzošā izlase 18. lpp.

Izvēlieties definīcijām atbilstošos jēdzienus!

A. _____ – dabiskās izlases rezultāts, kad galējie fenotipi ir izzuduši, bet saglabājies vidējais fenotips.

B. _____ – anatomiska vai fizioloģiska atšķirība starp divām sugām, kas novērš sekmīgu tālāko vairošanos pēc tam, kad notikusi pārošanās.

C. _____ – nejaušu notikumu izraisītas pārmaiņas populācijas ģenētiskajā struktūrā; nozīmīgas nelielās populācijās vai gadījumos, kad pārojas tikai daži īpatņi.

D. _____ – liela skaita sugu evolūcija no kopēja senča.

E. _____ – vienas sugas indivīdu grupa, kas apdzīvo noteiktu teritoriju un kam ir kopējs genofonds.

F. _____ – taksonomiska kategorija, kuras pārstāvjiem ir kopēja uzbūve un kas var sekmīgi vairoties tikai savā starpā.

G. _____ – likums, kas nosaka, ka alēļu sastopamības biežums saglabājas nemainīgs, ja eksistē zināmi nosacījumi, piemēram, nejauša krustošanās; nenotiek nekādas pārmaiņas un evolūcija.

H. _____ – dabiskās izlases iznākums, kad par vidējo fenotipu priekšroku iegūst galējie fenotipi, veidojot vairāk par vienu atšķirīgu formu.

I. _____ – jaunas sugas veidošanās evolūcijas gaitā (izcelsme ar modifikācijām).

J. _____ – gēnu apmaiņa starp divām populācijām inbrīdinga rezultātā.

Dzīvības rašanās un attīstība

3. NODAĻA

Nodaļas saturs

3.1. Dzīvības rašanās

- Ķīmiskās evolūcijas gaitā no atmosfēras gāzēm veidojās nelielas organiskās molekulas, bet no tām tālāk attīstījās makromolekulas un pirmšūnas (protošūnas). 43. lpp.
- Sākotnēji atmosfērā nebija skābekļa, un pirmā šūna bija anaeroba un heterotrofa. 45. lpp.
- Pirmo šūnu ietvēra membrāna, un tai bija replicēšanās sistēma – DNS, RNS un proteīni. 45. lpp.

3.2. Dzīvības vēsture

- Fosilie atradumi mums ļauj spriest par dzīvības attīstības gaitu, kas tiek iedalīta pirmskembrijā, paleozoja, mezozoja un kainozoja ērā. 48. lpp.
- Senākās ir prokariotu fosilijas, kuru aptuvenais vecums ir 3,5 miljoni gadu. Pirmskembrijā savu evolūciju sāka eikarioti un dzīvības daudzšūnu formas, bet prokarioti attīstījās jau 1,5 miljardus gadu iepriekš. 48. lpp.
- Sarežģītas daudzšūnu jūras bezmugurkaulnieku un mugurkaulnieku fosilijas veidojušās, sākot no paleozoja ēras kembrija perioda. Uz sauszemes šajā laikā dumbrāju mežus veidoja vaskulārie sporaugi, tajos dzīvoja kukaiņi un abinieki. 51. lpp.
- Mezozoja ēra bija cikadeju un rāpuļu laikmets. Zīdītāji un ziedaugi evolucionēja kainozoja ēras laikā. 53., 55. lpp.

3.3. Faktori, kas ietekmē evolūciju

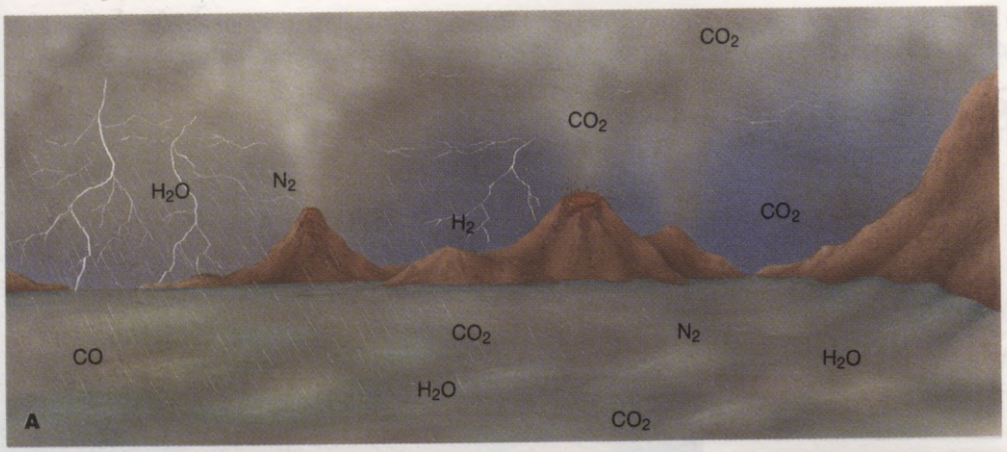
- Dzīvības formu agrāko un mūsdienu izplatību var izskaidrot ar kontinentu dreifu. Tas varēja sekmēt arī vairākus dzīvības attīstības gaitā zināmos masveida izmiršanas procesus. 56., 59. lpp.
- Jaunie fosilie atradumi liecina, ka ir pastāvējuši ilgstoši laika periodi bez jebkādām pārmaiņām un tiem sekojušas relatīvi ātras evolucionāras pārmaiņas, to vidū arī sugu veidošanās. 61. lpp.



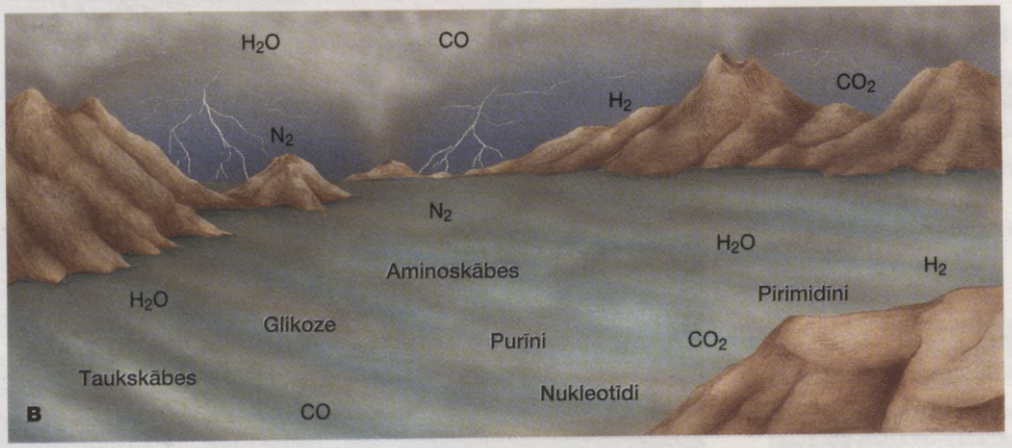
Plēsīgs dinozaurs *(Deinonychus)*

Viens no aizraujošākajiem un biežāk uzdotajiem jautājumiem, kas rodas gan nespeciālistiem, gan zinātniekiem, ir – no kurienes radusies dzīvība? Kaut arī vēstures gaitā ir piedāvātas dažādas atbildes, mūsdienās plašāk pieņemtā ir hipotēze, kas apgalvo, ka okeānos neorganisko vielu molekulas savienojās, lai veidotu organiskās molekulas un no tām – primitīvas šūnas. Šīs visagrīnākās šūnas, iespējams, parādījās aptuveni pirms 3,5 miljardiem gadu. Apmēram pirms diviem miljardiem gadu radās fotosintēze, kuras gaitā izdalījās skābeklis un sākās atmosfēras ozona slāņa veidošanās. Ozona slānis aizsargāja Zemes virsmu pret intensīvu ultravioleto starojumu, un tā rezultātā dzīvība pārvietojās no ūdens uz sauszemi. Īsi pēc tam (vismaz ģeoloģiskajos laika mērogos) strauji palielinājās daudzšūnu dzīvības formu daudzveidība.

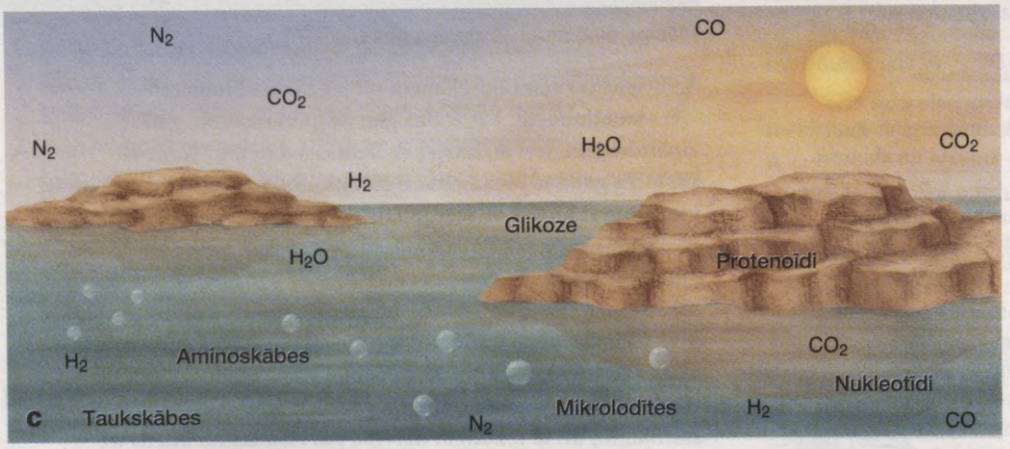
Kopš dzīvības pirmsākumiem miljoniem sugu ir radušās, pārmainījušās un izmirušas. Ja mēs varētu novilkt attīstības līnijas visām sugām, kas jebkad rotājušas mūsu planētu, kopā tās atgādinātu biezu krūmu ar neskaitāmiem zariem, kas savijas cits ar citu. Dažas attīstības līnijas ir nocirstas tuvu pie pamata, norādot, ka izmiršana notikusi drīz pēc grupas rašanās, citas turpinās atšķirīgus laika sprīžus. Dažas, kas turpinās līdz mūsdienām, ir grupas, kas spējušas saglabāties relatīvi nemainīgā veidā kopš to rašanās. Citas attīstības līnijas ir sadalījušās, veidojot divas vai vairākas jaunas grupas. Pilnīgi skaidrs, ka dzīvības attīstības vēsturē ir daudz likumu un pagriezienu.



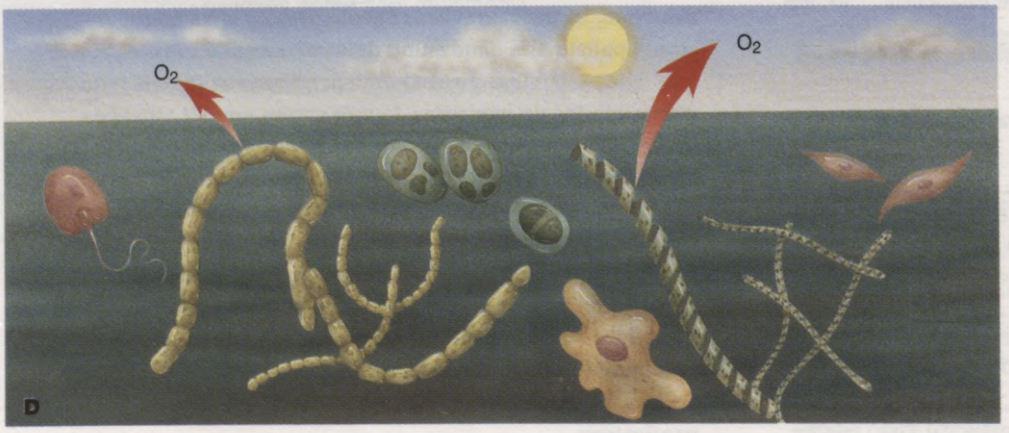
A. Sākotnēji atmosfēra sastāvēja no tām gāzēm, arī ūdens tvaikiem, kas izdalījās no vulkāniem; tā kā ūdens tvaiki atdzisa, dažas gāzes kopā ar lietu nokļuva okeānā.



B. Pieejamā enerģija no vulkānu izvirdumiem un zibens ļāva gāzēm izveidot vienkāršas organiskās molekulas.



C. Aminoskābes, kas tika izskalotas uz klinšainajiem krastiem, varēja polimerizēties par polipeptīdiem (protenoīdiem), kas, atkal nokļūstot ūdenī, izveidoja mikrolodītes.



D. Beidzot izveidojās dažāda veida prokarioti, bet vēlāk – eikarioti. Daži no prokariotiem bija skābekli veidojoši fotosintezētāji.

3.1. att. Iespējamā dzīvības rašanās gaita

3.1. Dzīvības rašanās

Mūsdienās vairs neviens netic, ka dzīvība rodas spontāni no nedzīvā, un saka, ka "dzīvais rodas no dzīvā". Bet, ja tas ir tā, kā radās pirmā dzīvības forma? Pašai pirmajai dzīvajai būtnei taču bija jāveidojas no nedzīvām vielām. Vai ir bijusi tāda ķīmisko savienojumu sarežģītības palielināšanās? Vai varēja notikt tāda **ķīmiskā evolūcija**, kāda attēlota 3.1. attēlā, un veidot pirmās šūnas vai šūnu uz sākotnējās Zemes?

Saule un planētas, ieskaitot Zemi, iespējams, veidojušās vairāk nekā pirms 10 miljardiem gadu no putekļu daļiņu un iežu drumslu sakopojumiem. Apmēram pirms 4,6 miljardiem gadu bija izveidojusies Saules sistēma. Gravitācijas enerģijas un radioaktivitātes radītais ievērojamais siltums izraisīja Zemes noslāņošanos vairākos slāņos. Smagākie dzelzs un niķeļa atomi veidoja izkusušu, šķidru kodolu, bet blīvie silikātu minerāli – pusšķidro apvalku. Vulkāniskās lavas virzīšanās augšup izveidoja pirmo garozu.

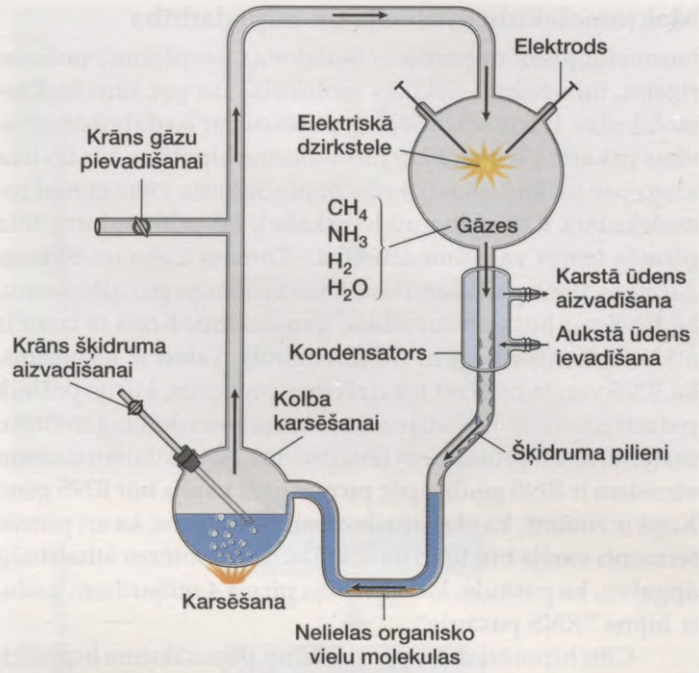
Atmosfēras veidošanās

Zemes lielums ir tāds, ka gravitācijas lauks ir pietiekami spēcīgs, lai varētu pastāvēt atmosfēra. Ja Zeme būtu mazāka un vieglāka, atmosfēras gāzes varētu aizplūst izplatījumā. Zemes **pirmatnējā atmosfēra** nebija tāda pati, kāda tā ir pašlaik. Uzskata, ka pirmatnējā atmosfēra veidojās galvenokārt no Zemes dzīļu gāzu izplūdēm, īpaši – vulkāniskās darbības rezultātā. Šādā gadījumā pirmatnējās atmosfēras sastāvā būtu galvenokārt ūdens tvaiki (H_2O), slāpeklis (N_2) un oglekļa dioksīds (CO_2) un tikai neliels daudzums ūdeņraža (H_2) un oglekļa oksīda (CO). Pirmatnējā atmosfēra, kurā nebija brīva skābekļa vai arī tā bija ļoti maz, pretēji mūsdienu oksidējošajai atmosfērai bija reducējoša atmosfēra. Tā bija nejaušība, jo skābeklis (O_2), piesaistoties pie organisko vielu molekulām, kavē to savienošanos un lielāku molekulu veidošanos.

Sākumā Zeme bija tik karsta, ka ūdens uz tās bija sastopams tikai tvaiku veidā, ūdens tvaiki veidoja blīvus, biezus mākoņus. Zemei atdziestot, ūdens tvaiki kondensējās par šķidru ūdeni un sāka līt lietus (3.1. att. A). Simtiem miljonu gadu laikā nolija tik milzīgs lietus daudzums, ka izveidojās pasaules okeāni. Zeme bija šim procesam pietiekamā attālumā no Saules: ja tā būtu tuvāk, – ūdens iztvaikotu, ja tā atrastos tālāk, – ūdens sasaltu.

Nelielu organisko molekulu izveidošanās

Atmosfēras gāzes, kas bija izšķīdinātas lietū, nonāca okeānos, kas tikko bija radušies. Padomju bioķīmiķis Aleksandrs Oparins 1938. gadā izteica domu, ka organiskās molekulas varētu būt veidojušās no pirmatnējā atmosfērā esošajām gāzēm spēcīga ārēja enerģijas avota ietekmē. Uz sākotnējās Zemes enerģijas avoti bija siltums no vulkāniem un meteorītiem, radioaktivitāte no izotopiem Zemes garozā, zibens spēcīgās



3.2. attēls. Ķīmiskās evolūcijas pierādījums
Gāzes tika ielaistas aparātā, cirkulēja cauri enerģijas avotam (elektriskajai izlādei), atdzisa, veidojot šķidrumu, kuru varēja novadīt. Veicot ķīmiskās analīzes, tajā atrada nelielas organisko vielu molekulas.

elektriskās izlādes un Saules radiācija, īpaši – ultravioletais starojums (3.1. att. B).

1953. gadā Stenlija Millera atjautīgais eksperiments nodrošināja atbalstu Oparina idejām. Noslēgtā sistēmā Millers ievietoja maisījumu, kas atgādināja stipri reducējošu atmosfēru. Tas sastāvēja no metāna (CH_4), amonjaka (NH_3), ūdeņraža (H_2) un ūdens (H_2O). Šo maisījumu karsēja un lika tam plūst cauri elektriskajai dzirkstelei (atdarinot zibeni). Pēc nedēļu ilgas maisījuma apstrādes Millers konstatēja, ka ir izveidojušās dažādas aminoskābes un organiskās skābes. Kopš tā laika citi pētnieki arī ir ieguvuši līdzīgus rezultātus, izmantojot citas, mazāk reducējošas ūdenī izšķīdušu gāzu kombinācijas.

Šie eksperimenti atbalsta hipotēzi, ka vienkāršas gāzes var cita ar citu reaģēt, veidojot nelielas organiskās molekulas. Ne oksidēšanās (nebija brīvā skābekļa), ne sadalīšanās (nebija baktēriju) nevarēja noārdīt šīs molekulas, un tās simtiem miljonu gadu laikā varēja uzkrāties okeānos. Šīm nelielajām organiskajām molekulām uzkrājoties, okeāni pārvērtās par biezu, siltu organisko zupu, kas saturēja dažādas organiskās vielas.

Atmosfēras gāzes, kas izšķīda okeānā, varēja reaģēt cita ar citu, veidojot vienkāršas organiskās molekulas.

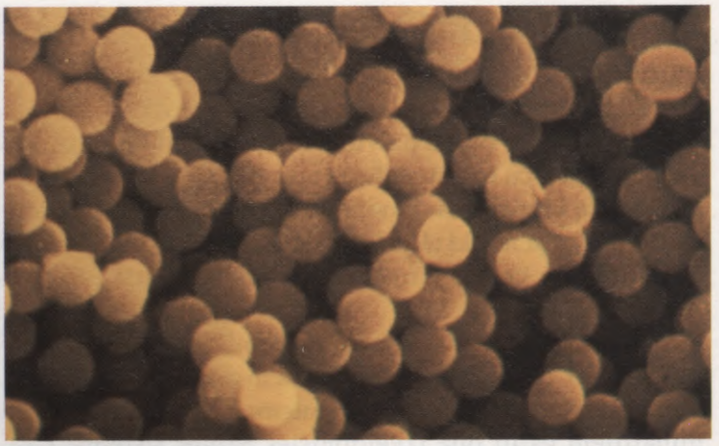
Makromolekulu evolūcija un mijiedarbība

Jaunveidojušās organiskās molekulas, iespējams, polimerizējās, lai veidotu lielākas molekulas un pēc tam makromolekulas. Ir trīs sākotnējās hipotēzes par šo dzīvības attīstības pakāpi. Viena ir RNS pirmsākuma hipotēze, kas izvirza ideju par to, ka šajā laikā bija nepieciešama vienīgi makromolekulārā RNS (ribonukleīnskābe), lai pilnveidotos līdz pirmās šūnas vai šūnu attīstībai. Tomass Cehs un Sidnejs Altmens 1989. gadā saņēma Nobela prēmiju par atklājumu, ka RNS var būt gan substrāts, gan enzīms. Kopš tā laika ir atklāti vēl citi ribozīmi (RNS enzīmi). Tātad ir iespējams, ka RNS varēja realizēt tos dzīvības procesus, kurus pašlaik parasti saista ar DNS (dezoksiribonukleīnskābi, ģenētisko materiālu) un proteīniem (enzīmiem). Arī patlaban dažiem vīrusiem ir RNS gēni, tāpēc pirmie gēni varēja būt RNS gēni. Kopš ir zināms, ka eksistē ribozīmi, pieļaujams, ka arī pirmie fermenti varēja būt RNS molekulas. Šīs hipotēzes atbalstītāji apgalvo, ka pasaule, kas eksistēja pirms 4 miljardiem gadu, ir bijusi "RNS pasaule".

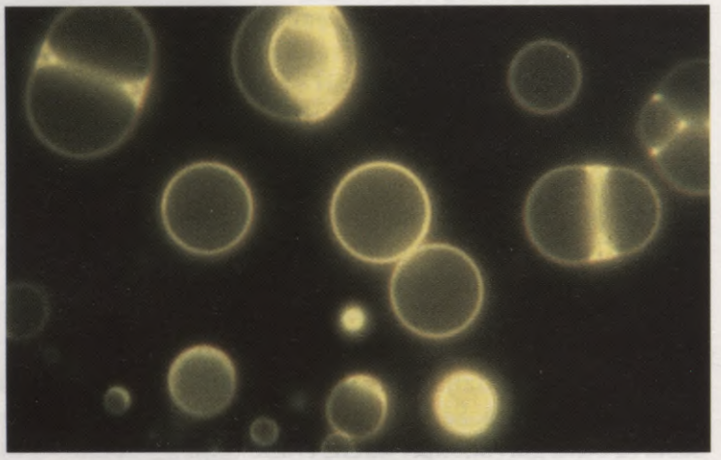
Citu hipotēzi dēvē par proteīnu pirmsākuma hipotēzi. Sidnejs Fokss pierādīja, ka aminoskābes polimerizējas abiotiski, kad tās pakļauj karstam gaisam (sk. 3.1. att. C). Viņš pauda ideju, ka klinšainos krastos seklās peļķēs uzkrājušās aminoskābes saules karstumā veidoja **protenoīdus** – nelielus polipeptīdus, kuriem ir dažas katalītiskas īpašības. Kad protenoīdi nokļuva atpakaļ ūdenī, tie veidoja **mikrolodītes** (gr. *mikros* – mazs, sīks un *sphaera* – lode) – struktūras, kas sastāvēja tikai no proteīna un kam bija daudzas šūnas īpašības. Pilnīgi iespējams, ka pirmajiem polipeptīdiem bija fermentiem raksturīgas īpašības un daži no tiem izrādījās izturīgāki par citiem. Tiem, kuri izveidoja pirmo šūnu vai šūnas, bija selektīvas priekšrocības. Šī hipotēze pieņem, ka DNS gēni parādījās pēc tam, kad bija radušies proteīna fermenti. Galu galā proteīna fermenti ir tie, kas nepieciešami DNS replikācijai.

Trešo hipotēzi ir izvirzījis Grahams Kairns-Smits. Viņš uzskata, ka māli bija īpaši piemēroti, lai izraisītu gan proteīnu, gan nukleīnskābju polimerizāciju vienā un tajā pašā laikā. Māli piesaistīja sīkas organiskās molekulas. Tā kā tie satur dzelzi un cinku, šie elementi varēja veikt neorganisko katalizatoru lomu polipeptīdu veidošanā. Bez tam māliem ir tendence uzņemt radioaktīvās sadalīšanās enerģiju un to izdalīt tad, kad mainās temperatūra vai mitruma apstākļi. Tas varēja būt notiekošo polimerizācijas procesu enerģijas avots. Kairns-Smits izvirzīja domu, ka RNS nukleotīdu un aminoskābju saistīšanos polimēros noteica RNS, bet polipeptīdi savukārt palīdzēja sintezēt RNS. Tātad šī hipotēze apgalvo, ka polipeptīdi un RNS ir veidojušies vienlaikus.

Mazas organiskās molekulas polimerizējas un veido makromolekulas. Tas varēja notikt uz sakarsētām klintīm vai māla slāņos.



A



B

3.3. attēls. Protošūnas uzbūve
A. Mikrolodītēm, ko veido tikai proteīni, ir vairākas šūnām piemītošas īpašības, un tās varēja izveidoties par protošūnām.
B. Liposomas veidojas, tiklīdz fosfolipīda molekulas ievieto ūdenī. Līdzīgi varēja izveidoties plazmatiskā membrāna.

Protošūnas attīstība

Pirms izveidojās pirmā īstā šūna, varēja pastāvēt protošūna (gr. *protos* – pirmais) – struktūra, kurai ir lipīda-proteīna membrāna un kurā noris enerģētiskā vielmaiņa (3.3. att.). Fokss pierādīja, ka gadījumos, kad lipīdiem ir pieejamas mikrolodītes, tiem piemīt tendence saistīties ar tām, veidojot lipīdu-proteīnu membrānu.

Daži zinātnieki atbalsta jau iepriekš minētā Oparina pētījumus. Oparins pierādīja, ka piemērotos temperatūras, jonu sastāva un pH apstākļos koncentrēti makromolekulu maisījumi tiecas veidot komplicētas daļiņas, ko sauc par koacervāta pilieniem. Koacervāta pilieniem piemīt tendence absorbēt un piesaistīt dažādus savienojumus no apkārtējā šķidruma. Galu galā ap pilienu varēja veidoties puscaurlaidīgs aizsargslānis. Šķidrā vidē fosfolipīdu molekulas automātiski veido pilienus, ko sauc par liposomām (gr. *lipos* – tauki un *soma* – ķermenis). Iespējams, ka pirmā membrāna

veidojās tieši šādi. Šajā gadījumā protošūnā ietilpa tikai RNS, kas veica gan ģenētiskā materiāla, gan enzīma funkcijas.

Protošūnas bija heterotrofas

Protošūnai vajadzēja baroties, lai tā varētu augt. Barošanās nebija problēma, jo protošūnas eksistēja okeānā, kurā tajā laikā bija vienkāršas organiskās molekulas, kas varēja noderēt par barību. Tādējādi, visticamāk, protošūnas bija **heterotrofi** (gr. *hetero* – atšķirīgs un *trophe* – barība) – organismi, kas uzņem iepriekš sagatavotu barību. Uzskata, ka heterotrofi organismi veidojās pirms **autotrofiem** (gr. *autos* – viens un *trophe* – barība) organismiem, kas paši veido nepieciešamās barības vielas.

Pirmām kārtām protošūnas varēja izmantot jau izveidojušos ATP (adenozīntrifosfātu), bet, līdzko tā krājumi izsīka, dabiskajā izlasē priekšroku ieguva tās šūnas, kas varēja iegūt enerģiju no ogļhidrātiem, lai pārveidotu ADP (adenozīndifosfātu) par ATP. Glikolīze ir parasts dzīvo būtņu vielmaiņas process, un tas liecina, ka tai ir agra evolucionāra izcelsme. Tā kā šajā laikā nebija brīva skābekļa, var pieņemt, ka protošūnā norisa rūgšanai līdzīgs process.

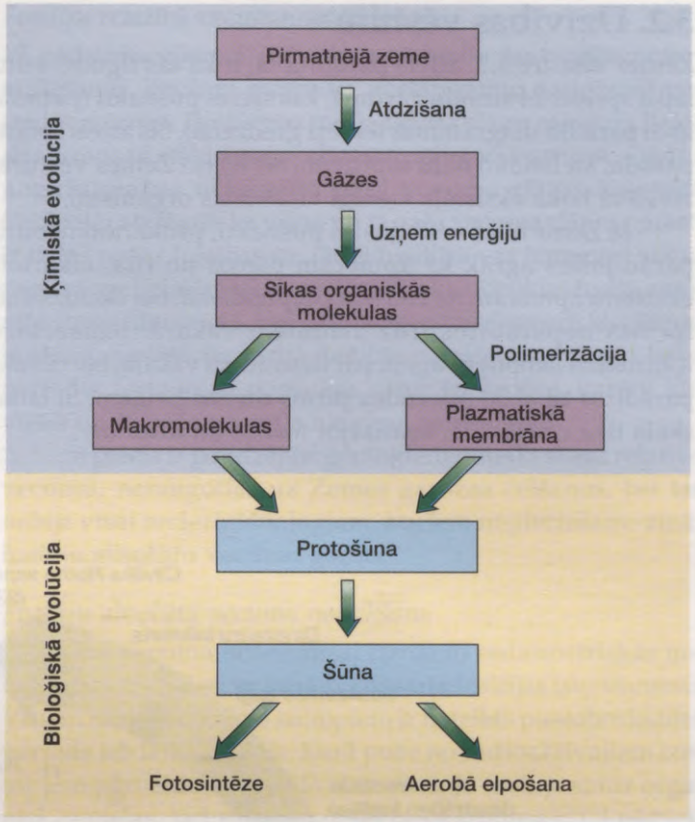
Šķiet loģiski, ka sākotnēji protošūnai bija ierobežotas iespējas sašķelt organiskās molekulas un glikolīzes pilnīga evolūcija varēja ilgt miljoniem gadu. Fokss pierādīja, ka mikrolodītei, no kuras varēja attīstīties protošūna, piemīt dažas katalītiskas īpašības, bet Oparins atklāja, ka koacervāti neietver sevī enzīmus, pat ja tie attiecīgajā vidē ir sastopami.

Ir izvirzīta hipotēze, ka protošūnu norobežoja membrāna un tai bija raksturīga heterotrofā rūgšana ar nelielu fermentatīvo aktivitāti.

Pašreplicēšanās sistēmu attīstība

Īsta šūna ir membrānas ietverta struktūra, kas var veikt proteīnu sintēzi, lai veidotu fermentus, kuri nodrošina DNS replicēšanos (3.4. att.). Ģenētikas galvenā dogma apgalvo, ka DNS vada proteīna sintēzi un informācijas pārnešanas ceļš ir DNS → RNS → proteīns. Iespējams, ka šī secība ir attīstījusies pakāpeniski.

Saskaņā ar RNS pirmsākuma hipotēzi RNS varēja būt pirmā, kas evolucionēja, un pirmajai īstajai šūnai varēja būt RNS gēni. Šie gēni varēja vadīt un fermentatīvi nodrošināt proteīnu sintēzi. Kā jau atzīmēts, ir atklāti RNS enzīmi, ko sauc par ribozīmiem. Tāpat tagad ir zināmi vīrusi, kuriem ir RNS gēni. Šiem vīrusiem ir proteīna ferments, ko sauc par reverso transkriptāzi. Tas izmanto RNS, lai veidotu DNS. Iespējams, ka laika gaitā reversā transkripcija noritēja protošūnas iekšienē un tādējādi varēja veidoties DNS gēni. Tiklīdz bija izveidojušies DNS gēni, proteīna sintēze varēja notikt tādā veidā, kā to raksturo ģenētikas galvenā dogma.



3.4. attēls. Protošūnas evolūcija
Pieaugot makromolekulu komplicētībai, izveidojās pašreplicējoša sistēma (DNS → RNS → proteīns), kas ietverta plazmatiskajā membrānā. Protošūna no struktūras, kam raksturīga heterotrofā rūgšana, bioloģiskās evolūcijas gaitā kļuva par īstu šūnu, kas pēc tam dažādojās.

Saskaņā ar proteīna pirmsākuma hipotēzi pirmie no trim struktūrām (DNS, RNS un proteīni) izveidojās proteīni vai vismaz polipeptīdi. Tikai pēc tam, kad protošūna izveidoja sarežģītus enzīmus, tā varēja no mazām okeānā esošām molekulām sintezēt DNS un RNS. Zinātnieki uzsver, ka nukleīnskābe ir ļoti komplicēta molekula un iespējamība, ka RNS radās *de novo* (pati no sevis), ir minimāla. Tāpēc šķiet, ka bija nepieciešami enzīmi, lai vadītu nukleotīdu, bet pēc tam nukleīnskābju sintēzi.

Kairns-Smits izteica ideju par to, ka polipeptīdi un RNS evolucionēja vienlaikus. Tādējādi pirmajā īstajā šūnā varēja būt RNS gēni, kas bija spējīgi replicēties, jo klāt bija arī proteīni. Tas izslēdz strupceļā ievedošo "vistas vai olas" paradoksu: kas bija pirmais – proteīni vai DNS. Tomēr tas nozīmē arī to, ka diviem ļoti atšķirīgiem notikumiem bija jānotiek vienā un tajā pašā laikā.

Kolīdz protošūnas ieguva gēnus, kas varēja replicēties, tās kļuva par šūnām, kas spēja vairoties, un sākās bioloģiskā evolūcija. Tā sākās dzīvības vēsture.

Tiklīdz protošūna bija spējīga vairoties, tā kļuva par īstu šūnu un sākās bioloģiskā evolūcija.

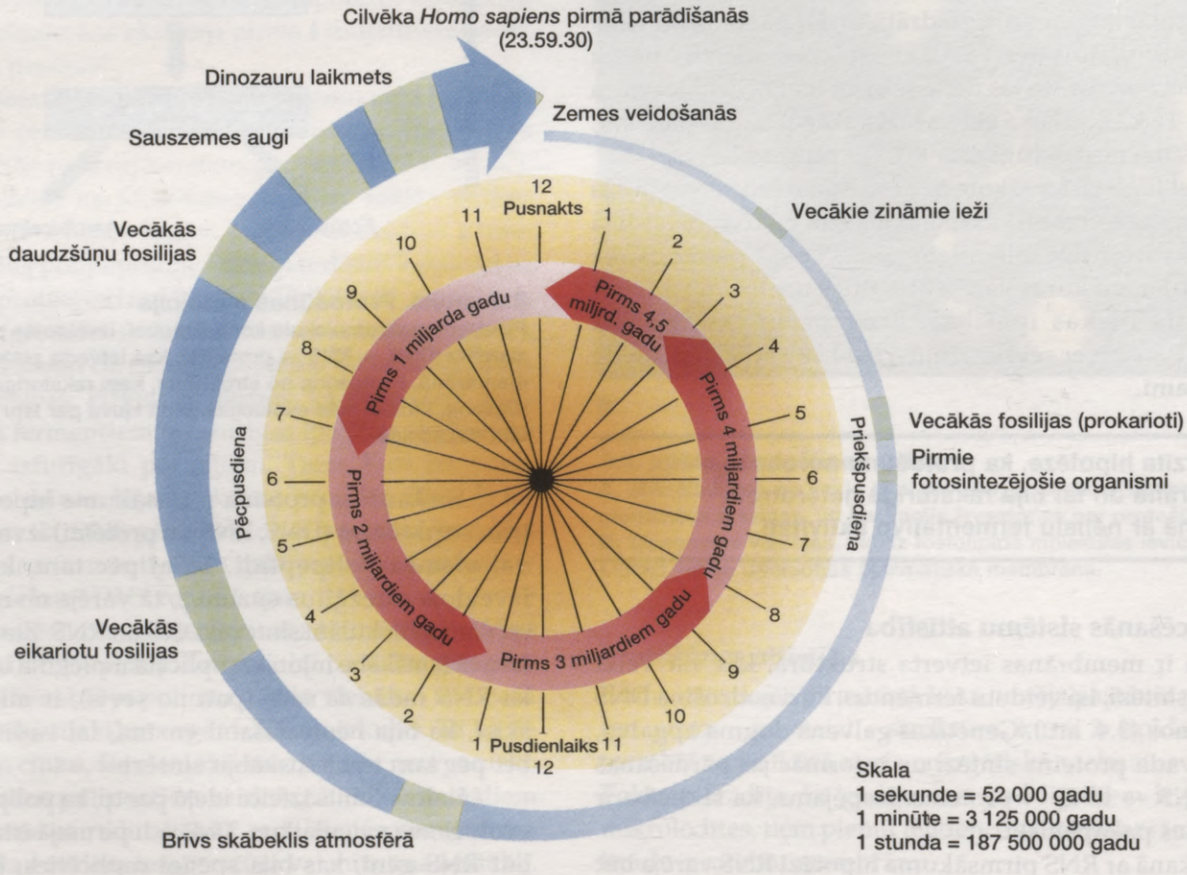
3.2. Dzīvības vēsture

Zemes vēsture 3.5. attēlā parādīta tā, it kā tās ilgums būtu laika sprīdis 24 stundu garumā, kas sācies pusnaktī (patiesie gadi parādīti diagrammas iekšējā gredzenā). Šis attēls spilgti parāda, ka lielāko daļu (aptuveni 80 %) no Zemes vēsturei atvēlētā laika eksistēja vienīgi vienšūnas organismi.

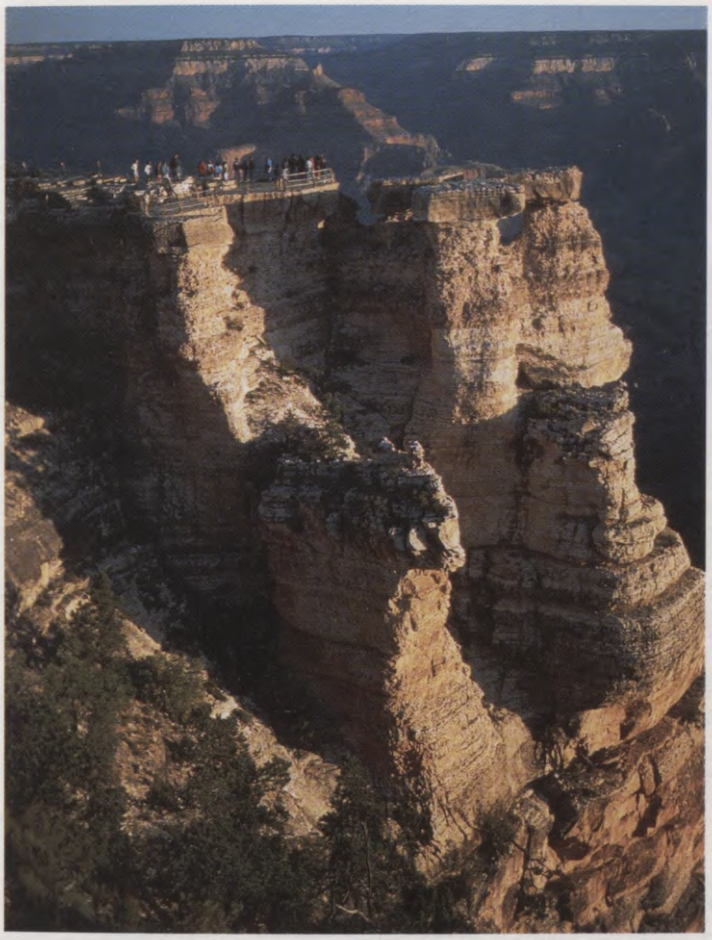
Ja Zeme būtu veidojusies pusnaktī, prokarioti nebūtu parādījušies agrāk kā apmēram piecos no rīta, eikarioti eksistētu apmēram no četriem pēcpusdienā, bet daudzšūnu formas neparādītos līdz astoņiem vakarā. Sauszemes iekarošana nenotiktu agrāk par desmitiem vakarā, bet cilvēki parādītos tikai 30 sekundes pirms dienas beigām. Šī laika skala tika izstrādāta, analizējot fosilos atradumus.

Fosiliju stāsti

Fosilijas (lat. *fossilis* – izrakt) ir agrāko dzīvības formu atliekas un pēdas un jebkura cita tieša liecība par pagātnes dzīvību. Šādas liecības var būt dzīvnieka ķermeņa atstātas sliedes, pēdu nospiedumi, dzīvnieku alas, tārpu ejas un pat saglabājušies ekskrementi. Parasti pēc organisma bojāejas viņa mīkstās daļas apēd maitēdāji vai tās sadala baktērijas. Ja nejaušības dēļ organisms tiek ātri aprakts, viņš nokļūst tādos apstākļos, kad tā sadalīšana nenotiek vispār vai notiek tik lēni, ka ķermeņa mīkstās daļas atstāj uzbūves iespiedumu. Lielākā daļa fosiliju sastāv tikai no cietajām daļām, piemēram, čaulām, kauliem vai zobiem, jo tos parasti neapēd un arī nesadala.



3.5. attēls. Dzīvības attīstības gaita saskaņā ar fosilajiem atradumiem
Diagrammas ārējais gredzens parāda dzīvības attīstības gaitu, kādu to var attēlot 24 stundu garumā, sākot no pusnakts. (Iekšējais gredzens attēlo atbilstošos gadus, sākot ar laiku pirms 4,5 miljardiem gadu.) Spriežot pēc fosilajiem atradumiem, ļoti lielu daļu no dzīvības evolūcijas laika aizņēma vienšūnas organismu evolūcija. Pirmie daudzšūnu organismi fosilajos atradumos neparādījās agrāk par astoņiem vakarā, bet cilvēks parādījās tikai pēdējā minūtē pirms pusnakts.



3.6. att. Lielais kanjons
Pasaulē nav otras tādas vietas, kura būtu labāk piemērota zemes notikumu analīzei un pētīšanai. Tomēr arī šeit nav iespējams secīgi izsekot visu ģeoloģisko periodu slāņus. To secināja, salīdzinot kanjona slāņus ar slāņiem citur pasaulē.

Lielākā daļa fosiliju tiek atrastas ieslēgtas iežos vai nesen izskalotas no nogulumiežiem. **Nogulsnēšanās** jeb **sedimentācija** (lat. *sedimentum* – nogulsnes) ir process, kas noris jau kopš Zemes izveidošanās un var notikt gan uz sauszemes, gan ūdenstilpēs. Iežu dēdēšana un erozija veicina dažāda lieluma un izcelsmes daļiņu, kuras sauc par nogulšņiem, uzkrāšanos. Nogulšņi uzkrājas slāņos (3.6. att.). Ikviens slānis ir vecāks par to slāni, kas atrodas virs tā, bet jaunāks par to slāni, kurš atrodas zem tā. Zemes garozas slāņu veidošanās secību, vecumu un izplatību pēta ģeoloģijas nozare stratigrāfija.

Fosilijas ir veidojušās noteiktā slānī un tāpēc liecina par dzīvības attīstības gaitu. **Paleontoloģija** (gr. *palaios* – sens, vecs, *ontos* – dzīvojis un *logy* – mācība par; no *logikos* – racionāls, saprātīgs) ir zinātnes nozare, kas pēta fosilijas un pēc tam izdara secinājumus par dzīvības attīstības vēsturi. Paleontologi vēlas noskaidrot ne tikai organismu uzbūvi un adaptāciju, bet arī to, kā šie organismi ir mijiedarbojušies cits ar citu un ar fizikālo vidi.

Fosiliju relatīvā vecuma noteikšana

19. gadsimta sākumā, pat vēl pirms evolūcijas teorijas noformulēšanas, ģeologi mēģināja noslāņojumu salīdzināt pasaules mērogā. Problēmu radīja tas, ka slāņu raksturs lielos attālumos ir atšķirīgs un slānis Anglijā var saturēt citādus nogulumiežus nekā tāda paša vecuma slānis Krievijā. Ģeologi ir atklājuši, ka viena un tā paša vecuma slāņos parasti ir tādas pašas fosilijas un tādēļ fosilijas var izmantot slāņu relatīvā vecuma noteikšanai. Piemēram, noteiktas fosilo amonītu sugas (dzīvnieki, kas radniecīgi daudzkameru kuģīšiem) ir atrastas plašā teritorijā, bet tās pārstāv ierobežotu laika periodu. Līdz ar to slāņi, kas satur šo fosiliju, varētu būt viena un tā paša vecuma uz visas zemeslodes.

Šī pieeja ir palīdzējusi ģeologiem noteikt slāņu relatīvo vecumu, neraugoties uz Zemes garozas celšanos, bet tas nebija visai noderīgi biologiem, kuriem nepieciešams zināt fosiliju absolūto vecumu gados.

Fosiliju absolūtā vecuma noteikšana

Absolūtā vecuma noteikšanai izmanto radiometriskās noteikšanas metodes, ar kurām konstatē fosilijas īsto vecumu. Visiem radioaktīvajiem izotopiem ir noteikts pussabrukšanas periods jeb laika sprīdis, kurā puse no radioaktīvajiem izotopiem pārveidojas stabilā elementā. Ja fosilija satur organiskās vielas, tad puse no oglekļa-14 izotopa (^{14}C) pārveidosies par slāpekli-14 (^{14}N) 5730 gadu laikā. Lai uzzinātu, cik daudz ^{14}C sākumā bija organismā, ir pieņemts, ka katrs grams oglekļa satur vienādu ^{14}C daudzumu. (Patiesībā ir zināms, ka ^{14}C daudzums gaisā un līdz ar to arī tā daudzums organismos laiku pa laikam var mainīties.) Tagad ir tikai jāsalīdzina radioaktīvā ^{14}C daudzums fosilijā ar tās daudzumu mūsdienās sastopamas organiskās vielas paraugā. No atlikušā radioaktīvā elementa daudzuma var aprēķināt fosilijas vecumu. Tomēr paraugos, kuri ir vecāki par 50 000 gadiem, radioaktīvā ^{14}C līmenis ir tik zems, ka fosiliju vecumu pareizi noteikt nav iespējams.

^{14}C ir vienīgais radioaktīvais izotops, ko satur organiskās vielas, bet pastāv iespēja izmantot citus elementus, lai noteiktu vecumu iežiem, kuros fosilija atrasta. Pēc iežu vecuma var spriest par tajos ieslēgtās fosilijas vecumu. Piemēram, bieži izmanto iezī ieslēgtā kālija-40 (^{40}K) un argona-40 attiecību. Ja attiecība ir 1:1, tad puse no ^{40}K ir sadalījusies un ieži ir 1,3 miljardus gadu veci. Urāna-238 izotopa attiecību pret svinu-207 var izmantot tikai iežiem, kas vecāki par 100 miljoniem gadu. Šim izotopam ir tik garš pussabrukšanas periods, ka īsākā laika sprīdī jūtama sadalīšanās nebūs notikusi.

Fosilijas, kuru relatīvo vecumu var noteikt pēc to atrašanās noteiktā slānī, bet absolūto vecumu – pēc radioaktīvo izotopu sastāva, sniedz mums informāciju par dzīvības attīstības gaitu.

Notikumu attīstība

Ģeoloģisko slāņu pētījumu rezultātā ģeologi Zemes attīstības vēsturi ir iedalījuši ērās, periodos un epohās (3.1. tabula). Sekojot biologu tradīcijai, pirmais tiks apskatīts pirmskembrijs – laika periods, kas aptver pirmās divas ēras: arhaja ēru un proterozoja ēru.

Dzīvība sākas pirmskembrijā

Pirmskembrijs ir ļoti ilgs laika periods – tas veido apmēram 87 % no visas ģeoloģiskās laika skalas. Tieši šajā laika periodā radās dzīvība un sāka eksistēt pirmās šūnas. Tās varēja būt prokariotiskas. Prokariotiskām šūnām nav kodola un daudzu ar membrānu klātu organoīdu.

3.1. tabula

Ģeoloģiskā laika skala: ģeoloģiskā laika iedalījuma galvenās vienības ar dažiem nozīmīgākajiem evolucionārajiem notikumiem katrā no ģeoloģiskajiem periodiem

Ēra	Periods	Epoha	Miljoni gadu pirms	Augu valsts	Dzīvnieku valsts
Kainozojs* (no mūsdienām līdz laikam pirms 66,4 miljoniem gadu)	Neogēns	Holocēns	0–0,01	Cilvēki, izcērtot tropiskos lietusmežus, paātrina izmiršanas procesu	Civilizācijas laikmets
				Ievērojama zīdītāju izmiršana	
		Pleistocēns	0,01–2	Izplatās un kļūst daudzveidīgi lakstaugi	Parādās mūsdienu cilvēks
		Pliocēns	2–6	Lakstaugu daudzveidība	Parādās pirmie hominīdi
		Miocēns	6–24	Samazinās mežu platības, un palielinās zālāju aizņemtās teritorijas	Cilvēkpērtiķu, zālēdāju, zīdītāju un kukaiņu daudzveidība
	Paleogēns	Oligocēns	24–37	Attīstās daudzas mūsdienu ziedaugu dzimtas	Parādās lapotni ēdoši zīdītāji un pērtiķveida primāti
		Eocēns	37–58	Spēcīgas lietusgāzes veicina subtropu mežu izplatīšanos	Ir pārstāvētas visas mūsdienu zīdītāju kārtas
		Paleocēns	58–66	Segsēkļu daudzveidība	Parādās primitīvie primāti, zālēdāji, gaļēdāji un kukaiņēdāji
Mezozojs (pirms 66,4 līdz 245 miljoniem gadu)				**Dinozauru un lielākās daļas rāpuļu izmiršana**	
	Krīts		66–144	Izplatās ziedaugi; samazinās skujkoku izplatība	Parādās placentāļi zīdītāji, parādās mūsdienu kukaiņu grupas
	Jura		144–208	Cikadeju un citu kailsēkļu daudzveidība	Dinozauru daudzveidība; putnu parādīšanās
	Triass			**Masveida izmiršana**	
			208–245	Parādās cikadejas un ginki; dominē kailsēkļu un paparžu meži	Parādās pirmie zīdītāji un pirmie dinozauri; jūrās dominē koraļļi un gliemji
Paleozojs (pirms 245 līdz 570 miljoniem gadu)				**Masveida izmiršana**	
	Perms		245–286	Parādās skujkoki	Rāpuļu daudzveidība; samazinās abinieki
	Karbons		286–360	Akmeņogles veidojošo mežu laikmets: staipekņu, kosu un paparžu daudzveidība	Abinieku daudzveidība; parādās pirmie rāpuļi; pirmā plašā kukaiņu izplatīšanās
	Devons			**Masveida izmiršana**	
			360–408	Parādās pirmās sēklpapardes	Jūrās žokļzivju daudzveidība un dominēšana; parādās pirmie kukaiņi un pirmie abinieki
	Silūrs		408–438	Uz sauszemes parādās zemi vaskulārie augi	Parādās pirmās žokļzivis
	Ordoviks			**Masveida izmiršana**	
			438–505	Jūras aļģu savairošanās	Bezmugurkaulnieku daudzveidība un izplatīšanās; parādās pirmie mugurkaulnieki – bezžokļaiņi
	Kembrijs		505–570	Jūras aļģu daudzveidība	Dominē bezmugurkaulnieki ar ārējo skeletu
Pirmskembrija laiks (pirms 570 līdz 4600 miljoniem gadu)			700 2100 3100–3500 4600	Parādās daudzšūnu organismi Parādās pirmās sarežģītās (eikariotiskās) šūnas Stromatolītos parādās pirmās prokariotiskās šūnas Izveidojas zeme	

* Daudzi zinātnieki iedala kainozoja ēru terciāra periodā (ietver paleocēnu, eocēnu, oligocēnu, miocēnu un pliocēnu) un kvartāra periodā (ietver pleistocēnu un holocēnu).

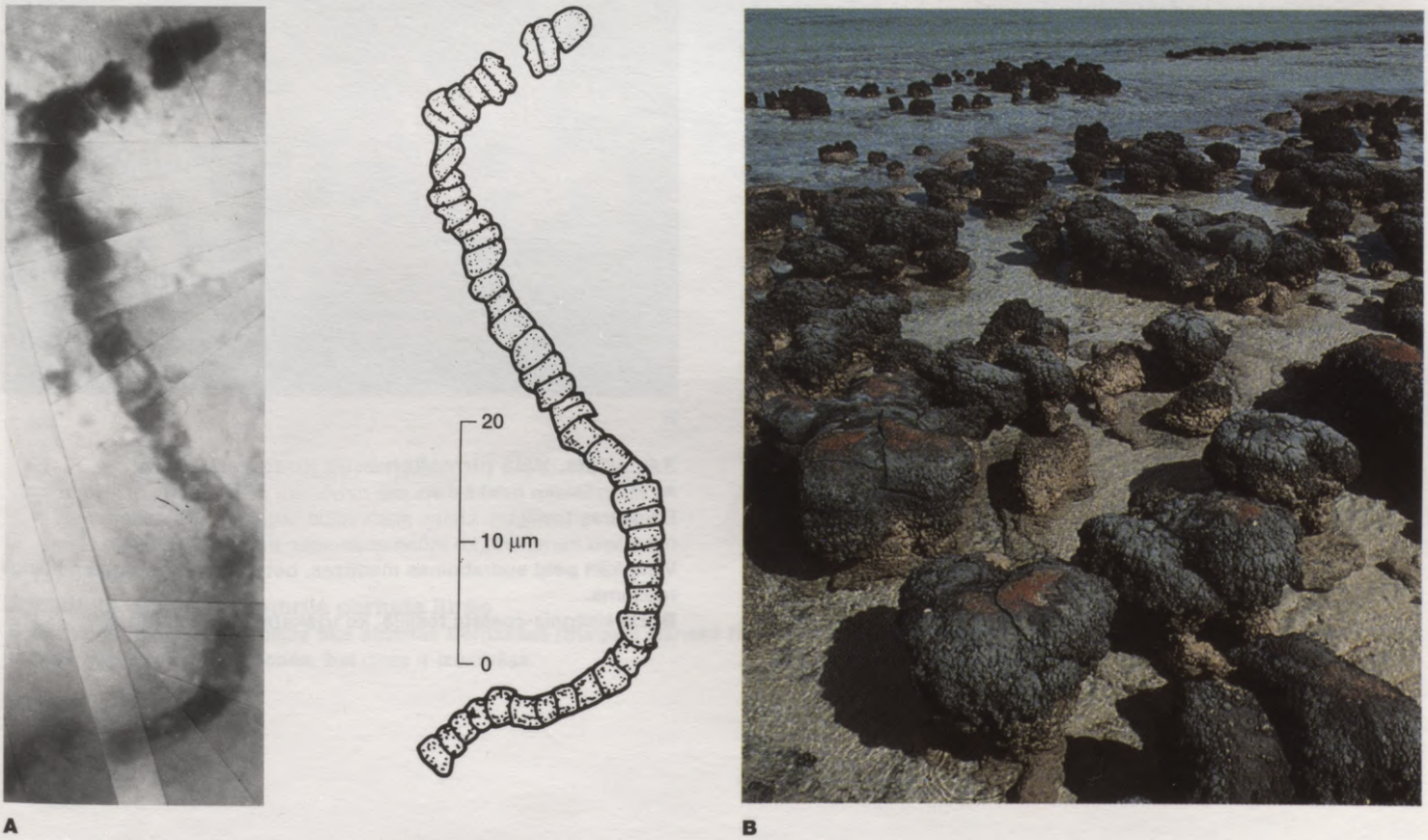
No mūsdienās sastopamiem prokariotiem daļa pieder pie arhejiem *(archea)*, kas dzīvo tādās dzīvībai vismazāk piemērotās vidēs kā karstos avotos, ļoti sāļos ezeros un bezskābekļa dūksnājos – biotopos, kādi varēja būt raksturīgi uz sākotnējās Zemes. Šūnapvalks, plazmatiskā membrāna, RNS polimerāze un ribosomas arhejiem ir vairāk līdzīgas eikariotiem nekā pārējām baktērijām.

Pirmā šūna vai šūnas varēja būt anaerobi heterotrofas (pirmējā atmosfērā nebija skābekļa). Tāpat pirmie fotosintezētāji, visdrīzāk, neizdalīja skābekli. Apmēram pirms 2 miljardiem gadu sākās fotosintēzes process, kurā izdalījās skābeklis. Dažas no senākajām šūnām, kuru vecums varētu būt 3,5 miljardi gadu, ir atrastas fosilizētos stromatolītos – stabveida struktūrās, ko veido nogulumu slāņi, kuri sastāv no prokariotisku organismu veidotām sabiedrībām (3.7. att.). Stromatolīti, kuros atrodas ciānbaktērijas, kas fotosintēzē izdala skābekli, eksistē arī mūsdienās Austrālijas rietumu piekrastes seklajos ūdeņos.

Fotosintezētāju darbība reducējošo atmosfēru pārvērta par oksidējošu atmosfēru. Skābeklis atmosfēras augšējos slāņos veido ozonu (O_3), kas aiztur Saules ultravioletos (UV) starus. Pirms **ozona apvalka** veidošanās ultravioletās radiācijas daudzums, kas sasniedza Zemi, varēja palīdzēt radīt organiskās molekulas, bet tas varēja noārdīt jebkuru sauszemes organismu. Līdzko izveidojās ozona apvalks, dzīvie organismi tika pietiekami pasargāti un varēja sākt dzīvot uz sauszemes. Dzīvība uz Zemes tiek apdraudēta, ja ozona apvalks ir reducēts. Tāpēc pamatotas bažas mūsdienās rada atmosfēras piesārņotāji, kas noārda ozona apvalku.

Fotosintezējošo organismu evolūcija radīja skābekļa nonākšanu atmosfērā.

Skābekļa klātbūtne atmosfērā nozīmēja, ka lielākā daļas dzīvesvietu vairs nebija piemērotas anaerobajiem prokariotiem, un to skaits sāka ievērojami samazināties. Fotosintezējošās ciānbaktērijas un aerobās baktērijas sāka izplatīties, līdzko attīstījās jauni vielmaiņas ceļi.



3.7. attēls. Pirmskembrija prokariota fosilija
A. Prokariotisks mikroorganisms *Primaevifilum* (ar izskaidrojošu zīmējumu), kas tika atrasts fosilizētā stromatolītā, kura vecums ir apmēram 3,5 miljardi gadu. **B.** Dzīvie stromatolīti ir sastopami seklos ūdeņos Austrālijas rietumu piekrastē, kā arī citās tropiskajās jūrās.

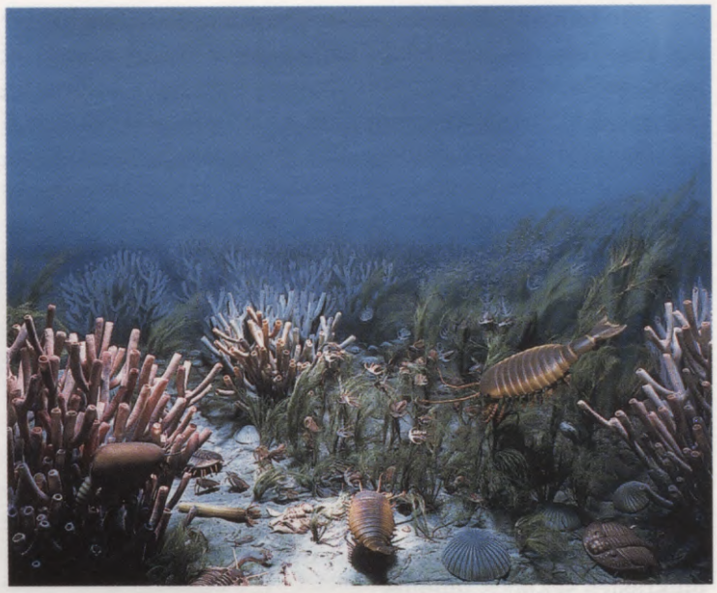
Eikariotisko šūnu parādīšanās

Eikariotiska šūna, kas radās aptuveni pirms 2,1 miljarda gadu, gandrīz vienmēr ir aeroba un sastāv no kodola, kā arī citām ar membrānu norobežotām organellām. Visticamāk, ka eikariotiskā šūna ieguva savas organellas pakāpeniski. Iespējams, ka kodols attīstījās, ieliecoties plazmatiskajai membrānai. Eikariotisko šūnu mitohondriji, visticamāk, agrāk bija brīvi dzīvojoši aerobi prokarioti, bet hloroplasti varēja būt brīvi dzīvojoši fotosintezējoši prokarioti. **Endosimbiozes teorija** apgalvo, ka šūna ar kodolu iekļāva savā sastāvā prokariotus, kas kļuva par organellām. Ir izteikta ideja, ka vica (un skropstiņas) arī radušās endosimbiozes ceļā. Pirmie vāji izlocītie prokarioti varēja paši piestiprināties pie saimnieka šūnas, lai iegūtu priekšrocības, sūcot barību no saimnieka ārējās membrānas. Galu galā šie prokarioti tika ievilkti saimnieka šūnas iekšienē un kļuva par vicu un skropstiņām, kādas ir pazīstamas šodien. Pirmie eikarioti, tāpat kā prokarioti, bija vienšūnas organismi.

Lielāko zemes pastāvēšanas laiku uz tās eksistēja tikai vienšūņi. Šajā laikā radās daudzas bioķīmiskās reakcijas.

Nav zināms, kad parādījās daudzšūņi, bet pašas pirmās daudzšūnu formas, visdrīzāk, bija mikroskopiskas. Iespējams, ka pirmie daudzšūnu organismi vairojās dzimumvairošanās ceļā. Starp mūsdienu protistiem (eikariotiem, ko iedala valstī *Protista*) ir atrodamas koloniālas formas, kurām dažas šūnas ir specializējušās par gametām, kas nepieciešamas, lai notiktu dzimumvairošanās. Dzimumšūnu nodalīšanās no somatiskajām šūnām, veidojot gametas, varēja būt pirmais nozīmīgais solis ceļā uz sarežģītu daudzšūnu dzīvnieku attīstību, kuri parādījās aptuveni pirms 600 miljoniem gadu. Šāda vecuma bezskeleta bezmugurkaulnieku fosilijas 1947. gadā atklāja Ediakāras pakalnos Austrālijas dienvidos. Kopš tā laika līdzīgas fosilijas ir atklātas arī vairākos citos kontinentos. Tās pārstāv dzīvnieku sabiedrības, kas, visdrīzāk, dzīvoja dūņu laukos seklajās jūrās (3.8. att.). Daudzi biologi saskata šo fosiliju līdzību ar medūzām, jūras spalvām (koraļļu radinieki) un posmainajiem tārpiem. Pārējās fosilijas šķietami nav līdzīgas mūsdienās sastopamajiem dzīvnieku tipiem.

Daudzveidīgi, sarežģīti organismi parādās aptuveni 600 miljonus gadu vecos fosilajos atradumos. Iespējams, ka daudzšūnu uzbūve radās saistībā ar dzimumvairošanās izveidošanos.



A



B

3.8. attēls. Vēlā pirmskembrija jūras organismi

A. Mākslinieka priekšstats par dzīvnieku sabiedrību pamatojas uz Ediakāras fosilijām. Lielos spalvveida organismus uzskata par mīkstiem koraļļiem, ko mūsdienās sauc par jūras spalvām. Visapkārt peld sudrabainas medūzas, bet uz grunts ir tārpam līdzīgs radījums.

B. *Dickinsonia costata* fosilija, ko uzskata par posmtārpu.

Paleozojā pieaug sarežģītība

Paleozoja ēra turpinājās 300 miljonus gadu. Šajā laikā, kas salīdzinājumā ar pirmskembriju ir samērā īss, norisinājās daudz notikumu (sk. 3.1. tab.). Ar šo laiku ir saistītas trīs masveida izmiršanas.

Kembrija fosilijas. Kembrija periodā jūras mudžēja no bezmugurkaulniekiem, kā parādīts 3.9. attēlā. **Bezmugurkaulnieki** ir dzīvnieki bez mugurkaula. Šajā periodā var atrast visu mūsdienu dzīvnieku grupu aizsākumu. Pēc jaunākajiem molekulārā pulksteņa datiem, iespējams, ka tas meklējams vēl agrāk (paskaidrojumu par molekulāro pulksteni sk. 69. lappusē). Tomēr no kembrija perioda fosiliju ir daudz vairāk nekā no iepriekšējā laika. Tas ir tāpēc, ka dzīvniekiem bija aizsargājošie ārējie skeleti, kas laika gaitā nesadalās. Piemēram, kembrija jūru dibenā dominēja trilobīti, kas sen jau ir izmiruši. Viņiem bija biezas, savienotas bruņas, kas viņus sedza no galvas līdz astei. Trilobīti pieder pie posmkājiem – mūsdienās lielākā dzīvnieku tipa. (Dažas kembrija sugas, kurām bija visneparastākie piedēkļi kustību veikšanai un barības uzņemšanai, ir iedalītas nodalījumos, kas mūsdienās ir izmiruši.)

Paleontologi ir meklējuši izskaidrojumu tam, kāpēc dzīvniekiem kembrija periodā bija skeleti, bet pirms tam to nebija. Līdz tam laikam ne tikai ciānbaktērijas, bet arī dažādas aļģes, kas bija peldoši fotosintezējoši organismi, atmosfērā izdalīja skābekli. Iespējams, ka skābekļa bija pietiekami, lai ūdens dzīvniekiem to uzņemt netraucētu ārējais skelets. Skelets samazina skābekļa uzņemšanu no jūras ūdens. Stīvens Stenlejs no Džona Hopkinsa Universitātes uzskata, ka zināma loma ārējā skeleta attīstībā bija plēsonībai. Skeleti kembrija periodā varēja evolucionēt tāpēc, ka tie palīdzēja aizsargāt dzīvniekus no plēsējiem.

No kembrija perioda ir saglabājies bagāts fosiliju klāsts, bet iespējams, ka šie dzīvnieki bija evolucionējuši jau agrāk. Daudzveidību kembrija periodā varēja izraisīt ārējo skeletu attīstība.



3.9. attēls. Dzīvība kembrija perioda jūrās

Šeit attēloto dzīvnieku fosilijas tika atrastas Berdžesas *(Burges)* slāneklī Klinšu kalnos Britu Kolumbijā. Dažas no šeit pārstāvētajām grupām turpina evolucionēt mūsdienās, bet citas ir izmirušas.



3.10. attēls. Karbona perioda dumbrāju mežs
Milzīgi kokveida staipekņu un kosu dumbrāju meži dominēja uz sauszemes karbona periodā (sk. 3.1. tab.). Gaisā lidoja kukaiņi ar platu spārnu pletumu, piemēram, spāres, kas redzamas attēlā, bet no dīķa uz dīķi rāpās abinieki.

Vēlāk tika iekarota sauszeme. Paleozoja ēras laikā aļģes, kas bija bieži sastopamas jūrās, pielāgojās izdzīvošanai saldūdeņos. No turienes tās varēja pārvietoties uz slapjām vietām sauszemē. Augu sakņu un sēņu savienība, ko sauc par mikorizu, deva iespēju augiem augt uz kailām klintīm. Sēnes spēja absorbēt minerālvielas, kuras tās aizvadīja uz augiem, bet augi sēnes apgādāja ar fotosintēzes galaproduktu – ogļhidrātiem.

Uz sauszemes dominējošajiem augiem ūdens transportēšanai noderēja vadaudi (vaskulārie audi), tomēr vaskulāro augu fosilijas nav atrastas agrāk par silūra periodu. Pirmie vaskulārie augi sāka izplatīties siltajos dumbrājos karbona periodā (3.10. att.). Staipekņi, kosas un sēklpapardes šajā periodā bija kokveida un sasniedza milzu augstumu. Ļoti daudzveidīgas sīkākas papardes un citi paparžveidīgie augi veidoja zemsedzi.

Pirmie dzīvnieki, kas dzīvoja uz sauszemes, bija skorpioni – plēsīgi zirnekļu radinieki ar indīgu dzeloni astes galā un divām lielām spīlēm pie priekškājām. Kukaiņi fosilijās ir saglabājušies no karbona perioda. Kukaiņu ārējais skelets un posmainās ekstremitātes bija piemērotas dzīvei uz sauszemes. Ārējais skelets pasargāja no izžūšanas, bet posmainās ekstremitātes bija piemērotas, lai pārvietotos pa sauszemi. Šīs pazīmes, kā arī spārnu evolūcija deva priekšrocības, kas ļāva kukaiņiem izveidoties par visdaudzveidīgāko un daudzskaitlīgāko dzīvnieku grupu mūsdienās. Spēja lidot palīdz izbēgt no ienaidniekiem un atrast barību.

Mugurkaulnieki ir dzīvnieki ar mugurkaulu. Mugurkaulnieku attīstības līnija iesākās ordovika perioda sākumā ar zivju evolūciju. Vispirms attīstījās bezžokļaiņi, bet pēc tam – pirmās žokļzivis. *Zivis* ir aukstasiņu ūdens mugurkaulnieki, kam ir žaunas, zvīņas un spuras. Starspuru zivis, pie kurām pieder mūsdienās visbiežāk sastopamās zivju sugas, parādījās devona periodā, ko sauc par zivju laikmetu. Abinieki ir vistuvāk radniecīgi otiņspurēm, kas varēja iznākt uz sauszemes, lai izvairītos no ūdens plēsējiem. Vienīgie mugurkaulnieki slapjajos karbona mežos bija **abinieki** – dzīvnieki ar plānu ādu –, kas nebija pilnīgi pielāgojušies dzīvei uz sauszemes, daļēji tāpēc, ka viņiem vajadzēja atgriezties ūdenī, lai vairotos. Dumbrāju mežos bija viņiem nepieciešamais ūdens, un tur izveidojās liela dažāda izmēra un formas abinieku daudzveidība. Daži bija attāli līdzīgi aligatoriem un klāti ar aizsargzvīņām, citi bija mazi un līdzīgi čūskām, bet nedaudzi bija lieli augēdāji. Pašu lielāko abinieku garums no purna līdz astei bija 6 metri. Karbona periodu dēvē par abinieku laikmetu.

Karbona perioda beigās mainījās klimats. Aukstais un sausais laiks darīja galu abinieku laikmetam un iesāka vareno karbona mežu pārvēršanu akmeņoglēs, ko mūsdienu sabiedrība izmanto par kurināmo.

Primitīvie vaskulārie augi un abinieki bija lielākās un daudzskaitlīgākās organismu grupas karbona perioda laikā. Parādījās un savu uzplaukumu piedzīvoja kukaiņi, kļūstot par lielāko mūsdienu dzīvnieku grupu.

3.11. attēls. Mezozoja ēras dinozauri
A. Viens no juras perioda dinozauriem bija *Apatosaurus*, kas barojās ar cikadejām un skujkokiem. **B.** *Tyranosaurus rex* bija krīta perioda dinozaurs laikā, kad pieauga ziedaugu loma.



A



B

Mezozojā valdīja dinozauri

Lai gan paleozoja ēras beigās notika masveida izmiršana, noteiktu augu un dzīvnieku grupu evolūcija turpinājās mezozoja ēras pirmajā periodā – triasā. Neziedošie sēklaugi, kas nosaukti par **kailsēkļiem** un kuru fosilijas atrodamas perma periodā, kļuva par dominējošo grupu. Starp šiem čiekuraugiem bija cikadejas un skujkoki. Cikadejas ir zemas, stāvas, ar palmām līdzīgām lapām. Uz sievišķajiem cikadeju augiem veidojas ļoti lieli čiekuri. Juras perioda laikā cikadejas bija tik nozīmīgas, ka dažreiz šo periodu sauc par cikadeju laikmetu. Sākot ar mezozoja ēras krīta periodu, ievērojami palielinājās ziedaugu, ko sauc par **segsēkļiem**, daudzveidība, bet čiekuraugu nozīme samazinājās.

Arī rāpuļu pirmsākumi saistās ar paleozoja ēras perma periodu. Atšķirībā no abiniekiem **rāpuļi** varēja attīstīties sausā klimatā, jo tiem ir zvīņaina āda un tie dēj ar čaumalu klātas olas, kas izšķiļas uz sauszemes. Rāpuļu plašā izplatīšanās notika mezozojā, kad izveidojās formas, kas dzīvoja gaisā, jūrās un uz sauszemes. Mezozoja ēras sākumā zīdītājiem līdzīgi rāpuļi, ko sauc par terapsīdiem jeb zīdītājzobu rāpuļiem, bija dominējošie. Terapsīdiem bija vertikāli novietotas kājas, kas ķermeni pacēla virs zemes. Juras perioda laikā lieli lidojoši rāpuļi, kurus sauca par pterozauriem, valdīja gaisā un milzu jūras rāpuļi ar pleznveida ekstremitātēm ēda zivis jūrā, bet uz sauszemes bija dinozauri (3.11. att.), kas kavēja tikko radušos zīdītājus ieņemt centrālo vietu evolūcijas procesā.

Dinozauri bija rāpuļi, no kuriem daži bija neparasti lieli. Juras periodā gargantuāns *Apatosaurus* un bruņām klātais traktora lieluma *Stegosaurus* pārtika no cikadeju sēklām un skujkokiem. Krīta perioda laikā degunradzveidīgā *Triceratops* milzu ganāmpulki klejoja līdzenumos kopā ar ievērojamo *Tyranosaurus rex*, kas bija plēsējs ar tādu pašu ekoloģisko lomu, kāda mūsdienās ir lauvām. Tāda dinozaura kā *Apatosaurus* ķermeņa lielumu ir grūti iztēloties. Viņš bija tik augsts kā trīsstāvu māja, bet viņa ķermeņa masa bija tikpat liela kā tūkstotim cilvēku. Kāds dinozauriem bija labums no tā, ka tie bija tik lieli? Viena no teorijām apgalvo, ka šo aukstasiņu dzīvnieku tilpuma un virsmas laukuma attiecība bija labvēlīga siltuma saglabāšanai. Citas teorijas sniedz pierādījumus, kas balstās galvenokārt uz dinozauru kaulu uzbūvi un apstiprina, ka vismaz daži dinozauri bija homotermiski (siltasiņu dzīvnieki). Nesen atklātie fakti, kas minēti 54. lappusē ievietotajā fragmentā, liecina, ka dinozaurus vispār nevar klasificēt kā rāpuļus.

Juras perioda laikā dinozauru grupa, ko sauc par teropodiem, bija uz divām kājām staigājoši, un tiem bija pagarināts, kustīgs S veida kakls. Fosilais *Archaeopterix* ir pārejas forma, kas parāda, ka teropodi ir radniecīgi putniem. Lai gan šim dzīvniekam bija spalvas, viņa žokļi bija ar zobiem un viņam bija gara ķirzakveida aste. Putnu fosilijas sāk parādīties nogulumos kopš juras perioda, un tās atrodamas arī no nākamās ēras.

Krīta perioda beigās dinozauri izmira. Par viņu masveida izmiršanas cēloņiem diskusijas joprojām turpinās.

Mezozoja ēras laikā dinozauri sasniedza milzu lielumu, bet zīdītāji palika sīki un neievērojami. Ziedaugi kļuva par valdošajiem augiem, aizstājot skujkokus.

Uzziniet tuvāk

Īstie dinozauri, celieties!

Mūsdienu paleontologi veido dinozauru rangu tabulas. Tā kā dinozaurus pieskaita pie rāpuļiem, tad uzskata, ka viņiem bija jābūt ar mūsdienu rāpuļu pazīmēm. Vai viņi bija aukstasiņu dzīvnieki, kas lēni kustējās un bija nesabiedriski? Nepareizi!

Pirmām kārtām ne visi dinozauri bija lieli, klumburējoši nezvēri. Daudzi dinozauri bija īsāki par 1 m, un viņu pēdu nospiedumi liecina, ka viņi kustējās taisni uz priekšu. Šie dinozauri stāvēja uz divām kājām, kas bija novietotas tieši zem ķermeņa. Iespējams, viņi bija tikpat veikli kā strausi, kas izceļas ar savu lielo ātrumu.

Dinozauri varēja būt siltasiņu dzīvnieki. Vai gan citādi viņi būtu spējuši veiksmīgi sacensties ar evolucionāri pārākajiem zīdītājiem? Viņiem vajadzēja panākt upuri un izbēgt no plēsējiem tāpat kā zīdītājiem, kuri ir ļoti aktīvi, jo viņiem ir izveidojusies liela vielmaiņas intensitāte. Daži apgalvo, ka aukstasiņu dzīvniekiem ir maza izturība un tie nevar turēties stāvus. Viņi uzskata, ka arī dinozauru kaulu uzbūve liecina par šo dzīvnieku siltasinību.

Dinozauri rūpējās par saviem pēcnācējiem tikpat daudz, kā to dara mūsdienu putni. Montānā paleontologs Džeks Horners ir pētījis fosilas ligzdas ar dinozauru olām, embrijiem un mazuļiem, kas tikko izšķīlušies (3.A. att.). Ligzdas ir aptuveni ar 7,5 metru diametru, tātad tādā lielumā, kāds bija nepieciešams pieaugušam dinozauram. Apmēram 20 izdētās olas tika prasmīgi izkārtotas gredzenos un varēja tikt pārklātas ar pūstošiem augiem, tādējādi uzturot tās siltas. Daudzās olās jau bija 1 m garu embriju kauli. Šķiet, ka dinozauru mazuļi palika ligzdā un viņus baroja vecāki. Viņi varēja sasniegt lielu augumu relatīvi īsā laikā, un tas atkal norāda, ka dinozauri bijuši siltasiņu dzīvnieki. Aukstasiņu dzīvnieki aug lēni, un viņiem ir nepieciešams ilgs laiks, lai sasniegtu šādu lielumu.

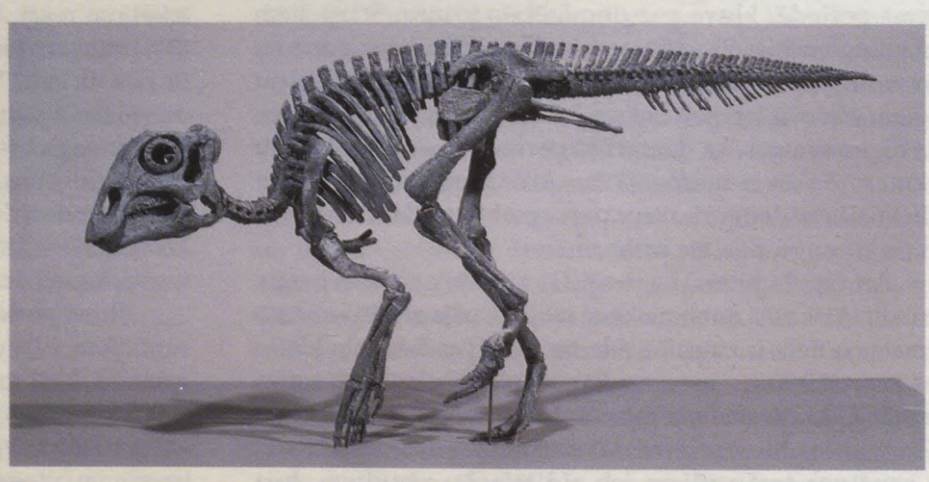
Dinozauri bija sabiedriski dzīvnieki. Ir novērtēts, ka milzīgs dinozauru bars, ko atrada Horners un viņa kolēģi teritorijā, kuras platība bija 2,5 kvadrātkilometri, sastāvējis no 10 000 dzīvniekiem, no kuriem saglabājušies 30 miljoni kaulu. Visticamāk, ka dzīvnieku bars pārvietojās uz vietām, kur bija pietiekami ziedaugu barības. Ziedaugi tur varēja tikt nograuzti vienā sezonā, bet atauga nākamajā sezonā. Fosilizējušos baru klāja vulkāniskie pelni, kas liecina, ka dinozauri aizgājuši bojā vulkāna izvirduma rezultātā.

Dažiem dinozauriem, piemēram, pīļknābjveida dinozauriem un ragainajiem dinozauriem, bija galvaskausa sekste. Kā tā funkcionēja? Iespējams, tā bija rezonējoša kamera, ko dinozauri izmantoja, kad sazinājās cits ar citu, vai arī, līdzīgi mūsdienu ragainajiem dzīvniekiem, kas dzīvo lielās grupās, tēviņi šo galvaskausa seksti varēja izmantot cīņās, lai nodrošinātu savu varu.

Vai dinozaurus var uzskatīt par rāpuļiem, ja viņi bija sabiedriski siltasiņu dzīvnieki, kas ātri pārvietojās? Daži zinātnieki apgalvo, ka nevar.



A



B

3.A. attēls. Dinozauru uzvedība

A. Fosila dinozauru ligzda ar olām. Ligzda atrasta Montānā un ir saglabājusies no krīta perioda.

B. Ligzdā atrastie mazuļu kauli (ap 50 cm). Šos dinozaurus nosauca par *Maiosaura*, kas grieķu valodā nozīmē "ķirzaku dievmāte".



3.12. attēls. Oligocēna epohas zīdītāji
Mākslinieks, izmantojot fosilijas, atainojis šos zīdītājus un to dzīvesvietu augāju.

Zīdītāji kļūst daudzveidīgi kainozojā

Saskaņā ar jauno sistēmu kainozoja ēra ir sadalīta paleogēna periodā un neogēna periodā. Mēs dzīvojam neogēna periodā.

Zīdītāju daudzveidība paleogēnā. Mezozoja ēras beigās sākās zīdītāju plaša izplatīšanās dažādās dzīvesvietās, kas pēc dinozauru bojāejas bija brīvas. **Zīdītāji** ir siltasiņu dzīvnieki, kurus klāj apmatojums, kas palīdz saglabāt pastāvīgu ķermeņa siltumu. Zīdītāju nosaukums ir radies sakarā ar to, ka šiem dzīvniekiem ir piena dziedzeri, kuros veidojas piens mazuļu barošanai. Paleocēna epohas sākumā zīdītāji bija nelieli, pelēm līdzīgi dzīvnieki. Eocēna epohas beigās zīdītāji kļuva daudzveidīgi un izveidojās visas mūsdienās sastopamās zīdītāju kārtas. Sikspārņi bija zīdītāji, kas apguvuši gaisa telpu. Vaļi, delfīni un citi jūras zīdītāji dzīvoja jūrā – sākotnējā vidē, kurā aizsākās mugurkaulnieku evolūcija. Nagainie zīdītāji apdzīvoja mežus un zālājus, un no viņiem pārtika dažādi gaļēdāji. Daudzi no paleogēna perioda zālēdājiem un gaļēdājiem mūsdienās ir izmiruši (3.12. att.).

Primātu evolūcija neogēnā. Primāti ir zīdītāju grupa, kas pielāgojusies dzīvošanai kokveida ziedaugos. Tur viņi ir pasargāti no plēsējiem un pārtiek no augļiem. Pirmie primāti bija mazi, vāverei līdzīgi dzīvnieki, bet no tiem attīstījās vispirms pērtiķi un vēlāk arī cilvēkpērtiķi. Miocēna epohas laikā mainījās klimats, izraisot Āfrikas mežu nomaiņu ar zālājiem. Tieši tad hominīdi sāka staigāt uz divām kājām un sākās cilvēka attīstība.

Neogēna periodā pasaules klimats strauji kļuva aukstāks, un divas turpmākās epohas ir pazīstamas kā ledus laikmets. Apledojuma periodu laikā sniegs un ledus klāja apmēram vienu trešdaļu no sauszemes virsmas. Pleistocēna



3.13. attēls. Pleistocēna epohas matainais mamuts
Matainie mamuti *Mammuthus* bija apbrīnojami dzīvnieki, kas dzīvoja pie kontinentālo ledāju robežām.

epoha bija ne tikai hominīdu laikmets, bet arī uz Zemes mītošu milzu sliņķu, bebru, vilku, bizonu, mataino degunradžu, mastodontu un mamutu laikmets (3.13. att.). Cilvēki ir izdzīvojuši, bet kas notika ar tikko minētajiem milzu zīdītājiem? Daži zinātnieki domā, ka cilvēki bija kļuvuši par tik izveicīgiem medniekiem, ka viņi ir vismaz daļēji atbildīgi par šo milzīgo dzīvnieku izmiršanu.

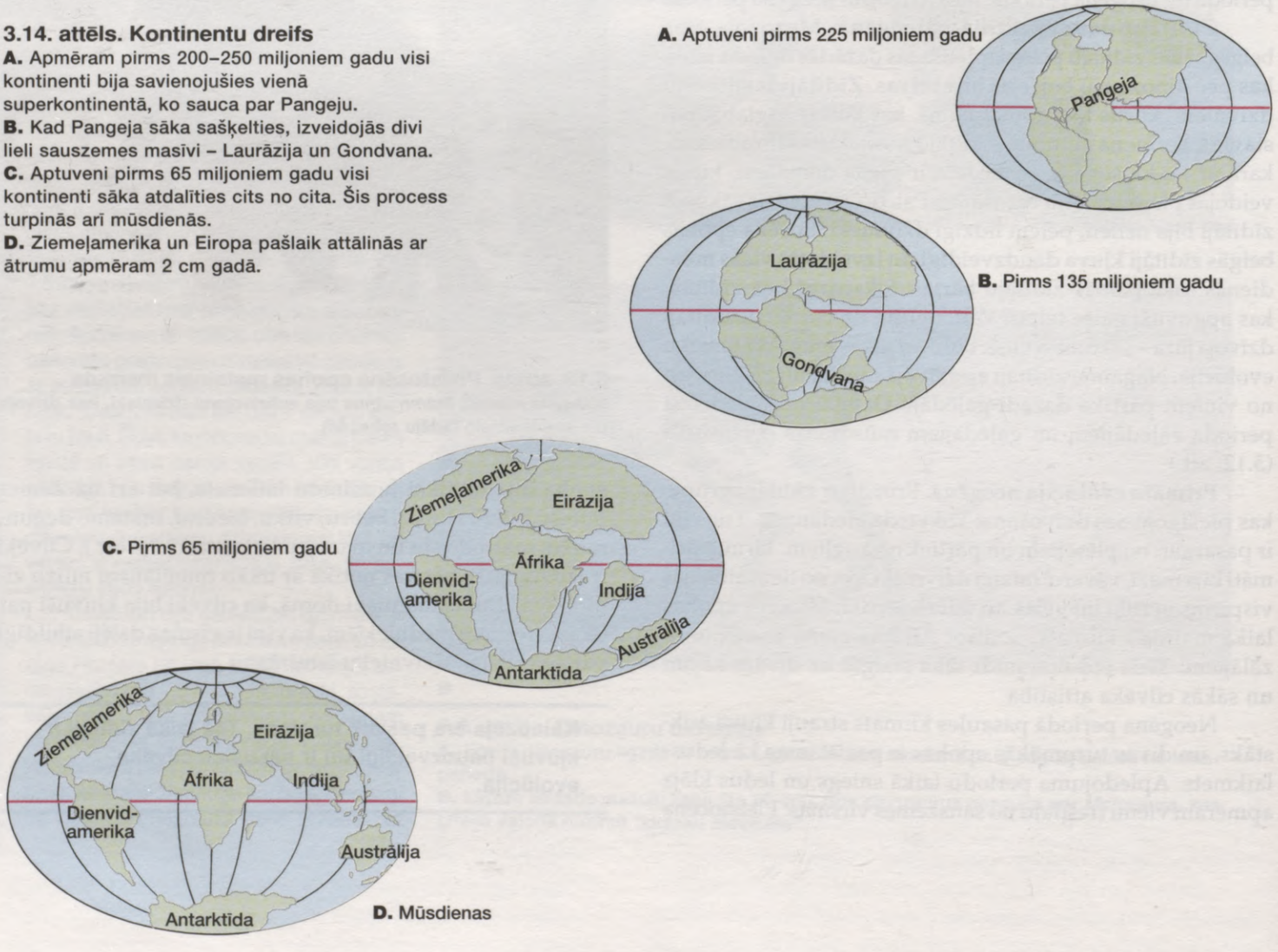
Kainozoja ēra pašlaik turpinās. Tās laikā zīdītāji ir kļuvuši daudzveidīgi un ir sākusies cilvēka evolūcija.

3.3. Faktori, kas ietekmē evolūciju

Agrāk uzskatīja, ka Zemes garoza ir nekustīga un kontinenti vienmēr ir bijuši savā pašreizējā vietā, bet okeānu dibens ir tikai krātuve, kurā uzkrājas no sauszemes noskalotās daļiņas. Vācu meteorologs Alfrēds Vegeners 1920. gadā pamatoja **kontinentu dreifa** hipotēzi, izmantojot dažādu zinātnes nozaru datus. Šī hipotēze, kas pilnībā tika pierādīta divdesmitā gadsimta sešdesmitajos gados, apgalvo, ka kontinenti nav nekustīgi, bet to novietojums, tāpat kā okeānu novietojums, laika gaitā ir mainījies (3.14. att.). Apmēram pirms 225 miljoniem gadu kontinenti atradās vienkopus, veidojot superkontinentu, ko Vegeners nosauca par Pangeju. Vispirms Pangeja sadalījās divos lielos sauszemes masīvos, ko sauc par Gondvanu un Laurāziju, bet pēc tam arī tie sašķēlās, veidojot mūsdienu kontinentus. Arī pašlaik kontinenti turpina pārvietoties attiecībā cits pret citu.

Kontinentālā dreifa hipotēze izskaidro to, kāpēc dažu kontinentu krasta līnija ir cita kontinenta krasta spoguļattēls. Āfrikas rietumu krasta līnija atbilst Dienvidamerikas austrumu krastam. Daudzās vietās, kur kontinenti bija saskārušies, ir atrastas vienādas ģeoloģiskās struktūras. Viena un tā pati kalnu grēda stiepjas cauri Dienvidamerikai, Antarktīdai un Austrālijai. Kontinentu dreifs izskaidro arī dažu fosiliju izplatības unikālo raksturu. Vienas un tās pašas sēklpapardes *(Glossopteris)* fosilijas ir atrastas visos dienvidu kontinentos. Līdz kontinentālā dreifa teorijas radīšanai tam nebija piemērota izskaidrojuma, bet tagad šķiet ticami, ka šie augi evolucionēja jau pirms superkontinenta sašķelšanās un pēc tam, kad tas sadalījās, nonāca pārējos kontinentos. Līdzīgi arī fosilais rāpulis *Cynognatus* ir atrasts Āfrikā un Dienvidamerikā, bet zīdītājveida rāpulis *Lystrosaurus* ir atrasts gan Antarktīdā, gan arī Āfrikā un Dienvidaustrumu Āzijā, kuras atrodas tālu prom no Antarktīdas. Ar zīdītāju fosilijām situācija ir citāda: Austrālijā, Dienvidamerikā un Āfrikā sastopami atšķirīgi zīdītāji, jo to evolūcija sākās pēc sauszemes masīvu sadalīšanās. Zīdītāju bioloģiskā daudzveidība mūsdienu pasaulē ir atsevišķo kontinentu izolācijas rezultāts.

Kontinentu savstarpējais novietojums ir ietekmējis Zemes bioģeogrāfiju.

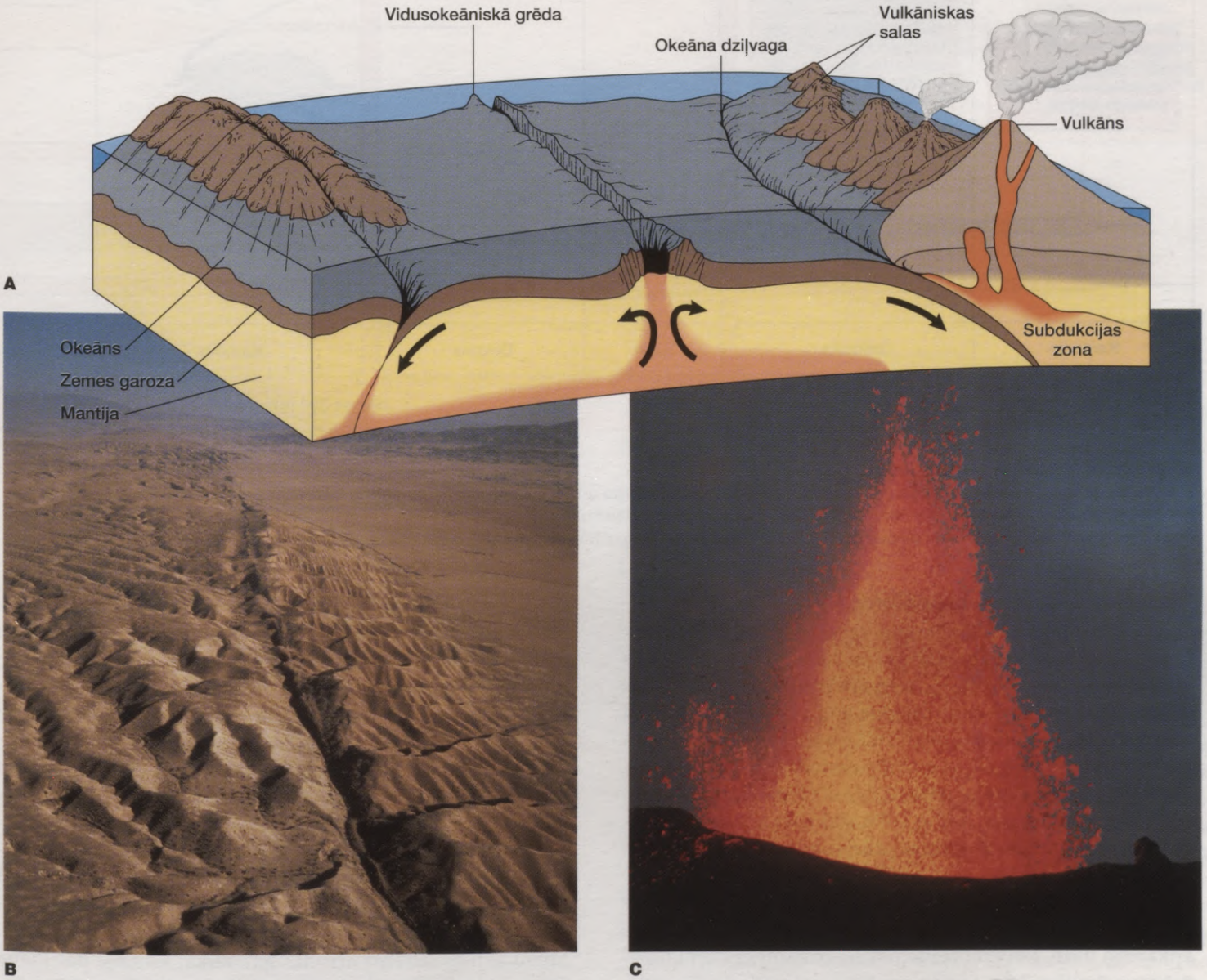


3.14. attēls. Kontinentu dreifs
A. Apmēram pirms 200–250 miljoniem gadu visi kontinenti bija savienojušies vienā superkontinentā, ko sauca par Pangeju.
B. Kad Pangeja sāka sašķelties, izveidojās divi lieli sauszemes masīvi – Laurāzija un Gondvana.
C. Aptuveni pirms 65 miljoniem gadu visi kontinenti sāka atdalīties cits no cita. Šis process turpinās arī mūsdienās.
D. Ziemeļamerika un Eiropa pašlaik attālinās ar ātrumu apmēram 2 cm gadā.

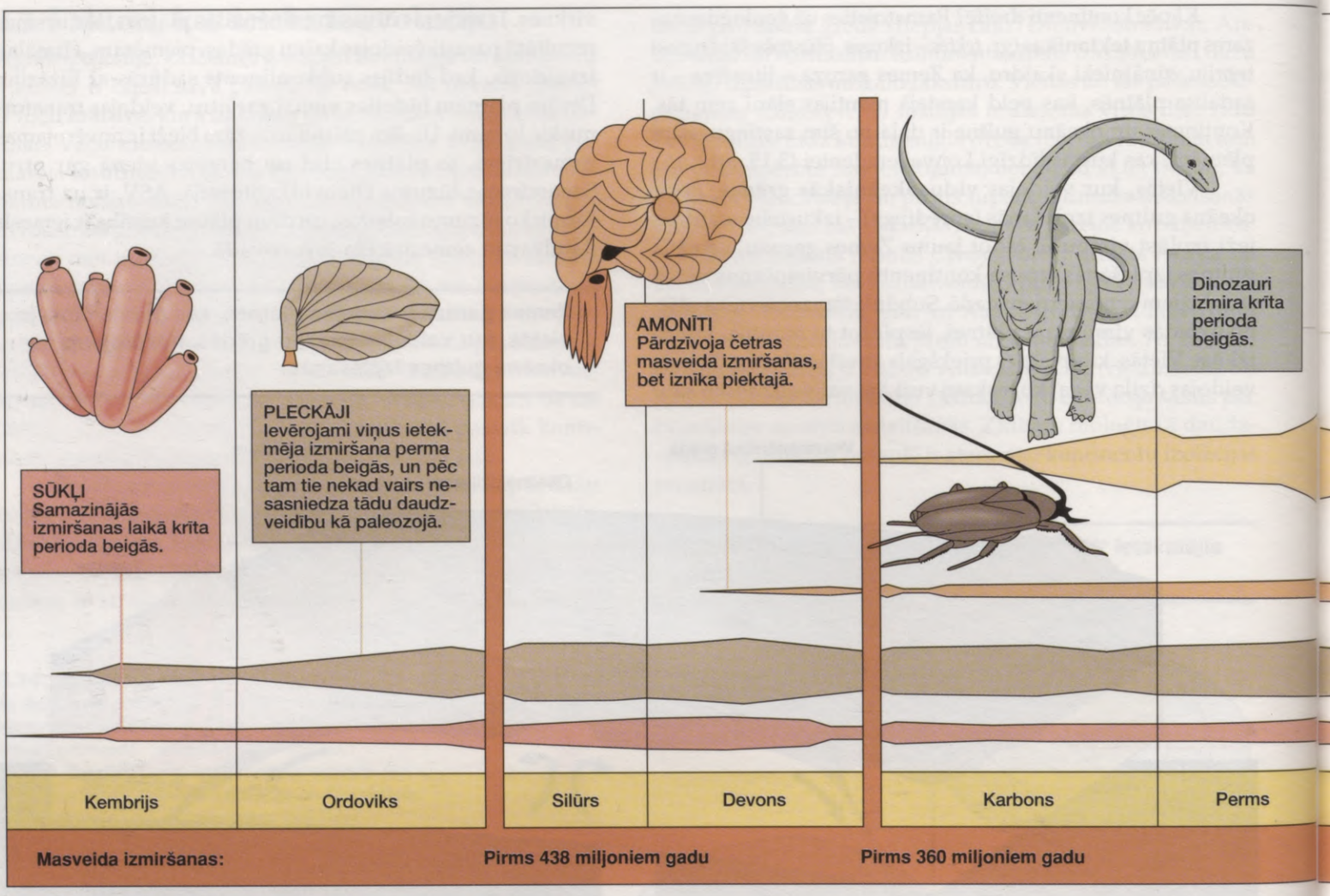
Kāpēc kontinenti dreifē? Pamatojoties uz ģeoloģijas nozares **plātņu tektonikas** (gr. *tektos* – izkusis, plūstošs šķidrums) teoriju, zinātnieki skaidro, ka Zemes garoza – litosfēra – ir sadalīta plātnēs, kas peld karstajā mantijas slānī zem tās. Kontinenti un okeānu gultne ir daļa no šīm sastingušajām plātnēm, kas kustas līdzīgi konveijera lentei (3.15. att.).

Vietās, kur veidojas **vidusokeāniskās grēdas**, noris okeāna gultnes izplešanās (sprēdings) – izkusušie mantijas ieži izplūst virspusē, radot jaunu Zemes garozu. Okeāna gultnes izplešanās izraisa kontinentu pārvietošanos vidēji par dažiem centimetriem gadā. Subdukcijas zonā viena plātne uzbīdās virsū otrai plātnei, iespiežot to mantijā, kur tā izkūst. Vietās, kur plātnes priekšgals atrodas okeāna dibenā, veidojas dziļa vaga, ko ieskauj vulkāni vai vulkānisko salu virknes. Ja saduras divas kontinentālās plātnes, sadursmes rezultātā parasti veidojas kalnu grēdas, piemēram, Himalaji izveidojās, kad Indijas subkontinents sadūrās ar Eirāziju. Divām plātnēm bīdoties vienai gar otru, veidojas transformiskie lūzumi. Uz šīm plātņu robežām bieži ir novērojamas zemestrīces, jo plātnes slīd un berzējas viena gar otru. Sanandreasa lūzums Dienvidkalifornijā, ASV, ir uz transformisko lūzumu robežas, un divu plātņu kustība ir iemesls daudzajām zemestrīcēm šajā novadā.

Zemes garoza ir sadalīta plātnēs, kas pārvietojas, jo vietās, kur veidojas okeānu grēdas, novērojama okeāna gultnes izplešanās.



3.15. attēls. Plātņu tektonika
A. Plātnes sašķeļas un attālinās no okeānu grēdām subdukcijas zonu virzienā. Tur plātnes saduras, viena plātne uzbīdās otrai, kas tiek iespiesta mantijā un izkūst. **B.** Transformiskā robeža veidojas vietās, kur divas plātnes berzējas viena gar otru. Sanandreasa lūzums atrodas uz transformiskās robežas, kur bieži reģistrētas zemestrīces. **C.** Islande ir vulkāniska sala. Tā ir viena no nedaudzajām vietām uz Zemes, kur vidusokeāniskā grēda sasniedz jūras līmeni. Visai salai pilnībā ir vulkāniska izcelsme.



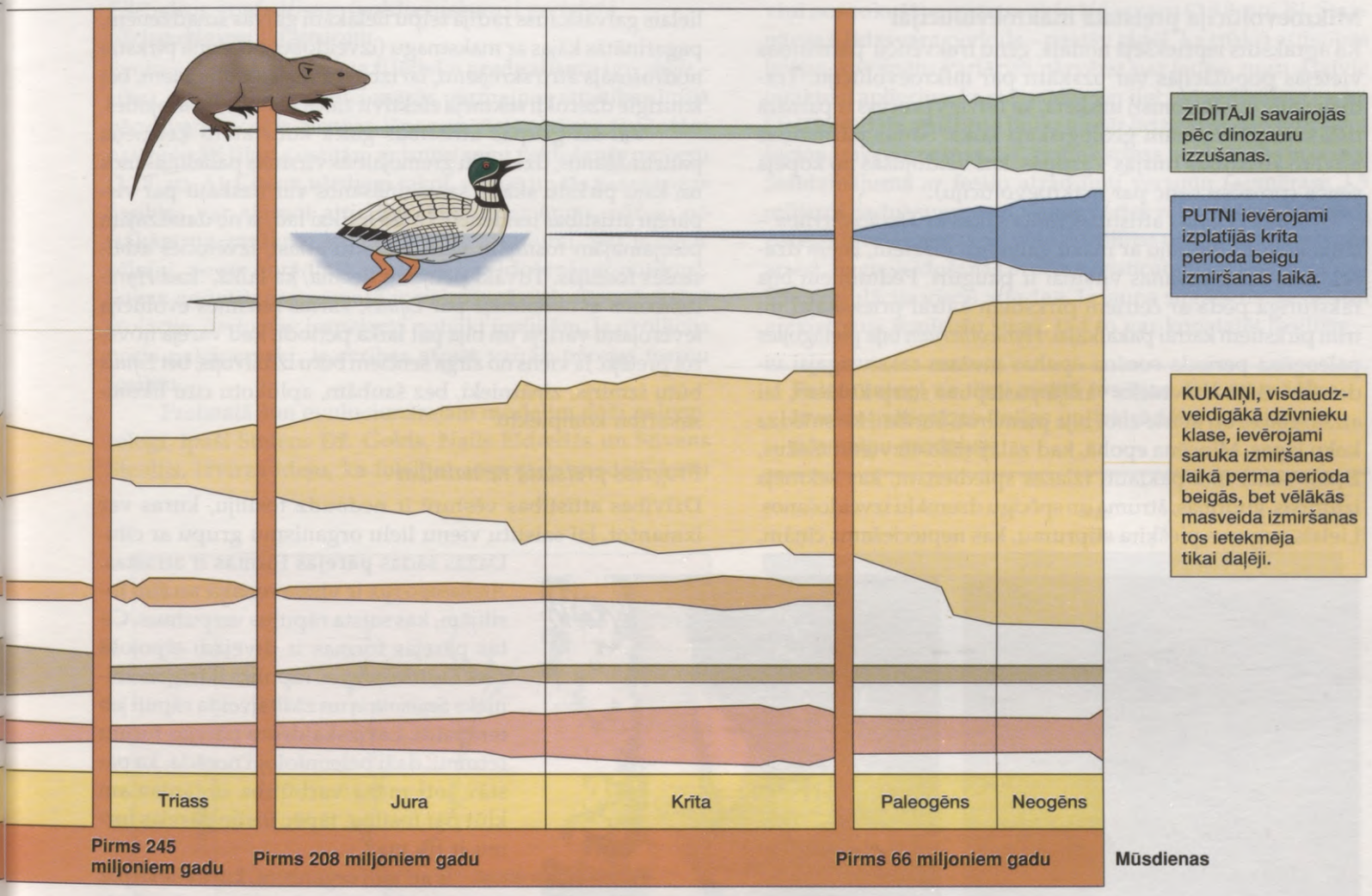
3.16. attēls. Masveida izmiršanas
Piecas nozīmīgas masveida izmiršanas un to ietekme uz noteiktu jūras un sauszemes dzīvības formu izplatību. Horizontālo joslu platuma pārmaiņas norāda uz aplēsēm par katras dzīvības formas mainīgo daudzumu.
Avots. Datus sagādāja un ilustrāciju pārbaudīja Dz. Džons Sepkoskis, Čikāgas Universitātes paleontoloģijas profesors.

Masveida izmiršanu izzināšana

Izmiršana ir pilnīga kādas sugas vai augstāka ranga taksonomiskas grupas visu pārstāvju izzušana. **Masveida izmiršana** ir lielāka sugu skaita vai augstākā ranga taksonomiskās grupas izzušana tikai dažu miljonu gadu laikā. Vēsturiskajā attīstībā ir bijušas vismaz piecas masveida izmiršanas: ordovika, devona, perma, triasa un krīta perioda beigās (3.16. att.). Masveida izmiršanām parasti seko vismaz daļēja evolucionāra atjaunošanās, kuras laikā atlikušās organismu grupas strauji izplatās un aizņem atbrīvojušās izmirušo organismu dzīvesvietas.

Vai masveida izmiršanas cēlonis ir kāda kataklizma? Varbūt tas ir pakāpenisks process, ko izraisa pārmaiņas apkārtējā vidē, ietverot tektoniskas, okeāniskas un klimatiskas svārstības? Šis jautājums kļuva aktuāls 1977. gadā, kad Valters un Luijs Alvarezs izteica pieņēmumu, ka bolīds ir izraisījis izmiršanu krīta periodā. Bolīds ir asteroīds, kas eksplodē, radot meteorītus, kuri nokrīt uz Zemes. Viņi atklāja, ka krīta perioda māli satur neparasti daudz irīdija, kas ir Zemes garozā reti sastopams elements un ko daudz biežāk atrod asteroīdos (vai to fragmentos meteorītos). Liela meteorīta ietriekšanās Zemē varēja radīt atombumbas eksplozijai līdzvērtīgu rezultātu pasaules mērogā. Putekļu mākoņa sēne varēja iesniegties atmosfērā, aizēnojot Sauli un izraisot augu nosalšanu un bojāeju. Nesen slānī līdzās irīdijam konstatēta arī pelnu kārta, bet pirms dažiem gadiem Karību jūras Meksikas līcī Jukatanas pussalā tika konstatēts liels krāteris, kuru, iespējams, izveidojis meteorīts.

Paleontologi Deivids Reiaps un Džons Sepkoskis izvirzīja domu, ka jūras dzīvnieku fosilijas atspoguļo masveida izmiršanas, kas notikušas ik pēc 26 miljoniem gadu. Pārsteidzoši, ka astronomi varēja sniegt tam izskaidrojumu. Mūsu Saules sistēma atrodas galaktikā, ko sauc par Piena Ceļu. Tā kā Saule veic vertikālu kustību, Saules sistēma tuvojas citām Piena Ceļa planētu sistēmām ik pēc 26 līdz 33 miljoniem gadu, radot nestabilitāti, kas var izraisīt bolīda tuvošanos. Iespējams, ka dažas masveida izmiršanas ir saistītas ar ārpuszemes norisēm.



Neapšaubāmi, kontinentālais dreifs ir ietekmējis izmiršanu ordovika periodā. Šī izmiršana notika pēc tam, kad Gondvana nokļuva dienvidpolā. Plašs ledājs, kas uzņēma ūdeni no okeāniem, atdzesēja pat agrākās tropu zemes. Jūras bezmugurkaulnieki un koraļļu rifi, kas bija īpaši grūti ietekmējami, neatjaunojās, līdz Gondvana dreifēja prom no pola un atgriezās siltums. Masveida izmiršanā devona perioda beigās izzuda 70 % jūras bezmugurkaulnieku. Helmonts Geldzecers no Kanādas Ģeoloģijas dienesta norāda, ka irīdijs ir atrasts devona iežos Austrālijā. Tas liecina, ka saistība ar bolīdu varētu būt arī devona perioda izmiršanai. Citi zinātnieki uzskata, ka šī masveida izmiršana varēja notikt, Gondvanai virzoties atpakaļ un šķērsojot dienvidpolu.

Perma perioda beigās visas sauszemes masas savienojās, veidojot superkontinentu Pangeju. Seklo piekrastes ūdeņu platības ievērojami saruka, un tas būtiski ietekmēja jūras organismus. Pilnīgi izmira trilobīti, gandrīz izzuda krinoīdi (jūraslilijas). Apledojumi veidojās uz abiem poliem, un ledus periodiski pārklāja sauszemi, bet klimats iekšzemē kļuva sausāks un aukstāks. Daļēji tika ietekmēti arī dumbrāju meži, kas bija izveidojušies karbona periodā, un tajos mītošie abinieki. Izmiršana perma periodā bija līdz tam laikam visspēcīgākā, jo izzuda 96 % sugu.

Izmiršana triasa perioda beigās ir vēl viena izmiršana, ko, iespējams, radīja sadursme ar meteorītu un tās izraisītās pārmaiņas vidē. Kvebekas centrālajā daļā ir krāteris, kurš ir uz pusi mazāks par Konektikutu, ko daži zinātnieki uzskata par šīs sadursmes vietu. Iespējams, ka dinozauri bija ieguvēji no šī notikuma, jo tas bija laiks, kad pirmie milzu dinozauri iekaroja sauszemi. Otrais vilnis bija krīta periodā.

Vēl joprojām tiek pētīts, vai bolīds izraisīja vai arī ietekmēja izmiršanu krīta periodā. Šī izmiršana, kas iznīcināja dinozaurus, pterozaurus, amonītus un vairāk nekā 75 % no zināmajām jūras planktona sugām, nenotika vienā naktī. Tādi notikumi uz sauszemes kā tektonika, okeāna un klimata svārstības ietekmēja mazāk nozīmīgus sporādiskas izmiršanas periodus 0,5 līdz 5 miljonu gadu garumā. Varēja būt, ka ārpuszemes notikums bija pēdējais posms šajā procesā.

Mikroevolūcija pretstatā makroevolūcijai

Kā aprakstīts iepriekšējā nodaļā, gēnu frekvenču pārmaiņas vietējās populācijās var uzskatīt par mikroevolūciju. Tradicionālie evolucionisti uzskata, ka līdzīgs process ir pamatā lielākām pārmaiņām ģeoloģiskajā laikā. Šādas pārmaiņas novēro **attīstības līnijās** – grupās, kas veidojušās no kopējā senča (procesu sauc par makroevolūciju).

Zirga *(Equus)* attīstības līnija sākas ar *Hyracotherium* – suņa lieluma zīdītāju ar mazu galvu un maziem, īsiem dzerokļiem, kuru košanas virsmai ir pauguri. Pēdmiņiem bija raksturīga pēda ar četriem pirkstiem katrai priekškājai un trim pirkstiem katrai pakaļkājai. *Hyracotherium* bija pielāgojies paleogēna perioda eocēna epohas mežam raksturīgajai videi. Šis sīkais dzīvnieks varēja paslēpties starp kokiem, lai aizsargātos, un tā īsie zobi bija piemēroti barībai, ko sniedza koku lapas. Miocēna epohā, kad zālāji sāka aizvietot mežus, *Equus* senči tika pakļauti izlases spiedienam, kas sekmēja izturības, gudrības, ātruma un spēcīgu dzerokļu izveidošanos. Lielais augums piešķīra stiprumu, kas nepieciešams cīņām, lielais galvaskauss radīja telpu lielākām galvas smadzenēm, pagarinātās kājas ar makstnagu (izveidojies no viena pirksta) nodrošināja ātru skrējienu, lai izbēgtu no ienaidniekiem, bet izturīgie dzerokļi sekmēja efektīvu zāles pārstrādi barojoties.

Vai šīs grupas attīstības gaitā konstatēto ķermeņa palielināšanos, dzerokļu gremojamās virsmas palielināšanos un kāju pirkstu skaita samazināšanos var uzskatīt par vispārēju attīstības tendenci? Tā tas ir tikai tad, ja no daudzajām pieejamajām fosilijām veic noteiktu atlasi, izvēloties atbilstošās fosilijas. Tuvāki pētījumi liecina, ka laikā, kad *Hyracotherium* evolucionēja par *Equus*, katras pazīmes evolūcija ievērojami variēja un bija pat laika periodi, kad varēja novērot pretējo. Ja viens no zirga senčiem būtu izdzīvojis, bet *Equus* būtu izmiris, zinātnieki, bez šaubām, aplūkotu citu likumsakarību komplektu.

Progress pretstatā nemainībai

Dzīvības attīstības vēsturē ir nedaudz fosiliju, kuras var izmantot, lai saistītu vienu lielu organismu grupu ar citu. Dažas šādas **pārejas formas** ir atrastas. *Archaeopteryx* ir visslavenākā no šīm fosilijām, kas saista rāpuļus un putnus. Citas pārejas formas ir divējādi elpojošā zivs *Eusttheopteron*, rāpulim līdzīgais abinieks *Seymouria* un zīdītājveida rāpuļi jeb terapsīdi. Lai izskaidrotu pārejas formu retumu, daži paleontologi norāda, ka pastāv ļoti maza varbūtība organismam kļūt par fosiliju, tāpēc fosilo pārejas formu ir tik maz.

Ir arī tādi organismi, kurus dēvē par **dzīvajiem izrakteņiem**, tāpēc ka tie ir ļoti līdzīgi senčiem, kas pazīstami no fosilijām. Nesen pētnieki ir atraduši lieliski saglabājušos ciānbaktēriju paraugus, kuros atrastajām ciānbaktērijām ir tāds pats lielums, forma un uzbūve kā dzīvajām formām. Šie atradumi liecina, ka mūsdienu ciānbaktērijas 3 miljardu gadu laikā nemaz nav mainījušās. Par izmirušu augu uzskatīja metasekvoju. Vēlāk atrada dažas dzīvas metasekvojas nelielā teritorijā Ķīnā. Krabji, krokodili un celekants jeb latimērija ir dzīvnieki, kas joprojām atgādina savus agrīnos senčus. Zvīņnešus sauc arī par zvīņainajiem skudrulāčiem. Nesen atrastā zvīņneša fosilija no eocēna epohas liecina, ka šie dzīvnieki 60 miljonu gadu laikā ir maz mainījušies (3.17. att.). Laika posmu, kurā evolucionārās pārmaiņas kādā attīstības līnijā tikpat kā nenotiek, sauc par stagnāciju.



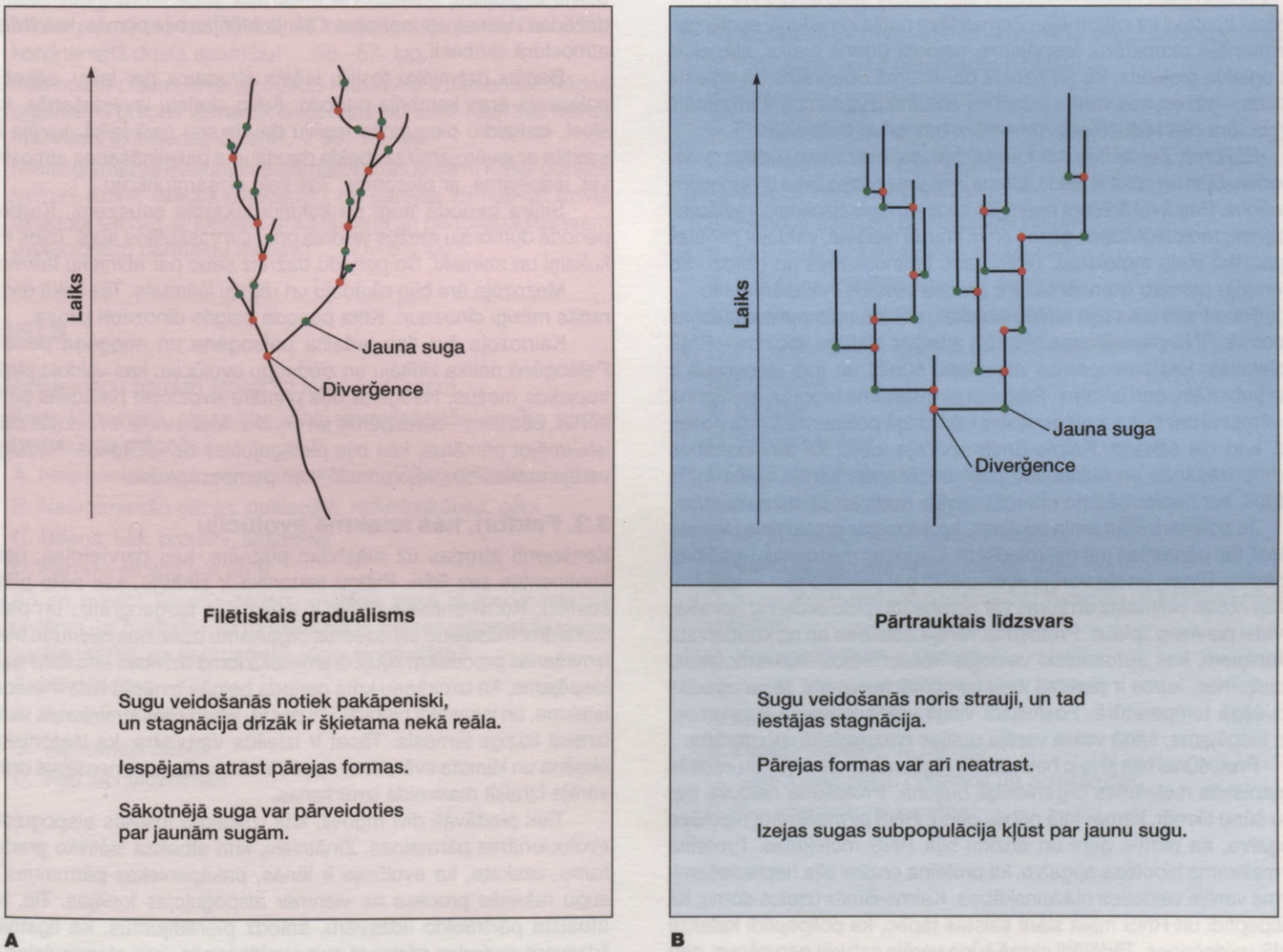
3.17. attēls. Evolucionāra stagnācija
Eocēna zvīņneša *Manis* fosilija, kas tika atrasta Meseles raktuvēs Vācijā, ir vecākā zināmā šīs grupas dzīvnieku fosilija. Tā parāda, ka zvīņneši ir ļoti maz izmainījušies kopš to parādīšanās.

Filētiskais graduālisms (pakāpeniskums) pretstatā pārtrauktajam līdzsvaram

Evolucionisti, kas atbalsta **filētisko graduālismu** (gr. *phyle* – cilts), uzskata, ka evolucionārās pārmaiņas attīstības līnijā pēc diverģences ir diezgan lēnas un vienmērīgas, tāpēc tām nav obligāti jābūt saistītām ar jaunu sugu veidošanās procesu (3.18. att. A). Citiem vārdiem sakot, vienas un tās pašas sugas fosilijas var atainot attīstību laikā, piemēram, pāreju no īsākām uz garākām kājām. Fosilie atradumi, pat ja tie ir pilnīgi, nevar norādīt, kad sugas izveidošanās ir notikusi. Sugas nodalīšanas pamatā ir vairošanās jeb reproduktīvā izolācija, un to nav iespējams noteikt fosilijām. Ja evolūcija noris pakāpeniski, ir cerības atrast vairāk pārejas formu fosiliju.

Pretstatā šim evolucionārajam modelim daži paleontologi, īpaši Stefens Dž. Golds, Nails Eldredžs un Stīvens Stenlijs, izvirza ideju, ka fosilijas atspoguļo modeli, kuru viņi nosaukuši par **pārtraukto līdzsvaru** (3.18. att. B). Stagnācija – līdzsvara periods – pastāv tādēļ, ka trūkst attīstības līnijas, kas spētu variāciju pārvērst par jaunu sugu. Dzīvie izrakteņi apliecina, ka stagnācija var ilgt pat miljoniem gadu. Lielākajā daļā attīstības līniju tomēr līdzsvaru pārtrauc evolucionāras pārmaiņas, t. i., notiek sugas veidošanās process. Salīdzinājumā ar fosilo atradumu vecumu (apmēram 3,5 miljardi gadu) sugu veidošanās notiek relatīvi ātri. Tādējādi pārejas formas nepaspēj veidot fosilijas un tās nav iespējams atrast. Sugu veidošanās procesā, visticamāk, ir iesaistīta izolēta populācija vienā atradnē. Ja jauna suga attīstījusies un aizvietojusi izmirušu sugu, tad to var konstatēt fosilijās.

Paleontologi ne tikai meklē fosilijas, bet arī mēģina izveidot attīstības līnijas un izstrādāt evolucionāro pārmaiņu modeļus.



3.18. attēls. Filētiskais graduālisms pretstatā pārtrauktajam līdzsvaram
Shēmās parādītas atšķirības starp filētisko graduālismu (A) un pārtraukto līdzsvaru (B).

Pārskats

Vai evolūcijas procesam vienmēr jānotiek līdzīgi? Tradicionālais viedoklis par evolūcijas procesu pauž domu, ka sugu veidošanās process notiek pakāpeniski un nepārtraukti. Jauna hipotēze apgalvo, ka ilgstošu laika periodu, kurā ir sīkas evolucionāras pārmaiņas vai arī pārmaiņu nav, pārtrauc periodi ar relatīvi strauju sugu veidošanās gaitu. Vai pastāv iespēja, ka dažādās organismu grupās vai atšķirīgos laika periodos var darboties arī abi šie mehānismi?

Vai ir iespējams, ka dzīvības attīstības gaita kādā laika posmā atšķiras no iepriekšējās attīstības gaitas? Sugas, kas sastopamas mūsdienās, ir to abiotisko un biotisko pārmaiņu galaprodukts, kuras notikušas, kopš dzīvība uz Zemes ir izveidojusies. Kas notiktu, ja abiotiskās un biotiskās pārmaiņas būtu bijušas citādas? Piemēram, kāda veida zīdītāji būtu sastopami mūsdienās, ja kontinenti nebūtu atdalījušies pirms 65 miljoniem gadu? Vai zīdītāji vispār būtu? Vides apstākļiem mainoties citādā secībā, iespējams, būtu izveidojies cits augu un dzīvnieku sugu sastāvs atšķirībā no tā, kāds eksistē tagad.

Notikusī dzīvības attīstība uz Zemes ir tikai viens no iespējamiem scenārijiem. Ja būtu iespējams "attīt" dzīvības attīstības "ierakstu" atpakaļ un ļaut vēsturei sākties no jauna, gala rezultāts, pilnīgi iespējams, varētu būt atšķirīgs – atkarībā no tām ģeoloģiskajām un bioloģiskajām norisēm, kuras notiktu otrreiz. Tāpat cilvēks, kurš būtu piedzimis citā laikā un citā zemē, nekā viņš dzīvo tagad, būtu pilnīgi citāds, nekā viņš pašlaik ir.

Kopsavilkums

3.1. Dzīvības rašanās

Unikāli apstākļi uz sākotnējās Zemes ļāva notikt ķīmiskajai evolūcijai. Pirmatnējo atmosfēru, iespējams, veidoja ūdens tvaiks, slāpeklis un oglekļa dioksīds, kā arī nelielā daudzumā ūdeņradis un oglekļa oksīds – gāzes, kas varēja izdalīties vulkānu izvirdumos. Pirmatnējā atmosfēra bija reducējoša atmosfēra bez brīva skābekļa.

Sākumā Zeme bija ļoti karsta, bet, tai atdziestot, ūdens tvaiki kondensējās un sāka līt lietus. Lietus ieskaloja gāzes tikko izveidotajos okeānos. Pastāvot ārējiem enerģijas avotiem – ultravioletajai radiācijai, zibenim, radioaktivitātei, gāzes savā starpā reaģēja, veidojot nelielas organisko vielu molekulas, piemēram, aminoskābes un glikozi. Šo scenāriju pamato Stenlija Millera un citu pētnieku eksperimenti.

Nākamais solis bija makromolekulu veidošanās polimerizācijas procesā. RNS pirmsākuma hipotēzi atbalsta atklātie ribozīmi – RNS molekulas, kas sastopamas mūsdienu šūnās un kas vienlaikus ir gan substrāts, gan enzīms. Proteīna pirmsākuma hipotēzi apstiprina novērojumi par to, ka aminoskābēm raksturīgā polimerizēšanās notiek tad, kad tās sakarst. Kairns-Smits izvirzīja ideju, ka aminoskābes polimerizēšanās un nukleotīdu polimerizēšanās varēja notikt māla slāņos, kur nepieciešamo enerģiju varēja nodrošināt radioaktivitāte.

Ja polimerizētās aminoskābes, ko sauc par proteīniem, ievieto ūdenī, tās pārvēršas par mikrolodītēm. Daudzas mikrolodīšu īpašības atgādina šūnas, un tās varēja evolucionēt par protošūnām – daļiņām, kurās notiek vielmaiņa un kuras var norobežot lipīdu-proteīnu apvalks, ja videi pievieno lipīdus. Protošūna varēja attīstīties arī no koacervāta pilieniņiem, kas automātiski veidojas koncentrētos makromolekulu maisījumos, kuros ir pareizā jonu kombinācija un pH, ja tie atrodas labvēlīgā temperatūrā. Fosfolipīdi viegli veido lodveida liposomas, un, iespējams, šādā veidā varēja rasties plazmatiskā membrāna.

Protošūnai bija jāveic heterotrofā rūgšana, izmantojot jau esošās organiskās molekulas organiskajā buljonā. Protošūna nekļuva par īstu šūnu tikmēr, kamēr tajā nebija gēnu. RNS pirmsākuma hipotēze apgalvo, ka pirmie gēni un enzīmi bija RNS molekulas. Proteīna pirmsākuma hipotēze apgalvo, ka proteīna enzīmi bija nepieciešami, pirms varēja veidoties nukleīnskābes. Kairns-Smits izteica domu, ka polipeptīdi un RNS māla slānī saistās tāpēc, ka polipeptīdi katalizē RNS veidošanos. Tādējādi pirmā šūna varēja saturēt gan gēnus, gan proteīnu enzīmus vienlaikus.

3.2. Dzīvības vēsture

Fosilijas ļauj mums izsekot dzīvības attīstības gaitai. Prokarioti radās aptuveni pirms 3,5 miljardiem gadu pirmskembrijā, un tie bija vienīgie dzīvie organismi vismaz 1,4 miljardus gadu, kuru gaitā attīstījās dažādas vielmaiņas reakcijas. Ciānbaktērijas bija pirmās, kas izdalīja atmosfērā skābekli.

Bagāts dzīvnieku fosiliju klāsts atrodams par laiku, sākot no paleozoja ēras kembrija perioda. Ārējo skeletu izveidošanās, kas, šķiet, izskaidro pieaugošo fosiliju daudzumu šajā laikā, varēja būt saistīta ar ievērojamu skābekļa daudzuma palielināšanos atmosfērā vai, iespējams, ar plēsonību. Tas veic aizsargfunkciju.

Silūra periodā augi un kukaiņi iekaroja sauszemi. Karbona perioda dumbrāju mežus veidoja primitīvi vaskulārie augi. Tajos mita kukaiņi un abinieki. Šo periodu dažreiz sauc par abinieku laikmetu.

Mezozoja ēra bija cikadeju un rāpuļu laikmets. Tās laikā divreiz radās milzīgi dinozauri. Krīta perioda beigās dinozauri izmira.

Kainozoja ēra tiek iedalīta paleogēna un neogēna periodā. Paleogēnā notika zīdītāju un ziedaugu evolūcija, kas veidoja plašus tropiskos mežus. Neogēnā bija primātu evolūcija: parādījās pirmie pērtiķi, pēc tiem – cilvēkpērtiķi un cilvēks. Mežu vietā izveidojās zālāji, ietekmējot primātus, kas bija pielāgojušies dzīvei kokos. Rezultātā varēja rasties cilvēki – primāti, kas pameta kokus.

3.3. Faktori, kas ietekmē evolūciju

Kontinenti atrodas uz masīvām plātnēm, kas pārvietojas, nesot kontinentus sev līdzi. Plātņu tektonika ir zinātne, kas pēta plātņu kustību. Kontinentālais dreifs ir ietekmējis bioģeogrāfiju un palīdz izskaidrot mūsdienu sauszemes organismu izplatības raksturu. Manu izmiršanas procesiem bijusi dramatiska loma dzīvības attīstības gaitā. Iespējams, ka izmiršanu krīta perioda beigās izraisīja liela meteorīta ietekme, un ir savākti pierādījumi par to, ka arī citas izmiršanas varēja izraisīt līdzīgs iemesls. Tāpat ir izteikta varbūtība, ka tektoniskas, okeāna un klimata svārstības, īpaši, ja tās radīja kontinentālais dreifs, varēja izraisīt masveida izmiršanas.

Tiek piedāvāti divi modeļi, kas izskaidro fosilijās atspoguļotās evolucionārās pārmaiņas. Zinātnieki, kuri atbalsta filētisko graduālismu, uzskata, ka evolūcija ir lēnas, pakāpeniskas pārmaiņas un sugu rašanās process ne vienmēr atspoguļojas fosilijās. Tie, kuri atbalsta pārtraukto līdzsvaru, sniedz pierādījumus, ka ilgstošus līdzsvara periodus pārtrauc sugu veidošanās, kas atspoguļojas fosilijās.

Pārbaudiet sevi

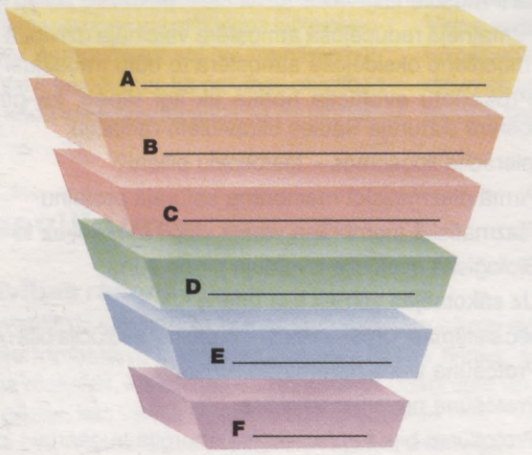
1. Raksturojiet Stenlija Millera eksperimentu un tā nozīmi! 43. lpp.
2. Nosauciet protošūnas izveidošanās ķīmiskās evolūcijas posmus! 44.–45. lpp.
3. Salīdziniet RNS pirmsākuma hipotēzi ar proteīna pirmsākuma hipotēzi! Kādas makromolekulas varēja būt vienlaikus māla slānī, ja tur notika polimerizācija? 44. lpp.
4. Kas ir protošūna? Kā varēja izveidoties plazmatiskā membrāna? 44.–45. lpp.
5. Kas liecina par to, ka protošūnā ir notikusi heterotrofā rūgšana? 45. lpp.
6. Kas ir īsta šūna? Kā varēja izveidoties pirmā replicēšanās sistēma? 45. lpp.
7. Kā rodas fosilijas? Kā nosaka fosiliju relatīvo un absolūto vecumu? 46.–47. lpp.
8. Raksturojiet dzīvības attīstības gaitu, minot galvenos notikumus pirmskembrijā, kā arī paleozoja, mezozoja un kainozoja ērā! 55. lpp.
9. Kas ir kontinentālais dreifs? Kā tas ir saistīts ar plātņu tektoniku? Miniet piemērus, kas ilustrē, kā bioģeogrāfija palīdz izskaidrot kontinentālā dreifa esamību! 56.–57. lpp.
10. Kad notika piecas ievērojamākās masveida izmiršanas? Kādas organismu grupas visvairāk cieta katrā no tām? Kādi bija katras masveida izmiršanas cēloņi? 58.–59. lpp.
11. Miniet piemērus evolucionārajām attīstības līnijām! Kas ir pārejas forma? Kas ir dzīvais izraktenis? Kā pārejas formas un dzīvie izrakteņi saistās ar filētiskā graduālisma un pārtrauktā līdzsvara evolucionāro pārmaiņu modeli? 60.–61. lpp.

Tests

Izvēlieties vienu pareizo atbildi uz katru jautājumu!

1. Kura ir pareizā organisko vielu izveidošanās secība pirms protošūnas rašanās?
   A. Neorganiskās gāzes, aminoskābes, polipeptīdi, mikrolodīte
   B. Neorganiskās gāzes, nukleotīdi, nukleīnskābes, gēni
   C. Ūdens, sāļi, proteīni, skābeklis
   D. Pareizā atbilde ir A un B
2. Ko no minētā Stenlijs Millers ievietoja savā eksperimentālajā sistēmā, lai pierādītu, ka uz sākotnējās Zemes organiskās vielas varēja rasties no neorganisko vielu molekulām?
   A. Mikrolodītes
   B. Purīnus un piramidīnus
   C. Vienkāršas gāzes
   D. Visu iepriekšminēto
3. Kurš no minētajiem ir galvenais iemesls, kāpēc protošūnas veica rūgšanu?
   A. Tām nebija nekādu enzīmu
   B. Atmosfērā nebija skābekļa
   C. Rūgšana nodrošina lielāko enerģijas daudzumu
   D. Visas atbildes ir pareizas
4. Kurš no apgalvojumiem ir pareizs?
   A. Pirmatnējā atmosfēra bija oksidējoša, bet mūsdienās tā ir reducējoša un nodrošina fotosintēzes iespējamību
   B. Pirmatnējā atmosfērā bija 20 % skābekļa, aptuveni tikpat daudz, cik tā ir mūsdienās
   C. Pirmatnējā reducējošā atmosfēra veicināja dzīvības rašanos, bet mūsdienu oksidējošā atmosfēra to būtu traucējusi
   D. Prokariotu evolūcija notika tik ilgi tāpēc, ka pirmatnējā atmosfēra aizturēja Saules ultravioleto radiāciju
5. Ko pierādīja liposomas – fosfolipīdu pilieni?
   A. Pirmā plazmatiskā membrāna saturēja proteīnu
   B. Plazmatiskā membrāna varēja viegli izveidoties
   C. Bioloģiskā evolūcija izveidoja pirmo šūnu
   D. Uz sākotnējās zemes bija ūdens
6. Kāpēc sistēmas "DNS → RNS → proteīns" evolūcija bija nozīmīga?
   A. Protošūna veica heterotrofo rūgšanu
   B. Protošūna nevarēja vairoties
   C. Protošūnai bija nepieciešama enerģija augšanai
   D. Visi apgalvojumi ir pareizi
7. Kurš apgalvojums ir pareizs?
   A. Eikarioti attīstījās pirms prokariotiem
   B. Prokarioti attīstījās pirms eikariotiem
   C. Īstā šūna attīstījās pirms protošūnas
   D. Prokarioti izveidojās ne agrāk kā pirms 1,5 miljardiem gadu
8. Kuri ir organismi ar garāko evolucionāro vēsturi?
   A. Prokarioti
   B. Eikarioti
   C. Fotosintezētāji
   D. Augi un dzīvnieki
9. Kas vislabāk raksturo slāņus?
   A. Nogulumiežu slāņi, kuros ir fosilijas
   B. Vienāda vecuma nogulumiežu slāņi
   C. Izkusuši ieži, kas satur radioaktīvo materiālu un ir bīstami cilvēku veselībai
   D. Visi apgalvojumi ir pareizi
10. Ko palīdz izskaidrot kontinentālais dreifs?
    A. Masveida izmiršanas
    B. Fosiliju izplatību uz Zemes
    C. Ģeoloģisko slāņu celšanos un zemestrīces
    D. Visi apgalvojumi ir pareizi

11. Kas **nav** pareizi?
    A. Mezozojs – cikadejas un dinozauri
    B. Kainozojs – graudzāles un cilvēki
    C. Paleozojs – prokarioti un vienšūnas eikarioti
    D. Kembrijs – jūras organismi ar ārējo skeletu
12. Ievietojiet terminus diagrammā pareizā secībā, sākot ar F kā pirmo notikumu!
    Zemes veidošanās, daudzšūnu uzbūve, oksidējoša atmosfēra, vecākās zināmās fosilijas, eikariotisku šūnu rašanās, kembrija perioda sākums.



Papildjautājumi

1. *Dzīvība ir fizikāla un ķīmiska parādība.*
   Kā visas trīs dzīvības rašanās hipotēzes atbalsta šo priekšstatu?
2. *Šūnas rodas vienīgi no šūnām.*
   Saskaņojiet šo priekšstatu ar uzskatu, ka pirmās šūnas veidojās ķīmiskās evolūcijas gaitā!
3. *Dzīvības daudzveidība uz Zemes ir attīstījusies sugu veidošanās procesā.*
   Vai šo priekšstatu atbalsta gan filētiskais graduālisms, gan pārtrauktā līdzsvara evolucionāro pārmaiņu modelis? Kāpēc?

Multimediju izmantošana

Tēmu par dzīvības rašanos un attīstības vēsturi palīdzēs apgūt šādi multimediji.



Interneta izmantošana

Šo nodaļu jums palīdzēs apgūt Maderas mājas lapa

http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader
(izvēlieties bioloģiju)



Dabas zinātņu videofilmas

Video#5: Augu bioloģija/Evolūcija/Ekoloģija
Kontinentālā dreifa vēsture (#53)

Jēdzienu izpratne

Attīstības līnija 60. lpp.
Autotrofs 45. lpp.
Filētiskais graduālisms 61. lpp.
Fosilija 46. lpp.
Heterotrofs 45. lpp.
Izmiršana 58. lpp.
Kontinentālais dreifs 56. lpp.
Ķīmiskā evolūcija 43. lpp.
Liposoma 45. lpp.
Masveida izmiršana 58. lpp.
Mikrolodīte 44. lpp.
Ozona apvalks 49. lpp.
Paleontoloģija 47. lpp.
Pārtrauktais līdzsvars 61. lpp.
Plātņu tektonika 57. lpp.
Proteinoīds 44. lpp.
Protošūna 44. lpp.
Sedimentācija 46. lpp.
Vidusokeāniskā grēda 57. lpp.

Izvēlieties definīcijām atbilstošus terminus!

A. _____ – abiotiski polimerizētas aminoskābes, kas ir savienojušās; iespējams, agrākais etaps šūnas evolūcijā.
B. _____ – šūnas priekštecis, kas attīstījies no šūnai līdzīgas mikrolodītes.
C. _____ – fosfolipīdu molekulu pilieni, radušies šķidrā vidē.
D. _____ – organisms, kas var veidot organiskās vielas no neorganiskām.
E. _____ – grēda okeāna gultnē, kur veidojas garoza un no kuras tā virzās sāņus uz abām pusēm.
F. _____ – evolucionārais modelis, kas izvirza ideju par periodiem ar straujām pārmaiņām, kas atkarīgas no sugu veidošanās.
G. _____ – veidots no skābekļa atmosfēras augšējos slāņos, tas aizsargā Zemi no ultravioletā starojuma.
H. _____ – veidots no ūdenī ievietotiem proteinoīdiem; tam piemita mūsdienu šūnām līdzīgas īpašības.
I. _____ – ķīmisko vielu sarežģītības palielināšanās, kas varēja izraisīt pirmo šūnu rašanos.
J. _____ – evolucionārās attīstības līnija no kopīgā senča.

Cilvēka evolūcija

4. NODAĻA

Nodaļas saturs

4.1. Cilvēki ir primāti

- Cilvēks *(Homo sapiens)* pieder pie primātu kārtas, kurā iekļauti zīdītāji, kas pielāgojušies dzīvei kokos. 66. lpp.
- Primātiem raksturīgs pārējiem pirkstiem pretstatīts īkšķis, lielas priekšējās smadzenes, kā arī dzīves laikā iemācīta uzvedība. 67. lpp.

4.2. Primāti ir daudzveidīgi

- Puspērtiķi (tarsiji un lemūri) ir primāti, kas agri atdalījušies no cilvēku attīstības līnijas. 67. lpp.
- Cilvēki ir iekļauti pērtiķu apakškārtā (*Anthropoidea*, pieder pērtiķi, cilvēkpērtiķi un cilvēki), hominoīdu virsdzimtā *Hominoidea* (pieder cilvēkpērtiķi un cilvēki), cilvēku dzimtā *Hominidae* (izmirušie un mūsdienu cilvēki). 69. lpp.

4.3. Hominīdi dodas prom

- Austrumāfrikā, apvidū, kura klimats vairs nebija piemērots koku augšanai, apmēram pirms 4 miljoniem gadu attīstījās australopiteki (pirmie hominīdi). Australopitekiem bija mazas galvas smadzenes, un viņi staigāja stāvus. 72. lpp.
- Apmēram pirms 2 miljoniem gadu dzīvoja prasmīgais cilvēks *(Homo habilis)*, pirmais hominīds, kas gatavoja rīkus. Viņš, visticamāk, bija mednieks, un viņam varēja būt attīstīta spēja runāt. 75. lpp.
- Apmēram pirms 1,9–1 miljona gadu stāvus ejošais cilvēks *(Homo erectus)* migrēja prom no Āfrikas, medīja lielos dzīvniekus un ieguva uguni. No viņa varēja evolucionēt tā sauktais arhaiskais saprātīgais cilvēks *(Homo sapiens)*. 76. lpp.
- "Prom no Āfrikas" hipotēze apgalvo, ka mūsdienu cilvēki radās Āfrikā un pēc tam migrēja uz Eiropu un Āziju (apmēram pirms 100 000 gadu). Viņi tur aizvietoja senās *Homo* sugas, iespējams, arī neandertāliešus. 77. lpp.
- Kromaņonietis – nosaukums, kas dots mūsdienu cilvēkam, kurš prot gatavot sarežģītus rīkus un ir izveidojis savu kultūru. 78. lpp.



Hominīds *Australopitecus africanus*

Viens no maldīgākajiem priekšstatiem par cilvēka evolūciju ir uzskats, ka Darvins, Valless un citi pētnieki ir pauduši atziņu, ka cilvēki ir attīstījušies no hominoīdiem (cilvēkpērtiķiem). Gluži pretēji, ir izvirzīta ideja par to, ka mūsdienu cilvēki un cilvēkpērtiķi ir evolucionējuši no kopēja cilvēkpērtiķim līdzīga senča. Mūsdienu cilvēkpērtiķi ir mūsu brālēni, un mēs nevarējām attīstīties no saviem brālēniem, jo mēs esam laikabiedri – dzīvojam uz Zemes vienā un tajā pašā laikā. Mūsu attiecības ar cilvēkpērtiķiem ir līdzīgas tām, kādas ir cilvēkam ar viņa pirmās pakāpes brālēnu, tātad viņiem ir kopīgi vecvecāki.

Daļa cilvēku uzskata, ka cilvēka evolūcija ir kaut kas īpašs vai atšķirīgs no citu sugu evolūcijas. Zinātnieki turpretim pēta cilvēku evolūciju tikpat objektīvi kā jebkuru citu zinātnisku tēmu. Viņi ir atklājuši, ka cilvēka evolūcijai ir tādas pašas evolucionārās attīstības likumsakarības kā citām grupām, tomēr tā ir daudz sarežģītāka. Dažādas cilvēka priekšteču grupas īsā laika sprīdī izmira, migrēja un krustojās ar citām grupām. Tomēr nesen atklātas fosilijas ir papildinājušas zināšanas par mūsu evolucionāro vēsturi ar kopējo cilvēkpērtiķim līdzīgo senci.

KLASIFIKĀCIJA

CILVĒKI

Tips – hordaiņi *(Chordata)*
Apakštips – mugurkaulnieki *(Vertebata)*
Klase – zīdītāji *(Mammalia)*
Kārta – primāti *(Primates)*
Apakškārta – pērtiķi *(Anthropoidea)*
Virsdzimta – hominoīdi (cilvēkpērtiķi) *(Hominoidea)*
Dzimta – cilvēki *(Hominidae)*
Ģints – cilvēks *(Homo)*
Suga – saprātīgais cilvēks *(H. sapiens)*

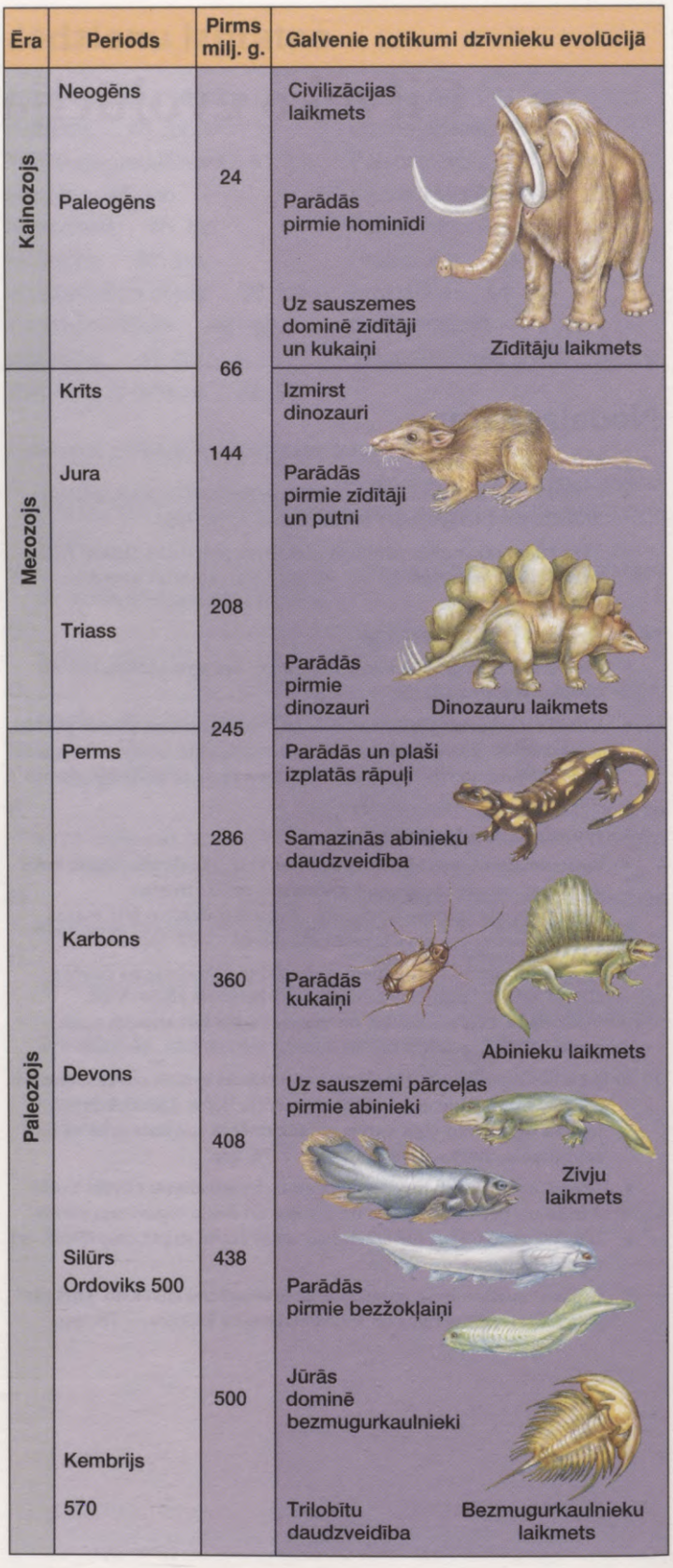
4.1. Cilvēki ir primāti

Evolucionālā likumsakarība par izcelšanos ar modifikācijām ir spēkā visām organismu grupām, arī cilvēkam. Var apgalvot, ka cilvēka, tāpat kā visu dzīvo būtņu evolūcija sākās ar pašu pirmo šūnu vai šūnām. Mūsu tiešā evolucionārā attīstība, tāpat kā dzīvnieku attīstība, sākās paleozoja ēras kembrija periodā (4.1. att.). Mugurkaulnieki jeb dzīvnieki ar mugurkaulu radās šīs ēras laikā drīz pēc bezmugurkaulniekiem. Zivīm, kuras bija pirmie mugurkaulnieki, ir gara un veiksmīga vēsture. Zivis joprojām dominē jūrās.

Kukaiņi (bezmugurkaulnieki) bija vieni no pirmajiem sauszemes dzīvniekiem. Daudzveidības ziņā viņi pārspēj visas mūsdienās zināmās dzīvās būtnes. No mugurkaulniekiem uz sauszemes valdīja vispirms abinieki, bet pēc tam rāpuļi. **Zīdītāji** (dzīvnieki, kuriem ir apmatojums un piena dziedzeri) evolucionēja no zvērrāpuļiem mezozoja ēras triasa periodā. Kamēr uz sauszemes 150 miljonus gadu dominēja dinozauri, zīdītāji palika mazi un neievērojami. Dinozauru izmiršana iezīmēja mezozoja ēras beigas, un pēc tam kainozoja ēras laikā zīdītāji diverģēja, veidojot daudzas grupas. Mūsdienās zīdītāji ir pielāgojušies dzīvei uz sauszemes, ūdenī un gaisā.

Dzīvnieku atkarību no augiem izskaidro fakts, ka augi iekaroja sauszemi agrāk par jebkuru dzīvnieku grupu. Segsēkļi, pie kuriem pieder lielākā daļa koku, evolucionēja tajā pašā laikā, kad zīdītāji. Segsēkļi ir ziedaugi, kas veido augļus. Galvenā **primātu** (lat. *primus* – pirmais) (zīdītāji, kas pielāgojušies dzīvei kokos) uztura sastāvdaļa bieži vien ir augļi. Daudzas cilvēka īpašības var izskaidrot ar pielāgošanos dzīvei kokos.

Cilvēki ir saistīti ar visām dzīvajām būtnēm, bet it īpaši ar citiem primātiem – zīdītājiem, kuri pielāgojušies dzīvei kokos.



4.1. attēls. Dzīvnieku evolūcija
Vienkāršota ģeoloģiskā laika skala, kas parāda dažus galvenos dzīvnieku evolūcijas notikumus



A. *Tetonius* **B.** Mindano tarsijs *(Tarsius)* **C.** Sīkais lemūrs *(Cheirogaleus)*

4.2. attēls. Puspērtiķi
A. Hipotētiskais eocēna primāts *Tetonius* bija sīks, bet veikls un pielāgojies kukaiņu ēšanai. **B.** Tarsiji var vertikālā stāvoklī pieķerties pie balsta, kā arī lēkt. Milzīgās acis palīdz tarsijiem izvēlēties drošu piezemēšanās vietu pat naktī. **C.** Madagaskaras salā sastopamas vairāk nekā 40 lemūru sugas. Plaši izplatīti ir sīkie lemūri.

Kas raksturīgs primātiem?

Primātu ekstremitātes ir tikpat kustīgas kā cilvēka rokas, jo īkšķis ir pretstatīts citiem pirkstiem (visiem primātiem, izņemot cilvēku, ir pretstatīts arī rādītājpirksts). Tas nozīmē, ka viņi ar īkšķi var pieskarties jebkuram citam pirkstam. Tādējādi primāti var viegli sasniegt un iebāzt mutē dažādus barības objektus, piemēram, augļus. Pārvietojoties viņi var satvert un atlaist koku zarus, jo smailnagus ir nomainījuši plakannagi.

Dzīvniekiem, kuriem ir purns, ožas sajūtai ir primāra nozīme. Primātiem purns ir ievērojami saīsināts, bet acis ir izvirzītas galvas priekšpusē. Rezultātā ir izveidojusies stereoskopiskā redze (dziļuma izjūta), kas ļauj primātiem precīzi novērtēt attālumu un tuvumā esošo koku zaru novietojumu.

Grūtniecība ir ilgstoša, lai būtu pietiekami daudz laika priekšējo smadzeņu attīstībai. Proporcionāli liela ir galvas smadzeņu redzes zona, kā arī dzirdes un taustes centri. Parasti primātiem dzimst viens mazulis, jo ir grūti vienlaikus rūpēties par vairākām atvasēm, ja jāpārvietojas no zara uz zaru. Viņiem ir pagarināts bērnības periods, kura laikā tiek apgūta iemācītā uzvedība un sarežģīta sociālā mijiedarbība.

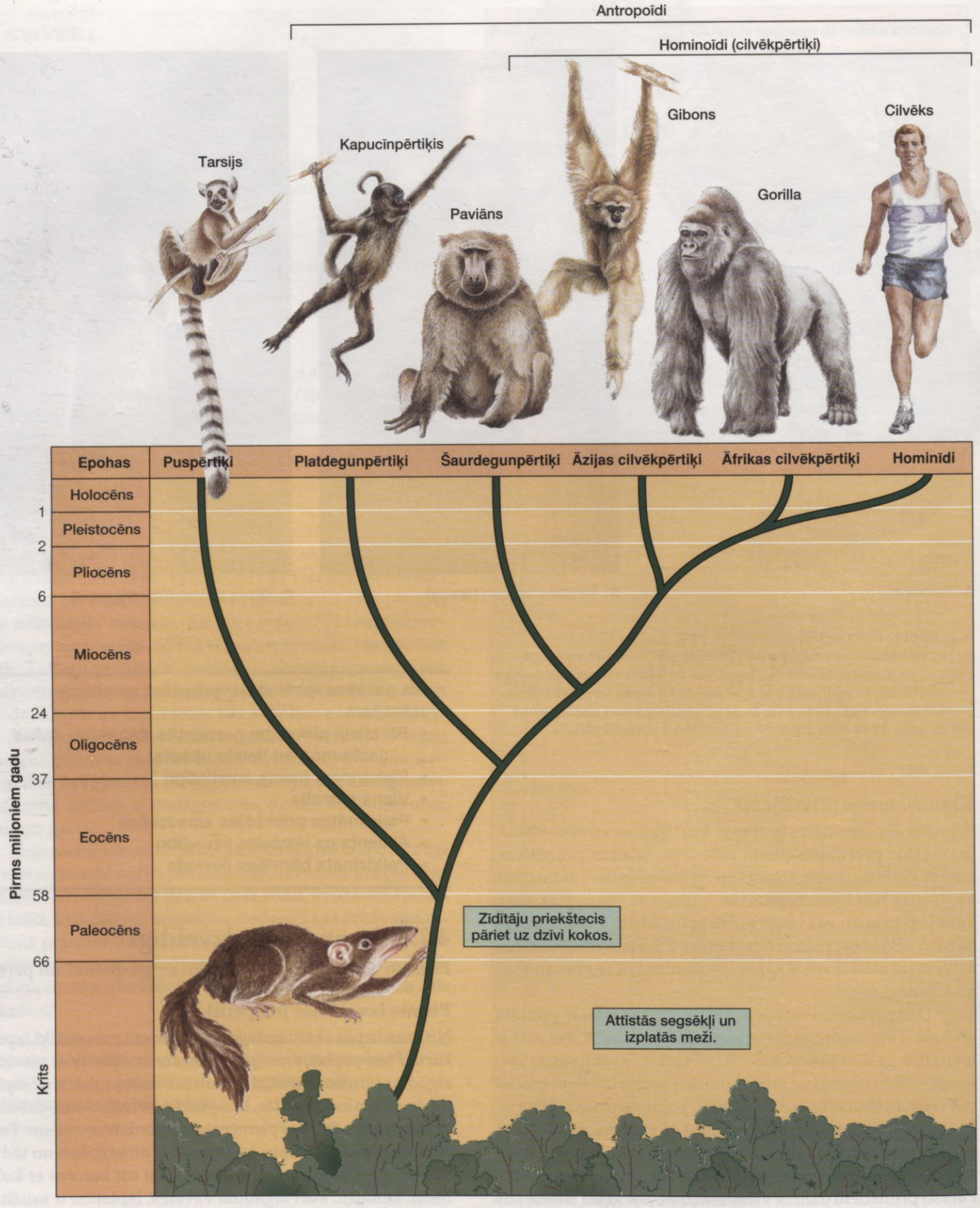
Šīs pazīmes īpaši atšķir primātus no citiem zīdītājiem
- **Pārējiem pirkstiem pretstatīts īkšķis (un dažos gadījumos arī lielais pirksts)**
- **Plakannagi (nevis smailnagi)**
- **Viens mazulis**
- **Palielinātas priekšējās smadzenes**
- **Akcents uz iemācīto uzvedību**
- **Paildzināts bērnības periods**

4.2. Primāti ir daudzveidīgi

Primātu kārtā ir divas apakškārtas: puspērtiķi un pērtiķi.

Pirmie izveidojās puspērtiķi

No mūsdienās eksistējošajiem primātiem **puspērtiķi** (apakškārta *Prosimii*; lat. *pro* – pirms un *simia* – pērtiķis) visvairāk atgādina pirmos primātus (4.2. att.). Tarsiji, kuri dzīvo Filipīnās un Austrumindijas salās, ir ziņkārīgi peles lieluma dzīvnieki ar milzīgām acīm, kas piemērotas nakts dzīvesveidam. Tarsiji ir kukaiņēdāji. Uzskata, ka primāti ir attīstījušies no tādiem zīdītājiem, kuri pirmie kāpa kokos, lai tur barotos ar kukaiņiem. Lemūru, kuri atgādina vāveres, izplatība ir saistīta ar Madagaskaras salu. Viņi pārtiek no augiem, arī to augļiem. Lori, kas ir puspērtiķi, dzīvo gan Āfrikā, gan Āzijā un atgādina lemūrus.



4.3. attēls. Primātu evolūcija
Primātu kārtas evolucionārais koks aizsākās krīta perioda beigās, kad sīki kukaiņēdāji zīdītāji sāka apdzīvot plaši izplatītos ziedaugu mežus. Šo zīdītāju pēcnācēji pielāgojās jaunajam dzīvesveidam, un viņiem izveidojās tādas raksturīgas iezīmes kā saīsināts purns un plakannagi. Attēlā redzams, kurā epohā katra primātu grupa nodalījās no galvenās attīstības līnijas.

Antropoīdi bija nākamie

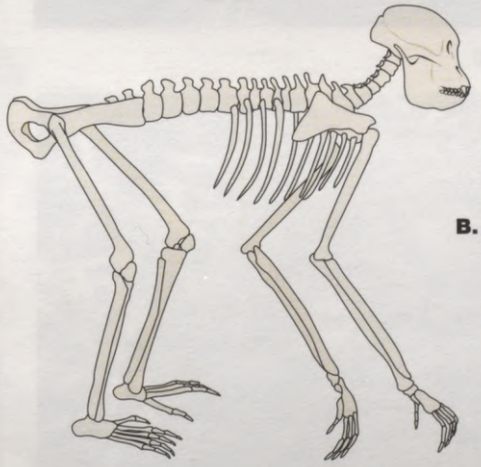
4.3. attēlā parādīta pērtiķu evolūcijas gaita kainozoja ērā. Mūsdienās izdzīvojošie **pērtiķi** jeb antropoīdi (apakškārta *Anthropoidea*; gr. *anthropos* – cilvēks un *eides* – līdzīgs) tiek iedalīti 3 virsdzimtās: platdegunpērtiķi jeb Jaunās pasaules pērtiķi *(Ceboidea)*, šaurdegunpērtiķi jeb Vecās pasaules pērtiķi *(Cercopoitheciodea)* un hominoīdi *(Hominoidea)*. Platdegunpērtiķiem parasti ir garas tvērējastes un plakans deguns, bet šaurdegunpērtiķiem, kuriem nav šāda veida astes, deguns ir vērsts uz priekšu. Divi pazīstamākie platdegunpērtiķi ir zirnekļpērtiķi un kapucīnpērtiķi. Daži labāk pazīstamie šaurdegunpērtiķi mūsdienās uzturas uz zemes, piemēram, paviāni un rēzus pērtiķis, kuru izmanto medicīniskajos pētījumos. Pie **hominoīdiem** (lat. *homo* – cilvēks un gr. *eides* – līdzīgs) pieder visi cilvēkpērtiķi un cilvēks.

Primāti uzplauka kainozoja ēras paleocēna un eocēna epohā ziemeļu kontinentos (4.3. att.). Tā kā šie kontinenti lēni dreifēja uz ziemeļiem, klimats kļuva vēsāks un primāti migrēja uz dienvidiem. Grupa agrīno primātu, iespējams, šķērsoja toreiz šauro Atlantijas okeānu un sasniedza Dienvidameriku, kur evolucionēja par platdegunpērtiķiem. Tas nozīmē, ka platdegunpērtiķi ir vienlīdz attāli radinieki gan šaurdegunpērtiķiem, gan arī cilvēkpērtiķiem.

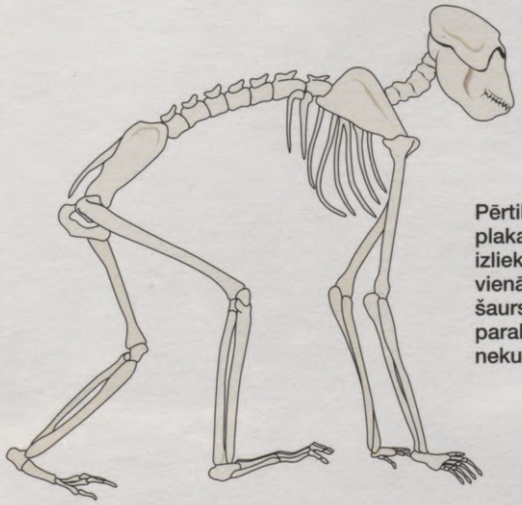
Āfrikā šaurdegunpērtiķu un hominoīdu senči, visticamāk, dzīvoja kokos un pārtika no augļiem. Miocēna epohas laikā pērtiķi pielāgojās šķiedrvielām bagātākajai lapu barībai un nodalījās no galvenās attīstības līnijas. Hominoīdus, visplašāk sastopamo grupu, kura barojās ar augļiem, šajā laikā plaši pārstāvēja cilvēkpērtiķiem līdzīgas formas. *Proconsul* anatomija ir pietiekami primitīva, lai to varētu uzskatīt par senci visiem cilvēkpērtiķiem un cilvēkam (4.4. att.). Šie hominoīdi bija paviāna lieluma, un viņu galvas smadzeņu tilpums bija apmēram 165 m^3. Arī kopumā viņu uzbūve atgādināja šaurdegunpērtiķu uzbūvi. Kaut arī sākotnēji *Proconsul* uzturējās kokos, barības meklējumos viņš kādu laiku varēja pavadīt arī blakusesošajos zālājos.

Miocēna epohas beigās Āfrikarābija (Āfrika kopā ar Arābijas pussalu) savienojās ar Āziju un hominoīdi migrēja uz Eiropu un Āziju. Viņus var iedalīt divās grupās: driomorfos un ramomorfos. Ramomorfus tagad iekļauj senajā orangutanu grupā, lai gan kādu laiku uzskatīja, ka ramomorfi bija vēlāk sastopamo hominīdu – grupas, kas ietver cilvēku, – priekšteči.

Cilvēkpērtiķim līdzīgo *Proconsul*, kurš bija izplatīts Āfrikā miocēna epohā, pašlaik uzskata par senci mūsdienu hominoīdiem – cilvēkpērtiķiem un cilvēkiem.



B. *Proconsul heseloni*



Pērtiķis:
plakanas plaukstas un pēdas
izliekts mugurkauls
vienāda garuma ekstremitātes
šaurs krūškurvis
paralēlas lāpstiņas
nekustīga plecu josla

A. Pērtiķa skelets



C. *Proconsul heseloni* galvaskauss

4.4. attēls. Pērtiķa un *Proconsul* skeleta salīdzinājums
Pērtiķa (**A**) un miocēna epohas hominoīda *Proconsul heseloni* (**B**) skeleta salīdzinājums. **C.** *P. heseloni* galvaskauss.



A. Gibons *(Hylobates)*



C. Kalnu gorilla *(Gorilla)*



B. Orangutans *(Pengo)*



D. Šimpanze *(Pan)*

4.5. attēls. Cilvēkpērtiķu daudzveidība
A. No visiem cilvēkpērtiķiem giboni ir cilvēkam visattālāk radniecīgi. Viņi nelabprāt pamet kokus pat dzeršanas vietās. Viņi garo priekšķāju iemērc ūdenī un tad uzsūc ar plaukstas virspusi savākto ūdeni. **B.** Orangutani ir vientuļnieki, kas satiekas tikai vairošanās periodā. Viņu nosaukums nozīmē "meža cilvēks". Senie malaizieši uzskatīja, ka orangutani bija gudri un spēja runāt, bet to neizrādīja, jo baidījās, ka viņus pieliks pie darba. **C.** Gorillas uzturas uz Zemes un dzīvo grupās, kurās vienmēr valda kāds sirmmuguras tēviņš, kā redzams attēlā. **D.** Starp cilvēkpērtiķiem šimpanzes dažkārt šķiet cilvēkiem vislīdzīgākie.

Mūsdienu hominoīdu pētījumi

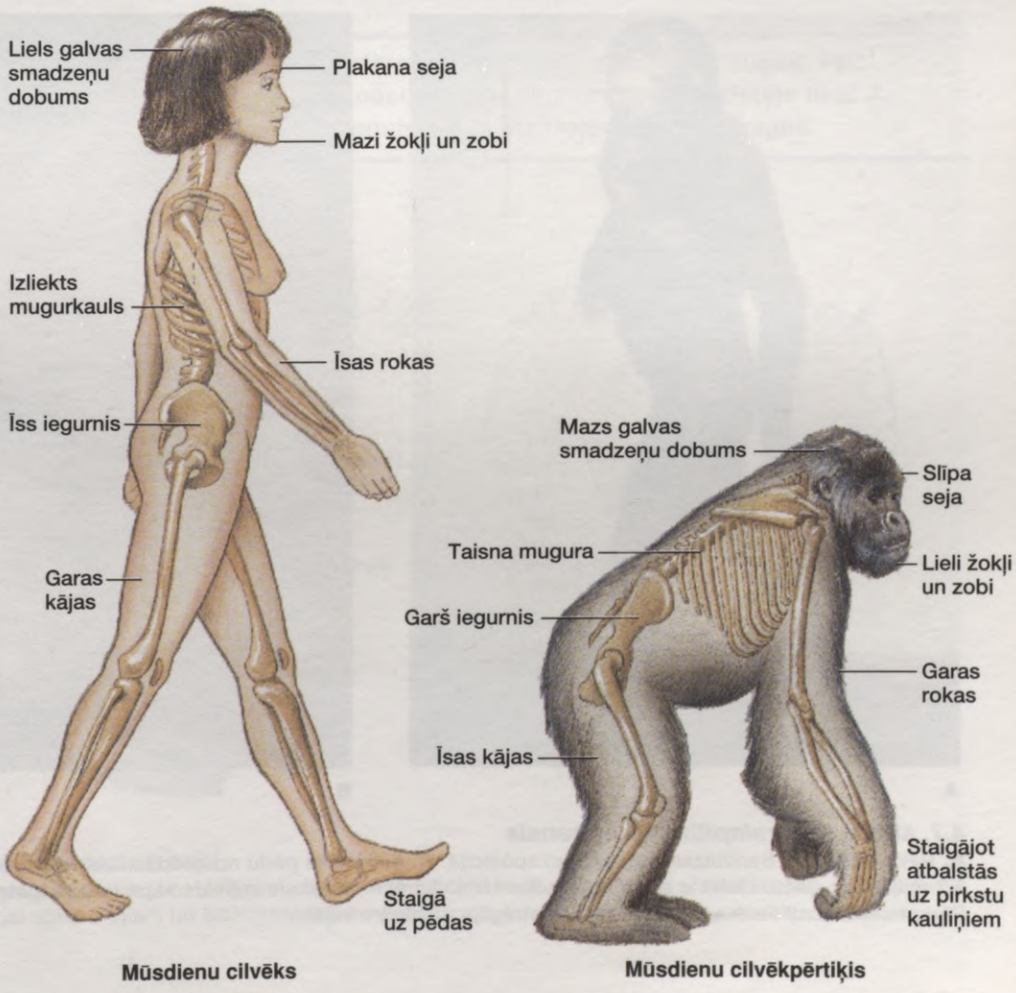
Tuvās cilvēku un cilvēkpērtiķu radniecības dēļ viņi ir iekļauti vienā virsdzimtā – cilvēkveidīgie *(Hominoidea)*. Līdz mūsdienām ir izdzīvojušas četras cilvēkpērtiķu sugas: gibons un orangutans ir sastopams Āzijā; gorilla un šimpanze dzīvo Āfrikā (4.5. att.). **Gibons** ir mazākais no cilvēkpērtiķiem. Viņa ķermeņa masa ir apmēram 5,5–11 kilogrami. Giboniem ir ļoti garas priekšķājas (rokas), kas ir piemērotas, lai varētu šūpoties koku zaros. Neraugoties uz to, ka **orangutans** ir liels (sver 75 kilogramus), viņš tomēr lielu daļu laika pavada kokos. **Gorilla**, lielākais no cilvēkpērtiķiem (sver 180 kilogramus), lielāko daļu laika pavada uz zemes. **Šimpanzes** vienlīdz labi jūtas gan kokos, gan uz zemes un pēc izskata ir vislīdzīgākie cilvēkam, tāpēc bieži viņus izmanto psiholoģiskos eksperimentos.

Molekulārie biologi ir pētījuši cilvēka radniecību ar cilvēkpērtiķiem, salīdzinot proteīnus un DNS. Pastāv noteiktas aminoskābju un DNS bāzu pāru atšķirības, kas nav pakļautas dabiskajai izlasei, bet rodas ar noteiktu ātrumu nejauši. Šādas atšķirības var izmantot par sava veida **molekulāro pulksteni**, pēc kura noteikt, kad divas organismu grupas ir diverģējušas (nodalījušās viena no otras). Divu sugu DNS var salīdzināt šādi: DNS spirāli vispirms sadala atsevišķos pavedienos. Tad abu sugu pavedieniem ļauj komplementāri savienoties. Pavedienu līdzības pakāpi novērtē pēc hibrīdās DNS termālās stabilitātes. Šāda veida molekulārie pētījumi liecina, ka pērtiķi, visticamāk, nodalījās no primātu attīstības līnijas apmēram pirms 33 miljoniem gadu, orangutani nodalījās pirms 10 miljoniem gadu, bet Āfrikas cilvēkpērtiķi un cilvēki atdalījās ne agrāk kā pirms 6 miljoniem gadu. Tāpēc uzskata, ka pēdējais kopējais Āfrikas cilvēkpērtiķu un **hominīdu** (dzimta *Hominidae)* sencis dzīvoja pliocēna epohas laikā. Diemžēl līdz šim šis kopējais sencis vēl nav atrasts.

Āfrikas ģeogrāfija izskaidro, kāpēc cilvēkpērtiķu un hominīdu attīstības līnijas atdalījās viena no otras. Austrumāfriku no ziemeļiem uz dienvidiem šķērso dziļa vaga, ko sauc par Lielo Rifta ieleju. Tektoniskie spēki, kas sākās pirms 12,5 miljoniem gadu, izraisīja lēnu Austrumāfrikas atdalīšanos no pārējā kontinenta. Augstas vulkānu grēdas un ezeri veido grūti pārvaramu ģeogrāfisko barjeru. Vēji, kas miljoniem gadu brāzās pāri Āfrikas kontinentam, rietumos no kalniem atnesa lietu, bet uz austrumiem no tiem klimats kļuva aizvien sausāks. Meži un krūmāji saglabājās rietumos, bet austrumos izveidojās zālāji, ko sauc par savannu.

Mainīgā vide austrumos varēja ietekmēt to hominīdu evolūciju, kuri atšķīrās no cilvēkpērtiķiem ar 1.6. attēlā minētajām pazīmēm. Vissvarīgākās anatomiskās atšķirības ir saistītas ar pārvietošanās veidu, kas ir atkarīgs no skeleta īpašībām – mugurkaula, iegurņa un ekstremitāšu kaulu uzbūves. Savukārt žokļa forma ir saistīta ar zobu lielumu un formu, bet galvas smadzeņu lielums – ar galvas un sejas formu. Hominīdu pazīmes sekmēja izdzīvošanu zālājos atšķirībā no mežu ekosistēmām. Piemēram, spēja stāvēt stāvus bija priekšrocība, kas palīdzēja redzēt pāri zālei, meklējot barību vai aizsargājoties no plēsējiem, bet žokļu un zobu izmaiņas bija pielāgotas jaunajam barošanās veidam (iespējams, visēdājiem), un stāvus pozīcija atbrīvoja rokas akmeņu mešanai un pat atļāva darboties ar rīkiem, kad galvas smadzenes bija palielinājušās.

Cilvēkpērtiķu un hominīdu attīstības līnijas atdalījās apmēram pirms 6 miljoniem gadu. Tad kļuva skaidri redzamas viņu atšķirības, kas saistītas ar pārvietošanos, žokļu formu un galvas smadzeņu lielumu.



4.6. attēls. Mūsdienu cilvēka un gorillas skeleta īpatnības

4.3. Hominīdi dodas prom

Hominīdu attīstības līnija sākas ar australopitekiem, kas evolucionēja un diverģēja Austrumāfrikā.

Hominīdi staigāja stāvus

Divdesmitā gadsimta sešdesmitajos gados, sekojot pazīstamā pāra Luija un Mērijas Līkiju piemēram, paleontologi savas pūles sāka veltīt nevis Dienvidāfrikas, bet gan Austrumāfrikas izpētei. Ir pierādījusies šādas rīcības pareizība. 1994. gadā atrasto galvaskausa fragmentu, zobu, rokas kaulu un daļas no bērna apakšžokļa vecums tika novērtēts ar 4,4 miljoniem gadu. Šīs atliekas nosauca par *Australopithecus ramidus* (lat. *australis* – dienvidu, *pithecus* – cilvēkpērtiķis un *ramus* – atzarojums), un tās uzskata par agrīnās cilvēka evolūcijas pārstāvim piederošām. Salīdzinājumā ar vēlīnākajiem australopitekiem acu zobi ir lielāki, bet galvaskauss ir līdzīgs šimpanzes galvaskausam. Šo fosiliju īpašnieks vēl nav staigājis stāvus. Tomēr 1995. gadā atklātajam *Australopithecus anamensis*, kas dzīvojis tikai apmēram pirms 4 miljoniem gadu, žokļi bija tādi paši kā cilvēkpērtiķiem, bet kājas – kā cilvēkiem.

Vairāk nekā pirms 20 gadiem Donalda Džohansona vadītā pētnieku grupa izraka gandrīz 250 fosilijas, kas piederējušas hominīdam, kuru nosauca par *A. afarensis*. Populārā sieviešu kārtas īpatņa 3,18 miljonus gadu vecais skelets tagad ir plaši pazīstams visā pasaulē ar iesauku Lūsija (vārds cēlies no "Bītlu" dziesmas "Lucy in the Sky with Diamonds"). Kaut gan galvas smadzenes viņai bija samērā mazas (440 cm^3), ekstremitāšu forma un relatīvās proporcijas norāda, ka Lūsija varēja stāvēt stāvus un staigāt uz divām kājām (4.7. att.). Vēl labāku liecību par pārvietošanos uz divām kājām sniedz apmēram 3,7 miljonus gadu veci pēdu nospiedumi Laetoli. Lielākie nospiedumi ir divkārši – mazāka lieluma būtne bija minusi citas būtnes pēdās, bet blakus rokas stiepiena attālumā ir vēl citi mazi pēdu nospiedumi. Tā kā australopiteki virs jostasvietas bija līdzīgi cilvēkpērtiķiem, bet ķermeņa lejasdaļa bija līdzīga cilvēkiem, šķiet, ka visas cilvēka pazīmes neizveidojās vienlaikus. Terminu **mozaīkveida evolūcija** pielieto, lai norādītu, ka dažādas ķermeņa daļas pārmainās ar atšķirīgu ātrumu un līdz ar to arī dažādos laikos.

Australopitekiem bija dzimumatšķirības (dzimuma dimorfisms). Lūsija bija apmēram 1,2 m gara un svēra aptuveni 30 kilogramus. Savukārt šīs sugas tēviņi bija 1,5 m gari un līdz 45 kilogramiem smagi. Daži zinātnieki izteica varbūtību,



A



B

4.7. attēls. *Australopithecus afarensis*

A. Rekonstrukcija Sentluīzas zoodārza ekspozīcijā. **B.** Šie fosilie pēdu nospiedumi veidojās vulkāna izvirduma sanestos pelnos pirms 3,7 miljoniem gadu. Lielākie pēdu nospiedumi ir divkārši – mazākais indivīds kāpa lielākā īpatņa pēdu nospiedumos. Blakus gāja mazulis. Pēdu nospiedumi liecina, ka *A. afarensis* staigāja uz divām kājām.

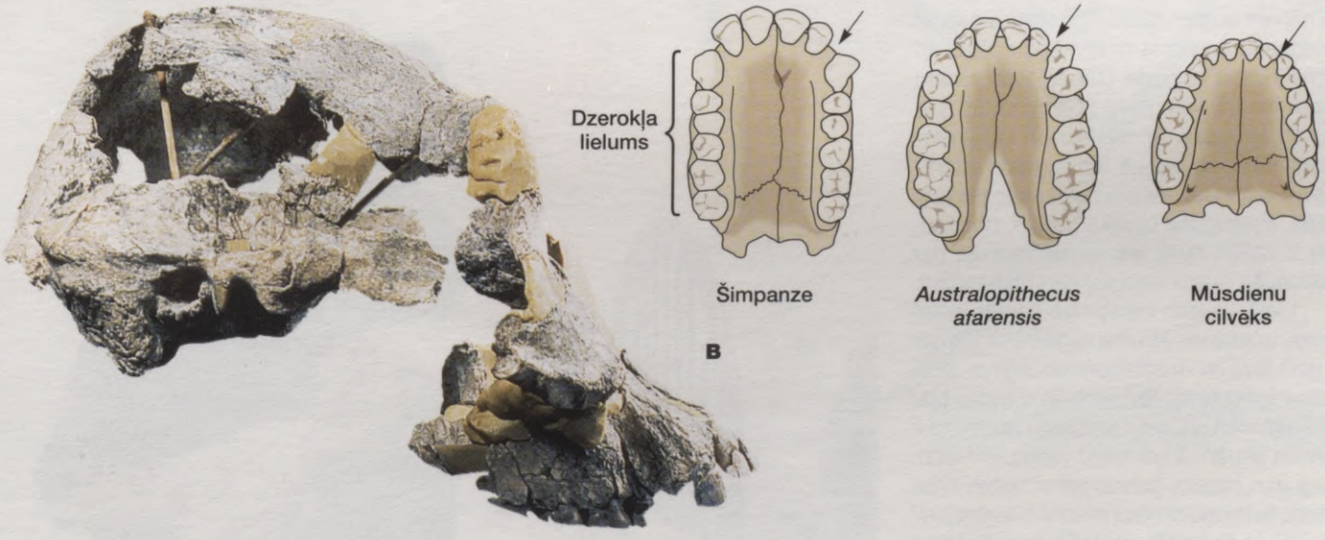
ka šādas lieluma atšķirības var norādīt uz divām dažādām sugām, bet jauni atradumi 1994. gadā, arī pilnīgāks galvaskauss, iesaukts par Lūsijas dēlu un dzīvojis apmēram pirms 3 miljondiem gadu, ir apstiprinājis viedokli, ka fosilijas piederējušas vienai sugai (4.8. att.). Ņemot vērā mazāko ķermeņa lielumu, relatīvais smadzeņu lielums ir aptuveni puse no mūsējā un žokļi ir masīvi. Dzerokļi ir milzīgi, un tēviņiem lielie ilkņi ir vērsti uz priekšu.

Interesants ir pieņēmums, ka australopiteku uzvedība varēja būt līdzīga paviānu uzvedībai. Paviāniem, tāpat kā australopitekiem, tēviņi ir daudz lielāki par mātītēm. Paviāni nevis veido pastāvīgas ģimenes, bet visbiežāk pārvietojas baros. Baram ir sava teritorija, kurā viņi pastāvīgi pārvietojas, meklējot barību. Lai būtu drošībā no plēsējiem, bars pārnakšņo kokos. Australopitekiem bija gari, līki roku un kāju pirksti, bet kājas salīdzinājumā ar kustīgajām rokām bija īsas. Tas liecina par to, ka viņi nepieciešamības gadījumā glābās kokos.

A. afarensis bija pēcteči. Pēc stagnācijas perioda, kas, iespējams, turpinājās miljonu gadu (pirms 3–2 miljoniem gadu), sugu veidošanās procesā atzarojās vairākas sugas. Hominīdu attīstības līniju daudz pareizāk ir attēlot nevis kā taisni, bet gan kā zarotu krūmu. Daži zinātnieki uzskata, ka Āfrikā pirms 2 miljoniem gadu varēja būt vismaz desmit hominīdu sugu, taču šeit tiks apskatītas tikai četras no tām. Trīs no šīm sugām ir australopiteki. *A. africanus*, kuru pirmais 1920. gadā aprakstīja Raimonds Darts Dienvidāfrikā, ir slaidais tips. *A. boisei* ir masīvā forma no Austrumāfrikas, bet *A. robustus* ir līdzīga forma no Dienvidāfrikas. Gan masīvās, gan slaidās formas galvas smadzeņu tilpums ir apmēram 500 cm^3. Viņu galvaskausi atšķirās, jo viņi bija pielāgojušies atšķirīgas barības uzņemšanai. Masīvajai formai bija spēcīgāki žokļi, lielāki izaugumi, kur piestiprināties lielākiem košanas muskuļiem un lielāki dzerokļi, jo viņi, visticamāk, barojās ar sīkstāku barību nekā slaidās formas pārstāvji. Masīvie australopiteki dzīvoja sausākās vietās, kur pieejamie augļi un lapas bija cietākas. Abām formām iegurnis atgādina Lūsijas iegurni, bet rokas bija līdzīgākas cilvēka rokām. Iespējams, ka viņi spēja gatavot darbarīkus. Uzskata, ka abu formu australopiteki, kuri atsevišķos gadījumos, iespējams, ēda gaļu, bija spējīgi lietot darbarīkus, lai apstrādātu dzīvnieku liemeņus. Uzmanības vērts ir nesenais ziņojums, ka *A. robustus* īkšķa anatomija ir līdzīga mūsējai. Mūsdienu cilvēka rokas ir pielāgojušās darbarīku izmantošanai, jo tās ir spēcīgas, muskuļotas, ar pretstatāmu īkšķi.

Kādu laiku pastāvēja uzskats, ka no slaidajiem australopitekiem veidojusies masīvā forma. Tomēr 1985. gadā Alans Volkers atklāja masīvu galvaskausu, ko nosauca par melno galvaskausu. Tas bija pietiekami vecs (2,5 miljoni gadu), lai varētu būt piederējis to masīvo formu sencim, kuras šeit apskatītas. Tas ir nosaukts par *A. aethiopicus*. Kā minēts fragmentā 72. lappusē, agrīnās *Homo* sugas arī ir radušās no *Australopithecus* attīstības līnijas.

Ir atklātas vairākas australopiteku sugas. Pēc stagnācijas perioda, kura laikā eksistēja tikai *A. afarensis*, no tā atzarojās vairākas sugas.



4.8. attēls. *Australopithecus afarensis* galvaskauss un zobi
A. *A. afarensis* bija cilvēkpērtiķiem līdzīga sejas daļa ar uzacu loku izciļņiem un izvirzītiem žokļiem. **B.** Cilvēkpērtiķa, *A. afarensis* un mūsdienu cilvēka zobi. Jāpievērš uzmanība ilkņiem, spraugai starp ilkņiem un blakusesošajiem priekšzobiem (norāda bultiņa) un dzerokļa lielumam.

Uzziniet tuvāk

Homo ģints rašanās

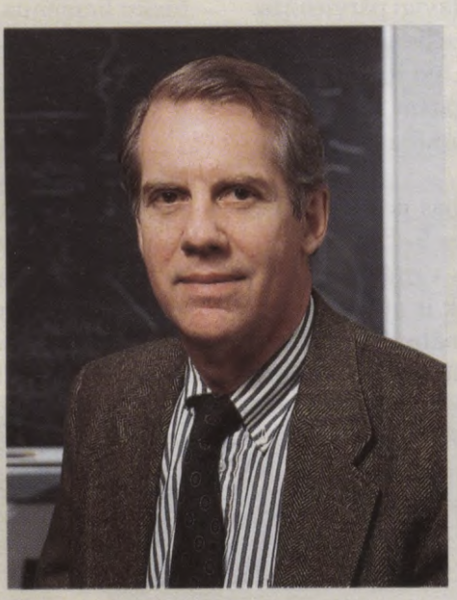
Fosilās liecības norāda, ka agrīnākās *Homo* sugas attīstījās Āfrikā no *Australopithecus* attīstības līnijas pirms 2,4 miljoniem gadu. Australopiteku atliekas norāda, ka daļu laika viņi pavadīja kokos un ka viņi bija saglabājuši cilvēkpērtiķu iezīmes. Australopiteku rokas salīdzinājumā ar kājām bija garas. *A. afarensis* bija arī spēcīgas plaukstu pamatnes un gari, līki roku un kāju pirksti. Tie labi noder kāpšanai kokos, un australopiteki, iespējams, kāpa kokos tā paša iemesla dēļ, kāpēc to mūsdienās dara šimpanzes. Viņi kokos vāca augļus un riekstus, kā arī naktīs pārgulēja augstu virs zemes, tā aizsargājoties no tādiem plēsīgajiem dzīvniekiem kā lauvas un hiēnas.

Pretstatā cilvēka galvas smadzenēm, kuras ir liela greipfrūta lielumā, australopiteku galvas smadzenes bija apelsīna lielumā. Viņu galvas smadzenes bija tikai nedaudz lielākas nekā šimpanzēm. Nav pierādījumu tam, ka australopiteki gatavoja akmens darbarīkus. Iespējams, ka viņi nebija pietiekami apķērīgi, lai to veiktu.

Ir zināms, ka *Homo* ģints attīstījās no *Australopithecus* ģints, taču pirms dažiem gadiem es secināju, ka tas nevarēja notikt tikmēr, kamēr australopiteki uzturējās kokos katru dienu. Šķērsli radīja tas, kāpēc mums, ģints *Homo* pārstāvjiem, izveidojušās lielas galvas smadzenes. Atšķirībā no citiem primātiem auglim raksturīgā straujā galvas smadzeņu augšana mums saglabājas arī pirmajā dzīvības gadā. (Tāpēc gadu vecam bērnam ir ļoti liela galva.) Citu primātu galvas smadzenes, arī pērtiķu un cilvēkpērtiķu galvas smadzenes, ātri aug pirms dzimšanas, bet tūdaļ pēc piedzimšanas tās aug lēnāk. Pieauguša cilvēka galvas smadzenes ir vairāk nekā trīs reizes lielākas par pieauguša šimpanzes galvas smadzenēm.

Lielā, auglim raksturīgā galvas smadzeņu augšanas ātruma saglabāšanās galu galā ļāva no *Australopithecus* ģints attīstīties *Homo* ģintij. Bet problēmu radīja tas, ka šī ilgstošā galvas smadzeņu augšana ir saistīta ar pārējā ķermeņa vājāku attīstību. Kaut gan cilvēka galvas smadzenes kļūst daudz lielākas, cilvēka mazuļi ir ievērojami vārgāki un ar mazāk izteiktām koordinācijas spējām. Šādi bezpalīdzīgi jaunuļi jāaprūpē un jākopj. Cilvēku mazuļi nav spējīgi turēties pie savām mātēm, kā to dara šimpanžu mazuļi (4.A. att.).

Kā notika evolucionārās pārmaiņas no *Australopithecus* līdz *Homo*? Fosilie putekšņi un citas ģeoloģiskas liecības atklāj, ka laikā, kad veidojās *Homo* ģints, klimats kļuva vēsāks un sausāks. Tas milzīgā Āfrikas daļā izraisīja mežu platību samazināšanos un zālāju platību izplešanos. Australopiteku attīstības līnija izmira līdzīgi, kā tas notika ar daudzām Āfrikas antilopju sugām, kuru barošanās un patvērums bija saistīts ar mežu. Pirms izmiršanas tomēr izveidojās tādi cilvēki, kas pārvietojās stāvus un dažreiz uzkāpa kokos, un viņiem bija lielas galvas smadzenes.



Stīvens Stenlijs
Džona Hopkinsa Universitāte

Homo ģints rašanās radīja lielu evolucionāru kompromisu. Cilvēki ieguva lielas galvas smadzenes, bet viņiem iestājās garākais bērnības periods visā zīdītāju *(Mammalia)* klasē. Lielo galvas smadzeņu pozitīvajai vērtībai bija jāatsver bērnības bezpalīdzības negatīvie aspekti, jo citādi dabiskās izlases rezultātā nebūtu izveidojusies *Homo* ģints. Lielākas galvas smadzenes nozīmēja, ka cilvēki ir spējīgi viltībā pārspēt vai atvairīt plēsējus ar ieročiem, kuru izgatavošanai viņi bija gana atjautīgi.

Iespējams, ka bija nepieciešams pavisam nedaudz ģenētisku pārmaiņu, lai aizkavētu *Australopithecus* nobriešanu un izveidotu lielas *Homo* galvas smadzenes. Visticamāk, ka agrīnu nobriešanu varēja aizkavēt tāda regulējošā gēna mutācijas, kas kontrolē vienu vai vairākus citus gēnus. Labāk izpētot cilvēka genomu, iespējams, tiks atklāts īpašs gēns vai gēnu kombinācija, kas izraisa lielu galvas smadzeņu veidošanos. Tas būs ļoti aizraujošs atklājums.



4.A attēls
Cilvēka mazulis tiek bieži aijāts un nav spējīgs pieķerties pie mātes, kad viņa dodas ikdienas darbos.

Homo habilis gatavoja rīkus

Vecākās *Homo* ģintij pieskaitītās fosilijas pieder pie *Homo habilis* (lat. *homo* – cilvēks un *habilis* – derīgs, prasmīgs). Viņa 2 miljonus gadus vecās atliekas bieži tiek atrastas kopā ar akmens darbarīkiem. Kāpēc šo hominīdu iedala cilvēku ģintī? *Homo habilis* bija īss – apmēram Lūsijas augumā –, bet viņa 700 cm^3 lielās galvas smadzenes bija par 45 % lielākas nekā Lūsijai. Bez tam viņam bija palielinātas noteiktas smadzeņu daļas, kas saistītas ar runas zonu. Dzerokļi bija mazāki pat par slaido australopiteku dzerokļiem. Acīmredzot *H. habilis* bija citāds dzīvesveids nekā citiem tālaika hominīdiem.

Šis hominīds dzīvoja laikā, kad uz Zemes kļuva vēsāks un tropu apgabali kopumā kļuva sausāki, jo Ziemeļpolā un Dienvidpolā veidojās ledāji. Daudzu dzīvnieku, to vidū arī *Australopithecus* masīvās formas, zobi liecina par pāreju uz daudz rupjāku barību. Arī mūsdienu zirgi parādījās tajā pašā laikā.

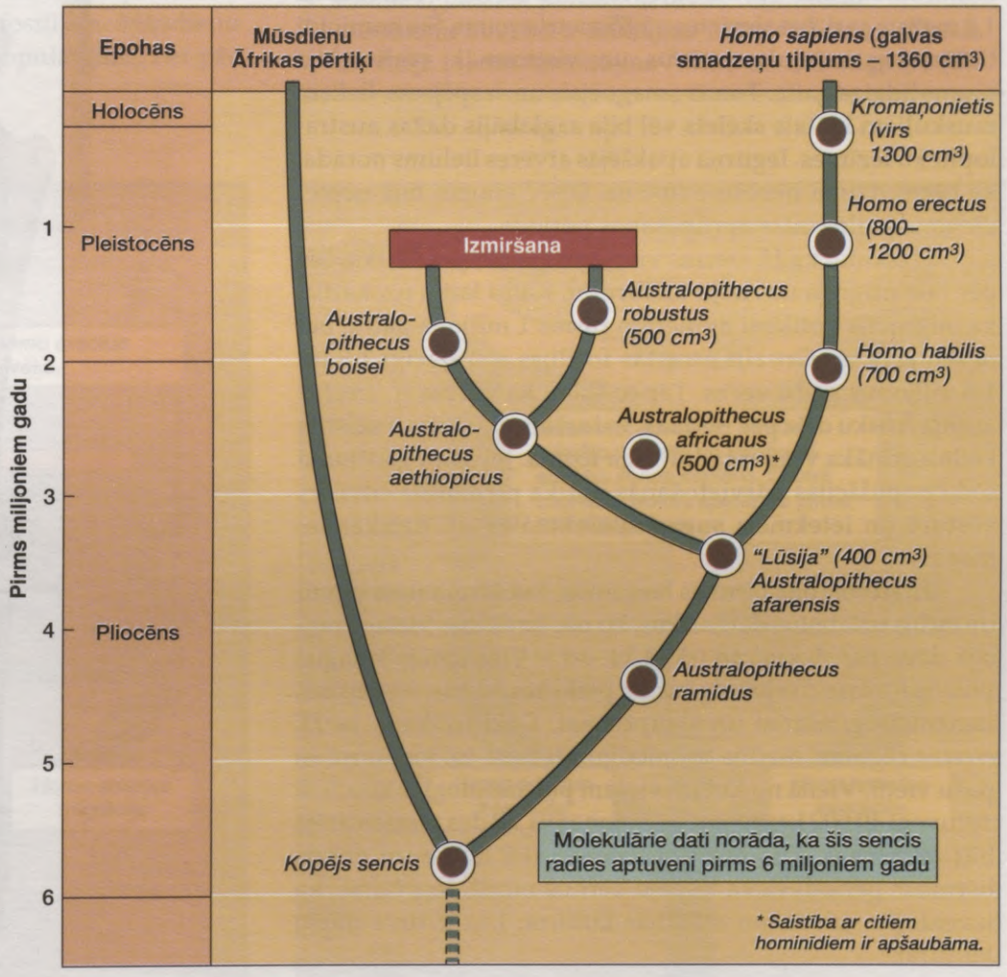
Daudzās vietās Austrumāfrikā ir atrasti skrāpējumi uz kauliem, kas varētu būt izdarīti ar akmens šķembām, kuru vecums ir 2 miljoni gadu. *H. habilis* varēja gatavot un lietot rīkus, lai nogrieztu gaļu no šiem kauliem, un, lai apmierinātu organisma prasības pēc olbaltumvielām, varēja ēst gaļu. Kā maitēdājs *H. habilis* vienkārši varēja pārtikt no citu dzīvnieku nogalinātā, vai kā plēsējs viņš varēja nogalināt sīkus vai vidēja izmēra upurus. Šis jaunais dzīvesveids hominīdiem radās, iespējams, tad, kad viņi ieguva prāta spēju gatavot un lietot darbarīkus.

H. habilis gatavotos akmens rīkus sauc par Olduvajas rīkiem, jo tos pirmo reizi kā darbarīkus atpazina Līkijs Olduvajas ielejā (sk. 4.14. att.). Olduvajas rīki ir vienkārši un izskatās diezgan smagnēji, bet, iespējams, mēs varam redzēt tikai serdi, kas palikusi pēc plēkšņu atdalīšanas. Plēksnes varēja būt asas – ar tām varēja nodīrāt ādu un pārgriezt cīpslas, lai viegli varētu atdalīt gaļu no kauliem.

H. habilis, visticamāk, turpināja ēst augļus, ogas, sēklas un citu augu barību. Iespējams, ka radās darba dalīšana un atsevišķi grupas locekļi bija mednieki, bet citi – vācēji. Runa varēja sekmēt viņu apvienotās pūles, un vēlāk viņi, iespējams, dalījās ar barību un ieturējās kopīgi. Šādi varēja sākt veidoties sabiedrība un kultūra. **Kultūra**, kas ietver cilvēka uzvedību un materiālās vērtības (piemēram, tehnoloģijas un mākslu), ir atkarīga no spējas mācīties un no spējas ar runas un abstraktās domāšanas starpniecību nodot zināšanas tālāk.

Pielāgošanās videi radīja bioloģisko pārmaiņu nepieciešamību jau pirms kultūras attīstības. Kultūras iegūšana radīja papildu ceļu, kādā iespējama pielāgošanās. Ar kultūras esamību *H. habilis* varēja paātrināt australopiteku izmiršanu pleistocēna epohas sākumā (4.9. att.).

H. habilis iekļauj _Homo_ ģintī, vadoties pēc viņu galvas smadzeņu lieluma, stājas, zobu izvietojuma un uzbūves. Nejaušas liecības norāda, ka viņi ir lietojuši darbarīkus gaļas apstrādei un viņiem ir notikusi kultūras attīstība.



4.9. attēls. Hominīdu evolucionārais ciltskoks
Āfrikas cilvēkpērtiķi un hominīdi nodalījās apmēram pirms 6 miljoniem gadu; *Australopithecus ramidus* ir vecākais hominīds; *A. afarensis* dzīvoja aptuveni vienu miljonu gadu, līdz tā attīstība sazarojās, veidojot citas sugas. Starp tām jāmin slaido un masīvo australopiteku sugas, kā arī pirmā cilvēka suga *Homo habilis*.

Homo erectus ceļoja

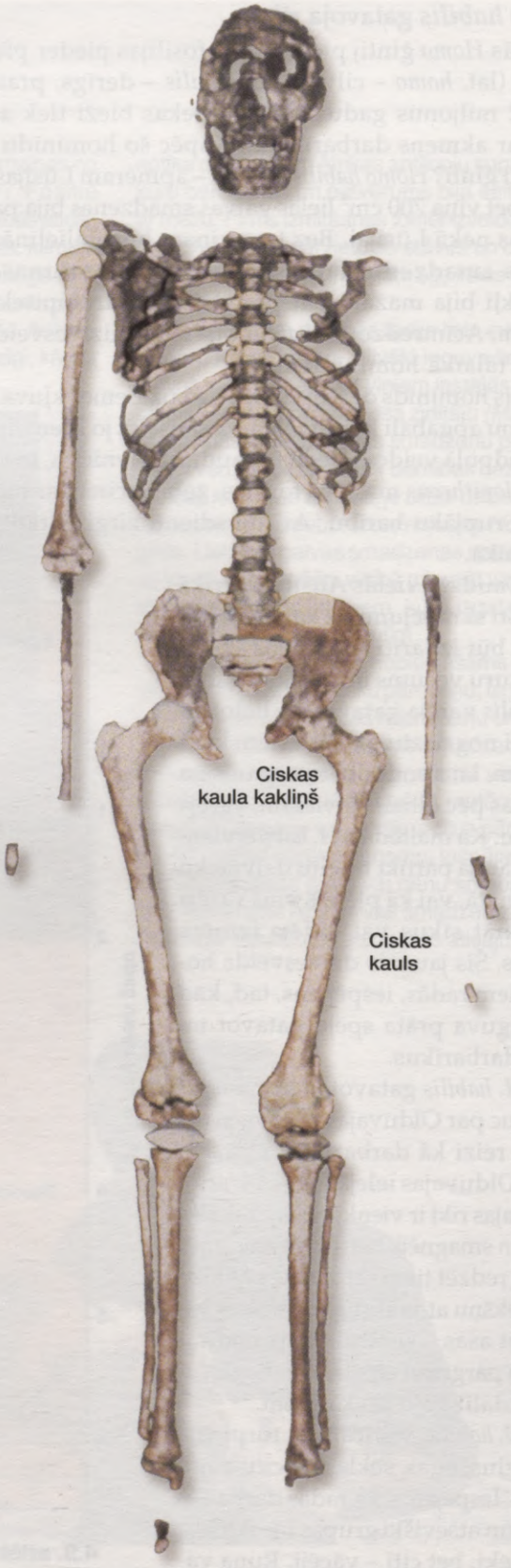
Homo erectus (lat. *homo* – cilvēks un *erectus* – stāvus) nosaukums saistās ar Āfrikā, Āzijā un Eiropā atrastu hominīdu fosilijām, kuru vecums ir no 1,9 līdz 0,5 miljoniem gadu. Nīderlandiešu anatoms Eižens Dibuā bija pirmais, kas 1891. gadā Javā izraka *H. erectus* kaulus, un kopš tā laika tajā pašā vietā ir atrasts daudz citu fosiliju. Lai gan visām par *H. erectus* nosauktajām fosilijām ir līdzīga uzbūve, tomēr ir arī diezgan daudz atšķirību. Tāpēc var izteikt varbūtību, ka šo grupu veidoja vairākas sugas. Daži lietpratēji uzskata, ka Āfrikas un Āzijas formas pieder pie divām dažādām sugām.

H. erectus salīdzinājumā ar *H. habilis* bija lielākas galvas smadzenes (apmēram 1000 cm^3), izteiktāki uzacu loki, plakanāka seja un uz priekšu izvirzīts deguns, līdzīgs mūsējam. Šāda veida deguns ir pielāgots karstam, sausam klimatam, jo tas aiztur ūdeni, pirms gaiss tiek izvadīts no ķermeņa. Desmit gadus veca zēna gandrīz pilnīga skeleta atradums norāda, ka *H. erectus* bija daudz garāks par tiem hominīdiem, kas apskatīti iepriekš (4.10. att.). Vīrieši bija 1,8 metrus gari, bet sievietes – 1,55 metrus garas. Šie hominīdi tiešām bija izslējušies stāvus, un, visticamāk, viņiem bija mums līdzīga gaita. Tomēr smagnējais un, iespējams, lieliem muskuļiem klātais skelets vēl bija saglabājis dažas australopiteku iezīmes. Iegurņa apakšējās atveres lielums norāda, ka bērni dzima nenobrieduši un tāpēc viņiem bija nepieciešams paildzināts aprūpēšanas periods.

Uzskata, ka *H. erectus* vispirms parādījās Āfrikā, bet pēc tam migrēja uz Āziju un Eiropu. Kādu laiku uzskatīja, ka migrācija notikusi apmēram pirms 1 miljona gadu, bet nesen Javā un Gruzijā atrastās fosilijas ir attiecīgi 1,9 un 1,6 miljonus gadu vecas. Tāpēc šķiet, ka vai nu *H. erectus* atstāja Āfriku drīz pēc rašanās, vai arī ar migrāciju ir saistīta kāda agrīnāka viņam radniecīga forma. Jebkurā gadījumā šāda populācijas pārvietošanās notika pirmoreiz cilvēces vēsturē un ietekmēja sugas intelektuālās un fiziskās iemaņas.

H. erectus bija pirmais hominīds, kurš izmantoja uguni un radīja uzlabotus darbarīkus, ko pēc atrašanas vietas Francijā dēvē par *Acheulean* (sk. 4.14. att.). Viņi lietoja smagus piliena formas cirvjus, nažus un plēksnes, kuras, iespējams, izmantoja griešanai un skrāpēšanai. Daži uzskata, ka *H. erectus* regulāri medīja un medījumu nesa uz vienu un to pašu vietu. Vienā no šādām vietām paleontologi ir atraduši aptuveni 40 000 kaulu un 2647 akmeņus. Šādas vietas varēja būt apmetnes, kur noritēja sabiedriskā dzīve un garais bērnības periods deva iespēju bērnus mācīt. Iespējams, ka izveidojās valoda un attīstījās kultūra, kas ir tuva mūsu kultūrai.

H. erectus, kas attīstījās no _H. habilis_, bija atsperīga gaita. Viņš gatavoja labi veidotus darbarīkus (iespējams, medīšanai) un prata izmantot uguni. Hominīdi migrēja uz Eiropu un Āziju no Āfrikas apmēram pirms 1 miljona gadu.



4.10. att. *Homo erectus*
Pirms 1,6 miljoniem gadu Austrumāfrikā dzīvojoša desmit gadus veca zēna skelets. Augšstilbiem ir šaurāks leņķis starp ciskas kaula ķermeni un tā kakliņu, bet pats kaula kakliņš ir daudz garāks nekā mūsdienu cilvēkam.

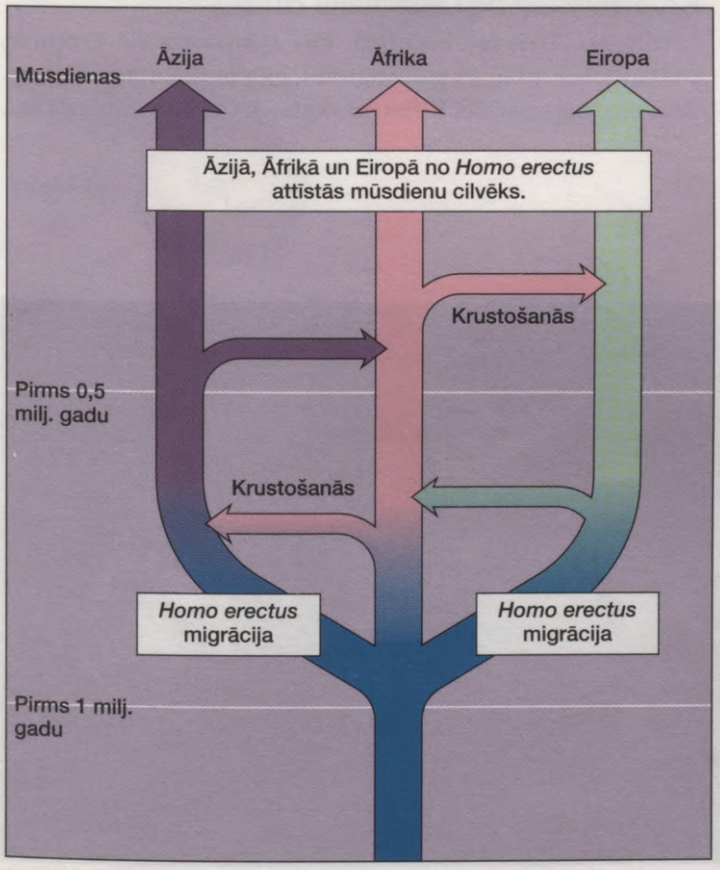
Kā radās mūsdienu cilvēki?

Ir pamatos noskaidrots, ka mūsdienu cilvēki attīstījās no *H. erectus*. Kurā vietā tas ir noticis? Apmēram pirms 300 000 gadu Eiropā, Āzijā un Āfrikā dzīvoja tā sauktie "senie (arhaiskie) *Homo sapiens*". (Neandertālietis ir labi pazīstams senais *H. sapiens*.) Hipotēzi par to, ka no katras šīs atsevišķās populācijas izveidojās mūsdienu cilvēki, sauc par multireģionālās nepārtrauktības hipotēzi (4.11. att. A). Šī hipotēze, kas neparedz nekādas migrācijas, uzskata, ka evolūcija pamatos līdzīgi notika vairākās atšķirīgās vietās. Katrs no apvidiem parāda tam raksturīgo anatomisko nozīmju nepārtrauktību miljona gadu laikā, kopš *H. erectus* pirmoreiz ieradās Eirāzijā. Oponenti iebilst, ka šķiet gandrīz neticami, ka evolūcijas rezultātā šajās atšķirīgajās vietās varēja veidoties līdzīgs rezultāts. Šīs hipotēzes vietā viņi piedāvā hipotēzi "prom no Āfrikas", kas apgalvo, ka arhaiskais *H. sapiens* pilnīgi mūsdienīgs kļuvis tikai Āfrikā, bet pēc tam migrējis uz Eiropu un Āziju apmēram pirms 100 000 gadu. Ja tā, tad nepastāv pazīmju nepārtrauktība starp 300 000 gadus vecām un 100 000 gadu vecām fosilijām. Mūsdienu cilvēki varēja krustoties ar senajām populācijām, bet pēc tam viņi tās izspieda (4.11. att. B).

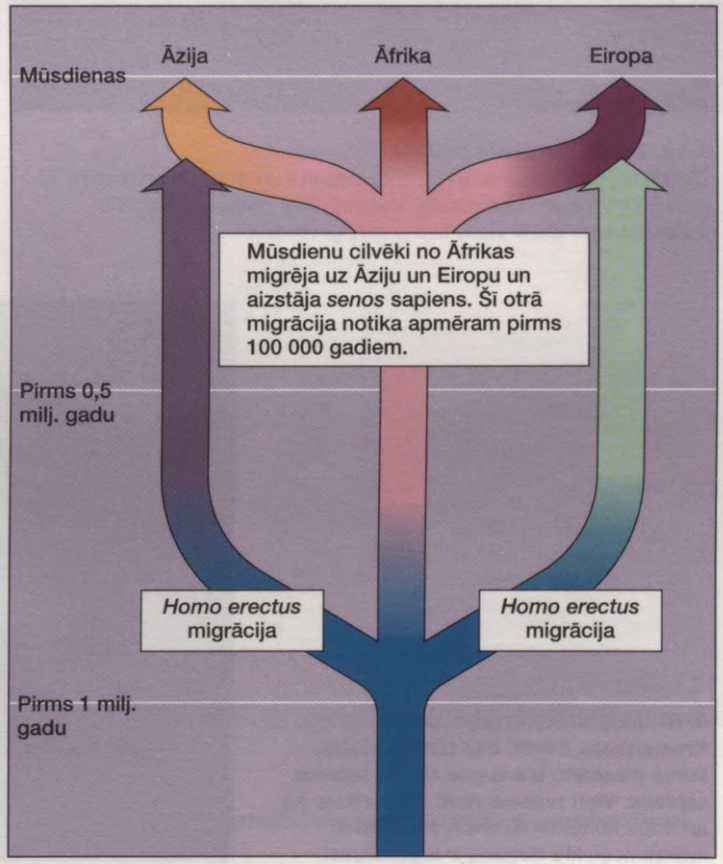
Kā varēja izveidoties mūsdienu cilvēka genotips? Saskaņā ar multireģionālās nepārtrauktības hipotēzi cilvēku populācijas ilgstoši evolucionējušas šķirti un tādēļ ir sagaidāmas ģenētiskās atšķirības. Ja spēkā ir hipotēze "prom no Āfrikas", tad mēs visi esam cēlušies no dažiem īpatņiem apmēram pirms 100 000 gadu. Tātad "prom no Āfrikas" hipotēze pauž viedokli, ka mēs ģenētiski esam samērā līdzīgi. Pirms dažiem gadiem tika veikts pētījums, kas mēģināja pierādīt, ka visiem Eiropas (un šādā gadījumā visas pasaules) iedzīvotājiem pamatā ir vienāda mitohondriālā DNS. Presē to nodēvēja par mitohondriālās Ievas hipotēzi (tas ir pārpratums, jo netiek piedāvāta ideja par vienu priekšteci). Pētījums pierādīja, ka aprēķini par migrēšanas laiku no Āfrikas bijuši kļūdaini. Aptuveni aprēķini, kas norāda uz tuvu ģenētisku radniecību starp visiem eiropiešiem, pierāda "prom no Āfrikas" hipotēzi.

Šīs pretējās hipotēzes veicinājušas daudzus jaunus pētījumus, kas tās pārbaudījuši. Galīgie secinājumi vēl tikai top.

Pētnieki pašlaik pārbauda divas hipotēzes: mūsdienu cilvēks ir attīstījies nošķirti Eiropā, Āfrikā un Āzijā (1) vai izveidojies Āfrikā un tad migrējis (2).



A. Multireģionālā nepārtrauktība



B. Prom no Āfrikas

4.11. attēls. Mūsdienu cilvēka rašanās

A. Multireģionālās nepārtrauktības hipotēze apgalvo, ka mūsdienu cilvēki radās nošķirti trijās dažādās vietās: Āzijā, Āfrikā un Eiropā. Tādēļ šajos apvidos ir sagaidāma genotipu un fenotipu nepārtrauktība. **B.** Hipotēze "prom no Āfrikas" apgalvo, ka mūsdienu cilvēks radies tikai Āfrikā un tad pirms 100 000 gadiem migrējis un aizstājis *Homo* populācijas Āzijā un Eiropā.

Neandertālieši bija arhaiski

Ja īpatņa galvas smadzeņu tilpums ir lielāks par 1000 cm^3, tad viņu var uzskatīt par *Homo sapiens* sugas pārstāvi. Neandertālieši *(H. sapiens neanderthalensis)* nosaukti Neanderas ielejas vārdā, kurā Vācijā tika atrasts viens no pirmajiem 200 000 gadus vecajiem neandertāliešu skeletiem. Neandertāliešiem bija masīvi uzacu loki, kā arī deguns, žokļi un zobi bija izvirzīti tālu uz priekšu. Piere bija zema un slīpa, apakšžoklis – slīps uz iekšu, neveidojot zodu. Nesen atrastas fosilijas liecina, ka kaunuma kauls salīdzinājumā ar mūsējo ir garš.



4.12. attēls. Neandertālieši
Zīmējumā redzams, ka šo cilvēku deguns un mute bija izvirzīta uz priekšu un viņiem bija masīvi muskuļi. Viņi gatavoja akmens darbarīkus un droši vien, bija izveicīgi mednieki.

Ilgu laiku uzskatīja, ka neandertālieši ir senie *H. sapiens* un acīmredzot nepieder galvenajam *Homo* attīstības zaram. Tomēr pārsteidz fakts, ka neandertāliešu galvas smadzenes vidēji bija nedaudz lielākas nekā mūsdienu cilvēkam (1400 cm^3 pretstatā 1360 cm^3 lielākajai daļai mūsdienu cilvēku). Neandertāliešiem bija lieli muskuļi, īpaši – plecu un kakla muskuļi (4.12. att.). Ekstremitāšu kauli bija īsāki un resnāki nekā mūsdienu cilvēkiem. Pastāv hipotēze, ka lielākas galvas smadzenes nekā mūsdienu cilvēkam bija nepieciešamas tāpēc, lai varētu regulēt lielos muskuļus. Neandertālieši dzīvoja Eirāzijā pēdējā leduslaikmetā, un viņu spēcīgā miesasbūve varēja palīdzēt saglabāt siltumu.

Ir saglabājušās liecības par to, ka neandertāliešiem bija attīstīta kultūra. Lielākā daļa dzīvoja alās, bet atklātās vietās mītošie varēja celt mājas. Viņi gatavoja daudzveidīgus akmens darbarīkus, arī šķēpu uzgaļus, ko izmantoja medībās, kā arī skrāpjus un nažus, ko varēja izmantot barības sagatavošanā. Iespējams, viņi sekmīgi medīja lāčus, vilnainos mamutus, degunradžus, ziemeļbriežus un citus tālaika dzīvniekus. Viņi prata iegūt un izmantot uguni, kas varēja palīdzēt sagatavot sasalušo gaļu un uzturēt siltumu. Neandertālieši pat apbedīja savus mirušos kopā ar puķēm un darbarīkiem. Iespējams, viņiem bija sava reliģija.

Kromaņonieši bija mūsdienu cilvēki

"Prom no Āfrikas" hipotēzi, kas aprakstīta 77. lappusē, pašlaik plaši atbalsta gan anatomi, gan molekulārie biologi. Aizvien populārāks kļūst uzskats, ka mūsdienu cilvēki,



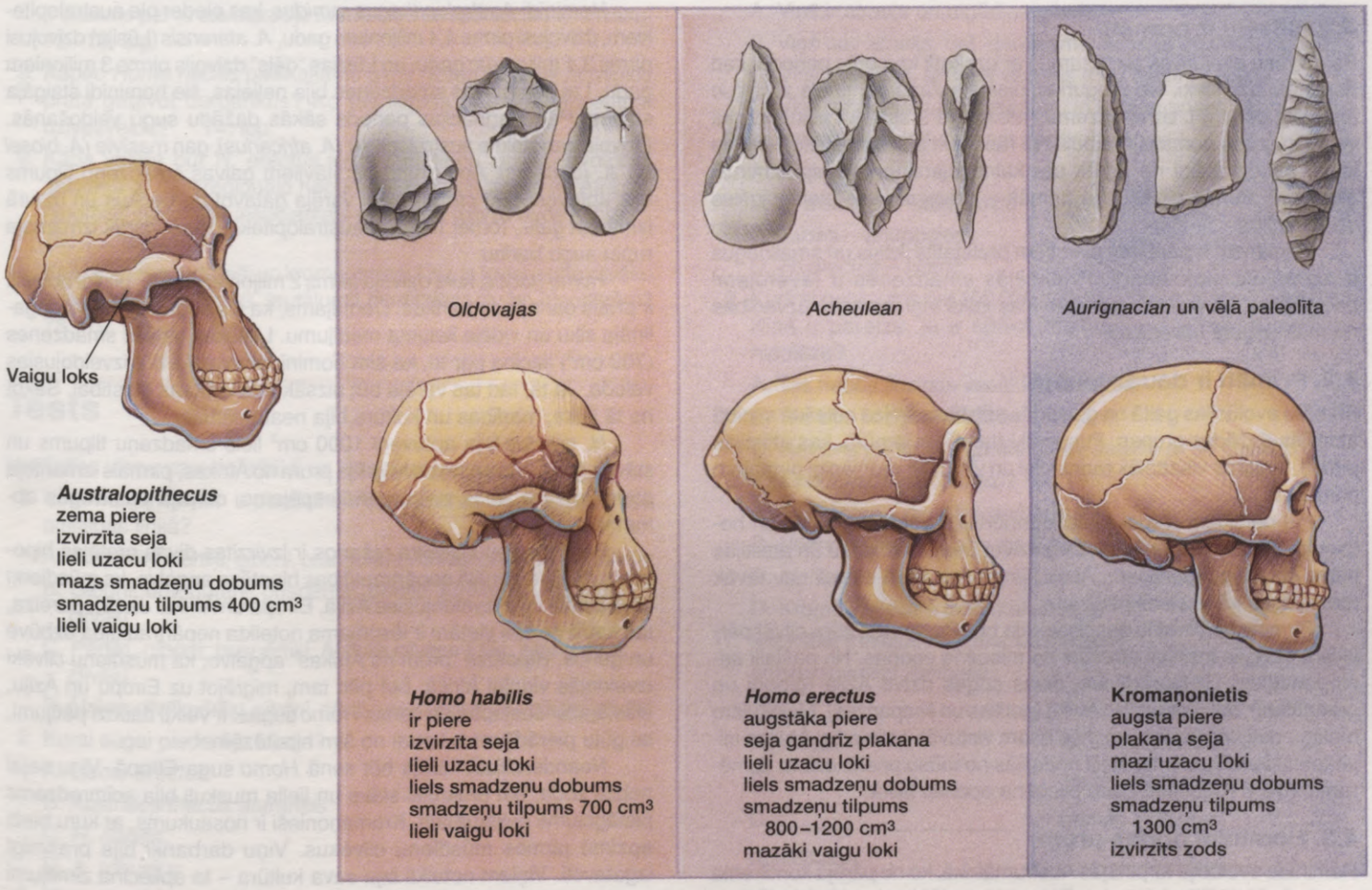
4.13. attēls. Kromaņonieši
Kromaņonas cilvēki bija pirmie cilvēki, kurus pieskaita pie sugas *Homo sapiens sapiens*. Viņu prasme radīt darbarīkus, kā arī citas kultūras iezīmes, piemēram, mākslinieciskie dotumi, ir leģendāras.

kurus tradicionāli sauc par **kromaņoniešiem** pēc to fosiliju atradnes Francijā, nokļuva Eirāzijā pirms 100 000 gadiem vai pat vēl agrāk. Kromaņoniešiem *(H. sapiens sapiens)* bija pilnīgi mūsdienīgs izskats (4.13. att.). Viņi prasmīgi darināja darbarīkus, ko sauc par *Aurignacian* rīkiem (4.14. att.).

Viņi lietoja sarežģītus darbarīkus, piemēram, pie koka roktura piestiprinātas akmens šķembas. Kromaņonieši varēja būt pirmie cilvēki, kas prata raidīt šķēpu, tā nogalinot dzīvnieku no attāluma, kā arī pirmie, kas prata darināt nazim līdzīgus asmeņus. Viņi bija ļoti izveicīgi mednieki, tāpēc daži pētnieki uzskata, ka pleistocēna epohas beigās kromaņonieši varēja izraisīt daudzu milzu zīdītāju, piemēram, milzu sliņķu, mamutu, zobenzobu tīģeru un milzu vēršu izzušanu.

Kromaņonieši medīja kolektīvi, un, iespējams, viņiem pirmajiem bija valoda. Uzskata, ka viņi dzīvoja nelielās grupās. Vīrieši pa dienu medīja, bet sievietes ar bērniem palika mājās. Ir diezgan ticami, ka pirmatnējo cilvēku mednieku dzīvesveids ir ietekmējis mūsu uzvedību līdz pat mūsdienām. Kromaņoniešu kultūru veidoja arī māksla. Viņi no ziemeļbriežu kauliem un ragiem izgrieza nelielas figūriņas. Uz alu sienām mūsdienu Spānijas un Francijas teritorijā viņi zīmēja brīnišķīgus dzīvnieku attēlus (4.13. att.).

Tagad uzskata, ka galveno cilvēku attīstības līniju veido *A. ramidus, A. afarensis, H. habilis, H. erectus* un kromaņonieši.



4.14. attēls. Hominīdu galvaskausi un darbarīki
Stabiņos salīdzināti hominīdu galvaskausi. Oldovajas darbarīki bija neapstrādāti. *Archeulean* darbarīki bija labāk darināti un daudzveidīgāki, bet *Aurignacian* darbarīki bija radīti konkrētam mērķim.

Pārskats

Cilvēki ir daudzveidīgi, tomēr viņus visus iekļauj vienā sugā – *H. sapiens sapiens*. Tas ir saskaņā ar bioloģiskās sugas definīciju, jo visas atšķirīgās grupas var savstarpēji krustoties un dot auglīgus pēcnācējus. Lai gan ir izveidojušās dažādas rases, molekulāro pētījumu rezultāti liecina, ka DNS bāzu secībā atšķirības ir vienlīdz lielas starp vienas tautības pārstāvjiem un dažādu tautību pārstāvjiem.

Uzskata, ka fenotips ir piemērojies apvidus klimatam. Lai gan var šķist, ka tumša āda pasargā no karstajiem saules stariem, tomēr ir izteikta ideja, ka tā aizsargā pret ultravioleto staru absorbciju. Tumšādaini cilvēki, kas dzīvo dienvidos, un gaišādaini cilvēki, kas dzīvo ziemeļos, absorbē vienu un to pašu radiācijas daudzumu. (Noteikts ultravioleto staru daudzums ir nepieciešams D vitamīna veidošanai.) Citas pazīmes, kas korelē ar ādas krāsu, piemēram, matu veids un acu krāsa, vienkārši var būt to gēnu darbības blakusefekts, kas regulē ādas krāsu.

Atšķirības ķermeņa uzbūvē ir saistītas ar pielāgošanos temperatūrai. Drukns ķermenis ar īsiem locekļiem un strupu degunu saglabā vairāk siltuma nekā slaids ķermenis ar gariem locekļiem un garu degunu. Mandeļveida acis, plakans deguns un piere un plati vaigi tiek uzskatīti par pielāgojumu pēdējam ledus laikmetam.

Lai gan vienmēr ir kāds, kas uzskata, ka fiziskās atšķirības dod iemeslu cilvēkus iedalīt dažādās rasēs, šo apgalvojumu neapstiprina molekulāro pētījumu rezultāti.

Kopsavilkums

4.1. Cilvēki ir primāti

Par cilvēku evolūcijas aizsākumu var uzskatīt kembrija periodu, kad dominēja dzīvnieki. No mugurkaulniekiem jūrās dominēja zivis (un joprojām dominē). Uz sauszemes mezozoja ēras laikā abiniekus kā valdošo grupu nomainīja rāpuļi. No rāpuļiem attīstījās zīdītāji, bet tie kļuva daudzveidīgi ne agrāk par kainozoja ēru, kad bija izmiruši dinozauri. Pirmie cilvēki bija primāti – dzīvnieki, kas pielāgojušies dzīvei kokos.

Primātiem ir pārējiem pirkstiem pretstatīts īkšķis un smailnagus ir aizstājuši plakannagi. Priekšējās smadzenes ir ievērojami palielinātas, un paildzinātās bērnības laikā viņi iemācās uzvedības normas (iegūtā uzvedība).

4.2. Primāti ir daudzveidīgi

Primātu evolūcijas gaitā no galvenās attīstības līnijas noteiktā secībā atdalījās dažādas grupas. Puspērtiķi (tarsiji un lemūri), kas attīstījās pirmie, ir mums visattālāk radniecīgi un vistuvāk radniecīgi pirmajam primātam.

Pie pērtiķiem pieder platdegunpērtiķi, šaurdegunpērtiķi un hominoīdi. Platdegunpērtiķi sāka apdzīvot Dienvidameriku un attīstījās pirms šaurdegunpērtiķiem. Abas šīs grupas savā starpā nav tuvāk radniecīgas kā ar cilvēkpērtiķiem.

Pirmais hominoīdu sencis varēja būt *Proconsul*, kura cilvēkpērtiķiem līdzīgās fosilijas atrastas no miocēna epohas. No pašlaik sastopamajiem cilvēkpērtiķiem divas sugas dzīvo Āzijā (giboni un orangutani), bet divas dzīvo Āfrikā (gorillas un šimpanzes). Molekulāro biologu pētījumi liecina, ka mēs esam vistuvāk radniecīgi Āfrikas cilvēkpērtiķiem, kuru priekšteči nodalījās no mūsu priekštečiem apmēram pirms 6 miljoniem gadu pliocēna epohas laikā.

4.3. Hominīdi dodas prom

Hominīdu evolūcija turpinājās Austrumāfrikā, ko no pārējā kontinenta norobežo Lielā Rifta ieleja, kur tektoniskie spēki izraisa Austrumāfrikas atdalīšanos no kontinenta. Austrumāfrikā kļuva sausāks un sāka izzust meži.

Hominīdi *Australopithecus ramidus*, kas pieder pie australopitekiem, dzīvojuši pirms 4,4 miljoniem gadu, *A. afarensis* (Lūsija) dzīvojusi pirms 3,4 miljoniem gadu, un Lūsijas "dēls" dzīvojis pirms 3 miljoniem gadu. Lai gan galvas smadzenes bija nelielas, šie hominīdi staigāja stāvus. Pēc stagnācijas perioda sākās dažādu sugu veidošanās. Dzīvoja gan slaidie australopiteki *(A. africanus)*, gan masīvie *(A. biosei* un *A. robustus)*. Abu grupu pārstāvjiem galvas smadzeņu tilpums bija aptuveni 500 cm^3, un viņi varēja gatavot darbarīkus un uzturā izmantot gaļu. Tomēr masīvie australopiteki uzturā vairāk izmantoja rupju augu barību.

Homo habilis, kurš dzīvoja pirms 2 miljoniem gadu, pilnīgi noteikti ir pratis darināt darbarīkus. Domājams, ka šīs sugas pārstāvji nogalināja sīku un vidēja lieluma medījumu. Lielākas galvas smadzenes (700 cm^3) liecina par to, ka šim hominīdam varēja būt izveidojusies valoda. Ja tā, tad tas varēja būt aizsākums kultūras attīstībai. Sākot no tā laika, medības un kultūra bija neatdalāmas.

H. erectus bija aptuveni 1000 cm^3 liels smadzeņu tilpums un stāvus gaita. Viņš pirmais migrēja prom no Āfrikas, pirmais izmantoja uguni, medīja lielos zvērus un, iespējams, dzīvoja pastāvīgās apmetnēs.

Par mūsdienu cilvēka rašanos ir izvirzītas divas pretējas hipotēzes. Multireģionālā nepārtrauktības hipotēze apgalvo, ka mūsdienu cilvēki nošķirti ir izveidojušies Āzijā, Eiropā un Āfrikā. Ja tā ir pareiza, tad katrā no šīm vietām ir iespējama noteikta nepārtrauktība uzbūvē un gēnos. Hipotēze "prom no Āfrikas" apgalvo, ka mūsdienu cilvēki izveidojās vienīgi Āfrikā, bet pēc tam, migrējot uz Eiropu un Āziju, aizstāja tur sastopamās senās *Homo* sugas. Ir veikti daudzi pētījumi, lai gūtu pierādījumus katrai no šīm hipotēzēm.

Neandertālieši varēja būt senā *Homo* suga Eiropā. Viņu sejai nebija zoda, bet druknais stāvs un lielie muskuļi bija acīmredzams pielāgojums aukstumam. Kromaņonieši ir nosaukums, ar kuru bieži apzīmē pirmos mūsdienu cilvēkus. Viņu darbarīki bija prasmīgi izgatavoti. Viņiem noteikti bija sava kultūra – to apliecina zīmējumi uz alu sienām.

Pārbaudiet sevi

1. Pastāstiet par cilvēka attīstības līniju, sākot no dzīvnieku rašanās! Miniet secīgi ēras un periodus, kā ar nozīmīgākos notikumus tajos! 66. lpp.
2. Kā primāti ir pielāgojušies dzīvei kokos? 67. lpp.
3. Kādas ir mūsdienās sastopamo puspērtiķu grupas? Kāda ir to nozīme cilvēku evolūcijā? 67. lpp.
4. Kādas ir divas mūsdienās sastopamo pērtiķu grupas? Kāda ir to radniecība? Kāda nozīme ir fosilijām, kas nosauktas par *Proconsul*? 69. lpp.
5. Kādas ir četras mūsdienās sastopamās cilvēkpērtiķu grupas? Kāda ir to radniecība? Kāda ir šo grupu radniecības pakāpe ar mūsdienu cilvēku pēc molekulārās bioloģijas datiem? 70.–71. lpp.
6. Kā ģeogrāfiskās pārmaiņas Āfrikā ietekmēja hominīdu evolūciju? 71. lpp.
7. Nosauciet dažādas *Australopithecus* sugas! Izskaidrojiet, kāds ir uzskats par to savstarpējo radniecību un radniecību ar cilvēku! 72.–73. lpp.
8. Kāpēc *Homo habilis* pieskaitāms ģintij *Homo*? Vai šis hominīds prata gatavot darbarīkus? Ko tas liecina par viņa iespējamo dzīvesveidu? 74. lpp.
9. Kāda varēja būt *H. erectus* loma mūsdienu cilvēka evolūcijā saskaņā ar multireģionālo nepārtrauktības un "prom no Āfrikas" hipotēzi? Kāds bija iespējamais hominīdu dzīvesveids? 76.–77. lpp.
10. Kas bija neandertālieši un kromaņonieši? Kāda ir viņu vieta cilvēku evolūcijā saistībā ar 9. jautājumā minētajām divām hipotēzēm? 78.–79. lpp.

Tests

Izvēlieties vienu pareizo atbildi uz katru jautājumu!

1. Kura no minētajām ir pareizā cilvēka rašanās secība galvenajā attīstības līnijā?
   A. Puspērtiķi, pērtiķi, giboni, orangutani, Āfrikas cilvēkpērtiķi, cilvēki
   B. Giboni, orangutani, puspērtiķi, pērtiķi, Āfrikas cilvēkpērtiķi, cilvēki
   C. Pērtiķi, giboni, puspērtiķi, Āfrikas cilvēkpērtiķi, orangutani, cilvēki
   D. Āfrikas cilvēkpērtiķi, giboni, pērtiķi, orangutani, puspērtiķi, cilvēki
2. Kurai sugai piederēja Lūsija?
   A. *Homo erectus*
   B. *Australopithecus afarensis*
   C. *H. habilis*
   D. *A. robustus*
3. Kad attīstījās hominīdi?
   A. Tad, kad Dienvidāfrikā klimats kļuva karsts un tropisks
   B. Tad, kad Lielā Rifta ieleja ieleja atdalīja Austrumāfriku
   C. Tad, kad klimats kļuva sausāks
   D. Pareizā atbilde ir B un C
4. Kad dzīvoja Lūsijas "dēls"?
   A. Apmēram pirms 3 miljoniem gadu
   B. Apmēram pirms 3,5 miljoniem gadu
   C. Tajā pašā epohā, kad Lūsija
   D. Pareizā atbilde ir A un C
5. Ko *H. erectus* varēja būt darījis pirmais?
   A. Ieguvis un izmantojis uguni
   B. Migrējis prom no Āfrikas
   C. Gatavojis darbarīkus
   D. Visas atbildes ir pareizas
6. Kura no minētajām pazīmēm **nav** saistīta ar pārējām?
   A. Lieli uzacu loki
   B. Lieli vaigu loki
   C. Augsta piere
   D. Izvirzīta seja
7. Kurš apgalvojums par pēdējo kopīgo priekšteci cilvēkpērtiķiem un hominīdiem ir pareizs?
   A. Viņš ir atrasts un atgādina gibonu
   B. Viņš nav atrasts, bet, domājams, dzīvojis pliocēna epohā
   C. Viņš ir atrasts, un viņa vecums ir 30 miljoni gadu
   D. Viņa atrašana nav iespējama, jo kopīga priekšteča nav bijis
8. Kurš no paskaidrojumiem ir nepareizs?
   A. Gibons – hominoīds
   B. *A. africanus* – hominoīds
   C. Tarsijs – antropoīds
   D. *H. erectus* – *Homo*
9. Kurš apgalvojums par 100 000 gadu jaunākām hominīda fosilijām ķīnā ir pareizs, ja ir spēkā multireģionālā nepārtrauktības hipotēze?
   A. Tās nebūs līdzīgas vecākām fosilijām
   B. Tās būs līdzīgas vecākām fosilijām
   C. Neviens no apgalvojumiem **nav** saistīts ar šo hipotēzi
10. Kas no minētā nav pareizi?
    A. *H. erectus* – darināja darbarīkus
    B. Neandertālietis – labs mednieks
    C. *H. habilis* – ieguva uguni
    D. Kromaņonietis – labs mākslinieks
11. Ierakstiet trūkstošo cilvēka klasifikācijā!

Valsts dzīvnieki *Animalia*	
Tips	A. _____
Apakštips	B. _____
C. _____	zīdītāji *Mammalia*
D. _____	primāti *Primates*
Apakškārta	E. _____
Virsdzimta	F. _____
Dzimta	G. _____
H. _____	Homo
Suga	I. _____

Papildjautājumi

1. *Tāpat kā ikvienai citai dzīvai būtnei, cilvēkam ir sava evolucionārā vēsture.*
   Miniet pierādījumus par to, ka mēs esam tuvu radniecīgi Āfrikas cilvēkpērtiķiem!
2. *Ģeogrāfiskā izolācija sekmē sugu veidošanos.*
   Pierādiet, ka šis apgalvojums ir saistīts ar cilvēku evolūciju!
3. *Molekulārā bioloģija var palīdzēt izprast cilvēku evolūciju.*
   Paskaidrojiet, kāpēc DNS līdzība ir saistīta ar radniecību! Nosauciet vismaz divus piemērus molekulārās bioloģijas iegukdījumam cilvēka evolūcijas izpratnē!

Multimediju izmantošana

Tematu par cilvēka evolūciju jums apgūt palīdzēs šādi multimediji.



Interneta izmantošana

Šīs nodaļas saturu jums apgūt palīdzēs Maderas mājas lapa

http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader
(izvēlieties bioloģiju)

Jēdzienu izpratne

Australopiteks 72. lpp.
Hominīds 71. lpp.
Hominoīds 69. lpp.
Homo erectus 76. lpp.
Homo habilis 75. lpp.
Kromaņonietis 78. lpp.
Molekulārais pulkstenis 71. lpp.
Neandertālietis 78. lpp.
Pērtiķis 69. lpp.
Primāts 66. lpp.
Proconsul 69. lpp.
Puspērtiķis 67. lpp.
Zīdītājs 66. lpp.

Izvēlieties definīcijām atbilstošos jēdzienus!

A. _____ – primātu grupa, kas ietver pērtiķus, cilvēkpērtiķus un cilvēkus.
B. _____ – hominīds, kurš dzīvoja pirms 2 miljoniem gadu un, iespējams, bija mūsdienu cilvēka tiešais priekštecis.
C. _____ – nosaukums fosilijām, kas piederējušas pirmajiem mūsdienu cilvēka pārstāvjiem.
D. _____ – hominīds ar druknu ķermeni, kurš dzīvojis pēdējā leduslaikmetā Eiropā un Tuvajos Austrumos, medījis lielus dzīvniekus un, dzīvojot grupās, veidojis noteiktu sabiedrību.
E. _____ – hominīds, kurš dzīvojis pleistocēna epohas laikā; pirmais, kuram bija mūsdienu cilvēkam raksturīgā stāja un gaita.
F. _____ – dzīvnieks no mugurkaulnieku klases, kam raksturīgs ķermeņa apmatojums un piena dziedzeri.
G. _____ – pārstāvis no virsdzimtas, kurai pieder cilvēki un lielie cilvēkpērtiķi.

Ieteicamā papildliteratūra I daļai

Coppens, Y. May 1994. East side story: The origin of humankind. *Scientific American* 270(5):88. Explores and provides a theory for why hominids brached off from chimpanzees.

Cowen, R. 1995. *The history of life*. 2d ed. Boston: Blackwell Scientific Publications. From the origin of life through human evolution, this ir an introduction to paleontology and paleobiology.

Currie, P. J. May 1996. The great dinosaur egg hunt. *National Geographic* 189(5):96. Fossilized dinosaur eggs, embryos, and nests have been found in China.

Dalziel, I. W. D. January 1995. Earth before Pangaea. *Scientific American* 272(1):58. Geologists search for clues to early continental drift.

Dawkins, R. November 1995. God's utility function. *Scientific American* 273(5):80. The role of genetics in evolution and natural selection is discussed.

deWaal, F. B. M. March 1995. Bonobo sex and society. *Scientific American* 272(3):82. Discusses the Bonobo great ape and its resemblance to humans in behavior, appearance, and intelligence.

Doolittle, R. F., and Bork, P. October 1993. Evolutionary mobile modules in proteins. *Scientific American* 269(4):50. This article discusses the role of proteins in evolution.

Erwin, D. E. July 1996. The mother of mass extinction. *Scientific American* 275(1):72. Global sea level decline and volcanic eruptions may have caused mass extinctions.

Futuyma, D. J. 1995. *Science on trial: The case for evolution*. Sunderland, Mass.: Sinauer Associates. Presents the evidence for evolution and the operation of the evolutionary process versus that proposed by the doctrine of creation.

Gore, R. January 1996. Neanderthals. *National Geographic* 189(1):2. Archeological finds are providing much information on the lives of these early humans.

Horgan, J. October 1995. The new social Darwinists. *Scientific American* 273(4):174. Psychologists and social scientists apply principles of natural selection to mind and behavioral studies.

Johanson, D. C. March 1996. Face-to-face with Lucy's family. *National Geographic* 189(3):96. New fossils from Ethiopia provide more information about human evolution.

Klein, J., et al. December 1993. MHC polymorphism and human origins. *Scientific American* 269(6):78. Explain that human tissue diversity developed long before *Homo sapiens* emerged.

Knecht, H. July 1994. Late Ice Age hunting technology. *Scientific American* 271(1):82. Early humans developed skills for crafting hunting implements.

Leakey, M. September 1995. The dawn of humans. *National Geographic* 188(3):38. An East African species that walked upright 4 million years ago has been discovered.

Levin, H. L. 1994. *The earth through time*. 4th ed. Philadelphia: Saunders College Publishing. Provides an in-depth study of evolutionary and geological eras and events.

Lewin, R. 1993. *The origin of modern humans*. New York: Scientific American Library. This colorfully illustrated book describes discoveries and controversies surrounding human origins.

Lewin, R. 1997. *Patterns in evolution: The new molecular view*. New York: *Scientific American Library*. This easy-to-read book explores how genetic information is providing insight into evolutionary events.

Marshall, L. February 1994. The terror birds of South America. *Scientific American* 270(2):90. These animals were at the top of the food chain 65 million years ago.

Miller, P. December 1995. Jane Goodall. *National Geographic* 188(6):102. This article highlights the research of primatologist, Jane Goodall.

Milton, K. August 1993. Diet and primate evolution. *Scientific American* 269(2):86. Presents the role of diet in primate evolution.

Novacek, M. J., et al. December 1994. Fossils of the flaming cliffs. *Scientific American* 271(6):60. Describes recent discoveries of dinosaur and other fossils in the Gobi desert.

Pääbo, S. November 1993. Ancient DNA. *Scientific American* 269(5):86. Evolutionary change can be observed directly from genetic information in fossil remains.

Royte, E. September 1995. Hawaii's vanishing species. *National Geographic* 188(3):2. Introduced species are threatening Hawaii's native birds, plants, and insects.

Schopf, J. W. 1992. *Major events in the history of life*. Boston: Jones and Bartlett Publishers. Summarizes crucial events that shaped the earth's development and evolution over time.

Scientific American Special Issue October 1994. 271(4). This special issue is devoted to evolution.

Slatkin, M., editor. 1994. *Exploring evolutionary biology*. Readings from *American Scientist*. Sunderland, Mass.: Sinauer Associates. This collection of articles can be used as supplementary material for evolution studies.

Storch, G. February 1992. The mammals of island Europe. *Scientific American* 266(2):64. Describes mammalian fossils found in German shale beds.

Strickberger, M. 1995. *Evolution*. 2d ed. Boston: Jones and Bartlett Publishers. Presents the basics of evolutionary theories.

Webster, D. July 1996. Dinosaurs of the Gobi. *National Geographic* 190(1):70. Well-preserved dinosaur fossils are being unearthed in the Gobi desert.

Wenke, R. 1996. *Patterns in prehistory: Humankind's first three million years*. 4th ed. New York: Oxford University Press. Provides a comprehensive review of world prehistory.

DAĻA II

Uzvedība un ekoloģija

5. Dzīvnieku uzvedība
6. Populāciju ekoloģija
7. Biocenožu ekoloģija
8. Ekosistēmas
9. Biosfēra
10. Cilvēka ietekme uz vidi

Organismu uzvedību regulē nervu sistēma un iekšējās sekrēcijas jeb endokrīnā sistēma. Šo sistēmu attīstību nosaka ne tikai gēni, bet arī dažādi vides faktori. Uzvedības ģenētiskā bāze ir dabiskās izlases un adaptāciju (pielāgošanās dažādiem vides apstākļiem) pamatā. Organismi neeksistē izolēti no vides. Parasti organismi ir daļa no populācijas. Viņi atrodas savstarpējā mijiedarbībā ar abiotiskiem (nedzīvās dabas) un biotiskiem (dzīvās dabas) faktoriem. Savukārt dažādu populāciju kopa noteiktā teritorijā veido biocenozi. Visbeidzot ekoloģija pēta arī populāciju izplatību un daudzveidību uz Zemes jeb – precīzāk – biosfērā. Pārmaiņas biosfērā, piemēram, klimata maiņa, dzeramā ūdens kvalitāte, gaisa tīrība, ir svarīgas arī cilvēkam. Tāpēc ekoloģijas pētījumu pamatā ir visas ekosistēmas vienojošo bioģeoķīmisko ciklu norises izzināšana.

Dzīvnieku uzvedība

5. NODAĻA

Nodaļu saturs

5.1. Uzvedība ir saistīta ar iedzimtību

- Uzvedība ir sarežģīta dzīvnieka atbildes reakcija uz vides ietekmi; tā iedzimst un vismaz daļēji ir atkarīga no gēniem. 86. lpp.
- Uzvedību regulē nervu sistēma un endokrīnā sistēma. 87. lpp.

5.2. Uzvedības pārmaiņas dzīves laikā

- Dažkārt uzvedība dzīves laikā mainās, mācoties un iegūstot pieredzi. 88. lpp.

5.3. Uzvedības evolūcija

- Dabiskā izlase ietekmē uzvedību, kas saistīta ar barošanos, vairošanos un aizsardzību pret plēsējiem. 90. lpp.
- Pārbaudot uzvedības evolūcijas hipotēzes, jānoskaidro vides un iedzimtības ietekme uz to. 92. lpp.

5.4. Dzīvnieki ir sabiedriski

- Dzīvnieki dzīvo sabiedriskās grupās, kurās starp grupas locekļiem pastāv dažādas attiecības. 94.–95. lpp.

5.5. Sociālbioloģija un dzīvnieku uzvedība

- Dzīve sabiedriskās grupās ir pielāgošanās dažādām situācijām, nevis viena īpatņa pielāgošanās pārējiem. 96. lpp.
- Altruistiska uzvedība ir pielāgošanās, kas dod efektu nākotnē. 96. lpp.



Lapeņputni *(Ptilonorhynchus violaceus)*

Vairošanās sezonas sākumā lapeņputnu tēviņi no sīkiem zariņiem veido īpašas būves, kuras dēvē par lapenēm. Viņi attīra teritoriju ap lapeni un izdekorē ar svaigiem ziediem, augļiem, oļiem, gliemežvākiem, stikla vai folijas gabaliem un citām spožām lietām, ko var atrast tuvākajā apkārtnē. Dažādu sugu lapeņputni savas ligzdas dekorē atšķirīgi. Austrālijas satīna jeb zilais lapeņputns priekšroku dod zilajai krāsai, kas harmonē ar tēviņa spožo, zilimelno apspalvojumu.

Kad lapene ir uzbūvēta, tēviņš uzturas tās tuvumā. Viņš aicina mātītes, papildina rotājumus un apsargā savu teritoriju no iespējamiem citu tēviņu iebrukumiem. Apmeklējusi vairākas lapenes un to īpašniekus, mātīte izvēlas vienu no tiem. Tad tēviņš sāk savu izrādi. Viņš uzbužina spalvas, kustina galvu un vicina spārnus. Ar priekšnesumu apmierinātā mātīte dodas uz lapeni, kur notiek pārošanās.

Zinātni, kas pēta dzīvnieku uzvedību, sauc par etoloģiju. Etologam, piemēram, jānoskaidro, kā lapeņputnu tēviņš uzvedas un kā viņa uzvedība nodrošina sekmīgu pārošanos.

5.1. Uzvedība ir saistīta ar iedzimtību

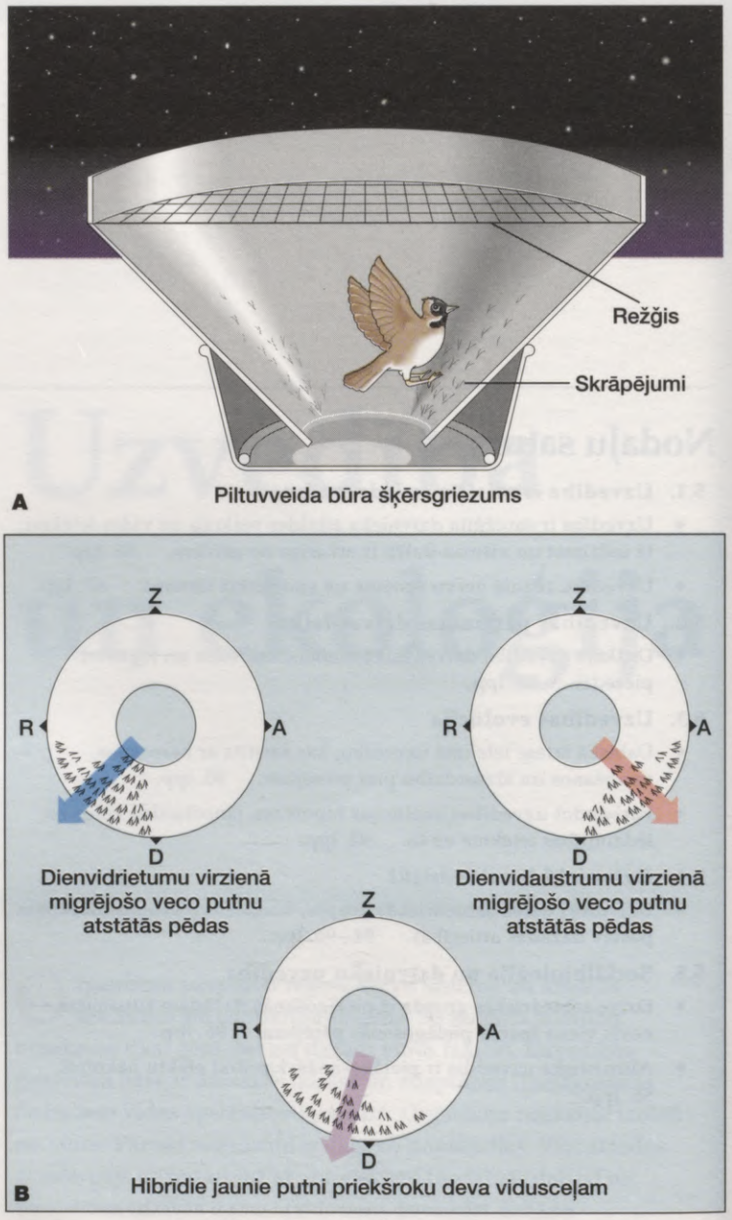
Uzvedības pētījumiem ir divi galvenie virzieni. Pirmkārt, tiek pētītas dzīvnieka uzbūves īpatnības, kas nodrošina noteiktu uzvedību. Otrkārt, tiek noskaidrots, kā ar dažādas uzvedības palīdzību dzīvnieki atrod barību, izvairās no plēsējiem un sekmīgi pārojas. Abos gadījumos pieņem, ka **uzvedības** – sarežģītas atbildes reakcijas uz vides ietekmi – pamatā ir iedzimtība.

Lai pārbaudītu, vai uzvedība saistīta ar iedzimtību, ir veikti visdažādākie eksperimenti. Putniem piemīt spēja atgriezties ligzdošanas un ziemošanas vietās. Īpaši šī spēja ir izteikta gājputniem, kas ik pavasari un rudeni veic tālus pārlidojumus. Putniem, kas ir iesprostoti, migrēšanas laikā vērojama paaugstināta aktivitāte, ko sauc par **migrācijas nemieru**.

Pīters Bertholds un viņa kolēģi konstatēja, ka Vācijā mītošie melngalvas ķauķi migrē uz Āfriku, bet tie ķauķi, kas dzīvo Zaļā raga salās, Āfrikas rietumu piekrastē, nemigrē vispār. Zinātnieki izvirzīja pieņēmumu – ja tieksme migrēt ir iedzimta, tad hibrīdiem būtu jāuzrāda daļēja migrācijas uzvedība. P. Bertholds sapāroja Vācijas putnus ar Zaļā raga salu putniem. Jaunos putnus viņš ievietoja atsevišķos būros ar laktām, kas elektroniski reģistrēja putna nosēšanos. Nākamā migrēšanas perioda laikā hibrīdi vairākas nedēļas katru nakti lēkāja no laktas uz laktu, bet Zaļā raga salu putniem migrēšanas nemiera nebija.

Andreass Helbigs ar melngalvas ķauķiem veica citu eksperimentu. Vācijas putni dodas **dienvidrietumu** virzienā no Vācijas uz Spāniju un tālāk uz Āfrikas dienvidrietumiem. Savukārt Austrijas ķauķi lido **dienvidaustrumu** virzienā no Austrijas uz Izraēlu un tad uz Āfrikas dienvidaustrumiem. A. Helbigs izaudzēja šo putnu hibrīdus un novietoja vecākus un jaunos putnus īpašos piltuvveida būros, caur kuriem putni naktī varēja redzēt zvaigznes. (Migrāciju pētījumi liecina, ka putni dienā orientējas pēc saules, bet naktī – pēc zvaigznēm.) Būru grīdu un sienas pārklāja ar īpašu papīru, kurā palika putnu nagu skrāpējumi, kas norādīja putnu lēkšanas virzienu migrēšanas perioda laikā. Kad rezultāti tika statistiski apstrādāti, konstatēja, ka hibrīdi izvēlējušies virzienu pa vidu starp abu vecāku pārvietošanās virzieniem (5.1. att.). P. Bertolda un A. Helbiga pētījumi ar melngalvas ķauķiem apstiprināja hipotēzi, ka uzvedība vismaz daļēji ir iedzimta.

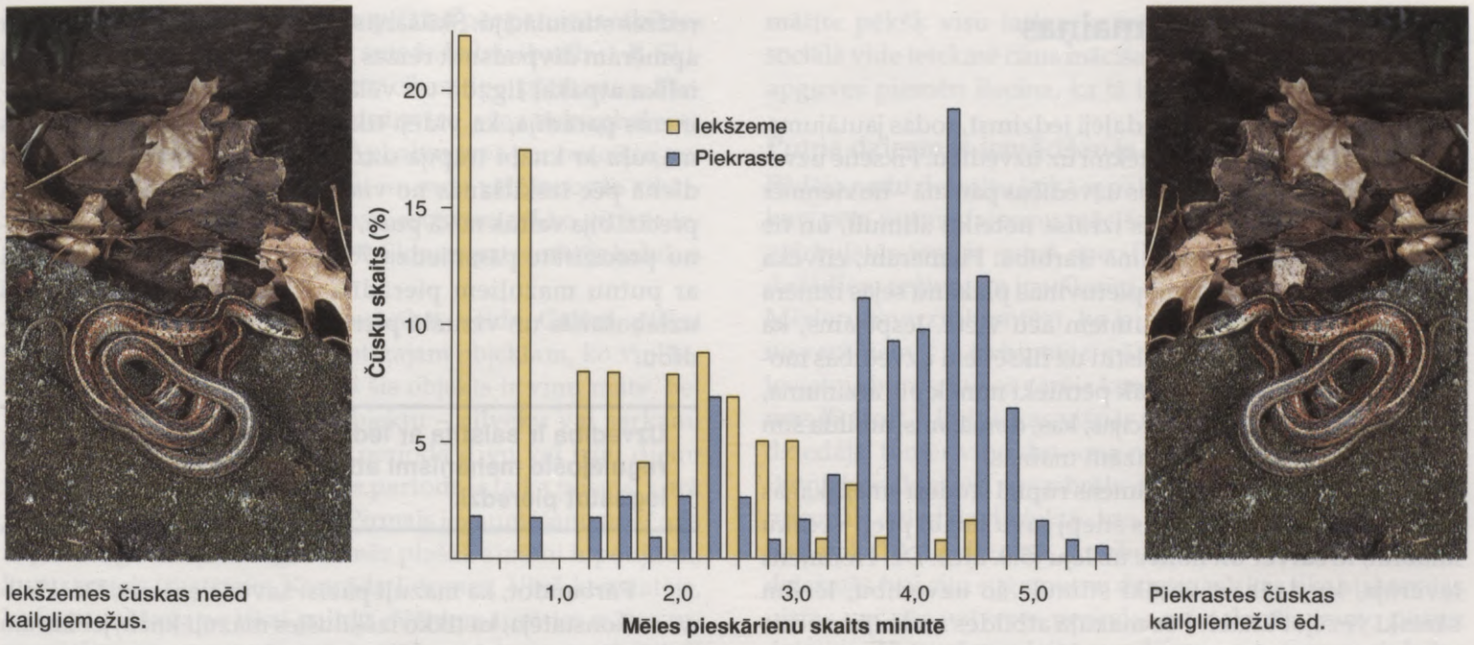
Stīvens Arnolds konstatēja zināmu atšķirību starp divām čūsku *(Thamnophis elegans)* populācijām Kalifornijā, veicot ar tām dažus eksperimentus. Iekšzemes populācijas pārstāvji dzīvoja galvenokārt ūdenī, pārtiekot no vardēm un zivīm. Savukārt okeāna piekrastes populācijas čūskas dzīvoja uz sauszemes un pārtika galvenokārt no kailgliemežiem. Laboratorijas apstākļos iekšzemes pieaugušās



5.1. att. Migrācijas uzvedības iedzimtība melngalvas ķauķiem *(Sylvia atricapilla)*

A. Piltuvveida būris putniem ļāva redzēt naksnīgās debesis, jo migrējot putni orientējas pēc zvaigznēm. **B.** Pētnieki putnu lidošanas virzienu noteica pēc viņu nagu atstātajām pēdām uz būra grīdas un sienām. Vecāki vēlējās lidot dienvidaustrumu vai dienvidrietumu virzienā, bet hibrīdie jaunie putni – tieši uz dienvidiem.

čūskas atteicās ēst kailgliemežus, bet piekrastes čūskas to darīja labprāt. Lai konstatētu iespējamās ģenētiskās atšķirības starp abām populācijām, S. Arnolds sakrustoja abu populāciju īpatņus un konstatēja, ka jauno dzīvnieku attieksme pret kailgliemežiem ir dažāda – apmēram puse no tiem ēda kailgliemežus, bet otra puse tos neēda.



Iekšzemes čūskas neēd kailgliemežus.

Piekrastes čūskas kailgliemežus ēd.

5.2. attēls. Čūsku *(Thamnophis elegans)* uzvedība barošanās laikā
Mēles pieskārienu biežums vates piciņai, kas piesūcināta ar kailgliemežu ekstraktu, iekšzemes čūskām un piekrastes čūskām. Piekrastes čūskas ēd kailgliemežus, bet iekšzemes čūskas tos neēd. Piekrastes čūskas šauda mēli biežāk nekā iekšzemes čūskas.

Šķiet, ka atšķirības starp kailgliemežu ēdājiem un neēdājiem ir iedzimtas, bet kādas ir gēnos ierakstītās fizioloģiskās īpatnības, kas izraisa šo atšķirību? S. Arnolds veica atjautīgu eksperimentu, kas varētu palīdzēt rast atbildi. Šaudot mēli, čūskas nogādā sīkas vielas daļiņas uz ožas receptoriem mutes iekšienē. Pēc smaržas čūskas atrod laupījumu. Ja ar barības vielām piesūcina vates piciņu, pat tikko piedzimušas čūskas tai pieskaras ar mēli, pārbaudot smaržu un garšu. S. Arnolds piesūcināja vates piciņu ar kailgliemežu ekstraktu un saskaitīja, cik reižu tai ar mēli pieskaras tikko piedzimuši iekšzemes čūskulēni un cik reižu – piekrastes čūskulēni. Piekrastes čūskas to darīja biežāk (5.2. att.). Kaut arī šo čūsku hibrīdiem mēles pieskārienu biežums atšķīrās, tomēr tas lielākoties bija apmēram vidējs salīdzinājumā ar vecākiem, tā apstiprinot ģenētisko hipotēzi. Šie eksperimenti radīja pieņēmumu, ka iekšzemes čūskas kailgliemežus neēd, jo nesajūt to smaržu. Šķiet, ka ģenētiskās atšķirības starp populācijām nosaka čūsku nervu sistēmas fizioloģiskās atšķirības.

Gan nervu sistēma, gan endokrīnā sistēma nodrošina citu organisma sistēmu darbību. Vai endokrīnā sistēma ir saistīta ar uzvedību, un vai šo sistēmu regulē dzīvnieka gēni? Lai to pierādītu, ir veikti daudzi pētījumi. Piemēram, jūras kailžaugliemežu *Aplysia* uzvedība olu dēšanas un to novietošanas laikā ir saistīta ar dzīvnieka kustībām. Pēc pārošanās dzīvnieks izdēj vairāk nekā miljonu olu, kas saistītas garā virtenē. Vienu virtenes galu gliemezis paņem mutē, pārklāj olas ar gļotām un, kustinot galvu uz priekšu un atpakaļ, to neregulāri satin. Šo olu masu viņš piestiprina pie kāda cieta priekšmeta, piemēram, akmens. Pirms dažiem gadiem zinātnieki no kailžaugliemežiem ieguva un izanalizēja olu dēšanas hormonu, kas izraisa olu dēšanu pat bez pārošanās. Tika konstatēts, ka šis hormons ir neliela olbaltumviela, kas sastāv no 36 aminoskābēm. Hormons iekļūst asinsrites sistēmā un olvada gludās muskulatūras šūnās, izraisot to saraušanos un izspiežot olu virteni. Zinātniekiem izdevās izolēt olu dēšanas hormona gēnu. Šis gēns palīdz sintezēt olbaltumvielu, ko veido 271 aminoskābe. Olbaltumviela sašķeļas vismaz 11 dažādās vielās, no kurām viena ir olu dēšanas hormons. Uzskata, ka šis hormons viens pats vai kopā ar citām vielām regulē pilnīgi visu kailžaugliemeža uzvedību, kas saistīta ar olu dēšanu.

Dažādu pētījumu rezultāti apliecina, ka uzvedība vismaz daļēji ir iedzimta. Gēni nosaka neirālos un hormonālos mehānismus, kas kontrolē uzvedību.

5.2. Uzvedības pārmaiņas dzīves laikā

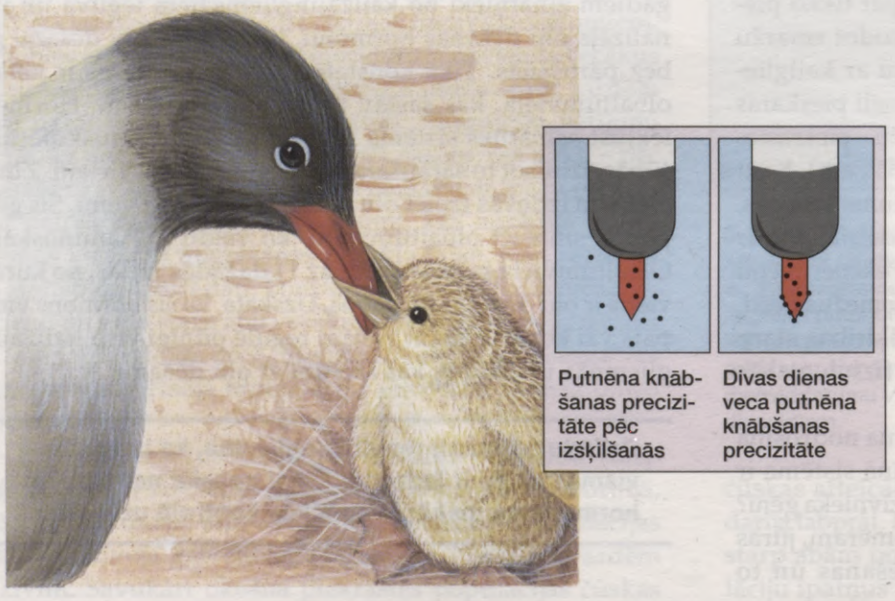
Zinot, ka uzvedība vismaz daļēji iedzimst, rodas jautājums, vai dzīves pieredze atstāj ietekmi uz uzvedību. Fiksētie uzvedības modeļi ir stereotipiskas uzvedības pamatā – tie vienmēr noris vienādi. Šos modeļus izraisa noteikti stimuli, un tie izpaužas iepriekš paredzamā darbībā. Piemēram, cilvēka mazulis smaidīs, ja viņam pietuvinās plakanu sejas izmēra masku ar tumšiem plankumiem acu vietā. Iespējams, ka daudzi uzvedības tipi ir balstīti uz fiksētiem uzvedības modeļiem. Tomēr arvien biežāk pētnieki nonāk pie atzinuma, ka daudzas uzvedības reakcijas, kas, domājams, atbilda šim modelim, laika gaitā pamazām mainās.

Zinātnieks Džeks Heilmens rūpīgi studēja smējējkaijas mazuļu uzvedību. Mazulis stiepj savu knābi pretī vecāku knābim, to satver un noliec uz leju (5.3. att.). Dž. Heilmens ievēroja, ka dažkārt vecāki stimulē šo uzvedību, lēnām sāniski vēzējot knābi. Pēc mazuļa atbildes reakcijas vecais putns ligzdā atrij barību. Ja nepieciešams, viņš putnēnus mudina ēst. Šī vecāku un mazuļu uzvedība Dž. Heilmenam lika domāt, ka putnēnu uzvedībai jābūt saistītai ar mācīšanos. (**Mācīšanos** var definēt kā ilglaicīgas uzvedības pārmaiņas, kas saistītas ar pieredzi.) Lai pārbaudītu šo hipotēzi, Dž. Heilmens uz nelielām kartītēm uzzīmēja kaiju galvas. Viņš savāca izdētās kaiju olas. Tās tika izperētas tumšā inkubatorā, lai pirms eksperimenta novērstu jebkādu redzes stimulāciju. Šķilšanās dienā katram putnēnam ļāva apmēram divpadsmit reizes ieknābt attēlam. Tad mazuļus ielika atpakaļ ligzdā un vēlāk atkal pārbaudīja. Eksperiments parādīja, ka vidēji tikai trešā daļa tikko izšķīlušos mazuļu ar knābi trāpīja uzzīmētajam knābim. Nākamajā dienā pēc izšķilšanās no visiem putnēnu mēģinājumiem precīzi bija vairāk nekā puse, bet pēc divām dienām knābienu precizitāte pārsniedza 75 %. Šie un citi eksperimenti ar putnu mazuļiem pierādīja, ka kustību koordinācijas uzlabošanās un vizuālā pieredze ietekmē putnēnu uzvedību.

Uzvedība ir saistīta ar iedzimtību, tomēr uzvedību regulējošie mehānismi attīstās vides ietekmē, iegūstot pieredzi.

Pārbaudot, kā mazuļi pazīst savus vecākus, Dž. Heilmens konstatēja, ka tikko izšķīlušies mazuļi knābj jebkuram putna attēlam, ja vien tajā ir sarkans knābis. Nedēļu veci putnēni knāba tikai tiem attēliem, kuri atgādināja viņu vecākus. Dž. Heilmens secināja, ka pārmaiņas uzvedībā veicina uzvedības stimulēšana.

Viens no daudziem apmācības veidiem ir **uzvedības stimulēšana.** Tā ir pakāpeniska stimula–atbildes saistības pastiprināšana. Dzīvnieki var apgūt dažādus trikus, ja tos pēc katras pareizas darbības apbalvo ar barību vai glāstiem.



5.3. attēls. Smējējkaijas *(Larus atricilla)* mazuļu uzvedība
Apmēram trīs dienu vecs smējējkaijas mazulis sagrābj vecā putna knābi un noliec to uz leju. Tad vecais putns atrij barību.

Treneris rada stimulu (saka "hop!") un pēc pareizas atbildes reakcijas (lēciena cauri stīpai) sniedz balvu (barību). B. Skiners laboratorijā veica šā apmācības tipa pētījumus. Piemēram, ja žurka nejauši piespiež sviru, viņa tiek apbalvota ar kārumu – cukura graudu. Apbalvojums par noteiktu uzvedību pastiprina šo uzvedību un rada vēlēšanos to atkārtot. Tā žurka tiek iemācīta nospiest sviru, tikko viņa ir izsalkusi. Veicot eksperimentus, B. Skiners pat iemācīja baložus spēlēt galda tenisu.

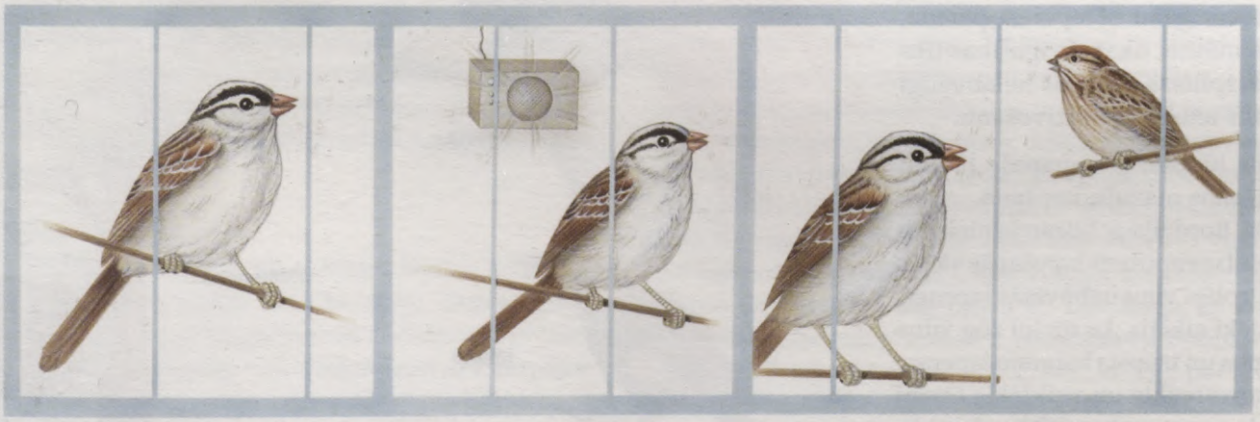
Iegaumēšana ir cits apmācības veids. Cālēni, pīlēni un zoslēni seko pirmajam kustīgajam objektam, ko viņi ierauga pēc izšķilšanās. Parasti šis objekts ir viņu māte, bet viņi var izvēlēties jebkuru objektu – cilvēku vai sarkanu bumbu, ko ierauga uztveres periodā divu vai triju dienu laikā pēc izšķilšanās. **Uztveres periods** ir laika posms, kurā izveidojas noteikta uzvedība. Pirmais iegaumēšanu novēroja anglis Duglass Speldings. Tomēr plašāk zināmi ir pētījumi, kurus veicis austrietis Konrāds Lorencs. Viņš konstatēja, ka iegaumēšana ne tikai palīdz cālēniem turēties mātes tuvumā, bet arī pieauguši putni vēlāk parāda uzmanību tieši savas sugas pārstāvjiem – tiem, kas ir līdzīgi viņu mātei. Zoslēni, kas par māti bija pieņēmuši K. Lorencu, turpmākajā dzīvē uzmanību izrādīja cilvēciskām būtnēm.

Sīkāki pētījumi parādīja, ka iegaumēšanas process ir ļoti sarežģīts. Ekherts Hess konstatēja, ka meža pīles mazuļi, kas laboratorijā iegaumējuši cilvēkus, var pazīt meža pīli, kura pirms nedaudzām stundām izperējusi pīlēnus. Viņš arī konstatēja, ka nozīmīga iegaumēšanas procesa sastāvdaļa ir skaņas, kas dzirdamas pirms un pēc izšķilšanās. Mežapīles mātīte pēkšķ visu laiku, kamēr noris iegaumēšana. Vai sociālā vide ietekmē citus mācīšanās veidus? Putnu dziesmu apguves piemēri liecina, ka tā ir.

Putna dziesmas iemācīšanās

Pēdējo gadu desmitu laikā ir palielinājies zinātnieku skaits, kuri pēta putnu dziesmu mācīšanās paņēmienus. Kaut gan zvirbuļstērstēm ir sugai specifiska dziesma, tēviņiem no dažādiem reģioniem ir atšķirīgi dialekti. Tas rosināja Pīteru Mērleru izvirzīt hipotēzi, ka jaunie putni dziedāt iemācās no vecākiem. Lai šo hipotēzi pārbaudītu, P. Mērlers putnus ievietoja būros, kuros varēja kontrolēt viņu dziedātās dziesmas (5.4. att.). Putni, kas vispār nebija dzirdējuši dziesmas, dziedāja, tomēr viņu dziesma nebija pilnībā izveidojusies. Putni, kuri dzirdēja sugasbrāļu dziedāto dziesmu ierakstus, turpmāk dziedāja dialektā, kas tika atskaņots uztveršanas periodā (10–15 dienas). Zvirbuļstērstes dažādu dialektu dziesmas (vai citu sugu putnu dziesmas), kas tika atskaņotas pirms vai pēc uztveres perioda, neietekmēja jauno putnu dziesmu. Uztveršanas laikā smadzenes ar neironu palīdzību īpaši reaģē uz akustiskajiem kairinājumiem. Citi pētījumi parādīja, ka tad, ja māca jau pieaugušus putnus, viņi var dziedāt pat citu sugu putnu dziesmas un viņiem nav svarīgi, kad apmācība sākas. Tas liecina par sociālās vides nozīmīgumu dziedāšanas mācīšanā.

Dzīvnieki spēj mācīties no pieredzes. Mācoties pakāpeniski mainās viņu uzvedība.



Izolēts putns dzied, bet dziesma nav izteiksmīga.

Putns dzied dziesmu, ko dzirdējis uztveršanas periodā.

Putns dzied dziesmu, ko iemācījies no savas sugas putna ārpus uztveršanas perioda.

5.4. attēls. Zvirbuļstērstes *(Zonotrichia leucophrys)* mācīšanās dziedāt
Tika reģistrēti triju dažādu eksperimentu rezultāti. Tie liecina, ka dziesmu apguvi ietekmē gan iedzimtība, gan vides apstākļi.

5.3. Uzvedības evolūcija

Tā kā gēni ietekmē uzvedību, ir loģiski pieņemt, ka uzvedība (tāpat kā citas iedzimtās īpašības) var attīstīties un evolucionēt. Šajā nodaļā tiks aplūkota vairošanās uzvedība – galvenokārt paņēmieni, kā dzīvnieki nodrošina iespēju pāroties. Nedaudz tiks apskatīta arī uzvedība, kas saistīta ar barības iegūšanu un aizsardzību pret plēsējiem, jo tā palīdz izdzīvot un tāpēc ir iespējama vairošanās. Pētot uzvedības evolūciju, zinātnieki cenšas izvirzīt un pārbaudīt hipotēzes, kas norāda, kā konkrētais uzvedības modelis sekmē vairošanos.

Vienam tēviņam var būt ļoti daudz pēcnācēju, jo viņš spēj izdalīt daudz spermas. Tāpēc pastāv konkurence starp tēviņiem, kas cenšas apaugļot mātītes. Savukārt mātītēm ir nedaudz olšūnu. Tāpēc viņām nozīmīgāka ir pārošanās partnera izvēle. Dzimumizlase var nodrošināt sugas evolucionāras pārmaiņas. **Dzimumizlases** rezultātā saglabājas tādas tēviņu un mātīšu īpašības, kas saistītas ar tēviņu konkurenci un mātīšu izvēli, tā sekmējot vairošanos.

Mātītes izvēle

Riests ir rituāls, kura laikā partneri sagatavojas pārošanās procesam. Tas palīdz tēviņam un mātītei sameklēt vienam otru, tā nodrošinot veiksmīgu pārošanos. Mātītes izdarītajā partnera izvēlē liela nozīme ir riestam.

Džeralds Bordžija pārbaudīja divas hipotēzes par satīna lapeņputna (sk. attēlu 85. lpp.) mātītes izvēli.

Pirmā hipotēze: mātītes izvēlas partneri, kura īpašības norāda, ka viņam ir lielākas iespējas izdzīvot.

Otrā hipotēze: mātīte izvēlas partneri pēc īpašībām, kas padara viņu pievilcīgāku. Šī hipotēze paredz, ka mātītei tīkamās īpašības tiks pārspīlētas, līdz tās nelabvēlīgi sāks ietekmēt izdzīvošanu.

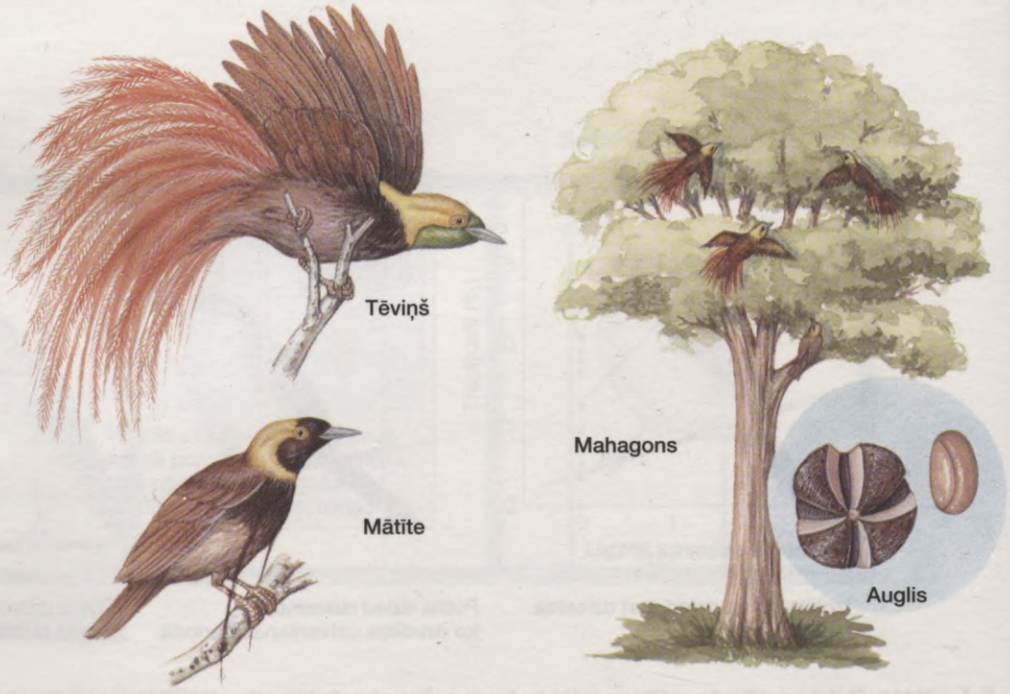
Abas šīs hipotēzes neparedz tēviņu piedalīšanos mazuļu kopšanā.

Dž. Bordžija ar līdzstrādniekiem novēroja lapeņputnus barošanās vietās un kontrolēja viņu uzbūvētās lapenes. Zinātnieki atklāja, ka tēviņi zog zilus rotājumus un izposta kaimiņu lapenes. Tikai agresīvākie un veiklākie tēviņi savas lapenes uztur labā stāvoklī. Tāpēc tieši viņus mātītes izvēlas par pārošanās partneriem.

Dž. Bordžija saprata, ka pētījumi pilnībā neapstiprina nevienu no hipotēzēm. Iespējams, ka, agresivitātei iedzimstot, izdzīvošanas izredzes nepalielinās, kā arī var būt, ka mātītes vienkārši dod priekšroku lapenēm ar košāku rotājumu.

Brūss Bīlers pētīja paradīzes putnu uzvedību Jaungvinejā (5.5. att.). Daudzu sugu paradīzes putniem ir izteikts dzimumu dimorfisms – tēviņi ir lielāki nekā mātītes, un viņiem ir skaists, oranžs apspalvojums. Savukārt mātītes izskatās visai necilas. Riesta laikā tēviņi savācas vienkopus un sāk saukt mātītes. Ja viņiem pievienojas mātīte, tēviņi, nepārtraucot saukšanu, izpleš savas oranžās spalvas, vicina spārnus, sāniski lēkā un visādi cenšas pēc iespējas labāk izrādīt savas krāšņās spalvas.

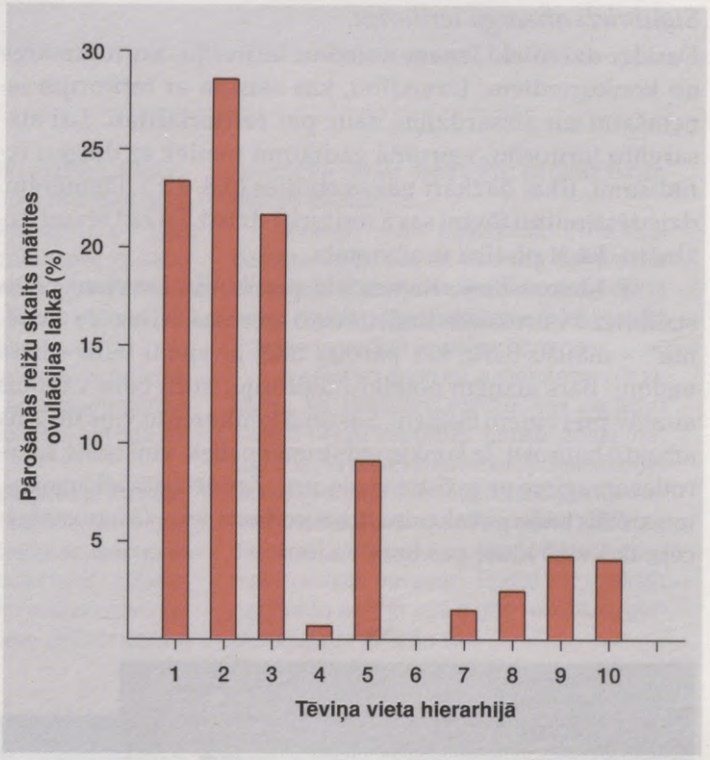
Tā kā izvēli izdara mātītes, tēviņi ir ievērojami krāšņāki par viņām. Nav svarīgi, kura no divām Dž. Bordžija hipotēzēm šajā gadījumā ir pareiza. Iespējams, ka krāšņais tēviņu apspalvojums liecina par veselīgumu un spēku. Iespējams arī, ka mātītes izvēlas košākos tēviņus, jo viņu pēcnācējiem – jaunajiem tēviņiem – savukārt būs lielākas izredzes pārošanās laikā. Daži pētnieki uzskata, ka lielāka tēviņa atraktivitāte norāda, ka viņam nav parazītu. Enderss Mollers pārbaudīja šo hipotēzi, veicot eksperimentus ar bezdelīgām. Viņš mākslīgi saīsināja un pagarināja tēviņu astes. Pētnieks konstatēja, ka mātīte izvēlas tēviņu ar garāku asti. E. Mollers arī noskaidroja, ka tēviņiem, kas izauga ar pretērču preparātu (akaricīdu) apsmidzinātā ligzdā, astes bija garākas nekā citiem.



5.5. attēls. Paradīzes putnu *(Paradisaea raggiana)* uzvedība pārošanās laikā
Paradīzes putnu uzvedību pārošanās laikā ietekmē vide, kurā konkrētā suga meklē barību. Daudzu sugu paradīzes putnu tēviņiem ir krāšņs apspalvojums, kas palielina mātītes interesi. Mātītes barojas ar dažādiem augļiem plašā teritorijā. Tāpēc tēviņi vairošanās periodā savācas baros, kurus mātītes apmeklē, lai izvēlētos partneri.



5.6. attēls. Paviānu *(Papio anubis)* tēviņš draudīgā pozā
Tēviņi ir lielāki nekā mātītes, viņiem ir lielāki ilkņi. Starp tēviņiem pastāv sāncensība. Tās dēļ barā izveidojas hierarhija.



5.7. attēls. Paviānu tēviņa vieta hierarhijā un mātītes izvēle
Lai arī mātītes pārojoties nav izvēlīgas, tomēr brīžos, kad pastāv vislielākā iespēja apaugļoties, viņas pārojas ar dominējošajiem tēviņiem.

Tēviņu konkurence

Īpašībām, kas palielina tēviņu pārošanās izredzes, ir lielākas iespējas tikt pārmantotām. Tomēr šīm īpašībām var būt arī negatīvas iezīmes, piemēram, tās var sekmēt tēviņa ātrāku bojāeju. Pārmantojot īpašības nākamajās paaudzēs, dabiskās izlases rezultātā saglabāsies tās pazīmes, kuras veicina vairošanos, bet nerada negatīvus blakusefektus. Ir maz ticams, ka pazīmes, kuras rada negatīvus blakusefektus, varētu saglabāties nākamajās paaudzēs, savukārt tās pazīmes, kuras dod kādas priekšrocības, visticamāk, saglabāsies arī nākamajās paaudzēs.

Paviānu barā ir hierarhija

Paviāni dzīvo barā. Tēviņiem un mātītēm barā ir atšķirīga **hierarhija**, kas nosaka rangā augstāk esoša (dominējoša) dzīvnieka privilēģijas pār rangā zemāk esošajiem dzīvniekiem. Dominējošie dzīvnieki tiek noskaidroti savstarpējos cīņos, kuros viens dzīvnieks iegūst pārsvaru pār otru.

Paviāniem ir raksturīgs dzimumu dimorfisms – tēviņiem ir gari ilkņi, un viņi ir lielāki nekā mātītes (5.6. att.). Dienā, meklējot barību, paviāni klejo pa noteiktu teritoriju, bet naktī atpūšas kokos. Dominējošie tēviņi nosaka, kurp un kad bars pārvietosies. Briesmu gadījumā viņi piesedz bara atkāpšanos un, ja nepieciešams, uzbrūk ienaidniekiem.

Laikā, kad mātītei tuvojas ovulācija (olšūnas iznākšana no olnīcas), viņai rodas vēlēšanās pāroties. Sākumā mātīte pārojas ar rangā zemāk esošajiem tēviņiem un vecākiem jaunuļiem. Vēlāk, kad ovulācija jau ir tuvu, viņa izrāda interesi par dominējošajiem tēviņiem. Dominējošais tēviņš un mātīte izveido pāri, kas saglabājas īsu laiku – stundu vai dažas dienas, jo dominējošajam tēviņam ir jāaizsargā jaunie paviāni.

Tomēr paviānu tēviņam dominējošais stāvoklis rada arī zināmas problēmas. Lielāki ķermeņa izmēri nozīmē lielāku barības patēriņu. Cīnīšanās ar ienaidniekiem var radīt ievainojumus utt. Vai šāda uzvedība palielina viņa īpašību pārmantošanas iespējas? Glens Hausfaters uzskaitīja dominējošo tēviņu pārošanās reizes un konstatēja, ka viņi patiešām pārojas ar mātītēm, kad ir vislielākā varbūtība viņas apaugļot (5.7. att.). Tomēr ir arī citi ceļi, kā kļūt par tēvu. Daži tēviņi palīdz konkrētām mātītēm un viņu atvasēm. Nākamajā ovulācijas reizē dominējošā tēviņa vietā viņa priekšroku dod savam palīgam – hierarhijā zemāk esošajam tēviņam. Dažkārt rangā zemāk esošie tēviņi izveido grupu, kas var stāties pretī dominējošajam tēviņam un tā iegūt mātīti.

Staltbrieži aizsargā teritoriju

Daudzi dzīvnieki ieņem noteiktu teritoriju, kuru aizsargā no konkurentiem. Uzvedību, kas saistīta ar teritorijas ieņemšanu un aizsardzību, sauc par **teritorialitāti**. Lai aizsargātu teritoriju, vairumā gadījumu pietiek ar dusmu izrādīšanu, tikai dažkārt nākas cīnīties (5.8. att.). Piemēram, dziedātājputnu tēviņi savā teritorijā dzied, lai citi tēviņi uzzinātu, ka šī platība ir aizņemta.

T. Kletons-Broks Ramas salā, pie Skotijas krastiem, pētīja staltbriežu vairošanos. Buļļi (tēviņi) sacenšas, lai iegūtu "harēmu" – mātīšu baru, kas pārojas tikai ar vienu bulli – bara vadoni. Bars aizņem noteiktu teritoriju, kuru bara vadonis aizstāv pret citiem buļļiem. Sākumā konkurentu viņš mēģina atbaidīt baurojot. Ja konkurents tomēr paliek, viņi cīnās, saķeroties ar ragiem un grūstot viens otru. Zaudētājam atkāpjoties, uzvarētājs kādu gabalu viņam baurodams seko. Ja uzvar atnācējs, tad viņš kļūst par bara vadoni.

Pēc divpadsmit gadu pētījumiem T. Kletons-Broks secināja, ka bara vadonis par tēvu kļūst apmēram divdesmit četriem pēcnācējiem, jo spēka gadi viņam neturpinās ilgi. Kādam jābūt bullim, lai kļūtu par tēvu? Viņam jābūt lielam un spēcīgam, lai varētu cīnīties. Tāpēc bullis aug ātrāk un viņam ir mazāk tauku. Smagos dzīves apstākļos bullim ir lielākas izredzes nomirt badā; parasti viņa dzīve ir īsāka. Harēms pastāvēs tikai tad, ja bara vadonis, neraugoties uz īso dzīves ilgumu, atstāj pietiekami daudz pēcnācēju.

Evolūcija dzimumizlases ceļā notiek tad, ja mātītēm ir iespēja izvēlēties starp vairākiem potenciāliem partneriem vai ja pastāv tēviņu konkurence par iespējām pāroties ar mātītēm.



A

B

5.8. attēls. Staltbriežu *(Cervus elpahus)* cīņa

Staltbriežu tēviņi cīnās, lai iegūtu savā pārvaldībā noteiktu teritoriju un mātīšu baru. **A.** Dažus konkurentus var aizbaidīt baurojot. **B.** Tomēr dažkārt nepieciešams cīniņš, kurā uzvar spēcīgākais.

Uzziniet tuvāk

Kā daba ietur ritmu

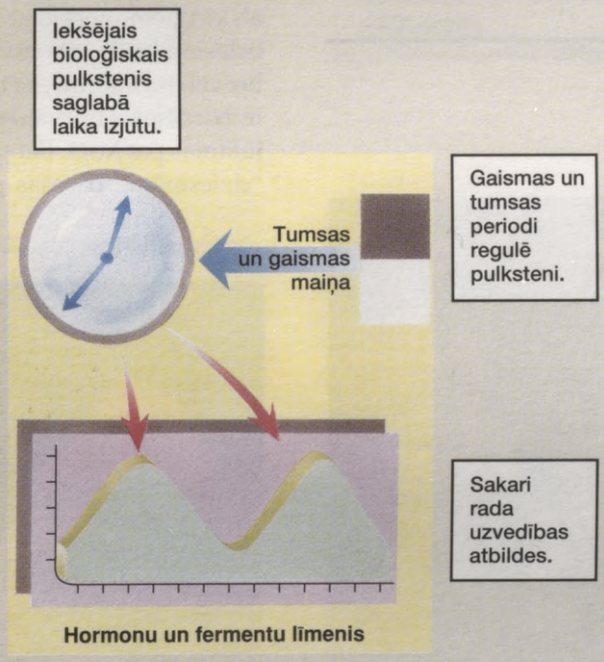
Daudzi dzīvnieku uzvedības veidi izpaužas noteiktos laika posmos. Uzvedībai, kura atkārtojas katru dienu, ir diennakts ritms. Piemēram, daži dzīvnieki, tāpat kā cilvēki, dienā ir aktīvi, bet naktī guļ. Turpretī citi, piemēram, sikspārņi, dienā guļ, bet naktī medī. Daudziem dzīvniekiem raksturīga uzvedība, kura noris reizi gadā. Piemēram, ziemeļu puslodē rudenī daudzi putni migrē uz dienvidiem, daudziem dzīvniekiem mazuļi dzimst pavasarī. Šādai uzvedībai ir gada ritms.

Ir divas hipotēzes, kas attiecināmas uz diennakts ritmu, – vai nu laiks tiek kontrolēts pēc ārējām parādībām, vai arī dzīvniekiem ir iekšējais jeb bioloģiskais pulkstenis (5.A. att.). Šīs alternatīvās hipotēzes tika pārbaudītas, pētot circeņus, kas katru nakti sisina, lai piesaistītu mātītes. Eksperimenta laikā circeņus turēja visu laiku gaismā vai tumsā. Viņi sisināja katru nakti, tikai sisināšana sākās apmēram ik pēc 26 stundām. Apgaismojums, kas imitēja dienu un nakti, precizēja šo ciklu. Tāpēc var secināt, ka bioloģiskais pulkstenis pastāv, taču nav pārāk precīzs un vides ietekme to precizē. Līdzīgi rezultāti ir iegūti arī eksperimentos ar citiem dzīvniekiem (no krabjiem līdz pat cilvēkam).

Kur atrodas šis bioloģiskais pulkstenis? Ja circeņiem izgriež smadzeņu redzes centrus, viņi sisina neatkarīgi no diennakts laika. Tāpēc šķiet, ka "pulkstenis" atrodas redzes centrā un no acīm sūtītie nervu impulsi to precizē. Arī citiem dzīvniekiem ir konstatēti nervu centri, kur atrodas bioloģiskais pulkstenis.

Bioloģiskajam pulkstenim ir ne tikai jāskaita laiks, bet arī jārosina pārmaiņas uzvedībā. Circeņiem sisināšanu ierosina nervu impulsi. Citos gadījumos šķiet, ka pārmaiņas uzvedībā ierosina hormoni.

Ir pētīti arī gada cikla mehānismi. Ir zināms, ka zīdītājiem epifīze, kas no acīm saņem nervu impulsus, tumsā izdala melatonīnu. Tā daudzums rudenī palielinās, bet pavasarī samazinās. Tiek uzskatīts, ka melatonīns kavē vairošanās orgānu attīstību. Tas varētu izskaidrot to, kāpēc daudzi dzīvnieki vairojas pavasarī. Epifīzi var uzskatīt par "trešo aci", jo tajā ir gan receptori, gan bioloģiskais pulkstenis.



5.A. attēls. Bioloģiskais pulkstenis
Bioloģiskajam pulkstenim ir trīs sastāvdaļas.

5.4. Dzīvnieki ir sabiedriski

Dzīvniekiem sabiedriskums izpaužas dažādi. Daudzi dzīvnieki dzīvo pa vienam un ar pretējā dzimuma īpatni satiekas tikai pārošanās laikā. Savukārt citi veido pastāvīgu pāri un kopā audzina mazuļus. Vēl citi veido baru, kura locekļi savstarpēji sadarbojas. Bara locekļu sadarbība regulē gan pārošanos, gan mazuļu audzināšanu. Mēs jau apskatījām paviānu un staltbriežu barus. Šo un citu dzīvnieku sociālā uzvedība rada nepieciešamību sazināties.

Sazināšanās ir dažāda

Sazināšanās ir dzīvnieka darbība, kas ietekmē cita dzīvnieka uzvedību. Sazināšanās var būt un var nebūt mērķtiecīga. Sikspārņi raida skaņu impulsu sērijas un uztver atbalsi, lai atrastu ceļu, lidojot tumšās alās, vai naktī sameklētu barību. Šos skaņu impulsus spēj uztvert daži naktstauriņi, kas, sajutuši sikspārņa tuvumu, mēģina glābties. Vai sikspārņi mērķtiecīgi sazinās ar naktstauriņiem? Nē, bet sikspārņa raidītās skaņas naktstauriņam ir signāls, ka tuvojas briesmas.

Sazināšanās ir dzīvnieka darbība, kas ietekmē cita dzīvnieka uzvedību.



5.9. attēls. Teritorijas iezīmēšana ar feromoniem
Geparda tēviņš šādā veidā ar feromoniem iezīmē teritoriju.

Ķīmiskā sazināšanās

Ķīmiskie signāli darbojas gan naktī, gan dienā. Termins **feromoni** (gr. *phero* – nest, nogādāt un *monos* – viens) tiek lietots, lai apzīmētu ķīmiskos signālus, kas tiek nodoti citiem tās pašas sugas dzīvniekiem. Naktstauriņu mātīte no īpašiem vēdera dziedzeriem izdala ķīmiskas vielas, kuras uztver tēviņu taustekļu receptori. Feromoni tiek izdalīti ļoti nelielos daudzumos. Tos spēj sajust tikai atbilstošās sugas tēviņi, bet nespēj sajust plēsēji.

Gepardi un citi kaķu dzimtas dzīvnieki teritorijas robežas iezīmē ar urīnu, fekālijām un dziedzeru izdalījumiem (5.9. att.). Kalnu pundurantilopes savā teritorijā zariņus un zāli iezīmē ar zemacs dziedzeru izdalījumiem.

Sazināšanās ar skaņām

Saziņai ar skaņām ir dažas priekšrocības. Tā ir ātrāka nekā sazināšanās ar ķīmiskajiem signāliem un ir izmantojama gan dienā, gan naktī. Turklāt skaņas var atšķirties ne tikai pēc skaļuma, bet arī pēc intonācijas, ilguma un atkārtošanas biežuma. Eksperimentējot ar žurkām, zinātnieki atklāja, ka žurka var izvairīties no sugasbrāļa uzbrukuma, raidot paaugstinātas frekvences skaņas, kurām ir nomierinoša iedarbība.

Circeņu sisināšana un putnu tēviņu dziesmas kalpo atšķirīgiem mērķiem. Piemēram, putniem viena dziesma ir briesmu brīdī, cita noder mātītes uzmanības piesaistīšanai, bet vēl cita informē, ka teritorija ir aizņemta. Jūrnieki jau izsenis ir dzirdējuši kuprvaļu raidītās skaņas, kuru radītās svārstības jūtamas pat kuģī. Bet tikai nesen tika konstatēts, ka šīm vaļu "dziesmām" ir sešas pamattēmas, kas sastāv no dažādām



5.10. attēls. Šimpanze un zinātnieks
Šimpanzei ir ierobežotas runas spējas, bet viņš var iemācīties izmantot zīmju valodu. Daži uzskata, ka šimpanzes tikai atkārto savu skolotāju darbības un neizprot valodu kā izziņas līdzekli. Šajā attēlā redzams, ka zinātnieks rāda Nimam zīmi "dzert". Nims atkārto.

atsevišķām frāzēm. Skaņu frāzes veido dažāda garuma svilpieni un čiepstieni. Iespējams, ka "dziesmas" galvenokārt saistītas ar vairošanos un liecina par īpatņu gatavību pāroties. Augstākā pakāpe, kurā sazinās ar skaņām, ir valoda. Tomēr tikai cilvēks spēj radīt daudz dažādu skaņu un savienot tās kopā visdažādākajos veidos. Pērtiķi spēj veidot tikai apmēram četrdesmit dažādas skaņas. Katrai no tām ir sava nozīme, piemēram, "mazulis uz zemes" tiek raidīta, ja paviānu mazulis nokrīt no koka. Šimpanzes var iemācīties lietot zīmju valodu, tomēr viņi nevar pārspēt divus gadus veca bērna attīstības līmeni (5.10. att.). Ļoti grūti ir noskaidrot, vai šimpanzes izprot gramatikas principus un vai spēj lietot savu valodu saprātīgi. Tomēr ir labi redzama cilvēka un dzīvnieka sazināšanās spēju atšķirība.

Vizuālā sazināšanās

Vizuālos signālus visbiežāk lieto dzīvnieki, kas ir aktīvi dienā. Savstarpējos strīdos tēviņi mēdz ieņemt draudīgas pozas. Tādā veidā bieži vien tiek novērsts cīniņš. Ieraugot dominējošā paviānu tēviņa draudīgo pozu, citi paviāni izjūt bijību, un barā saglabājas miers (sk. 5.6. att.). Nīlzirgu teritoriālie konflikti parasti norit, sāncenšiem draudīgi atplešot muti.

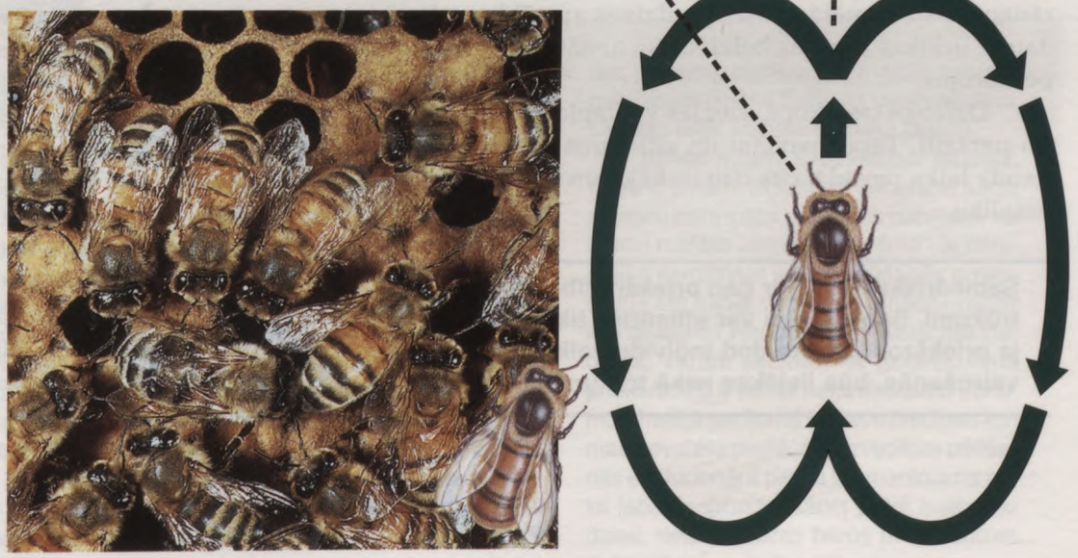
Radžas paradīzes putna tēviņš ar savu apspalvojumu un aizraujošo riesta deju piesaista mātītes uzmanību, lai pēc tam ar viņu pārotos. Izrādīšanās uzvedība, lai aizsargātos vai izrādītu uzmanību, ir pārspīlēta un vienmēr notiek vienā un tajā pašā veidā. Tāpēc šāda uzvedība ir nepārprotama.

Taktilā sazināšanās

Taktilā sazināšanās noris, kad viens dzīvnieks pieskaras otram. Piemēram, kaijas mazulis pieskaras vecāku knābim, tā aicinot viņu atrīt barību (sk. 5.3. att.). Leopardu tēviņš pieglaužas mātītes kaklam, lai nomierinātu viņu un veicinātu vēlēšanos pāroties. Pērtiķiem raksturīga ieskāšana – viens dzīvnieks tīra otra ādu un vilnu. Tā tiek nostiprināta sociālā saikne barā.

Lai sniegtu informāciju par apkārtējo vidi, bites lieto gan taktilo sazināšanos, gan sazināšanos ar skaņām. Dzīvnieku uzvedības pētnieks Karls Frišs 1940. gadā veica eksperimentus ar bitēm. Viņš atklāja, ka bite, kas sameklējusi barību, dejo – veic noteiktas kustības. Šīs kustības citām bitēm norāda virzienu un attālumu līdz barībai (5.11. att.). Bites pārvietošanās ceļš veidots no diviem pusapļiem un atgādina astoņnieku. Dejojot bite dūc un purina ķermeni. Uzskata, ka attālumu līdz barības avotam norāda purināšanās biežums un dejas ilgums. Daļu ceļa bite veic taisni. Ārpus stropa deja noris horizontālā plaknē, un taisnās pārvietošanās virziens norāda barības avota atrašanās virzienu. Savukārt stropā bite pārvietojas pa vertikāli novietotu kāri. Šeit taisnās pārvietošanās novirze no vertikāles norāda barības avota atrašanās virziena leņķi attiecībā pret Sauli. Piemēram, ja bite rāpo pa kāri ne tieši uz augšu, bet 40° leņķī pa kreisi no vertikālā virziena, barība atrodama 40° leņķī pa kreisi no Saules. Lai atrastu barību, bites kā kompasu izmanto Sauli, jo viņu bioloģiskais pulkstenis (sk. 93. lpp.) vadās pēc Saules pārvietošanās.

Lai sazinātos, dzīvnieki izmanto dažādus paņēmienus. Sazināšanās bieži uzlabo savstarpējo sadarbību.



A. Purināšanās deja

B. Dejas sastāvdaļas

5.11. attēls. Sazināšanās starp bitēm
A. Medusbites *(Apis mellifera)* dejo, lai norādītu virzienu uz barības avotu. **B.** Ja deja notiek ārpus stropa, bites taisnās pārvietošanās virziens norāda, uz kuru pusi atrodas barības avots.

5.5. Sociālbioloģija un dzīvnieku uzvedība

Sociālbioloģija dzīvnieku sociālās uzvedības pētīšanai izmanto evolūcijas mācības principus. Sociālbiologi ir izvirzījuši hipotēzi, ka dzīvošanai sabiedriskās grupās (baros), lai izdzīvotu un vairotos, ir vairāk priekšrocību nekā trūkumu. Zinātnieki veic pārbaudi, lai noskaidrotu, vai viņu hipotēze ir pareiza.

Noteiktos apstākļos dzīvošana barā palīdz dzīvniekiem izvairīties no plēsējiem, izaudzēt mazuļus un iegūt barību. Impalu (antilopes) baram ir lielākas izredzes laikus pamanīt plēsēju un aizmukt no viņa nekā atsevišķam indivīdam. Arī zivju barā daudzu zivju vienlaicīgas, straujas kustības dažādos virzienos var samulsināt plēsēju.

Iespējams, ka putnu sociālā uzvedība ir atkarīga no barības, kuru viņi ēd. Radžas paradīzes putni pārtiek no ļoti barojošiem augļiem, tāpēc mātīte viena var pabarot mazuļus. Savukārt radniecīga suga – manukodija *(Manucodia keraudrenit)* veido pārus, jo mazuļus sekmīgi spēj aprūpēt tikai abi vecāki kopā. Audējputnu dzīve ir vēl sabiedriskāka. Lai aizsargātos pret plēsējiem, viņi dzīvo lielās kolonijās. Putni cits citu informē, kur atrodama barība. Barā dzīvojošie pērtiķi cits citam signalizē, ja atrod īpaši bagātu augļu koku. Medījot kopā, lauvas spēj notvert lielu medījumu, piemēram, zebru vai bifeli.

Tomēr dzīvei barā ir arī savi trūkumi. Ja dzīvnieki pulcējas nelielā teritorijā, pieaug konkurence par labākām barošanās un gulēšanas vietām. Viens no veidiem, kā sadalīt resursus, ir bara hierarhija, tomēr rangā zemākiem dzīvniekiem nākas samierināties ar grūtākiem apstākļiem. T. Kletons-Broks konstatēja, ka tikai lielākās, dominējošās staltbriežu bara mātītes var izaudzēt vīriešu kārtas mazuļus, kas atstās daudz pēcnācēju. Mazākās, rangā zemāk esošās mātītes savus gēnus nākamajās paaudzēs nodod tikai caur meitām, tātad relatīvi maz. Tomēr zemāka ranga staltbriežu mātītēm, tāpat kā paviāna bara pakļautajiem tēviņiem, neraugoties uz samērā grūtajiem dzīves apstākļiem, barā ir daudz lielākas iespējas izdzīvot un atstāt kaut nedaudzus pēcnācējus.

Dzīvojot cieši kopā, vieglāk var izplatīties arī slimības un parazīti. Tāpēc paviāni un citi baros dzīvojoši pērtiķi daudz laika pavada, cits citu ieskājot un palīdzot saglabāt veselību.

Sabiedriskai dzīvei ir gan priekšrocības, gan trūkumi. Sabiedrības var attīstīties tikai tad, ja priekšrocības, ko dod indivīdu veiksmīga vairošanās, būs lielākas nekā trūkumi.

Altruisms vai egoisms

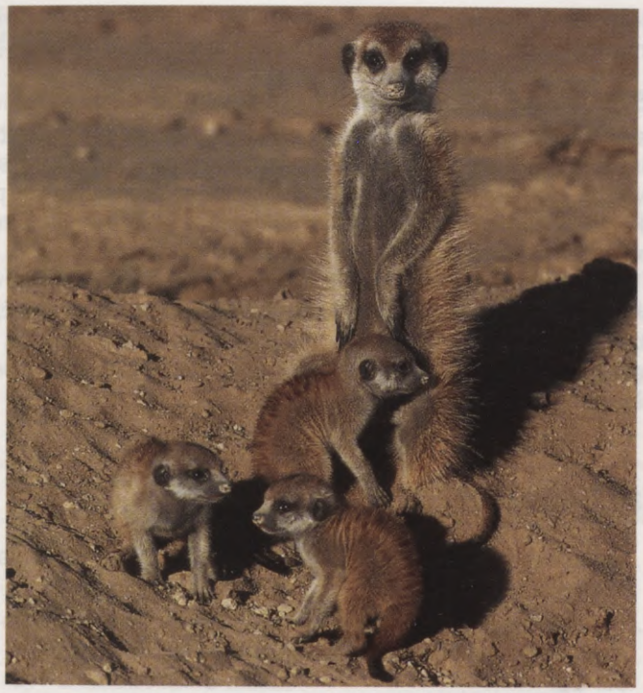
Altruisms (lat. *alter* – cits) ir nesavtīga gādība par citiem, kas samazina altruista vairošanās iespējas, bet palielina tās citam bara loceklim. Sabiedrisko kukaiņu grupās vairošanās ir saistīta tikai ar vienu dzīvnieku pāri – vienu mātīti un vienu tēviņu. Piemēram, skudru saimē ir viena mātīte – karaliene, kas tiek apaugļota tikai kāzu lidojuma laikā. Pārējo dzīves laiku viņa pavada, dējot olas. Skudru saimē parasti ir trīs dažāda lieluma sterilas mātītes – darba skudras. Mazākās darba skudras (3 mm) jeb aukles rūpējas par karalieni un kāpuriem, tos barojot un tīrot. Vidējā izmēra darba skudras, kas ir lielākā saimes daļa, dodas barības meklējumos. Pašas lielākās skudras ir sargi (14 mm) ar milzīgu galvu un spēcīgiem žokļiem. Viņas skraida apkārt pūznim un uzbrūk jebkuram nelūgtam viesim.

Vai altruistisko sterilo darba skudru uzvedību var izskaidrot no vairošanās sekmīguma viedokļa? 1964. gadā angļu biologs Viljams Hamiltons norādīja, ka gēns var tikt pārnests no vienas paaudzes uz nākamo divos pavisam atšķirīgos veidos. Pirmais veids ir tiešs – vecāku gēns tieši nonāk pēcnācējos. Otrais ir netiešs – dzīvnieks var palīdzēt vairoties saviem radiniekiem, pārnesot savus gēnus uz nākamo paaudzi ar radinieku palīdzību. Tātad dabiskā izlase var notikt tieši vai netieši. Tiešās izlases gadījumā videi labāk pielāgotie īpatņi atstāj vairāk pēcnācēju. Netiešās izlases gadījumā nākamajās paaudzēs saglabājas tie gēni, kuri sekmē indivīdu rūpes par radinieku vairošanos. Īpatņu **kopējā vairošanās efektivitāte** ir atkarīga gan no paša īpatņa, gan no radinieku sekmīgas vairošanās.

Sabiedriskajiem kukaiņiem – bitēm, lapsenēm un skudrām – māte ir diploīda, bet viņu apaugļojošais tēviņš – haploīds. Piemēram, ja bišu māti apaugļo tikai viens tēviņš, darba bites savā starpā ir tuvāk radniecīgas (viņām kopīgi ir aptuveni 75 % gēnu) nekā viņu pašu varbūtējie pēcnācēji (viņiem kopīgi būtu 50 % gēnu). Tāpēc darba bites var sasniegt lielāko kopējo vairošanās efektivitāti, palīdzot vairoties mātei, nevis vairojoties pašas. Šie apsvērumi liecina, ka altruistiskai uzvedībai ir lielas iespējas attīstīties.

Netiešā izlase var norisēt arī starp dzīvniekiem, kuru pēcnācējiem katrs no vecākiem nodod apmēram pusi no saviem gēniem. Jūsu brālim vai māsai ir apmēram 50 % ar jums vienādu gēnu, jūsu brāļa vai māsas bērniem savukārt ir apmēram 25 % ar jums vienādu gēnu un tā tālāk. Tas nozīmē, ka divu brāļa (vai māsas) bērnu izdzīvošana no kopējās vairošanās efektivitātes viedokļa ir tikpat vērta kā viena jūsu bērna izdzīvošana.

Āfrikā pētot šimpanzes, M. Giljeri novēroja, ka mātīte pārošanās laikā bieži pārojās ar vairākiem viena bara tēviņiem un viņi nemēģināja traucēt cits cita pārošanos. Kā tas var būt saistīts ar katra īpatņa individuālajām interesēm? Šķietamajam altruismam pamatā ir tēviņu radniecīgums. Viņiem visiem ir kopīgi gēni, jo tēviņi nekad neatstāj teritoriju, kur ir dzimuši.



5.12. attēls. Kopējā vairošanās efektivitāte
Mātes prombūtnē surikatu vecākie brāļi un māsas rūpējas par jaunākajiem. Vai šī altruistiskā uzvedība palielina kopējo vairošanās efektivitāti?

Ligzdošanas palīgi

Dažu sugu putniem pieaugušie mazuļi paliek ligzdā un palīdz vecākiem izaudzēt nākamo perējumu. Pētot Floridas krūmsīļus, tika novērots, ka vecāku izaudzēto putnēnu skaits dubultojas, ja viņiem ir šādi palīgi. Ir novērots, ka arī zīdītāju pēcnācēji palīdz saviem vecākiem (5.12. att.). Piemēram, Āfrikā vientuļi dzīvojošie šakāļu pāri izaudzē vidēji 1,4 kucēnus. Tajā pašā laikā pāri, kuriem palīdz pieaugušie mazuļi, izaudzē vidēji 3,6 kucēnus.

Vai palīgu vairošanās veiksme pieaug līdz ar viņu acīmredzami altruistisko uzvedību? Tā varētu būt, ja viņu pašu iespēja vairoties būtu ierobežota. Deivids un Sandra Ligoni pētīja zaļā kāpelētājputna *(Phoeniculus purpurens)* – Āfrikā mītoša kukaiņēdāja – vairošanos un uzvedību. Pētāmajā putnu barā varēja būt apmēram 16 īpatņu, bet no viņiem tikai viens ligzdojošs pāris. Pārējie dzimumbriedumu sasniegušie putni palīdzēja aizsargāt un barot mazuļus, kā arī sargāt teritoriju no citiem savas sugas īpatņiem. Deivids un Sandra Ligoni noskaidroja, ka šiem putniem ir maz piemērotu ligzdošanas vietu, jo viņi ligzdo akāciju dobumos, kurus bieži aizņem citu sugu putni. Pat tad, ja pāris atrod piemērotu dobumu, to apdraud dažādi ienaidnieki, piemēram, čūskas, tāpēc kāpelētājputniem jāspēj pašiem aizsargāt savus pēcnācējus. Tādējādi labi saprotams, cik liela nozīme ir savas teritorijas izveidošanai.

Bet kāds gan labums ir atpalikt attīstībā, lai palīdzētu? Pirmkārt, palīgs dod ieguldījumu savas dzimtas izdzīvošanā (tas gan ir mazāks labums, kādu viņš varētu sniegt kā sugas turpinātājs). Otrkārt, palīgiem ir daudz lielākas iespējas mantot vecāku teritoriju kopā ar palīgiem. Tā palīdzot, uz īsu brīdi tiek upurēta iespēja radīt pēcnācējus, lai palielinātu vairošanās potenciālu nākotnē. Tas uzskatāmi parāda, ka šāda altruistiska uzvedība ir pielāgošanās.

Kopējo vairošanās efektivitāti raksturo gēni, kuri nosaka indivīda ieguldījumu nākamajās paaudzēs gan tiešā veidā caur pēcnācējiem, gan netiešā – caur radiniekiem. Daudzi no altruistiskiem uzvedības veidiem ir pielāgošanās, lai dzimta sekmīgi izdzīvotu nākotnē.

Pārskats

Putni būvē ligzdas, suņi grauž kaulus, kaķi dzenas pakaļ objektiem, kas ātri kustas, bet čūskas mīl gozēties saulē. Visiem dzīvniekiem, arī cilvēkam, raksturīga noteikta uzvedība – atbildes reakcija gan uz nedzīvās, gan dzīvās vides stimuliem. Uzvedības pētnieki jeb etologi meklē atbildes uz diviem pamatjautājumiem. Kāds ir uzvedības neirofizioloģiskais mehānisms, un kādu labumu uzvedība dod organismam? Aplūkojot šos jautājumus no evolūcijas viedokļa, zinātnieki izvirza hipotēzes, kuras pārbaudot ir iespējams labāk saprast, kā uzvedība palielina individuālo vairošanās efektivitāti (t. i., spēju radīt izdzīvot spējīgus pēcnācējus).

Risinot jautājumus, kas saistīti gan ar neirofizioloģiju, gan ar bioloģisko pielāgotību, jākonstatē, ka uzvedībai ir ģenētisks pamats. Piemēram, iedzimtība nosaka, ka vanagi medījot izmanto redzi, nevis ožu un ka kaķi, nevis suņi rāpjas kokos.

Dabiskās izlases ceļā nostiprinās un tiek pārmantotas uzvedības īpatnības, kas palielina izdzīvošanas iespējas. Piemēram, šāds pielāgojums ir paviānu tēviņa spēja agresīvi reaģēt, ja baram draud briesmas.

Uzvedības pētījumi tomēr neizskaidro visus ar uzvedību saistītos jautājumus, jo mēs tagad zinām, ka uzvedība var mainīties pieredzes rezultātā. Dziedātājputniem ir iedzimta spēja dziedāt, bet dziesmu vai dialektu, kādā to dziedāt, nosaka tās skaņas un dziesmas, kuras dzirdētas no vecākiem, brāļiem un māsām. Jauna šimpanzes mātīte, protams, rūpējas par mazuli, bet viņa būs daudz labāka māte, ja varēs novērot, kā citas bara mātītes audzina jaunos.

Tomēr noteiktai uzvedībai dažreiz, šķiet, ir zināmi trūkumi. Piemēram, kādēļ paviānu bara īpatņi pakļaujas barvedim vai briežu mātītes iekļaujas "harēmā", acīmredzami samazinot savu vairošanās potenciālu? Un kādēļ vecākie pēcnācēji palīdz jaunākajiem? Raugoties no evolūcijas viedokļa, varam secināt, ka galarezultātā priekšrocību ir vairāk nekā šķietamo trūkumu. Pretējā gadījumā šādas uzvedības formas nevarētu pastāvēt. Uzvedības pētīšanas evolucionārā pieeja ir izmantojama arī, lai labāk saprastu, kādēļ putni melodiski dzied, delfīni uzturas baros un paradīzes putnu tēviņiem ir tik krāšņas spalvas.

Kopsavilkums

5.1. Uzvedība ir saistīta ar iedzimtību

Etologi pēta dzīvnieku uzvedības fizioloģiskos pamatus un to, kā attiecīga uzvedība palīdz viņiem izdzīvot un vairoties. Pētījumi ar melngalvas ķauķiem apstiprināja hipotēzi, ka uzvedība vismaz daļēji iedzimst. Pētījumi ar čūskām parādīja, ka uzvedību kontrolē nervu sistēma, savukārt eksperimenti ar jūras kailžaunglieme̦žiem pierādīja, ka arī endokrīnā sistēma kontrolē uzvedību.

5.2. Uzvedības pārmaiņas dzīves laikā

Vide atstāj ietekmi uz uzvedības attīstību, kā redzams piemērā par smējējkaijas mazuļiem (vecāku knābja satveršanas precizitāte un vecāku pazīšana). Mūsdienu pētījumi liek domāt, ka uzvedība attīstās pieredzes un mācīšanās rezultātā. Pat iedzimstošie fiksētie uzvedības modeļi dzīves laikā var mainīties.

Putnu dziesmu apguvē īpaša nozīme ir uztveršanas periodā dzirdētajam. Izmaiņas dziesmu repertuārā var ieviest arī turpmākā sociālās vides ietekme.

5.3. Uzvedības evolūcija

Sagaidāms, ka uzvedības īpašības, kas nodrošina sekmīgu vairošanos, saglabāsies nākamajās paaudzēs. Tēviņi, kuri dzīves laikā producē daudz spermas, konkurē par iespējām apaugļot mātīti. Savukārt mātītes, kurām dzīves laikā ir neliels olšūnu skaits, savu partneri izvēlas pašas. Eksperimenti ar lapeņputniem un paradīzes putniem apstiprina šos dzimumizlases pamatprincipus.

Arī citi vairošanās uzvedības pamatprincipi ir pielāgošanās. Radžas paradīzes putnu tēviņi riesta laikā pulcējas baros, domājams, tāpēc, ka mātītes barības meklējumos ir izklīdušas plašā teritorijā, jo pārtiek no ļoti barojošiem augļiem. Tieši tāpēc mātīte viena var pabarot mazuļus. Savukārt radniecīga suga – manukodija *(Manucodia keraudrenit)* veido monogāmus pārus, jo mazuļus sekmīgi spēj pabarot tikai abi vecāki kopā.

Fiksētās uzvedības modeļus var izmantot, raksturojot tēviņu cīņu par augstāku hierarhijas vietu barā, piemēram, paviāniem, vai teritorialitāti, piemēram, staltbriežiem.

5.4. Dzīvnieki ir sabiedriski

Dzīvnieki, kas veido sociālās grupas, spēj savstarpēji sazināties. Dažādi sazināšanās veidi (ķīmiskā, sazināšanās ar skaņu, vizuālā un taktilā) veicina sadarbību, kuras rezultātā iegūst gan informācijas nosūtītājs, gan saņēmējs.

Dzīvei sociālā grupā, ir gan priekšrocības, gan negatīvas iezīmes. Tomēr, ja šāda sabiedriska uzvedība pastāv, skaidrs, ka priekšrocību (palīdzība aizsardzībā no plēsējiem, mazuļu audzināšanā un barības ieguvē) ir vairāk nekā trūkumu (saspīlētas attiecības starp grupas locekļiem, slimību un parazītu izplatīšanās un vairošanās potenciāla samazināšanās). Dažkārt šos apgalvojumus var arī pārbaudīt.

5.5. Sociālbioloģija un dzīvnieku uzvedība

Atsevišķi sabiedriskās grupas indivīdi dažādi cenšas uzlabot vairošanās sekmes. Dažkārt dzīvniekiem ir acīmredzami altruistiska uzvedība, piemēram, pieaugušie mazuļi palīdz vecākiem rūpēties par nākamo paaudzi. Šāda uzvedība paaugstina kopējo vairošanās efektivitāti un apvieno gan tiešo, gan netiešo izlasi.

Sabiedriskajiem kukaiņiem altruisms ir sevišķi izteikts. Tas var izskaidrot to, ka šādā veidā radītajiem pēcnācējiem palielinās iespējas izdzīvot. Pētījumi par Āfrikas zaļajiem kāpelētājputniem parādīja, ka vecākie pēcnācēji var palīdzēt jaunākajiem līdz brīdim, kad viņiem pašiem rodas iespēja vairoties.

Pārbaudiet sevi

1. Nosauciet divus pamatjautājumus, kurus pēta etologi, un izskaidrojiet atšķirību! 86. lpp.
2. Raksturojiet A. Helbiga eksperimentu ar melngalvas ķauķiem un izskaidrojiet, kā tas parāda uzvedības ģenētisko pamatu! 86. lpp.
3. S. Arnolds eksperimentā ar čūskām un kailžaunglieme̦žiem noskaidroja, kuras organisma sistēmas regulē uzvedību. Raksturojiet eksperimentu un izskaidrojiet iegūtos rezultātus! 86.–87. lpp.
4. Jūras kailžaunglieme̦žu olu dēšanas hormona pētījumi parādīja, ka arī endokrīnā sistēma piedalās uzvedības regulācijā. Izskaidrojiet to sīkāk! 87. lpp.
5. Dažiem uzvedības veidiem, lai pilnībā attīstītos, ir nepieciešama dzīves laikā iegūtā pieredze. Kā šo apgalvojumu apstiprina Dž. Heilmena eksperiments ar smējējkaijas mazuļiem? 88. lpp.
6. Var apgalvot, ka sociālais kontakts ir nozīmīgs mācīšanās elements. Paskaidrojiet to ar piemēriem par iegaumēšanas procesu meža pīlēm un dziesmu mācīšanos zvirbuļstērstēm! 89. lpp.
7. Kā uzvedību ietekmē dabiskā izlase? 90. lpp.
8. Kā Dž. Bordžija pētījumi par satīna lapeņputnu uzvedību un T. Kletona-Broka pētījumi par staltbriežiem apstiprina uzskatu, ka vairošanās uzvedība saistīta ar tēviņu konkurenci un mātīšu izvēli? 90.–92. lpp.
9. Nosauciet dažādus sazināšanās veidus starp sociālās grupas īpatņiem! 94.–95. lpp.
10. Kas ir fiksētie uzvedības modeļi? Kā tie ietekmē dzīvi sociālajā grupā? Nosauciet piemērus! 96. lpp.
11. Nosauciet uzvedības piemērus, kas acīmredzami ir altruistiski, bet patiesībā paaugstina indivīda pielāgotību! 96.–97. lpp.

Tests

Izvēlieties vienu pareizo atbildi uz katru jautājumu!

1. Kurš no šiem jautājumiem varētu interesēt etologus?
   A. Kā gēni kontrolē nervu sistēmas attīstību?
   B. Kādēļ daudziem tundras dzīvniekiem ir balts apmatojums?
   C. Vai agresivitāte ir iedzimta?
   D. Kāpēc dažu sugu dzīvnieki barojas baros, bet citi – atsevišķi?
2. Vērmeļu rubeņu mātītes prērijā dzīvo izklaidus. Kurš apgalvojums ir pareizs?
   A. Tēviņi ieņem tik lielu teritoriju, kas ietver vismaz vienu mātīti
   B. Mātīte un tēviņš ir monogāmi, un abi audzina mazuļus
   C. Tēviņi pulcējas uz riestu, kur mātītes izvēlēsies partneri
   D. Lai sadalītu resursus, tēviņi izveido hierarhiju
3. Divu dažādu apgabalu zvirbuļstērstēm ir atšķirīgi dziesmu dialekti. Ko dara jaunie putni, ja uzvedība ir iedzimta?
   A. Dzied savā dialektā
   B. Dialektu iemācās no citiem putniem
   C. Dzied tikai tad, ja tuvumā ir māte
   D. Pareiza ir A un B atbilde
4. Orangutani ir teritoriāli vientuļnieki. No kā orangutani aizsargā savas teritorijas robežas?
   A. No citiem orangutanu tēviņiem
   B. No orangutanu mātītēm
   C. No visiem citiem dzīvniekiem
   D. Pareiza ir A un B atbilde
5. Paradīzes putniem ir krāšņas spalvas. Kādas priekšrocības ir krāšņāka izskata putniem?
   A. Dominē pār citiem putniem
   B. Ir ieguvuši vislabākās teritorijas
   C. Mātītes ir izvēlējušās par partneriem
   D. Visas atbildes ir pareizas
6. Hierarhijā zemākā ranga mātītes nerada tik daudz pēcnācēju kā dominējošās mātītes. Kāpēc tā notiek?
   A. Tāpēc, ka dzīve barā ir pārāk grūta
   B. Tāpēc, ka dominējošie tēviņi nepārojas ar hierarhijā zemākajām mātītēm
   C. Tāpēc, ka, uzturoties barā, zemākā ranga mātītes gūst cita veida priekšrocības
   D. Pareiza ir A un B atbilde
7. Vācijas melngalvas ķauķi migrē uz Āfriku dienvidrietumu virzienā, bet Austrijas melngalvas ķauķi uz Āfriku lido dienvidaustrumu virzienā. Kāpēc šo populāciju hibrīdi izvēlas vidusceļu?
   A. Izvēli regulē nervu sistēma
   B. Ligzdošanu regulē hormoni
   C. Uzvedība vismaz daļēji ir iedzimta
   D. Pareiza ir A un C atbilde
8. Sākumā smējējkaiju mazuļi knābj visos attēlos, kuros redzams sarkans knābis. Kāpēc vēlāk viņi izvēlas tikai tos attēlus, kas atgādina vecākus?
   A. Tāpēc, ka ir fiksēts darbības modelis
   B. Tāpēc, ka pēc piedzimšanas turpinās attīstība
   C. Tāpēc, ka to kontrolē nervu sistēma
   D. Visas atbildes ir pareizas
9. Kāpēc tēviņi savstarpēji cīnās?
   A. Viņiem ir piemērots augums un īpaši pielāgojumi
   B. Viņiem ir daudz spermas, kuras pietiek ilgam laikam
   C. Viņu sēklinieki ražo hormonu testosteronu
   D. Pareiza ir A un C atbilde
10. Kāpēc mātītes nesacenšas, bet izvēlas partneri?
    A. Viņām nav piemērots augums un īpaši pielāgojumi
    B. Daudz spēka viņas patērē, izaudzējot pēcnācējus
    C. Viņu olnīcas ražo hormonus estrogēnu un progesteronu
    D. Visas atbildes ir pareizas

Papildjautājumi

1. *Uzvedība balstās uz iedzimtību, kā arī uz dzīves laikā iegūto pieredzi (mācoties).*
   Izskaidrojiet šo apgalvojumu, par piemēru izmantojot cilvēku!
2. *Uzvedība paaugstina individuālo pielāgotību.*
   Kāpēc uzskata, ka barošanās uzvedība, teritorialitāte un vairošanās uzvedība paaugstina individuālo pielāgotību?
3. *Indivīdi veido sabiedriskas grupas, ja katra indivīda ieguvums no tā ir lielāks par zaudējumiem.*
   Pastāstiet, kā acīmredzami altruistiska uzvedība var paaugstināt indivīda izdzīvošanas iespējas!

Multimediju izmantošana

Tēmu par dzīvnieku uzvedību jums palīdzēs apgūt šādi multimediji.

Interneta izmantošana

Šo nodaļu jums palīdzēs apgūt Maderas mājas lapa

http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader
(izvēlieties bioloģiju)

Jēdzienu izpratne

Altruisms 96. lpp.
Hierarhija 91. lpp.
Dzimumizlase 90. lpp.
Feromons 94. lpp.
Iegaumēšana 89. lpp.
Kopējā vairošanās efektivitāte 96. lpp.
Mācīšanās 88. lpp.
Sabiedrība 94. lpp.
Sazināšanās 94. lpp.
Sociālbioloģija 96. lpp.
Teritorialitāte 92. lpp.
Uzvedība 86. lpp.
Uzvedības stimulēšana 88. lpp.

Atrodiet definīcijām atbilstošos jēdzienus!

A. _____ – izmaiņas mātīšu un tēviņu uzvedībā, kas nosaka tēviņu konkurenci un mātīšu izvēli, nodrošinot vairošanās sekmes.

B. _____ – ķīmiskie signāli, kas tiek nodoti citiem tās pašas sugas dzīvniekiem.

C. _____ – pielāgošanās, kas ir tiešās un netiešās izlases rezultāts.

D. _____ – apmācības veids, kas noris neilgi pēc piedzimšanas un vēlāk ietekmē seksuālo uzvedību.

E. _____ – uzvedība, kas saistīta ar teritorijas ieņemšanu un aizsardzību.

F. _____ – labi pamanāmas saskaņotas atbildes reakcijas uz vides kairinājumu.

G. _____ – ilglaicīgas uzvedības pārmaiņas, kas saistītas ar pieredzi.

H. _____ – ziņas nosūtītāja darbība, kas atstāj ietekmi uz ziņas saņēmēja uzvedību.

I. _____ – uzvedība, kas potenciāli samazina indivīda vairošanās iespējas, bet palielina tās citam bara loceklim.

J. _____ – sociāls iedalījums pēc ranga barā, kur augstāk stāvošiem bara locekļiem ir pieejami vairāk resursu nekā zemāk stāvošajiem.

Populāciju ekoloģija

6. NODAĻA

Nodaļas saturs

6.1. Ekoloģisko pētījumu virzieni

- Ekoloģija ir mācība par organismu savstarpējām attiecībām, kā arī par to mijiedarbību ar vidi. 102. lpp.
- Organismu un biotiskās un abiotiskās vides mijiedarbība ietekmē to izplatību un daudzumu. 103. lpp.

6.2. Populāciju raksturojošās pazīmes

- Populācijas lielums ir atkarīgs no dzimstības, mirstības, imigrācijas un emigrācijas. 104. lpp.
- Populāciju augšanas modeļi prognozē populācijas lieluma pārmaiņas laikā atkarībā no noteiktiem vides faktoriem. 104. lpp.
- Mirstību populācijā var ierakstīt izdzīvotības tabulā un raksturot ar izdzīvotības līkni. 108. lpp.
- Populācijas var raksturot ar vecumstruktūras diagrammu, kurā izdala prereproduktīvās, reproduktīvās un postreproduktīvās vecuma grupas. 109. lpp.

6.3. Populācijas lieluma regulācija

- Faktori, kas ietekmē populācijas lielumu, tiek iedalīti no blīvuma neatkarīgos un no blīvuma atkarīgos faktoros. 110. lpp.

6.4. Populācijas attīstības modeļi

- Populāciju attīstību nosaka dažādi modeļi, kas var būt saistīti ar vienreizēju vairošanos indivīda dzīves ciklā un strauju populācijas augšanu vai atkārtotu indivīda vairošanos un stabilu populācijas lielumu. 114. lpp.

6.5. Cilvēku populācijas augšana

- Cilvēku populācija pašreiz aug eksponenciāli, un nav zināms, cik ilgi tas turpināsies. 117. lpp.



Āfrikas ziloņu *(Loxodonta africana)* mātīšu bars ar mazuļiem

Ziloņi ir lieli, ilgi dzīvojoši sabiedriski dzīvnieki, kuriem ir maz pēcnācēju. Radniecīgās mātītes dzīvo vienā barā. Par mātītēm daudz lielākie tēviņi barus apmeklē tikai vairošanās periodā. Apmēram reizi piecos gados mātītei piedzimst viens mazulis. Mātīte par viņu ļoti rūpējas, tāpēc mazulim ir labas izredzes izdzīvot. Parasti ziloņu populācija apdzīvo noteiktu teritoriju.

Populāciju ekoloģijas pētnieki noskaidro organismu izplatību un to aptuveno skaitu. Izmantojot matemātiskās metodes, ir mēģināts izskaidrot cēloņus, kas izraisa populācijas augšanu vai iznīkšanu. Ziloņu populācija ir apdraudēta, jo strauji palielinās cilvēku skaits, kā arī cilvēki jau gadsimtiem ilgi nežēlīgi ir medījuši ziloņus, īpaši tēviņus. Tēviņi pat nepaspēj sasniegt vairošanās vecumu, jo tieši pirms tam viņi kļūst par iekārojamu medību objektu. Mūsdienās ziloņu tēviņu medības ir aizliegtas ar likumu, tomēr tas nedod pietiekamu efektu. Atsevišķi ziloņu tēviņi dažkārt dzīvo savrup no pārējiem, tāpēc prognozējams, ka pēc zināma laika ziloņi var izmirt pilnībā.

6.1. Ekoloģisko pētījumu virzieni

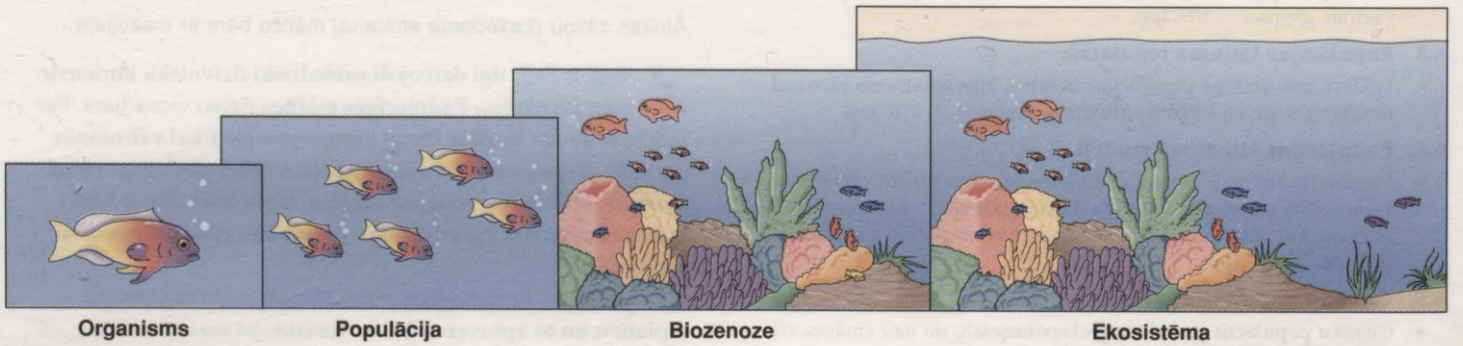
Terminu "ekoloģija" (gr. *oikos* – māja, paslēptuve un *logos* – mācība, zinātne) 1866. gadā ieviesa vācu zoologs Ernsts Hekels. Viņa izpratnē **ekoloģija** ir zinātne par dzīvo organismu savstarpējām attiecībām un attiecībām ar vidi. E. Hekels norādīja, ka ekoloģija un evolūcija ir cieši saistītas, jo ekoloģiskās attiecības ietekmē dabisko izlasi, kas atspoguļojas evolucionārās pārmaiņās. Savukārt šīs pārmaiņas ietekmē ekoloģiskās attiecības utt.

Tāpat kā daudzas bioloģijas nozares, arī ekoloģija ir ļoti plaša zinātne. Vienā no tās zemākajiem līmeņiem ekologi pēta organisma pielāgotību videi. Piemēram, viņi cenšas noskaidrot, kāpēc koraļļu rifos sastopamās zivis dzīvo tikai siltos tropiskajos ūdeņos un no kā zivis šajā **biotopā** (6.1. att.) pārtiek. Biotops ir vide, kur mīt dzīvie organismi. Vairums dzīvo organismu nedzīvo pa vienam – viņi ir daļa no populācijas, kura ir savstarpējā mijiedarbībā ar vidi. **Populācija** ir vienas sugas dzīvo organismu kopa, kas ilgstoši apdzīvo noteiktu teritoriju. Šajā pētījumu līmenī ekologi noskaidro faktorus, kas ietekmē populācijas lielumu.

Biocenozi veido dažādu sugu organismu populāciju kopa, kas apdzīvo noteiktu teritoriju. Piemēram, koraļļu rifos ir ļoti daudz zivju, vēžu, koraļļu un citu dzīvo organismu populāciju. Pētot biocenozi, ekologi cenšas uzzināt, kā dzīvo organismu mijiedarbība, piemēram, plēsonība un konkurence, ietekmē biocenozes struktūru. **Ekosistēmu** veido biocenoze un abiotiskā vide. Nozīmīgi ekosistēmas un tās funkciju raksturojoši rādītāji ir enerģijas plūsma un ķīmiskie cikli. Savukārt **biosfēra** sevī ietver visu zemeslodes virsējo slāni, kur mīt dzīvie organismi.

Mūsdienu ekoloģiskiem pētījumiem ir ne tikai aprakstošs, bet arī prognozējošs raksturs. Tiek analizēti organizācijas līmeņi, izvirzītas hipotēzes un attīstīti modeļi, kurus var pārbaudīt. Mūsdienu ekoloģijas galvenais mērķis ir izveidot modeļus, kas izskaidrotu un paredzētu organismu izplatības un daudzveidības pārmaiņas ne tikai noteiktās teritorijās, bet arī visā biosfērā. Piemēram, kādi faktori nosaka augu un dzīvnieku daudzveidību lietusmežā un kādi – tuksnesī? Mūsdienu ekoloģiskie pētījumi ir ļoti nozīmīgi, jo tie palīdz risināt daudzas globālas problēmas, piemēram, kā pasargāt sugas no izmiršanas, kā saglabāt planētas pārtikas resursus vai prognozēt AIDS izplatības gaitu.

Ekoloģija ir mācība par organismu un vides attiecībām. Šī savstarpējā mijiedarbība nosaka dzīvo organismu daudzveidību un izplatību gan noteiktā teritorijā, gan uz visas planētas.





6.1. attēls. Ekoloģisko pētījumu līmeņi
Ekoloģiskajiem pētījumiem ir dažādi izpētes līmeņi – no atsevišķa organisma līdz populācijai, biocenozei un ekosistēmai.

Populācijas blīvums un teritoriālā struktūra

Populācijas blīvums ir tās indivīdu skaits laukuma vai tilpuma vienībā. Savukārt **teritoriālā struktūra** nosaka atsevišķu īpatņu un to grupu izvietojumu populācijas areālā. Tikai dažām populācijām raksturīgs vienmērīgs īpatņu izvietojums (6.2. att. A). Daļai populāciju ir nejaušs īpatņu izvietojums (6.2. att. B), bet vairumam – grupveida sadalījums (6.2. att. C).

Kā piemēru saistībai starp blīvumu un izvietojumu var minēt valsts iedzīvotāju blīvumu. To viegli var izrēķināt, bet ir labi zināms, ka lielākā daļa cilvēku dzīvo pilsētās, kur iedzīvotāju blīvums ir krietni lielāks nekā valstī vidēji. Pat dažādās pilsētas daļās cilvēku skaits ir atšķirīgs, un šī blīvuma dinamika laika gaitā var mainīties. Tāpēc ekoloģisko modeļu veidošana, balstoties tikai uz populācijas blīvumu, kā senāk bieži tika darīts, var būt maldinoša.

Mūsdienās ekologi cenšas noskaidrot, kas izraisa organismu nevienmērīgu izvietojumu telpā un laikā. 114. lappusē aprakstītais piemērs par gliemenes mercenārijas izplatības pētījumiem Atlantijas okeāna piekrastē pie Longailendas (Ņujorka) parādīja, ka mercenāriju blīvums ir saistīts ar bojā gājušo austeru čaulu daudzumu nogulsnēs. Šā pētījuma rezultāti liecina, ka var palielināt mercenāriju skaitu vietās, kur tas ir neliels.

Iepriekšminētajā piemērā organismu izplatība ir atkarīga no abiotiskiem (nedzīvās dabas) faktoriem. Atsevišķa organisma dzīvesvietu var noteikt dažādi fizikālie faktori, piemēram, nokrišņi, temperatūra (turklāt ne tikai vidējā temperatūra, bet arī temperatūras sezonālās svārstības), kā arī augsnes tips. Faktori, kas limitē organismu izplatību, ir mitrums, temperatūra un noteikta barība. **Limitējošo faktoru** esamība vai trūkums nosaka, vai organismi var dzīvot konkrētajā teritorijā. Foreles dzīvo tikai ledainās, straujās upēs ar augstu skābekļa saturu, bet karpas un sami sastopami lēni tekošās upēs, jo var dzīvot siltā ūdenī ar zemu skābekļa saturu. Augstu kalnos ir robeža, aiz kuras vairs nevar augt koki. To augšanu ierobežo zema temperatūra un tas, ka gada lielāko daļu ūdens ir sasalis. Dzīvo organismu izplatība var būt atkarīga arī no biotiskajiem (dzīvās dabas) faktoriem. Austrālijā sarkanie ķenguri dzīvo tikai kontinenta vidienē, jo pārtiek tikai no tur augošās sausās zāles.

Ekoloģija ietver pētījumus par dzīvo organismu izplatību – kāpēc organismi eksistē noteiktā vietā un laikā.

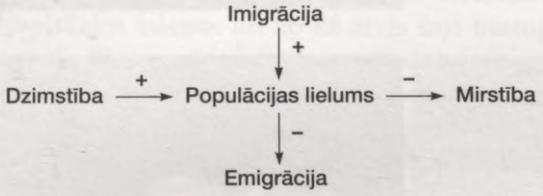


6.2. attēls. Populācijas teritoriālā struktūra
Populācijas indivīdi dzīvei piemērotā teritorijā var izvietoties vienmērīgi, nejauši vai grupās. **A.** Klinšu ērgļu ligzdas izvietotas vienmērīgi. **B.** Aļņi izvietojas nejauši. **C.** Ciedru priedes parasti aug grupās, jo to sēklas neizplatās tālu.

6.2. Populāciju raksturojošās pazīmes

Dažādos laika periodos populācijai ir noteikts lielums. **Populācijas lielums** ir tās kopējais īpatņu skaits. Saskaitīt visus populācijas indivīdus parasti nav iespējams, tāpēc to daudzumu novērtē aptuveni. Metodes, ar kurām novērtē populācijas lielumu, ir atkarīgas no pētāmās sugas un nepieciešamās rezultātu precizitātes.

Kādi faktori var ietekmēt populācijas lielumu? Populācijas lielums pieaug, ja dzimstība pārsniedz mirstību vai imigrācija pārsniedz emigrāciju.



Parasti pieņem, ka imigrācija un emigrācija ir apmēram vienādas. Tāpēc, lai noskaidrotu **populācijas pieauguma koeficientu *(r)***, jāņem vērā tikai dzimstība un mirstība. Tās tiek aprēķinātas uz vienu indivīdu. Piemēram, ja barā, kurā ir 100 ziloņu, gadā piedzimst 5, bet nomirst 2 ziloņi, dzimstības koeficients ir 5/100 = 0,05, bet mirstības koeficients – 2/100 = = 0,02. Aprēķinot koeficientu starpību, iegūst, ka populācijas pieauguma koeficients r = 0,03. Populācijas pieauguma koeficients ļauj aprēķināt populācijas pieaugumu un lielumu noteiktā laika periodā, piemēram, gada laikā.

Populācijas augšanas tipi

Ir divi populācijas augšanas tipi. Pirmajā gadījumā populācijas indivīdi dzīves laikā vairojas tikai vienreiz. Tuvojoties vairošanās laikam, pieaugušais organisms pārstāj augt, visas enerģijas rezerves patērē vairošanās procesā, pēc tam iet bojā. Šādi vairojas daudzi kukaiņi un viengadīgie augi. Šie organismi rada pēcnācējus vai sēklas, kas var izdzīvot nelabvēlīgos apstākļos, bet, iestājoties piemērotiem klimatiskajiem apstākļiem, sāk augt. Otra populācijas augšanas tipa gadījumā indivīdi dzīves laikā vairojas vairākkārt. Visu dzīves laiku viņi turpina patērēt enerģiju, lai palielinātu izdzīvošanas un atkārtotas vairošanās izredzes. Šāds augšanas veids raksturīgs vairumam mugurkaulnieku, kokiem un krūmiem.

Ekologi ir izstrādājuši populācijas augšanas matemātiskos modeļus, kas balstīti uz šiem ļoti atšķirīgajiem augšanas tipiem. Tomēr ne vienmēr organismu vairošanās precīzi atbilst šiem diviem tipiem (6.3. att.). Lai arī matemātiskie modeļi vienkāršoti apraksta dabiskos notikumus, tomēr tie ļauj izdarīt prognozes, kuras vēlāk var pārbaudīt. Prognožu pārbaude ļauj izvirzīt jaunas, pārbaudāmas hipotēzes.

Ekologi ir izveidojuši matemātiskos modeļus, kas apraksta populācijas dinamiku. Šie modeļi ir atšķirīgi, jo balstās uz divām atšķirīgām vairošanās stratēģijām.





6.3. attēls. Vairošanās veidi
Populācijas indivīdi dzīves laikā vai nu vairojas vienreiz, vai arī vairojas atkārtoti. Tomēr dažkārt tas nav tik vienkārši. **A.** Vasarā laputis vairākas reizes vairojas bezdzimumiski, bet pirms ziemas iestāšanās vienu reizi vairojas arī dzimumiski. Tātad laputīm raksturīgi abi populācijas augšanas veidi. **B.** Viengadīgo augu sēklas var uzdīgt vairākus gadus vēlāk. Tāpēc populācijas lielums var mainīties atkarībā no vides apstākļiem.

Eksponenciālā augšana

Aplūkosim kukaiņu populāciju. Mātītes vairojas vienreiz gadā un pēc tam iet bojā. No vienas mātītes izdētajām olām vidēji 2,4 olas pārcieš ziemu, un no tām izšķiļas pēcnācēji. Tātad populācijas pieauguma koeficients *r* vienā paaudzē ir 2,4.

6.4. attēlā A redzams, kā mainīsies populācijas lielums desmit gadu laikā. Tā kā visi iepriekšējās paaudzes indivīdi pēc vairošanās iet bojā, populācijas lielums ir vienāds ar pieaugumu. 6.4. attēlā B redzama šīs populācijas augšanas līkne. Šo J veida līkni var aprakstīt ar eksponenciālu vienādojumu. **Eksponenciālajai augšanai** raksturīgs tas, ka ikvienas paaudzes indivīdu skaita palielināšanās ir atkarīga no iepriekšējās paaudzes mātīšu daudzuma.

Līknei ir lag fāze un eksponenciālās augšanas fāze. Lag fāzes laikā augšana ir lēna, jo populācija ir maza. Eksponenciālās augšanas fāzē populācija pieaug ļoti strauji.

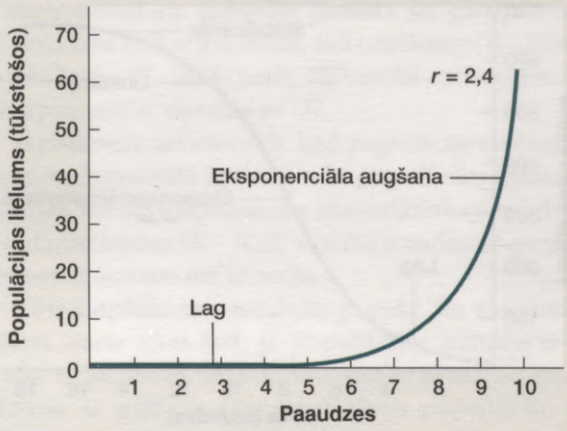
6.4. attēlā C dots vienādojums, kas ļauj aprēķināt pieaugumu un lielumu ikvienai populācijai, kuras paaudzes laikā nepārklājas, citiem vārdiem sakot –, ja visi iepriekšējās paaudzes īpatņi nomirst pirms jaunās paaudzes parādīšanās. Lai ar šā vienādojuma palīdzību aprēķinātu populācijas lielumu nākotnē, jāzina vienas paaudzes populācijas pieauguma koeficients *r*, ko nosaka pēc iepriekšējo gadu populācijas pieauguma pārmaiņām.

Eksponenciālās augšanas laikā populācijas pieauguma ātrums atbilst tās biotiskajam potenciālam. **Biotiskais** (gr. *bios* – dzīvība) jeb **reproduktīvais potenciāls** ir maksimāli iespējamais populācijas pieauguma ātrums, ideālos apstākļos. Ideāli apstākļi ikvienam populācijas indivīdam ir pietiekama dzīves telpa, nelimitēti resursi un dažādu nelabvēlīgu faktoru, piemēram, plēsēju un parazītu, trūkums. Resursi ir barība, ūdens un dzīvei piemērota vide. Tātad, lai notiktu eksponenciāla, nelimitēta augšana, nedrīkst būt nekādu augšanas ierobežojumu. Dabiskos apstākļos eksponenciālā augšana nevar turpināties ilgu laiku, jo pastāv vides pretestība. **Vides pretestība** ir visi tie vides faktori, piemēram, ierobežots barības daudzums, kaitīgo vielmaiņas galaproduktu uzkrāšanās vidē, konkurences palielināšanās starp populācijas indivīdiem vai plēsonība, kuri neļauj populācijai sasniegt biotisko potenciālu.

Eksponenciālo augšanu raksturo eksponenciāla līkne. Eksponenciālās augšanas laikā populācijas lielums aug ārkārtīgi strauji.

Paaudze	Populācijas lielums
0	10
1	24
2	57,6
3	138,2
4	331,7
5	796,1
6	1910,6
7	4585,4
8	11 005,0
9	26 412,0
10	63 388,8

A



B

Lai aprēķinātu populācijas lieluma pārmaiņas gadu no gada, izmanto šādu formulu:

$$N_{t+1} = rN_t$$

N_t – mātīšu skaits

r – populācijas pieauguma koeficients

N_{t+1} – populācijas lielums nākamajā gadā

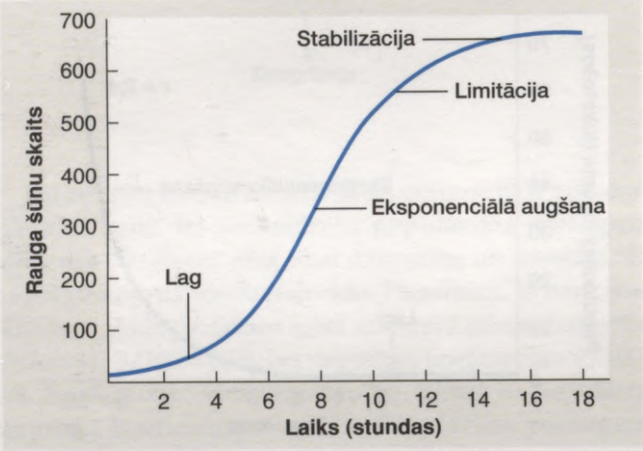
C

6.4. attēls. Eksponenciālas augšanas modelis
Datus par populācijas augšanu (**A**) atspoguļojot grafikā (**B**), iegūst eksponenciālās augšanas līkni. Vienādojums (**C**) dod tādus pašus rezultātus kā līkne.

Rauga šūnu kultūras augšana laboratorijā

Laiks *t* (stundas)	Indivīdu skaits (*N*)	Indivīdu skaita pieaugums divu stundu laikā $\left(\frac{\Delta N}{\Delta t}\right)$
0	9,6	0
2	29,0	19,4
4	71,1	42,1
6	174,6	103,5
8	350,7	176,1
10	513,3	162,6
12	594,4	81,1
14	640,8	46,4
16	655,9	15,1
18	661,8	5,9

A



B

Lai aprēķinātu populācijas pieaugumu noteiktā laika periodā, izmanto formulu:

$$\frac{dN}{dt} = r_{max} N \left(\frac{K - N}{K}\right)$$

N – populācijas lielums

dN/*dt* – populācijas lieluma pārmaiņas

r – populācijas pieauguma koeficients

K – vides ekoloģiskā kapacitāte

$\frac{(K - N)}{K}$ – vides ekoloģiskās kapacitātes neizmantotā daļa

C

6.5. attēls. Sigmoidālās augšanas modelis
Datus par populācijas augšanu (**A**) atspoguļojot grafikā (**B**), iegūst sigmoidālās augšanas līkni. Vienādojums (**C**) dod tādus pašus rezultātus kā līkne.

Sigmoidālā augšana

Kā mainās augšanas līkne, iedarbojoties vides pretestībai? 1930. gadā R. Pērls izstrādāja metodi, ar kuras palīdzību laboratorijas kultūrā ik pēc divām stundām varēja novērtēt rauga šūnu skaitu. Viņa iegūtie dati apkopoti 6.5. attēlā A un B. Šādu līkni sauc par sigmoīdu.

Sigmoidālajai jeb **loģistiskajai augšanai** ir šādas fāzes:

lag fāzes laikā augšana ir lēna, jo populācija ir maza;
eksponenciālās augšanas fāzes laikā populācija aug ļoti strauji;
limitācijas fāzes laikā augšana pakāpeniski palēninās;
stabilizācijas fāzē populācijas lieluma pārmaiņas ir nelielas, jo dzimstība un mirstība aptuveni līdzsvarojas.

6.5. attēlā C redzamā formula ļauj izskaitļot sigmoidālās augšanas gaitu. Pilnībā sigmoidālās augšanas formula izskatās šādi:

$$\frac{dN}{dt} = rN \frac{(K - N)}{K}$$

Tālāk aplūkosim katru šā vienādojuma daļu atsevišķi.

Tā kā populācijai raksturīga atkārtota vairošanās, mums augšana jāaplūko kā laika funkcija:

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = rN$$

Ja pārmaiņas laikā ir ļoti mazas, tad jāizmanto diferenciālvienādojums. Populācijas pieaugumu bezgalīgi īsā laika sprīdī atspoguļo vienādojums:

$$\frac{dN}{dt} = rN$$

Šī vienādojuma daļa attiecas uz pirmajām divām augšanas fāzēm – lag fāzi un eksponenciālās augšanas fāzi. Eksponenciālās augšanas fāzē populācijas augšana atbilst tās biotiskajam potenciālam. Kas notiktu, ja visu laiku eksponenciāli pieaugtu ikviena populācija? Tā, piemēram, ābelēm vienā gadā var būt ļoti daudz ābolu. Ja no katras sēklas izaugtu jauna ābele, tad drīz vien mums apkārt būtu tikai ābeles. Aplūkosim citu piemēru. Ir aprēķināts, ja sivēnmātei deviņu mēnešu vecumā ir pirmais metiens, metieni ir divas reizes gadā un katrā metienā ir vidēji četras mātītes (kas savukārt vairojas tikpat ātri), tad pēc trim gadiem no vienas sivēnmātes būs radušās 2220 cūkas (6.6. att.). Eksponenciālās augšanas rezultātā pat sugas ar ļoti zemu biotisko potenciālu drīz vien pārklātu visu zemeslodi. Kaut arī ziloņu mātītei grūsnība ilgst 22–24 mēnešus, Čārlzs Darvins aprēķināja, ka vienam ziloņu pārim pēc 750 gadiem būtu bijuši 19 miljoni pēcnācēju.





6.6. attēls. Biotiskais potenciāls
Lai kompensētu mirstību, daudzām populācijām dzimstība var būt ievērojami lielāka, nekā nepieciešams.

Kāpēc iepriekš aplūkoto pētījumu laikā augšanas līkne rauga sēņu populācijai izlīdzinās, bet kukaiņu populācijai ne? Rauga sēņu populācijai augot, traukā barības vielu daudzums samazinās, bet uzkrājas vielmaiņas galaprodukti. Tātad, populācijas augšanai sasniedzot biotisko potenciālu, augšanu sāk bremzēt vides pretestība. Vides pretestību rada visi tie faktori, kas palēnina populācijas augšanu, piemēram, ierobežots resursu daudzums un vielmaiņas galaproduktu uzkrāšanās. Vides pretestība atspoguļojas sigmoidālās augšanas limitācijas un stabilizācijas fāzēs (6.5. att.). Populācija ir sasniegusi vides ekoloģisko kapacitāti.

Vides ekoloģiskā kapacitāte

Vides ekoloģiskā kapacitāte ir maksimālais konkrētās sugas īpatņu skaits, kas var izdzīvot konkrētajā vidē. Jo vairāk populācijas lielums tuvojas vides ekoloģiskajai kapacitātei, jo lielāka ir vides pretestība – resursu kļūst mazāk, dzimstība samazinās, bet mirstība palielinās. Tā rezultātā populācijas augšanas ātrums pakāpeniski palēninās, līdz apstājas, un populācijas lielums paliek nemainīgs.

Kā šis process tiek atspoguļots sigmoidālās augšanas matemātiskajā modelī? Populācijas eksponenciālās augšanas formula jāpapildina ar

$$\frac{(K - N)}{K}$$

Šajā izteiksmē K ir vides ekoloģiskā kapacitāte. Šo terminu būs vieglāk saprast, ja aplūkosim divus kardināli pretējus gadījumus. Pirmajā gadījumā populācijas lielums ir krietni zem ekoloģiskās kapacitātes. Resursi ir relatīvi neierobežoti, paredzama ātra, gandrīz eksponenciāla augšana. Vai matemātiskais modelis paredz šo gadījumu? Ja N salīdzinājumā ar K ir ļoti mazs, tad izteiksme $(K - N)/K$ ir ļoti tuva izteiksmei $(K-0)/K$, proti, tās vērtība aptuveni ir 1. Tāpēc dN/dt aptuveni ir vienāds ar rN.

Aplūkosim arī stāvokli, kad populācija sasniedz vides ekoloģisko kapacitāti. Ir zināms, ka populācijas pieaugumam jāapstājas. Kā tas atspoguļojas matemātiskajā modelī? Ja $N = K$, tad izteiksmes $(K - N)/K$ vērtība ir nulle un populācijas pieauguma ātrums arī ir nulle.

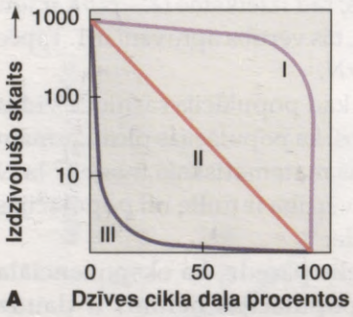
Tātad aplūkotais modelis paredz, ka eksponenciāla augšana noris tikai tad, ja populācijas lielums ir daudz mazāks nekā vides ekoloģiskā kapacitāte. No praktiskā viedokļa, ja gribam izmantot zivju populāciju kā neizsīkstošu pārtikas avotu, tad būtu vēlams uzturēt populācijas lielumu tā, lai sigmoidālās augšanas līkne vienmēr būtu eksponenciālās augšanas fāzē. Tad pilnībā tiek izmantots populācijas biotiskais potenciāls un dzimstība ir vislielākā, kāda vien var būt. Ja zivis tiek pārmērīgi zvejotas, populācijas augšana nonāk lag fāzē un ir jāpaiet vairākiem gadiem, līdz atsākas eksponenciālā augšana. Savukārt, ja vēlamies ierobežot kaitēkļu populācijas pieaugumu, ja vien tas ir iespējams, tad efektīvāk ir nevis kaitēkļus iznīcināt, bet gan samazināt vides ekoloģisko kapacitāti. Populācijas lieluma samazināšanai neizbēgami seko eksponenciālās augšanas fāze. Piemēram, var samazināt lauksaimniecības kaitēkļu ekoloģisko kapacitāti vienā un tajā pašā vietā, neaudzējot vienu kultūru, bet tās mainot.

Sigmoidālās augšanas līknei ir S veids. Populācijas lielums stabilizējas, sasniedzot vides ekoloģisko kapacitāti.

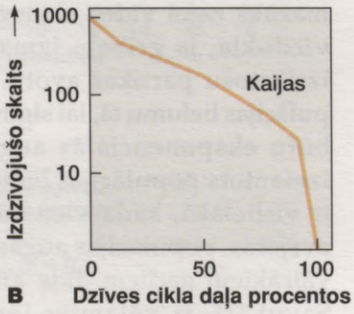
6.1. tabula

Maura skarenes *(Poa annua)* kohortas izdzīvošanas tabula

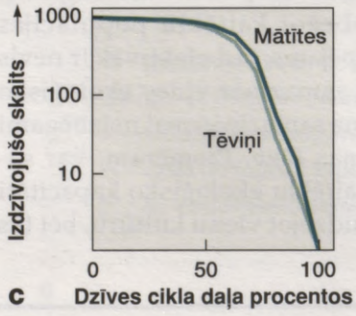
Vecums (mēnešos)	Dzīvo īpatņu skaits	Izdzīvojušie uz katriem 1000 indivīdiem	Mirušo skaits	Mirstības koeficients	Vidējais sēklu/īpatņu skaits
0–3	843	1000	121	0,143	0
3–6	722	857	195	0,271	300
6–9	527	625	211	0,400	620
9–12	316	375	172	0,544	430
12–15	144	171	95	0,626	210
15–18	54	64	39	0,722	60
18–21	15	17,8	12	0,800	30
21–24	3	3,6	3	1,000	10
24	0	—	—	—	—



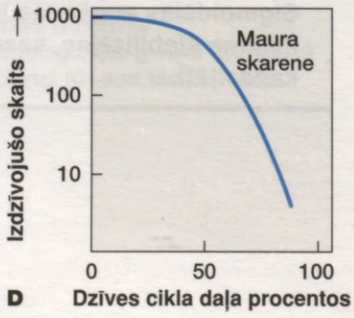
A



B



C



D

Izdzīvotības līkņu tipi

Populācijas augšanas modeļi balstās uz pieņēmumu, ka populāciju veido identiski indivīdi. Patiesībā indivīdi atrodas dažādās savas dzīves stadijās. Zinātnieki, kas pēta populāciju dinamiku, sastāda izdzīvošanas tabulas, kas parāda, cik daudz no vienā laikā dzimušiem organismiem (tā sauktās kohortas) ik pēc noteiktiem laika intervāliem vēl ir dzīvi. 6.1. tabulā redzama maura skarenes *(Poa annua)* izdzīvošanas tabula. Kohortā ir 843 indivīdi. Pēc trim mēnešiem 121 indivīds ir gājis bojā un mirstības koeficients ir 0,143. To skaitliski var raksturot arī citādi – dzīvi ir palikuši 722 indivīdi. **Izdzīvotība** ir varbūtība, ar kādu kohortas indivīds var nodzīvot līdz noteiktam vecumam. Ja izdzīvotību attēlo grafiski, iegūst izdzīvotības līkni.

Šai līknei ir trīs tipi (6.7. att. A). I (izliektā) tipa līkne raksturīga populācijai, kurai gandrīz visu dzīves laiku ir zema mirstība, kas strauji palielinās tikai dzīves beigās. Savukārt III (ieliektā) tipa līkne raksturīga populācijai, kuras indivīdu vairākums mirst ļoti jauni. II (diagonālā) tipa līkne liecina, ka izdzīvotība visu dzīves laiku pakāpeniski samazinās.

Dabā populāciju izdzīvotības līknes parasti precīzi neatbilst šīm trim ideālajām līknēm. Piemēram, maura skareņu kohortā no sešu līdz deviņu mēnešu vecumam izdzīvo vairākums indivīdu, bet pēc tam izredzes izdzīvot

6.7. attēls. Izdzīvotības līknes
Izdzīvotības līknes parāda to kohortas locekļu skaitu, kuri noteiktā laika brīdī ir dzīvi.
A. Trīs izdzīvotības līkņu tipi.
B. Kaiju izdzīvotības līknes zināmā mērā atbilst II tipam.
C. Kalnu aitu tēviņu un mātīšu izdzīvotības līknes nedaudz atšķiras, bet kopumā ļoti labi atbilst I tipam.
D. Maura skarenes izdzīvotības līkne atrodas starp I un II tipu.

strauji samazinās. Statistiskie dati par kaiju kohortu liecina, ka izdzīvotības līkne ir ļoti tuva II tipam. Savukārt kalnu aitu izdzīvotības līkne ir tuva I tipam. Dažkārt tēviņiem un mātītēm ir atšķirīgas izdzīvotības līknes. To labi parāda kalnu aitu tēviņu un mātīšu izdzīvotības līknes.

Pētot izdzīvošanas tabulas un izdzīvotības līknes, var daudz ko uzzināt par sugas dzīves gaitu. Vai var prognozēt, ka vairākums vai tikai daži īpatņi no populācijām, kurām raksturīga III tipa izdzīvotības līkne, atstās pēcnācējus? Pēc izdzīvotības līknes pilnīgi skaidrs, ka lielākā daļa no populācijas īpatņiem mirst agri un tikai daži sasniedz dzimumgatavību un spēj vairoties. Ko var teikt par abiem pārējiem izdzīvotības līkņu tipiem? No jauna aplūkosim maura skarenes izdzīvošanas tabulu. Tā liecina, ka sēklu daudzums uz vienu īpatni pieaug, organismam nobriestot. Kā to var salīdzināt ar cilvēku populāciju?

Populācijai raksturīgs noteikts mirstības/izdzīvotības tips, ko var noteikt, analizējot kohortas izdzīvošanas tabulas un izdzīvotības līknes.

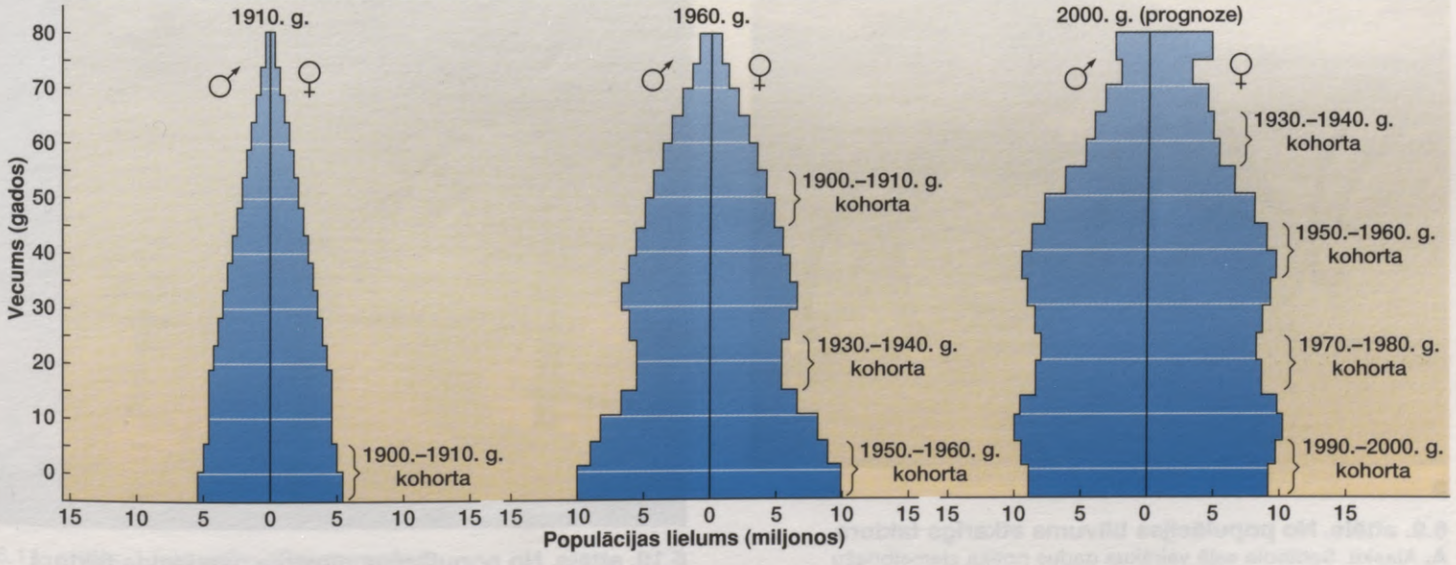
Vecumstruktūra

Ja populācijas indivīdi vairojas atkārtoti, tad vienlaikus dzīvi var būt vairāku paaudžu organismi. Izšķir trīs vecuma grupas: prereproduktīvo, reproduktīvo un postreproduktīvo. Populācijas var atšķirties pēc indivīdu sadalījuma pa vecuma grupām. 6.8. attēlā var aplūkot trīs atšķirīgas **vecumstruktūras diagrammas.**

Ja no trim vecuma grupām lielākā ir prereproduktīvā vecuma grupa, dzimstība ir augstāka nekā mirstība un vecumstruktūras diagrammai ir piramīdas forma. Šādos apstākļos, pat ja dotajā gadā dzimstība ir vienāda ar mirstību, nākamajos gados populācija turpina palielināties. Kāpēc? Tāpēc, ka ir vairāk indivīdu, kuriem reproduktīvais vecums sākas, nekā tādu, kuriem tas beidzas. Kad reproduktīvās grupas lielums kļūst vienāds ar prereproduktīvās grupas lielumu, vecumstruktūras diagrammai ir zvanveida forma. Postreproduktīvā grupa joprojām būs mazākā. Ja dzimstība kļūst mazāka nekā mirstība, vismazākā būs prereproduktīvā grupa, bet vislielākā – postreproduktīvā grupa. Šādā gadījumā vecumstruktūras diagrammai visplatākā būs augšdaļa.

Vecumstruktūras diagramma atspoguļo populācijas attīstības pagātni un arī nākotni. Tā kā ASV no 1947. gada līdz 1960. gadam strauji palielinājās dzimstība, mūsdienās reproduktīvā grupa ir lielāka nekā prereproduktīvā grupa un postreproduktīvā grupa. Kad minētajā laikā dzimušie sasniegs postreproduktīvo vecumu, šī grupa būs lielākā.

Vecumstruktūras analīze palīdz izprast populācijas attīstības pagātni un nākotni.

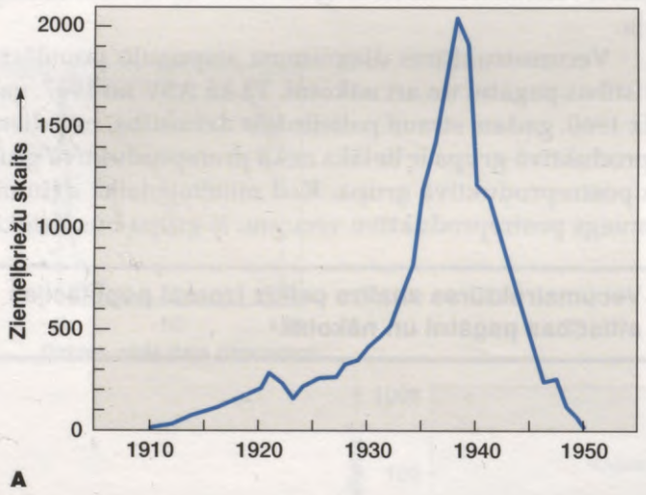


6.8. ASV iedzīvotāju vecumstruktūra 1910. gadā, 1960. gadā un 2000. gadā (prognoze)
1910. gadā vecumstruktūras diagrammai bija piramīdas forma. 1960. gadā tā ieguva zvanveida formu, bet, tuvojoties 2000. gadam, tās augšdaļa kļūst arvien platāka. No 1950. gada līdz 1960. gadam bija ļoti augsta dzimstība. Kad šajā laikā dzimušie sasniegs postreproduktīvo vecumu, postreproduktīvā grupa būs neparasti liela.

6.3. Populācijas lieluma regulācija

Tika aplūkoti divi populācijas augšanas modeļi – eksponenciālā un sigmoidālā augšana. Mazā salnas sprīžmeša *(Operophtera brumata)* populācijas dinamikas pētījumos (sk. 112. un 113. lpp.) tika konstatēts, ka vairums olu nepārcieš ziemu un eksponenciālā augšana nekad nenotiek. Acīmredzot eksponenciālā augšana nevar notikt relatīvi nelielā īpatņu skaita dēļ pavasarī. Šie novērojumi izvirza jautājumu: "Cik lielā mērā eksponenciālās un sigmoidālās augšanas modeļi atspoguļo dabisko populāciju augšanu?"

Vai ir iespējams, ka eksponenciālā augšana izraisa populācijas palielināšanos virs vides ekoloģiskās kapacitātes, kam sekotu strauja populācijas lieluma samazināšanās? Tā, piemēram, 1911. gadā Sentpola salā, kas atrodas Bēringa jūrā netālu no Aļaskas, izlaida 4 ziemeļbriežu *(Rangifer)* tēviņus un 21 mātīti. Sentpola salā bija gandrīz neskarta vide – tur ļoti reti medīja un nebija plēsēju. Ziemeļbriežu ganāmpulks pieauga eksponenciāli, un 1938. gadā īpatņu skaits sasniedza apmēram 2000. Galu galā tika iztērēti visi barības resursi un ziemeļbriežu skaits strauji samazinājās, līdz 1950. gadā palika tikai 8 dzīvnieki (6.9. att.).



A



B

6.9. attēls. No populācijas blīvuma atkarīgs faktors
A. Aļaskā, Sentpola salā vairākus gadus notika ziemeļbriežu populācijas eksponenciāla augšana. Tad barības resursu izsīkuma dēļ populācija strauji samazinājās. **B.** Ziemeļbriedis *(Rangifer)*

Lai arī populācijas augšana precīzi neatbilst aplūkotajiem modeļiem, var vērot, ka dinamiskā vidē populācijas lielumu regulē vides faktori. Kad ekologi pirmoreiz izvirzīja jautājumu par vides regulējošo iedarbību, viņi uzsvēra, ka vidi veido abiotiskie un biotiskie komponenti. Ekologi uzskatīja, ka abām šīm vides sastāvdaļām ir nozīme populācijas lieluma regulēšanā. Viņi pieņēma, ka abiotiskie faktori, piemēram, klimats un dabas katastrofas, iedarbojas neatkarīgi no populācijas blīvuma, tātad īpatņu skaitu populācijā neietekmē abiotisko faktoru iedarbības rezultāti. Piemēram, pēkšņā ugunsgrēkā attiecība starp bojā gājušiem organismiem un organismu kopējo skaitu ir neatkarīga no populācijas blīvuma (6.10. att.). Savukārt biotisko faktoru, piemēram, parazītisma, konkurences un plēsonības, iedarbība ir atkarīga no populācijas blīvuma. Plēsonība palielinās, pieaugot upuru populācijas blīvumam, jo plēsējiem ir vieglāk atrast laupījumu. Piemēram, krabju populācijā katram krabim ir nepieciešama slēptuve, kur patverties no piekrastes putniem. Ja ir 100 slēptuves un 102 krabji, tad divi paliks bez patvēruma. Kamēr bez slēptuves ir tikai divi krabji, viņus atrast nav tik viegli. Ja netiek notverts neviens krabis, tad nomedīto un pieejamo dzīvnieku attiecība ir $0/2 = 0$. Savukārt, ja šo teritoriju apdzīvo 200 krabji, bez slēptuvēm paliks 100 īpatņi. Pie šāda populācijas blīvuma viņi būs putniem



6.10. attēls. No populācijas blīvuma neatkarīgs faktors
Ugunsgrēks sākas un izplatās neatkarīgi no dzīvo organismu daudzuma.

labi pamanāmi un, iespējams, piesaistīs lielu plēsēju skaitu. Ja tiek apēsta puse no krabjiem, kas palikuši bez slēptuvēm, tad nomedīto un pieejamo dzīvnieku attiecība ir 50/100 = 0,5. Tā, palielinoties populācijas blīvumam, proporcionāli palielinās nomedīto dzīvnieku skaits.

Vai iespējams, ka dažādi regulējošie faktori populācijas lielumu varētu noturēt aptuveni uz vides ekoloģiskās kapacitātes robežas? Zinātnieki daudzus gadus ir vākuši datus par lielās zīlītes *(Parus major)* populācijas lielumu (6.11. att. A). Anglijā Oksfordas tuvumā vairošanās sezonā veiktās zīlīšu uzskaites dati parādīti 6.11. attēlā B. Populācijas lielums ilgstoši svārstās uz vides ekoloģiskās kapacitātes robežas. Tā kā perējumu lielums (viena putna izdēto olu daudzums) būtiski nemainās, jāmeklē citas hipotēzes, kas izskaidrotu šīs svārstības. Ļoti nozīmīgi ir dažādi ārējie faktori – klimatiskie apstākļi, barības resursu daudzums, patvēruma iespējas un citu dzīvnieku (plēsēju un parazītu) klātbūtne. Bet vai ir iespējams, ka populācijas lielumu un pieauguma koeficientu ietekmē tā sauktie iekšējie faktori, kas saistīti ar dzīvnieka anatomisko uzbūvi, fizioloģiju vai uzvedību?

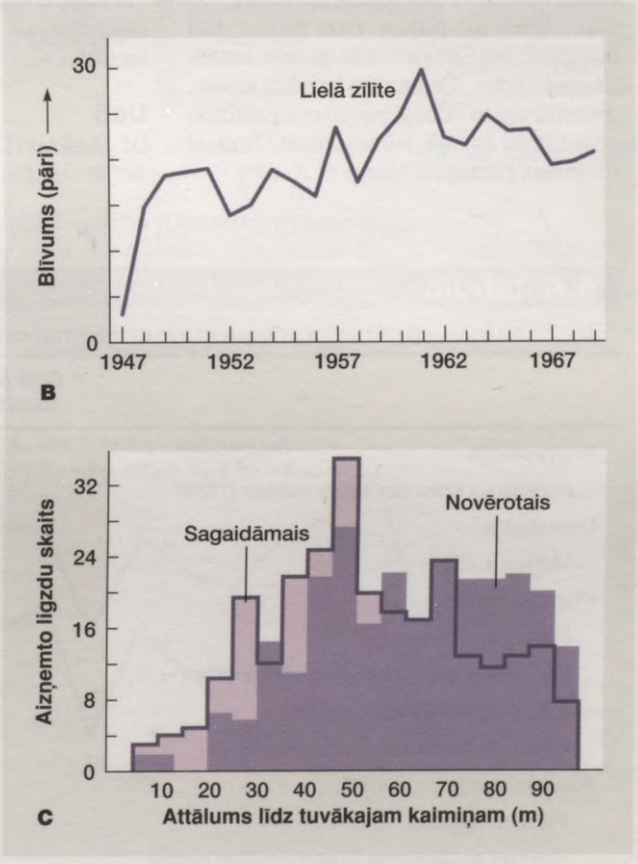
Teritorialitātei ir liela nozīme, ja populācijas locekļi ir izvietojušies tālāk, nekā tas būtu sagaidāms pēc nejaušības principa (6.1. att. C). Starp lielo zīlīšu ligzdām ir no 20 līdz 90 metriem. Teritorialitāte putniem un hierarhiskās attiecības zīdītājiem ir uzvedības veidi, kas ietekmē populācijas lielumu un pieauguma koeficientu. Attīstītiem dzīvajiem organismiem iekšējie faktori regulē vairošanos, imigrāciju un emigrāciju, tā ietekmējot populācijas lielumu.

Vai, neraugoties uz ārējiem un iekšējiem regulējošiem mehānismiem, dažkārt nenotiek straujas populācijas lieluma un pieauguma koeficienta svārstības? Jā, protams. Neatkarīgi no dažādiem ārējiem un iekšējiem faktoriem populācijām raksturīga nestabilitāte. Ekologi ir izveidojuši modeļus, kas paredz sarežģītas un negaidītas pārmaiņas pat vienkāršās sistēmās. Piemēram, Dungenesas (Lielbritānija) krabju populācijai izstrādātais datormodelis paredz, ka pieaugušajiem krabjiem dzims daudz kāpuru, bet viņi paši tad ies bojā. Vairākums kāpuru neizdzīvos, bet izdzīvojušie paliks tajā pašā vietā, kur dzimuši. Ņemot vērā šos apstākļus, modelis paredz straujas, haotiskas fluktuācijas.

Dabisko populāciju dinamiku ietekmē dažādi faktori, tajā skaitā no populācijas blīvuma atkarīgie faktori. Vairums šo faktoru attiecībā pret organismu ir ārēji, tomēr, iespējams, ka nozīme populāciju dinamikā ir arī iekšējiem faktoriem, piemēram, teritorialitātei putniem.



A



6.11. attēls. Lielā zīlīte *(Parus major)*
A. Lielās zīlītes. **B.** Populācijas blīvuma dinamika vairošanās periodos Oksfordas tuvumā (Anglija). **C.** Lielās zīlītes cenšas izvietoties tālāk, nekā būtu jābūt, izvietojoties pēc nejaušības principa.

Uzziniet tuvāk

▶ Pētījumi par mazo salnas sprīžmeti

Nav grūti saprast, ka populācijas lielumu regulē daudzi faktori. Veicot populāciju dinamikas pētījumus, zinātnieki mēģina atrast nozīmīgākos faktorus, kas nosaka mirstību. Piemēram, Dž. Varlijs un Dž. Gredvels, lai noteiktu faktorus, kas korelē ar novērotajām mazā salnas sprīžmeša *(Operophtera brumata)* populācijas blīvuma fluktuācijām, pētīja arī šī tauriņa parazītus un plēsējus.

Tauriņa dzīves cikls

Tāpat kā citiem tauriņiem, arī mazā salnas sprīžmeša dzīves ciklā ir šādas stadijas: pieaudzis tauriņš (imago) – oliņa – kāpurs – kūniņa – pieaudzis tauriņš. Rudenī no kūniņas zemsedzē izkūņojas pieaugusi mātīte, kas uzrāpjas (mātītei nav spārnu) tuvākajā ozolā. Pēc pārošanās ar tēviņu (tēviņam ir spārni, un viņš var lidot) katra mātīte koka zaru galos izdēj apmēram 150 olas. Olas tur paliek visu ziemu, bet pavasarī, kad kokam sāk plaukt lapas, izšķiļas kāpuri. Tie barojas ar koka lapām. Izauguši viņi ar zīdaina pavediena palīdzību nolaižas uz zemes, kur iekūņojas. Rudenī izkūņojas pieauguši tauriņi (6.A. att.).

Parazīti

Domājams, ka mazais salnas sprīžmetis ap 1949. gadu no Eiropas nejauši tika ievests Jaunskotijas provincē (Kanāda). Dažos gados tauriņu kāpuri ievērojami savairojās, apgrauza koku lapas un sāka izplatīties uz rietumiem. Tad tika ievesti divi šī tauriņa dabiskie ienaidnieki – kāpurmušas *(Cyzenis albicans)* un jātnieciņš *(Cratichneumon)*. Kāpurmušas mātītes uz lapām dēj sīkas, izturīgas olas. Ja olu apēd tauriņa kāpurs, viņa zarnās izšķiļas sīks parazīta kāpurs, kas caururbj zarnas sienu un ar hemolimfu pārvietojas uz siekalu dziedzeriem, kur lēnām barojas, līdz saimnieks iekūņojas. Vēl kādu laiku barojies, parazīta kāpurs saimnieka kūniņas iekšienē izveido savu kūniņu. No tās pavasarī izšķiļas jauna kāpurmuša.

Jātnieciņa mātītes dēj olas ikvienā atrastajā mazā salnas sprīžmeša kūniņā. Tur izšķiļas kāpurs, kas izēd tauriņa kūniņu, iekūņojas, un vēlāk attīstās pieaudzis jātnieciņš.

Dati

Dž. Varlijs un Dž. Gredvels uzskaitīja populācijas lielumu ikvienā dzīves cikla stadijā (6.A. tab.). Lai noķertu un uzskaitītu pa koka stumbru lienošās sprīžmeša mātītes, viņi izmantoja lipīga papīra jostas. Lai noskaidrotu vidējo olu daudzumu vienā mātītē, viņi daļu no tām atpreparēja. Tad tika ievāktas ozola lapas, lai noteiktu vidējo kāpuru daudzumu. Daļu kāpuru atpreparēja, lai noteiktu tajos parazitējošo kāpurmušu vidējo daudzumu. Tika noskaidrots, ka daļu kāpuru invadē arī citi parazīti. Galu galā tika uzskaitītas tauriņa kūniņas un no tām izšķīlušies parazīti – jātnieciņi. Vienlaikus tika konstatēts, ka daļu kūniņu apēd arī plēsoņas.

Secinājumi

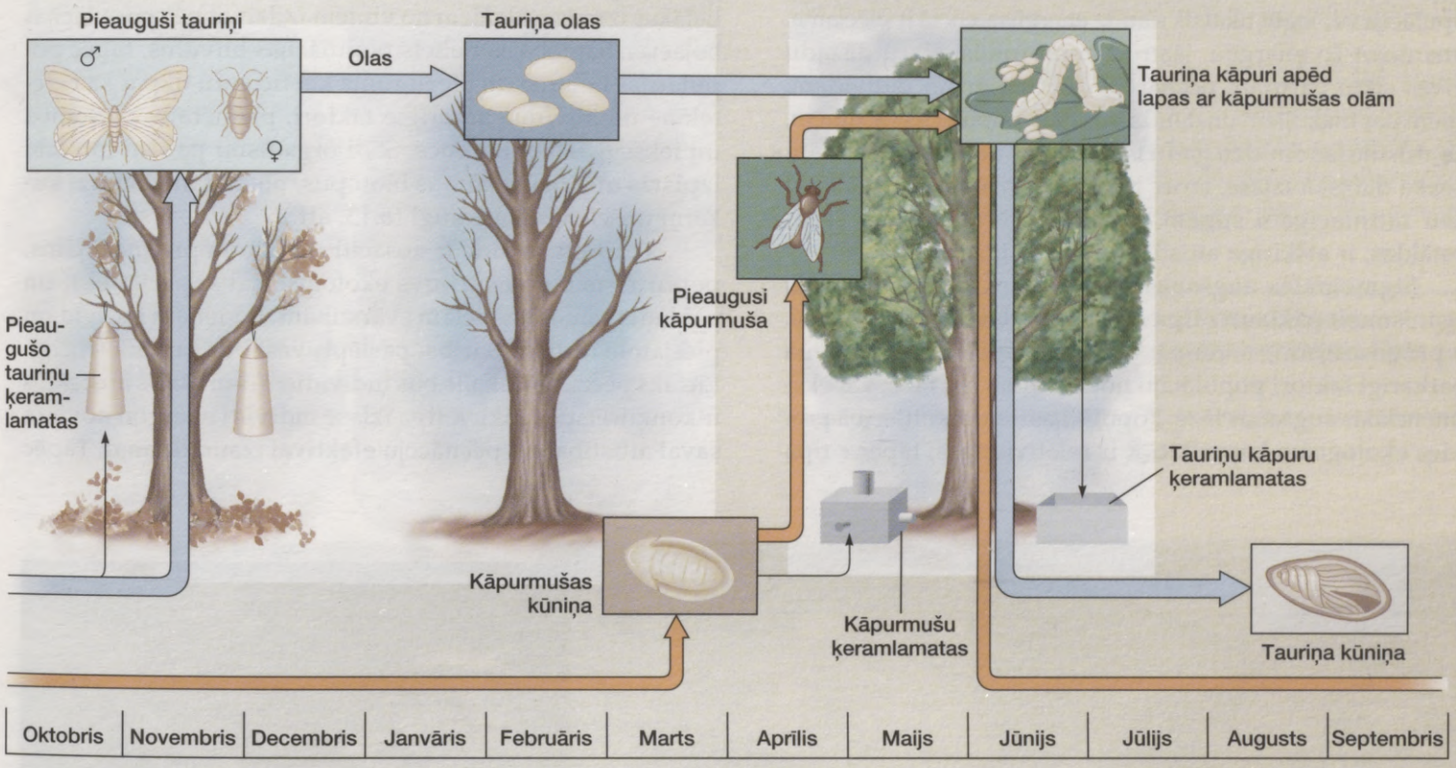
Dž. Varlijs un Dž. Gredvels aprēķināja koeficientu *(k)* katram vides faktoram, kas izraisa šo tauriņu mirstību. Aplūkojiet trešo stabiņu 6.A. tabulā un pievērsiet uzmanību tam, ka vislielākā mirstība ir ziemā – mātīte rudenī izdēj vidēji 658 olas, bet pavasarī izšķiļas tikai 96,4 kāpuri. Mirstības koeficients ziemā ir 0,84. Citu faktoru koeficienti ir daudz zemāki. Plēsēju, piemēram, ciršļu un vaboļu, izraisītajai mirstībai ir otrs lielākais koeficients.

6.A. tabula

Mazā salnas sprīžmeša *(Operophtera brumata)* izdzīvošana

	Bojā gājušo īpatņu daudzums (uz m^2)	Dzīvo īpatņu daudzums (uz m^2)	Mirstības koeficients k
Imago stadija			
Augšup pa koku rāpojošas mātītes (1955)	–	**4,39**	–
Olas stadija			
Mātītes x 150		658,0	–
Kāpura stadija			
Pieauguši kāpuri	551,6	**96,4**	**0,84** = k_1
Kāpuri ar kāpurmušas *Cyzenis* kāpuriem	**6,2**	90,2	0,03 = k_2
Kāpuri ar citu parazītu oliņām	**2,6**	87,6	0,01 = k_3
Kāpuri ar parazītiskiem vienšūņiem	**4,6**	83,0	0,02 = k_4
Kūniņas stadija			
Plēsoņu apēstas	54,6	28,4	**0,47** = k_5
Kūniņas ar jātnieciņa *Cratichneumon* oliņām	**13,4**	15,0	0,27 = k_6
Imago stadija			
Augšup pa koku rāpojošas mātītes (1956)	–	7,5	–

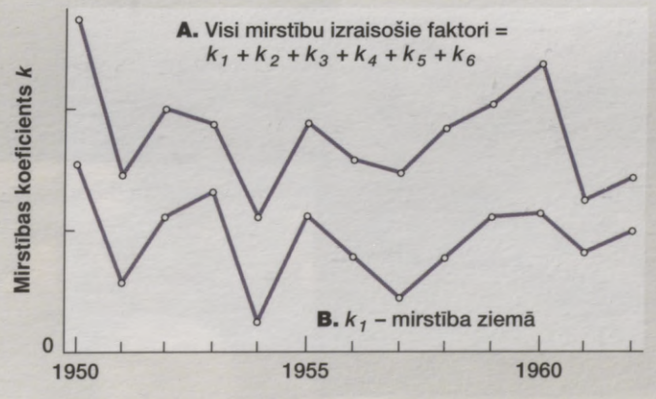
P. S. Izceltie skaitļi ir iegūti, tieši uzskaitot. Pārējie dati ir iegūti aprēķinu ceļā. Literatūras avots: After Varley et al. (1973).



6.A. attēls. Mazā salnas sprīžmeša *(Operophtera brumata)* un kāpurmušas *(Cyzenis)* dzīves cikls
Mazais salnas sprīžmetis (zila krāsa). 1. Rudenī mātītes izkūņojas, uzrāpjas kokā un pārojas. 2. Tiek izdētas olas. 3. Pavasarī izšķiļas kāpuri un sāk ēst ozola lapas. 4. Kāpuri iekūņojas. Kāpurmuša (oranža krāsa). 1. Pavasarī izšķīlušās kāpurmušas dēj olas uz ozola lapām, kur tās apēd mazā salnas sprīžmeša kāpuri. 2. Kāpurmuša iekūņojas sprīžmeša kūniņā. Melnās bultiņas norāda kukaiņa stadiju, kurā tas ievākts.

Kā redzams 6.B. attēlā, ar ziemu saistīto faktoru izraisītās mirstības koeficienti būtiski korelē ar visu koeficientu summu. Citi koeficienti, tajā skaitā plēsēju ietekme, ar kopējo mirstību būtiski nekorelē. Iespējams, ka šis koeficients ir proporcionāls kūniņu daudzumam.

Pamatojoties uz faktoriem, piemēram, parazītismu un plēsonību, kuri atkarīgi no populācijas blīvuma, Dž. Varlijs un Dž. Gredvels izveidoja matemātisko modeli. Ar tā palīdzību var paredzēt populācijas lieluma pārmaiņas ik gadu.



6.B. attēls. Mazā salnas sprīžmeša mirstību izraisošo faktoru analīze
Mazā salnas sprīžmeša mirstību izsaka koeficients *k*. Kopējā mirstība (**A**) korelē ar mirstību ziemā (**B**). Tātad populācijas fluktuācijas lielā mērā nosaka mirstība ziemā.

6.4. Populācijas attīstības modeļi

Populāciju attīstības gaitā mainās dzimstība, reprodukcijas vecums, dzīves cikli, iespējas izdzīvot dzīves cikla laikā utt. Tas viss ir daļa no sugu attīstības vēstures. Var uzskatīt, ka sugas attīstība sastāv no nepārtrauktiem kompromisiem. Katra populācija var iegūt tikai tik daudz enerģijas, cik tā ir pieejama. Izmantojot šo enerģiju, jāatrod kompromisi starp dažādu dzīves ciklu garumu, pēcnācēju skaitu vienam indivīdam, rūpēm par mazuļiem un daudzām citām populācijas iezīmēm, kas attīstījušās daudzu gadu laikā. Sugas attīstības rezultātu nosaka dabiskā izlase, tāpēc nav nekas pārsteidzošs, ka pat tuvu radniecīgām sugām, ja tās dzīvo atšķirīgos vides apstākļos, ir atšķirīga attīstības gaita (6.12. att.).

Sigmoidālās augšanas modelis liek domāt, ka daļa organismu ir pakļauti ***r* tipa** izlasei, bet daļa – ***K* tipa** izlasei. Neprognozējami, mainīgā vidē no populācijas blīvuma neatkarīgi faktori populāciju notur vai nu lag fāzē, vai eksponenciālās augšanas fāzē. Populācijas lielums attiecībā pret vides ekoloģisko kapacitāti *K* ir relatīvi mazs, tāpēc *r* tipa izlase veicina ātru liela daudzuma pēcnācēju radīšanu. Atbilstoši sigmoidālās augšanas modelim attīstās nelieli organismi, kuri ātri sasniedz dzimumgatavību un kuriem ir īss dzīves cikls. Tas veicina daudzu relatīvi sīku pēcnācēju dzimšanu, par kuriem vecāki nerūpējas. Jo vairāk pēcnācēju, jo lielākas izredzes dažiem no viņiem izdzīvot pēc populācijas bojāejas. Saglabājas neliels populācijas blīvums, tāpēc populācijas lieluma un pieauguma koeficientu tikpat kā neietekmē no blīvuma atkarīgie faktori, piemēram, plēsonība un iekšsugas konkurence. Šādi organismi parasti ļoti labi izplatās un apgūst jaunus biotopus, piemēram, daudzi kukaiņi un viengadīgie augi (6.13. att.).

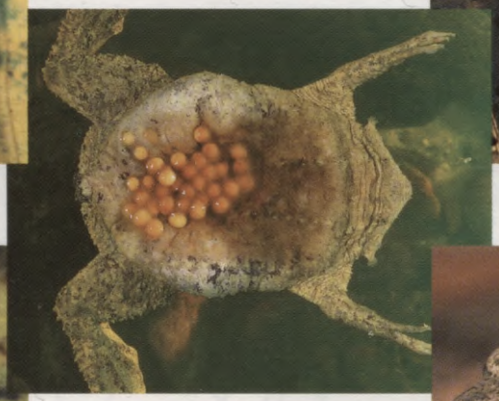
Turpretī, ja vide ir nosacīti stabila un prognozējama, populācijas lielums ir tuvs ekoloģiskajai kapacitātei *K* un pakļauts samērā nelielām svārstībām. Ikvienam indivīdam pieejamie resursi (barība, paslēptuves) būs samērā trūcīgi. Lielāks pēcnācēju skaits būs indivīdiem, kuri šajos apstākļos ir konkurētspējīgāki. *K* tipa izlasē indivīdi enerģiju novirza savai attīstībai un pēcnācēju efektīvai izaudzēšanai. Tāpēc



Kāpelētājvarde *(Phyllobates lugubris)*



Meža varde *(Rana sylvatica)*



Surinamas pīpa *(Pipa pipa)*



Darvina rinoderma *(Rhinoderma darwini)*



Olnēsātājkrupis *(Alytes obstetricans)*

6.12. attēls. Varžu un krupju rūpes par pēcnācējiem

Vardes un krupji, kas olas dēj uz sauszemes, piemēram, meža vardes (augšā pa labi), dažādi rūpējas par pēcnācējiem. Eiropas olnēsātājkrupis (apakšā pa labi) ikru virtenes nēsā aptītas ap pakaļkājām. Kad ikriem ir laiks šķilties, viņš tos nogādā līdz ūdenim. Dienvidamerikas Darvina rinoderma (apakšā pa kreisi) ikrus nēsā rīkles maisā (brūnā krāsā), kas pirms kurkuļu izlaišanas izstiepjas visa ķermeņa garumā. Kostarikas kāpelētājvardes (augšā pa kreisi) olas dēj uz sauszemes. Kurkuļi pēc izšķilšanās uzlien uz vecāku muguras un tādā veidā nonāk līdz ūdenim. Visīpatnējākā vairošanās ir Dienvidamerikā mītošajām Surinamas pīpām (centrā). Pēc apaugļošanas tēviņš olas novieto uz mātītes muguras. Katra ola attīstās atsevišķā kabatiņā, bet kurkuļa aste kalpo kā placenta. Ar tās palīdzību viņš uzņem barības vielas no mātes asinsrites sistēmas.

šie organismi ir samērā lieli, lēni vairojas, un viņiem ir samērā garš dzīves cikls. Organismiem ar *K* tipa vairošanās stratēģiju piemīt augsta konkurētspēja, viņi bieži izspiež sugas ar *r* tipa vairošanās stratēģiju. Viņi ir vairāk specializējušies, tāpēc viegli iet bojā, ja tiek izjaukts normālais dzīves ritējums. *K* stratēģija ir vērojama putniem un zīdītājiem, piemēram, lāčiem (6.13. att.). Lielākais dzīvnieks Evergleidsas rezervātā ir Floridas puma. Pumai nepieciešama liela teritorija. Viņai dzimst tikai daži mazuļi, par kuriem ir ļoti jārūpējas. Mūsdienās Floridas pumas populācija cieš teritorijas samazināšanās dēļ. Šī pasuga ir uz izmiršanas robežas.

Dabā šie procesi ir daudz sarežģītāki par abiem minētajiem iespējamajiem populācijas attīstības modeļiem. Ir skaidrs, ka *r* stratēģija un *K* stratēģija ir galējie varianti, un vairumam populāciju attīstība noris kaut kur pa vidu starp šiem abiem variantiem. Piemēram, augiem ir divu paaudžu dzīves cikls, kas ietver sporofīta un gametofīta stadijas. Papardes, kuras var klasificēt kā *r* stratēģijas pārstāves, izplata daudz sporu un ļauj gametofītam attīstīties pašam par sevi. Savukārt kailsēkļi (priedes) un segsēkļi (ozoli), kurus var uzskatīt par *K* stratēģijas pārstāvjiem, gametofītu aizsargā. Tiem veidojas sēklas, kas satur nākamo sporofīta paaudzi un barības rezerves. Šis ir nozīmīgs solis *K* stratēģijas virzienā, tomēr joprojām šie augi izplata lielu daudzumu sēklu.

Menca ir samērā liela zivs – var svērt pat 10 kilogramus un sasniegt 2 metru garumu. Tomēr jūrā mencas nērš milzīgu daudzumu ikru, un tikai tur veidojas zigota. Vecāki par pēcnācējiem nekādā veidā nerūpējas. No mencas iznērstajiem sešiem septiņiem miljoniem ikru tikai daži kļūst par pieaugušām zivīm.

Vides atšķirības ir cēlonis dažādiem izlases spiediena radītiem pielāgojumiem un dzīves cikla iezīmēm.

6.13. attēls. Populācijas attīstības stratēģijas
Vai pienenēm ir raksturīga *r* stratēģija, bet lāčiem *K* stratēģija ar atbilstošām populācijas iezīmēm? Parasti atšķirības starp šīm divām stratēģijām nav tik izteiktas kā šajā gadījumā.



r stratēģija
Mazi indivīdi
Īss dzīves cikls
Ātri nobriest
Daudz pēcnācēju
Par pēcnācējiem nerūpējas

K stratēģija
Lieli indivīdi
Garš dzīves cikls
Lēni nobriest
Maz pēcnācēju
Rūpējas par pēcnācējiem

Uzziniet tuvāk

Gliemenes mercenārijas izplatība Lielajā Dienvidu līcī

Lielais Dienvidu līcis ir sekls jūras līcis Longailendas dienvidu piekrastē, apmēram 1000 kilometrus uz austrumiem no Ņujorkas. Mercenārijas sastopamas visā līcī. Viņas zvejo pārtikai. Gliemenes var ēst jēlas, no tām pagatavo Jaunanglijā un Manhatanā iecienīto ēdienu – gliemeņu sautējumu. Lielais Dienvidu līcis bieži tiek dēvēts par gliemeņu fabriku: 70. gados vairāk nekā puse no ASV iegūtajām mercenārijām nāca no šiem ūdeņiem. Pēdējos 20 gadus Dž. Kasners pētīja šo gliemeņu izplatību līča austrumu daļā pie Brūkheivenas pilsētas. 17. gadsimtā šai pilsētai Anglijas karalis dāvinājis 6000 hektāru lielu līča teritoriju, kurā vēl arvien mīt gliemenes.

Zināšanas par mercenāriju izplatību un daudzumu, kā arī to noteicošajiem vides faktoriem Brūkheivenai ir ļoti svarīgas, jo pilsētas īpašumtiesības saistītas ar pienākumu organizēt un attīstīt gliemeņu ievākšanas industriju, kas dod 10 miljonus dolāru lielu ikgadēju peļņu un nodrošina darbavietas 300 strādniekiem. Brūkheivena vēlas pētījumu rezultātus izmantot, lai attīstītu tehnoloģijas, kas pavairo mercenāriju skaitu, tā palielinot nozveju.

Dž. Kasnera pētījumi sākās ar mercenāriju populācijas uzskaiti. Vairākas nedēļas gadā sešas vasaras pēc kārtas no baržas, uz kuras uzmontēts krāns, 232 vietās tika ņemti paraugi no 1 m^2 lielas jūras dibena platības. Katrs paraugs tika novietots uz 1 m^2 liela stiepļu sieta un mazgāts ar spēcīgu ūdens strūklu, tā atbrīvojot gliemenes no nosēdumiem. Gliemenes tika saskaitītas un izmērītas, nosakot dažādus populācijas demogrāfiskos parametrus. Darbs bija netīrs un fiziski smags. Dienas beigās Dž. Kasnera palīgi bija noguruši, slapji un dubļaini. Tomēr rezultāti bija pūļu vērti.

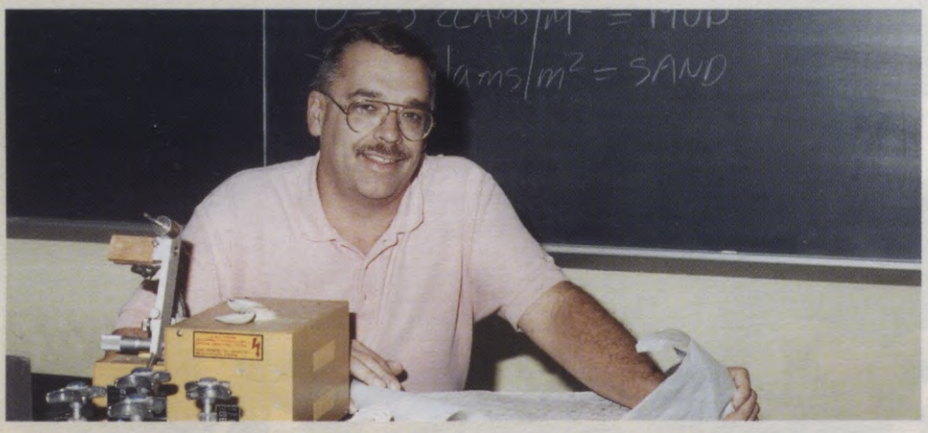
Strādājot kopā ar dr. R. Serrato no Ņujorkas valsts universitātes, Dž. Kasners izveidoja gliemeņu izplatības karti. Pētnieks bija pārsteigts, ka gliemenes nebija vienmērīgi izplatītas visā pētāmajā teritorijā. Tās bija sastopamas atsevišķās nelielās teritorijās, kur īpatņu blīvums atšķirās. Vietas ar lielu gliemeņu blīvumu Dž. Kasners nodēvēja par "gultām" (tradicionāli vietas, kur daudz gliemeņu, tiek dēvētas par "gliemeņu gultām"). Viņš konstatēja sešas šādas vietas.

Dž. Kasners salīdzināja izplatības karti ar nogulumu karti, kas tika veidota, pamatojoties uz viņa paša lauka piezīmēm. Gandrīz visas "gultas" atradās vietās, kur nogulumos bija daudz gliemežvāku. Tie bija palikuši no seniem, agrāk ļoti produktīviem austeru rifiem. Šiem novērojumiem bija ne tikai bioloģiska, bet arī vēsturiska nozīme, jo līdz pat mūsu gadsimta sākumam Lielais Dienvidu līcis bija nozīmīgs austeru ieguves rajons. Lai arī vides pārmaiņu dēļ austeres te vairs nav sastopamas, viņas aiz sevis atstājušas mantojumu nogulu veidā. Šo nogulu vietās koncentrējas mercenārijas.

Konstatējis, ka šo gliemeņu blīvums ir cieši saistīts ar senajiem austeru rifiem, Dž. Kasners vēlējās izpētīt seno austeru rifu nogulumus. Kas padara šīs vietas tik produktīvas? Kāpēc citur mercenāriju ir tik maz? Šī informācija Brūkheivenas pilsētai varēja būt ļoti nozīmīga, jo norādītu veidu, kā izmainīt nogulu sastāvu vietās ar zemu gliemeņu blīvumu. Tāpēc pētniekam vajadzēja rūpīgi izpētīt nogulas vietās ar augstu un zemu gliemeņu blīvumu. Dž. Kasners galvenokārt izmantoja dažādas ar jūru saistītu nozaru pētījumu metodes. Lai kartētu jūras dibenu, tas tika fotografēts ar tālvadības aparātu, kuru izmanto dziļjūras pētījumiem. Savukārt no rūpnieciskās zvejas kuģiem dziļuma mērīšanai izmantoja eholotu. Lai noteiktu, kāda ir nogulu, kur dzīvo un barojas gliemenes, virsma, tika izmantota nogulšņu profila fotokamera.

Dž. Kasners mēģina salikt visu šo dažādo informāciju vienā kartē (6.C. att.). Tā kā tas prasīs laiku un, iespējams, vēl papildu pētījumus, pētnieks vienlaikus izmanto iegūtos rezultātus par mercenāriju blīvuma ciešo saistību ar gliemežvāku daudzumu nogulumos, lai mēģinātu izveidot jaunus seno austeru rifus vietās ar zemu gliemeņu koncentrāciju. Ja šie eksperimenti būs sekmīgi, gliemeņu ieguves industrija zels, jo gandrīz trijās ceturtdaļās pētāmās teritorijas ir zems gliemeņu blīvums.

Šis zinātniskais projekts ir interesants ne tikai pētniekam pašam. Daudzu gadu laikā Dž. Kasners ir ieguvis draugus gliemeņu zvejnieku vidū, jo viņa veiksmes garantē darbu arī nākamo paaudžu zvejniekiem.



6.C. attēls
Dž. Kasners pēta nogulas augstas un zemas gliemeņu mercenāriju koncentrācijas vietās Lielajā Dienvidu līcī (Longailenda, Ņujorka). Šo pētījumu rezultāti tiks izmantoti, lai palielinātu gliemeņu ieguvi.

6.5. Cilvēku populācijas augšana

Cilvēku populācijas pieaugumam atbilst eksponenciālās augšanas modelis. Par to var pārliecināties, aplūkojot 6.14. attēlu, kur redzams, ka 1997. gada populācijas pieauguma ātrums ir ļoti liels. Ik dienu pasaulē dzimst 200 000 cilvēku (tik daudz cilvēku ir vidēji lielā pilsētā), bet ik gadu pieaugums ir 88 miljoni cilvēku (tik daudz iedzīvotāju, cik Lielbritānijā, Norvēģijā, Īrijā, Islandē, Somijā un Dānijā kopā).

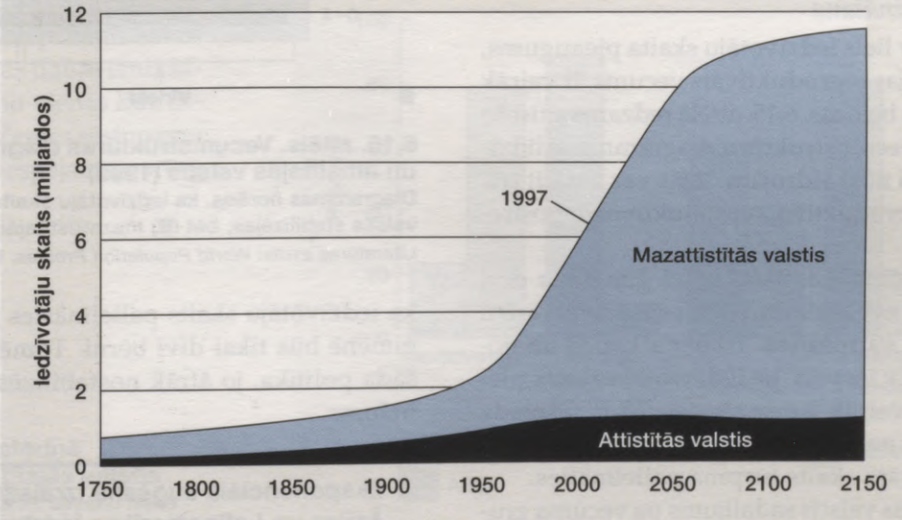
Šo situāciju var mēģināt aplūkot, izmantojot divkāršošanās laiku. **Divkāršošanās laiks** ir laika periods, kas nepieciešams, lai populācijas lielums divkāršotos. Cilvēka populācijai tas pašreiz ir 47 gadi. Šāds populācijas lieluma pieaugums ievērojami paaugstina prasības pret cilvēka spējām saražot un sadalīt resursus. 47 gadu laikā pasaulē ir jādubulto barības, darba vietu, ūdens, enerģijas daudzums, kā arī vēl daudz kas cits, kas nodrošina cilvēka pašreizējo dzīves līmeni.

Daudzi zinātnieki ir nopietni nobažījušies par to, ka cilvēku skaita palielināšanās par vienu miljardu notiek arvien īsākā laikā. Pirmais miljards tika sasniegts 1800. gadā, otrais – 1930. gadā, trešais – 1960. gadā, bet mūsdienās pasaulē ir jau seši miljardi cilvēku. Tikai samazinoties populācijas pieauguma koeficientam, iespējama mirstības un dzimstības līdzsvarošanās un populācijas lieluma nemainība. Atkarībā no populācijas pieauguma koeficienta samazināšanās ātruma cilvēka populācija var nostabilizēties, sasniedzot visdažādāko līmeni – 8, 10,5 vai 14,2 miljardus.

Attīstītās valstis un mazattīstītās valstis

Visas pasaules valstis var iedalīt divās grupās. Pie **attīstītajām valstīm** pieder Ziemeļamerikas un Eiropas valstis, kur ir augsts dzīves līmenis un zems populācijas pieaugums. **Mazattīstītajās valstīs**, piemēram, vairumā Latīņamerikas, Āfrikas un Āzijas valstu, lielākā daļa cilvēku dzīvo nabadzībā, bet populācijas pieauguma ātrums ir ļoti liels. (Dažkārt mazattīstīto valstu apzīmēšanai lieto terminu trešās pasaules valstis. Šo terminu ieviesa aukstā kara laikā, kad daudzi ASV un Eiropu uzskatīja par pirmās pasaules valstīm, bet bijušo PSRS – par otrās pasaules valsti.)

Attīstītajās valstīs iedzīvotāju skaits divkāršojās laika posmā no 1850. gada līdz 1950. gadam. Mirstības samazināšanos sekmēja modernās medicīnas attīstība un sociālekonomisko apstākļu uzlabošanās. Drīz pēc mirstības samazināšanās sekoja dzimstības samazināšanās, tāpēc attīstītajās valstīs no 1950. gada līdz 1975. gadam bija vērojams tikai lineārs populācijas pieaugums. Šāda notikumu secība (pēc mirstības samazināšanās seko dzimstības samazināšanās) tiek saukta par **demogrāfisko pārejas periodu**. Ikgadējais cilvēku skaita pieaugums attīstītajās valstīs mūsdienās ir nostabilizējies apmēram 0,1 % līmenī. Dažās valstīs – Itālijā, Dānijā, Ungārijā un Zviedrijā iedzīvotāju skaits nepalielinās vai pat samazinās. Savukārt nav manāms, ka tuvākajā laikā varētu apstāties ASV iedzīvotāju skaita palielināšanās. Kaut gan ikgadējais pieaugums ASV ir tikai 0,6 %, tomēr šajā valstī ir ievērojams imigrantu pieplūdums. Turklāt augstās dzimstības (laikā no 1947. gada līdz 1964. gadam) dēļ patlaban ASV ir daudz sieviešu reproduktīvajā vecumā.



Pēc *Population Reference Bureau* ziņojuma

6.14. attēls. Pasaules iedzīvotāju skaita palielināšanās no 1750. gada līdz 2150. gadam
Iedzīvotāju skaits visstraujāk palielinās mazattīstītajās valstīs.

Mazattīstītajās valstīs, pateicoties modernās medicīnas sasniegumu ieviešanai no attīstītajām valstīm, pēc Otrā pasaules kara strauji samazinājās mirstība, bet dzimstība palika ļoti augsta. Ikgadējais populācijas pieaugums mazattīstītajās valstīs no 1960. gada līdz 1965. gadam bija 2,5 %. Kopš šī laika ir sācies demogrāfiskais pārejas periods – mirstības samazināšanās tempi palēninās un dzimstība samazinās. 20. gadsimta beigās sagaidāms 1,8 % ikgadējais populācijas pieaugums. Tomēr eksponenciālās augšanas dēļ mazattīstītajās valstīs iedzīvotāju skaits no pašreizējiem 4,4 miljardiem palielināsies līdz 10,2 miljardiem cilvēku 2100. gadā. Visvairāk iedzīvotāju skaits palielināsies Āfrikā, Āzijā un Latīņamerikā. Lai ievērojami samazinātu iedzīvotāju skaita pieaugumu, iespējami šādi ceļi.

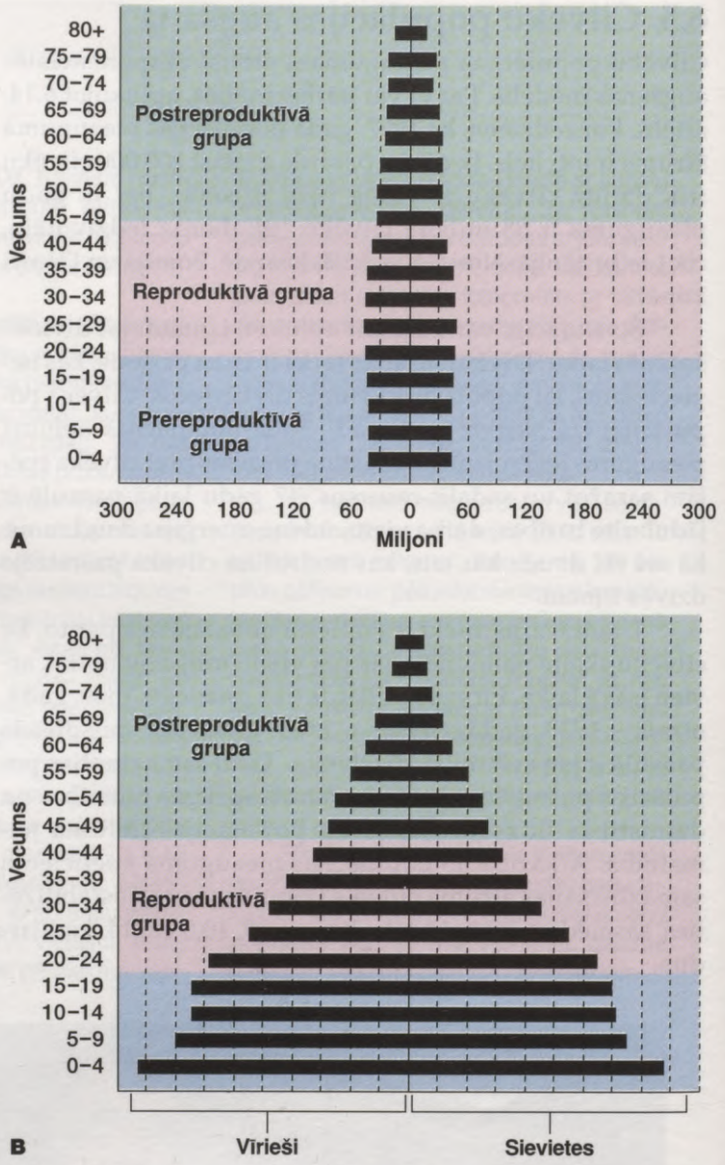
1. Izveidot vai nostiprināt ģimenes plānošanas programmas. Iedzīvotāju pieauguma palēninašanās ir vērojama valstīs, kur tiek atbalstītas ģimenes plānošanas programmas. 25 % sieviešu, kas dzīvo Āfrikas valstīs Sahāras tuksneša reģionā, apgalvo, ka pagaidām vai vispār nevēlas bērnus, kaut gan tur vēl netiek praktizēta dzimstības kontrole. Līdzīgi ir Āzijā un Latīņamerikā, kur 15 % sieviešu vēlas, lai būtu dzimstības kontrole.
2. Lai mazinātu vēlmi pēc lielām ģimenēm, veicināt sabiedrības progresu. Daudzas ģimenes mazattīstītajās valstīs vēlas četrus līdz sešus bērnus, bet, paaugstinot izglītības līmeni, uzlabojot sievietes stāvokli sabiedrībā un samazinot bērnu mirstību, var likt viņām mainīt domas.
3. Palielināt vidējo vecumu, kurā sievietes sāk bērnu iznēsāšanu. Tas radītu pagaidu dzimstības samazināšanos un samazinātu populācijas pieaugumu.

Vecumstruktūru salīdzināšana

Mazattīstītajās valstīs ir liels iedzīvotāju skaita pieaugums, jo sieviešu, kurām iestājas reproduktīvais vecums, ir vairāk nekā sieviešu, kurām tas beidzas. 6.15. attēlā redzams attīstīto un mazattīstīto valstu vecumstruktūru diagrammu salīdzinājums. Kā jau iepriekš noskaidrojām, tajās var izdalīt trīs vecuma grupas – prereproduktīvo, reproduktīvo un postreproduktīvo.

Cilvēki dažkārt domā, ka, tikko katrā ģimenē ir divi bērni, iedzīvotāju skaits nepalielinās. Šādu vairošanos varētu nosaukt par **aizstājošo vairošanos**. Tomēr atkarībā no populācijas vecuma pastāv iespēja, ka iedzīvotāju skaits pieaugs. Ja kādā valstī ir vairāk jaunu sieviešu, kas sasniedz reproduktīvo vecumu, nekā to, kurām reproduktīvais vecums beidzas, iedzīvotāju skaits turpina palielināties.

Daudzās attīstītajās valstīs sadalījums pa vecuma grupām ir vienmērīgs, bet lielākajā daļā mazattīstīto valstu ir ļoti daudz cilvēku, kas ir jaunāki par 15 gadiem. Tas nozīmē, ka iedzīvotāju skaits palielināsies ļoti strauji, pat ja katrā ģimenē būs tikai divi bērni. Tomēr, jo ātrāk tiek īstenota šāda politika, jo ātrāk nostabilizēsies cilvēku populācijas lielums.



6.15. attēls. Vecumstruktūras diagrammas mazattīstītajās un attīstītajās valstīs (1989)

Diagrammas norāda, ka iedzīvotāju skaita pieaugums (**A**) attīstītajās valstīs stabilizējas, bet (**B**) mazattīstītajās valstīs strauji palielinās.

Literatūras avots: *World Population Profiles, WP-89.*

Eksponenciālā augšana izraisījusi strauju Āfrikas, Āzijas un Latīņamerikas iedzīvotāju skaita palielināšanos.

Līdzsvarota pasaule

Daudziem līdz šim ir šķitis, ka jāizvēlas vai nu ekosistēmu saglabāšana, vai cilvēka izdzīvošana. Tomēr mūsdienās netrūkst pierādījumu, ka tas tā nav. Iedzīvotāji, kas tropiskajos mežos no kaučukkokiem ievāc kaučuku, no tiem pašiem kokiem gūst ienākumus gadu no gada. Vienā no pētījumiem tika aprēķināta kaučuka un dažādu eksotisko produktu, kurus varētu nepārtraukti ievākt Amazones mežos, tirgus vērtība. Tika konstatēts, ka, pārdodot šos produktus, ienākumi būtu divreiz lielāki nekā no kokmateriāliem vai lopkopības un tas nodrošinātu iedzīvotājiem pastāvīgus ienākumus.

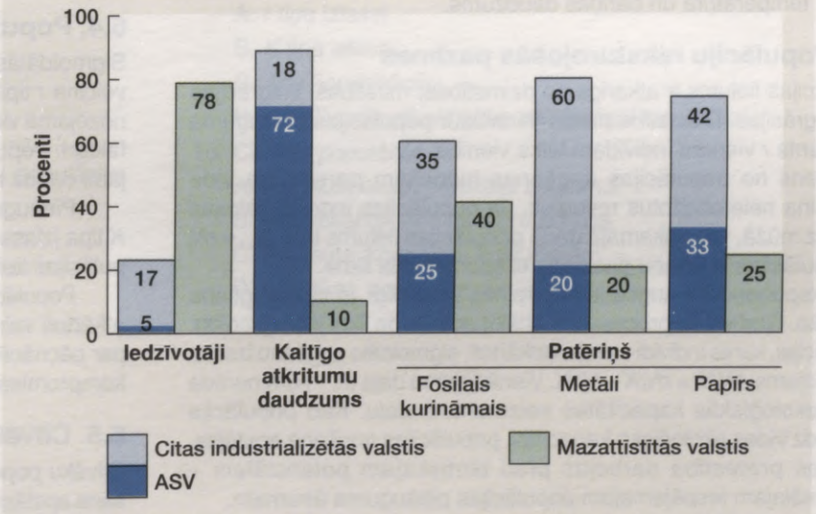
Vidi negatīvi ietekmē gan mazattīstīto valstu lielais iedzīvotāju skaits, gan arī attīstīto valstu pārmērīgā resursu izmantošana. Ietekmi uz vidi nosaka ne tikai pēc iedzīvotāju skaita, bet arī pēc piesārņojuma un resursu patēriņa uz vienu cilvēku. Viena amerikāņu ģimene patērē resursus un rada piesārņojumu apmēram tikpat daudz, cik 30 Indijas iedzīvotāji (6.16. att.).

Pirms industrializētas sabiedrības izveidošanās cilvēki bija ciešākā saistībā ar augiem un dzīvniekiem un bija no tiem atkarīgi, tāpēc viņi dzīvoja saskaņā ar vidi. Pēc industriālās revolūcijas cilvēks sevi sāka norobežot no vides un uzskatīja, ka viņam ir tiesības dabu ekspluatēt, cik vien iespējams. Tomēr industriālā sabiedrība dzīvo "uz parāda". Pilsētas resursus aizņemas ne tikai no laukiem, bet dzīvo arī uz pagātnes un nākotnes rēķina. Mūsu pašreizējo dzīvesveidu nodrošina fosilais kurināmais, kas izveidojies no karbona perioda mežiem, bet par mūsu izraisīto vides degradāciju maksās mūsu bērni.

Pārapdzīvotība un resursu patēriņš izraisa vides piesārņojuma palielināšanos un masveidīgu neskartās dabas iznīkšanu. Cilvēks pazaudēs no vienas līdz divām trešdaļām visu uz Zemes sastopamo sugu. Jebkurai no tām, iespējams, varētu būt liela nozīme lauksaimniecībā vai medicīnā. Nedrīkst teikt: "Vai šis organisms mums ir noderīgs?" Viņš vienmēr ir nozīmīgs ekosistēmai, kurā dzīvo. Bez tam neviens nevar zināt, vai pēc neilga laika šis organisms cilvēkam nekļūs ļoti noderīgs. Piemēram, pieaugušu jūrasežu skelets tiek izmantots kā veidne mākslīgu asinsvadu pagatavošanai, bet bruņneši palīdz pētīt lepru.

Ir pienācis laiks jaunai dzīves filozofijai. Līdzsvarotā pasaulē cilvēku ekonomiskās prasības jāsaskaņo ar vides aizsardzību, saglabājot vidi nākamajām paaudzēm. Dažādas organizācijas ir izveidojušas cilvēku grupas, kas pārbauda modeļus, kā līdzsvarot ekoloģiskos un ekonomiskos mērķus. Piemēram, Virdžīnijas štata dienvidrietumos organizācija *Nature Conservancy* palīdz atjaunot seno metodi meža ciršanai un izvešanai ar zirgu palīdzību. Šis paņēmiens ļauj cirst izlases veidā, aizsargā mežu un novērš augsnes eroziju. ANO visā pasaulē veicina biosfēras rezervātu attīstību. Tiek veikti pētījumi, kā palielināt cilvēku labklājību, vienlaikus aizsargājot vidi. Šajā programmā piedalās vairāk nekā 100 valstu. Tomēr visvairāk līdzsvarota attīstība ir nesavietojama ar attīstīto valstu darbības modeļiem, kas saistīti ar augstu resursu patēriņu un vides piesārņošanu.

No līdzsvarotas pasaules, kur ekonomiskā attīstība tiks saskaņota ar vides aizsardzību, labumu gūs visi cilvēki.



6.16. attēls. Resursu patēriņš mazattīstītajās un attīstītajās valstīs
Attīstītajās valstīs dzīvo mazāk cilvēku nekā mazattīstītajās valstīs, bet tiek saražots vairāk kaitīgo vielu. Tas ir tāpēc, ka lielāks ir resursu – fosilā kurināmā, metālu un papīra – patēriņš.

No *Natural Resources Defense Council* ziņojuma, 1993.

Pārskats

Mūsdienu ekoloģija sākās ar 19. gadsimta naturālistu aprakstošajiem pētījumiem. Senāk šī nozare tika definēta kā "zinātniskā dabas vēsture". Modernā ekoloģija lielā mērā ir eksperimentāla un prognozējoša zinātne.

Ekoloģijas prognostiskās iespējas lielā mērā veidojušās, pateicoties populāciju ekoloģijai un modeļu, kas apskata populācijas pārmaiņas laikā, izveidei. Vienkāršākie modeļi apraksta populācijas augšanu, pastāvot neierobežotam resursu daudzumam. Tādā gadījumā noris eksponenciālā augšana – augšanas veids, kas dabā vērojams diezgan reti. Raksturīgs piemērs ir kaitēkļu populāciju augšana, līdz tiek iztērēti resursi. Tā kā tikai nedaudzām dabiskām populācijām raksturīga eksponenciāla augšana, ekologiem modelī bija jāiekļauj resursu ierobežotība. Vienkāršākais šāds modelis ir sigmoidālā jeb loģistiskā augšana. Populācijai, kurai raksturīgs sigmoidālās augšanas veids, sasniedzot vides ekoloģisko kapacitāti, augšana tiek bremzēta.

Daudzos mūsdienu ekoloģiskajos darbos tiek pētīti faktori, kas ierobežo populāciju augšanu un nosaka vides ekoloģisko kapacitāti. Sīku, aprakstošu pētījumu, dabā veiktu eksperimentu un sarežģītu modeļu apvienojums ekologiem ļauj paredzēt faktorus, kas visvairāk ietekmē populācijas augšanu. Raksturīgs piemērs ir mazā salnas sprīžmeša populācijas pētījumi.

Nākamais solis modernās ekoloģijas attīstībā ir saistīts ar mēģinājumiem noskaidrot, kā dažādu sugu populācijas ietekmē cita citu. Šo ekoloģijas nozari var nosaukt par biocenožu ekoloģiju. Tā kā katra biocenozes populācija atšķirīgi reaģē uz vides pārmaiņām, tad biocenozi aprakstošu prognozējošu modeļu izveide ir sarežģīta. Tomēr ekologi ir sākuši prognozēt biocenožu attīstību laikā un noskaidrot faktorus, kas ietekmē biocenozes īpašības, piemēram, sugu skaitu, indivīdu daudzumu un sugu mijiedarbību.

Kopsavilkums

6.1. Ekoloģisko pētījumu virzieni

Ekoloģija ir mācība par organismu attiecībām ar citiem organismiem un vidi. Ekoloģija ietver vairākus pētījumu līmeņus; tie ir organisma, populācijas, biocenozes, ekosistēmas un biosfēras līmenis. Ekologus īpaši interesē, kā mijiedarbība ietekmē organismu izplatību un daudzumu.

Populācijas blīvums ir indivīdu skaits vienā laukuma vai tilpuma vienībā. Indivīdu izvietojums var būt vienmērīgs, nejaušs vai grupveida. Populācijas izvietojumu bieži nosaka limitējošie faktori, piemēram, ūdens, temperatūra un barības daudzums.

6.2. Populāciju raksturojošās pazīmes

Populācijas lielums ir atkarīgs no dzimstības, mirstības, imigrācijas un emigrācijas. Dzimstība mīnus mirstība ir populācijas pieauguma koeficients r vienam indivīdam laika vienībā.

Viens no populācijas augšanas modeļiem paredz, ka vide nodrošina neierobežotus resursus. Ja populācijas indivīdi vairojas vienreiz mūžā, tad nākamajā gadā populācijas lielums būs $N_{t+1} = rN_t$ un populācijas augšanu aprakstīs eksponenciāla līkne.

Eksponenciālā augšana neturpinās bezgalīgi, jo vide augšanu ierobežo. Grafiski šo procesu var attēlot ar S veida līkni jeb sigmoīdu. Populācijai, kuras indivīdi vairojas atkārtoti, sigmoidālo augšanu izsaka vienādojums $dN/dt = rN(K - N)/K$. Vienādojuma daļa $(K - N)/K$ norāda vides ekoloģiskās kapacitātes neizmantoto daļu. Kad populācija sasniedz vides ekoloģisko kapacitāti, populācijas augšana apstājas, jo vides pretestība darbojas pretī biotiskajam potenciālam – maksimālajam iespējamajam populācijas pieauguma ātrumam.

Vienas populācijas indivīdi var būt dažādos dzīves cikla posmos. Mirstību populācijā var ierakstīt izdzīvošanas tabulā un raksturot ar izdzīvotības līkni. Populācijas augšanas modelis nosaka populācijas vecumstruktūru. Atkarībā no indivīdu vecuma izšķir trīs grupas – prereproduktīvo, reproduktīvo un postreproduktīvo vecuma grupu. Eksponenciāli augošai populācijai raksturīga piramīdas formas vecumstruktūras diagramma.

6.3. Populācijas lieluma regulācija

Populācijas augšanu limitē no blīvuma neatkarīgi (klimats) un no blīvuma atkarīgi (plēsonība, konkurence un resursu pieejamība) faktori. Dažu populāciju augšanu regulē ne tikai minētie ārējie faktori, bet arī iekšējie faktori. Varbūtējo iekšējo populācijas augšanas regulācijas mehānismu piemērs ir teritorialitāte.

6.4. Populācijas attīstības modeļi

Sigmoidālās augšanas modelis vedina domāt, ka vides ietekme veicina r tipa vai K tipa izlasi. Tā dēvētā r tipa izlase notiek neprognozējamā vidē, kur populācijas lielumu ietekmē no blīvuma neatkarīgi faktori. Populācijai pieejamā enerģija tiek izmantota, lai radītu iespējami daudz neliela izmēra pēcnācējus.

Pieaugušie organismi ir nelieli un nerūpējas par pēcnācējiem. K tipa izlase norit vidē, kura ir relatīvi stabila, un noteicošā loma populācijas lieluma regulācijā ir no blīvuma atkarīgiem faktoriem.

Populācijai pieejamā enerģija tiek izmantota, lai izdzīvotu un spētu atkārtoti vairoties. Pieauguši organismi ir relatīvi lieli un viņi rūpējas par pēcnācējiem. Vairumam populāciju attīstības modeļi veidojušies kompromisa rezultātā starp abiem izlases veidiem.

6.5. Cilvēku populācijas augšana

Cilvēku populācija aug eksponenciāli, un nav zināms, kad tās augšana apstāsies. Visstraujāk iedzīvotāju skaits palielinās Āfrikas, Āzijas un Latīņamerikas mazattīstītajās valstīs. Sagaidāmo pieaugumu varētu palīdzēt samazināt ģimenes plānošana un sabiedrības attīstība.

Pārbaudiet sevi

1. Kādi ir ekoloģisko pētījumu virzieni? 102. lpp.
2. Kas ir populācijas blīvums? Kādas kļūdas var rasties, ja pētījumus veic, pamatojoties tikai uz vidējo organismu skaitu teritorijas vienībā? 103. lpp.
3. Kādi četri parametri nosaka populācijas dinamiku? 104. lpp.
4. Kāda augšanas līkne raksturo eksponenciālo augšanu? Kādi vides apstākļi veicina eksponenciālo augšanu? 105. lpp.
5. Kāda augšanas līkne norāda, ka biotiskajam potenciālam tiek pretstatīta vides pretestība? Kādi vides faktori ir saistīti ar vides pretestību? 106.–107. lpp.
6. Kas ir vides ekoloģiskā kapacitāte? 107. lpp.
7. Kas ir izdzīvotības tabula? Kādi ir trīs galvenie izdzīvotības līkņu tipi? 108.–109. lpp.
8. Kā pētāmo populāciju raksturo vecumstruktūras diagramma? 109. lpp.
9. Vai dabisko populāciju augšana atbilst eksponenciālās vai sigmoidālās augšanas modelim? Paskaidrojiet, kāpēc! 110. lpp.
10. Paskaidrojiet, kāpēc dažu populāciju lielumu varētu regulēt iekšējie faktori! 111. lpp.
11. Vai dabiskās populācijas laika gaitā mainās un ir pakļautas gan *r* tipa izlasei, gan *K* tipa izlasei? 114.–115. lpp.
12. Kāda tipa augšanas līkne raksturo cilvēku populācijas augšanu? Kurās valstīs ir visstraujākais cilvēku populācijas pieaugums, un kā to varētu ierobežot? 117.–118. lpp.

Tests

Izvēlies vienu pareizo atbildi uz katru jautājumu!

1. Kuri no šiem ekoloģisko pētījumu līmeņiem ietver gan abiotiskos, gan biotiskos faktorus?
   A. Organisma
   B. Populācijas
   C. Biocenozes
   D. Ekosistēmas
2. Ja ūdens biocenozē ir fosfors, strauji attīstās aļģu populācija. Kāds faktors ir fosfors?
   A. No blīvuma atkarīgs regulējošs faktors
   B. Reproduktīvais faktors
   C. Limitējošais faktors
   D. Visas atbildes ir pareizas
3. Ar ko ir saistīta *J* veida augšanas līkne?
   A. Eksponenciālo augšanu
   B. Biotisko potenciālu
   C. Vides pretestības trūkumu
   D. Visas atbildes ir pareizas
4. Kad ir vērojama S veida augšanas līkne?
   A. Ja nedarbojas vides pretestība
   B. Eksponenciālās augšanas fāzē
   C. Dabiskajām, bet ne laboratorijas populācijām
   D. Visas atbildes ir pareizas
5. Ja populācijai ir raksturīga izliekta tipa izdzīvotības līkne (vairums īpatņu nodzīvo visu dzīves ciklu), kas populācijai vēl būs raksturīgs?
   A. Pieaudzis indivīds vairojas vienu reizi
   B. Paaudžu pārklāšanās
   C. Vairošanās notiek tuvu dzīves cikla beigām
   D. Neviena atbilde nav pareiza
6. Ko norāda piramīdas formas vecumstruktūras diagramma?
   A. Ka lielāka ir prereproduktīvā vecuma grupa
   B. Ka populācija turpmāk palielināsies
   C. Ka valsts drīzāk ir mazattīstīta nekā attīstīta
   D. Visas atbildes ir pareizas
7. Kurš ir no populācijas blīvuma neatkarīgs faktors?
   A. Konkurence
   B. Plēsonība
   C. Klimats
   D. Resursu daudzums
8. Ar kādām pārmaiņām var korelēt populācijas lieluma fluktuācijas?
   A. Plēsonību
   B. Klimatu
   C. Resursu pieejamību
   D. Visas atbildes ir pareizas
9. Sugas, kurām raksturīga īpatņu atkārtota vairošanās, indivīdi dzīvo ilgi. Kāda tipa izlasei ir pakļautas sugas, kuras vairojas vienreiz un kuru pēcnācēju izdzīvotība ir stipri atkarīga no vides apstākļiem?
   A. *r* tipa izlasei
   B. *K* tipa izlasei
   C. Abu kombinācijai
   D. No blīvuma atkarīgai un neatkarīgai regulācijai
10. Cilvēku populācija
    A. Pakļauta eksponenciālai augšanai
    B. Nav atkarīga no vides pretestības
    C. Pakļauta ikgadējām fluktuācijām
    D. Aug tikai, notiekot emigrācijai

Papildjautājumi

1. *Populācijas lielums tiek regulēts.*
   Paskaidrojiet, kā sigmoidālās augšanas modelis nosaka populācijas lieluma pārmaiņas!
2. *Populāciju īpatņi dzīves laikā var vairoties vienreiz vai atkārtoti.*
   Populācijas, kuru indivīdi vairojas atkārtoti, enerģiju izmanto, gan lai izdzīvotu, gan vairotos. Kāpēc tā ir veiksmīga stratēģija?
3. *Cilvēku populācija ir pakļauta vides pretestības iedarbībai.*
   Miniet piemērus, kas parāda, ka cilvēku populācija ir atkarīga no vides regulējošās iedarbības!

Multimediju izmantošana

Tēmu par populāciju ekoloģiju palīdzēs apgūt šādi multimediji.



Interneta izmantošana

Šo nodaļu jums palīdzēs apgūt Maderas mājas lapa

http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader
(izvēlieties bioloģiju)

Jēdzienu izpratne

Aizstājošā vairošanās 118. lpp.
Attīstītās valstis 117. lpp.
Biocenoze 102. lpp.
Biosfēra 102. lpp.
Biotiskais potenciāls 105. lpp.
Biotops 102. lpp.
Demogrāfiskais pārejas periods 117. lpp.
Divkāršošanās laiks 117. lpp.
Ekoloģija 102. lpp.
Ekosistēma 102. lpp.
Eksponenciālā augšana 105. lpp.
Izdzīvotība 108. lpp.
Kohorta 108. lpp.
K tipa izlase 114. lpp.
Limitējošie faktori 103. lpp.
Līdzsvarotā pasaule 119. lpp.
Mazattīstītās valstis 117. lpp.
Populācija 102. lpp.
Populācijas blīvums 103. lpp.
Populācijas lielums 104. lpp.
Populācijas pieauguma koeficients 104. lpp.
r tipa izlase 114. lpp.
Sigmoidālā augšana 106. lpp.
Teritoriālā struktūra 103. lpp.
Vecumstruktūras diagramma 109. lpp.
Vides ekoloģiskā kapacitāte 106. lpp.
Vides pretestība 105. lpp.

Atrodiet definīcijām atbilstošos jēdzienus!

A. _____ – industrializācijas ietekmē pēc mirstības samazināšanās seko arī dzimstības samazināšanās un populācijas pieauguma koeficients kļūst mazāks.
B. _____ – vienas sugas organismu grupa, kura apdzīvo noteiktu teritoriju un kurai ir kopējs genofonds.
C. _____ – populācijas augšana, kurai raksturīga indivīdu skaita palielināšanās līdz ar mātīšu skaita pieaugumu.
D. _____ – lielākais konkrētas sugas organismu skaits, ko var uzturēt konkrētā vide.
E. _____ – maksimālais populācijas pieauguma koeficients ideālos apstākļos.
F. _____ – populācijas atražošanās veids, kad katram cilvēkam ir viens pēcnācējs.
G. _____ – indivīdu skaita atspoguļojums katrā vecuma grupā.
H. _____ – vairošanās veids, kam raksturīgs liels pēcnācēju skaits un īss īpatņu dzīves cikls.
I. _____ – vides faktoru kopums, kas ierobežo populācijas īpatņu skaita palielināšanos.
J. _____ – vide, kas nodrošina iedzīvotāju ekonomiskās vajadzības, vienlaikus aizsargājot dabu.

Biocenožu ekoloģija

7. NODAĻA

Nodaļas saturs

7.1. Kas ir biocenoze?

- Biocenozes ir savstarpējā mijiedarbībā esošu un pēc sugu sastāva un daudzveidības atšķirīgu populāciju kopums. 124. lpp.
- Biocenozes sugu sastāvu un daudzveidību ietekmē vides faktori. 125. lpp.

7.2. Biocenožu struktūra

- Biocenozes struktūra saistīta ar dažādu sugu savstarpējām attiecībām, piemēram, konkurenci, plēsonību, parazītismu un mutuālismu. 127. lpp.
- Ekoloģiskā niša ir organisma funkcionālā vieta biocenozē; to nosaka gan biotops, gan mijiedarbība ar citiem organismiem. 127. lpp.
- Konkurence izraisa ekoloģisko specializēšanos, kas samazina starpsugu konkurenci. 128. lpp.
- Plēsonības rezultātā samazinās ne tikai upura, bet arī plēsoņas populācijas lielums. 130. lpp.
- Dabā vērojami dažādi upuru aizsardzības mehānismi, piemēram, mīmikrija. 132. lpp.
- Simbioze ietver parazītismu, komensālismu un mutuālismu. 134. lpp.

7.3. Biocenozes struktūras pārmaiņas laika gaitā

- Ekoloģiskā sukcesija ir sugu sastāva un biocenozes struktūras pārmaiņas laika gaitā. 138. lpp.

7.4. Kā palielināt biocenozes daudzveidību

- Vidējo traucējumu hipotēze paredz, ka sugu neviendabīgums ar sugu mozaīkveida izvietojumu palielina bioloģisko daudzveidību. 140. lpp.
- Bioloģisko daudzveidību var uzturēt plēsonība un konkurence. Par piemēru var minēt salu bioģeogrāfiju. 141. lpp.



Prēriju biocenozē savstarpējas attiecības pastāv starp koijotiem *(Canis latrans)* un Amerikas āpšiem *(Taxidea taxus)*.

Lai sekmīgāk medītu prērijsuņus, koijoti un Amerikas āpši bieži vien apvienojas. Mūkot no koijotiem, prērijsuņi cenšas slēpties alās, bet tur viņus medī āpši. Savukārt no alas izmukušie prērijsuņi kļūst par koijotu laupījumu. Koijoti tādā veidā ietaupa laiku un enerģiju, kas nepieciešama, lai pielavītos medījumam. Dažkārt pētnieki ir novērojuši, ka koijots ar visdažādākajiem paņēmieniem mēģina aizvilināt āpsi uz labāku medību vietu. Šis piemērs parāda vienas biocenozes divu dažādu sugu mijiedarbību. (Biocenoze ir vienas teritorijas populāciju kopums.)

Starp vienas biocenozes sugām ir iespējamas dažādas savstarpējās attiecības jeb mijiedarbības veidi. Vienas sugas organismi citas sugas organismus var medīt, tajos parazitēt vai sadarboties. Bieži vien mijiedarbība nav izteikti pozitīva vai negatīva, piemēram, koijoti dažkārt medī jaunos āpšus. Šajā nodaļā tiek aplūkoti savstarpējo attiecību veidi, tiek parādīts, kā noteikt sugu izplatību un daudzveidību biocenozē. Tiek noskaidrots, ka biocenozes laika gaitā mainās un ka vidēja lieluma traucējumi palielina to daudzveidību, bet lieli traucējumi var izjaukt biocenozes struktūru.

7.1. Kas ir biocenoze?

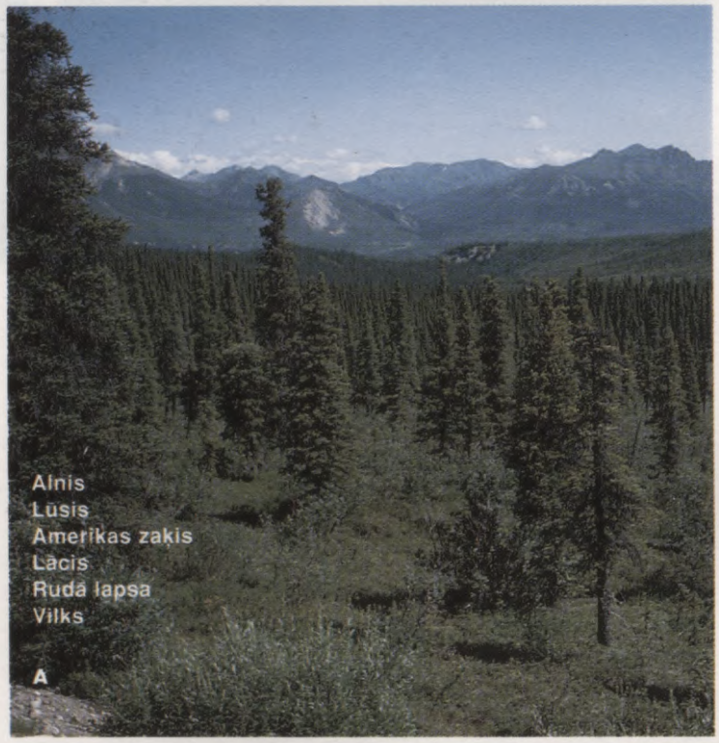
Populācijas nepastāv vienas pašas – tās ir daļa no biocenozes. **Biocenoze** ir savstarpējā mijiedarbībā esošu un vienā vidē mītošu populāciju kopums. Biocenozēm ir ļoti dažāds lielums. Dažkārt ir grūti noteikt, kur viena sākas un cita beidzas. Nokritis koks var tikt uzskatīts par atsevišķu biocenozi, jo tajā ir daudz populāciju, kas savstarpēji mijiedarbojas. Sēnes noārda koksni un nodrošina barību daudziem te mītošiem bezmugurkaulniekiem. Viņi ēd arī cits citu. Tomēr ļoti iespējams, ka trūdošajā koksnē mītošos kukaiņus un tārpus apēd kāds putns, kas lido mežā. Tas liecina, ka šo nokritušo koku apdzīvojošie organismi ir meža biocenozes daļa. Un kur beidzas mežs? Vai tas pakāpeniski nesaplūst ar teritoriju, kas atrodas tam apkārt? Acīmredzot jebkuras biocenozes robežas zināmā mērā ir nosacītas.

Šajā nodaļā tiek aplūkoti dažādi organismu savstarpējo attiecību veidi un to nozīme biocenozes struktūras veidošanā. Šīs attiecības parāda, kā izlases spiediens uz īpatņiem ietekmē sugu evolūciju. Tas ļauj saprast, kā tiek saglabāta dzīvo organismu daudzveidība.

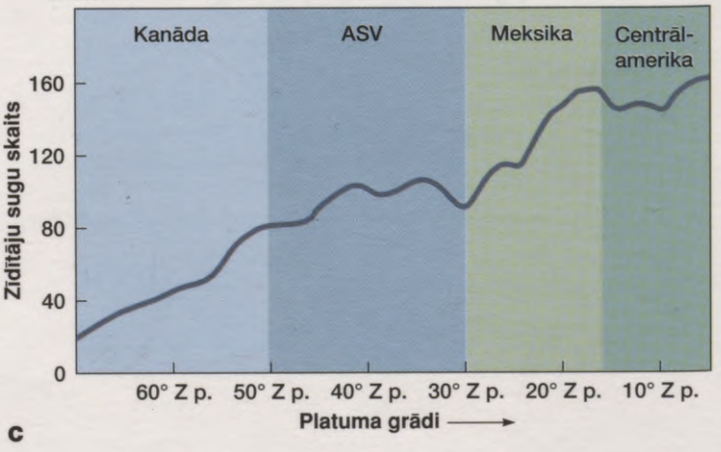
Biocenozes sastāvs un daudzveidība

Biocenozes var salīdzināt, izmantojot divus parametrus – biocenozes sugu sastāvu un daudzveidību jeb diversitāti. Lai saprastu, kā biocenozes funkcionē, tā ir jāpēta. Biocenozes sugu sastāvu uzzina, saskaitot sugas biocenozē. Savukārt daudzveidība ietver gan sugu skaitu, gan dažādu sugu indivīdu daudzumu.

Aplūkojot 7.1. attēlu, uzreiz var pateikt, ka skujkoku mežs pēc sugu sastāva atšķiras no tropiskā meža. Skujkoku mežā aug mūžzaļie skujoki, bet tropiskajā mežā galvenokārt dominē mūžzaļie platlapji. Arī attēlos minēto dzīvnieku nosaukumi liecina, ka katrā no šīm biocenozēm mīt dažādu sugu zīdītāji.





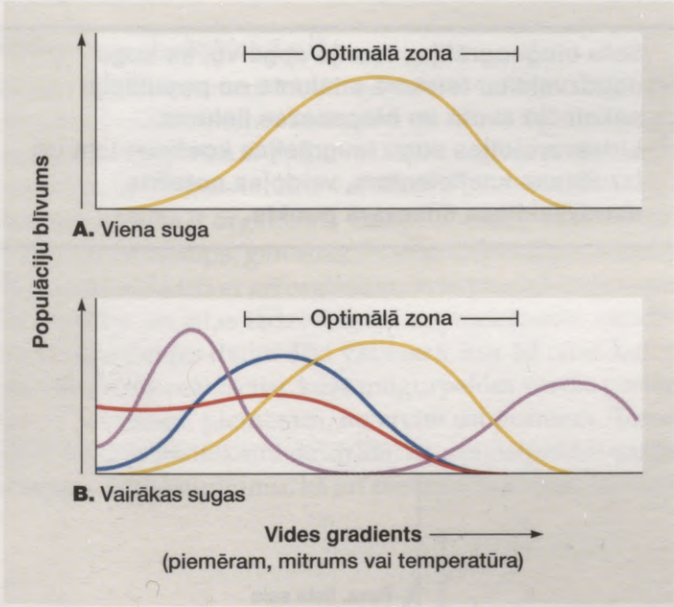


7.1. attēls. Biocenozes struktūra
Biocenozes atšķiras pēc sugu sastāva. Par to liecina dominējošie augi un dzīvnieki. Biocenozes daudzveidību raksturo sugu bagātība un relatīvais dažādu sugu īpatņu daudzums. **A.** Skujkoku mežs. Minēti daži zīdītāji, kas mīt šajā mežā. **B.** Tropiskais mežs. Minēti daži zīdītāji, kas te mīt. **C.** Jo tuvāk ekvatoram, jo lielāka ir sugu daudzveidība.

Tikai tad, kad ir noskaidrots sugu sastāvs, var sākt novērtēt arī daudzveidību, jo tā ietver gan sugu skaitu, gan katras sugas īpatņu daudzumu. Aplūkosim šādu piemēru. ASV Virdžīnijas štata rietumos mežā starp dažādu sugu kokiem ir 76 tulpjukoki un tikai viena Amerikas goba. Pastaigājoties šajā mežā, diez vai pamanīsim Amerikas gobu. Bet, ja mežā būtu 36 tulpjukoki un 41 Amerikas goba, tad mežs liktos daudzveidīgāks un patiesi tāds arī būtu. Jo lielāka daudzveidība, jo lielāks būs sugu skaits un sugu izplatība būs vienmērīgāka.

Sugu sastāva un daudzveidības modeļi

Rodas jautājums, kādi faktori nosaka dažādu populāciju atrašanos vienlaikus vienā un tajā pašā vietā. 7.1. attēlā C redzam, ka virzienā no pola uz ekvatoru sugu skaits biocenozē palielinās. Kā zināms, pie ekvatora klimats ir siltāks un mitrāks. Vai biocenozes sugu sastāvu nosaka abiotiskie faktori? Sugas izplatība ir atkarīga no tās spējas pielāgoties vides abiotiskajiem faktoriem, piemēram, apgaismojumam, ūdens daudzumam, sāļumam utt. Sugas spēju izdzīvot un vairoties noteiktu abiotisku faktoru ietekmē var attēlot grafiski. Veidojas zvanveida līkne, kas parāda sugas ekoloģisko valenci attiecībā pret doto abiotisko faktoru (7.2. att. A). 7.2. attēlā B redzams, ka dažādas sugas var dzīvot vienkopus, jo viņu ekoloģiskās valences pārklājas.



7.2. attēls. Sugu daudzums biocenozē
Individuālistiskā hipotēze nosaka, ka sugas izplatība ir atkarīga no tās attieksmes pret abiotiskajiem faktoriem (**A**) un ka biocenozes ir to sugu kopums, kuras attiecīgo teritoriju ieņēmušas, tādēļ, ka tām ir līdzīga attieksme pret abiotiskajiem faktoriem (**B**).

Šādu viedokli 20. gadsimtā izvirzīja H. Glisons. Tas tiek saukts par individuālo biocenozes struktūras modeli, jo apgalvo, ka jebkura populācija biocenozē ir tāpēc, ka dotais biotops izpilda tās abiotiskās prasības. Individuālais biocenozes struktūras modelis paredz, ka ikvienai sugai ir neatkarīgs izvietojums un biocenožu robežas nav stingri noteiktas.

Daudzus gadus vairākums ekologu atbalstīja interaktīvo biocenozes struktūras modeli, ko 20. gadsimta sākumā izstrādāja F. Klementss. Biocenozi viņš uzskatīja par augstāku organizācijas līmeni nekā populācija. Tāpat kā organisma daļas ir atkarīgas cita no citas, tā sugas ir atkarīgas no savstarpējās mijiedarbības, piemēram, barošanās attiecībām. Līdzīgi kā organisms, arī biocenoze paliek stabila, pateicoties homeostatiskiem mehānismiem. Šī teorija paredz, ka vienas un tās pašas sugas ieviesīsies arī tajās biocenozēs, kuras neatrodas blakus.

Mūsdienu ekologu ievāktie dati atbilst individuālajam biocenozes struktūras modelim. Piemēram, F. Talbots ar līdzstrādniekiem uzbūvēja mākslīgus vienāda izmēra betona rifus un novietoja tos tropiskā lagūnā dažu metru attālumā citu no cita. Mākslīgos rifus pavisam kolonizēja 42 sugu zivis; no tām tikai 32 % sugu bija sastopamas abos rifos. Turklāt F. Talbots konstatēja, ka pastāv ļoti liela sugu mainība un mēneša laikā nomainās aptuveni 20–40 % sugu. Tāpēc šķiet, ka sugu sastāvs ir atkarīgs arī no migrācijas iespējām. Tomēr mēs zinām, ka dzīvnieki labprātāk apmetīsies tur, kur atradīs ierasto barību. Piemēram, koalas pārtiek no eikaliptu lapām un ir sastopami tikai tur, kur šie augi aug. Visticamāk, ka biocenozes struktūra ir atkarīga gan no abiotiskajiem, gan no biotiskajiem faktoriem.

Biocenozes sugu sastāvs, visticamāk, ir atkarīgs gan no abiotiskajiem (klimats, neorganiskās barības vielas), gan no biotiskajiem (barībā izmantojamie organismi) faktoriem.

Salu bioģeogrāfija

Vai lielā koraļļu rifā būs vairāk sugu nekā mazā? Jā, jo biocenozes aizņemtās teritorijas lielums var ievērojami ietekmēt tās daudzveidību. Amerikāņu ekologi R. Makarturs un E. Vilsons izveidoja salu bioģeogrāfijas teoriju, kas izskaidro un prognozē, kā salas lielums un attālums līdz kontinentam ietekmē biocenozes daudzveidību.

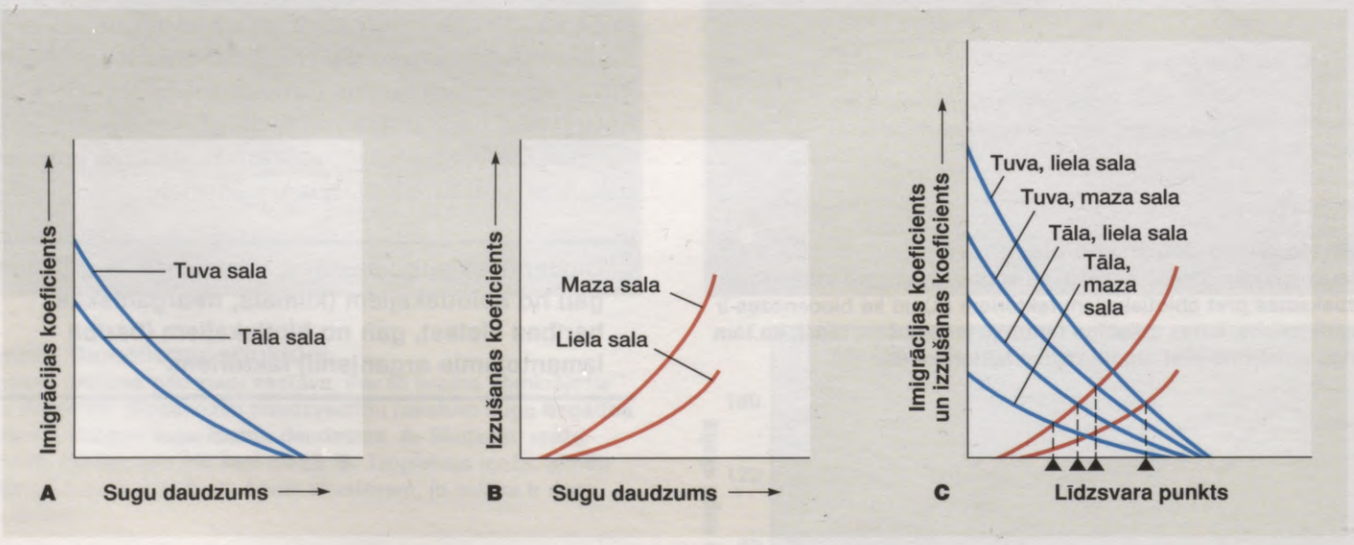
Aplūkosim divas jaunas salas, kur vēl nav attīstījusies dzīvība. Viena no tām atrodas tuvu kontinentam, bet otra – tālu no tā. Kurā no tām nonāks vairāk imigrantu sugu no kontinenta? Acīmredzot tuvākajā, jo imigrantu sugām to vieglāk sasniegt (7.3. att. A).

Aplūkosim divas pēc lieluma dažādas salas. Kurā no tām varēs uzturēties vairāk sugu? Protams, lielākajā, jo lielāks resursu daudzums varēs nodrošināt vairāk populāciju (7.3. att. B). R. Makarturs un E. Vilsons daudzveidību pētīja dažādos arhipelāgos, piemēram, Karību jūras salās, un konstatēja, ka sugu daudzums pozitīvi korelē ar salas izmēriem. Dabas aizsardzības speciālisti atzīmē, ka salu bioģeogrāfija attiecināma arī uz aizsargājamām teritorijām, jo tās, tāpat kā salas, apņem ūdens, apņem fermas, ciemi un pilsētas. Šī teorija liecina – jo lielāka ir aizsargājamā teritorija, jo lielākas ir izredzes aizsargāt vairāk sugu.

Vai ir iespējams palielināt sugu daudzumu, nepalielinot tām pieejamo teritoriju? Telpiskās heterogenitātes modelis paredz, ka neviendabīgā vidē ar daudziem dažādiem biotopiem būs lielāka daudzveidība. Arī savā dārzā varam radīt daudzveidīgus mikrobiotopus, kas pievilinātu tauriņus un putnus. Viens paņēmiens, kā palielināt daudzveidību, ir vairāku stāvu izveide. Tāpat kā daudzstāvu nami ļauj vienā teritorijā dzīvot daudzām ģimenēm, tā arī biocenozes sadalījums pa stāviem ļauj te dzīvot daudzām jo daudzām sugām. Viens no iemesliem, kāpēc tropiskajā mežā ir lielāka sugu daudzveidība nekā skujkoku mežā, ir tieši meža sadalījums daudzos stāvos.

Tomēr telpas ierobežotība nozīmē, ka jābūt kādam punktam, virs kura biocenozes daudzveidība vairs nepieaug. 7.3. attēlā C redzams, ka visu četru tipu salām (tuva un liela, tuva un maza, tāla un liela, tāla un maza) ir noteikts līdzsvara punkts. Visaugstākais tas ir lielai salai, kas ir tuvu kontinentam. Līdzsvara punkts tiek sasniegts, kad sugu imigrācijas koeficients līdzsvarojas ar sugu izzušanas koeficientu. Līdzsvars var būt dinamisks (jaunas sugas ierodas un iepriekšējās izzūd). Var arī gadīties, ka biocenozē, ja vien tā netiek traucēta, sugu sastāvs paliek nemainīgs. Šajā nodaļā aplūkotos jautājumus vēlāk izskatīsim vēlreiz.

Salu bioģeogrāfijas teorija apgalvo, ka sugu daudzveidību ietekmē attālums no populāciju sākotnējā avota un biocenozes lielums. Līdzsvarojoties sugu imigrācijas koeficientam un izzušanas koeficientam, veidojas noteikts daudzveidības līdzsvara punkts.



7.3. attēls. Salu bioģeogrāfijas teorija

A. Salai, kas atrodas tuvāk kontinentam, ir lielāks sugu imigrācijas koeficients nekā salai, kas atrodas tālāk. **B.** Mazai salai ir lielāks sugu izzušanas koeficients nekā lielai salai. **C.** Sugu imigrācijas un izzušanas līdzsvars četriem salu tipiem. Lielai salai, kas ir tuvu kontinentam, daudzveidības līdzsvara punktā būs visvairāk sugu.

7.2. Biocenožu struktūra

Konkurence par resursiem, attiecības starp plēsoņu un upuri, parazītu un saimnieku, kā arī citi savstarpējo attiecību veidi apvieno sugas vienotā, dinamiskā populāciju sistēmā (7.1. tabula). Divu sugu konkurence par ierobežotiem resursiem negatīvi ietekmē abu sugu indivīdu daudzumu. Plēsonības gadījumā viens dzīvnieks (plēsoņa) apēd otru (upuri), bet parazītisma gadījumā viens indivīds (parazīts) iegūst barības vielas no otra (saimnieka). Plēsonība un parazītisms nosaka plēsoņu vai parazītu populācijas palielināšanos uz upura vai saimnieka populāciju rēķina. Komensālisms nozīmē, ka viena suga gūst labumu, bet otra organisma attieksme ir neitrāla. Komensālisms bieži vērojams tad, ja viena suga otrai nodrošina mājvietu vai pārvietošanās iespējas. Mutuālisma gadījumā divas sugas gūst labumu viena no otras. 7.1. tabulā (+) zīme tiek lietota, ja mijiedarbības rezultātā organisms gūst labumu, bet (–) zīme, – ja tam tiek kaitēts. Tabulā parādītas mijiedarbības radītās populāciju izmaiņas.

7.1. tabula

Sugu savstarpējās attiecības

Attiecības	Sagaidāmais rezultāts
Plēsonība (+ –)	Plēsoņu daudzums palielinās, bet upuru – samazinās
Simbiotiskās attiecības	
Parazītisms (+ –)	Abu sugu īpatņu daudzums samazinās
Konkurence (– –)	Abu sugu īpatņu daudzums samazinās
Komensālisms (+ 0)	Vienas sugas īpatņu daudzums palielinās, bet otras – nemainās
Mutuālisms (+ +)	Abu sugu īpatņu daudzums palielinās

Biotops un ekoloģiskā niša

Ikviena suga biocenozē ieņem noteiktu vietu gan telpiskā, gan funkcionālā nozīmē. **Biotops** ir tā vides daļa, kur organisms mīt. Organisma apdzīvotais biotops var būt meža zemsedze, ātri tekošs strauts vai okeāna piekraste (7.4. att.). **Ekoloģiskā niša** ir organisma vieta biocenozē atkarībā gan no apdzīvotā biotopa, gan attiecībām ar citiem organismiem. Ekoloģiskā niša ietver arī organismam nepieciešamos resursus – barību un citas izdzīvošanai nepieciešamās vajadzības. Mugurpeldes dzīvo dīķī vai ezerā, kur ēd citus kukaiņus. Dīķī jābūt veģetācijai, kurā mugurpeldes varētu paslēpties no plēsējiem, piemēram, no zivīm un putniem. Tomēr ūdenim jābūt pietiekami dzidram, lai mugurpeldes varētu ieraudzīt savu laupījumu, kā arī pietiekami siltam, lai viņas varētu aktīvi pārvietoties. Ir ļoti grūti izpētīt visus faktorus, kas ļauj organismiem aizņemt vienu vai otru ekoloģisko nišu, tāpēc uzmanība tiek vērsta uz noteiktiem faktoriem, kā tas parādīts 7.4. attēlā redzamajā piemērā.

Organisma ieņemto ekoloģisko nišu ietekmē gan abiotiskie faktori (klimats, vide), gan biotiskie faktori (konkurenti, parazīti un plēsoņas, kas sastopami tajā pašā vidē). Tāpēc ekologi ekoloģiskās nišas iedala fundamentālajās un realizācijas ekoloģiskajās nišās. Fundamentālā ekoloģiskā niša ietver visus apstākļus, kuros organisms potenciāli var izdzīvot. Realizācijas ekoloģiskā niša ir to apstākļu kopums, kuros organisms reāli ir sastopams.

Biotops ir vieta, kur organisms dzīvo. Ekoloģiskā niša ir organisma funkcionālā vieta biocenozē – atkarībā gan no vietas biotopā, gan attiecībām ar citiem organismiem.



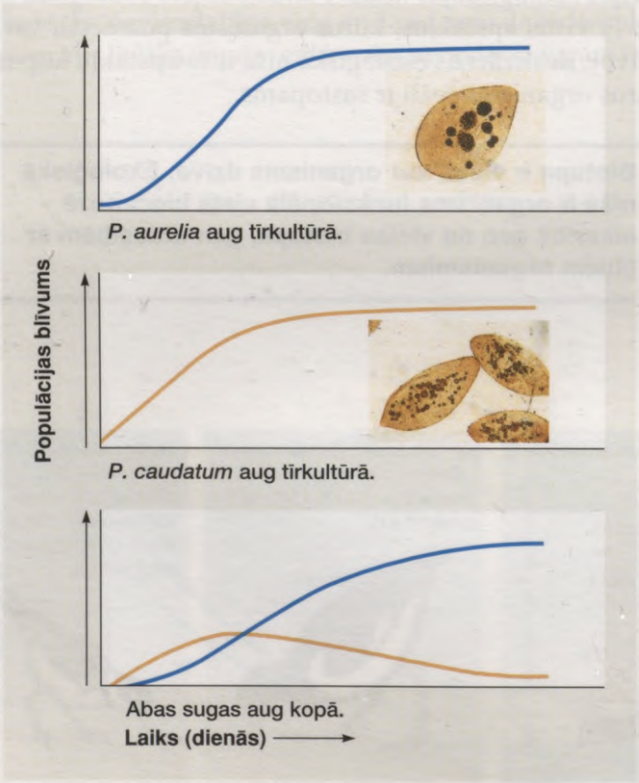
7.4. attēls. Bridējputnu ekoloģiskā niša atkarībā no barošanās iespējām

Dziļākā ūdenī barību no ūdens izfiltrē flamingi; nedaudz seklākās vietās ienirstot barojas nirējpīles; avozetas barojas, sameklējot barību ar garo knābi. Jūrasžagatas un tārtiņi īso kāju dēļ uzturas tikai ļoti seklās vietās.

Konkurence starp populācijām

Starpsugu konkurence sugām rodas, ja dažādu sugu pārstāvjiem jāizmanto ierobežoti resursi (gaisma, dzīvesvieta vai barība). Ja resursu daudzums nav ierobežots, nav arī konkurences. 20. gadsimta 20. gados tika izstrādāts matemātisks modelis, kas prognozēja, ka konkurences dēļ viena no sugām dominēs, bet otra pamazām tiks izspiesta. Vēlāk to apliecināja G. Gauzes eksperimenti. Traukā ar noteiktu baktēriju daudzumu viņš audzēja divu sugu vienšūņus – tupelītes *Paramecium*, kas ar tām barojās. Augot atsevišķi, izdzīvoja abas populācijas, bet, atrodoties kopā vienā traukā, – tikai viena (7.5. att.). Tai *Paramecium* populācijai, kas izdzīvoja, bija augstāks biotiskais potenciāls. Pamatojoties uz šā un citu līdzīgu eksperimentu rezultātiem, ekologi formulēja **konkurentās izslēgšanas principu** (Gauzes princips), kas apgalvo, ka divas sugas vienlaikus nevar ieņemt vienu un to pašu ekoloģisko nišu.

Vai tajā gadījumā, kad katra suga ieņem savu ekoloģisko nišu, izdzīvo abas sugas? Veicot citu eksperimentu, G. Gauze konstatēja, ka divas *Paramecium* sugas spēj izdzīvot vienā traukā, ja viena suga barojas ar baktērijām trauka dibena nogulsnēs, bet otra – ar baktērijām šķidumā. Šajos apstākļos **ekoloģiskā specializēšanās** samazina konkurenci starp divām sugām. Tā, specializējoties sugu uzvedībai, viena ekoloģiskā niša sadalās divās.

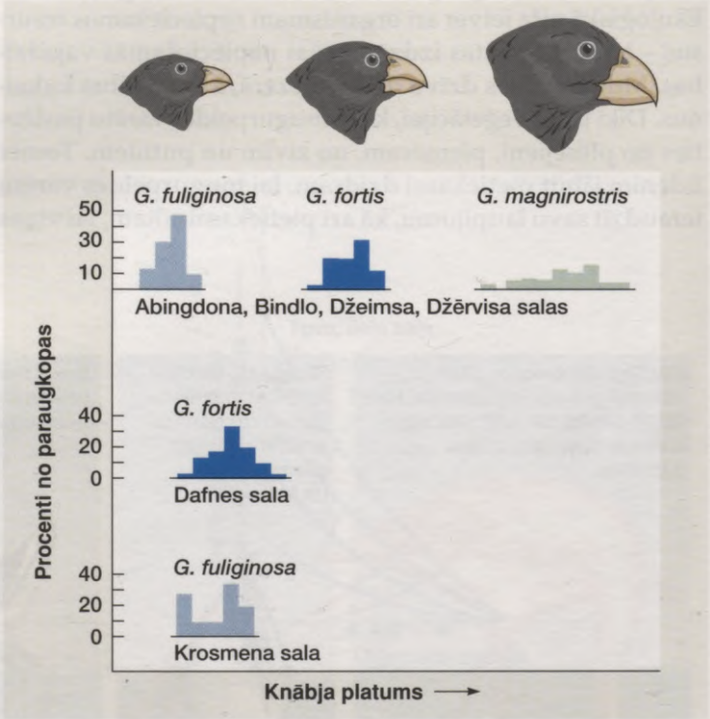


7.5. attēls. Konkurence starp divām laboratorijā audzētām tupelīšu *(Paramecium)* populācijām
Augot tīrkultūrā, *Paramecium caudatum* un *Paramecium aurelia* ir raksturīga sigmoidālā augšana. Augot kopā, *P. aurelia* izrādās konkurētspējīgāka, bet *P. caudatum* iznīkst.
Literatūra: *G. F. Gause*, The Struggle for Existence, 1934. *Williams & Wilkins Company, Baltimore, MD.*

Arī dabā ir iespējams novērot ekoloģiskās nišas sadalīšanos. Ja trīs sugu Galapagu zemeszubes dzīvo atsevišķās salās, viņu knābjiem ir aptuveni līdzīgi izmēri. Tas ļauj baroties ar dažādām sēklām. Ja visu triju sugu zemeszubes ir sastopamas vienā salā, tad izlases rezultātā dažādām sugām veidojas atšķirīga lieluma knābji, kas pielāgoti noteikta veida sēklu ēšanai. Citiem vārdiem, konkurence rada ekoloģisko specializēšanos. Tendenci sugu īpašībām vairāk specializēties, ja populācijas dzīvo vienā biocenozē, sauc par **pazīmju novirzēm**. Pazīmju novirzes bieži izmanto par pierādījumu tam, ka ir noritējusi starpsugu konkurence un ekoloģiskā specializēšanās (7.6. att.).

Dabā ekoloģisko nišu sadalīšanos ir grūti pamanīt. Piecu sugu ķauķi, kas mīt Ziemeļamerikas mežos, ir apmēram vienāda lieluma, un visi barojas ar egļu kodes kāpuriem. Veicot vienu no saviem nozīmīgākajiem pētījumiem, R. Makarturs reģistrēja laiku, cik ilgi katras sugas ķauķi uzturas dažādās egļu lapotnes daļās (7.7. att.). Viņš noskaidroja, ka dažādu sugu ķauķi galvenokārt barojas atšķirīgās egļu lapotnes daļās, tā ieņemot atšķirīgas ekoloģiskās nišas.

Savukārt bezdelīgas, svīres un čurkstes ēd lidojošus kukaiņus un zirnekļus, kas karājas savos pavedienos. Nereti šie putni lido baros. Tomēr ikvienai no šīm sugām ir atšķirīgas ligzdošanas vietas, un tās migrē nedaudz atšķirīgā laikā. Tāpēc mazuļu audzēšanas laikā konkurence barības dēļ nepastāv.



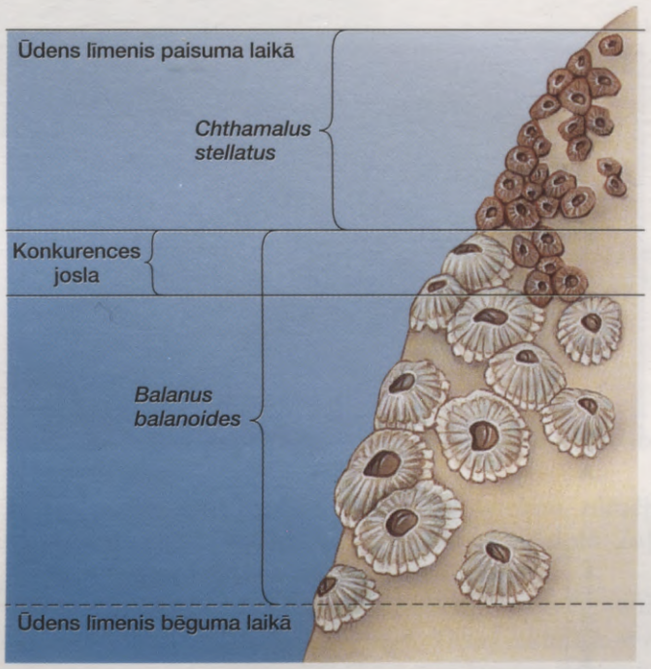
7.6. attēls. Galapagu zemeszubju pazīmju novirzes
Ja *Geospiza fuliginosa*, *G. fortis* un *G. magnirostris* dzīvo uz vienas salas, viņu knābji ir dažāda lieluma un piemēroti attiecīgi mazu, vidēju un lielu sēklu ēšanai. Ja *G. fortis* un *G. fuliginosa* dzīvo katra uz savas salas, viņu knābji ir aptuveni vienādi. Tas ļauj ēst dažāda lieluma sēklas.



7.7. attēls. Ekoloģiskās nišas sadalīšana starp piecām līdzīgām ķauķu sugām
Diagrammās shematiski attēlotas egles. Katra putnu suga vairāk nekā pusi laika pavada ar zilu krāsu iezīmētajā egles daļā.

Var pieņemt, ka visi ekoloģisko nišu sadalīšanas gadījumi, kurus novēro mūsdienās, ir pagātnē notikušas konkurences rezultāts. Vai var minēt piemērus, kad konkurence tiek novērota tieši? Iespējams, ka viens piemērs ir. Dž. Konels pētīja jūraszīļu (nelieli sprogkājvēžu kārtas pārstāvji) izplatību Skotijas piekrastē, kur mazās jūraszīles *(Chthamalus stellatus)* sastopamas paisuma zonas augstākajā dalā, bet lielās jūraszīles *(Balanus balanoides)* – zemākajā daļā (7.8. att.). Abu sugu brīvi peldošie kāpuri piestiprinās pie akmens jebkurā paisuma zonas vietā un attīstās par pieaugušu sēdošu dzīvnieku. Šķiet, ka zemākajā zonas daļā lielās jūraszīles izspiež vai pāraug mazās jūraszīles. Lai pārbaudītu šos novērojumus, Dž. Konels lielās jūraszīles aizvāca un konstatēja, ka tagad mazās jūraszīles vienlīdz labi aug visās paisuma zonas vietās. Tas, liekas, pārliecinoši pierāda, ka konkurence ierobežo mazo jūraszīļu izplatību. Mazās jūraszīles ir izturīgākas pret izžūšanu nekā lielās jūraszīles, tāpēc spēj izkonkurēt tās paisuma zonas augšējā daļā.

Starpsugu konkurence var izraisīt ekoloģiskās nišas sadalīšanos. Gadījumos, kad līdzīgas sugas šķietami ieņem vienu un to pašu ekoloģisko nišu, parasti var atrast atšķirības, kas liecina, ka ir notikusi ekoloģiskās nišas sadalīšanās.



7.8. attēls. Konkurence starp divu sugu jūraszīlēm
Konkurence neļauj divām jūraszīļu sugām aizņemt visu paisuma zonu. Abas sugas vienkop sastopamas tikai šaurā konkurences joslā. Virs tās mīt tikai mazās jūraszīles *(Chthamalus stellatus)*, bet lejpus – tikai lielās jūraszīles *(Balanus balanoides)*.

Plēsonība

Plēsonības gadījumā viens dzīvais organisms (**plēsoņa**) apēd otru organismu (**upuri**). Tradicionāli ar vārdu plēsoņa saprot, piemēram, lauvu, kas nogalina zebru. Plašākā – ekoloģiskā izpratnē šis vārds attiecas arī uz tādiem dzīvniekiem kā zilais valis, kas no okeāna ūdeņiem izfiltrē sīkus vēžveidīgos, un ērce, kas sūc asinis. Pēc dažu zinātnieku domām, plēsoņu un upuru attiecības pastāv arī starp zālēdājiem un viņu apēstajiem augiem.

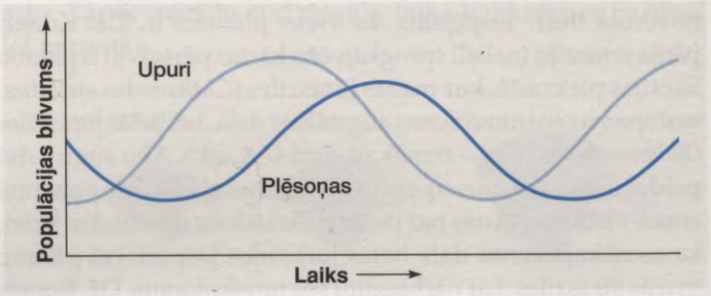
Plēsoņas un upura populāciju dinamika

Vai plēsoņas samazina upuru populācijas blīvumu? Izvirzīsim hipotēzi, kas dod pozitīvu atbildi uz šo jautājumu. Hipotēzi apstiprinās G. Gauzes veiktie laboratorijas eksperimenti. Viņš vienā laboratorijas kultūrā audzēja vienšūņus – tupelītes *Paramecium caudatum* (upurus) un skropstaiņus *Didinium nasutum* (plēsoņas). Skropstaiņi apēda visas tupelītes un tad gāja bojā barības trūkuma dēļ (7.9. att. A). Arī dabā var atrast līdzīgus piemērus. No Dienvidamerikas dārznieki Austrālijā ieveda parasto opunciju. Opuncijas sāka nekontrolēti izplatīties un pārklāja miljoniem hektāru nozīmīgu pļavu un ganību. Tad no Dienvidamerikas ieveda naktstauriņu, kura kāpuri barojas tikai ar šo kaktusu dzinumiem. Mūsdienās gan kaktusi, gan šie naktstauriņi Austrālijā sastopami daudz mazākā skaitā.

Šie novērojumi izraisa interesantas pārdomas. Izrādās, ka plēsoņu populācijas blīvumu var ietekmēt upuru daudzums. Citiem vārdiem sakot, plēsoņu un upuru attiecībām ir atgriezenisks raksturs. Šajā gadījumā kaktusu populācija sākotnēji izmantoja visu biotisko potenciālu (pieauga ar maksimāli iespējamo ātrumu), bet pēc naktstauriņu parādīšanās palielinājās vides pretestība (faktori, kas darbojas pretī biotiskajam potenciālam). Savukārt naktstauriņu populācijas pieaugums sākumā sasniedza biotisko potenciālu, bet, samazinoties barības daudzumam, samazinājās vides ekoloģiskā kapacitāte.

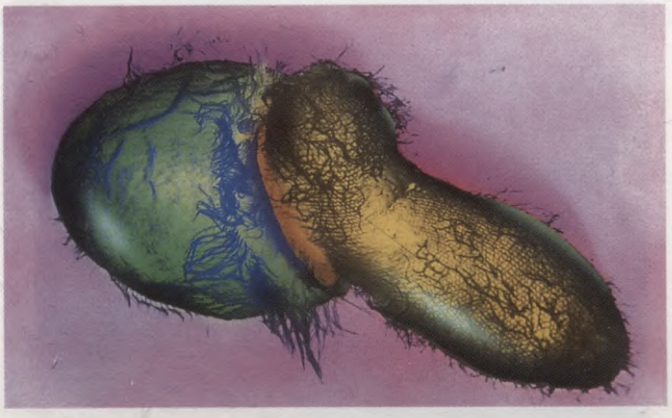
Dabā plēsoņas var samazināt upuru populācijas blīvumu, un otrādi.

Ir izstrādātas matemātiskas formulas, kas prognozē cikliskas plēsoņu un upuru populāciju svārstības.



Pievērsiet uzmanību tam, ka plēsoņu populācija ir mazāka nekā upuru populācija un tās pieaugums seko pēc upura populācijas pieauguma. Kas izraisa šādas cikliskas svārstības? Var novērot, ka, pieaugot upuru populācijai, pieaugs arī plēsoņu populācija, jo viņiem būs vairāk barības. Nākamo populācijas blīvuma samazināšanos, visdrīzāk, izraisīs divi iespējamie cēloņi. 1. Plēsoņu biotiskais potenciāls ir tik liels, ka upuri tiek izmedīti, un, upuru populācijai samazinoties, samazinās arī plēsoņu populācijas lielums. 2. Upuru populācijas biotiskais potenciāls ir tik liels, ka populācijas lielums pārsniedz vides ekoloģisko kapacitāti un upuru skaits ļoti strauji samazinās. Tad barības trūkuma dēļ tikpat strauji samazinās arī plēsoņu skaits. Abu šo iemeslu dēļ populāciju blīvuma kāpumi un kritumi periodiski atkārtojas, taču plēsoņu populācijas blīvums nedaudz atpaliek no upuru populācijas blīvuma.

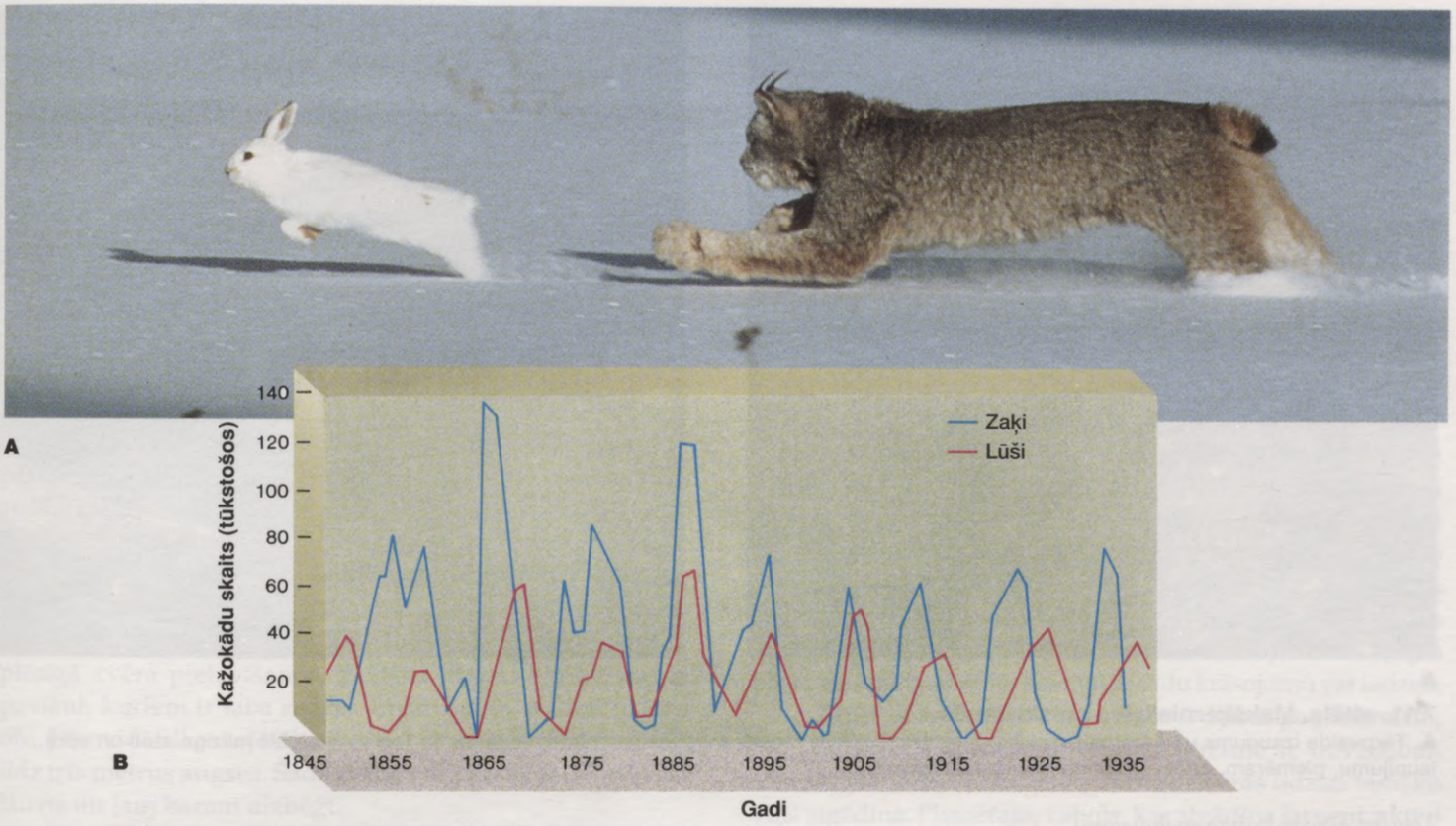
Pazīstamākais piemērs plēsoņu un upuru populāciju lielumu cikliskajām svārstībām ir Amerikas balto zaķu un Kanādas lūšu populāciju dinamika (7.10. att.). Ziemeļamerikas skujkoku mežos zaķis ir bieži sastopams zālēdājs, kas pārtiek no dažādu krūmu un nelielu koku dzinumiem. Lūsis medī zaķus, kā arī divu sugu rubeņus. Sākumā pētnieki pieņēma,



7.9. attēls. Plēsoņu un upuru attiecības starp *Paramecium caudatum* un *Didinium nasutum*

A. Ar skenējošo elektronmikroskopu iegūtajā attēlā redzams, kā skropstainis aprij tupelīti. **B.** Skropstaiņi apēd visas tupelītes un tad aiziet bojā.

Literatūras avots: *G. F. Gause.* The Struggle for Existance, *1934. Williams & Wilkins Company, Baltimore, MD.*



7.10. attēls. Plēsoņu un upuru attiecības starp Kanādas lūsi un Amerikas zaķi
A. Kanādas lūsis *(Lynx canadensis)* ir plēsējs, kas medī vienatnē. Ar garajām, spēcīgajām priekšķepām, kas bruņotas ar asiem nagiem, viņš sagrābj savu parastāko laupījumu – Amerikas balto zaķi *(Lepus americanus)*. Lūsis dzīvo skujkoku mežos. Viņa brūnganpelēkais kažoks grūti pamanāms uz koku stumbru fona, bet garās kājas ļauj pārvietoties pa dziļu sniegu. **B.** Gandrīz simts gadu laikā *Hudson Bay Company* iepirkto kažokādu skaits parāda populācijas blīvuma svārstību desmit gadus ilgus ciklus. Zaķu populācija maksimālo lielumu sasniedz gadu vai pusotru gadu ātrāk nekā lūšu populācija.

ka 130. lappusē sniegtais izskaidrojums pilnībā atspoguļo zaķu un lūšu populāciju svārstības. Citiem vārdiem sakot, pēc zaķu daudzuma samazināšanās samazinājās arī lūšu daudzums. Tomēr daži zinātnieki atzina, ka zaķu populācijas samazināšanās saistīta arī ar viņiem pieejamās barības trūkumu.

Lai konstatētu, kas ir populāciju lieluma svārstību izraisītājs – plēsēju (lūši) vai upuru (zaķi) barības trūkums, tika veikti trīs eksperimenti.

1. Lai pārbaudītu abus faktorus, zaķu populācijai nodrošināja pietiekamu barības daudzumu un novērsa plēsēju ietekmi. Cikliskas populācijas lieluma svārstības vairs netika novērotas.
2. Lai pārbaudītu plēsēju ietekmi, zaķu populācijai nodrošināja pietiekamu barības daudzumu un plēsējus atstāja. Abu populāciju lieluma cikliskās svārstības turpinājās.
3. Lai pārbaudītu barības daudzuma ietekmi, plēsējus aizveda prom, bet barība papildus netika dota. Zaķu populācijas lieluma svārstības turpinājās.

Šie rezultāti liecina, ka 7.10. attēlā redzamo svārstību izskaidrošanai iespējami abi varianti. Tātad cikliskās svārstības izraisa gan plēsoņu ietekme, gan upuru barošanās tīkls. Interesanti atzīmēt, ka arī rubeņu populācijas lielums cikliski svārstās. Iespējams, ka, zaķu skaitam samazinoties, lūši sāk vairāk medīt putnus. Šie fakti liecina, ka plēsoņu un upuru attiecības nevar aplūkot tikai kā attiecības starp divām sugām, bet tās jāaplūko visas biocenozes ietvaros.

Attiecības starp plēsoņām un upuriem, kā arī starp upuriem un viņiem pieejamās barības daudzumu veido kompleksus populāciju svārstību ciklus.



A B

7.11. attēls. Makšķerniekzivs maskēšanās
A. Tārpveida izaugums uz Amerikas makšķerniekzivs *(Lophius americanus)* galvas pievilina upuri. **B.** Tad viņa atpleš milzīgo muti un aprij laupījumu, piemēram, attēlā redzamo melno akmensasari.

Upura aizsardzības mehānismi

Upurim evolūcijas gaitā parasti ir attīstījušies pielāgojumi, kas palielina iespējas palikt neapēstam. Augiem mēdz būt pielāgojumi, kas tos pasargā no zālēdājiem. Tā, piemēram, kaktusu adatas, akvifoliju asās lapas vai cietās, sīkstās ozola lapas padara šos augus mazāk iekārojamus kā barību. Ir arī tādi augi, kas izstrādā indīgas vielas. Dažas no tām kavē pieaugušu kukaiņu vielmaiņu, citas darbojas kā hormonu analogi, kavējot kukaiņu kāpuru attīstību. Tomēr ir kukaiņi, kuri spēj dzīvot uz kokiem, kas izdala toksīnus. Šiem kukaiņiem ir izveidojušies neitralizējoši fermenti vai mehānismi, kas uzkrāj organismā indīgās vielas, nenodarot kukainim ļaunumu.

Dabā var novērot neskaitāmus piemērus, kā plēsoņa piemāna upuri vai upuris izvairās no notveršanas. Makšķerniekzivs maskēšanās noder gan aizsardzībai, gan upura notveršanai. Nekustīgi okeāna dibenā gulošās zivs raibais krāsojums, dīvainās bārkstis pie žokļiem un saplacinātais ķermenis padara viņu grūti pamanāmu. Vienīgi tārpveida izaugums virs galvas lēni kustas uz priekšu un atpakaļ (7.11. att.). Ja tas pievilina kādu zivi, makšķerniekzivs atpleš muti un iesūc upuri. Makšķerniekzivis sastopamas no Ņūfaundlendas līdz Ziemeļkarolīnai. Dažu sugu makšķerniekzivis ir iecienīta delikatese. Veikalos šīs zivis pazīstamas ar nosaukumu "jūrasvelns".

Pazīstami daudzi **maskēšanās** piemēri. Tā sprīžmeša kāpurs atgādina zariņu, zaļais dziedātājsienāzis atgādina tikko izplaukušu zaļu lapu, bet dažu naktstauriņu spārnu krāsa neatšķiras no koka mizas. Parasti bērzu sprīžmetis ir gaišā krāsā, bet rūpnieciskajos rajonos, kur koku stumbri piesārņojuma dēļ kļuvuši tumši, bērzu sprīžmešu populācijā dominē galvenokārt tumšas krāsas īpatņi. Šīs populācijas pārmaiņas



A B C

7.12. attēls. Aizsardzība pret plēsoņām
A. Dienvidamerikas zivīm – ķirzakgalvēm ir liels izaugums, kas atgādina ķirzakas vai pat aligatora galvu. Tas plēsoņam var likt domāt, ka viņš sastapies ar bīstamu dzīvnieku. **B.** Satiekoties ar plēsoņu, apkakles agāma ieņem pozu, kas ļauj izskatīties lielākai. **C.** Kāpelētājvardes ādas izdalījumi ir indīgi. Indiāņi ar šo indi saindē bultu uzgaļus. Varžu košā krāsa brīdina citus dzīvniekus, ka viņas ir bīstamas.

bieži tiek izmantotas kā dabiskās izlases piemērs. Putni visbiežāk noķer un apēd uz tumšajiem koku stumbriem labi pamanāmos gaišos naktstauriņus, tādējādi izdzīvo vairāk tumšās krāsas īpatņu, kas arī atstāj vairāk tumšas krāsas pēcnācēju.

Vēl viens aizsardzības veids ir pielāgojumi, kas plēsoņu nobaida vai tam kaitē. Dienvidamerikas ķirzakgalvēm ir liels izaugums, kas atgādina ķirzakas vai pat aligatora galvu (7.12. att. A). Citiem dzīvniekiem, piemēram, 7.12. attēlā B redzamajai briesmās nokļuvušajai apkakles agāmai, ir pielāgojumi, kas ļauj izskatīties lielākiem, nekā tie ir patiesībā. Daudziem naktstauriņiem uz spārniem ir plankumi, kas atgādina acis. Bieži vien šie plankumi uz īsu brīdi, kas pietiekams, lai aizbēgtu, pārsteidz un izbiedē uzbrūkošo putnu. Ja dzeloņcūkai uzbrūk, viņa strauji pārvietojas atmuguriski, ietriecot uzbrucēja ķermenī asas, atskabargainas adatas, kas cīņas laikā ieduras arvien dziļāk un dziļāk. Adatas viegli nolūst, un dzeloņcūka aizmūk.

Izglābties no plēsīgiem zvēriem bieži palīdz apvienošanās baros ar citiem potenciālajiem upuriem. Tā aizsargājas putnu, zivju, kā arī zālēdāju zīdītāju bari. Lai labāk pamanītu plēsīgā zvēra pielavīšanos, dažkārt blakus barību meklē paviāni, kuriem ir laba redze, un antilopes, kurām ir laba oža. Dienvidāfrikas ceļotājantilopes iztraucētas palecas divus līdz trīs metrus augstu. Šāda rīcība var pārsteigt uzbrūkošo lauvu un ļauj baram aizbēgt.

Daudziem dzīvniekiem, kas izmanto dažādas aizsardzības stratēģijas, nereti izveidojušies arī atbilstoši uzvedības pielāgojumi. Dzīvnieki, kas maskējas, parasti paliek nekustīgi, lai būtu grūtāk pamanāmi. Tie dzīvnieki, kas uzbrucēju mēģina iebaidīt, vajadzīgajā brīdī veic kādas noteiktas darbības. Savukārt tie, kas izmanto kopīgas aizsardzības stratēģiju, vienmēr cenšas turēties barā.

Mīmikrija

Brīdinošs krāsojums ir pielāgošanās mehānisms, ko izmanto indīgi dzīvnieki, lai aizkavētu negaidītu uzbrukumu. 7.12. attēlā C redzamās kāpelētājvardes ādas dziedzeru izdalījumi ir tik indīgi, ka Dienvidamerikas indiāņi ar tiem saindē bultu uzgaļus. **Mīmikrija** ir ārējā izskata pielāgošanās tādas sugas ārējam izskatam, kurai ir aktīvas aizsardzības iespējas. Ja dzīvnieks atgādina citu sugu, bet viņam trūkst tās aizsardzības pielāgojuma, tad to sauc par Beitsa mīmikriju (pēc tās atklājēja H. Beitsa vārda). 7.13. attēlā redzami vairāki kukaiņi, kas atgādina lapseni, bet nevar iedzelt. Ja plēsoņa ir pārliecinājies par kāda dzīvnieka aizsardzības spējām, nākamreiz viņš vairīsies uzbrukt visiem līdzīga izskata dzīvniekiem.

Daudzu sugu dzīvnieki ne tikai izskatās līdzīgi, bet viņiem ir arī līdzīgas aizsardzības spējas. Bitēm, lapsenēm un sirseņiem ir līdzīgs dzeltenmelns ķermeņa krāsojums. Ja dažādu sugu dzīvniekiem līdzīgs ir gan izskats, gan aizsardzības spējas, šo pielāgošanos sauc par Millera mīmikriju (F. Millers pirmais atzina šo pielāgošanos par mīmikrijas veidu). Katrs no šiem Millera mīmikrijas gadījumiem potenciālajos uzbrucējos pastiprina pārliecību, ka kukaiņi ar šādu krāsojumu var iedzelt.

Tāpat kā ar cita veida upuru aizsardzības paņēmieniem, arī mīmikrijas gadījumā svarīga nozīme ir uzvedībai. Mīmikrija ir efektīvāka, ja organisms izturas līdzīgi tam, ko viņš atgādina. Piemēram, vabole, kas atgādina lapseni, aktīvi lido no vienas vietas uz citu un visvairāk laika pavada tajā pašā biotopā, kur lapsenes, tā pastiprinot līdzību ar lapseni.

Upuris var izvairīties no plēsoņas maskējoties, iebaidot uzbrucēju, uzturoties barā, izmantojot brīdinošu ķermeņa krāsojumu vai mīmikriju.

7.13. attēls. Mīmikrija kukaiņiem ar dzeltenmelnu ķermeņa krāsojumu
A. Lapsenei *(Vespula)* un **(B)** kamenei *(Bombus)* raksturīga Millera mīmikrija. Abi kukaiņi izskatās līdzīgi, un abi var iedzelt. Citiem dzīvniekiem – **(C)** ziedmušai *(Chrysotoxum)*, **(D)** koksngrauzim *(Strophiona)* un **(E)** stiklspārnim *(Acegeria)* raksturīga Beitsa mīmikrija, jo viņiem ir dzeltenmelnais ķermeņa krāsojums, bet nav spēju iedzelt.


A


B


C


D


E

Simbiotiskās attiecības

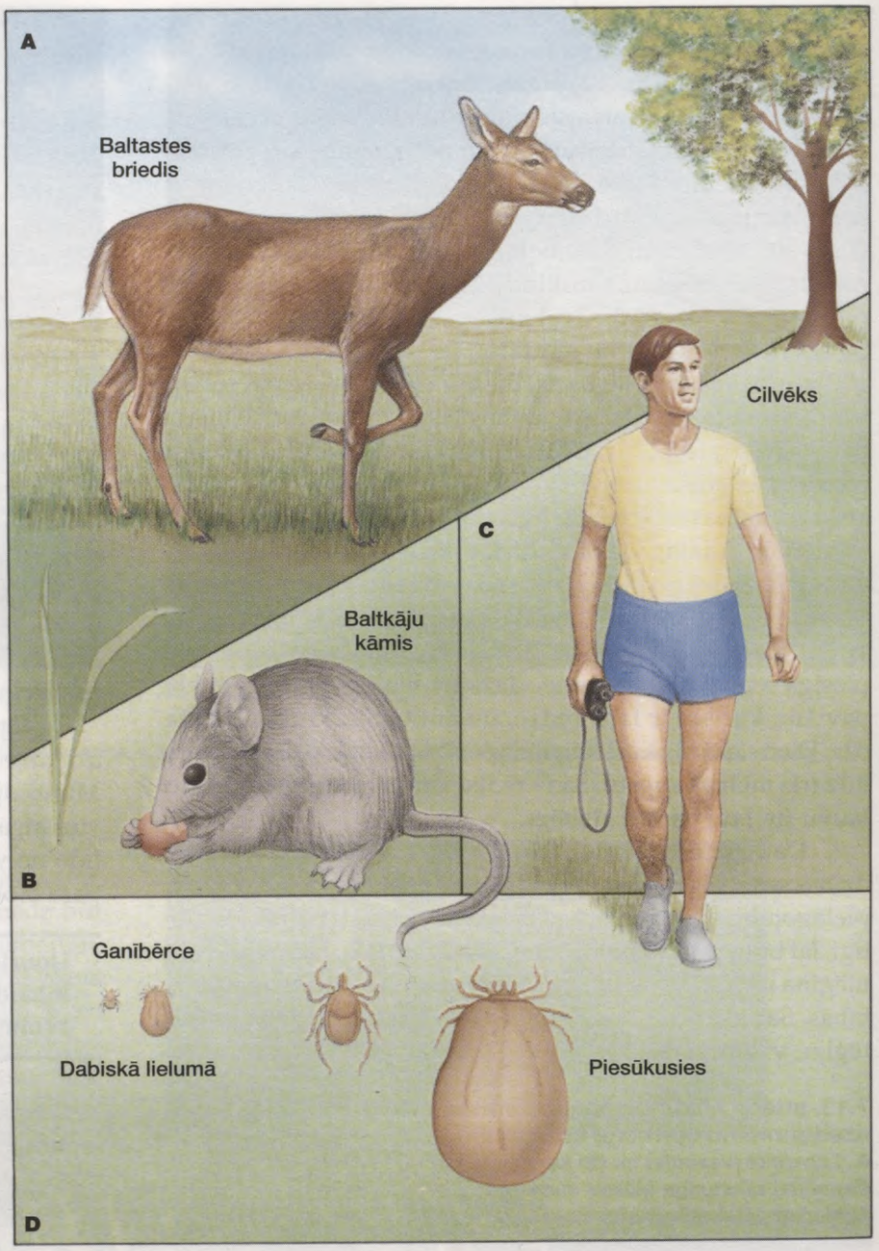
Jēdziens "simbioze" attiecas uz ciešām divu dažādu populāciju attiecībām. 7.1. tabulā redzams, kāda iespējamā ietekme uz abu sugu pārstāvjiem ir šīm attiecībām.

Parazītisms

Parazītisms ir līdzīgs plēsonībai ar to, ka viens organisms **(parazīts)** iegūst barību no otra organisma **(saimnieka)**. Parazīti ir visi vīrusi, piemēram, HIV, kas vairojas cilvēka limfocītos. Parazītisms sastopams arī starp citu dzīvo organismu valstu pārstāvjiem – starp baktērijām (streptokoku infekcijas), vienšūņiem (malārijas plazmodijs), sēnēm (rūsas sēnes, melnplauka), augiem (āmuļi) un dzīvniekiem (dēles). Nelieli organismi parasti ir endoparazīti (dzīvo saimnieka organismā), bet lielāki visbiežāk ir ektoparazīti, kas ar īpašu orgānu vai ekstremitāšu palīdzību piestiprinās pie saimnieka ķermeņa no ārpuses. Saimnieka organismu parazīti var gan novājināt, gan laika gaitā pilnīgi nonāvēt. Ja saimnieka populācijai ir augsts blīvums, parazīti viegli izplatās no viena īpatņa uz citu, pastiprināti tos invadējot un veicinot populācijas blīvuma samazināšanos. Arī tie parazīti, kas saimnieku nenonāvē, veicina populācijas sarukšanu, jo samazina saimnieka auglību un palielina citu nāves cēloņu iespējamību.

Bez barības saimnieks parazītam nodrošina arī vietu, kur dzīvot un vairoties, kā arī pēcnācēju izplatīšanās iespējas. Daudziem parazītiem dažādās attīstības stadijās ir atšķirīgi saimnieki. Pieaudzis parazīts parazitē definitīvajā saimniekā, bet citās attīstības stadijās – uz viena vai vairākiem starpsaimniekiem. Saikne starp parazītu un saimnieku ir tik cieša, ka parazītam parasti nepieciešams tikai noteiktas sugas saimnieks vai starpsaimnieks.

Kā piemēru var aplūkot divas ganībērču sugas – briežu ērci *Ixodes dammini* (izplatīta Ziemeļamerikas austrumdaļā) un suņu ērci *I. ricimus* (rietumdaļā). Ganībērces ir posmkāji, kuru attīstība noris vairākās stadijās (ola, kāpurs, nimfa, imago). Pieaugušie īpatņi (imago) barojas un pārojas rudeņos uz baltastes briežiem. Olas mātīte dēj uz zemes. Pavasarī izšķīlušies kāpuri barojas galvenokārt uz baltkāju kāmjiem. Ja kāmis ir inficēts ar baktēriju *Borrelia burgdorfei*, tiek inficēts arī kāpurs. Kāpurs pārziemo un pavasarī pārvēršas par nimfu, kas var sūkt arī cilvēka asinis. Šajā brīdī ērce var inficēt cilvēku ar baktēriju, kas izraisa Laima slimību. No nimfas attīstās pieaugusi ērce, un cikls sākas no jauna (7.14. att.).



7.14. attēls. Ganībērces dzīves cikls
A. Pieaugusi ērce barojas un pārojas uz baltastes brieža. Pieaugusi mātīte uz augsnes izdēj olas un aiziet bojā. **B.** Pavasarī un vasarā kāpuri parazitē galvenokārt uz baltkāju kāmjiem. Kāpuri pārziemo. **C.** Nākamās vasaras laikā nimfas barojas uz baltkāju kāmjiem vai citiem dzīvniekiem, ieskaitot cilvēku. Ja nimfa ir inficēta ar baktēriju *Borrelia burgdorfei*, cilvēks var inficēties ar Laima slimību. **D.** Ganībērce pirms un pēc barošanās. Ērce attēlota gan dabiskā lielumā, gan palielināta.

Parazīti ievērojami atšķiras no plēsoņām. Viņi no saimnieka ne tikai iegūst barību, bet arī izmanto saimnieku kā dzīvesvietu un ar viņa palīdzību arī izplatās. Starp parazītiem un saimniekiem nereti izveidojas sarežģītas attiecības.

Uzziniet tuvāk

Mijiedarbība un koevolūcija

Koevolūcija ir evolūcijas veids, kurā izlases spiediens iedarbojas uz divām dažādām sugām, kas ir ciešā ekoloģiskā saistībā. Īpaši koevolūciju sekmē simbioze (cieša divu sugu mijiedarbība), kas ietver parazītismu, komensālismu un mutuālismu. Ziedaugiem, kurus apputeksnē dzīvnieki, piemīt īpašības, kas šos dzīvniekus piesaista (sk. 308. lpp.). Kā piemēru šā tipa koevolūcijai var minēt to, ka tauriņu apputeksnētajiem ziediem ziedkopa parasti ir salikta – veidota no daudziem atsevišķiem ziediem. Tādējādi tauriņam ir lielāka virsma, kur nolaisties, un nepārvietojoties viņš var iesūkt nektāru no vairākiem ziediem. Šajā gadījumā ir notikusi koevolūcija, jo ziedaugam ir izdevīgi, ka kukaiņi putekšņus pārnes no viena zieda uz citu.

Koevolūcija var notikt arī starp plēsoņu un upuri. Piemēram, gepards medījot ļoti ātri skrien. Šāda uzvedība var veicināt gazeļu izlasi. Lai izvairītos no notveršanas, viņas spēj ātri skriet vai augstu palēkties (ceļotājantilope). Upura pielāgojumi savukārt veicina plēsoņu izlasi. Plēsīgajiem zvēriem arī veidojas pielāgojumi, kas palīdz pārvarēt upura aizsardzības pielāgojumus. Tādējādi notiek "bruņošanās sacensība – kurš kuru?". Koevolūcijas procesu var pētīt, kā piemēru izmantojot dzeguzi, kas vairojas uz citu putnu rēķina, dējot olas viņu ligzdās. Dīvaini ir redzēt, kā mazs putniņš baro dzeguzēnu, kas ir vairākas reizes lielāks. Kā izveidojusies šī dīvainā uzvedība? Pētnieki atklāja, ka dzeguze, lai piemānītu ligzdas saimniekus, 1) dēj olas, kas atgādina te ligzdojošā putna olas; 2) olas dēj pēcpusdienā, kad ligzdas saimnieku nav tuvumā, un dara to ļoti ātri (desmit sekunžu laikā); 3) daļu olu atstāj ligzdā, jo saimnieki ligzdu ar vienu olu var pamest. Dzeguzēns izšķiļas pirmais un pārējās olas izmet no ligzdas (7.A. att.).

Koevolūcijai ir dažādi veidi. Malārijas plazmodijam dzimumvairošanās notiek malārijas odos, bet bezdzimumvairošanās – cilvēkā. Lai konstatētu patogēnos organismus, cilvēka imūnsistēma izmanto virsmas proteīnus. Plazmodijam ir daudz gēnu, kas izstrādā proteīnus. Tāpēc plazmodijs virsmas proteīnus maina un visu laiku atrodas soli priekšā saimnieka imūnsistēmai. Līdzīgas spējas ir arī HIV, tieši tāpēc AIDS vakcīnas izstrāde ir apgrūtināta.

Attiecībās starp parazītu un saimnieku dažkārt var novērot, ka parazīts maina saimnieka uzvedību sev vēlamā virzienā. Ar trematodēm inficētās skudras (bet ne veselās) ar mutes orgāniem pieķeras pie zāles stiebra. Tad kopā ar zāli skudras, kas ir starpsaimnieks, apēd aita un sūcējtārps nonāk definitīvajā saimniekā. Līdzīgi notiek ar *Succinea* ģints dzintargliemežiem. Ar *Leucochloridium* ģints trematodēm invadētus gliemežus mēdz apēst putni, jo gliemeža ķermenī izveidojusies sporocista (kāpura stadija) invadē taustekļus, kas padara gliemezi ārkārtīgi līdzīgu kukaiņu kāpuram. Putns apēd gliemezi, tālāk pieaugusī trematode putna zarnās izdēj olas, kas kopā ar ekskrementiem nonāk zālē, kur tās atkal apēd dzintargliemeži. Cikls var sākties no jauna.

Acīmredzot, ja parazīts un saimnieks koevolucionē, abi arvien vairāk pielāgojas viens otram. Pretējā gadījumā parazīts drīz vien paliktu bez saimnieka. Pakāpeniski parazīts var kļūt par komensāli, proti, savam saimniekam palikt nekaitīgs. Vēl pēc kāda laika starp parazītu un saimnieku var attīstīties mutuālisms. Iespējams, ka eikariotu šūnas evolūcija ir sākusies ar endosimbiozi: baktērija iemājojusi lielākā šūnā – sākumā kā parazīts, vēlāk parazīta un baktērijas starpā veidojies mutuālisms.

Šiem apgalvojumiem ir arī teoloģiska nozīme. Tie liecina, ka organismu evolūcijas gaita iepriekš nav paredzama. Ja agresīvs parazīts spēj izplatīties ātrāk nekā labdabīgs, tad dabiskā izlase veicinās agresivitāti. Taču agresivitātes priekšrocības var ietekmēt arī citi faktori, piemēram, saimnieka dzīvesveids. Tā, piemēram, tritonu labdabīgie parazīti izdzīvo sekmīgāk nekā agresīvie. Kāpēc? Tāpēc, ka tritoni līdz sešu gadu vecumam dzīvo ārpus dīķa mežā šķirti cits no cita un parazītam ir ļoti ilgi jāgaida, lai sastaptu citu potenciālo saimnieku.



7.A. attēls. Dzeguzes sociālais parazītisms
Dzeguzēns ar muguru izgrūž saimnieka olu no ligzdas. Dzeguzes ola atgādina saimnieka olu, tāpēc saimnieks to perē kā savu.

Komensālisms

Komensālisms ir simbiotiskas attiecības, kurās viena no sugām gūst labumu, bet otra netiek ietekmēta.

Raksturīgs piemērs ir, ja viena suga nodrošina otrai mājvietu vai pārvietošanās iespējas. Jūraszīles, kas piestiprinās pie vaļa sāniem vai krabja čaulas, iegūst gan patvērumu, gan pārvietošanās iespējas. Savukārt pielipējzivs piestiprinās pie haizivs vēdera, tā gūstot iespēju pārvietoties, kā arī tikt pie haizivs maltītes atliekām. Iespējams, ka piestiprinājušies dzīvnieki traucē saimnieka kustības, tāpēc daži zinātnieki uzskata, ka tie nav pārāk labi komensālisma piemēri.

Epifīti aug uz koku zariem, bet barības vielas no koka nesaņem. Epifīta saknes barības vielas un ūdeni saņem no gaisa. Klaunzivis dzīvo starp kustīgajiem aktīniju taustekļiem (7.15. att.). Tā kā vairums zivju vairās no aktīniju indīgajiem taustekļiem, tad klaunzivis te ir paglābtas no plēsoņu uzbrukuma. Iespējams, ka šīs attiecības patiesībā ir mutuālisms, jo klaunzivis var pievilināt citas zivis, ar kurām aktīnija barojas.

Komensālisma gadījumus vēlams aplūkot sīkāk, jo to pamatā var būt mutuālisms vai parazītisms. Govju gārņi gūst labumu, uzturoties ganāmpulku tuvumā, jo ganoties lielie dzīvnieki no zāles izdzen kukaiņus un citus dzīvniekus. Runājot par upuru aizsardzības pielāgojumiem, jau ir atzīmēts, ka paviāni un antilopes, lai palielinātu drošību, barojas blakus. Vai tas ir komensālisma gadījums? Daži zinātnieki uzskata, ka ir lieki iedalīt simbiotiskās attiecības trīs kategorijās – parazītismā, komensālismā un mutuālismā, jo vienas vai otras sugas ieguvumi vai zaudējumi ir atkarīgi, no kāda redzes viedokļa tos aplūko.



7.15. attēls. Klaunzivs starp aktīnijas taustekļiem
Ja klaunzivs *(Premnas biaculeztus)* aktīnijai nedod nekādu labumu, tad starp šīm sugām pastāv komensālisms. Ja klaunzivs pievilina aktīnijai barībai noderīgas zivis, tad starp šīm sugām pastāv mutuālisms.

Mutuālisms

Mutuālisms ir simbiotiskas attiecības, kad labumu gūst abi organismi. Bieži vien mutuālistiskas attiecības organismiem palīdz iegūt barību vai izvairīties no apēšanas.

Tāpat kā parazītismam, arī mutuālismam piemērus var atrast visās dzīvo organismu valstīs. Baktērijas, kas mīt cilvēka zarnu traktā, tur iegūst ne tikai barību, bet arī apgādā cilvēka organismu ar vitamīniem, kurus cilvēka organisms pats sintezēt nespēj. Termīti nevarētu barībā izmantot koksni, ja viņu zarnu traktā nedzīvotu vienšūņi, kas sašķeļ celulozi. Mikoriza ir simbioze starp augu saknēm un sēņu hifām. Ir konstatēts, ka šādas simbiotiskas attiecības ir raksturīgas lielākajai daļai augu. Sēņu hifas veicina augsnes minerālvielu šķīšanu ūdenī, augam palīdzot uzņemt barības vielas, aizsargā auga saknes no patogēniem organismiem un izdala augšanas regulatorus. Savukārt sēnes no auga iegūst ogļhidrātus.

Vairums mutuālistisko attiecību abām sugām sākotnēji nav devušas vienādu labumu. Šajā sakarā var pieminēt mutuālistiskās attiecības starp augiem un to apputeksnētājiem. Varam iedomāties, ka šīs attiecības sākās, augēdājiem barojoties ar putekšņiem. Nektāra veidošanās saglabāja putekšņus, vienlaikus ļaujot dzīvniekiem kļūt par apputeksnētājiem. Savukārt ķērpji uz kailām klintīm var augt tāpēc, ka viena to sastāvdaļa – sēne – uzsūc ūdeni ar minerālvielām, ko izmanto otra sastāvdaļa – aļģe –, kas fotosintēzē abiem organismiem saražo barību. Ja tās būtu tīri mutuālistiskas attiecības, abi organismi atsevišķi augtu vāji. Turpretī ķērpjos ietilpstošās aļģes vienas pašas aug labi, bet sēnes – vāji. Tāpēc liekas, ka vismaz evolūcijas sākumā sēne ir parazitējusi uz aļģēm.

Skudrām ir mutuālistiskas attiecības gan ar augiem, gan citiem kukaiņiem. Amerikas tropiskajā daļā aug akācija, kas nodrošina mājvietu skudrām *Pseudomyrmex ferruginea* (7.16. att.). Atšķirībā no citām akācijām šīs sugas augiem ir paresninātі dzeloņi ar tukšu vidu, kur attīstās skudru kāpuri. Turklāt akācija skudras apgādā arī ar barību. Skudras barojas no nektārijiem pie lapu pamatnes, kā arī ēd īpašus izaugumus lapu galos, kas satur taukus un olbaltumvielas. Skudras nepārtraukti aizsargā akāciju no zālēdājiem un augiem, kas varētu to noēnot. Atšķirībā no citām skudrām šīs skudras ir aktīvas visu diennakti. Ja, veicot eksperimentu, skudras iznīcināja, bojā gāja arī akācija. Arī citu sugu, piemēram, ģints *Croton*, kokiem ir skudrām domāti nektāriji. Šajā gadījumā tām pašām skudrām ir mutuālistiskas attiecības ar tauriņiem *Thisbe irenea*, kuru kāpuri barojas ar jaunajiem *Croton* kociņiem. *Thisbe* kāpuriem ir nektāra orgāns, kas piesaista skudras. Kāpuri vienlaikus izmanto skudru sociālo uzvedību, izdalot ķīmiskas vielas, kas skudrās izraisa vēlmi



A



C



B

7.16. attēls. Mutuālisms starp akāciju un skudrām
Akācija *(Acacia)* ir pielāgojusies, lai nodrošinātu barību skudrām *(Pseudomyrmex ferruginea)*. **A.** Dzeloņi ir dobi, un tur var dzīvot skudras. **B.** Pie lapu pamatnes ir nektāriji, no kuriem skudras iegūst barību. **C.** Akācijas lapu galos ir izaugumi, kurus skudras ievāc kāpuru barībai.

aizsargāt koloniju pret ienaidniekiem. Tā kāpuri tiek aizsargāti, kamēr vien tie barojas uz kokiem. Kāpuri ne tikai ēd lapas, bet barojas arī no skudru nektārijiem uz kokiem.

Bieži vien vērojamas simbiotiskas attiecības, kad viens indivīds (vēzis, zivs, putns) tīra otru, parasti kādu mugurkaulnieku (7.17. att.). Koraļļu rifos lielās zivis paliek nekustīgas, kamēr sīkākas zivis viņas tīra, nereti ielienot pat lielās zivs mutē. Vai šis simbiozes gadījums ir mutuālisma piemērs, tas vēl ir jautājums, jo trūkst eksperimentālu datu. Ja tīrāmais dzīvnieks, atbildot uz pieskārieniem, paliek nekustīgs, kamēr tiek tīrīts, tad tīrītājs to var izmantot, barojoties ar saimnieka audiem, tāpat kā ektoparazīts. Tomēr iespējams, ka, šādi reaģējot uz pieskārieniem, tīrāmais objekts gūst labumu.

Starp sugām bieži novērojamas simbiotiskas attiecības. Tās var iedalīt parazītismā, komensālismā un mutuālismā.



7.17. attēls. Tīrīšana
Tīrītājzivs *(Labroides dimidiatus)* attīra plankumainās saldlūpes *(Plectorhincus chaetodontoides)* muti no parazītiem. Vai šī darbība dod kādu labumu saldlūpei, vai viņa tiek tikai izmantota? Tas vēl nav izpētīts.

7.3. Biocenozes struktūras pārmaiņas laika gaitā

Ikvienai biocenozei ir sava vēsture, kas var ilgt pavisam īsu laiku vai pat veselu ģeoloģisko periodu. Kā zināms, dzīvības izplatīšanās uz Zemes laika gaitā ir bijusi pakļauta dinamiskām pārmaiņām. Jau iepriekš konstatējām, kā kontinentu dreifs ir ietekmējis sugu masveidīgu izmiršanu pagātnē. Sākumā bijis tikai viens liels sauszemes masīvs – Pangeja. Vēlāk tas sadalījies vairākās daļās. Palēnām šīs daļas sāka pārvietoties polu virzienā, veidojās milzīgi ledāji, kuros uzkrājās liels okeāna ūdens daudzums. Šo ledāju veidošanās pazemināja temperatūru pat tropiskajos apgabalos. Leduslaikmetā ledāji pārvietojās uz dienvidiem, bet leduslaikmetu starplaikos – atkāpās, ļaujot dzīvībai atkal aizņemt no ledus atbrīvotās teritorijas. Tā laika gaitā izveidojās sarežģītas biocenozes.

Tomēr vairums ekologu mēģina novērot pārmaiņas, kas norit viņu pašu dzīves laikā.



A



B

7.18. attēls. Kukurūzas lauka sekundārā sukcesija
A. Pirmajā gadā novērojamas tikai kukurūzas paliekas. **B.** Otrajā gadā ieviešas savvaļas graudzāles. **C.** Pēc pieciem gadiem graudzāles ir bagātīgi sazēlušas un starp tām ir ieviesušies grīšļi. **D.** Pēc desmit gadiem te aug zeltgalvītes, krūmi (kazenes) un kadiķi. **E.** Pēc divdesmit gadiem kadiķi ir izauguši, bez kazenēm aug arī bērzi un kļavas.

Ekoloģiskā sukcesija

Biocenozes ir pakļautas dažādiem atšķirīga stipruma iedarbības traucējumiem. Biocenozi var pārmainīt daži vēja nogāzti koki, bebru dambji vai vulkāna izvirdums. No novērojumiem zinām, ka šiem postījumiem seko biocenozes struktūras pārmaiņas. Nereti šo pārmaiņu galarezultāts atkal ir biocenoze, kas pirms tam tika izjaukta.

Ekoloģiskā sukcesija ir biocenozes pārmaiņas, kas notiek pēc tās izpostīšanas. Primārā sukcesija notiek tur, kur vēl nav augsnes, piemēram, vietā, kur izvirdis vulkāns vai atkāpies ledājs. Sekundārā sukcesija sākas vietā, kur jau ir izveidojusies augsne, piemēram, aizaugot iepriekš koptam kukurūzas laukam (7.18. att.). Sākumā tur augs zāle, tad krūmi, beidzot – krūmi un koki.

Sugas, kas ieviešas sukcesijas sākumā, tiek sauktas par **pioniersugām**. Tālāk seko vairākas stadijas, kas aplūkotas



C



D



E

7.19. attēlā. Atkal var novērot procesu, kas sākas ar zāli, turpinās ar krūmiem, krūmu un koku sajaukumu un beidzas ar kokiem. Ekologi mēģina noskaidrot, kādi procesi un mehānismi nosaka 7.18. un 7.19. attēlā parādītās pārmaiņas un vai šo procesu beigās vienmēr ir tas pats biocenozes sastāvs un daudzveidība.

Sukcesijas teorijas

1916. gadā F. Klementss izstrādāja sukcesijas monoklimaksa modeli, apgalvojot, ka sukcesija noteiktā teritorijā vienmēr virzīsies uz vienu un to pašu – **klimaksa biocenozi**. Viņš uzskatīja, ka noteiktos klimatiskajos apstākļos veidojas noteikta klimaksa biocenoze – tuksnesis, savanna vai mežs. Pēc F. Klementsa domām, tieši tāpēc ziemeļu platuma grādos ir skujkoku meži, nedaudz uz dienvidiem – platlapju meži, bet tropos – lietusmeži. Viņš uzskatīja, ka ietekmi atstāj arī augsne. Ja augsne ir sausa un nabadzīga, vietā, kur varētu augt mežs, ir stepe. Savukārt vietās, kur visapkārt ir prērijas, auglīgajās upju piekrastes augsnēs aug meži.

F. Klementss uzskatīja, ka ikvienā sukcesijas stadijā tiek veicināta nākamās stadijas organismu ieviešanās. Piemēram, kāpās nevar augt krūmi, līdz graudzāles nebūs sekmējušas augsnes veidošanās procesus. Līdzīgi ir 7.19. attēlā redzamajā piemērā. Krūmi neaug, līdz graudzāles nav izveidojušas tiem piemērotu augsni. Ikviena sukcesijas stadija sagatavo apstākļus nākamajai. Tā pakāpeniski attīstās zāle, krūmi un mežs.

Paralēli sukcesijas stadiju nomaiņas modelim pastāv arī nomākšanas modelis. Tas paredz, ka ieviesušās sugas cīnās par vietu un nomāc citus augus, līdz viņi paši netiek izspiesti. Bez šiem modeļiem vēl pastāv tolerances modelis. Tas paredz, ka vienu teritoriju vienlaikus var kolonizēt dažādu sugu augi. Tikai nejaušība nosaka, kuras sēklas konkrētajā vietā nokļūst pirmās, un sukcesijas stadijas vienkārši atspoguļo atšķirīgo laiku, kurā dažādas sugas nobriest. Šo viedokli pamato bieži novērotā graudzāļu, krūmu un koku attīstība (7.19. att.). Laiks, kas nepieciešams, lai attīstītos koki, var radīt iespaidu, ka sukcesijā viegli izdalāmas augu biocenožu sērijas no vienkāršākām uz sarežģītākām. Patiesībā aplūkotie modeļi cits citu neizslēdz un sukcesija ir ļoti daudzpusīgs un sarežģīts process.

Iespējams, ka pirmie ekologi pietiekami nenovērtēja mainīguma nozīmi, bet mūsdienās ir noskaidrots, ka tā ir būtiskākā dabisko biocenožu īpašība. Turklāt šķiet, ka sarežģītākās biocenozes ir veidotas no dažādās sukcesijas stadijās esošām daļām. Ikvienai sukcesijas stadijai ir savas raksturīgas augu un dzīvnieku sugas. Ja biocenozē būs pārstāvētas visas sukcesijas stadijas, biocenozes daudzveidība būs vislielākā. Vēl nav zināms, vai sukcesijai ir galapunkts, jo šis process nav beidzies nevienā mūsu planētas vietā.

Pēc biocenozes izjaukšanas noris ekoloģiskā sukcesija – sarežģīts process, kura galarezultāts nav precīzi prognozējams.



7.19. attēls. Sekundārā sukcesija mežā
Sekundārajā sukcesijā lielā skujkoku mežā, kas atrodas Ņujorkas štata centrālajā daļā, noteiktās stadijās dominē vienas un tās pašas sugas. Meža atjaunošanās procesā ir novērojamas apmēram tās pašas stadijas kā kukurūzas lauka sekundārajai sukcesijai (sk. 7.18. att.).
(Pēc *R. L. Smith*, 1960)

7.4. Kā palielināt biocenozes daudzveidību

Biocenozes stabilitāti var noteikt pēc trim rādītājiem – noturības laika gaitā, pretošanās spējām pret pārmaiņām un atjaunošanos pēc biocenozes izjaukšanas. Noturība ir, piemēram, tad, ja mežs nemainās gadu no gada. Pretošanās spējas var novērot, ja mežs atjauno savu lapotni pēc kaitēkļu invāzijas. Bet čaparala biocenoze atjaunojas, pēc ugunsgrēka ātri atgūstot iepriekšējo stāvokli.

Vidējo traucējumu hipotēze

Vidējo traucējumu hipotēze apgalvo, ka augstai biocenozes daudzveidībai ir nepieciešams vidējs traucējumu apjoms (7.20. att.). Iespējamos traucējumus var radīt dažādi abiotiski faktori – ugunsgrēks, vējš, plūdi un dažādas klimata pārmaiņas. Piemēram, ugunsgrēks veicina pameža daudzveidību, jo neļauj ilgi dzīvojošiem krūmiem pilnībā izkonkurēt viengadīgos augus. Tropiskajā mežā ir daudz dažādu sugu koku. Katrai sugai ir sava ekoloģiskā niša. Tas nozīmē, ka vide ir sadalīta nelielos laukumiņos, kuri nedaudz atšķiras cits no cita. Kamēr traucējumi skar tikai vienu no šo laukumiņu veidiem, tikmēr vispārēja stabilitāte saglabājas.

Ja plašāki traucējumi notiek bieži, daudzveidība samazinās. Biocenozē dominēs sugas, kam ir augsts populācijas pieauguma koeficients, īss dzīves cikls un izteiktas spējas aizņemt jaunas teritorijas. (Aplūkojiet 6.13. attēlu un pievērsiet uzmanību tam, ka šīs īpašības ir raksturīgas sugām ar *r* stratēģiju!) Ja traucējumi nav tik plaši un bieži, konkurētspējīgas kļūst arī sugas, kurām ir zemāks populācijas pieauguma koeficients un garāks dzīves cikls. (Aplūkojiet 6.13. attēlu un pievērsiet uzmanību tam, ka šīs īpašības ir raksturīgas sugām ar *K* stratēģiju!) Šādos apstākļos daudzveidība būs vislielākā.

Ir iespējams, ka traucējumi ir tik lieli, ka biocenoze nespēj atgriezties savā iepriekšējā stāvoklī. Arheoloģiskie atradumi liecina, ka no 300. gada līdz 900. gadam Jukatanas pussalā maiji nolīda un apstrādāja simtiem kvadrātkilometru zemes. Nezināmu iemeslu dēļ šī civilizācija gāja bojā, un mežs sāka atjaunoties. Tomēr pat šobrīd šī meža daudzveidība ir relatīvi zema, un daudzi no te biežāk sastopamajiem kokiem ir tie, kurus maiji augstu vērtēja koksnes vai ēdamu augļu dēļ. Dzīvnieki, kas te mīt, galvenokārt barojas ar šiem barības resursiem. Pat pēc 1200 gadiem sugu sastāvs te nav tāds pats kā neskartajos šīs apkaimes tropiskajos mežos.

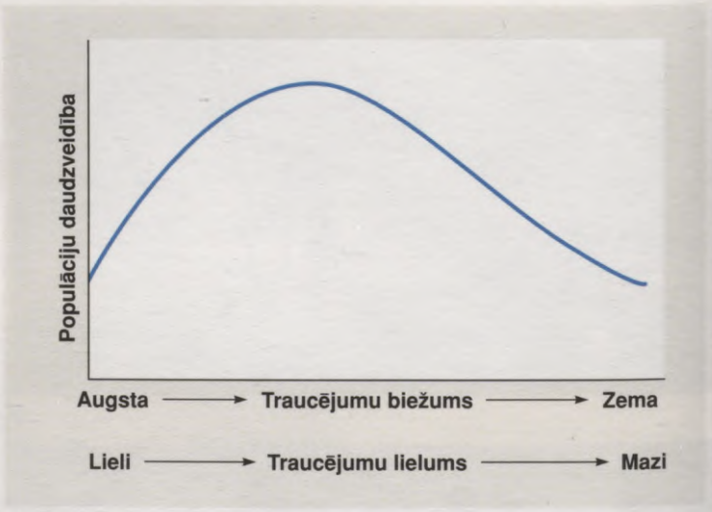
Vidējo traucējumu hipotēze paredz, ka vides neviendabīgums palielina sugu daudzumu.

Plēsonība, konkurence un daudzveidība

Noteiktās biocenozēs atsevišķu sugu plēsonība samazina konkurenci un palielina daudzveidību. Viens no pirmajiem, kas konstatēja šo plēsonības izraisīto efektu, bija R. Peins.



A



B

7.20. attēls. Vidējo traucējumu hipotēze
A. Traucējumi, piemēram, ugunsgrēks 1988. gadā Jeloustonā, palielina daudzveidību, jo parādās vietas, kur var augt gan viengadīgie, gan daudzgadīgie augi. **B.** Šis grafiks parāda, ka daudzveidība ir vislielākā, ja traucējumi ir vidēji bieži un vidēja lieluma.

Veicot eksperimentus Ziemeļamerikas rietumu piekrastē, viņš no akmeņainās paisuma zonas pētījumu parauglaukuma aizvāca jūraszvaigznes (*Pisaster*), bet kontroles parauglaukumā tās atstāja. Kontroles parauglaukumā sugu skaita pārmaiņas netika novērotas. Savukārt pētāmajā daļā pieauga mītilu daudzums, izspiežot citus bezmugurkaulniekus un aļģes no piestiprināšanās vietām pie akmeņiem. Sugu daudzveidība strauji samazinājās (7.21. att.). Plēsoņas, kas regulē konkurenci un paaugstina biocenozes daudzveidību, sauc par **galveno biocenozes locekli**. Āfrikā, iespējams, tas ir zilonis. Ziloņi pārtiek no krūmiem un nelieliem kokiem, tā mežus pārveidojot par savannām. Tas nemaz nav labi pašiem ziloņiem, kas pārtiek no kokaugiem, bet daudzu citu zālēdāju attīstība gan tiek sekmēta.

Salu bioģeogrāfija un daudzveidība

Atcerēsimies, ka R. Makarturs un E. Vilsons izstrādāja vispārīgo salu bioģeogrāfijas teoriju. Tā apgalvoja, ka lielā salā tuvu kontinentam (sugu daudzveidības avotam) būs lielāka daudzveidība nekā mazā salā tālu no kontinenta (sk. 7.3. att.). Pēdējā laikā cilvēks ir izveidojis daudzas salas. Daļa no tām nav īstas salas – ūdens vietā tās apņem pilsētas vai lauksaimniecības zemes.

1920. gadā Panamā, uzpludinot upi, tika izveidota Barrokolorādo sala. Kā to paredzēja salu bioģeogrāfijas teorija, no salas izzuda daudzas tur mītošās sugas, jo tika nošķirtas no sauszemes. Starp izzudušajām sugām bija arī nozīmīgi plēsēji – jaguāri, pumas un oceloti. Vēlāk palielinājās vidēja izmēra sauszemes zīdītāju, piemēram, gardegunlācīšu, skaits. Gardegunlācīši ir plēsēji, kas pārtiek no putnu olām, mazuļiem un citiem sīkiem mugurkaulniekiem. Tāpēc nav nekas pārsteidzošs, ka mūsdienās Barrokolorādo salā mīt tikai dažu sugu putni. Šis piemērs parāda, ka noteiktu plēsēju izzušana var izraisīt ķēdes reakciju, kas virzīta uz biocenozes daudzveidības samazināšanos.

Šādas pārmaiņas var novērot arī izolētās teritorijās uz sauszemes. Tas liecina, ka, aizsargājot sugas ar *K* stratēģiju, it īpaši lielos plēsējus, aizsargājamām teritorijām jābūt lielām.

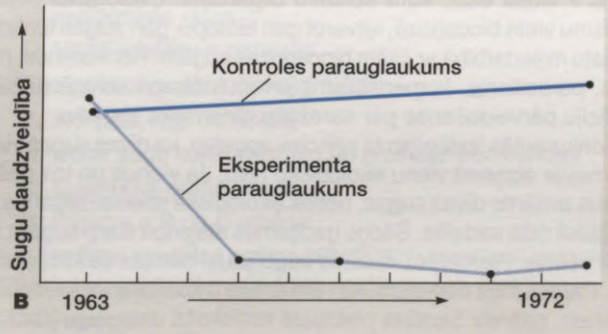
Ievestās sugas un daudzveidība

Neierobežotas konkurences un plēsonības ietekme uz biocenozi var būt graujoša, ja cilvēks introducē sugas teritorijā, kur tās nekontrolē kādi plēsīgie zvēri vai konkurētspējīgas sugas (sk. 10.11. att. D). Līdzīgas problēmas var rasties, sugām izplatoties uz jaunām biocenozēm, kur nav tām specifisku plēsīgo zvēru un konkurentu.

Plēsonība un konkurence ietekmē sugu daudzveidību. Lai sekmīgi attīstītos sugas ar *K* stratēģiju, kas bieži raksturīga lielajiem plēsējiem, ir jābūt pieejamai plašai teritorijai. Ievestās sugas var pilnībā izkonkurēt vietējās augu un dzīvnieku sugas.



A



7.21. attēls. Galvenā biocenozes locekļa darbība

A. Jūraszvaigznes *Pisaster ochracheous* iecienītākā barība ir mītilas *(Mytilus).* **B.** Eksperimenta nolūkos vienā no parauglaukumiem šīs jūraszvaigznes tika aizvāktas. Sugu daudzveidība šajā parauglaukumā samazinājās, jo strauji palielinājās mīdiju populācija, kas izkonkurēja citus bezmugurkaulniekus un aļģes.

Pārskats

Biocenožu ekoloģija pēta, kā dažādu sugu populācijas, kas mīt vienā vietā, savstarpēji mijiedarbojas. Jau izsenis starp ekologiem noris diskusija par to, kā dažādu populāciju mijiedarbība noved pie dabā vērojamo biocenožu izveidošanās. Daļa ekologu uzskata, ka biocenozes darbojas kā "superorganisms", kad katrai sugai biocenozē ir noteikta un neatņemama vieta. Vairumam ekologu tomēr ir pilnīgi pretējs viedoklis – ikviena populācija izvietojas vietā, kur tai ir vispiemērotākie apstākļi, un biocenoze ir vienkārši nejaušs šo populāciju sakopojums. Lai gan joprojām nav īsti zināms, kā biocenozes veidojušās, patiesība, visdrīzāk, ir vidū starp šīm abām hipotēzēm. Jebkuras sugas populācija izplatās tur, kur tai ir piemēroti apstākļi. Tomēr biocenozēm ir raksturīgas arī iezīmes, kas veidojas noteiktu sugu mijiedarbības dēļ. Piemēram, tropiskajos mežos augsts mitruma režīms daļēji ir tāpēc, ka no kokiem iztvaikojušais ūdens nolīst turpat mežā.

Indivīdu skaitu daudzās biocenožu populācijās nosaka negatīva mijiedarbība ar citām populācijām, piemēram, konkurence, plēsonība un parazītisms. Visi trīs šo savstarpējo attiecību veidi ierobežo populācijas lielumu, samazinot izdzīvotību, vairošanos un populācijas augšanu. Gandrīz visas populācijas ietekmē vismaz viens no šiem negatīvajiem mijiedarbību veidiem. Tomēr dabā ļoti bieži novērojami arī pozitīvo mijiedarbību veidi, piemēram, mutuālisms. Šo attiecību ietekme uz populāciju lielumu vēl pilnībā nav noskaidrota.

Iespējams, ka viens no pēdējā laika nozīmīgākajiem atklājumiem par biocenozēm ir tas, ka tās ir ārkārtīgi mainīgas. Sugu skaits, sugu sastāvs un populāciju lielumi biocenozes ietvaros dažādu traucējumu un klimatisko pārmaiņu ietekmē nepārtraukti mainās. Sugas atšķiras pēc spējas apgūt izjauktu vidi. Tas arī ir par iemeslu biocenožu pārmaiņām laika gaitā.

Tā kā biocenožu sugu sastāvs var būt tik mainīgs, daudzi ekologi cenšas izstrādāt biocenožu pētīšanas metodes, kas būtu neatkarīgas no konkrētām sugām. Šie ekologi pēta enerģijas un barības vielu plūsmu caur biocenozi. Šo plūsmu ievērojami ietekmē abiotiskā vide, tāpēc, pētot biocenozi, tā noteikti jāņem vērā. Tā jau ir ekosistēmu ekoloģijas sfēra. Pētot ekosistēmas, jāņem vērā gan biocenoze, gan abiotiskie faktori, kā arī tas, kā tās savstarpēji iedarbojas cita uz citu.

Kopsavilkums

7.1. Kas ir biocenoze?

Biocenoze ir populāciju kopums, kas mijiedarbojas vienā un tajā pašā vidē. Biocenozes atšķiras pēc sugu sastāva un to daudzveidības. Šķiet, ka biocenožu atšķirību lielā mērā nosaka abiotiskie faktori, piemēram, mitruma daudzums un platuma grāds, kurā atrodas biocenoze. Salu bioģeogrāfijas teorija liecina, ka sugu daudzveidību ietekmē pieejamās apdzīvojamās teritorijas lielums.

7.2. Biocenožu struktūra

Biotops ir vides daļa, kuru apdzīvo organismi. Ekoloģiskā niša ir organismu vieta biocenozē, ietverot gan biotopu, gan sugas funkcionālo vietu mijiedarbībā ar citām biocenozes sugām. Konkurence, plēsonība, parazītisms, komensālisms un mutuālisms sekmē dažādo populāciju pārveidošanos par sarežģītu dinamisku sistēmu.

Konkurentās izslēgšanas princips apgalvo, ka divas sugas vienlaikus nevar aizņemt vienu ekoloģisko nišu. Ja vienus un tos pašus resursus izmanto divas sugas, notiek ekoloģiskā specializēšanās un ekoloģiskā niša sadalās. Šādos gadījumos atšķirība starp sugām var būt ļoti neliela. Piemēram, dažādu sugu ķauķi barojas dažādās koka daļās. Parasti mēs domājam, ka redzamais ir konkurences rezultāts, piemēram, pašreiz Skotijas piekrastē notiekošā divu sugu jūraszīļu konkurence.

Plēsoņas un upura attiecības starp divām sugām ietekmē šo sugu biotisko potenciālu, vides ekoloģisko kapacitāti un barības resursu daudzumu biocenozē. Dažkārt plēsonība var izraisīt upura populācijas strauju samazināšanos un saglabāt relatīvi nelielu populācijas lielumu vai arī izraisīt populācijas lieluma cikliskas svārstības.

Upurim var būt daudz dažādu aizsardzības pielāgojumu, piemēram, maskēšanās, uzbrucēja iebaidīšana un brīdinošs krāsojums. Millera mīmikrijas gadījumā divām sugām ir līdzīgs brīdinošs krāsojums un līdzīgas aizsardzības spējas. Beitsa mīmikrijas gadījumā vienai no sugām ir līdzīgs brīdinošs krāsojums, bet nav aizsardzības spēju.

Tiek uzskatīts, ka biocenozē noris koevolūcija, piemēram, izdzīvo veiklākie plēsoņas, kā arī upuri, kas labāk spēj izmukt no plēsoņām. Ziedaugi ir pielāgojušies, lai pievilinātu specifiskus apputeksnētājus, bet saimniekorganismi pielāgojušies potenciālajiem parazītiem.

Līdzīgi kā plēsoņas no sava upura, arī parazīti gūst labumu no saimnieka. Tomēr saimnieks atšķirībā no upura parazītam nodrošina arī dzīvesvietu un vairošanās iespējas. Parazīta iedarbība uz saimniekorganismu ir ļoti dažāda. Tā var būt agresīva (saimnieks iet bojā) vai labdabīga. Iespējams, ka tie ir pielāgojumi, kas veidojušies atkarībā no abu organismu dzīves cikliem.

Iespējams, ka simbiotiskās attiecības ir pārāk sarežģītas, lai tās sadalītu komensālismā, parazītismā un mutuālismā. Tāpēc nav brīnums, ka dažkārt ir grūti pateikt, vai savstarpējās attiecības (klaunzivis un aktīnijas; aļģes un sēnes) ir komensālisms vai mutuālisms. *Croton* ģints koku nektāriji nodrošina skudras ar barību, bet to pašu dara arī kāpuri, kas barojas ar *Croton* dzinumiem. Šajā gadījumā mutuālistiskajās attiecībās starp skudrām un koku iejaucas plēsoņa.

7.3. Biocenozes struktūras pārmaiņas laika gaitā

Biocenozes pārmaiņas tiek sauktas par ekoloģisko sukcesiju. Ekologi ir konstatējuši, ka sukcesijas var novērot gan ģeoloģiskā laika mērogā, gan relatīvi īsākā laika posmā. Pilnībā neatbildēts ir jautājums par to, kādi ir sukcesiju cēloņi un vai to rezultāts ir tā sauktās klimaksa biocenozes. Senāk ar terminu "klimaksa biocenoze" saprata tādu biocenozi, kura ir stabila un nemainīga.

7.4. Kā palielināt biocenozes daudzveidību?

Ir pilnīgi skaidrs, ka bioloģisko daudzveidību palielina vides neviendabīgums un dažādu sukcesijas stadiju klātbūtne biocenozē. Vidējo traucējumu hipotēze liecina, ka vidēja lieluma traucējumi nodrošina lielu bioloģisko daudzveidību.

Bioloģisko daudzveidību ietekmē organismu savstarpējās attiecības, piemēram, plēsonība un konkurence. Daudzveidību sevišķi sekmē lielo plēsēju klātbūtne biocenozē. Nelielos rezervātos šie plēsēji izzudīs, jo viņiem trūks nepieciešamās platības. Tā samazināsies daudzveidība. Vietējo sugu skaitu var samazināt arī ievestās jeb introducētās sugas, kas vietējās sugas izkonkurē vai apēd.

Pārbaudiet sevi

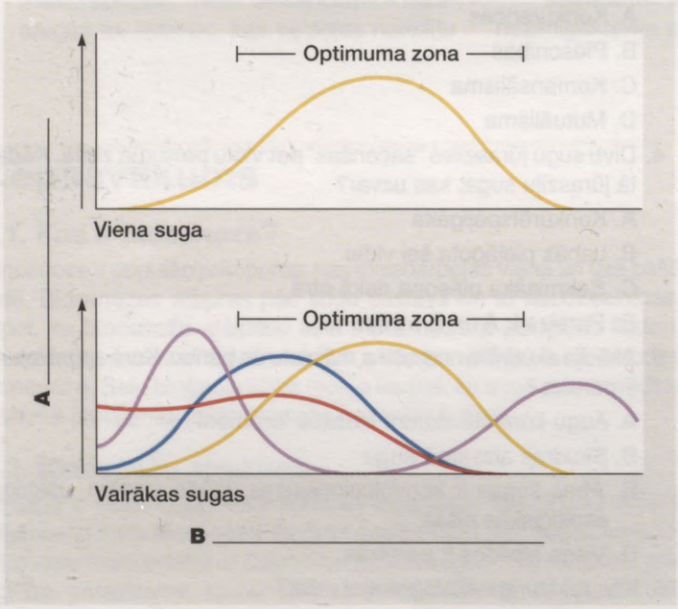
1. Salīdziniet individuālo biocenozes struktūras modeli ar interaktīvo biocenozes struktūras modeli! 125. lpp.
2. Par ko liecina eksperimenti mākslīgajos rifos, un kāda ir salu bioģeogrāfijas teorijas būtība? 125.–126. lpp.
3. Raksturojiet kādu pazīstamu organismu biotopu un ekoloģisko nišu! 127. lpp.
4. Kas ir konkurentās izslēgšanas princips? Kā šis princips saistīts ar pazīmju novirzēm un sugu ekoloģisko specializēšanos? 128.–129. lpp.
5. Kādus rezultātus ieguva, eksperimentējot ar jūraszīlēm Skotijas piekrastē? 129. lpp.
6. Vai plēsoņu un upuru attiecības vienmēr izraisa līdzīgu ietekmi uz populāciju blīvuma pārmaiņām? Kāpēc? 130.–131. lpp.
7. Kas ir mīmikrija? Kā tā sekmē upura aizsardzības spējas? 133. lpp.
8. Miniet parazītisma, komensālisma un mutuālisma piemērus! Paskaidrojiet, kāpēc ne vienmēr ir viegli tos atšķirt citu no cita! 134.–136. lpp.
9. Raksturojiet koevolūcijas piemērus starp plēsoņu un upuri, starp parazītu un saimnieku, kā arī starp mutuālistiskām sugām! 135. lpp.
10. Kas ir ekoloģiskā sukcesija? Kādi viedokļi mūsdienās pastāv par šo jēdzienu? 138.–139. lpp.
11. Kas ir vidējo traucējumu hipotēze? Kā tā saistīta ar biocenozes bioloģisko daudzveidību? 140. lpp.
12. Kādi organismu savstarpējo attiecību veidi ietekmē bioloģisko daudzveidību? Kādā veidā? 141. lpp.

Tests

Izvēlieties vienu pareizo atbildi uz katru jautājumu!

1. Ko tropiskajā mežā dara sešas pērtiķu sugas?
   A. Aizņem vienu un to pašu ekoloģisko nišu
   B. Ēd atšķirīgu barību un aizņem dažādu dzīves telpu
   C. Lielāko daļu laika pavada savstarpējos kļiviņos
   D. Visas atbildes ir pareizas
2. Lapgriezējskudras veido "sēņu dārzus". Skudras sēnes apgādā ar barību, bet vienlaikus izmanto tās arī savā barībā. Kādas attiecības pastāv starp skudrām un sēnēm?
   A. Konkurence
   B. Plēsonība
   C. Komensālisms
   D. Mutuālisms
3. Klaunzivis dzīvo starp aktīniju taustekļiem, kur tās ir aizsargātas no plēsoņām. Ja aktīnijām klaunzivis nedod nekādu labumu, kādu attiecību piemērs tas ir?
   A. Konkurences
   B. Plēsonības
   C. Komensālisma
   D. Mutuālisma
4. Divu sugu jūraszīles "sacenšas" par vietu paisuma zonā. Kāda ir tā jūraszīļu suga, kas uzvar?
   A. Konkurētspējīgāka
   B. Labāk pielāgota šai videi
   C. Sekmīgāka plēsoņa nekā otra
   D. Pareiza ir A un B atbilde
5. Akācija skudrām nodrošina mājvietu un barību. Kurš apgalvojums ir pareizs?
   A. Augu kontrolē skudru izdalītie feromoni
   B. Skudras aizsargā augu
   C. Abas sugas ir koevolucionējušas, tāpēc aizņem atšķirīgas ekoloģiskās nišas
   D. Visas atbildes ir pareizas
6. Kas raksturīgs ekoloģiskajai nišai?
   A. Tas pats, kas biotopam
   B. Ietver sugu konkurētspēju un prasības pēc barības
   C. Specifiska organismam
   D. Pareiza ir B un C atbilde
7. Austrālijas apkakles agāma pēkšņi plaši atver muti un izpleš ādas kroku ap kaklu. Ko viņa šādā veidā cenšas darīt?
   A. Paslēpjas
   B. Brīdina, ka ir neēdama
   C. Mēģina iebaidīt uzbrucēju
   D. Visas atbildes ir pareizas
8. Kas raksturīgs sugai, ja tā pēc izskata atgādina citu sugu?
   A. Trūkst otras sugas aizsardzības pielāgojumu
   B. Ir tādi paši aizsardzības pielāgojumi kā otrai sugai
   C. Ir košs krāsojums
   D. Visas atbildes ir pareizas

9. Kas, visticamāk, nosaka bioloģisko daudzveidību koraļļu rifā?
   A. Koraļļu rifu atšķirīgie izmēri
   B. Pastāvīgi notiekošā sugu imigrācija un emigrācija
   C. Tas, ka rifi ir pakļauti gan iekšējiem, gan ārējiem traucējumiem
   D. Visas atbildes ir pareizas
10. Kad notiek koevolūcija?
   A. Ja divas sugas ir pielāgojušās viena otrai
   B. Ja abas sugas ir pielāgojušās tai pašai videi
   C. Ja katra no sugām ietekmē otras sugas populācijas lielumu
   D. Ja abām sugām pārklājas ekoloģiskās valences
11. Par ko liecina vides neviendabīgums?
   A. Par neviendabīgumu telpā un laikā
   B. Par augstāku bioloģiskās daudzveidības pakāpi
   C. Par traucējumiem pagātnē
   D. Visas atbildes ir pareizas
12. Pievienojiet diagrammai pierakstus un pastāstiet, kā šī diagramma paskaidro individuālās biocenozes struktūras modeli!



Papildjautājumi

1. *Dažādām biocenozēm sugu bioloģiskā daudzveidība ir atšķirīga.* Kā konkurence un plēsonība palielina biocenozes bioloģisko daudzveidību?
2. *Mūsdienu biocenozes radušās sukcesijas rezultātā.* Kāda nozīme sukcesijā ir ugunsgrēkiem? Kā tie var palielināt biocenozes daudzveidību?
3. *Simbiotiskajām attiecībām ir nozīmīga vieta biocenozes struktūrā.* Kas parazītismam un mutuālismam ir kopīgs, kas – atšķirīgs?

Multimediju izmantošana

Tēmu par populāciju ekoloģiju palīdzēs apgūt šādi multimediji.

Interneta izmantošana

Šo nodaļu jums palīdzēs apgūt Maderas mājas lapa

http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader
(izvēlieties bioloģiju)

Jēdzienu izpratne

Biocenoze 124. lpp.
Biocenozes stabilitāte 140. lpp.
Biotops 127. lpp.
Ekoloģiskā niša 127. lpp.
Ekoloģiskā specializēšanās 128. lpp.
Ekoloģiskā sukcesija 138. lpp.
Galvenais biocenozes loceklis 141. lpp.
Klimaksa biocenoze 139. lpp.
Koevolūcija 135. lpp.
Komensālisms 136. lpp.
Konkurentās izslēgšanas princips 128. lpp.
Maskēšanās 132. lpp.
Mīmikrija 133. lpp.
Mutuālisms 136. lpp.
Parazītisms 134. lpp.
Parazīts 134. lpp.
Pazīmju novirze 128. lpp.
Pioniersugas 138. lpp.
Plēsonība 130. lpp.
Plēsoņa 130. lpp.
Saimnieks 134. lpp.
Simbioze 134. lpp.
Starpsugu konkurence 128. lpp.
Upuris 130. lpp.

Atrodiet definīcijām atbilstošos jēdzienus!

A. _____ – populāciju kopums, kas mijiedarbojas kopīgā vidē.
B. _____ – vieta, kur organisms dzīvo un vairojas.
C. _____ – biocenozes pārmaiņas, kuru rezultātā pakāpeniski izveidojas dotajai teritorijai tipiska biocenoze.
D. _____ – savstarpējo attiecību veids, kurā viens organisms izmanto otru (upuri) barībā.
E. _____ – evolūcijas veids, kurā notiek selektīva mijiedarbība starp divām dažādām sugām.
F. _____ – attiecības, kas rodas, divām sugām dzīvojot cieši kopā. Šīs attiecības var būt gan pozitīvas, gan neitrālas, gan negatīvas.
G. _____ – organisma vieta biocenozē, ietverot gan biotopu, gan savstarpējās attiecības ar citiem organismiem.
H. _____ – simbiotiskas attiecības, kad abas sugas gūst labumu.
I. _____ – simbiotiskas attiecības, kad viena suga gūst labumu, kaitējot otrai.
J. _____ – simbiotiskas attiecības, kad viena suga gūst labumu, bet otra netiek ietekmēta.

Ekosistēmas

8. NODAĻA

Nodaļas saturs

8.1. Ekosistēmas uzbūve

- Ekosistēmu veido biocenoze un vide. 146. lpp.
- Dzīvie organismi ekosistēmā mijiedarbojas gan savstarpēji, gan ar vidi. 146. lpp.
- Autotrofi ir organismi, kas paši sev saražo barību. Fototrofi enerģiju organisko vielu ražošanai saņem no Saules. Heterotrofi izmanto autotrofu saražotās organiskās vielas. 147. lpp.

8.2. Enerģijas plūsma un vielu aprite

- Saules enerģija ekosistēmās tiek akumulēta fotosintēzes ceļā. Autotrofu radītās barības vielas pāriet no viena organisma uz citu, bet siltums izdalās atmosfērā. 148. lpp.
- Barības vielu aprite norit gan katrā ekosistēmā, gan starp tām. 149. lpp.

8.3. Globālie bioģeoķīmiskie cikli

- Bioģeoķīmiskie cikli ir saistīti ar biosfēru, hidrosfēru, litosfēru un atmosfēru. 152. lpp.
- Cilvēku darbība ietekmē bioģeoķīmiskos ciklus. Viens no ekoloģijas mērķiem ir prognozēt, kā cilvēka darbība ekosistēmas ietekmēs nākotnē. 155. lpp.



Meža un strauta ekosistēmas

Ekosistēmu, ko veido biocenoze un biotops, raksturo enerģijas plūsma un vielu aprite. Abi šie procesi sākas, aļģēm un zaļajiem augiem uztverot daļiņu saules enerģijas un izmantojot to, lai neorganiskās vielas, piemēram, oglekļa dioksīdu un ūdeni, pārvērstu sev un citiem ekosistēmas organismiem izmantojamā barībā. Noslēdzot ciklu, destruktori sašķeļ organiskās vielas, atgriežot vidē neorganiskās vielas un siltumu. Ekosistēmas nav pilnīgi norobežotas – tām ir vielu un enerģijas apmaiņa arī ar citām ekosistēmām. Tāpēc daudzi ekologi biosfēru uzskata par globālu, vienotu ekosistēmu.

Mūsdienās vairs neviens nenoliedz, ka cilvēks ir biosfēras daļa un ka viņa darbība ietekmē visas ekosistēmas. DDT ir insekticīds, kas pirmoreiz tika izmantots 2. pasaules kara laikā Okeānijas salās, lai iznīcinātu odus, kas izplata malāriju. Mūsdienās DDT ir konstatējams jebkurā organismā, kas dzīvo ūdeņos un uz sauszemes, kā arī cilvēka audos. Arī izšķērdīgā dabas resursu, piemēram, augsnes un mežu izmantošana var izraisīt pārmaiņas, kuras šobrīd ir grūti prognozēt.

8.1. Ekosistēmas uzbūve

Mūsu planēta daudzējādā ziņā ir unikāla. Atšķirībā no citām Saules sistēmas planētām te ir ūdens, atmosfēra un daudzveidīga dzīvība. Patiesībā mūsu planētu vajadzētu saukt nevis par "Zemi", bet gan par "Ūdeni". Ūdens veido hidrosfēru (gr. *hydrias* – no ūdens un lat. *sphaera* – lode), kas klāj vairāk nekā trīs ceturtdaļas zemeslodes virsmas (8.1. att.). Saules siltums nodrošina ūdens apriti. Ūdens iztvaiko no dzīvajiem organismiem, okeāna, upēm un nonāk atmosfērā. Tur tas kondensējas un nokrišņu veidā atgriežas uz zemes. Okeāns samazina temperatūras svārstības – temperatūrai paaugstinoties, okeāns akumulē lielu daļu siltuma, bet, temperatūrai pazeminoties, tas siltumu pakāpeniski atgriež atmosfērā.

Atmosfēra (gr. *atmos* – tvaiks un lat. *sphaera* – lode) – Zemes gāzes apvalks, kas griežas kopā ar Zemi kā vienots veselums. Atmosfēra ir vismaz 1000 km bieza, bet līdz 10 km augstumam tā ir visblīvākā. Atmosfērā ir slāpeklis, oglekļa dioksīds un skābeklis – gāzes, kuras izmanto dzīvie organismi. Oglekļa dioksīds tiek izmantots fotosintēzē. Skābeklis ir nepieciešams šūnu elpošanai, bet atmosfēras augšējā daļā tas veido ozona slāni, kas aiztur kaitīgo ultravioleto starojumu, padarot Zemi apdzīvojamu.

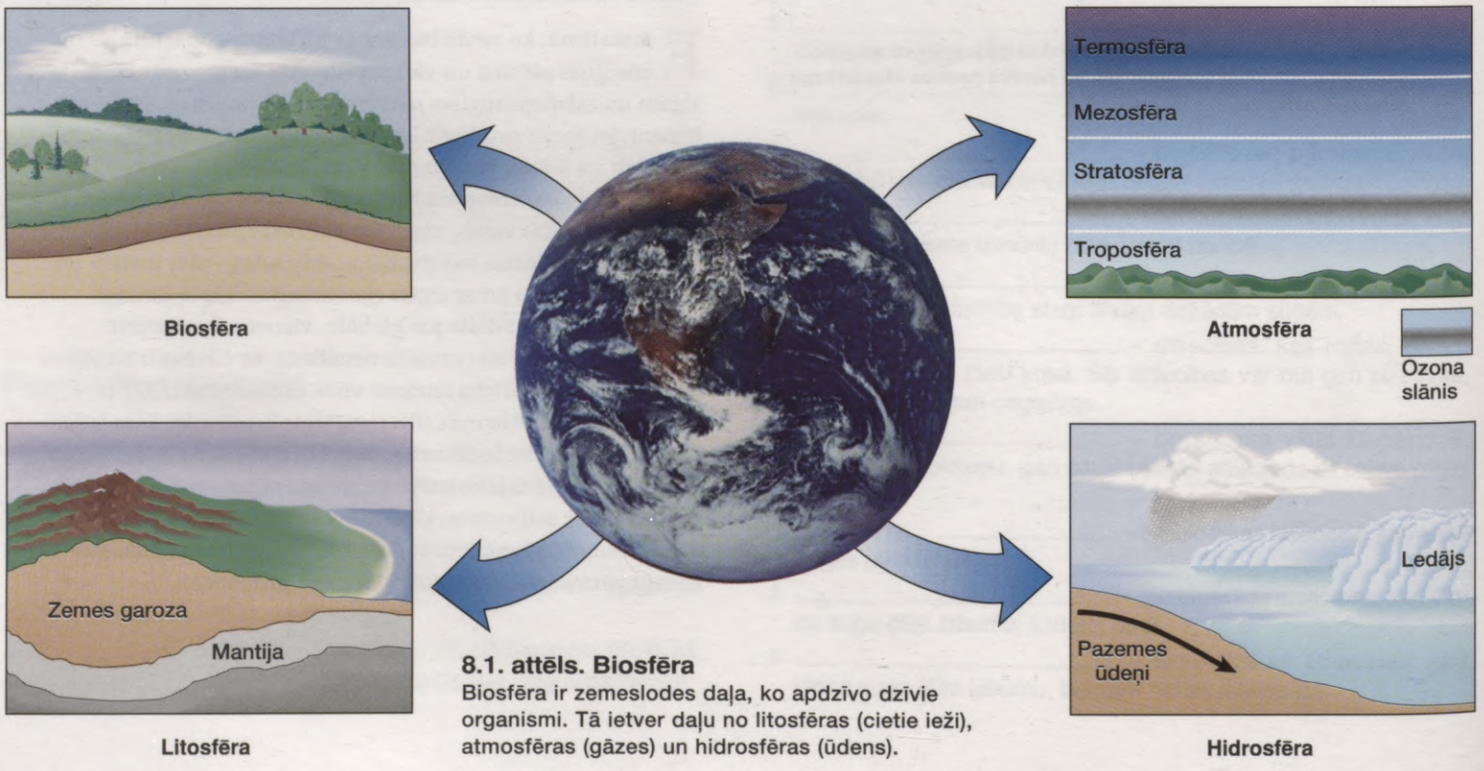
Apmēram 100 km biezais cieto iežu slānis, kas apņem Zemi, tiek saukts par *litosfēru* (gr. *lithos* – akmens un lat. *sphaera* – lode). Dēdējot cietajiem, klinšainajiem iežiem, augi tiek nodrošināti ar minerālvielām. Tie iesakņojas dēdējošajās klintīs un pakāpeniski veido augsni. Bez minerālvielām augsnē ir satrūdējušas organiskās vielas – humuss. Dabā ļoti liela nozīme ir organismiem, kas noārda organiskās vielas. Šie organismi atgriež vidē augiem pieejamās neorganiskās vielas, un fotosintēze var turpināties.

Biosfēra ir atmosfēras, hidrosfēras un litosfēras daļa, kurā mīt dzīvie organismi. Ekosistēma ietver ne tikai dzīvos organismus – biocenozi, bet arī nedzīvo vidi. Tieši mijiedarbība starp organismiem un vidi palīdz saglabāt dzīvībai piemērotu biosfēru. Cilvēka darbība var ietekmēt organismu un vides mijiedarbību, samazinot organismu daudzumu un sugu daudzveidību, ko spēj uzturēt vide. Svarīgi ir saprast, kā ekosistēmas darbojas, jo tad var censties izlabot iepriekš nodarīto kaitējumu videi un prognozēt, kā cilvēka darbība var mainīt apkārtējo vidi.

Organismu un vides mijiedarbības dēļ atmosfēra, hidrosfēra un litosfēra kļūst piemērota dzīvo organismu eksistencei.

Ekosistēmas biotiskie komponenti

Ekosistēma sastāv no dzīvajiem organismiem un nedzīvās vides. Dzīvie organismi ir ekosistēmas biotiskie faktori, bet



8.1. attēls. Biosfēra
Biosfēra ir zemeslodes daļa, ko apdzīvo dzīvie organismi. Tā ietver daļu no litosfēras (cietie ieži), atmosfēras (gāzes) un hidrosfēras (ūdens).

nedzīvā vide – abiotiskie faktori. Ekosistēmas dzīvie organismi tiek iedalīti pēc barības ieguves veida – autotrofi barību saražo paši, bet heterotrofi to iegūst, apēdot citus organismus (8.2. att.). Pie heterotrofiem pieskaitāmi arī detritofāgi un destruktori, kas barojas ar augsnes organiskajām vielām.

Autotrofi

Autotrofi saražo organiskās barības vielas sev un citiem biocenozes locekļiem, tāpēc viņus sauc par **producentiem**. Autotrofus iedala hemotrofos un fototrofos. Hemotrofi ir baktērijas, kas ogļhidrātu sintēzei nepieciešamo enerģiju iegūst, oksidējot neorganiskas vielas, piemēram, amonjaku, nitrītus un sulfīdus. Uz hemotrofiem balstās dažu alu biocenozes, kā arī biocenozes jūras dzīlēs, kur izplūst karstie, minerālvielām bagātie pazemes ūdeņi. Hemotrofi, kas piedalās slāpekļa apritē, tiks aplūkoti 156. lappusē.

Fototrofi ir fotosintezējošie organismi. Tie saražo lielāko daļu biosfēras organisko vielu. Nozīmīgākie jūrās un saldūdeņos fotosintezējošie organismi ir dažādas aļģes. Tās veido fitoplanktonu, kas ir galvenais ūdens biocenožu organisko vielu avots. Uz sauszemes dominējošie fototrofi ir zaļie augi.

Heterotrofi

Heterotrofiem ir nepieciešamas jau gatavas organiskās vielas. Šos dzīvos organismus sauc par **konsumentiem**. **Augēdāji** ir dzīvnieki, kas pārtiek no augiem vai aļģēm. Sauszemes ekosistēmās sīkākie augēdāji ir kukaiņi, bet ūdens ekosistēmās – zooplanktons. Tā sastāvā ietilpst dažādi sīki organismi, piemēram, vienšūņi. **Plēsoņas** pārtiek no citiem dzīvniekiem. Plēsoņas ir gan putni, kas ķer kukaiņus, gan arī putni, piemēram, vanagi, kas medī citus putnus. Šis piemērs palīdz mums saprast, kāpēc konsumentus var iedalīt pirmās kārtas konsumentos (kukaiņi), otrās kārtas konsumentos (kukaiņēdāji putni), trešās kārtas konsumentos (vanagi) utt. Savukārt **visēdāji** ir dzīvnieki, kas pārtiek gan no augiem, gan dzīvniekiem. Arī cilvēks ir visēdājs.

Detritofāgi ir organismi, kas pārtiek no **detrīta** – nedzīvām organiskajām vielām. Piemēram, daudzu sugu sēdošie daudzsartārpi barojas ar jūras ūdenī peldošu detrītu, bet gliemenes to uzņem no substrāta. Pazīstamākie sauszemes detritofāgi ir sliekas, dažas vaboles, termīti un divspārņu kāpuri. Nefotosintezējošās baktērijas un sēnes ir **destruktori** – organismi, kas sadala nedzīvās organiskās vielas. Destruktori veic ļoti svarīgu darbu, jo atbrīvo augiem nepieciešamās neorganiskās vielas. Ja nebūtu šo organismu, augi pilnībā būtu atkarīgi no cieto iežu dēdēšanas procesos atbrīvotajām minerālvielām.

Ekosistēmas biotiskos komponentus var iedalīt atkarībā no to barības iegūšanas veida.



8.2. attēls. Biotiskie komponenti
Ekosistēmā ir: **A.** Autotrofie producenti, piemēram, zaļie augi un aļģes (arī attēlā redzamā kramaļģe); **B.** Heterotrofie augēdāji, piemēram, žirafes un kāpuri; **C.** Heterotrofie plēsoņas, piemēram, zivju ērgļi un dievlūdzēji; **D.** Heterotrofie destruktori, piemēram, sēnes un augsnes baktērijas.

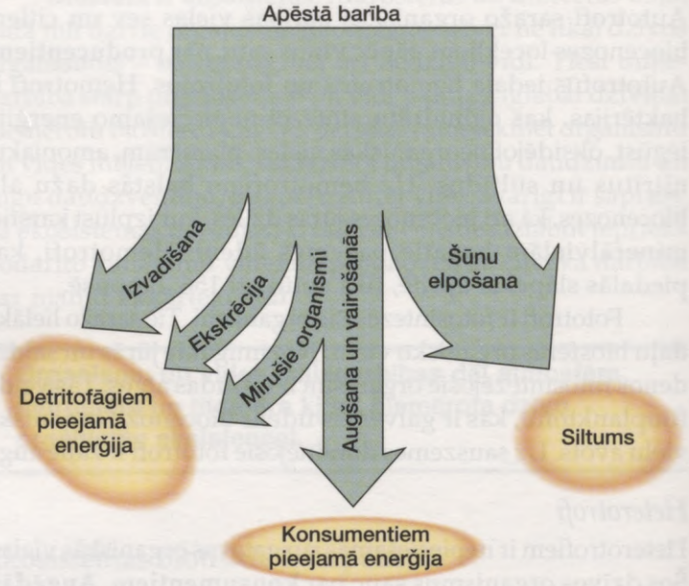
8.2. Enerģijas plūsma un vielu aprite

Visas ekosistēmas (ar dažiem izņēmumiem) ir atkarīgas no saules enerģijas, un tām ir līdzīgas prasības pēc barības vielām (8.3. att.). Vairāk nekā 98 % no dzīvo organismu svara veido seši ķīmiskie elementi – ogleklis, ūdeņradis, slāpeklis, skābeklis, fosfors un sērs, kuri ietilpst dažādās neorganiskajās un organiskajās vielās. Piemēram, ogleklis ir gan neorganiskās vielās (oglekļa dioksīdā), gan organiskās vielās (glikozē).

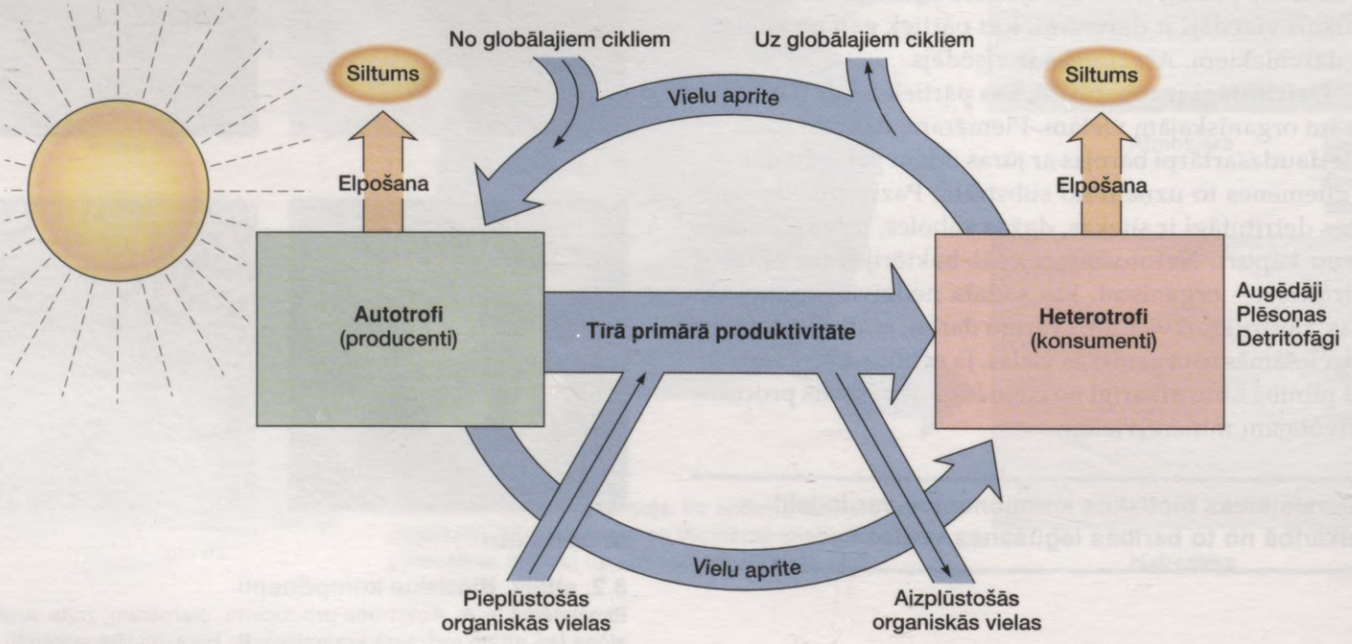
Fotozintēzes ceļā saražojot organiskās vielas, autotrofi ekosistēmu nodrošina ar barību. Heterotrofi organiskās vielas izmanto par enerģijas avotu un materiālu dzīvo audu veidošanai. **Primārā produktivitāte** ir kopējais enerģijas daudzums, ko noteiktā laikposmā producenti uzkrāj dzīvajos audos. Primāro produktivitāti var ietekmēt dažādi abiotiskie faktori, piemēram, klimats (temperatūra un mitrums) un augsnes sastāvs (8.4. att.). Tikai daļa autotrofu saražoto barības vielu nonāk līdz heterotrofiem, jo daļu organisko vielu augi izmanto šūnu elpošanas procesā. Tikai apmēram 55 % no primārās produkcijas ir pieejama heterotrofiem. Šo primārās produkcijas daļu sauc par tīro primāro produktivitāti.

Enerģijas plūsma ekosistēmā noris saskaņā ar termodinamikas likumiem. Saskaņā ar pirmo termodinamikas likumu enerģija nevar rasties un nevar pazust. Tāpēc ekosistēma ir atkarīga no nepārtrauktas ārējās enerģijas (parasti saules enerģijas) plūsmas. Šo enerģiju autotrofie organismi izmanto, lai saražotu organiskās vielas. Otrais termodinamikas likums nosaka, ka jebkuru enerģijas pārvērtības procesu laikā rodas enerģijas zudumi, kas izdalās siltuma veidā. Tā kā augos norit šūnu elpošana, tie uzkrāj un padara pieejamus visai ekosistēmai tikai aptuveni 55 % no sākotnēji pieejamās enerģijas.

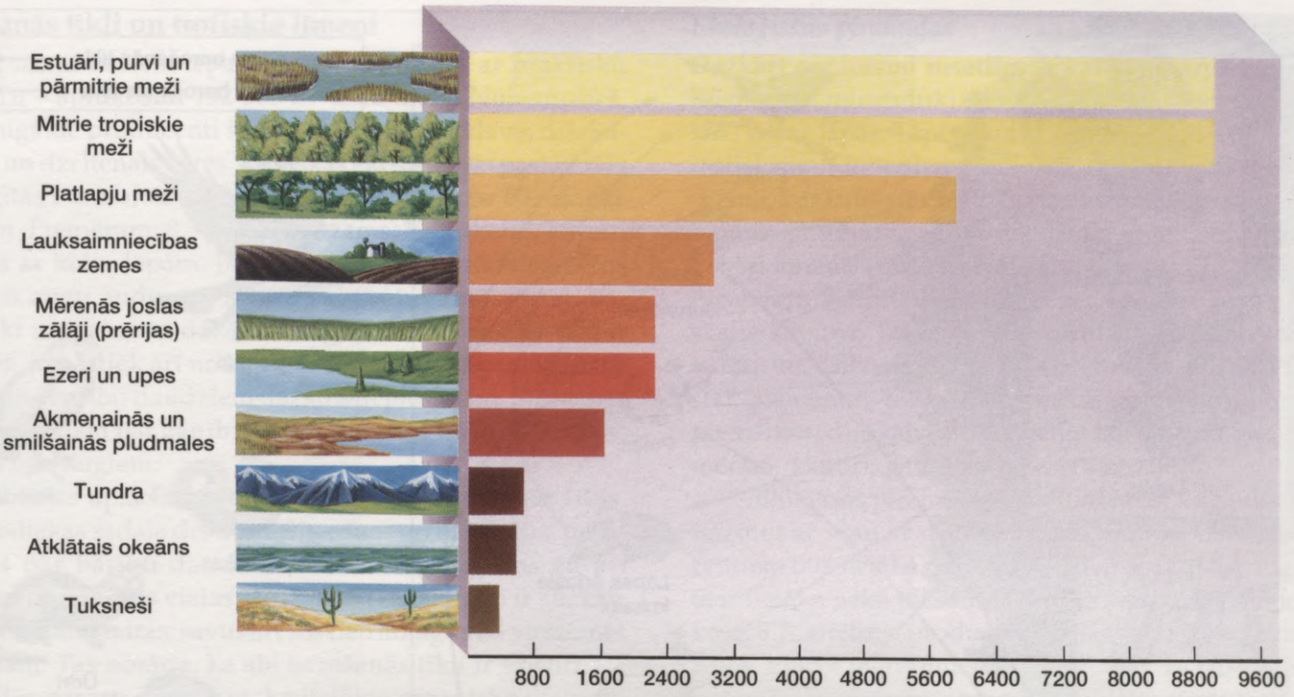
Kā rāda shēma, tikai neliels heterotrofu uzņemtās barības daudzums kļūst pieejams augstāka līmeņa konsumentiem.



Shēmā parādīts, cik daudz enerģijas tiek izvadīts ar ekskrementiem vai urīnu. Daļa asimilētās enerģijas tiek izmantota šūnu elpošanā un izdalās siltuma veidā. Atlikusī enerģija uzkrājas organismā vai pēcnācējos. Šo enerģijas daļu sauc par sekundāro produktivitāti.



8.3. attēls. Ekosistēma
Enerģijas plūsma un vielu aprite ekosistēmā starp autotrofiem, heterotrofiem un vidi.



A

Kopējā primārā produktivitāte (KPP) ir kopējais fotosintēzes ātrums noteiktā teritorijā. Parasti izsaka kilokalorijās uz kvadrātmetru gadā (kcal/m² gadā).

Autotrofi (galvenokārt fotosintezējošie augi un aļģes) absorbē saules enerģiju un saražo barību visiem biocenozes locekļiem.

Tīrā primārā produktivitāte (TPP) ir ātrums, ar kādu augi saražo biocenozei izmantojamo barību (izsaka kilokalorijās uz kvadrātmetru gadā).

TPP = KPP – RS,

kur RS ir autotrofu elpošanai patērētā enerģija.

Daļu no KPP augi izmanto elpošanā. Atlikusī TPP uzkrājas augos un ir pieejama biocenozes heterotrofiem. Parasti TPP ir 50 % līdz 90 % no KPP.

B

8.4. attēls. Kopējā un tīrā primārā produktivitāte

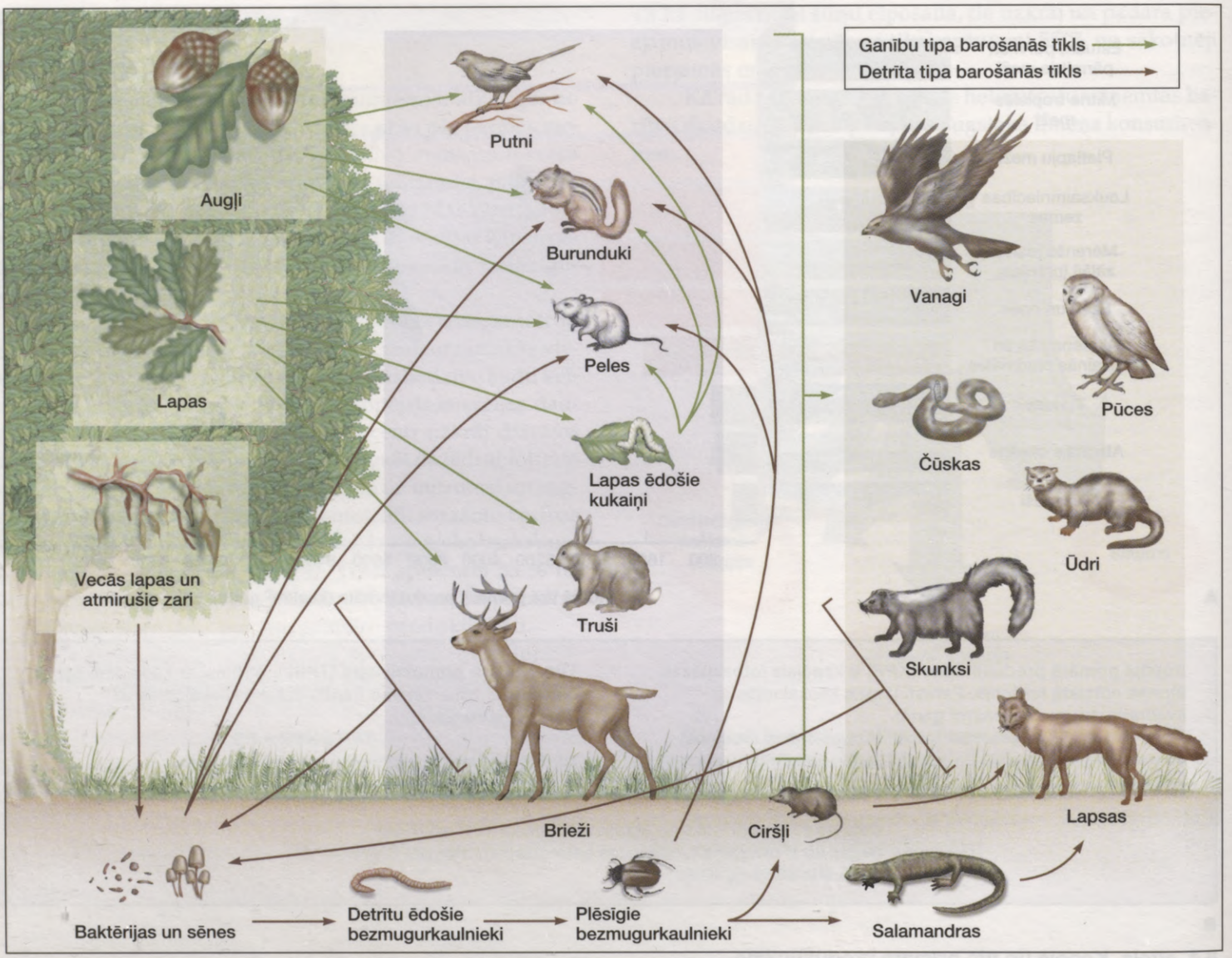
A. Vairāku biocenožu vidējā tīrā primārā produktivitāte (TPP). TPP ietekmē dažādi faktori, piemēram, temperatūra un mitrums. Liela nozīme ir apgaismojumam un barības vielu pieejamībai visas augšanas laikā. **B.** Kopējās un tīrās primārās produktivitātes skaitliskās attiecības.

Jums ir taisnība, ja domājat, ka heterotrofu ekskrementos un urīnā, kā arī mirušajos organisms uzkrātā enerģija nav ekosistēmai zudusi. Šo enerģiju izmanto destruktori un detritofāgi. Tomēr ekosistēmas absorbētā saules enerģija galu galā pārvēršas siltumā. Šis apgalvojums saskan ar novērojumiem, kas liecina, ka ekosistēmas ir atkarīgas no nepārtrauktas enerģijas pieplūdes.

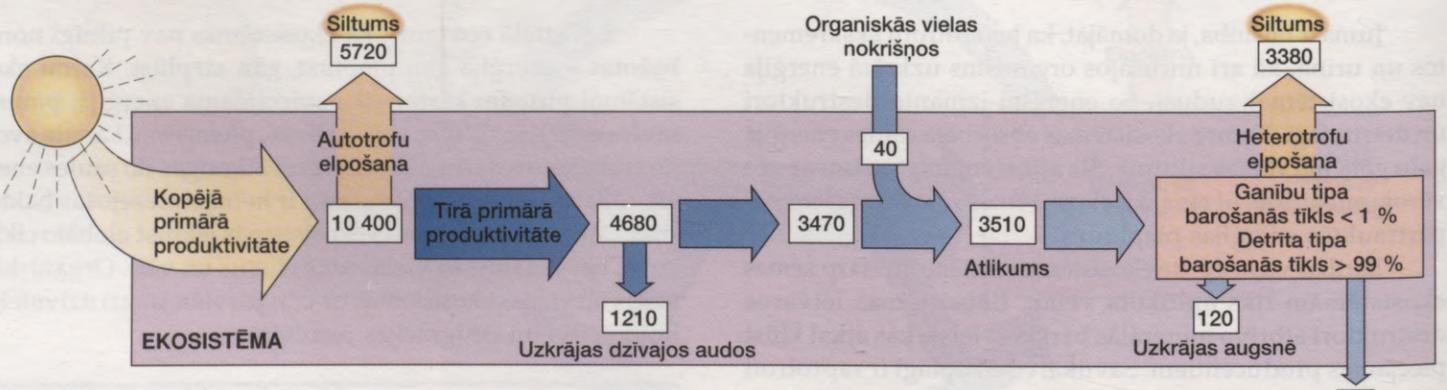
Barības vielu aprite ekosistēmu iekšienē un starp zemes ekosistēmām tiks aplūkota vēlāk. Ekosistēmas ietvaros destruktori atbrīvo minerālās barības vielas, kas atkal kļūst pieejamas producentiem. Savukārt detritofāgi ir saprotrofi organismi – viņi barojas ar detrītu, tātad ar nedzīvajām organiskajām vielām.

8.3. attēlā redzams, ka ekosistēmas nav pilnīgi norobežotas – enerģija gan pieplūst, gan aizplūst. Katrai ekosistēmai pirmām kārtām ir nepieciešama enerģija, parasti saules enerģija. (Dažas ekosistēmas, piemēram, karstie avoti jūras dzīlēs un dažas alas, nav tieši atkarīgas no saules enerģijas. Šajās sistēmās producenti ir hemosintezējošas baktērijas.) Neorganiskās vielas ekosistēmās iekļūst globālo ciklu laikā, bet organiskās vielas atnes lietus un vējš. Organiskās vielas no vienas ekosistēmas uz citu pārvietojas arī dzīvnieku imigrācijas un emigrācijas rezultātā.

Enerģijas plūsma notiek galvenokārt ekosistēmas ietvaros, bet vielu aprite – gan ekosistēmā, gan starp ekosistēmām.



8.5. attēls. Meža barošanās tīkli
Attēlā parādīti divi lapu koku meža ekosistēmas savstarpēji saistīti barošanās tīkli: ganību tipa un detrīta tipa barošanās tīkli.



8.6. attēls. Enerģijas plūsma
8.5. attēlā raksturotās ekosistēmas enerģijas plūsmas shēma. Šajā shēmā redzams, ka kopējā primārā produktivitāte ir 10 400 kcal/m² gadā. No tās 5720 kcal tiek patērētas elpošanai un izdalās siltuma veidā. Tīrā primārā produktivitāte ir 4680 kcal/m² gadā; no tās 3470 kcal (no ārienes papildus pienāk 40 kcal/m² gadā) nonāk ganību tipa un detrīta tipa barošanās tīklos. Mazāk nekā 1 % primārās produktivitātes tiek izmantots ganību tipa barošanās tīklā, bet tās atlikums iziet caur detrīta tipa barošanās tīklu. No 3510 kcal/m² gadā 3380 kcal tiek izmantotas elpošanai un izdalās kā siltums. Kopumā 10 kcal/m² gadā nonāk citās ekosistēmās. Pievērsiet uzmanību tam, ka no sākotnējām 10 400 kcal/m² gadā 1210 kcal tiek uzkrātas dzīvo augu audos, bet 120 kcal uzkrājas augsnē!

Barošanās tīkli un trofiskie līmeņi

Principus, ar kuriem iepazīsimies, ilustrēsim ar praktisku piemēru – aplūkosim 132 300 m^2 lielu mežu Ņūhempšīrā. Nozīmīgākie producenti šajā mežā ir cukura kļava, dižskābardis un dzeltenais bērzs. Dabiskās ekosistēmās pastāvošās sarežģītās barošanās attiecības tiek sauktas par **barošanās tīkliem**. Piemēram, 8.5. attēlā redzams, ka kukaiņu kāpuri barojas ar koku lapām, bet peles, truši un brieži ēd lapas un citus augu audus uz zemes vai tās tuvumā. Putni, burunduki un peles ēd dažādus augļus, bet patiesībā viņi ir visēdāji, jo pārtiek arī no kāpuriem. Šie zālēdāji un visēdāji nodrošina barību daudziem dažādiem plēsoņām. Šī shēmas daļa tiek saukta par **ganību tipa barošanās tīklu**, jo tā sākas ar dzīviem augiem.

Shēmas apakšā attēlots **detrīta tipa barošanās tīkls**. Augu atliekas sadala destruktori – sēnes un baktērijas, pašas kļūstot par barību daudziem detritofāgiem, kas ēd arī augsnes organiskās vielas. Raksturīgi detritofāgi ir sliekas, ciršļi un salamandras; savukārt šos detritofāgus ēd virszemes plēsoņām. Tas norāda, ka abi barošanās tīkli ir saistīti.

Mēs parasti domājam, ka lielākie organisko vielu un enerģijas uzkrājumi ir virszemes veģetācijā, piemēram, kokos, tomēr ne vienmēr tas tā ir. Šajā piemērā aplūkotā meža organiskajās vielās, kas atrodas zemsedzē un ir sajaukušās ar augsni, ir daudz vairāk enerģijas nekā koku lapās. Savukārt augsnē ir divreiz vairāk enerģijas nekā meža zemsedzē. Tāpēc vairāk enerģijas izplūst caur detrīta tipa barošanās tīklu nekā caur ganību tipa barošanās tīklu. 8.6. attēlā redzams, ka caur ganību tipa barošanās tīklu izplūst mazāk nekā 1 % no kopējās pieejamās enerģijas, bet 99 % iziet caur detrīta tipa barošanās tīklu.

Trofiskie līmeņi

Aplūkojot 8.5. attēlu, redzam, ka starp dzīvajiem organismiem atkarībā no tā, kurš kuru ēd, pastāv saikne. Piemēram, ganību tipa barošanās tīklā pastāv šāda saikne:

lapas → kāpuri → peles → vanagi

Savukārt detrīta tipa barošanās tīklā pastāv šāda saikne:

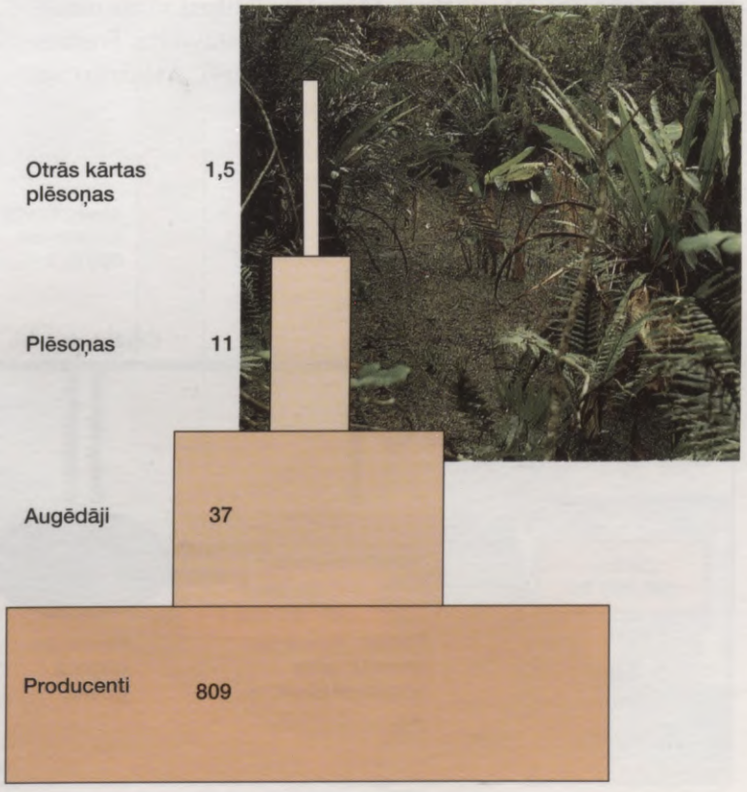
nedzīvās organiskās vielas → augsnes baktērijas → sliekas → utt.

Shēmas, kas attēlo, kurš kuru ēd, sauc par **barošanās ķēdēm**. **Trofiskais līmenis** ir visi organismi, kas barojas vienā barošanās ķēdes posmā. Ganību tipa barošanās tīklā virzienā no kreisās uz labo pusi primārie producenti ir koki (pirmais trofiskais līmenis); tos ēdošie dzīvnieki ir primārie konsumenti (otrais trofiskais līmenis), savukārt plēsoņas ir sekundārie konsumenti (trešais trofiskais līmenis).

Ekoloģiskās piramīdas

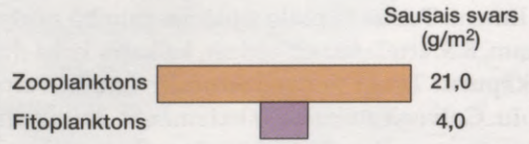
Dažkārt organismi neietilpst tikai vienā trofiskajā līmenī. Piemēram, burunduki ēd ne tikai augļus, bet arī kukaiņus, kuri grauž lapas. Tāpēc ekologi enerģētiskās attiecības starp trofiskajiem līmeņiem attēlo kā **ekoloģiskās piramīdas** – shēmu, kur katrs stāvs ir viens trofiskais līmenis. Ekosistēmas lieluma piramīda parāda, cik daudz organismu ir katrā trofiskajā līmenī. Tomēr tā reālo situāciju pilnībā neatspoguļo. Piemēram, 8.5. attēlā varam redzēt, ka katrā kokā dzīvo liels skaits kāpuru. Tātad te heterotrofu ir daudz vairāk nekā autotrofu. Galvenā atšķirība ir to izmēros. Autotrofi var būt sīki, piemēram, mikroskopiskās aļģes, bet var būt arī lieli, piemēram, dižskābarži. Arī augēdāji var būt gan sīki, piemēram, kāpuri, gan lieli, piemēram, ziloņi.

Biomasas piramīdas izmērus iegūst, organismu skaitu reizinot ar viņu svaru. Jūs konstatēsit, ka biomasa producentiem būs lielāka nekā augēdājiem, savukārt augēdājiem tā ir lielāka nekā plēsoņām. Par to var pārliecināties, aplūkojot 8.7. attēlu, – producenti ir ne tikai aļģes, bet arī jūraszāles. Veicot mērījumus, var konstatēt, ka citās ūdens ekosistēmās, piemēram, ezeros un atklātās jūrās, kur vienīgie producenti ir aļģes, augēdāju biomasa ir lielāka nekā producentu biomasa. Kāpēc? Cēlonis ir aļģu straujā vairošanās un to ātrais patēriņš. Piramīdas, kur augēdāju ir vairāk nekā producentu, sauc par apgrieztajām piramīdām.



8.7. attēls. Ekoloģiskā piramīda
Attēlā redzama ganību tipa barošanās tīkla trofisko līmeņu biomasa (g/m^2) Floridas purvos. Novērojama liela atšķirība starp producentu un augēdāju biomasu. Tas liecina, ka purvos ļoti liela nozīme ir detrīta tipa barošanās tīklam.

Vēl tiek izmantotas enerģijas piramīdas, un tām parasti ir 8.7. attēlā redzamā forma. Ekologi sāk apšaubīt ekoloģisko piramīdu lietderību, aprakstot enerģētiskās attiecības. Viena no galvenajām problēmām ir detritofāgi, kas piramīdās tiek iekļauti reti, bet ekosistēmās liela daļa enerģijas nonāk tieši detrītā.



Zinātnieki ir konstatējuši, ka apmēram 10 % biomasas (vai enerģijas) nokļūst no viena trofiskā līmeņa nākamajā. Tā, apēdot 100 kg (vai kcal) augu, izveidosies aptuveni 1000 kg augēdāju audu. Tālāk aptuveni 10 kg (kcal) akumulēsies pirmā līmeņa plēsoņās, bet 1 kg (kcal) – otrā līmeņa plēsoņās. Tātad barošanās tīklā var būt samērā nedaudz plēsoņu. Tas saskan ar novērojumiem, ka katrā barošanās ķēdē ir tikai trīs, četri vai, retumis, pieci posmi.

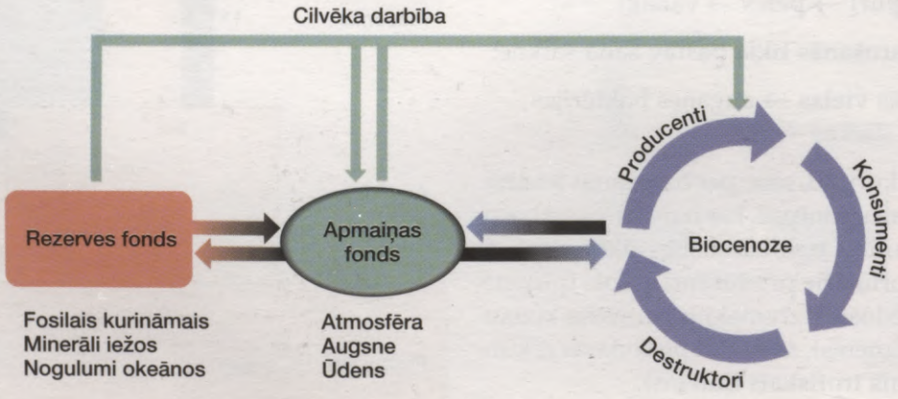
8.3. Globālie bioģeoķīmiskie cikli

Visiem organismiem ir nepieciešamas dažādas organiskās un neorganiskās barības vielas. Oglekļa dioksīds un ūdens ir nepieciešams fotosintēzei. Slāpeklis ietilpst visās olbaltumvielās, kas ir nozīmīga dzīvo audu sastāvdaļa. Fosfors ir nepieciešams ATP un nukleotīdu sintēzei. Atšķirībā no enerģijas autotrofi neorganiskās barības vielas var izmantot atkārtoti.

Minerālās barības vielas cirkulē no nedzīvās vides uz organismiem un atkal atpakaļ šajā vidē. Šādus vielu aprites ceļus sauc par **bioģeoķīmiskajiem cikliem**. Ikviens elements aprites laikā var atrasties 1) rezerves fondā – formā, kas parasti producentiem ir nepieejama, piemēram, fosilajās atliekās, iežos un dziļjūras nogulumos; 2) apmaiņas fondā – atmosfēras, hidrosfēras un litosfēras daļās, no kurām autotrofi tās viegli var iegūt; 3) biocenozē, kur vielas pārvietojas pa barošanās ķēdēm (8.8. att.).

Bioģeoķīmiskos ciklus iedala divos tipos. Gāzveida cikls ir oglekļa un slāpekļa aprite. Šajā gadījumā elements tiek ņemts no atmosfēras un tur atgriežas gāzes veidā. Nosēdumu ciklu raksturo fosfora aprite. Augi šo vielu uzņem ar saknēm no augsnes. Tālāk tā nonāk heterotrofos, bet destruktori to atgriež augsnē. Bieži vien tas notiek ierobežotā teritorijā.

Vielai iekļūstot vienā ekosistēmā, tā tālāk var nonākt jebkurā citā ekosistēmā. Nākamo lappušu attēlos var redzēt, ka barības vielas spēj apmainīties starp sauszemes un ūdens ekosistēmām. Slāpekļa un fosfora ciklos šie elementi no sauszemes ekosistēmām nokļūst ūdens ekosistēmās, tās bagātinot. Savukārt ūdens ekosistēmu mirušās organiskās vielas var noderēt par barību sauszemes iemītniekiem, piemēram, krabjiem. Ar ūdensputnu, kas barojas ar zivīm, izvadītajiem galaproduktiem fosfors no ūdens nonāk uz sauszemes. Zinātnieki ir konstatējuši, ka kvēpi no apdzīvotajām vietām un pesticīdi no lauksaimniecībā izmantojamām zemēm nonāk pat Arktikas sniegā un turienes dzīvniekos.



8.8. attēls. Barības vielu aprites modelis
Rezerves fonds, piemēram, fosilais kurināmais, minerāli iežos un nogulumi okeānos, ir relatīvi nepieejams barības vielu avots. Savukārt apmaiņas fonds, piemēram, vielas atmosfērā, augsnē un ūdenī, ir biocenozēm viegli pieejams barības vielu avots. Cilvēka darbības rezultātā barības vielas no rezerves fonda nonāk apmaiņas fondā un kļūst biocenozēm pieejamas. Pārmērīgs šo vielu daudzums var izraisīt piesārņojumu.

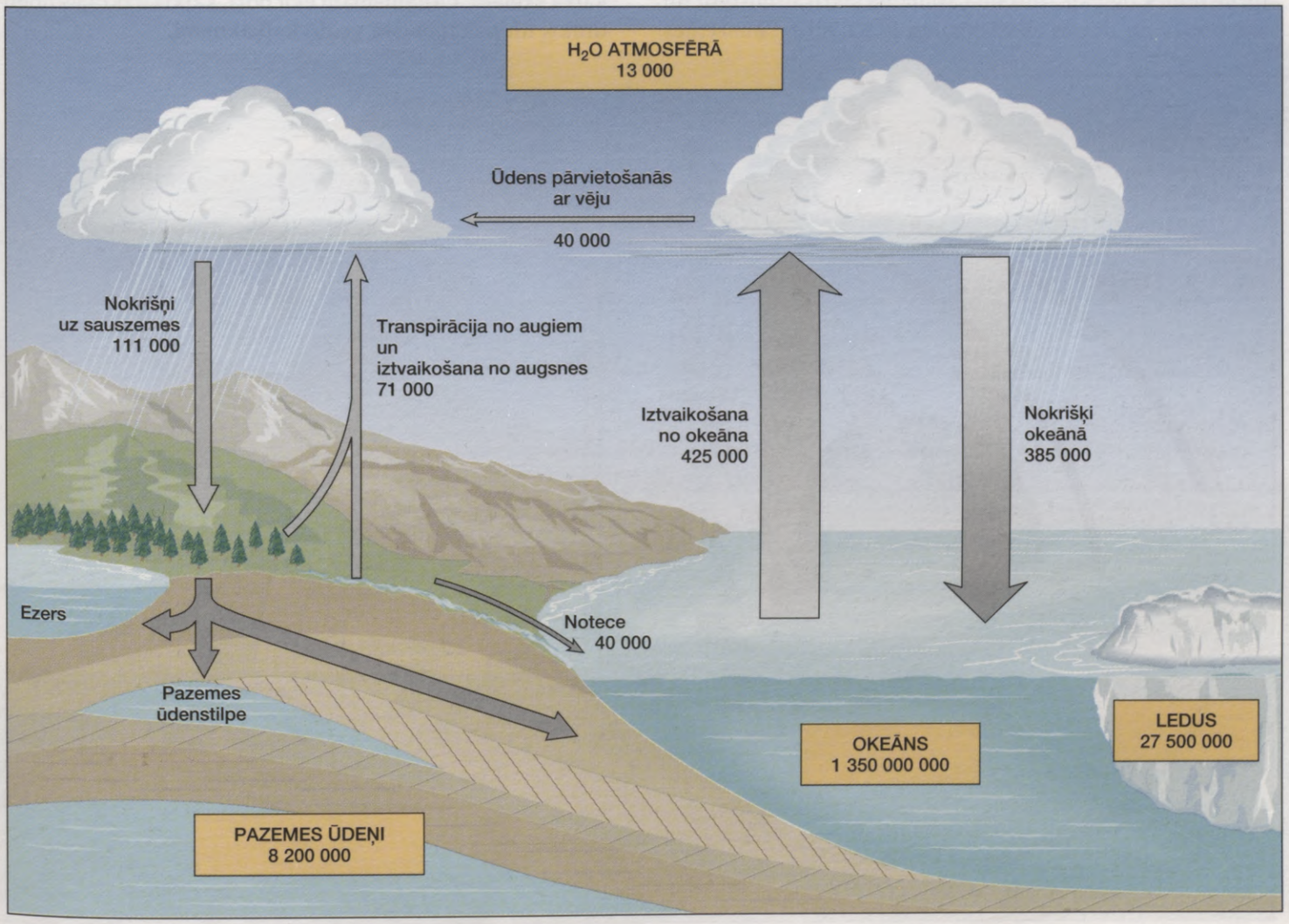
Ūdens aprite

Ūdens aprite biosfērā shematiski parādīta 8.9. attēlā. Saldūdens veidojas, iztvaikojot sālsūdenim. Saule sasilda jūras ūdeni un liek tam iztvaikot. Atmosfērā ūdens tvaiki atdziest un lietus veidā nonāk uz sauszemes un atgriežas okeānos.

Ūdens iztvaiko arī no zemes un augiem (iztvaikošanu no augiem sauc par transpirāciju). Uz sauszemes daļa ūdens nonāk ezeros un dīķos, daļa plūst upēs un strautos, kā arī uzkrājas zemē. Galu galā gravitācijas ietekmē ūdens atgriežas okeānā, jo okeāns atrodas zemāk nekā sauszeme.

Līstot lietum, daļa ūdens iesūcas zemē un līdz zināmam līmenim to piesūcina. Atsevišķos zemes slāņos ūdens uzkrājas, veidojot gruntsūdeņus. Dažkārt ūdens lielākos daudzumos uzkrājas starp citiem iežiem. Pazemes ūdens virszemē vērojams avotos un akās. Pazemes ūdeņus parasti papildina lietus un kūstošs sniegs. Dažviet, īpaši sausos apgabalos, piemēram, Floridā, cilvēks pazemes ūdeni izlieto vairāk, nekā tas spēj atjaunoties. Pazemes ūdens daudzums tur samazinās, un pēc dažiem gadiem iedzīvotājiem ievērojami būs jāierobežo tā patēriņš (jāpārtrauc tā izmantošana irigācijai). Saldūdens ir tikai 3 % no visiem pasaules ūdens krājumiem. Tos dēvē par atjaunojamiem resursiem, jo saldūdens nepārtraukti atjaunojas. Tomēr ir iespējams palikt bez saldūdens, ja tā atjaunošanās nav pietiekama vai tas tiek piesārņots.

Ūdens apritē ūdens iztvaiko un pēc tam atgriežas uz zemes nokrišņu veidā. Ūdens, kas nonāk uz sauszemes, rada atklātas ūdens krātuves vai iesūcas zemē, veidojot pazemes ūdeņus. Pakāpeniski viss ūdens atgriežas okeānā.



8.9. attēls. Ūdens aprite
Ūdens daudzums, kas iztvaiko no okeāna, pārsniedz to ūdens daudzumu, kas tur atgriežas ar lietu, jo daļa ūdens nolīst uz sauszemes. Tur veidojas gan virszemes, gan pazemes ūdeņi, kas plūst atpakaļ uz okeānu. Uz sauszemes iztvaikošanu veicina auga transpirācija. Skaitļi norāda ūdens plūsmu km^3/gadā.

Oglekļa aprite

Runājot par **oglekļa apriti**, prātā jāpatur saikne starp fotosintēzi un šūnu elpošanu. Šis vienkāršotais vienādojums vienā virzienā atspoguļo aerobajā šūnu elpošanā notiekošos procesus, bet otrā – fotosintēzi.

Aerobā šūnu elpošana

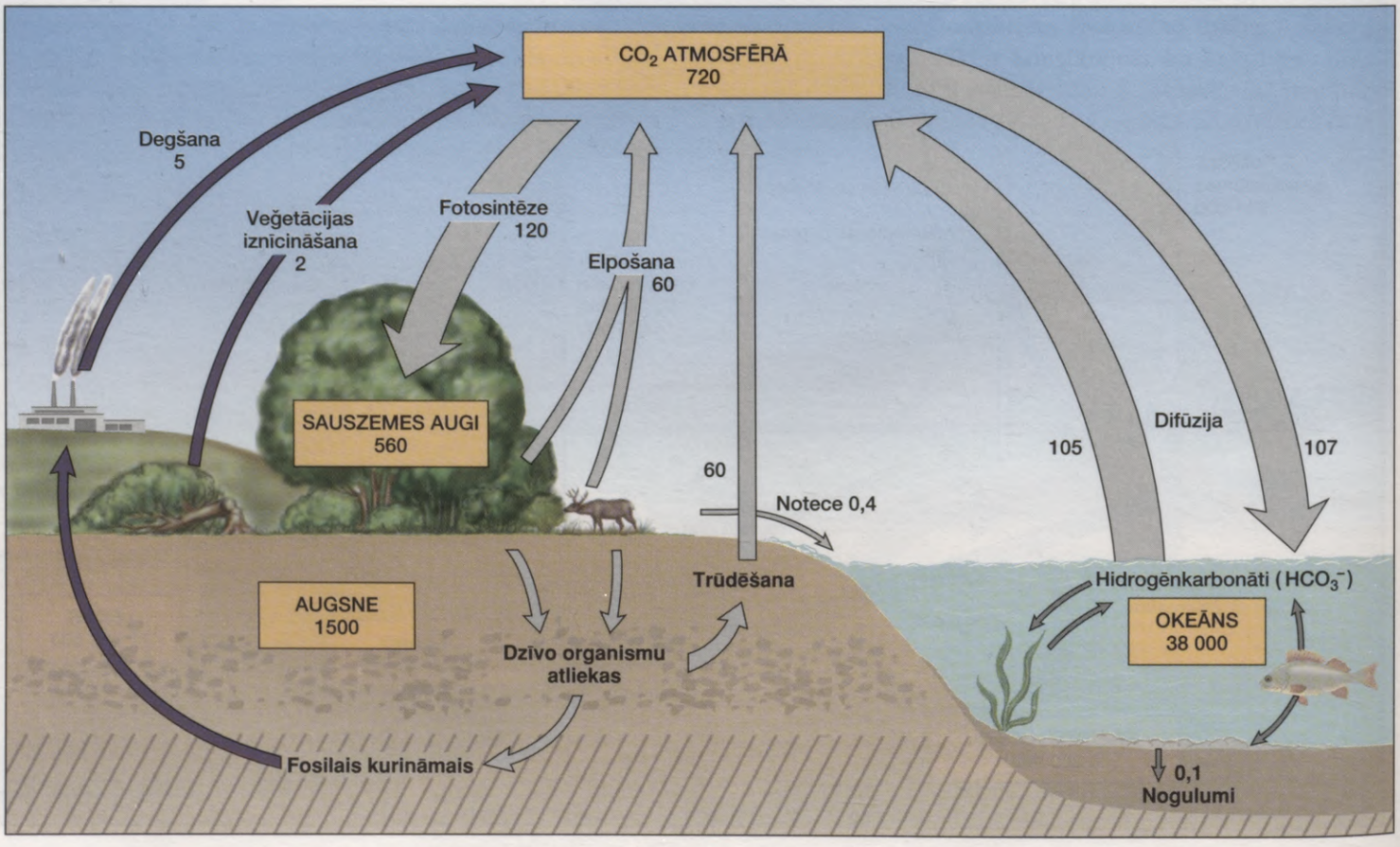
$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightleftharpoons 6CO_2 + 6H_2O$$

Fotosintēze

Šis vienādojums liecina, ka aerobajā šūnu elpošanā tiek izdalīts oglekļa dioksīds, kas nepieciešams fotosintēzē. Savukārt fotosintēzē tiek izdalīts skābeklis, kas nepieciešams aerobajai šūnu elpošanai. Dzīvnieki ir atkarīgi no zaļajiem augiem ne tikai barības un enerģijas dēļ, bet arī augu biosfērā izdalītā skābekļa dēļ. Tā kā producenti gan fotosintezē, gan elpo, tie var funkcionēt neatkarīgi no dzīvnieku valsts. Oglekļa apritē notiek oglekļa dioksīda apmaiņa starp atmosfēru un sauszemes un ūdens ekosistēmām (8.10. att.). Sauszemes augi oglekļa dioksīdu uzņem no gaisa un fotosintēzes ceļā oglekli akumulē barībā, ko izmanto gan autotrofi, gan heterotrofi. Augiem un dzīvniekiem elpojot, daļa oglekļa atgriežas atmosfērā.

Ūdens ekosistēmām saikne ar atmosfēru ir netieša. Atmosfēras oglekļa dioksīds šķīst ūdenī, kur veidojas hidrogēnkarbonāti (HCO_3^-). No tiem oglekli iegūst aļģes, kas saražo barību gan sev, gan heterotrofajiem organismiem. Savukārt ūdens organismu izdalītais oglekļa dioksīds atkal veido hidrogēnkarbonātus. Hidrogēnkarbonātu daudzums ūdenī ir līdzsvarā ar oglekļa dioksīda daudzumu atmosfērā.

Lieli organiskajās vielās ietilpstoši oglekļa krājumi ir gan dzīvajos organismos, gan to atliekās. Ja nenotiek dzīvo organismu atlieku sadalīšanās, tās uzkrājas un ilgā laika periodā pārvēršas par oglēm, naftu un dabasgāzi. Lielākā daļa šā fosilā kurināmā izveidojās karbona periodā pirms 286 līdz 360 miljoniem gadu, kad uzkrājās milzīgi organisko vielu daudzumi. Ogleklis uzkrājas arī kalcija karbonāta veidā. Okeānā ir ļoti daudz mikroskopisku organismu ar kaļķa skeletu. Organismam ejot bojā, kaļķis uzkrājas nogulumos un pakāpeniski veido kaļķakmeni.



8.10. attēls. Oglekļa aprite

Oglekļa daudzums, kas elpojot nonāk atmosfērā, aptuveni sakrīt ar oglekļa daudzumu, ko augi uzņem fotosintēzē. Tomēr mūsdienās, cilvēkiem, sadedzinot fosilo kurināmo un iznīcinot veģetāciju (tumši sarkanas bultas), oglekļa dioksīds atmosfērā nokļūst vairāk, nekā augi to spēj uzņemt. Skaitļi diagrammā izteikti oglekļa tīrvielas 1016 gramos gadā.

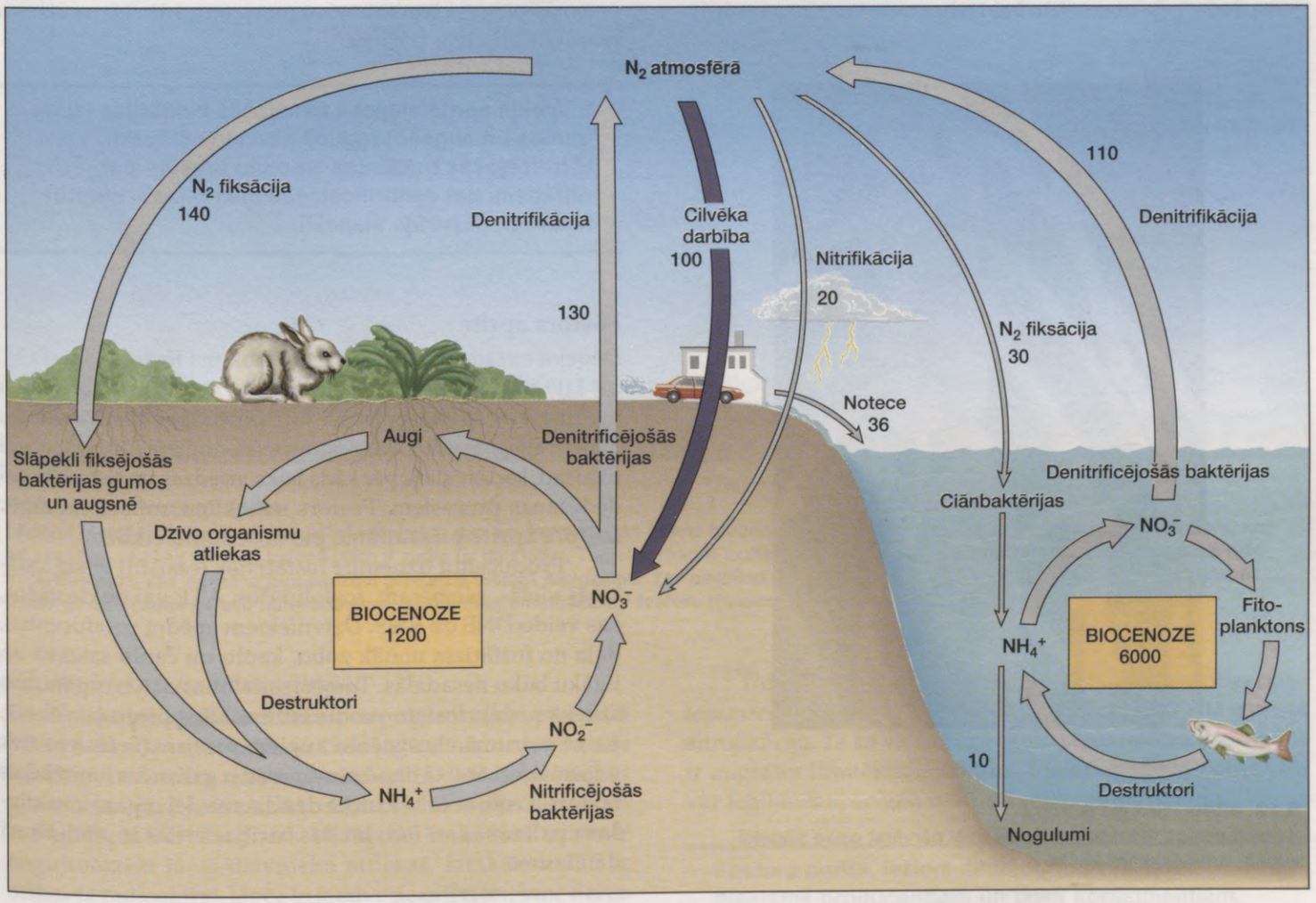
Cilvēka ietekme uz aprites ātrumu

Aprites ātrums ir dotās vielas daudzums, kas pārvietojas no viena ekosistēmas komponenta uz citu noteiktā laika vienībā. 8.10. attēlā redzams, ka oglekļa dioksīda aprite starp zemi un atmosfēru, kā arī starp okeānu un atmosfēru elpošanas un fotosintēzes rezultātā ir aptuvenā līdzsvarā. Cilvēkam sadedzinot fosilo kurināmo un mežus, atmosfērā nokļūst vairāk oglekļa dioksīda, nekā no tās aizplūst. Cilvēka darbības rezultātā vismaz par 6 % ir palielinājies oglekļa dioksīda daudzums atmosfērā. Šis skaitlis varētu būt vēl lielāks, ja vien daļu liekā oglekļa dioksīda neakumulētu okeāns. Pēdējos 22 gados, sadedzinot fosilo kurināmo, gaisā izsviesti aptuveni 78 miljardi tonnu oglekļa. Tomēr reģistrēts, ka atmosfēras oglekļa daudzums pieaudzis "tikai" par 42 miljardiem tonnu.

Botāniķi mēģina noskaidrot, vai fotosintēzes ātruma palielināšanās spēs ierobežot oglekļa dioksīda koncentrācijas palielināšanos. Tāpēc tiek veikti eksperimenti siltumnīcās ar palielinātu oglekļa dioksīda koncentrāciju gaisā. Eksperimenta nolūkā tiek gan audzētas lauksaimniecības kultūras, gan izveidotas miniatūras dabiskās ekosistēmas. Ir konstatēts, ka kultūraugu ražība palielinās, ja attiecīgi palielinās arī ūdens, mēslojuma un pesticīdu daudzums. Tas savukārt izraisa piesārņojuma palielināšanos. Augiem ar CO_2 bagātinātās dabiskās ekosistēmās veidojas audi ar zemāku slāpekļa saturu un ir paātrināta trūdēšana, kas sekmē ātru oglekļa dioksīda atgriešanos atmosfērā. Vairāk nekā desmit gadus ilgi pētījumi ir parādījuši, ka oglekļa dioksīda koncentrācijas palielināšanās atmosfērā, visticamāk, atstās negatīvu ietekmi uz ekosistēmām.

Slāpekļa aprite

Slāpeklis ir elements, kura atmosfērā ir visvairāk. Slāpeklis (N_2) sastāda 78 % no gaisa tilpuma. Tomēr slāpekļa trūkums nereti ierobežo augu augšanu. Augi nespēj tieši uzņemt gaisa slāpekli, tāpēc ir atkarīgi no dažādām baktērijām, kas piedalās **slāpekļa apritē** un padara to augiem pieejamu (8.11. att.).



8.11. attēls. Slāpekļa aprite

Biocenozei pieejamā slāpekļa aprite notiek tās iekšienē. Bez cilvēka ietekmes denitrifikācijas rezultātā atmosfērā atgriežas vairāk slāpekļa, nekā tas no tās tiek paņemts, noritot slāpekļa fiksācijai un nitrifikācijai. Cilvēka darbības (tumši sarkanās bultas) rezultātā palielinās NO_3^- daudzums sauszemes biocenozēs un no turienes iekļūst arī ūdens biocenozēs. Skaitļi diagrammā izteikti slāpekļa tīrvielas 1012 gramos gadā.

Gaisa slāpekļa fiksācija

Slāpekļa fiksācija notiek, slāpeklim (N_2) reducējoties un iekļaujoties organiskajās vielās. Dažas ciānbaktērijas jeb zilaļģes ūdens ekosistēmās un dažas brīvi dzīvojošas baktērijas augsnē var reducēt slāpekli līdz amonija jonam (NH_4^-). Vēl citas slāpekli fiksējošas baktērijas dzīvo daudzu augu, piemēram, pākšaugu sakņu gumos (8.12. att.). Reducējot slāpekli, tās iekļauj slāpekli vielās, kas ir pieejamas augiem.

Augi atmosfēras slāpekli nespēj piesaistīt; tas tiek uzņemts no augsnes ar nitrātiem (NO_3^-) un amoniju (NH_4^-). No augsnes uzņemtos nitrātus augi reducē līdz NH_4^- un izmanto aminoskābju un nukleīnskābju sintēzē.

Gaisa slāpekļa nitrifikācija

Nitrifikācija ir nitrātu veidošanās. Gāzveida slāpeklis (N_2) atmosfērā pārvēršas par slāpekļa oksīdiem un tālāk par nitrātiem (NO_3^-) kosmiskās radiācijas, meteoru triecienu, zibeņu un citu iedarbību rezultātā, jo rodas slāpekļa oksidēšanai nepieciešamā enerģija. Amonija jonu (NH_4^-) augsnē par nitrātiem pārvērš baktērijas. Vispirms vienas baktērijas amoniju pārvērš par nitrīta jonu (NO_2^-), bet citas baktērijas – par nitrāta jonu (NO_3^-). Šo abu veidu baktērijas tiek dēvētas par nitrificējošām baktērijām. 8.11. attēlā redzams, ka slāpekļa apritē ir atsevišķs cikls, kas saistīts tikai ar amoniju, nitrītiem un nitrātiem un nav atkarīgs no gāzveida slāpekļa klātbūtnes.



8.12. attēls. Sakņu gumiņi
Šajos gumiņos mītošās baktērijas spēj pārvērst gaisa slāpekli augam izmantojamās vielās.

Denitrifikācija ir nitrātu pārvēršana par slāpekļa oksīdiem un gāzveida slāpekli. Gan ūdens, gan sauszemes ekosistēmās ir sastopamas denitrificējošās baktērijas. Denitrifikācijas rezultātā fiksētais slāpeklis atkal atgriežas atmosfērā. Tomēr nitrifikācijas un denitrifikācijas procesi nav pilnīgā līdzsvarā, jo daudz slāpekļa tiek fiksēts, ražojot minerālmēslus.

Cilvēka ietekme uz aprites ātrumu

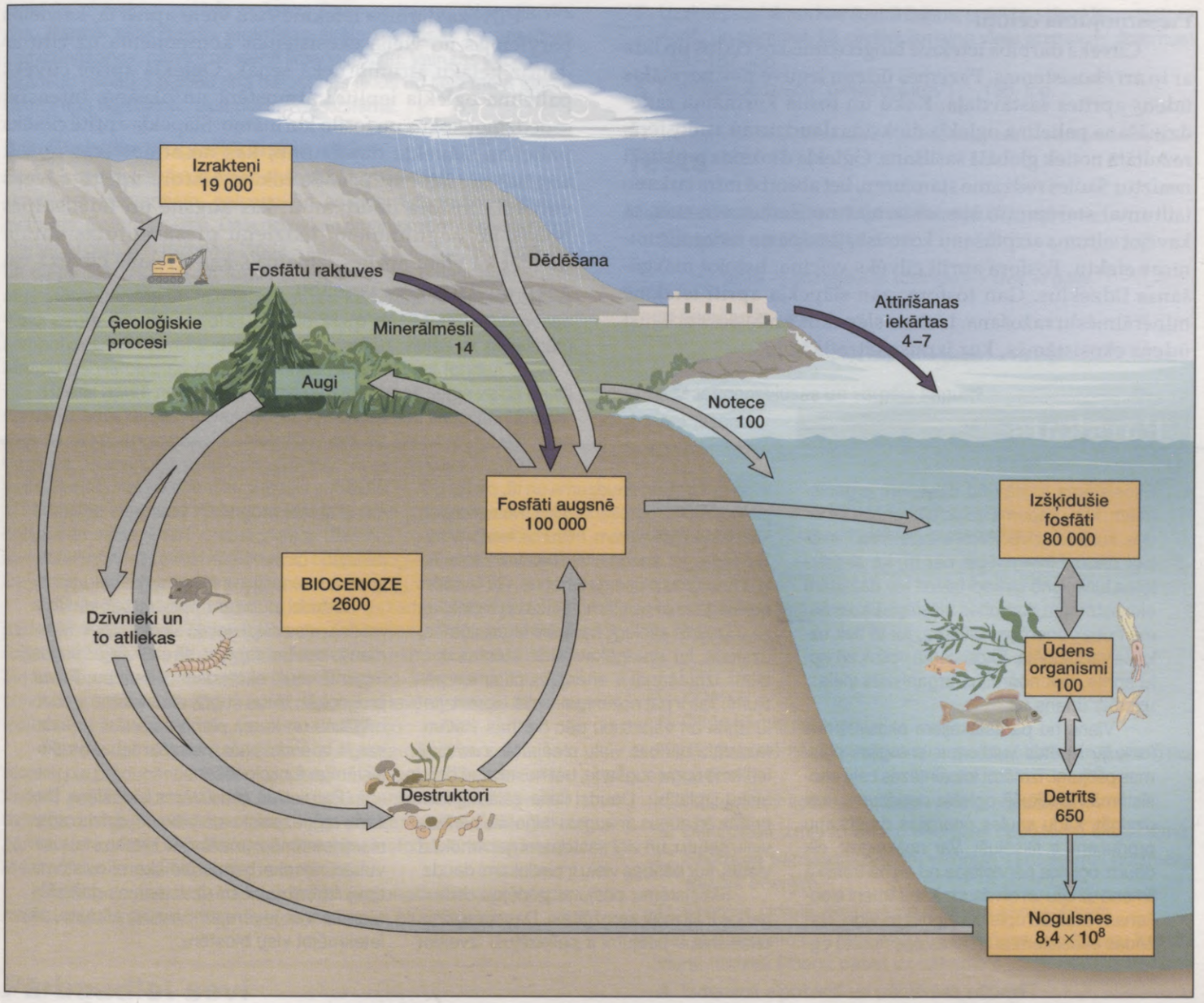
Slāpekļa apriti ievērojami ietekmē cilvēka darbība. Ražojot minerālmēslus no gaisa slāpekļa, gandrīz divreiz tiek palielināts piesaistītā slāpekļa daudzums. Daļa mēslojuma, kurā ir arī fosfāti, ieplūst upēs un ezeros, izraisot strauju aļģu un ūdensaugu biomasas palielināšanos. Piesārņojums ar barības vielām izraisa ūdenstilpju eitrofikāciju (bagātināšanos ar barības vielām), kas izpaužas kā aļģu ziedēšana. To var novērot, ja ūdens kļūst zaļš vai tiek pārpildīts ar savijušos aļģu kumšķiem. Pēc aļģu bojāejas destruktori elpošanas procesā izmanto visu pieejamo skābekli un izraisa masveidīgu zivju bojāeju.

Slāpekļa apritē slāpekli fiksējošās baktērijas (augu gumos un augsnē) reducē gāzveida slāpekli. Nitrificējošās baktērijas amoniju pārvērš par nitrātiem, bet denitrificējošās baktērijas – nitrātus atkal par gāzveida slāpekli.

Fosfora aprite

Dēdējot cietajiem iežiem, augsnē nokļūst fosfora joni (PO_4^{3-} un HPO_4^{2-}), kurus piesaista augi (8.13. att.). Daļa fosfātu nokļūst ūdens ekosistēmās, kur pirms nogulsnēšanās tos uzņem aļģes. Fosfāti, kas nogulsnējas, augiem kļūst pieejami tikai tad, kad šie slāņi pēc kāda laika atsedzas un tiek pakļauti dēdēšanas procesiem. Fosfors nenokļūst atmosfērā, tāpēc **fosfora aprite** pieskaitāma pie nosēdumu cikliem.

Producentu uzņemtie fosfāti tiek iesaistīti visdažādākajās vielās, piemēram, fosfolipīdos, ATP vai nukleotīdos, kas veido DNS un RNS. Dzīvniekiem apēdot producentus, daļa no fosfātiem nonāk zobu, kaulu un čaulu sastāvā un ilgāku laiku nesadalās. Tomēr, sadaloties dzīvo organismu atliekām, daļa fosfātu producentiem kļūst pieejami vēlreiz. Tā kā vairumā ekosistēmu augiem pieejamais fosfors tiek uzņemts ļoti ātri, tā daudzums nereti ir galvenais limitējošais faktors. Proti, nelielā fosfora daudzuma dēļ organismu augšana palēninās arī tad, ja citas barības vielas ir pietiekamā daudzumā.



8.13. attēls. Fosfora aprite
Dēdējot cietajiem iežiem, fosfors kļūst pieejams gan sauszemes, gan ūdens biocenozēm, kuru robežās tas kādu laiku cirkulē. Fosfors, kas nogulsnējas okeāna dibenā, biocenozēm ir zudis uz ilgu laiku. Tumši sarkanās bultas norāda cilvēka ietekmi uz fosfora apriti. Cilvēks ražo minerālmēslus, kas palielina biocenozēm pieejamā fosfora daudzumu. Tas palielina arī fosfora ieplūšanu ūdenstilpēs. Fosfors ūdenstilpēs nonāk ar attīrīšanas iekārtu notekūdeņiem. Skaitļi diagrammā izteikti fosfora tīrvielas 1012 gramos gadā.

Cilvēka ietekme uz aprites ātrumu

Cilvēka darbība palielina dzīvajiem organismiem pieejamā fosfora daudzumu vidē, jo tiek iegūti fosforu saturoši izrakteņi, no kuriem ražo minerālmēslus, dzīvnieku barības piedevas un mazgāšanas līdzekļus. Lielas fosfora atradnes ir Floridā (ASV). Te pirms 10 līdz 15 miljoniem gadu ir nogulsnējušās jūras dzīvnieku atliekas. Izraktie fosfāti ir nedaudz radioaktīvi, tāpēc to ieguve negatīvi ietekmē dzīvo organismu, arī pašu ieguvēju veselību. Tikai daļa no raktuvju zemes vēlāk var tikt izmantota, bet pārējā teritorija ir pakļauta spēcīgai augsnes erozijai.

Ūdeņos fosfāti nokļūst no laukiem, noskalojoties mēslojumam, no lopu kūtīm, kā arī ar notekūdeņiem, tā izraisot eitrofikāciju. Tā kā vairumam ekosistēmu fosfora daudzums ir augšanu limitējošais faktors, fosfora piesārņojums vidi var ietekmēt spēcīgāk nekā slāpekļa piesārņojums.

Fosfora apritē, iežiem dēdējot, fosfors kļūst pieejams producentiem un tālāk konsumentiem. Satrūdot organismu atliekām, fosforu var vēlreiz izmantot. Fosfāti, kas ir nogulsnējušies, no jauna ir pieejami tikai ģeoloģisko procesu rezultātā.

Piesārņojuma cēloņi

Cilvēka darbība ietekmē bioģeoķīmiskos ciklus un līdz ar to arī ekosistēmas. Pazemes ūdeņu ieguve nav normālas ūdens aprites sastāvdaļa. Koku un fosilā kurināmā sadedzināšana palielina oglekļa dioksīda daudzumu atmosfērā; rezultātā notiek globālā sasilšana. Oglekļa dioksīds praktiski neaiztur Saules redzamo starojumu, bet absorbē infrasarkano (siltuma) starojumu, kas atstarojas no Zemes virsmas, tā kavējot siltuma aizplūšanu kosmiskajā telpā un radot siltumnīcas efektu. Fosfora apriti cilvēks veicina, lietojot mazgāšanas līdzekļus. Gan fosfora, gan slāpekļa apriti ietekmē minerālmēslu ražošana. Liekais slāpeklis un fosfors nokļūst ūdens ekosistēmās, kur izraisa eitrofikāciju.

Cilvēka darbība ietekmē visu vielu apriti tā, ka vielas pārvietojas no viena ekosistēmas komponenta uz citu ar daudz lielāku ātrumu nekā senāk. Oglekļa apritē cilvēks palielina oglekļa ieplūdi atmosfērā un okeānā, intensīvi sadedzinot kokus un fosilo kurināmo. Slāpekļa apritē cilvēks palielina slāpekļa daudzumu, kas no atmosfēras nonāk augsnē un ūdenstilpēs. Savukārt fosfora apritē cilvēks palielina fosfora daudzumu, kas augsnē un ūdenstilpēs nonāk no nogulumiem. Jēdzienu **piesārņojums** varam definēt kā vielu aprites izmaiņas, kas ietekmē cilvēka vai augu un dzīvnieku veselību.

Pārskats

Ekosistēma sastāv no dzīvajiem organismiem, kuru kopums veido biocenozi, un vides, kurā tie dzīvo. Pētot ekosistēmas, ekologi parasti interesējas par to, kā ekosistēma funkcionē un kādi faktori liek dažādām ekosistēmām darboties atšķirīgi. Ekosistēmā notiek enerģijas plūsma; tur tā tiek uzkrāta vai zaudēta. Ekosistēmā notiek arī vielu aprite, tiek noārdītas organiskās vielas, uzkrāts ūdens utt.

Viens no parastākajiem ekosistēmas funkciju izpētes veidiem ir enerģijas plūsmas pētījumi. Izmērot fotosintēzes ceļā ekosistēmā nonākušā oglekļa daudzumu, var uzzināt, kādu saules enerģijas daudzumu producenti ir fiksējuši. Var noskaidrot, cik daudz oglekļa pārvietojas no viena trofiskā līmeņa uz citu un cik daudz katrā līmenī elpošanas rezultātā ogleklis atgriežas vidē. Dažādas ekosistēmas atšķiras pēc fiksētā oglekļa (enerģijas) daudzuma un tā, cik ilgi tas pārvietojas pa barošanās tīklu. Noskaidrojot, kādi faktori (piemēram, mitrums, barības vielu daudzums, sezonalitāte) ietekmē atsevišķus enerģijas plūsmas līmeņus, var izveidot nozīmīgāko ekosistēmu darbības modeļus.

Daudzi ekologi, kas pēta ekosistēmas, uzskata, ka svarīgākais ekosistēmas darbības izprašanai ir enerģijas plūsmas pētījumi. Tas ir pat nozīmīgāk nekā izprast vielu apriti un vajadzību pēc barības vielām. Minerālo barības vielu pieejamība ne tikai ietekmē augu augšanu, bet nosaka arī dzīvnieku izplatību. Daudzi lielie zālēdāji labprātāk ēd augus ar augstu minerālo barības vielu saturu, un viņi sastopami galvenokārt vietās, kur barības vielu ir pietiekami daudz.

Ekosistēmu pētījumi pēdējos desmit gados ir kļuvuši sarežģītāki. Daudzi agrīnie ekosistēmu pētījumi ir palīdzējuši izveidot dažādus vispārīgus modeļus (sk. 8.3. att.), kas ļauj labi prognozēt enerģijas plūsmas un vielu aprites ātrumu. Tomēr ar šo modeļu palīdzību nevar dziļāk izprast mehānismus, kas vada enerģijas plūsmu un vielu apriti.

Daudzi mūsdienu pētījumi tiek vērsti uz modeļu atsevišķu detaļu sīkāku izpēti. Mūsdienās cenšas saprast, kā atsevišķas sugas ietekmē visas ekosistēmas darbību. Tā var prognozēt, kuras sugas ekosistēmā ir nozīmīgākās un kuras pirmām kārtām ir jāaizsargā, lai nodrošinātu normālu dabiskas ekosistēmas funkcionēšanu.

Pati lielākā ekosistēma ir biosfēra. Dažādu atgriezenisko darbību dēļ dzīvie organismi ietekmē zemeslodes klimatu, kas savukārt nosaka biomu (lielāko ekosistēmu tipu) izplatību biosfērā. Izmaiņas dažādās biomās var ievērojami mainīt klimatu, tā ietekmējot visu biosfēru.

Kopsavilkums

8.1. Ekosistēmas uzbūve

Biosfēra ir atmosfēras, litosfēras un hidrosfēras daļa, ko apdzīvo dzīvie organismi. Ekosistēma sastāv no biotiskajiem (dzīvajiem) un abiotiskajiem (nedzīvajiem) komponentiem. Ekosistēmā norit enerģijas plūsma un vielu aprite. Ekosistēmas biotiskie komponenti ir producenti un konsumenti. Konsumenti ir augēdāji, plēsoņas, visēdāji, detritofāgi un destruktori.

8.2. Enerģijas plūsma un vielu aprite

Enerģija plūst caur ekosistēmu. Fotosintēzē autotrofi pārveido saules enerģiju ķīmiskajā enerģijā. Tā tiek uzkrāta organiskajās vielās, kas kalpo kā barība gan autotrofiem, gan heterotrofiem. Augēdājiem, barojoties ar augiem (vai aļģēm) un plēsoņām – ar augēdājiem, daļa enerģijas pārvēršas siltumā. Ekskrementi, urīns un mirušie organismi kļūst par barību detritofāgiem un destruktoriem. Noslēgumā visa saules enerģija, ko ekosistēma ir absorbējusi, izdalās kā siltums, tāpēc ekosistēmai ir nepieciešama nepārtraukta saules enerģijas plūsma. Tādējādi ekosistēma ir uzskatāma par atvērtu sistēmu. Minerālās barības vielas tik viegli kā siltums no ekosistēmas nezūd. Tās cirkulē ekosistēmas iekšienē. Daļu no neorganiskajām barības vielām destruktori atgriež autotrofiem, bet daļa ekosistēmās iekļūst un aizplūst ar globālajiem bioģeoķīmiskajiem cikliem.

Ekosistēmas ietver barošanās tīklus. Shēmā, kas attēlo barošanās tīklu, parādīts, kā dažādus organismus saista barošanās attiecības. Ganību tipa barošanās tīkli sākas ar veģetāciju, ko ēd augēdāji, kuri savukārt ir plēsoņu barība. Detrīta tipa barošanās tīklos augsnes organiskās vielas sadala destruktori, vienlaikus tās kalpo kā dažādu detritofāgu barība. Detritofāgus ēd plēsoņas no ganību tipa barošanās tīkla. Tā starp abu veidu tīkliem pastāv saistība.

Barošanās tīklā var izdalīt atsevišķas barošanās ķēdes. Trofiskais līmenis ir visi dzīvie organismi, kas barojas vienā ķēdes posmā. Eko-

loģiskās piramīdas parāda trofiskos līmeņus, kas atrodas cits virs cita. Parasti ekoloģiskās piramīdas attēlo biomasas un enerģijas samazināšanos, pārejot no viena līmeņa uz citu. Vairums ekoloģisko piramīdu raksturo ganību tipa barošanās tīklus un lielā mērā ignorē detrīta tipa barošanās tīkla nozīmi ekosistēmā.

8.3. Globālie bioģeoķīmiskie cikli

Barība ir neorganiskās un organiskās vielas, kas veidotas no daudziem ķīmiskiem elementiem, galvenokārt oglekļa, ūdeņraža, slāpekļa, skābekļa, fosfora un sēra. Daļa dzīvajiem organismiem nepieciešamo elementu glabājas rezerves fondā – kā fosilais kurināmais, nogulumi un cietie ieži. Apmaiņas fonds ir ekosistēmas daļas, piemēram, atmosfēra, augsne un ūdens, kas kalpo kā tūlītējs minerālo barības vielu avots. Barības vielas cirkulē starp dažādiem biocenozes komponentiem. Cilvēka darbības dēļ barības vielas ar palielinātu ātrumu pārvietojas no rezerves fonda uz apmaiņas fondu.

Ūdens apritē no okeāna iztvaikojušais ūdens lietus veidā daļēji nonāk uz sauszemes. Iztvaikošanu no sauszemes ekosistēmām pastiprina augu transpirācija. Nokrišņu dēļ uz sauszemes veidojas dažādas ūdenstilpes, arī pazemes ūdeņi. Tomēr galu galā viss ūdens atgriežas okeānā.

Oglekļa apritē dzīvie organismi atmosfērā izvada tikpat daudz oglekļa dioksīda, cik no tās paņem. Cilvēka darbība, piemēram, sadedzinot fosilo kurināmo un kokus, ir papildu oglekļa dioksīda avots. Daļa no tā uzkrājas okeānā kaļķakmens nogulu veidā.

Biocenozē slāpekļa apriti nodrošina dažādas baktērijas, kas padara to pieejamu biocenozes producentiem. Daži organismi (ciānbaktērijas ūdenī un gumiņbaktērijas sakņu gumiņos) fiksē atmosfēras slāpekli, bet citi – slāpekli atgriež atmosfērā. Cilvēks atmosfēras slāpekli pārvērš minerālmēslos, kuri ievērojamā daudzumā ieplūst ūdens ekosistēmās, izraisot eitrofikāciju.

Fosfora apritē lielākā daļa biocenozē iekļautā fosfora atgriežas atpakaļ pie producentiem. Dēdējot cietajiem iežiem, rodas tikai neliels fosfora papildinājums. Ūdenī fosfors pakāpeniski nogulsnējas, un dzīvajiem organismiem tas atkal kļūst pieejams tikai ģeoloģisku pārmaiņu rezultātā. Cilvēks atradnēs iegūst fosforu un ražo minerālmēslus, kas izraisa ūdenstilpju eitrofikāciju.

Piesārņojums izraisa novirzes dabiskajos ekosistēmas procesos, mainot vielu apmaiņas ātrumu biocenozēs un ekosistēmās.

Pārbaudiet sevi

1. Definējiet biosfēru un raksturojiet tās atrašanās vietu! 146. lpp.
2. Raksturojiet atšķirības starp autotrofiem un heterotrofiem un aprakstiet četrus dažādus heterotrofu tipus, kas sastopami dabiskās ekosistēmās! 147. lpp.
3. Aprakstiet enerģijas plūsmu ekosistēmā un barības vielu apriti ekosistēmā un ārpus tās! Vai ekosistēmas ir atvērtas sistēmas? 148.–149. lpp.
4. Raksturojiet divus ekosistēmās parasti novērojamos barošanās tīklu tipus! Caur kuru no tiem parasti plūst vairāk enerģijas? 149.–151. lpp.
5. Kas ir trofiskais līmenis? Kas ir ekoloģiskā piramīda? 151.–152. lpp.
6. Miniet rezerves fonda un apmaiņas fonda piemērus bioģeoķīmiskajos ciklos! Kurš no rezerves fondiem dzīvajiem organismiem ir vismazāk pieejams? 152. lpp.
7. Uzzīmējiet shēmu, kas ilustrē ūdens, oglekļa, slāpekļa un fosfora apriti, un parādiet, kā cilvēks izmaina vielu apmaiņas apjomus! 153.–157. lpp.
8. Definējiet jēdzienu "piesārņojums"! 158. lpp.

Tests

Izvēlieties vienu pareizo atbildi uz katru jautājumu!

1. Salīdziniet barošanās ķēdi

   aļģes → ūdensblusas (dafnijas) → zivis → gārņi

   ar barošanās ķēdi

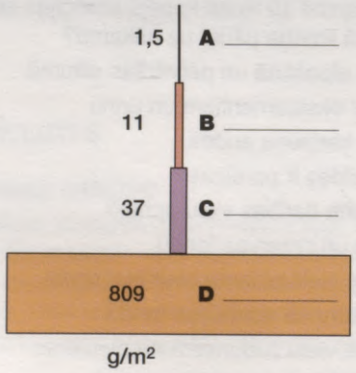
   koki → vērpēja kāpuri → ķauķi → vanagi!

   Kas ir ūdensblusas un vērpēja kāpuri?
   A. Plēsoņas
   B. Primārie konsumenti
   C. Detritofāgi
   D. Pareiza ir gan A, gan B atbilde
2. Aplūkojiet šīs barošanās ķēdes komponentus:

   producenti → augēdāji → plēsoņas → otrās kārtas plēsoņas!

   Kurā līmenī ir lielāka biomasa?
   A. Producentu
   B. Augēdāju
   C. Plēsoņu
   D. Otrās kārtas plēsoņu
3. Kāpēc ekosistēmas ir atkarīgas no nepārtrauktām saules enerģijas piegādēm?
   A. Plēsoņām ir lielāka biomasa nekā producentiem
   B. Destruktori izmanto lielāko enerģijas daudzumu ekosistēmā
   C. Enerģijas transformāciju dēļ veidojas ekosistēmai neizmantojama enerģija
   D. Enerģija cirkulē ekosistēmā un starp ekosistēmām
4. Kur tiek izmantoti 10 % no kopējā enerģijas daudzuma, kas no viena trofiskā līmeņa pāriet uz nākamo?
   A. Izmantoti elpošanā un pārvēršas siltumā
   B. Izdalās ar ekskrementiem un urīnu
   C. Uzkrājas ķermeņa audos
   D. Visas atbildes ir pareizas
5. Ar ko ir saistīta barības vielu aprite?
   A. Ar iežiem un rezerves fondu
   B. Ar barības vielu plūsmu caur biocenozi
   C. Ar atmosfēru kā apmaiņas fondu
   D. Ar barības vielu zudumiem no biosfēras
6. Kas no minētā ietilpst oglekļa apritē?
   A. Elpošana
   B. Fotosintēze
   C. Fosilā kurināmā sadedzināšana
   D. Visas atbildes ir pareizas

7. Kā augi piedalās oglekļa apritē?
   A. Elpojot tie izdala oglekļa dioksīdu
   B. Fotosintēzē tie no atmosfēras uzņem oglekļa dioksīdu
   C. Augi nepiedalās oglekļa apritē
   D. Pareiza ir A un B atbilde
8. Kā slāpekli fiksējošās baktērijas piedalās slāpekļa apritē?
   A. Atgriež slāpekli (N_2) atmosfērā
   B. Pārvērš amoniju par nitrātiem
   C. Pārvērš slāpekli (N_2) par amoniju
   D. Izdala nitrātus no augsnes
9. Ar ko destruktori ir līdzīgi producentiem?
   A. Tikai viens no viņiem var būt ganību tipa barošanās ķēdes sākumā
   B. Abi ražo skābekli
   C. Abiem nepieciešamas barības vielas un enerģija
   D. Abi biosfērā piegādā organiskās vielas
10. Ar ko primārie konsumenti ir līdzīgi sekundārajiem konsumentiem?
    A. Uz nākamo trofisko līmeni nosūta mazāk enerģijas, nekā saņēmuši no iepriekšējā
    B. Uz nākamo trofisko līmeni nosūta tikpat daudz enerģijas, cik saņēmuši no iepriekšējā
    C. Abi ražo barības vielas augiem
    D. Abi spēj pārvērst organiskās vielas par ATP bez enerģijas zudumiem
    E. Visas atbildes ir pareizas
11. Kurš apgalvojums ir patiess attiecībā uz barošanās ķēdi: graudzāles → truši → čūskas → vanagi?
    A. Katrai nākamajai plēsoņu populācijai ir lielāka biomasa nekā viņu upuru populācijai
    B. Katrai upuru populācijai ir lielāka biomasa nekā plēsoņu populācijai
    C. Visas populācijas ir visēdāji
    D. Pareiza ir A un C atbilde
12. Kādus trofiskos līmeņus apzīmē katrs burts? Ko izsaka cipari?



Papildjautājumi

1. *Barības vielu aprite ekosistēmās un starp tām.*
   Kā barības vielu aprite ir saistīta ar ekosistēmas abiotiskajiem un biotiskajiem faktoriem?
2. *Enerģija plūst caur ekosistēmu.*
   Attieciniet termodinamikas likumus uz enerģijas plūsmu caur ekosistēmu!
3. *Ekosistēma ir dinamiska.*
   Raksturojiet šajā nodaļā aplūkotos cilvēka darbības veidus, kas sekmē vides piesārņojumu!

Multimediju izmantošana

Tēmu par populāciju ekoloģiju palīdzēs apgūt šādi multimediji.



Interneta izmantošana
Šo nodaļu jums palīdzēs apgūt Maderas mājas lapa
http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader
(izvēlieties bioloģiju)



Dabaszinātņu videofilmas
Video#5: Plant Biology/Evolution/Ecology
Carbon and Nitrogen Cycles (#51)
Energy Flow through an Ecosystem (#52)

Jēdzienu izpratne

Augēdājs 147. lpp.
Barošanās ķēde 151. lpp.
Barošanās tīkls 151. lpp.
Bioģeoķīmiskais cikls 152. lpp.
Biosfēra 146. lpp.
Dēdēšana 147. lpp.
Denitrifikācija 156. lpp.
Destruktors 147. lpp.
Detrīta tipa barošanās ķēde 151. lpp.
Detritofāgs 147. lpp.
Detrīts 147. lpp.
Ekoloģiskā piramīda 151. lpp.
Ekosistēma 146. lpp.
Fosfora aprite 156. lpp.
Ganību tipa barošanās tīkls 151. lpp.
Konsuments 147. lpp.
Nitrifikācija 156. lpp.
Oglekļa aprite 154. lpp.
Piesārņojums 158. lpp.
Plēsoņa 147. lpp.
Primārā produktivitāte 148. lpp.
Producents 147. lpp.
Slāpekļa aprite 155. lpp.
Slāpekļa fiksācija 156. lpp.
Trofiskais līmenis 151. lpp.
Ūdens aprite 153. lpp.
Visēdāji 147. lpp.

Atrodiet definīcijām atbilstošos jēdzienus!

A. _____ – biocenoze kopā ar tai atbilstošo abiotisko vidi.
B. _____ – neorganisko vielu, piemēram, oglekļa un slāpekļa cikliskā kustība caur biocenozēm un vidi.
C. _____ – barošanās ķēžu savstarpējas krustošanās sistēma.
D. _____ – viena līmeņa posms barošanās tīklā.
E. _____ – organismi, kas uzsāk barības ķēdi, paši saražo barības vielas (zaļie augi uz sauszemes un aļģes ūdenī).
F. _____ – organiskās vielas, kas veidojušās, satrūdot dzīvo organismu atliekām.
G. _____ – process, kura gaitā atmosfēras slāpeklis (baktēriju darbības rezultātā) tiek saistīts amonija un nitrātu jonos.

Biosfēra

9. NODAĻA

Nodaļas saturs

9.1. Biosfēra un klimats

- Saule dod enerģiju, kas nosaka klimatiskās atšķirības biosfērā. 162.–163. lpp.
- Globālā gaisa cirkulācija, okeāna straumes un sauszemes reljefs ietekmē temperatūru un mitruma režīmu dažādās zemeslodes vietās. 162.–165. lpp.

9.2. Pasaules biomas

- Ekosistēmas var iedalīt divās lielās grupās – sauszemes un ūdens biomās. 167. lpp.
- Sauszemes un ūdens biomas ir saistītas un atrodas savstarpējā mijiedarbībā. 167. lpp.

9.3. Sauszemes biomas

- Lielākās sauszemes biomas ir meži (platlapju un skujkoku), krūmāji, stepes, savannas, tundra un tuksneši. 169. lpp.

9.4. Ūdens biomas

- Ūdens biomas var iedalīt saldūdens biomās un sālsūdens (parasti jūras) biomās. 177. lpp.



Skujkoku mežs kalnos, Kolorādo, ASV

Sauszemes un ūdens ekosistēmas iekļaujas biosfērā, kur dzīvo un atrodas savstarpējā mijiedarbībā visi dzīvie organismi. Biosfēras pamatā ir cietzemes ārējais slānis – litosfēra, atmosfēra un hidrosfēra. Mēs jau zinām, kā ekosistēmas izmanto saules enerģiju un sadala vielas. Ar bioģeoķīmisko ciklu palīdzību, kurus virza saules enerģija, sauszemes ekosistēmas pārvērš litosfēras virsējo slāni, izmaina hidrosfēru un atmosfēru, pārveidojot tās dzīvības eksistencei piemērotā vidē.

Šajā nodaļā uzzināsit, kā uz zemeslodes ir izvietojušās ekosistēmas un kā klimats ietekmē galveno biomu, piemēram, mežu, tuksnešu, stepju, savannu un okeānu īpašības. Ikvienā biomā ir tikai tai raksturīgs augu un dzīvnieku kopums, kas piemērojies attiecīgajiem apstākļiem. Aplūkojot augu un dzīvnieku pielāgojumus, jūs iemācīsities viegli izprast to piemērotību noteiktajai biomai.

Mūsdienās cilvēks ievērojami ietekmē lielāko daļu pasaules biomu un biosfērā dominē lauksaimniecības zemes, ciemi, pilsētas un citi cilvēka radīti elementi. Izmantojot augus un iznīcinot dzīvniekus, cilvēks ir izspiedis viņus no ļoti plašām teritorijām. Svarīgi ir iemācīties izvērtēt dabisko ekosistēmu nozīmi mūsu dzīvē un rīkoties tā, lai aizsargātu atlikušo, vēl neskarto biomu daļu. Par to varēsit izlasīt šajā nodaļā.

9.1. Biosfēra un klimats

Dzīvo organismu daudzumu un izplatību biosfērā ietekmē gaisa un ūdens plūsmas, kas aptver visu pasauli. **Biosfēra** ir tā mūsu planētas litosfēras, hidrosfēras un atmosfēras daļa, kur mīt dzīvie organismi. Biosfēra var šķist milzīga, tomēr tā drīzāk ir līdzīga piepūsta balona apvalkam un ir tikai plāns slānis, kas klāj Zemi.

Milzīgie mūžzaļie meži, kas stiepjas no Ziemeļkalifornijas (ASV) līdz Kanādas provincei Britu Kolumbijai, nepastāvētu, ja nebūtu vēju, kas no Klusā okeāna atnes siltas gaisa masas un daudz lietus. Arī meži savukārt ietekmē gan lokālo, gan globālo klimatu. Tā biosfērā nepārtrauktā mijiedarbībā atrodas viss dzīvais un nedzīvais.

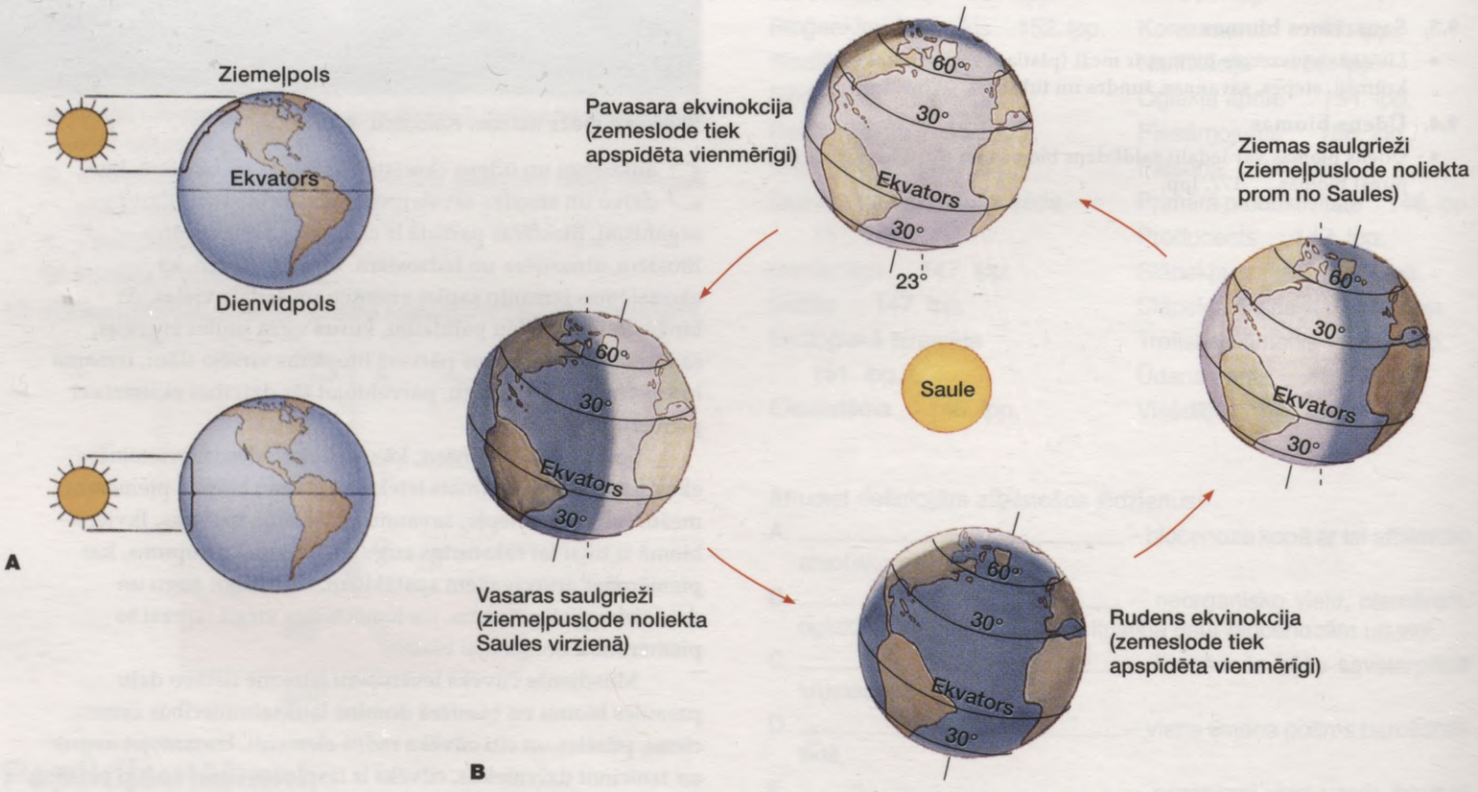
Globālā gaisa un ūdens cirkulācija

Klimats un līdz ar to arī biomu izvietojums uz zemeslodes ir atkarīgs no 1) atšķirībām saules enerģijas uztveršanā Zemes lodveida formas dēļ; 2) zemeslodes rotācijas ass stāvokļa attiecībā pret Sauli; 3) sauszemes un okeānu izvietojuma; 4) zemeslodes virsmas reljefa. Šo iemeslu dēļ dažādās biosfēras vietās ir atšķirīga temperatūra un nokrišņu daudzums.

Gaisa cirkulācija

Tā kā Zemei ir lodes forma, Saule intensīvāk apspīd ekvatoru, nevis polāros reģionus (9.1. att. A) un tropos ir siltāks nekā mērenajos apgabalos. Zemeslodes ass slīpuma dēļ viens no poliem vienmēr ir tuvāk Saulei nekā otrs (izņemot pavasara un rudens ekvinokciju). Tas izraisa klimata sezonālās izmaiņas uz zemeslodes, izņemot ekvatoru (9.1. att. B). Kad ziemeļpuslodē ir ziema, dienvidpuslodē ir vasara, un otrādi.

Atmosfērā siltais gaiss vienmēr plūst no siltākiem uz aukstākiem apvidiem. Ja zemeslode negrieztos un tās virsma būtu līdzena, visām gaisa kustībām (mēs tās saucam par vējiem) būtu divi virzieni. Siltais ekvatoriālais gaiss celtos uz augšu un plūstu tieši uz poliem, uz ekvatora radot zema spiediena apgabalu, ko censtos kompensēt aukstais polārais gaiss, kas plūstu ekvatora virzienā.



9.1. attēls. Saules enerģijas sadalījums

A. Zemes lodveida formas dēļ vienāds Saules staru daudzums polu tuvumā pārklāj plašāku teritoriju nekā ekvatora tuvumā.

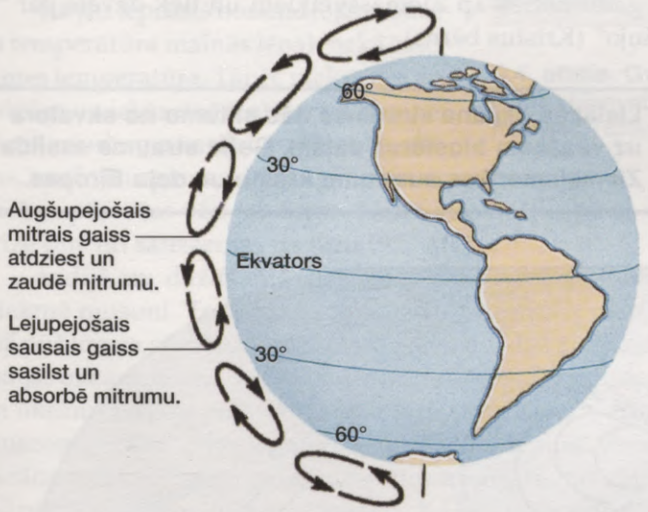
B. Gadalaiku maiņa ziemeļpuslodē un dienvidpuslodē notiek, pateicoties Zemes rotācijas ass slīpumam attiecībā pret Sauli.

Tā kā zemeslode griežas un tās virsmu veido okeāni un kontinenti, aukstā un siltā gaisa plūsmas katrā puslodē veido trīs lielas gaisa cirkulācijas zonas (9.2. att. A). Pie ekvatora Saule sasilda gaisu un veicina ūdens iztvaikošanu. Siltais, mitrais gaiss ceļas uz augšu, atdziest, un lielākā daļa ūdens nolīst zemē. Tāpēc lielākais nokrišņu daudzums uz Zemes ir ekvatora tuvumā. Tālāk gaiss plūst polu virzienā, bet aptuveni pie 30° ziemeļu un dienvidu platuma tas tuvojas Zemes virsmai un atkal sasilst. Gaisam sasilstot, tas kļūst ļoti sauss, un tur veidojas apgabali ar nelielu nokrišņu daudzumu. Šajos platuma grādos atrodas lielākie Āfrikas, Austrālijas un Amerikas tuksneši. Nonācis pie Zemes virsmas, gaiss tālāk plūst gan pola, gan ekvatora virzienā. Apmēram pie 60° platuma ziemeļpuslodē un dienvidpuslodē gaiss paceļas, atdziest, un veidojas apgabali ar lielu nokrišņu daudzumu. Mitruma pārpilnība veicina mērenās joslas mežu augšanu plašās teritorijās. Daļa gaisa, kas ir pacēlies uz augšu, plūst uz ekvatoru, daļa – uz poliem, kur atkal tuvojas Zemes virsmai, veidojot apgabalus ar nelielu nokrišņu daudzumu.

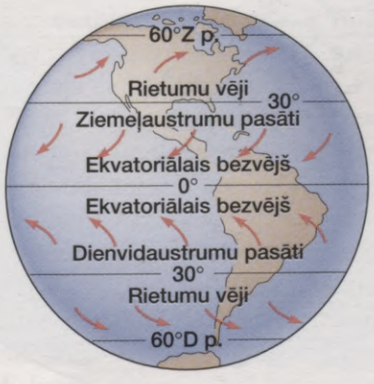
Zemeslode nav nekustīga – reizi diennaktī tā apgriežas ap savu asi. Zemes rotācija ietekmē vēju virzienu. Tāpēc lielās gaisa plūsmas tiek novirzītas nevis tieši uz ziemeļiem vai dienvidiem, bet arī uz austrumiem vai rietumiem (9.2. att. B un C). Ziemeļpuslodē starp ekvatoru un 30° ziemeļu platumu vēji pūš no ziemeļaustrumiem, bet dienvidpuslodē starp ekvatoru un 30° dienvidu platumu vēji pūš no dienvidaustrumiem (šajos platuma grādos kontinentu austrumu piekrastēs ir mitrs klimats). Šos vējus sauc par pasātiem. Abās puslodēs starp 30° un 60° platumu spēcīgi vēji pūš virzienā no rietumiem uz austrumiem. Šajos platuma grādos mitrs klimats ir kontinentu rietumu piekrastēs, piemēram, Ziemeļamerikas ziemeļrietumos, kur atrodas mūžzaļie meži. Polu tuvumā no austrumiem uz rietumiem pūš samērā vāji vēji.

Vēja virzienu ietekmē arī gadalaiku maiņa. Janvārī atdzisušie vietējie vēji dzen aukstās kontinentālā gaisa masas no Āzijas un Ziemeļamerikas uz siltajiem ekvatoriālajiem piekrastes reģioniem. Jūlijā šīs kontinentālā gaisa masas sasilst un kļūst siltākas nekā ekvatoriālie okeāna ūdeņi. Tāpēc vietējā gaisa plūsma maina virzienu.

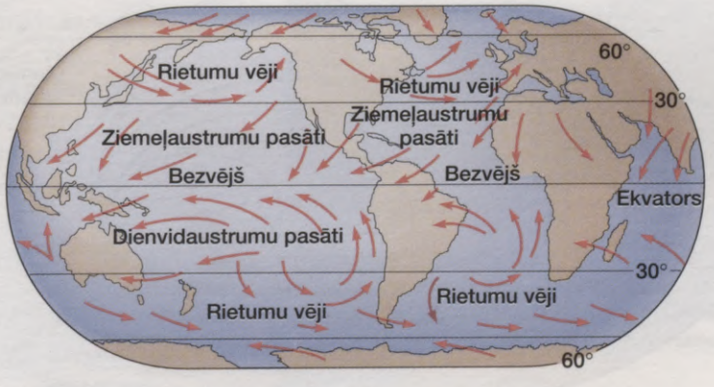
Saules enerģijas sadalījumu nosaka Zemes lodveida forma, rotācija un ass slīpums attiecībā pret Sauli. Tas ietekmē vēju virzienu un nokrišņu daudzumu dažādās biosfēras vietās.



A



B



C

9.2. attēls. Globālie vēja virzieni

A. Siltais gaiss paceļas pie ekvatora un nolaižas pie 30° platuma. Paceļoties tas mitrumu zaudē, bet pie zemes atkal to uzņem. Tāpēc ap 30° platumu uz zemeslodes ir tuksneši. Līdzīga gaisa kustība notiek arī citos platuma grādos. **B.** Zemeslodes rotācijas dēļ ziemeļpuslodē pasāti pūš ziemeļaustrumu virzienā, bet dienvidpuslodē – dienvidaustrumu virzienā. Mērenajos reģionos valdošie vēji pūš rietumu virzienā. **C.** Valdošo vēju virzieni dažādās pasaules vietās.

Okeāna straumes

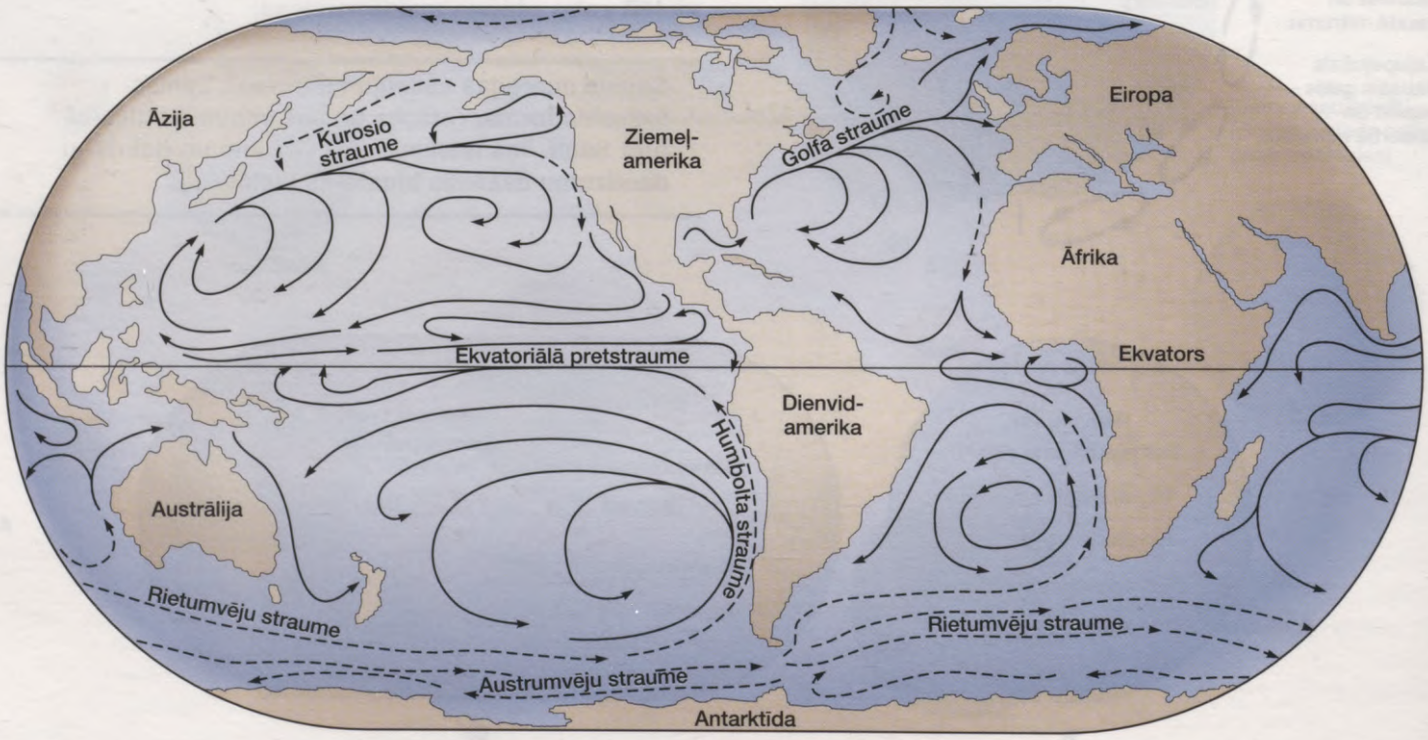
Arī zemeslodes ūdens resursus jeb **hidrosfēru** sasilda Saules stari, izraisot ūdens iztvaikošanu no okeāniem. Iztvaikojušais ūdens nes sev līdzi siltumu. Siltais, mitrais gaiss ceļas augšup. Lielā augstumā tas atdziest, ūdens sāk kondensēties, veido mākoņus un galu galā – nolīst.

Klimata veidošanā noteicošā loma ir Saulei, bet okeāni spēlē galveno lomu siltuma sadalīšanā. Saules staru siltuma enerģija (sk. 9.1. att. A) ekvatora tuvumā ūdeni sasilda daudz vairāk nekā polu tuvumā. Gaiss ekvatora tuvumā saņem okeāna siltumu un plūst polu virzienā. Tātad okeāns rada vējus. (Nozīme ir arī sauszemei, tomēr okeāns lēnāk sasilst un ilgāk uztur siltumu nekā kontinents.)

Tas tomēr vēl nav viss. Spēcīgiem vējiem ilgstoši pūšot vienā virzienā, berzes rezultātā arī ūdens sāk pārvietoties tajā pašā virzienā. Vēja iekustinātais ūdens veido spēcīgas un noturīgas straumes. Tā kā okeāna straumju ceļā stājas sauszeme, tās plūst pa apli – pulksteņa rādītāju kustības virzienā ziemeļpuslodē, bet pretēji pulksteņa rādītāju kustības virzienam – dienvidpuslodē (9.3. att.). Straumes nes silto ūdeni no ekvatora polu virzienā. Pazīstamākā ir Golfa straume, kas silto Karību jūras ūdeni gar Ziemeļamerikas austrumu krastu aiznes līdz pat Eiropas ziemeļrietumiem. Bez Golfa straumes Lielbritānijā (arī Latvijā), kur ir samērā silts, būtu tikpat auksts kā Grenlandē. Cita liela straume dienvidpuslodē sasilda Dienvidamerikas austrumu piekrasti.

Dienvidpuslodē Klusajā okeānā plūst vēl cita liela straume – Humbolta jeb Peru straume, kas plūst ekvatora virzienā. Humbolta straume nes vēsos, ar fosforu bagātos ūdeņus uz ziemeļiem gar Dienvidamerikas rietumu krastu. Vēsie krasta vēji aizdzen siltos ūdeņus, kuros ir maz barības vielu, un to vietu ieņem aukstie, ar barības vielām bagātie ūdeņi. Dienvidamerikas tuvumā šie ūdeņi veicina lielu jūras organismu daudzveidību. Tāpēc Peru un Čīles ziemeļdaļas tuvumā ir bagātīgas zvejas vietas. Putni, kas pārtiek no jūras organismiem, ligzdo piekrastē. Daudzu gadu laikā tur uzkrājušies milzīgi putnu mēslu krājumi – guano, ko cilvēks iegūst un izmanto kā fosfora avotu. Kad Humbolta straume vairs nav tik vēsa, cik parasti, aukstais ūdens neceļas uz augšu un notiek ievērojamas klimata pārmaiņas. Šis process ik gadu notiek ap Ziemassvētkiem un tiek dēvēts par "El Niņjo" (Kristus bērns).

Lielākās okeāna straumes nes siltumu no ekvatora uz vēsākām biosfēras daļām. Golfa straume sasilda Ziemeļamerikas austrumu krastu un daļu Eiropas.

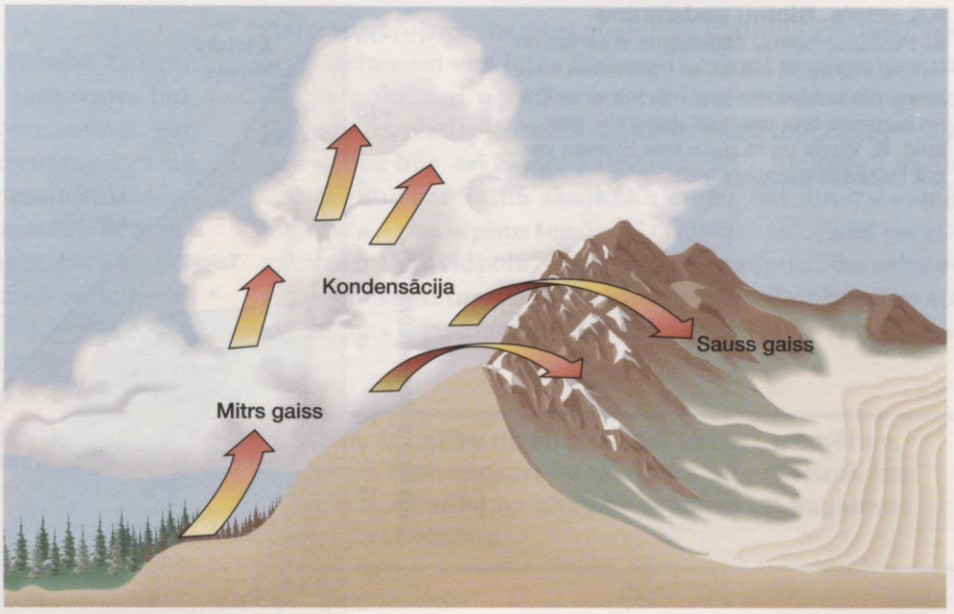


9.3. attēls. Okeāna straumes

Ar bultām šajā kartē norādītas nozīmīgākās okeāna straumes un to virzieni. Silto ūdeni nesot uz vēsākiem platuma grādiem (Golfa straume) un auksto ūdeni – uz siltākiem platuma grādiem (Humbolta straume), straumes ievērojami izmaina pasaules klimatu.

Reljefa ietekme

Sauszemes virsmas īpatnības var dažādi ietekmēt klimatu. Ievērojama ietekme uz klimatu var būt kalniem. Gaisam plūstot pāri kalnu grēdai, tas ceļas uz augšu un atdziest. Tāpēc kalnu grēdas vēja pusē nokrišņu ir vairāk nekā aizvēja pusē. Tur, gaisam virzoties uz leju, tas uzsūc mitrumu un nodrošina skaidru laiku (9.4. att.). Atšķirība starp vēja un aizvēja pusi var būt ļoti izteikta. Piemēram, Havaju salās kalnu vējainajā pusē nolīst 750 cm gadā, bet aizvēja pusē, tā saucamajā "lietus ēnā" – tikai 50 cm gadā un parasti ir saulains laiks. Sjerranevadas (ASV) kalnu rietumu pusē ir mitrs, bet austrumu pusē ir pustuksnesis.



9.4. attēls. Gaisa plūsma pāri kalnu grēdai
Jūras vējiem pūšot pāri piekrastes kalnu grēdai, gaiss ceļas uz augšu, atdziest un zaudē mitrumu. Tāpēc kalnu aizvēja pusē līst salīdzinoši maz un parasti ir skaidrs laiks.

Kā jau iepriekš noskaidrojām, okeāna temperatūra mainās lēnāk nekā sauszemes temperatūra. Tāpēc piekrastes apgabalos un iekšzemē ir atšķirīgs klimats. Dienā sauszeme sasilst ātrāk nekā okeāns, sasilušais gaiss ceļas augšup un no okeāna pūš vēss vējš jeb brīze. Naktī viss noris otrādi, un brīze pūš no sauszemes uz jūru (9.5. att.).

Indijā un dažās citās Dienvidāzijas zemēs klimatu ietekmē musoni. To laikā gandrīz pusgadu mitrie okeāna vēji pūš krasta virzienā. Pavasarī sauszeme iesilst ātrāk nekā Indijas okeāna ūdeņi. Temperatūras starpība starp sauszemi un okeānu izraisa milzīgu gaisa masu cirkulāciju – siltais sauszemes gaiss ceļas uz augšu un tā vietā ieplūst vēsāks okeāna gaiss. Siltajam gaisam ceļoties uz augšu, tas zaudē mitrumu un sākas musonu sezona. Kā jau noskaidrojām, spēcīgākās lietusgāzes ir kalnu vēja pusē. Piemēram, Čerapundži (Indijas ziemeļos) saņem vidēji 1090 cm nokrišņu gadā, jo atrodas augstu virs jūras līmeņa. Klimats mainās novembrī. Sauszeme ir vēsāka nekā okeāns, un sausie vēji pūš no Āzijas kontinenta pāri Indijas okeānam. Ziemā gaiss virs sauszemes ir sauss, debesis – skaidras un temperatūra mērena. Nozīmīgākā lauksaimniecības kultūra Indijā ir rīss, kurš sāk augt – ar musonu lietu sākumu. Ja kādreiz musons neatnes pietiekami daudz mitruma, tas nozīmē badošanos vai pat bada nāvi miljoniem šīs teritorijas iedzīvotāju.

ASV iedzīvotāji bieži runā par "ezeru efektu". Ziemā, kad arktiskie vēji pūš pāri Lielajiem ezeriem, gaiss sasilst un piesātinās ar mitrumu. Mitrajam gaisam paceļoties, tas atdziest – un sāk krist sniegs. Tā "ezeru efekta" dēļ, piemēram, Bufalo un Ņujorkā, sniegs zemi klāj vidēji 90 līdz 140 dienas gadā. Savukārt pāri Ziemeļjūrai no austrumiem pūš ledaini vēji, kuru ietekmē Lielbritānijas austrumu piekrastē bieži ir apmācies un miglains laiks.



A. Dienā vējš pūš uz krastu.

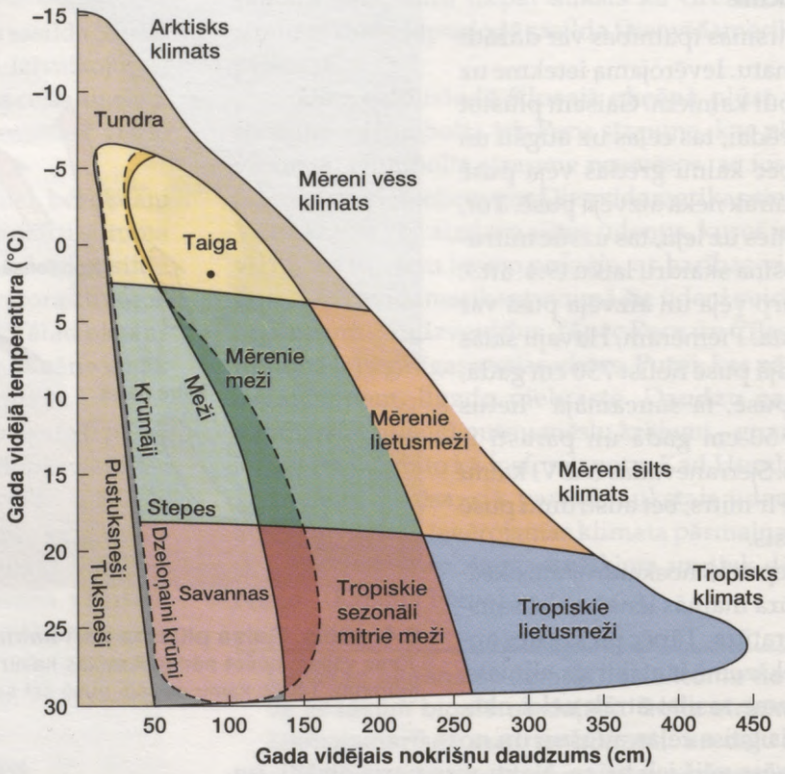


B. Naktī vējš pūš uz jūru.

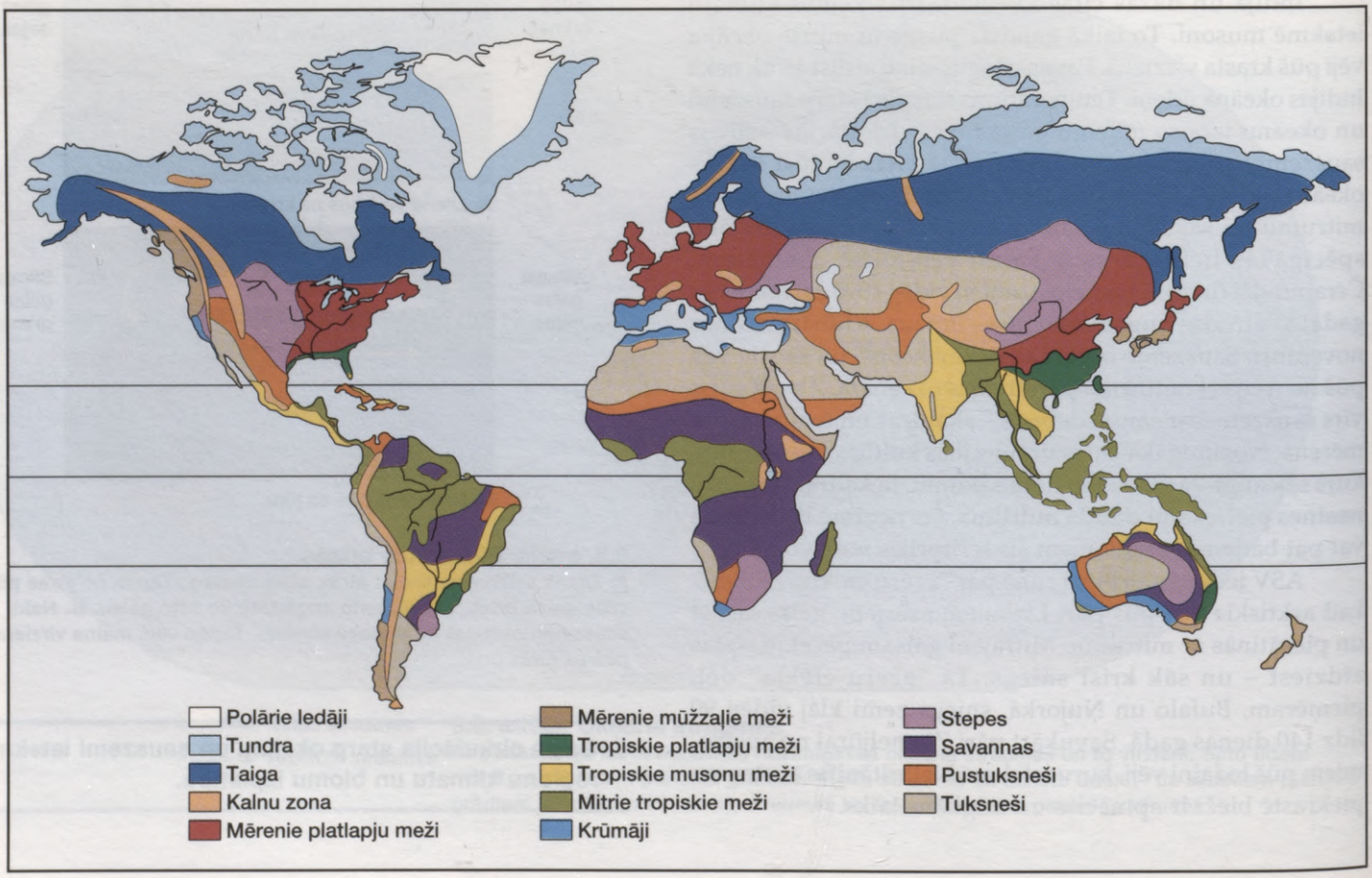
9.5. attēls. Piekrastes brīzes
A. Dienā sauszeme iesilst ātrāk nekā okeāns. Tāpēc no jūras pūš vēsa gaisa brīze, kas aizvieto augšupejošo silto gaisu. **B.** Naktī sauszeme atdziest ātrāk nekā okeāns. Tāpēc vējš maina virzienu un pūš uz jūras pusi.

Gaisa cirkulācija starp okeānu un sauszemi ietekmē reģionu klimatu un biomu izplatību.

9.6. attēls. Biomu sadalījums
A. Pasaules biomu sadalījums atkarībā no temperatūras un mitruma. Pārtrauktā līnija ietver plašu biotopu spektru, kur atkarībā no augsnes tipa var augt gan zāle, gan koki. **B.** Viena un tā paša tipa biomas var būt dažādās pasaules vietās.



A



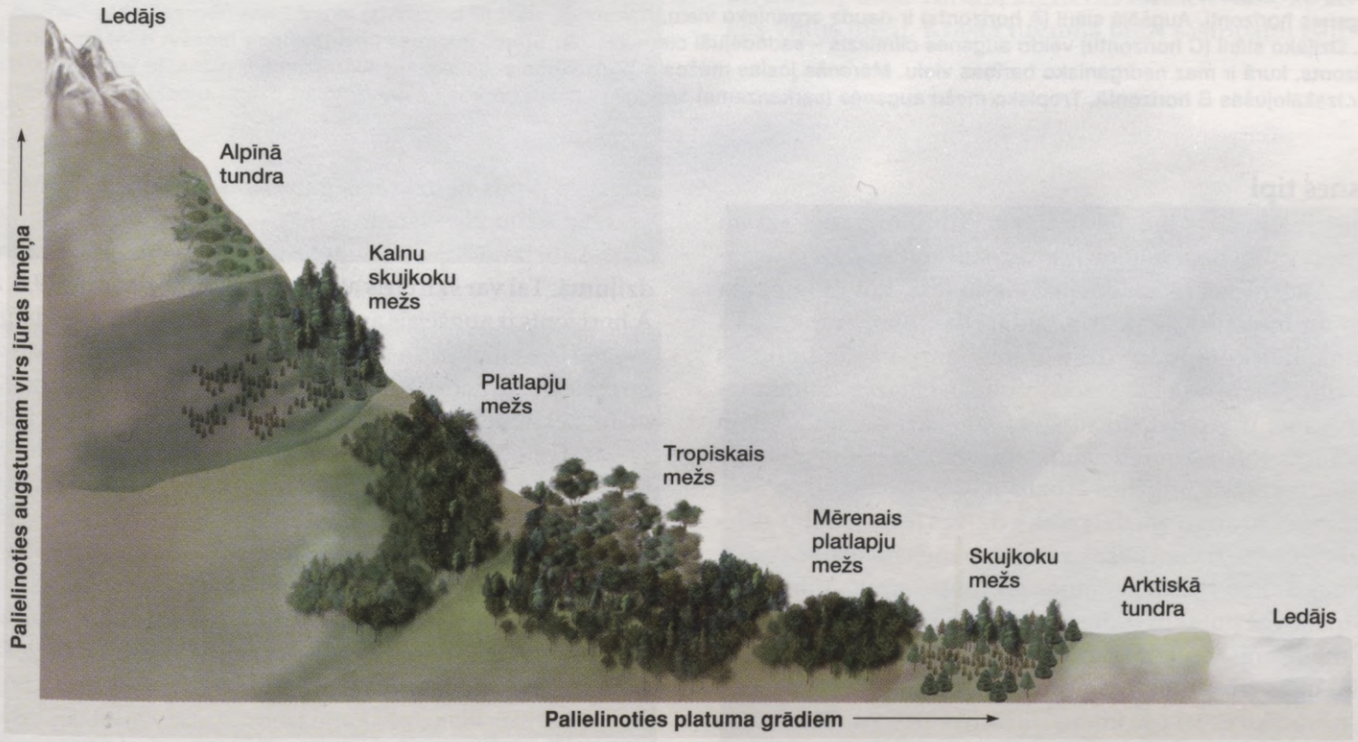
B

9.2. Pasaules biomas

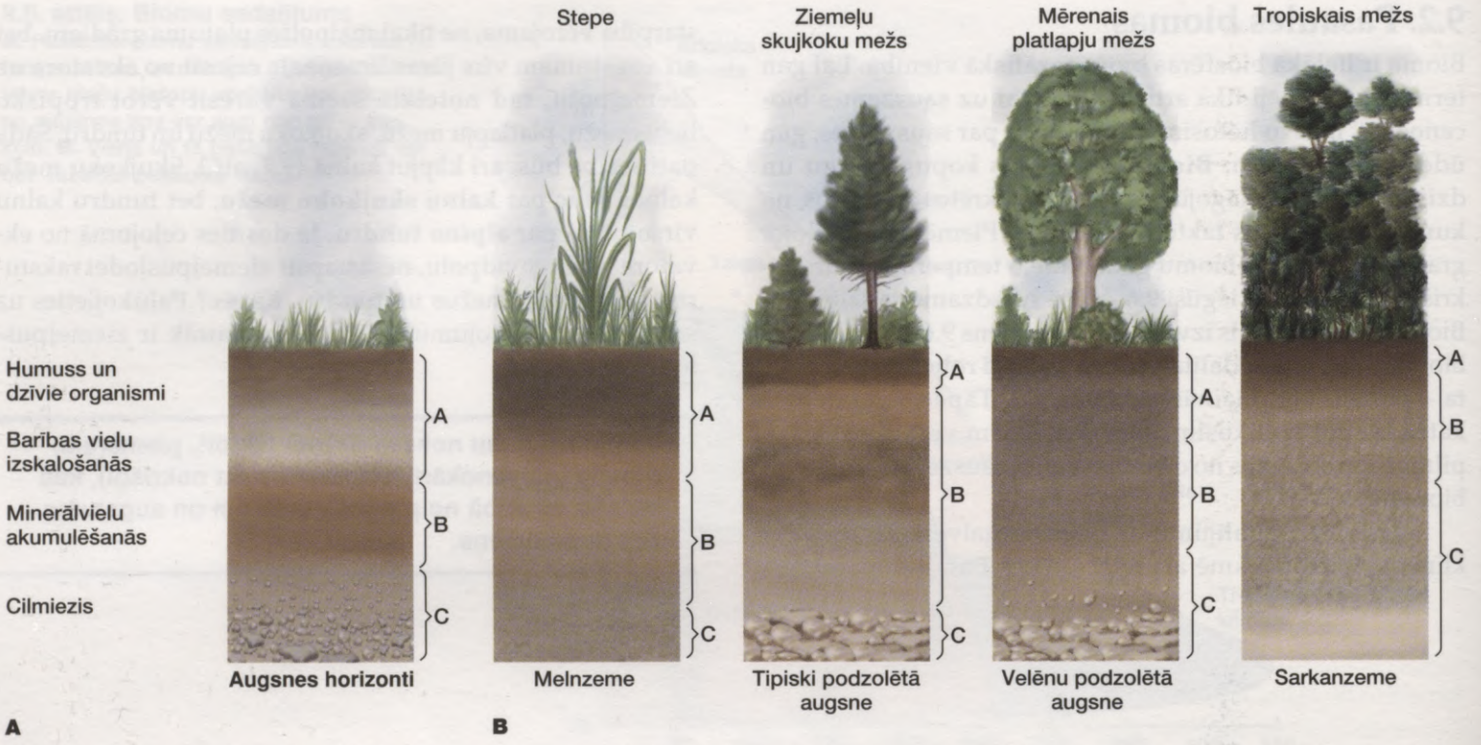
Bioma ir lielākā biosfēras bioģeogrāfiskā vienība. Lai gan termins sākotnēji tika attiecināts tikai uz sauszemes biocenozēm, mēs to lietosim, runājot gan par sauszemes, gan ūdens biocenozēm. **Biomā** ir noteikts kopums augu un dzīvnieku, kas pielāgojušies dzīvei konkrētos apstākļos, no kuriem svarīgākais faktors ir klimats. Piemēram, attēlojot grafikā sauszemes biomu gada vidējo temperatūru un nokrišņu daudzumu, iegūst 9.6. attēlā A redzamo sadalījumu. Biomu ģeogrāfiskais izvietojums redzams 9.6. attēlā B. Tur biomas ir strikti nodalītas, tomēr dabā šī robeža nav izteikta – parasti viss mainās pakāpeniski. Tāpēc, lai gan mēs katru biomu aplūkosim atsevišķi, jāņem vērā, ka tās nav pilnībā norobežotas no citām pasaules sauszemes un ūdens biomām.

Dzīvības sadalījumu uz planētas galvenokārt nosaka klimats, kuru ietekmē arī reljefa īpatnības. Temperatūras starpība vērojama, ne tikai mainoties platuma grādiem, bet arī augstumam virs jūras līmeņa. Ja ceļosit no ekvatora uz Ziemeļpolu, tad noteiktā secībā varēsit vērot tropisko lietusmežu, platlapju mežu, skujkoku mežu un tundru. Šāda pati secība būs, arī kāpjot kalnā (9.7. att.). Skujkoku mežu kalnos sauc par **kalnu skujkoku mežu**, bet tundru kalnu virsotnēs – par **alpīno tundru**. Ja dosities ceļojumā no ekvatora uz Dienvidpolu, nesastapsit ziemeļpuslodei raksturīgos skujkoku mežus un tundru. Kāpēc? Palūkojieties uz sauszemes izvietojumu – tās krietni vairāk ir ziemeļpuslodē.

Biomu izplatību nosaka dažādi faktori, piemēram, klimats (galvenokārt temperatūra un nokrišņi), kas mainās atkarībā no platuma grādiem un augstuma virs jūras līmeņa.



9.7. attēls. Klimats un biomas
Mainoties augstumam, tāpat kā mainoties platuma grādiem, pakāpeniski mainās arī biomas, jo veģetāciju daļēji nosaka temperatūra. Arī nokrišņiem ir liela nozīme. Tāpēc kalnu pakājēs nereti ir stepes vai savannas, nevis tropiskie vai platlapju meži.



9.8. attēls. Augsnes tipi
A. Augsnes horizonti. Augšējā slānī (A horizonts) ir daudz organisko vielu. Nākamajā slānī (B horizonts) akumulējas neorganiskās barības vielas. Dziļāko slāni (C horizontu) veido augsnes cilmiezis – sadēdējuši cietie ieži. **B.** Stepju augsnēs (melnzeme) ir biezs A horizonts un plāns B horizonts, kurā ir maz neorganisko barības vielu. Mērenās joslas mežos ir podzolētās augsnes, kur A horizonts ir plāns, jo vairums barības vielu ir izskalojušās B horizontā. Tropisko mežu augsnēs (sarkanzeme) sarkanīgo krāsu nodrošina galvenokārt dzelzs un alumīnija oksīdi.

Augsnes tipi

Augsne ir virsējais litosfēras slānis, kurā aug augi un no kura tieši vai netieši ir atkarīgi visi sauszemes dzīvie organismi. Augsni veido sadēdējuši cietie ieži, kurus izmaina ūdens un bioloģiska rakstura iedarbība, piemēram, koku augšana, detritofāgu un destruktoru darbība. Sadalījušās dzīvo organismu atliekas veido humusu. Lai izveidotos auglīga augsne, ir jāpaiet tūkstošiem, dažkārt pat miljoniem gadu. Tāpēc ļoti nozīmīgu zaudējumu ekosistēmām un lauksaimniecībai rada augsnes erozija.

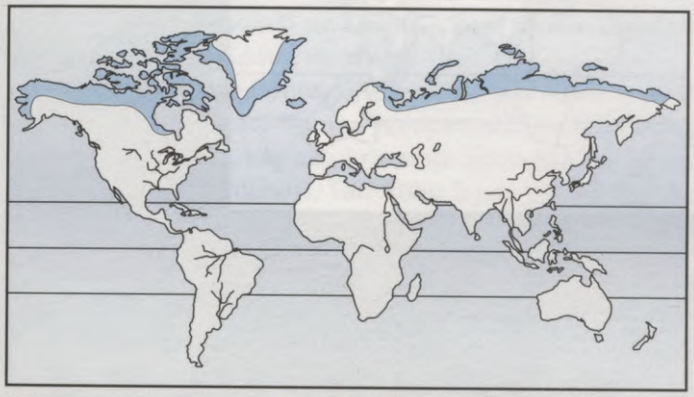
Noteiktu augu vai dzīvnieku dzīves iespējamību attiecīgā reģionā bieži vien nosaka augsnes mehāniskais sastāvs. Augsnes daļiņu lielums mainās no rupjas smilts līdz smalkām māla vai putekļu daļiņām. Vienas no auglīgākajām ir smilšmāla augsnes, kurās uzkrājas daudz humusa un kurās smilts, māls un putekļi ir aptuveni vienādās proporcijās. Augsnes atšķiras arī pēc ūdens filtrācijas ātruma. Tas ir atkarīgs no augsnes poru (attāluma starp augsnes daļiņām) lieluma. Caur māla augsnēm ūdens sūcas lēni, jo augsnes poras ir ļoti sīkas. Tā kā māla augsnes ļoti labi notur ūdeni, varētu domāt, ka augi tur jutīsies ļoti labi. Tomēr tā tas nav. Māla augsnes porās neuzkrājas gaiss, kas ir nepieciešams augu saknēm šūnu elpošanai.

Labi izveidojusies augsne var iesniegties vairāku metru dziļumā. Tai var šķirt trīs augsnes pamathorizontus (9.8. att.). A horizonts ir augšējais augsnes slānis, kas satur nesadalījušās organiskās atliekas un humusu, bet lielākā daļa šķīstošo vielu no tā tiek izskalotas. B horizontā nav vai ir ļoti maz organisko vielu, bet no A horizonta tajā ieskalojas neorganiskās barības vielas. C horizontu veido sadēdējuši un sasmalcināti cietie ieži. Augsnēs, kas veidojas stepēs, ir biezs A horizonts, ko veido daudzu gadu laikā uzkrājušās augu atliekas, kuras ierobežotā mitruma dēļ sadalās lēni. Meža augsnēs gan A, gan B horizonts augu saknes pietiekami nodrošina ar neorganiskajām barības vielām. Tropiskos mežos A horizonts ir plāns, bet B horizonts – biezs, jo noris strauja izskalošanās un organisko vielu sadalīšanās. Tā kā tropisko mežu augsnē ir maz barības vielu, pēc koku izciršanas izveidotajos līdumos lauksaimniecības kultūras var audzēt tikai dažus gadus.

Augsnes tips, ko daļēji nosaka nokrišņu daudzums, ietekmē biomu izplatību.

9.3. Sauszemes biomas

Pasaulē ir daudz dažādu sauszemes biomu. No tām mēs aplūkosim tundru, skujkoku mežus (taiga, mērenie lietusmeži), platlapju mežus, tropiskos mežus, savannu, stepi, krūmājus un tuksnešus.





A



B

Tundra

Arktiskā tundra, kas stiepjas gar Ziemeļu Ledus okeāna piekrasti, klāj apmēram 20 % no sauszemes (9.9. att.). (Līdzīga bioma – alpīnā tundra – atrodas kalnos virs koku līnijas.) Lielāko gada daļu arktiskajā tundrā ir tumšs un auksts. Tā kā nokrišņu daudzums tur ir tikai 20 cm gadā, varētu domāt, ka tundra ir tuksnesis. Tomēr zemās iztvaikošanas intensitātes un kūstošā sniega dēļ vasarā zeme ir staigna, tajā daudz ūdens lāmu. Atkūst tikai zemes virskārta. Zem tās ir **mūžīgā sasaluma** slānis, tāpēc izskalošanās ir minimāla.

Koku tundrā nav, jo te ir ļoti īss veģetācijas periods, koku saknes nevar iesniegties mūžīgā sasaluma slānī, bet atkusušajā purvainajā augsnē tās nespēj noturēties. Īsajā vasarā zemi klāj nelielas graudzāles un grīšļi, ir sastopami arī ķērpji un sūnas. Kamēr ir pietiekami daudz saules gaismas, augi ātri izzied un sēklas nogatavina arī daži sīki krūmveidīgi koki, piemēram, pundurbērzi.

Daži dzīvnieki tundrā dzīvo visu gadu. Piemēram, pelēm līdzīgie lemingi ziemu pavada zem sniega, baltirbes vētras laikā ierokas sniegā, bet muskusvēršus no aukstuma pasargā biezais kažoks, kas sedz ne pārāk lielo, bet masīvo ķermeni. Vasarā tundra atdzīvojas – tur parādās milzīgs daudzums kukaiņu, kā arī putni, galvenokārt bridējputni un ūdensputni. Tundrā atgriežas ziemeļbrieži, kā arī vilki, kas viņus medī. Krasta tuvumā bieži sastopami baltie lāči.



C

9.9. attēls. Tundra

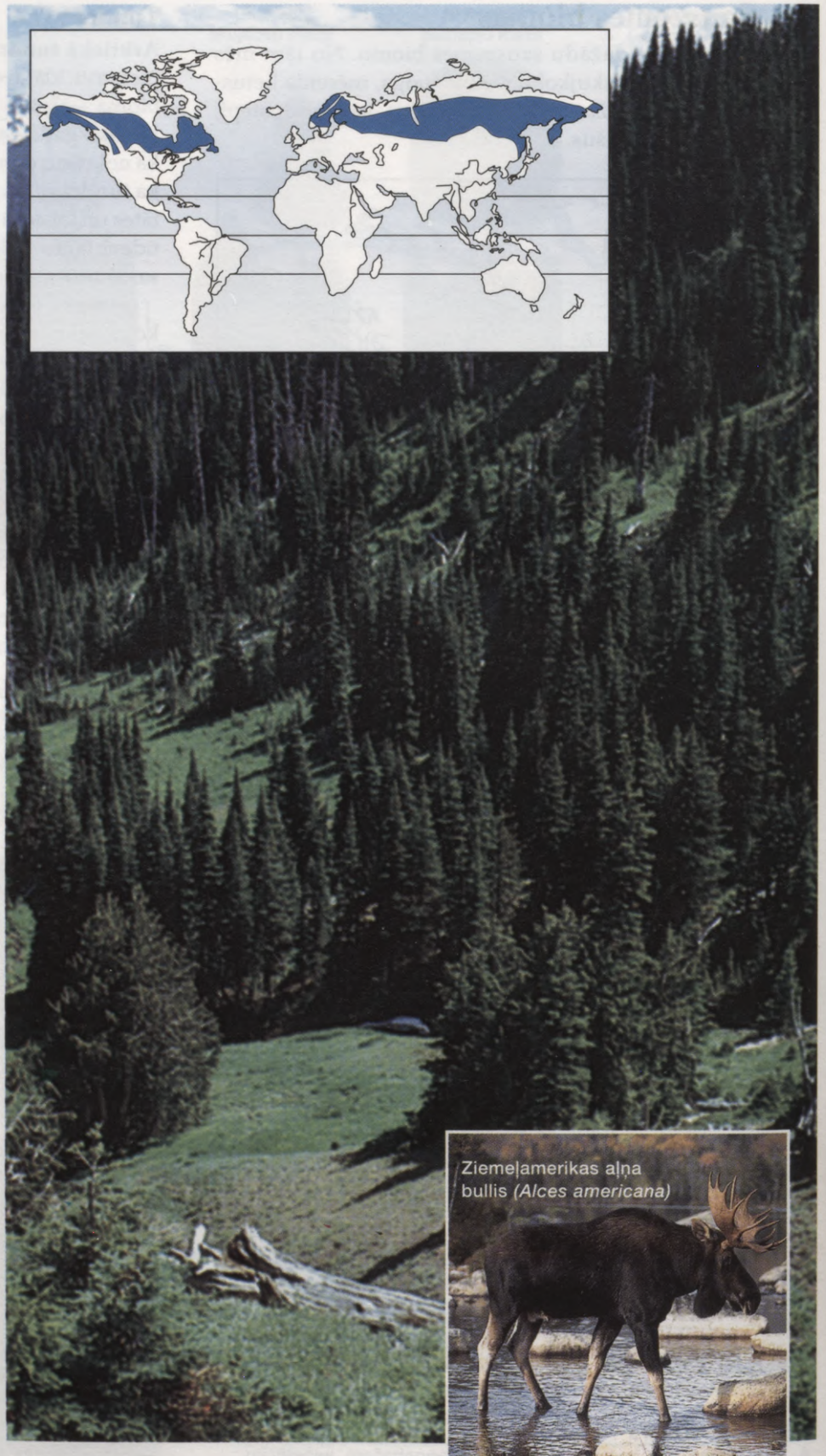
A. Šajā biomā, kas ir vistuvāk polārajiem apgabaliem, veģetāciju veido galvenokārt ķērpji, sūnas, graudzāles un zemi krūmi. **B.** Ūdens nespēj iesūkties sasalušajā zemē un iztvaiko lēni. Tāpēc veidojas lāmas, kas piesaista daudzus putnus, kuri pārtiek galvenokārt no kukaiņiem. **C.** Ziemeļbrieži barojas ar ķērpjiem, graudzālēm un krūmiem.

Skujkoku meži

Skujkoku meži sastopami trijos dažādos apgabalos – Eirāzijas un Ziemeļamerikas ziemeļdaļā (taiga), kalnos (kalnu skujkoku meži), kā arī gar Ziemeļamerikas Klusā okeāna piekrasti līdz pat Kalifornijas ziemeļdaļai.

Taigā (9.10. att.) aug galvenokārt kailsēkļi – egles, baltegles un priedes. Šie koki ir labi piemērojušies aukstumam, jo gan lapas, gan stumbru klāj biezs apvalks. Adatām līdzīgās lapas ziemā var izturēt smagā sniega svaru. Pamežā augu ir maz, bet zemsedzē aug sūnas un ķērpji. Putni barojas galvenokārt ar skujkoku sēklām. Vēso ezeru un upju tuvumā dzīvo lāči, brieži, aļņi, bebri un ondatras. Šos lielos zīdītājus medī vilki. Kalnu skujkoku mežos nereti sastopami arī tiņi un pumas.

Skujkoku mežus, kas stiepjas gar Kanādas un ASV rietumu piekrasti, dažkārt sauc par mērenajiem lietusmežiem. Valdošie vēji, pūšot no Klusā okeāna, savā ceļā sastop piekrastes kalnu grēdu un zaudē mitrumu. Daudzie lieti un barības vielām bagātā augsne ļauj te izaugt pasaulē garākajiem skujkokiem, piemēram, krastu sekvojai. Šie meži ir arī ļoti veci – dažiem kokiem ir vairāk nekā 800 gadu. Tie patiesi ir mūžzaļi meži, jo koku stumbrus klāj sūnas, papardes un citi augi. Būtisks ir jautājums, vai šie mežu biotopi, kas ir saglabājušies, būtu jāaizsargā. Pagaidām tiek diskutēts galvenokārt par te mītošās endēmiskās sugas – plankumainās pūces – aizsardzību. Tomēr daudz svarīgāk būtu aizsargāt visu ekosistēmu kopumā.



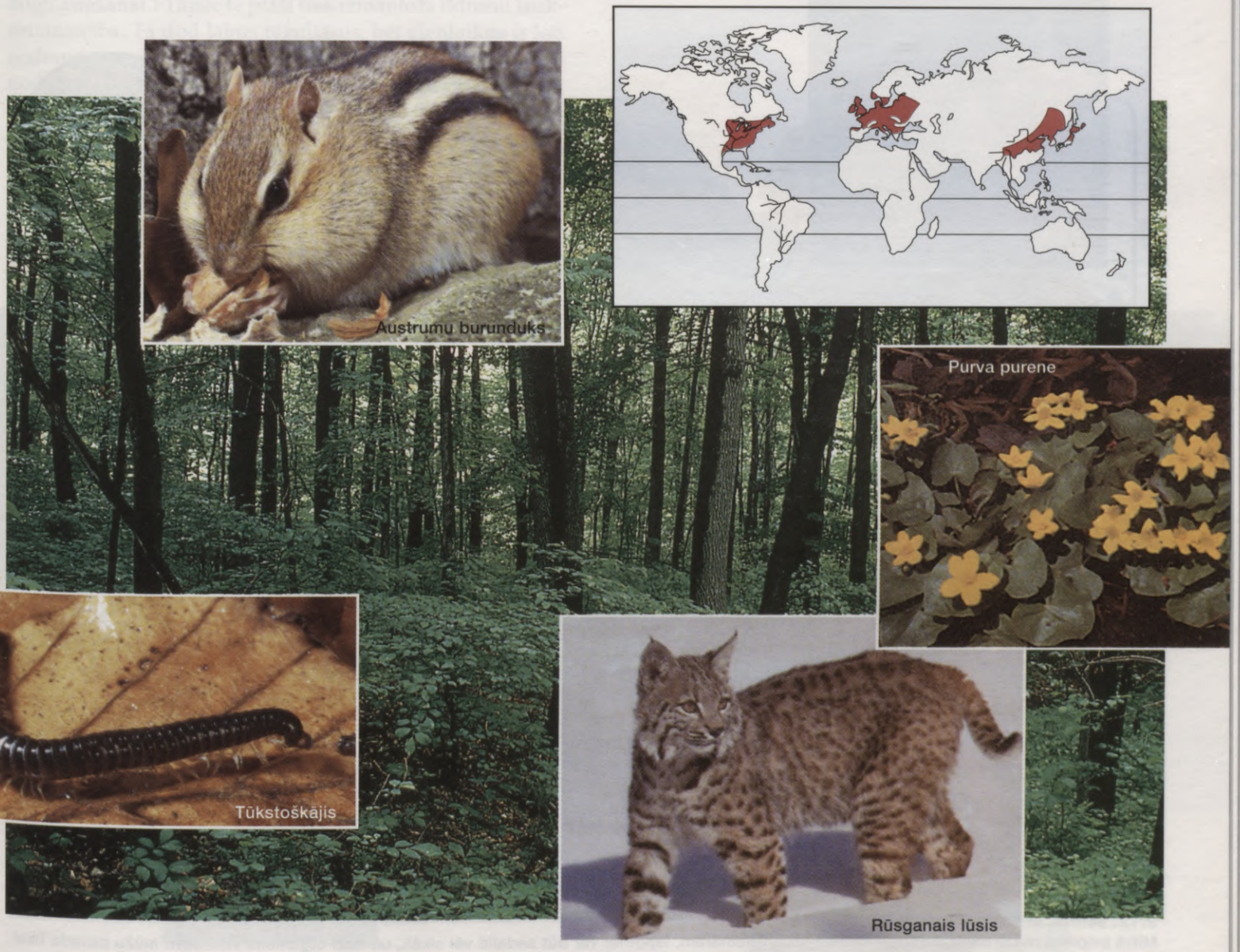
9.10. attēls. Taiga
Taiga atrodas Eiropas, Āzijas un Ziemeļamerikas ziemeļdaļā. Mitruma te parasti netrūkst. Aug daudz egļu. Bieži sastopami aļņi.

Platlapju meži

Platlapju meži sastopami Ziemeļamerikas un Āzijas austrumos, kā arī Eiropā uz dienvidiem no taigas. Šajā teritorijā ir mērens klimats ar relatīvi augstu nokrišņu daudzumu (75–150 cm gadā). Gadalaiki ir labi izteikti, un veģetācijas periods ilgst 140 līdz 300 dienas gadā. Te aug daudzi platlapji – ozoli, dižskābarži un kļavas –, kam rudenī lapas nobirst, bet pavasarī izaug no jauna.

Garāko koku galotnes veido pirmo stāvu, kas pirmais saņem saules starus. Tomēr pietiekami daudz gaismas iespiežas arī dziļāk, kur aug krūmi un pameža koki. Krūmi parasti zied agri pavasarī, kad koku lapas tos vēl nav noēnojušas. Pašā zemākajā stāvā – zemsedzē – aug sūnas, ķērpji, papardes un citi lakstaugi. Šāds sadalījums stāvos nodrošina visdažādākos biotopus ar kukaiņiem un putniem. Arī uz zemes mīt daudz dzīvnieku. Te sastopami daudzi nelieli augēdāji – vāveres, Amerikas truši, ciršļi, skunksi, meža murkšķi un burunduki. Šos dzīvniekus, kā arī uz zemes mītošos putnus, piemēram, savvaļas tītarus un irbes, medī rudās lapsas. Mūsdienās ir palielinājies lielāku augēdāju – baltastes briežu un Ziemeļamerikas lāču – skaits. Atšķirībā no taigas, kur ir pārāk aukstas ziemas, lai dzīvotu daudzi abinieki un rāpuļi, mērenās joslas mežos šie dzīvnieki ir sastopami samērā bieži. Daudzi dzīvnieki, piemēram, vardes, bruņurupuči, bebri un ondatras, lielu daļu dzīves pavada ūdenī.

Rudenī ienākas dažādi augļi (rieksti un ogas), kas dzīvniekiem noder kā barības rezerve ziemai. Lapas iegūst košas krāsas un nobirst zemē, veicinot bieza humusa slāņa veidošanos. Pavasara ūdeņi kopā ar humusu augsnē ieskalo minerālās barības vielas, bet koku saknes tās atkal uztver un atgriež atpakaļ meža biocenozē.



9.11. attēls. Platlapju mežs
Platlapju mežs ir mājvieta daudziem augiem un dzīvniekiem. Nobirušajās lapās var atrast tūkstoškājus, ar zīlēm barojas burunduki, savukārt lūši medī gan burundukus, gan citus nelielus zīdītājus.

Tropiskie meži

Dienvidamerikas, Āfrikas un Dienvidaustrumu Āzijas reģionos ekvatora tuvumā, kur vienmēr ir silts (20–25 °C) un ir liels nokrišņu daudzums (vismaz 190 cm gadā), aug **mitrie tropiskie meži**. Gan pēc sugu skaita, gan dzīvo organismu kopējā daudzuma tā ir bagātākā sauszemes bioma.

Mitrie tropiskie meži jeb lietusmeži ir ļoti sarežģīta sistēma ar daudziem stāviem (9.12. att.). Mūžzaļie platlapji izaug 15–80 m gari. Šos garos kokus lejasdaļā parasti balsta paresninātas stumbrs. Kokus balsta arī liānas un citi kokveidīgi vīteņaugi. Augu daudzveidība te ir neaprakstāma – 10 km^2 meža var būt 750 koku sugu un 1500 citu ziedaugu sugu.

Lai gan dzīvnieki te sastopami arī uz zemes (pakas, aguti, pekari, bruņneši), tomēr vairums dzīvnieku mīt kokos (9.13. att.). Kukaiņu fauna ir tik bagātīga, ka joprojām vairums sugu zinātnei vēl nav pazīstamas. Liela nozīme koksnes sadalīšanā ir termītiem. Visur, it īpaši kokos, sastopamas arī visdažādākās skudras. Ārkārtīgi daudz ir dažādu sugu putnu, piemēram, kolibri, papagaiļi, tukani, kam nereti ir ļoti košs apspalvojums. Abinieku un rāpuļu klases pārstāv liels skaits dažādu varžu, čūsku un ķirzaku. Ar koku lapām un augļiem barojas sliņķi un dažādi primāti, piemēram, lemūri un pērtiķi. Plēsēji ir lielie kaķi: Dienvidamerikā – jaguāri, bet Āfrikā un Āzijā – leopardi.

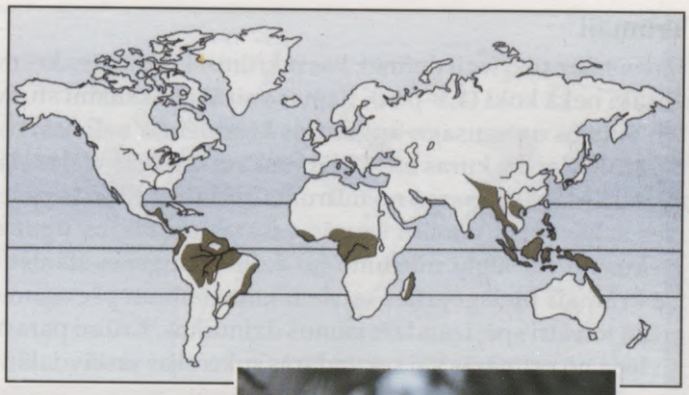
Visu dzīvi lapotnē pavada ne tikai daudzi dzīvnieki, bet arī daži augi. **Epifīti** ir augi, kas aug uz koku stumbriem un mitrumu un barības vielas iegūst no gaisa vai uztverot no lapotnes tekošos lietusūdeņus. Parastākie epifīti ir radniecīgi ananasiem, orhidejām un papardēm.



9.12. attēls. Mitrais tropiskais mežs
Mitrā tropiskā meža stāvi. Attēlā redzamie stāvi (piemēram, lapotne) var būt sadalīti vēl sīkāk, un daži organismi visu savu mūžu pavada tikai vienā no tiem. Lai piekļūtu saules gaismai, garās liānas "rāpjas" līdz koku augšējiem zariem. Epifīti ir augi, kas aug uz kokiem, bet uz tiem neparazitē.

Parasti mēs domājam, ka tropiskajos mežos nav atšķirīgu gadalaiku. Tomēr Indijā, Dienvidaustrumu Āzijā, Rietumāfrikā, Dienvidamerikā, Vidusamerikā un Ziemeļaustrālijā ir tropiskie meži, kur ir lietus sezona un sausā sezona. Te tāpat aug lapkoki, un to audzēm ir vairāki stāvi. Blakus jau minētajiem dzīvniekiem dažos no šiem mežiem mīt arī ziloņi, tīģeri un nīlzirgi.

Mērenās joslas platlapju mežos augsne ir auglīga un piemērota lauksaimniecībai, bet tropiskajos mežos tas tā nav. Organiskās vielas sadalās ļoti ātri, un barības vielas tūlīt pat nonāk atpakaļ augos. Produktivitāte ir augsta tāpēc, ka visu gadu ir silts un mitrs un barības vielas ātri atgriežas apritē. (Mitrajos tropiskajos mežos zemes virskārtā veidojas laterīta slānis, kurā ir daudz dzelzs un alumīnija oksīdu, kas piešķir augsnei sarkanīgu nokrāsu. Kad koki ir izcirsti, laterīts karstajā saulē sacietē un kļūst nepiemērots kultūraugu augšanai.) Tāpēc te plaši tiek izmantota līdumu lauksaimniecība. Tā dod labus rezultātus, bet vienlaikus ir ļoti nedraudzīga videi. Koki tiek nocirsti un sadedzināti, to pelni nodrošina barības vielas vairākām lauksaimniecības kultūru ražām. Tad mežam ļauj ataugt, bet līdumu ierīko citā vietā.















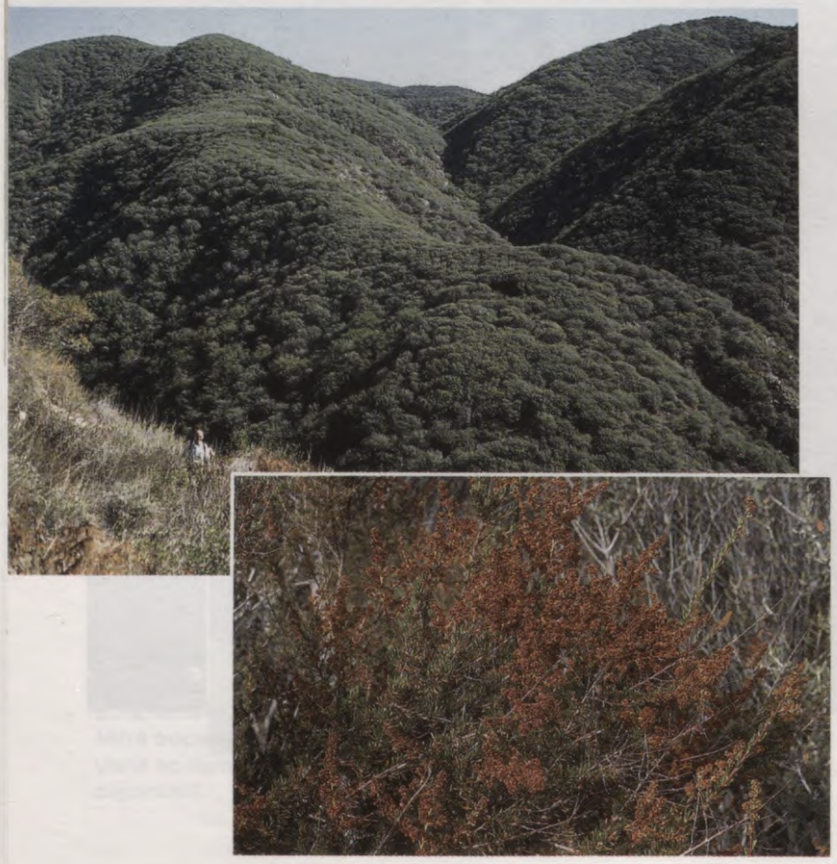
9.13. attēls. Mitro tropisko mežu dzīvnieki

Krūmāji

Nav nemaz tik viegli definēt, kas ir krūms. Lielākoties krūmi ir īsāki nekā koki (4,5–6 m), tiem ir vairāki koksnaini stumbri. Siltajos un sausajos apgabalos krūmiem ir nelielas, bet mūžzaļas lapas, kuras bieži klāj vaskam līdzīgas vielas slānītis, kas lapas pasargā no mitruma zuduma. Resnās pazemes saknes labi pārcieš sausās vasaras un biežos ugunsgrēkus un var iegūt mitrumu no dziļiem augsnes slāņiem. Šie krūmi ir pielāgojušies sausam klimatam un pēc ugunsgrēka ļoti ātri spēj izaudzēt jaunus dzinumus. Krūmi parasti ir viena no primārās vai sekundārās sukcesijas sastāvdaļām.

Krūmāji veidojas piekrastēs, kur vasaras ir sausas un lietus parasti līst ziemā. Krūmāji sastopami Āfrikas dienvidos, pie Ziemeļamerikas rietumu krasta, Austrālijas dienvidrietumu un dienvidu piekrastēs, ap Vidusjūru un Čīles vidusdaļā. Biezos krūmājus, kas sastopami Kalifornijā, dēvē par čaparalu (9.14. att.). Šāda veida krūmājos nav pameža un zemsedzes, un tie ir ļoti ugunsnedroši. Daudzām čaparalos sastopamām augu sugām sēklas spēj izdīgt, tikai pārcietušas ugunsgrēku. Citu sugu krūmiem pēc ugunsgrēka no saknēm attīstās jaunie dzinumi.

Vēl vairāk uz ziemeļiem – rietumos no Klinšu kalniem – ir arī cita tipa krūmāji. Šīs teritorijas nereti pieskaita pie aukstajiem tuksnešiem. Te dominē vībotnes un citi krūmveida augi. Dažas no te sastopamajām putnu sugām ir pilnīgi atkarīgas no vībotnēm.



Zālāji

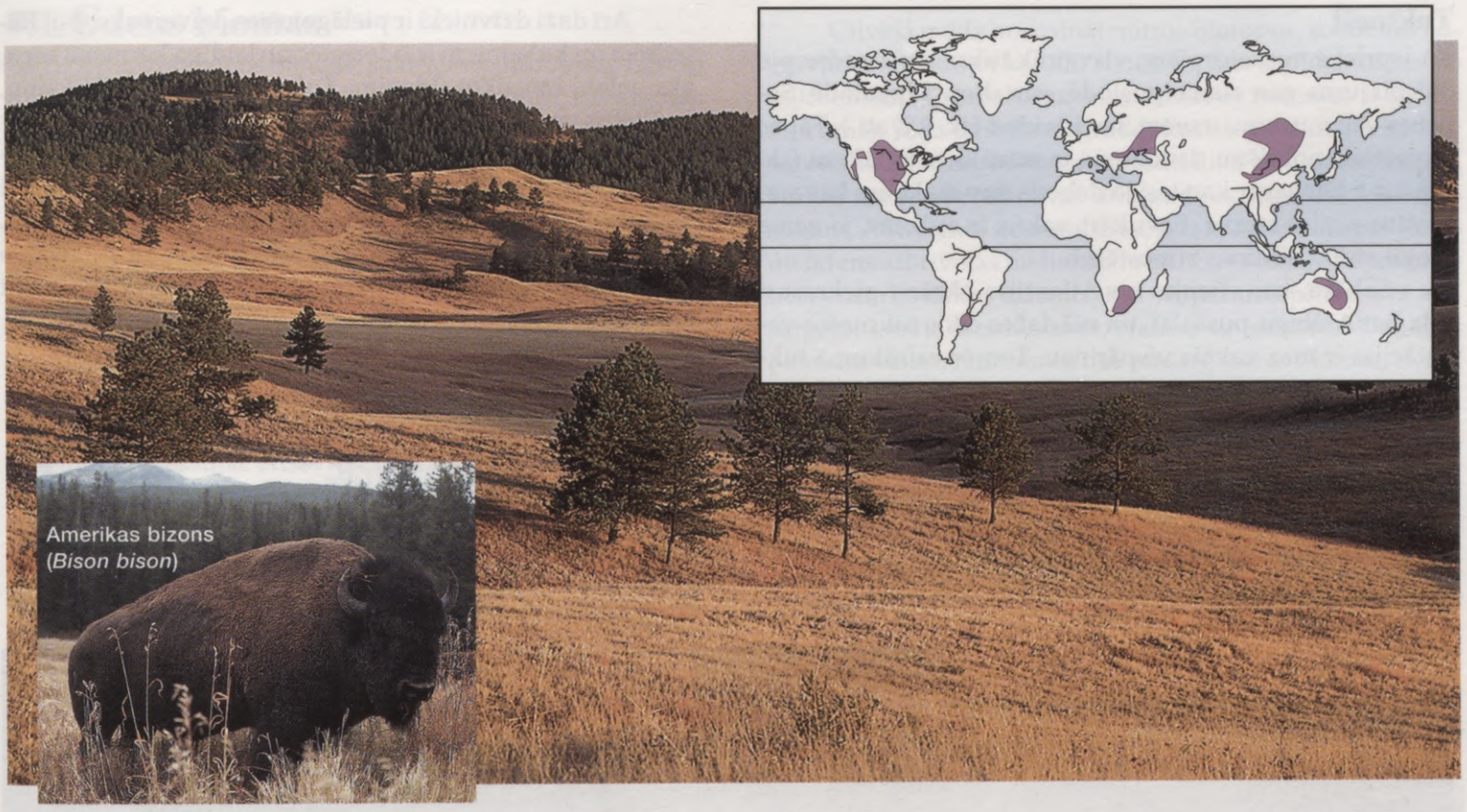
Zālāji veidojas tur, kur gadā nolīst vairāk par 25 cm nokrišņu, bet tomēr nepietiekami, lai te varētu augt koki. Kādreiz zālāji klāja vairāk nekā 40 % no sauszemes; mūsdienās daudzi no tiem tiek izmantoti lauksaimniecības kultūru, piemēram, kviešu un kukurūzas audzēšanai. Mērenajā joslā zālāji veidojas, ja nokrišņu daudzums ir 25–75 cm gadā. Tas ir par sausu, lai augtu meži, bet par mitru, lai veidotos tuksnesis.

Zālāju augi ir piemērojušies mainīgai videi un spēj pārciest gan intensīvu noganīšanu, gan plūdus un sausumu, gan ugunsgrēkus. Kad lietus līst daudz, izaug vairāk nekā 2 metrus gari augi (piemēram, pampu zāle). Sausākās teritorijās dominē 5–10 cm gari augi. Piemēram, ASV tuksnešu tuvumā aug tripsaki. Dažādu sugu lakstaugi aug atšķirīgos gadalaikos. Kad zāles ir maz, daži dzīvnieki migrē, citi, piemēram, burunduki, dodas ziemas guļā.

Mērenajā joslā atrodas Krievijas stepes, Dienvidamerikas pampas un Ziemeļamerikas prērijas (9.15. att.). Amerikas Savienotajās Valstīs Ilinoisas un Indiānas štatā platlapju mežu pakāpeniski (virzienā no austrumiem uz rietumiem) nomaina prērija, kur aug gara zāle (**garzāles prērija**), jo te vēl ir pietiekami daudz nokrišņu. Bet tuksnešu tuvumā zāle kļūst daudz īsāka (**īszāles prērija**). Senāk te klejoja milzīgi bizoni, kā arī antilopkazu bari, kurus veidoja simtiem tūkstošu dzīvnieku. Mūsdienās prērijā mīt daudzi sīki dzīvnieki – peles, prērijsuņi un truši, kas parasti dzīvo alās, bet barojas virszemē. No šiem zīdītājiem pārtiek vanagi, čūskas, āpši, koijoti un lapsas. Tomēr lielākā daļa prēriju ir pārvērstas lauksaimniecības zemēs.

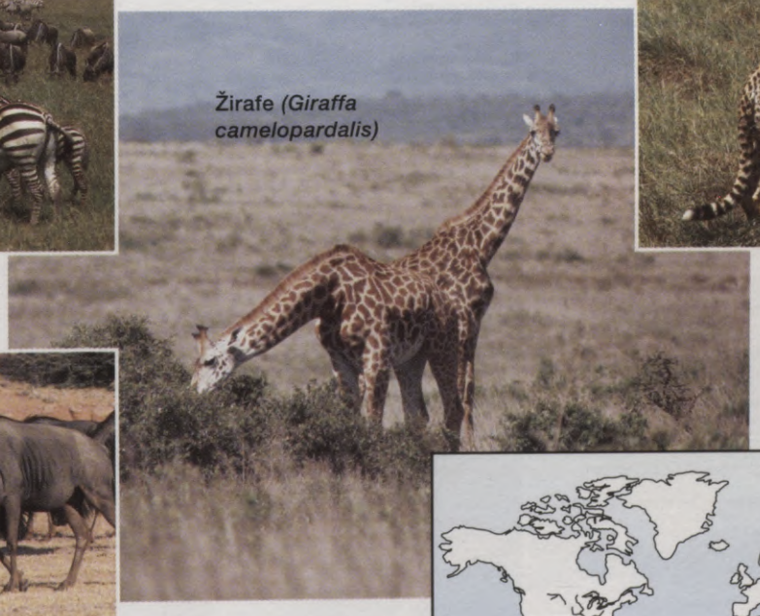
Savannās parasti aug arī atsevišķi koki. Tie ir sastopami vietās, kur relatīvi vēsai, sausai sezonai seko karsta un lietaina (9.16. att.) sezona. Viens no kokiem, kas spēj pārciest vairākas sausās sezonas, ir čemuru akācija, kas sausuma laikā nomet lapas. Āfrikas savannā dzīvo daudz dažādu lielu zālēdāju. Ziloņi un žirafes barojas ar koku lapām un dzinumiem. Savukārt antilopes, zebras, bifeļi un degunradži ēd zāli. Jebkuras augu atliekas, ko nav apēduši lielie dzīvnieki, steidzīgi izmanto mazāki organismi, piemēram, termīti. Termīti būvē torņiem līdzīgas mītnes, kur izveido sēņu dārzus – savu barības avotu. Lielais zālēdāju daudzums nodrošina barību arī daudziem plēsējiem. Lauvas un hiēnas parasti medī baros. Savukārt pa vienam dienā medī gepardi, bet naktī – leopardi.

9.14. attēls. Krūmāji
Krūmāji, piemēram, čaparali Kalifornijā, ir pakļauti biežiem, lieliem ugunsgrēkiem. Tomēr šie krūmi spēj ātri ataugt.



9.15. attēls. Prērija
Prērija ir plaša, ar zāli apaugusi teritorija, kuru papildina atsevišķas priedes un kadiķi. Kādreiz te tik bieži sastopamie bizoni mūsdienās dažviet atkal tiek reintroducēti.











9.16. attēls. Savanna
Āfrikas savannas augsnē ir maz mitruma un barības vielu, tāpēc te galvenokārt aug zāle, sastopami tikai atsevišķi koki un krūmi. Šajā biomā dzīvo daudz dažādu zālēdāju, kas barojas ar kokiem, krūmiem (piemēram, žirafes) un zāli (piemēram, zebras un gnu). Zālēdājus medī gepardi un lauvas.

Tuksneši

Kā iepriekš noskaidrojām, visvairāk tuksnešu atrodas pie 30° platuma gan ziemeļpuslodē, gan dienvidpuslodē. Šejienes vēji mitrumu uzņem, nevis atdod (sk. 9.2. att.). Tāpēc ikgadējais nokrišņu daudzums ir mazāks nekā 25 cm (sk. 9.6. att.). Dienas ir karstas, jo debesīs nav mākoņu, kas aizkavētu saules starus. Savukārt naktis ir aukstas, jo zeme viegli atdod siltumu atmosfērai.

Sahārā, kas stiepjas no Atlantijas okeāna piekrastes līdz pat Arābijas pussalai, un vēl dažos citos tuksnešos veģetācijas ir maz vai tās vispār nav. Tomēr vairākumā tuksnešu aug dažādi augi (9.17. att.). Pazīstamākie Ziemeļamerikas tuksnešu augi ir kaktusi. Tie ir daudzgadīgi sukulenti ar resniem stumbriem, kur uzkrājas ūdens un noris fotosintēze. Te bieži sastopami arī krūmveida augi, piemēram, vībotnes ar sudrabaini pelēkām lapām un fukērijas, kurām lapas attīstās mitrā laikā, bet sausā laikā nobirst.

Arī daži dzīvnieki ir pielāgojušies dzīvei tuksnesī. Rāpuļiem un kukaiņiem ir ūdensnecaurlaidīga ķermeņa sega, kas neļauj iztvaikot ūdenim. Tuksnesī ir daudz kukaiņu, kas lietus perioda laikā iziet visas attīstības stadijas (no kūniņas līdz jaunai kūniņai). Raksturīgākie tuksnešu mugurkaulnieki ir rāpuļi, īpaši – ķirzakas un čūskas. Tomēr bieži sastopami ir arī dažu sugu putni, piemēram, skrējējdzeguze, un grauzēji, piemēram, ķengurūrkas (9.17. att.). Lielākie zīdītāji, piemēram, koijoti, un putni, piemēram, vanagi, medī grauzējus.

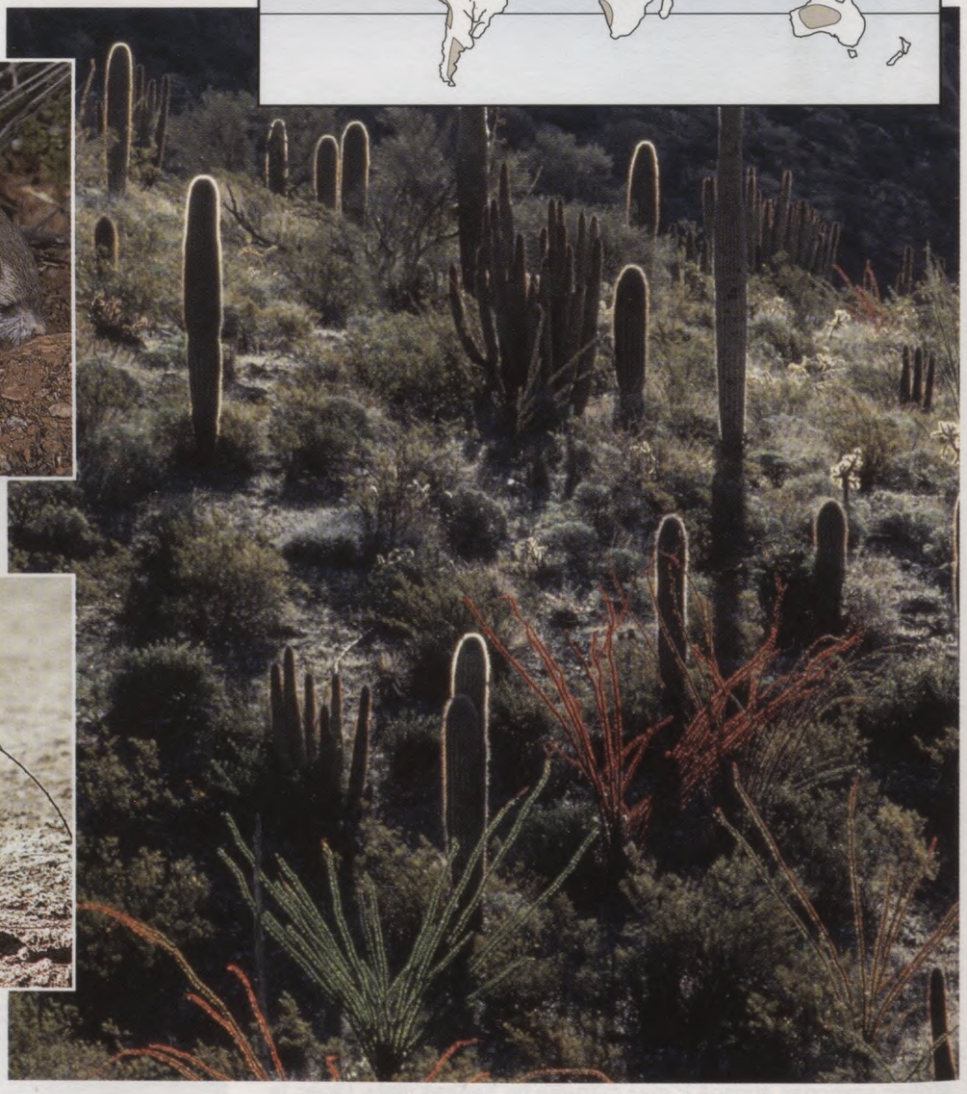




Ķengurūrka *(Dipodomys spectabilis)*



Kalifornijas skrējējdzeguze *(Geococcyx californianus)*



9.17. attēls. Tuksnesis

Tuksneša augi un dzīvnieki ir pielāgojušies sausumam. Augi ir vai nu sukulenti, kas uzkrāj ūdeni, vai krūmi ar koksnainiem zariem un sīkām lapām, kas zaudē maz ūdens. Ķengurūrkas pārtiek no sēklām un citas veģetācijas, savukārt skrējējdzeguzes medī kukaiņus, ķirzakas un čūskas.

9.4. Ūdens biomas

Izšķir divu tipu ūdens biomas: saldūdens (iekšzemes ūdeņi) un sālsūdens (parasti – jūras ūdeņi). Mitrzemēs, kas atrodas jūru tuvumā, mēdz būt gan saldūdens, gan sālsūdens. 9.18. attēlā redzams, kā šīs teritorijas ir saistītas. Tās atrodas arī mijiedarbībā, apmainoties ar barības vielām. Aplūkojot ūdens apriti (sk. 153. lpp.), var konstatēt, ka saldūdens ir sālsūdens destilāts. Saules siltums jūrā liek iztvaikot ūdenim, bet sāls paliek. Ūdens tvaiki ceļas uz augšu, atdziest un nolīst gan okeānā, gan uz sauszemes. Nelieli ūdens daudzumi iztvaiko arī no sauszemes. Tā kā sauszeme atrodas virs jūras līmeņa, gravitācijas ietekmē saldūdens atgriežas jūrā.

Lietum līstot, ūdens iesūcas zemē un līdz noteiktam līmenim to piesātina. Atsevišķi iežu slāņi piesātinās vairāk – tur veidojas gruntsūdeņi. Ūdens, kas neiesūcas zemē, uzkrājas padziļinājumos, veidojot ezerus un dīķus. Daļa ūdens aizplūst pa virszemes kanāliem – strautiem un upēm. Dažkārt arī zem zemes veidojas pazemes upes.

Cilvēki mēdz nosusināt mitros biotopus, rokot novadgrāvjus un veidojot kanālu sistēmas, kur saplūst ūdens no mitrzemēm (apgabali, kur vismaz dažus mēnešus ir daudz mitruma). Šāda darbība degradē ekosistēmas un var izraisīt sezonālus plūdus. Mitrzemes nodrošina ar dzīvesvietu un barību zivis, ūdensputnus un daudzus citus dzīvos organismus. Mitrzemēs ūdens attīrās, jo te sadalās kaitīgās vielas un ūdens atbrīvojas no liekajām barības vielām. Mitrzemes tieši absorbē liekos ūdeņus, kas var izraisīt plūdus, tā aizsargājot lauku saimniecības, ciemus un pilsētas. Daudzās pasaules valstīs mitrzemes tiek aizsargātas ar likumu, tomēr ne vienmēr tas ir pietiekami iedarbīgi.

Ūdens biomas var iedalīt saldūdens un sālsūdens biomās. Tomēr ļoti svarīgi ir saprast, ka šo divu veidu ekosistēmas atrodas savstarpējā mijiedarbībā un tās saista kopēja vielu aprite.



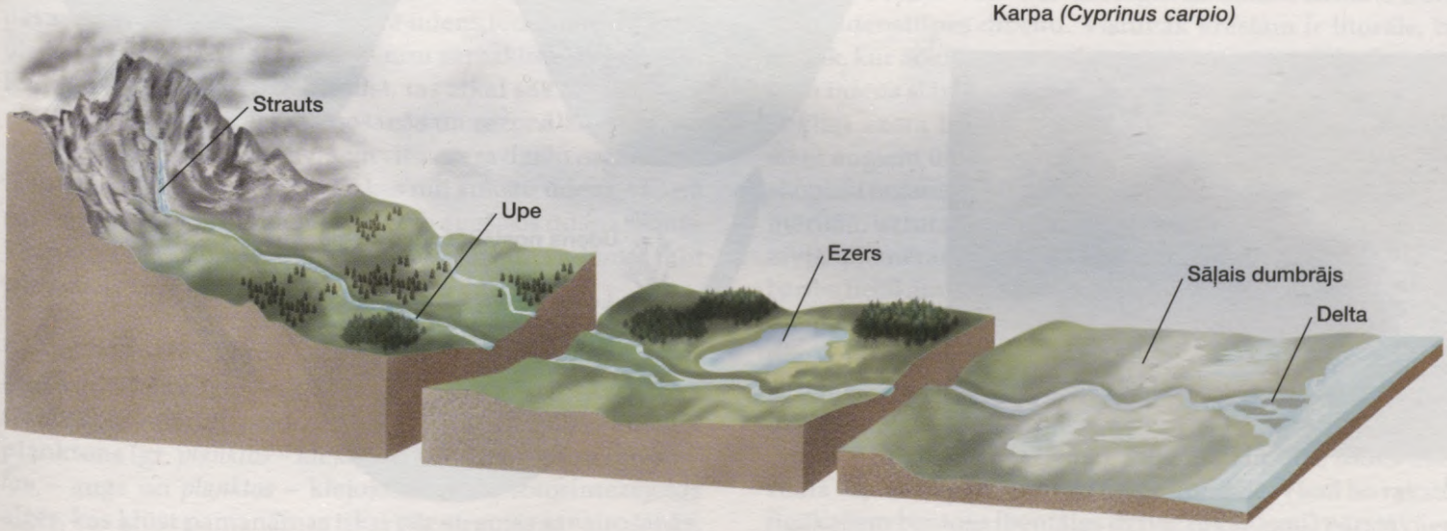
Strautenes kāpurs *(Plecoptera sp.)*



Varavīksnes forele *(Salmo gairdneri)*



Karpa *(Cyprinus carpio)*



9.18. attēls. Strauti un upes
Kalnu strautos ir auksts, tīrs ūdens, kas plūst pāri krācēm un ūdenskritumiem. Strautenes kāpura kājām ir nadziņi, kas palīdz noturēties pie akmeņiem. Foreles sastopamas ūdeņos ar augstu skābekļa saturu. Saplūstot daudziem strautiem, veidojas upe, kas pakāpeniski kļūst platāka, dziļāka un sāk līkumot pa ielejām. Karpas ir pielāgojušās dzīvei ūdeņos, kuros ir maz skābekļa un daudz nogulšņu. Pirms ietecēšanas jūrā upe sadalās daudzās attekās; starp tām veidojas mitrzemes un estuāri.

Ezeri

Ezeri ir saldūdens krātuves. Tos bieži iedala pēc barības vielu daudzuma. Oligotrofos (barības vielām nabagos) ezeros ir maz organisko vielu un neliela produktivitāte. Eitrofos (barības vielām bagātos) ezeros ir daudz organisko vielu un liela produktivitāte. Šādi ezeri parasti atrodas ar barības vielām dabiski bagātās vietās vai arī tur, kur ir intensīva lauksaimniecība vai urbanizācija. Ja ieplūst daudz barības vielu, oligotrofie ezeri var pārveidoties par eitrofiem ezeriem (9.19. att.). Šo procesu sauc par **eitrofikāciju**.

Mērenajā joslā dziļos ezeros ūdens noslāņojas. Vasarā mērenās joslas ezeros ir trīs pēc ūdens temperatūras atšķirīgi slāņi (9.20. att.). Augšējais slānis – epilimnions – saulē sasilst. Vidējam slānim – metalimnionam – raksturīgas krasas temperatūras svārstības. Savukārt dziļākais un aukstākais slānis ir hipolimnions. Ievērojamās temperatūras atšķirības aizkavē ūdens sajaukšanos. Siltākais un mazāk blīvais epilimniona ūdens "peld" virs aukstākā un blīvākā hipolimniona.

Vasarā epilimnionā pamazām samazinās barības vielu, bet hipolimnionā – skābekļa daudzums. Saules apspīdētajā epilimnionā attīstās fitoplanktons, kas fotosintēzē patērē barības vielas un izdala skābekli. Gravitācijas ietekmē detrīts nogrimst ezera dibenā, kur tā sadalīšanai tiek patērēts skābeklis, vienlaikus atbrīvojoties barības vielām.

Rudenī epilimnions atdziest, pavasarī – sasilst; abos gadījumos slāņi sajaucas. Rudenī epilimniona ūdens kļūst vēsāks par hipolimniona ūdeni. Tāpēc augšējie ūdens slāņi iegrimst, bet apakšējie – paceļas. **Ūdens vertikālā sajaukšanās rudenī** turpinās, līdz temperatūra visā ezerā ir vienāda. Ūdenim sajaukties palīdz arī vējš. Vienlaikus izlīdzinās arī skābekļa un barības vielu koncentrācija.

Tuvojoties ziemai, ūdens atdziest arvien vairāk, virspusē veidojas ledus. Ledus saglabājas virspusē, jo ir daudz vieglāks nekā ūdens. Ledus darbojas arī kā izolators, neļaujot sasalt visam ūdenskrātuves ūdenim. Tāpēc ūdens organismi ziemu var pārlaist arī zem ledus.

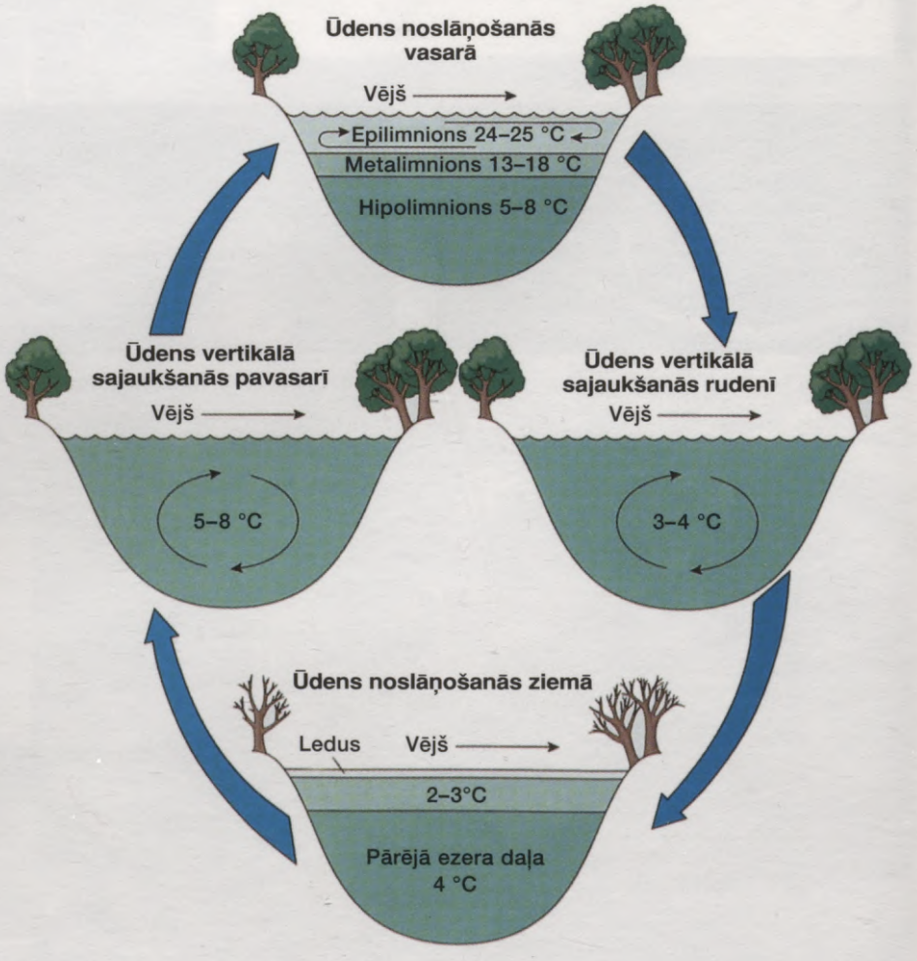


A

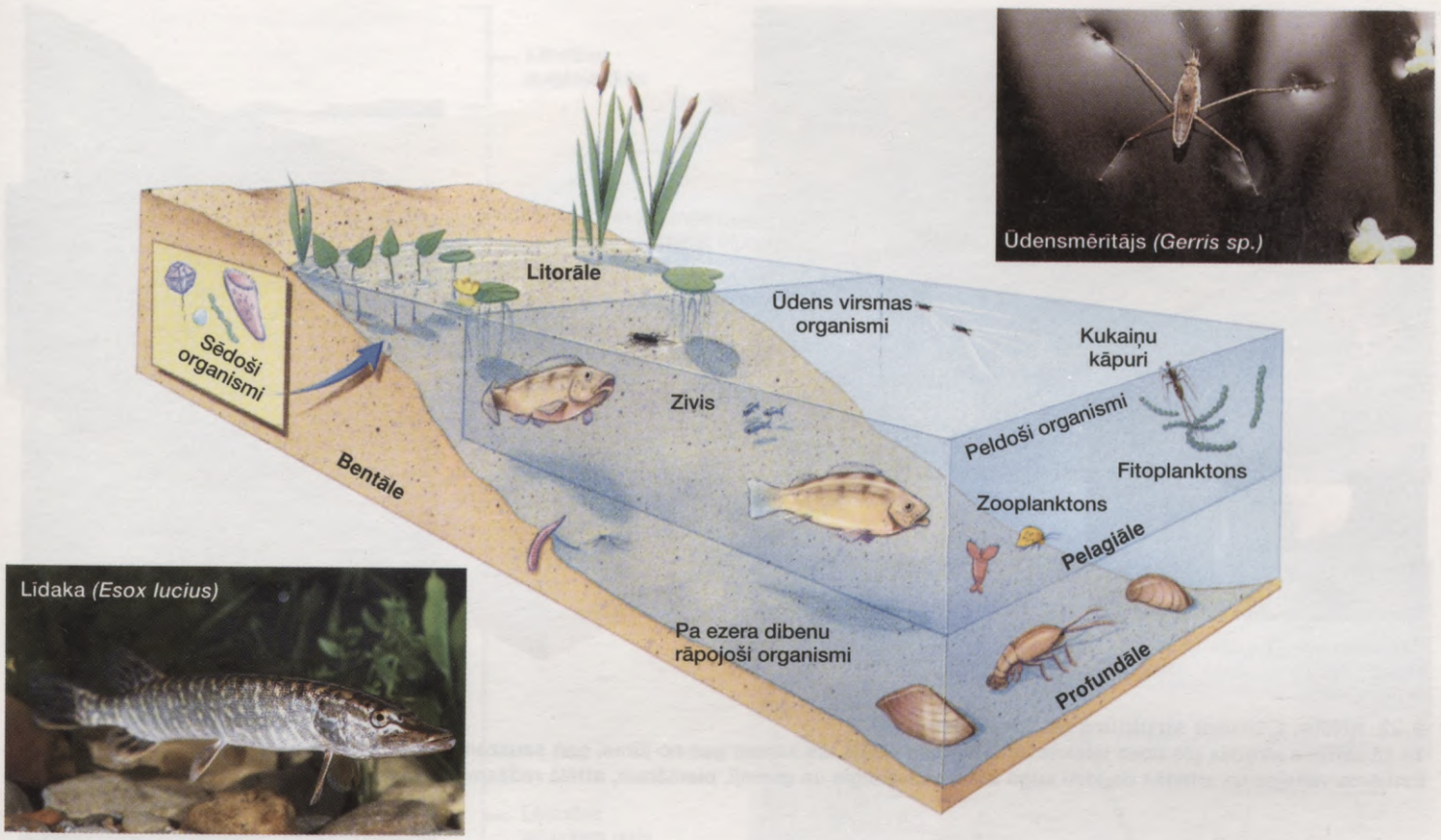


B

9.19. attēls. Ezeru tipi
Ezerus iedala **A**) oligotrofos (barības vielām nabagos) un **B**) eitrofos (barības vielām bagātos). Eitrofos ezeros ir lielāka aļģu un zaļo augu biomasa. Šiem organismiem sadaloties, tiek patērēts daudz skābekļa, tāpēc ūdenī ir zema skābekļa koncentrācija.



9.20. attēls. Ezeru slāņi
Mērenajā joslā lielajos oligotrofajos ezeros, mainoties gadalaikiem, mainās arī ūdens temperatūra. Pavasarī un rudenī notiek ūdens vertikālā sajaukšanās; rezultātā apakšējie slāņi no augšas saņem skābekli, bet augšējie slāņi no apakšas – barības vielas.



9.21. attēls. Ezera ekoloģiskās zonas
Litorālē aug augi, kas iesakņojas ūdenstilpes dibenā, savukārt pie tiem pieķeras dažādi dzīvnieki. Saules apspīdētajā pelagiāles daļā sastopams fitoplanktons, zooplanktons un zivis. Ūdensmērītājiem ir ūdeni atgrūdošas kājas, kas ļauj šīm ūdensblaktīm pārvietoties pa ūdens virsmu. Plēsīgās līdakas ir iecienīts makšķerēšanas objekts. Profundālē mīt pa ezera dibenu rāpojoši dzīvnieki, piemēram, vēži un gliemenes.

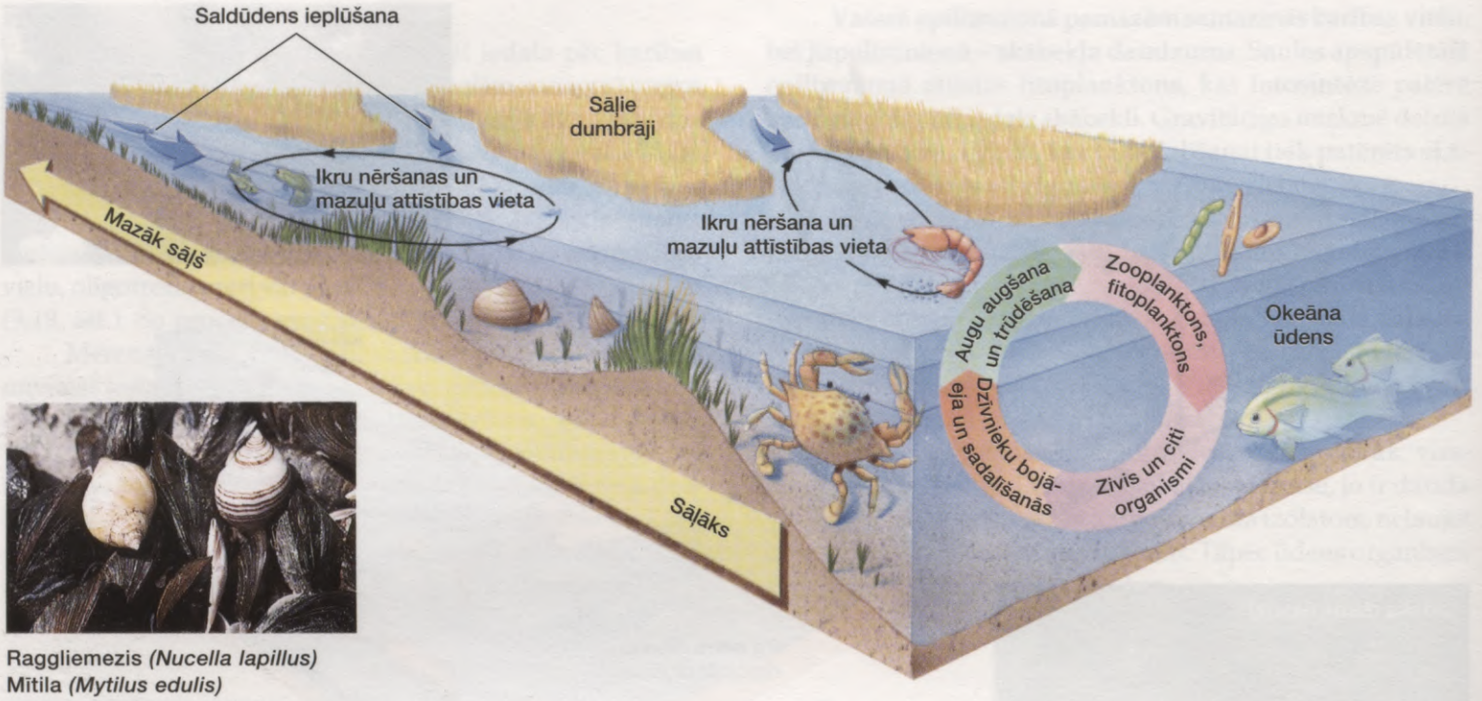
Pavasarī, ledum kūstot, vēsākie augšējie ūdens slāņi nogrimst ūdenstilpes dibenā. **Ūdens vertikālā sajaukšanās pavasarī** turpinās, līdz visā ezerā ūdens temperatūra kļūst vienāda. Arī šajā gadījumā ūdenim sajaukties palīdz vējš. Kad ūdens virspuse saulē iesilst, tas atkal sāk noslāņoties.

Ūdens vertikālā noslāņošanās un sezonālās temperatūras izmaiņas ietekmē zivju un citu ezera dzīvo organismu izvietojumu. Piemēram, zivis, kas mīl aukstu ūdeni, vasarā pārvietojas dziļāk, bet ziemā apdzīvo augšējos ūdens slāņus. Visintensīvāk fitoplanktons aug pavasarī un rudenī – tūlīt pēc ūdens vertikālās sajaukšanās.

Ekoloģiskās zonas

Gan saldūdeņos, gan sālsūdeņos ļoti nozīmīga biocenozes sastāvdaļa ir brīvi peldošie mikroskopiskie organismi – **planktons** (gr. *planktos* – klejojošs). **Fitoplanktonu** (gr. *phyton* – augs un *planktos* – klejojošs) veido fotosintezējošas aļģes, kas kļūst pamanāmas tikai pēc straujas savairošanās, kad ūdenī var redzēt zaļas vai sarkanas nogulsnes. **Zooplanktons** (gr. *zoon* – dzīvnieks un *planktos* – klejojošs) sastāv no sīkiem dzīvniekiem, kas barojas ar fitoplanktonu. Ezeros un dīķos izšķir vairākas ekoloģiskās zonas. Bentāle ietver visu ūdenstilpes dibenu. Vistuvāk krastam ir litorāle, bet dziļāk, kur nokļūst maz gaismas, plešas profundāle. Savukārt visu ūdens slāni virs bentāles sauc par pelagiāli (9.21. att.). Seklajā ezera litorālē iesakņojas daudz dažādu augu. Pie šiem augiem un akmeņiem piestiprinās neskaitāmi mikroskopiski organismi. Daži dzīvie organismi, piemēram, ūdensmērītāji, uzturas uz ūdens virsmas. Pelagiālē dzīvo nelielas zivis, piemēram, mailītes, kas barojas ar planktonu un ir barība lielākām zivīm. Profundālē mīt zooplanktons un zivis, piemēram, sīgas, kas pārtiek no barības vielām, kuras tur nonāk no augšējiem ūdens slāņiem. Ezeros bieži sastopamas ir līdakas, kas medī, paslēpjoties starp ezera augiem un uzglūnot garām peldošām zivīm.

Pelagiālē ir samērā maz kukaiņu kāpuru, toties masveidā viņi sastopami litorālē un profundālē. Vieni no raksturīgākajiem bentosa (bentāles dzīvie organismi) pārstāvjiem ir trīsuļodu kāpuri. Bez tam ezeru bentosu veido vēži, gliemenes, gliemeži, dažādi tārpi un arī citu kukaiņu kāpuri.



Raggliemezis *(Nucella lapillus)*
Mītila *(Mytilus edulis)*

9.22. attēls. Estuāra struktūra un funkcijas
Tā kā estuārs atrodas pie upes ietekas jūrā, barības vielas tas saņem gan no jūras, gan sauszemes. Barības vielas nodrošina arī trūdošie augi. Estuāros vairojas un attīstās daudzu sugu zivis, vēžveidīgie un gliemji, piemēram, attēlā redzamās mītilas, ar kurām barojas raggliemeži.

Piekrastes biocenozes

Pie upes ietekas mērenajā joslā parasti veidojas sāļie dumbrāji, bet tropos – mangrovju dumbrāji. Upes atnestās nogulsnes piekrastē var veidot dūņainus klajumus. Var uzskatīt, ka jūras piekraste, dūņainie piekrastes klajumi, sāļie dumbrāji un mangrovju dumbrāji ir līdzīgas ekosistēmas.

Estuāri

Estuāri ir daļēji noslēgtas ūdenstilpes, kur satiekas un sajaucas saldūdens un jūras ūdens (9.22. att.). Saldūdeni estuārā ienes upe, bet sālsūdeni – jūra paisuma laikā. Estuāri ir piekrastes līči, plūdmaiņas radītie dumbrāji, fjordi (šauri līči ar stāviem krastiem), dažas deltas (trīsstūra formas zemes veidojumi pie upes ietekas) un lagūnas (ūdenstilpes, ko no jūras norobežo šaura sauszemes strēle).

Dzīvajiem organismiem, kas mīt estuāros, jāpārcieš pastāvīga ūdens sajaukšanās un straujas sāļuma izmaiņas. Nav daudz organismu, kas pielāgojušies dzīvei šādā vidē, bet tiem, kas to ir izdarījuši, te pieejams ļoti daudz barības vielu. No jūras barības vielas estuārā ienes paisums, bet no sauszemes – upe. Estuārs darbojas kā "slazds", neļaujot atnestajām barības vielām ar bēgumu aizskaloties jūrā. Šā iemesla dēļ te uzkrājas ļoti daudz barības.

Lai arī estuārā pastāvīgi mīt tikai nedaudzas sīkas zivis, daudzu sugu zivīm te noris kāda no attīstības stadijām. Tāpēc estuārā vienmēr ir ļoti daudz ikru un zivju mazuļu. Ir novērtēts, ka vairāk nekā pusei no visām jūras zivīm dzīve sākas aizsargātajā estuāra vidē. Bagātīgā barības daudzuma dēļ te barojas arī daudzu sugu pieaugušās zivis, putni, vēži un gliemji.



A



B

9.23. attēls. Estuāru veidi
Pie estuāriem var pieskaitīt dažāda veida teritorijas, piemēram, 9.23. attēlā redzamos sāļos dumbrājus, dūņainos piekrastes klajumus, kurus iecienījuši migrējošie putni (**A**), un mangrovju dumbrājus (**B**), kas atrodas daudzu tropu un subtropu zemju piekrastē. Samezglotās mangrovju saknes aiztur dūņas un barības vielas, ko izmanto daudzi dzīvie organismi.



9.24. attēls. Pludmales

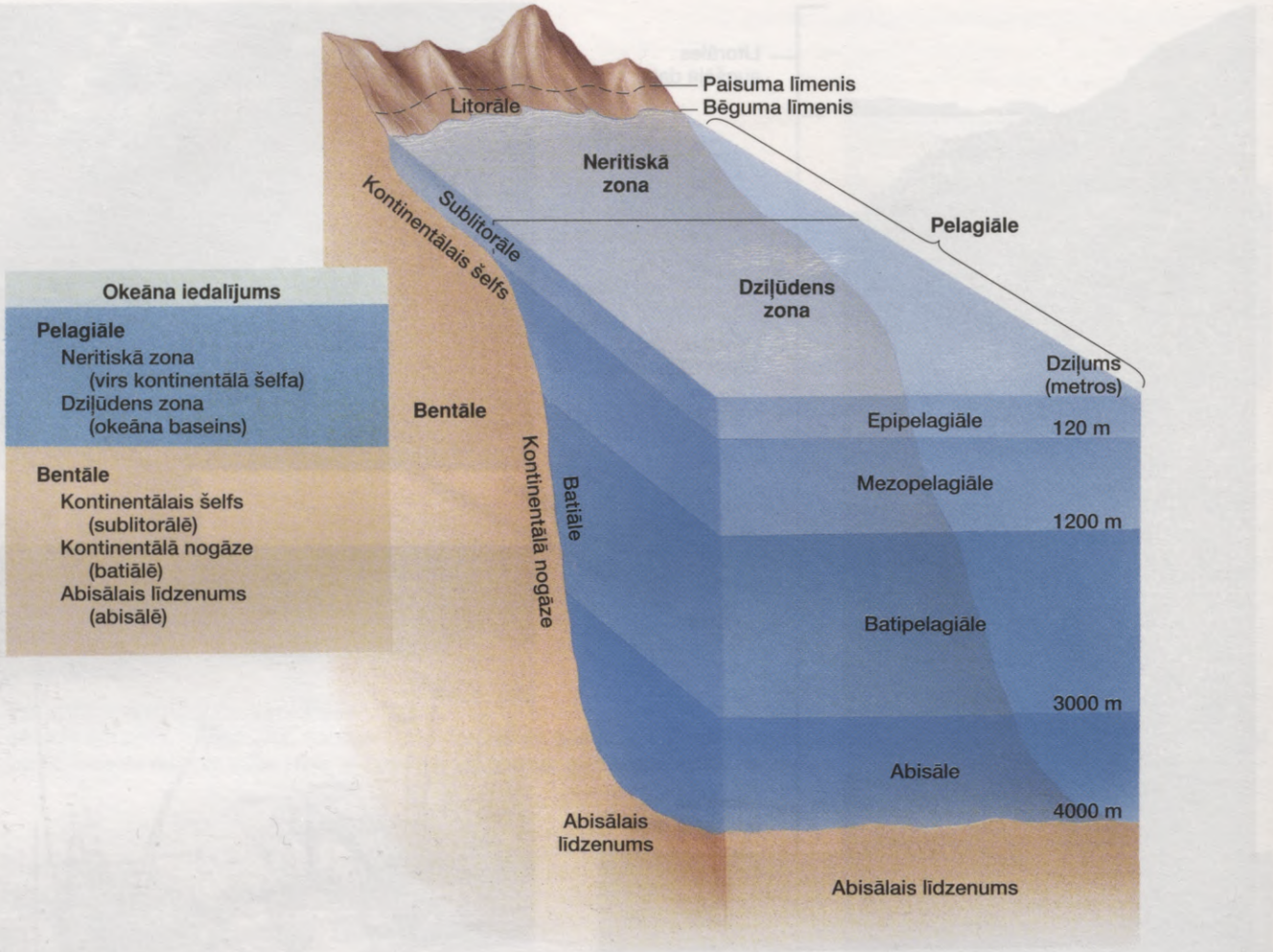
A. Nemitīgām ūdens līmeņa svārstībām pakļautās akmeņainās pludmales litorāles augšējā, vidējā un apakšējā daļā atrodas dažādas aļģes un čaulām klāti dzīvnieki. **B.** Daži akmeņainās piekrastes iemītnieki mīt peļķēs plūdmaiņu joslā. **C.** Smilšainā pludmale izskatās gandrīz neapdzīvota, ja vien neskaita putnus. Tomēr te, smiltīs ierakušies, dienu pavada daudzu sugu bezmugurkaulnieki.

Sāļajos dumbrājos dominē augi, kas piemēroti šādiem apstākļiem. Sāļie dumbrāji veicina barības vielu un detrīta piegādi estuāriem. Vienlaikus tā ir nozīmīga vide daudziem organismiem, no kuriem daži parādīti 9.23. attēlā.

Pludmales

Gan akmeņainās, gan smilšainās pludmales nepārtraukti tiek apskalotas, paisumam mainoties ar bēgumu (9.24. att.). Akmeņainās pludmales var iedalīt vairākās zonās. Litorāli paisuma laikā sedz ūdens. Litorāles augšējā daļā mīt sprogkājvēži (jūraszīles), kas ar īpašiem izdalījumiem tik cieši pielīp akmeņiem, ka pat pēc dzīvnieka ņāves kaļķa čaula paliek turpat. Litorāles vidusdaļā jūraszāles aizstāj brūnaļģes. Savukārt litorāles zemākajā daļā pie akmeņiem ar īpašiem bisusa pavedieniem ir piestiprinājušās austeres un mītilas. Te sastopami arī gliemeži, piemēram, bļodiņgliemeži un litorīnas. Litorīnām ir spirālē savīta čaula, un viņas slēpjas spraugās vai zem jūraszālēm. Savukārt bļodiņgliemeži ar savu nedaudz saplacināto čaulu cieši piespiežas pie akmens. Nedaudz zem plūdmaiņas zonas, piestiprinājušās pie akmeņiem, aug lielas jūraszāles, kas ir galvenie šīs zonas fotosintezējošie organismi.

Smilšainajā pludmalē dzīvie organismi nevar piestiprināties pie plūstošajām un mainīgajām smiltīm. Tāpēc gandrīz visi šejienes pastāvīgie iemītnieki dzīvo, ierakušies smiltīs. Daži no viņiem dienu pavada smiltīs, bet naktī izlien virspusē baroties. Citi ierakušies smiltīs paliek pastāvīgi. Dažu sugu sānpeldes ierokas smiltīs virs paisuma zonas un barojas naktī, kad ir bēgums. Nereīdas (daudzsartārps) un dažu sugu desmitkājvēži pastāvīgi paliek alās **plūdmaiņas zonā**, kur barojas ar detrītu. Te sastopamas arī vēdekļgliemenes, sirdsgliemenes un dažu sugu jūraseži.



9.25. attēls. Jūras vide
Jūras dzīvie organismi mājo vai nu pelagiālē (zilā krāsā), vai bentālē (brūnā krāsā). Attēlā parādīts šo zonu sīkāks iedalījums.

Okeāni

Okeāni klāj aptuveni trīs ceturtdaļas mūsu planētas virsmas. 9.25. attēlā redzams okeāna iedalījums ģeogrāfiskās zonās. Parasti okeāna vidi, kuru apdzīvo dzīvie organismi, iedala divās kategorijās – pelagiālē (atklātie ūdeņi) un bentālē (ūdenstilpes dibens).

Pelagiāle

Pelagiāli (gr. *pelagos* – jūra) iedala neritiskajā zonā un dziļūdens zonā. Neritiskajā zonā ir vairāk dzīvo organismu nekā dziļūdens zonā, jo tur ir vairāk barības vielu un saules stari iespiežas visā tās dziļumā. Fitoplanktons, kas sastāv no sīkām, ūdenī suspendētām aļģēm, ir ne tikai zooplanktona, bet arī sīku zivju barība. Šīs sīkās zivis savukārt ir barība komerciāli vērtīgām zivīm – siļķēm, mencām un plekstēm.

Dziļūdens zonai ir sīkāks vertikālais zonējums. Virsējā slānī – epipelagiālē – ir pietiekami daudz saules gaismas, tomēr barības vielu trūkuma dēļ fitoplanktona koncentrācija nav augsta. Tā kā okeāns ir ļoti liels, šie fotosintezētāji spēj nodrošināt barību ļoti daudzveidīgam zooplanktonam. No zooplanktona pārtiek siļķes un lufari, savukārt viņas ir barība lielākām zivīm – makrelēm, tunčiem, kā arī haizivīm. Planierzivis, kas bieži planē gaisā virs jūras virsmas, medī delfīni. Epipelagiālē sastopami arī citi zīdītāji, piemēram, vaļi. Plātņvaļi no ūdens izfiltrē sīkos vēžus, bet kašaloti medī galvenokārt kalmārus.

Dziļāk mezopelagiālē mīt plēsoņas, kas pielāgojušies dzīvei tumsā. Tāpēc daudzi no šiem dzīvniekiem ir caurspīdīgi, sarkanā krāsā vai luminiscējoši. Te sastopami luminiscējoši vēži, kalmāri un zivis, piemēram, spožanšovi un cirvjzivis.

Batipelagiālē valda absolūta tumsa, kurā iemirdzas vienīgi nedaudzu luminiscējošu dzīvnieku atspīdumi. Šajā zonā sastopamās zivis ir plēsoņas un maitēdājas. Īpatnēja izskata zivis ar elastīgu muti un vēderu un mazām cauruļveida acīm meklē reti sastopamo laupījumu.

Bentāle

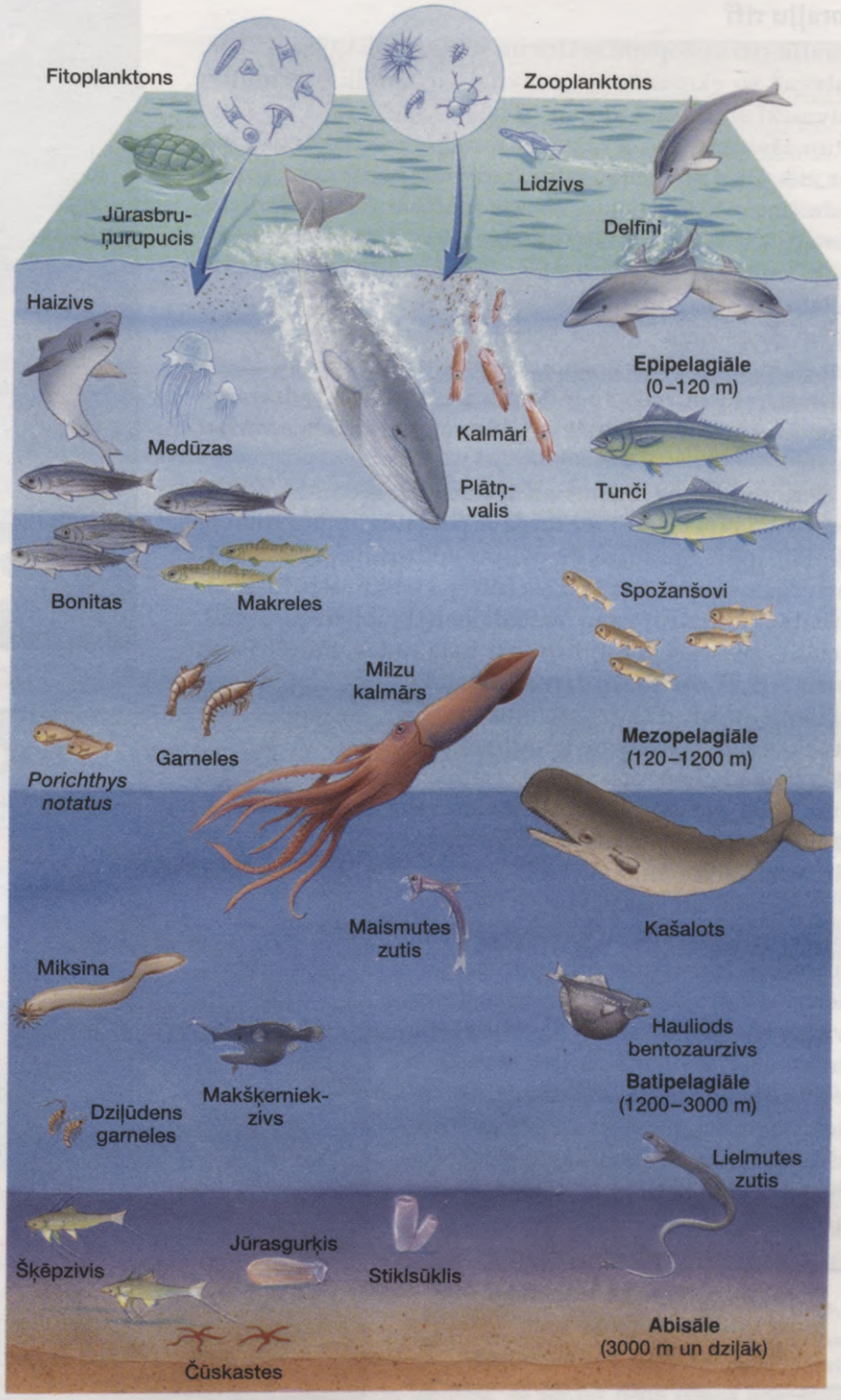
Bentāle (gr. *benthos* – jūras dzīles) ietver visus dzīvos organismus, kas mīt jūras dibenā – uz kontinentālā šelfa, kontinentālās nogāzes vai abisālā līdzenuma (9.26. att.). Šie organismi pieder attiecīgi pie sublitorāles, batiāles un abisāles.

Sublitorālē aug jūraszāles. Tomēr gandrīz visi bentiskie organismi ir atkarīgi no grimstošā planktona un detrīta, kas veidojas gaismas apspīdētajos augšējos slāņos. Lielākā sugu daudzveidība ir sublitorālē un batiālē, bet vismazākā – abisālē. Pirmajās divās zonās jūraszvaigznes, krabji un čūskastes medī gliemenes, tārpus un jūrasežus.

Abisāles iemītnieki mīt pie jūras dibena uz tumšā abisālā līdzenuma (9.26. att.). Senāk uzskatīja, ka ir tikai nedaudzi dzīvnieki, kas spēj izdzīvot abisālē, kur ir liels ūdens spiediens un aukstums. Tomēr te ir diezgan daudz bezmugurkaulnieku, kuri pārtiek no atliekām, kas nogrimst no mezopelagiāles. Pie jūras dibena piestiprinājušās jūraslilijas, apkārt rāpo jūrasgurķi un jūraseži, bet pogonofori dzīvi pavada, ierakušies dūņās.

Abisālo līdzenumu vietumis pārtrauc ļoti augstu zemūdens kalnu grēdas. Te ir sadalījušās zemes garozas plātnes un radušos spraugu aizpildījusi magma, kas pacēlusies no zemes dzīlēm. Vietām sastopami karstie jeb **hidrotermālie avoti**, kur jūras ūdens iesūcas klinšu spraugās un uzkarst līdz 350 °C. Šādā temperatūrā sulfāti reaģē ar ūdeni un rodas sērūdeņradis (H_2S). Augstā ūdens temperatūra un sērūdeņradis veicina īpatnēju biocenožu veidošanos. Avotu tuvumā mīt milzīgi cauruļtārpi jeb pogonofori un gliemenes. Šajos organismos dzīvo hemotrofās baktērijas, kas enerģiju iegūst, oksidējot sērūdeņradi. Tāpēc lielā dziļumā var izveidoties lielas, plaukstošas biocenozes, jo atšķirībā no fotosintēzes hemosintēzes procesam nav nepieciešama saules enerģija.

Neritiskajā zonā un dziļūdens zonas epipelagiālē iespiežas saules gaisma. Te mīt mums labāk zināmi organismi. Bentāles iemītnieki ir atkarīgi no atliekām, kas nogrimst no augšējiem ūdens slāņiem.



9.26. attēls. Pelagiāle
Attēlā parādīti epipelagiāles, mezopelagiāles un batipelagiāles iemītnieki. Abisāle ir daļa no bentāles.

Koraļļu rifi

Koraļļu rifi sastopami seklos un siltos tropiskajos ūdeņos. Galvenā šo ekosistēmu sastāvdaļa ir koraļļi – primitīvi dzīvnieki ar kaļķa (kalcija karbonāta) skeletu, kā arī kaļķi saturošās sārtaļģes un zaļaļģes. Koraļļi veido kolonijas, kas var attīstīties no viena īpatņa, tam pumpurojoties. Koraļļi nodrošina mājvietu mikroskopiskām aļģēm – zooksantellām. Koraļļi, kas barojas naktī, un aļģes, kas dienā fotosintezē, veido mutuālistiskas attiecības, jo apmainās ar dažādām vielām. Ciešās mutuālistiskās attiecības starp koraļļiem un aļģēm, iespējams, nosaka koraļļu izplatības robežas – tie sastopami tikai seklos ūdeņos, kur aļģēm ir pietiekami daudz gaismas fotosintēzei. Te ir daudz arī koraļļiem radniecīgu dzīvnieku – aktīniju, kuru taustekļu vainags atgādina krāšņu ziedu.

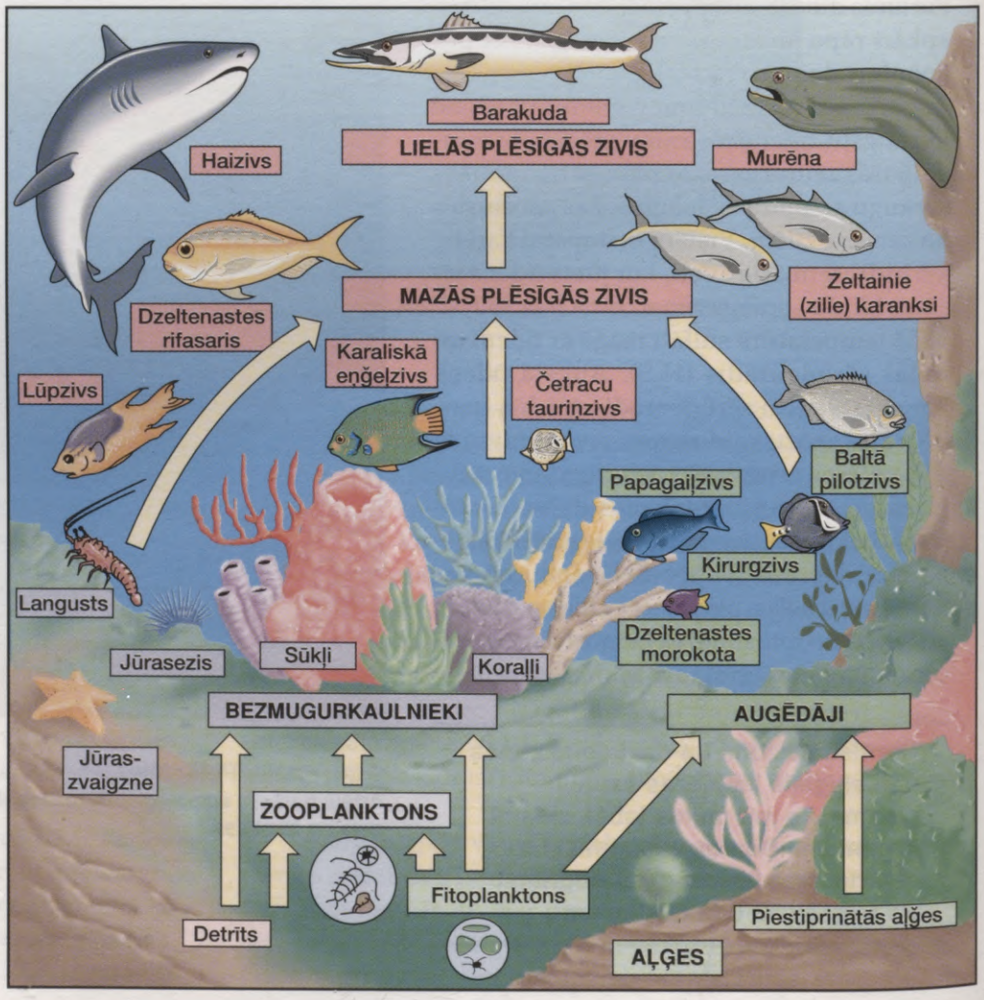
Koraļļu rifos organismu ārkārtīgi lielā daudzveidība iespējama tāpēc, ka šī teritorija ir pakļauta traucējumiem (sk. 140. lpp.). Spraugas un plaisas nodrošina paslēptuves gan organismiem, kas barojas filtrējot (sūkļi, ascīdijas, sēdoši daudzsartārpi), gan maitēdājiem (krabji un jūraseži). Lielākās plēsējas koraļļu rifos ir barakudas, murēnas un haizivis (9.27. att. B). Te dzīvo arī daudz ļoti krāšņu un daudzkrāsainu zivju. Papagaiļzivis pārtiek no koraļļiem, bet citas zivis ēd planktonu vai detrītu. Sīkās zivis kļūst par laupījumu lielākām zivīm, piemēram, rifasariem, kurus savukārt pārtikā izmanto cilvēks.

Koraļļu rifi visā pasaulē ir pakļauti pārmērīgai nozvejai un piesārņojumam. Austrālijas Lielo Barjerrifu apdraud pārmērīgi savairojušās dzelkšņainās jūraszvaigznes, kas barojas ar koraļļiem. Šo jūraszvaigžņu dabiskais ienaidnieks ir lielais tritongliemezis. Pēc daudzu zinātnieku domām, jūraszvaigznes savairojušās tāpēc, ka cilvēki ir iznīcinājuši šos gliemežus to skaistās, spirāliski savītās čaulas dēļ.

Koraļļu rifi atrodas tropiskajās jūrās un ir bioloģiskā ziņā ārkārtīgi bagātas ekosistēmas.



A



B

9.27. attēls. Koraļļu rifi

A. Koraļļu rifi ir unikāla jūras ekosistēma. **B.** Daudzveidīgie organismi veido sarežģītu barošanās tīklu, kura vienkāršota shēma redzama attēlā.

Pārskats

Biosfēra ir veidojusies miljoniem gadu laikā, dzīvajiem organismiem atrodoties mijiedarbībā ar Zemes nedzīvo apvalku. Dzīvie organismi ir izmainījuši atmosfēras sastāvu un ietekmējuši Planētas klimatu. Viņu darbības rezultātā ir izveidojies arī pašreizējais upju, ezeru un okeānu ūdeņu ķīmiskais sastāvs. Augsne sauszemes ekosistēmās un nogulumi ūdens ekosistēmās lielā mērā ir dzīvo organismu izveidoti. Daudzas salas, kur dzīvo miljoniem cilvēku, ir izveidojušās no augu atliekām un dzīvnieku kaļķa skeletiem. Zemes biomu daudzveidība ir biocenožu un vides mijiedarbības rezultāts.

Miljoniem gadu biosfēra nepārtraukti ir mainījusies. Dinozauru laikmeta biomas ievērojami atšķirās no tām, ko sastopam mūsdienās. Dažas no šīm pārmaiņām izraisījuši astrofizikālie notikumi. Saules radiācijas daudzumu, kas sasniedz Zemes virsmu, ietekmē zemeslodes rotācijas ass stāvoklis attiecībā pret Sauli. Vidi izmainījuši arī ģeoloģiskie procesi. Kontinentu pārvietošanās ir pārmainījusi sauszemes un okeānu izvietojumu. Kalnu grēdas ir cēlušās uz augšu un pēc tam bijušas pakļautas pakāpeniskai erozijai. Šajos mainīgajos apstākļos ir pārveidojušies dzīvie organismi un biomu struktūra. Pēdējo dažu miljonu gadu laikā uz Zemes ir parādījies cilvēks un iemācījies izmantot biomas.

Daudzas sauszemes biomas cilvēks ir pārvērtis par lauksaimniecības zemēm, pilsētām, lielceļiem un citām struktūrām. Izmantojot resursus un radot piesārņojumu, cilvēks ir kļuvis par globāli nozīmīgu biosfēras pārveidotāju. Tomēr vēl joprojām cilvēks ir atkarīgs no biomu bioloģiskās daudzveidības un mijiedarbības ar citiem biosfēras organismiem. Šīs dažādās mijiedarbības ietekmē klimatu, vielu apriti un bioloģisko produktivitāti. Zemes bioloģiskā daudzveidība dod prieku miljoniem cilvēku, kas iztērē daudz naudas, lai apmeklētu koraļļu rifus, tuksnešus, tropiskos mežus un pat arktisko tundru. Diemžēl, kā uzzināsim nākamajā nodaļā, daudzas biomas, kādas tās ir pašreiz, mūsu pēcnācēji vairs neredzēs. Turklāt mēs esam izraisījuši globālas pārmaiņas, kas negatīvi ietekmēs jebkuras pasaules biomas bioloģisko daudzveidību.

Kopsavilkums

9.1. Biosfēra un klimats

Tā kā Zemei ir lodveida forma, kopējais saules gaismas daudzums dažādās vietās uz virsmas ir atšķirīgs. Tāpēc virzienā no ekvatora uz poliem temperatūra pakāpeniski pazeminās. Tā kā Zemes rotācijas ass attiecībā pret Sauli ir slīpa, Zemei griežoties ap Sauli, mainās gadalaiki.

Ekvatora tuvumā siltais gaiss paceļas uz augšu un zaudē mitrumu, bet pie 30° ziemeļu un dienvidu platuma tas laižas uz leju. Tā tas turpinās līdz pat polam. Gaisam nolaižoties, tas uzņem mitrumu no zemes. Tāpēc ap 30° platumu izveidojušies lielākie pasaules tuksneši. Zemes rotācijas dēļ abpus ekvatoram vēji pūš pretēji Zemes griešanās virzienam. Vēji dzen okeāna ūdeņus, tā izveidojot straumes, kas ekvatora tuvumā uzsāk riņķveida kustību. Ziemeļatlantijā siltumu atnes Golfa straume.

Mitruma sadalījums lielā mērā ir atkarīgs arī no reljefa. Paceļoties virs piekrastes kalnu grēdām, gaiss zaudē mitrumu, tāpēc aizvēja pusē ir sauss klimats. Okeāns ir daudz siltumietilpīgāks nekā sauszeme, tāpēc Dienvidāzijā veidojas musoni.

9.2. Pasaules biomas

Šajā grāmatā termins "bioma" tiek lietots, lai aprakstītu līdzīgu sauszemes un ūdens ekosistēmu kopumus. Biomu izvietojumu pasaulē nosaka klimats – temperatūra un nokrišņu daudzums. Temperatūras nozīmi uzskatāmi parāda tas, ka gan ziemeļu platuma grādos, gan augstu kalnos atrodas vienādas biomas. Biomas pakāpeniski nomaina cita citu, starp tām nav vērojama krasa robeža.

Augsnes tipi mainās atkarībā no biomas. Stepēs ir biezs, barības vielām bagāts A horizonts. Savukārt mežos biezāks ir B horizonts, kas satur izskalotās barības vielas.

9.3. Sauszemes biomas

Tundra atrodas vistālāk uz ziemeļiem, tajā aug galvenokārt īsas graudzāles un grīšļi, kā arī pundurveida koki. Auksto ziemu un īso vasaru dēļ tundrā valda mūžīgais sasalums – dziļākie augsnes slāņi ir sasaluši visu gadu.

Skujkoku mežos ir mazāk nokrišņu nekā cita tipa mežos. Platlapju mežos kokiem rudenī lapas nobirst, bet pavasarī atkal ataug. Visdaudzveidīgākā no sauszemes biomām ir mitrie tropiskie meži.

Krūmāji parasti veidojas gar piekrastēm, kur ir sausas vasaras un lietus līst galvenokārt ziemā. No visām ar zāli klātajām teritorijām lielākā zālēdāju daudzveidība ir savannās. ASV ir prērijas, kur augu un dzīvnieku daudzveidība ir daudz mazāka.

Tuksnešu raksturīgākā iezīme ir ūdens trūkums – te nolīst ne vairāk kā 25 cm lietus gadā. Daļa tuksnesī sastopamo augu, piemēram, kaktusi, ir sukulenti, bet citiem, piemēram, krūmiem, ir biezas lapas, kuras sausuma periodā nobirst.

9.4. Ūdens biomas

Ūdens biomas var iedalīt saldūdens (strauti, upes, ezeri) un jūras biomās. Lietusūdens no kalniem tek lejup, veidojot strautus un upes, kas ieplūst jūrā. Strauti, upes un mitrzemes ir atšķirīgas biocenozes.

Mērenās joslas dziļajos ezeros ūdens temperatūra un barības vielu un gāzu koncentrācija mainās atkarībā no dziļuma. Rudenī ūdens virsējais slānis atdziest un nogrimst. Pavasarī kūst ledus un atkal vēsais ūdens slānis iegrimst. Tā divreiz gadā ūdens ūdenstilpēs samaisās, izlīdzinot vielu koncentrāciju visos dziļumos. Ezeros izšķir vairākas ekoloģiskās zonas. Ezera gultni jeb bentāli iedala piekrastes joslā jeb litorālē, kur iesakņojas augi, un dziļākajā zonā – profundālē, kur uzturas gultnes iemītnieki, piemēram, vēži un gliemji. Virs bentāles atrodas pelagiāle, kur sastopams planktons un zivis.

Pie upes ietekas jūrā veidojas estuāri (sāļie dumbrāji, dūņainie piekrastes klajumi un mangrovju dumbrāji). Estuāros vairojas ļoti daudzi jūras dzīvnieki. Jūras biocenozes var iedalīt piekrastes un okeānu biocenozēs. Visproduktīvākās ir piekrastes biocenozes, it īpaši estuāri.

Okeānu var iedalīt pelagiālē un bentālē. Pelagiālei (atklātajiem ūdeņiem) ir trīs zonas. Epipelagiālē iespiežas pietiekami daudz saules gaismas, tāpēc te ir visvairāk dzīvo organismu. Mezopelagiāles organismi pielāgojušies dzīvei tumsā. Pie bentāles (okeāna dibena) organismiem pieskaitāmi tie, kas dzīvo uz kontinentālā šelfa (sublitorālē), uz kontinentālās nogāzes (batiālē) vai uz abisālā līdzenuma (abisālē). Visproduktīvākās ūdens biocenozes ir koraļļu rifi, kas atrodas seklos, tropiskos ūdeņos. Saskaņā ar vidējo traucējumu teoriju te ir ļoti augsta bioloģiskā daudzveidība. Tāpēc koraļļu rifos veidojas ļoti sarežģīts barošanās tīkls.

Pārbaudiet sevi

1. Pastāstiet, kā klimatu ietekmē Zemes lodveida forma un ceļš ap Sauli! 162.–163. lpp.
2. Aprakstiet, kā notiek gaisa masu cirkulācija ap zemeslodi! Pastāstiet, kāpēc tuksneši veidojas pie 30° ziemeļu un dienvidu platuma un kāpēc Kalifornijā, ASV rietumu piekrastē, ir liels nokrišņu daudzums! 162.–163. lpp.
3. Raksturojiet okeāna straumes un pastāstiet, kā Golfa straume ietekmē Ziemeļeiropas klimatu! 164. lpp.
4. Kā piekrastes kalnu grēdas ietekmē klimatu? 165. lpp.
5. Nosauciet sauszemes biomas, kuras var sastapt, kāpjot kalnā! 166.–167. lpp.
6. Kas ir augsnes horizonti, un kā tie atšķiras mežā un stepē? 168. lpp.
7. Raksturojiet tundras, skujkoku meža, mērenās joslas platlapju meža, tropiskā meža, krūmāja, stepes, savannas un tuksnešu atrašanās vietu, klimatu un raksturīgākos dzīvos organismus! 169.–176. lpp.
8. Raksturojiet mērenās joslas ezeru ūdens vertikālo sajaukšanos un ezeru ekoloģiskās zonas! Pastāstiet, kādi dzīvie organismi mīt katrā no šīm zonām! 178.–179. lpp.
9. Raksturojiet piekrastes biocenozes un novērtējiet estuāru nozīmi okeāna produktivitātē! 180.–181. lpp.
10. Nosauciet okeāna zonējumu un raksturojiet dzīvos organismus, kas sastopami katrā zonā! 182.–183. lpp.
11. Aprakstiet koraļļu rifus un tajos sastopamos dzīvos organismus! 184. lpp.

Tests

Izvēlieties vienu pareizo atbildi uz katru jautājumu!

1. Kas vislabāk izskaidro gadalaiku maiņu?
   A. Temperatūras un mitruma sadalījums biomās
   B. Zemeslodes rotācijas ass stāvoklis attiecībā pret Sauli
   C. Zemeslodes rotācija ap savu asi
   D. Fakts, ka uz ekvatora ir silts, bet polos – auksts
2. Kas nosaka relatīvi maigo Lielbritānijas klimatu?
   A. Rietumu vēji
   B. Zemeslodes rotācija ap savu asi
   C. Tas, ka Lielbritānija ir kalnaina zeme
   D. Okeāna straumes
3. Kas nosaka tuksnešu atrašanos ap 30° platumu?
   A. Siltais gaiss paceļas un zaudē mitrumu, bet vēsais gaiss nolaižas, kļūst siltāks un sausāks
   B. Okeānu straumes, kas, plūstot no ekvatora uz poliem, atdod siltumu
   C. Vēsās okeāna brīzes, kas atdzesē piekrasti
   D. Visas atbildes ir pareizas
4. Kurš apgalvojums ir nepareizs?
   A. Tundra – mūžīgais sasalums
   B. Savanna – akācijas
   C. Prērija – epifīti
   D. Skujkoku meži – mūžzaļi koki
5. Kura pazīme neraksturo tundru?
   A. Zema veģetācija
   B. Galējo ziemeļu bioma
   C. Īsa veģetācija (augšanas) sezona
   D. Liela sugu daudzveidība
6. Kurā mežā ir daudzstāvu pamežs?
   A. Mitrajā tropiskajā mežā
   B. Skujkoku mežā
   C. Tundrā
   D. Platlapju mežā
7. Kura no pazīmēm neraksturo mitro tropisko mežu?
   A. Barības vielām bagāta augsne
   B. Daudz augu un dzīvnieku
   C. Lapotne sadalās daudzos stāvos
   D. Mūžzaļi platlapji

8. Kurus dzīvniekus stepē **nav** iespējams sastapt?
   A. Zālēdājus
   B. Aktīvus plēsējus
   C. Kokos dzīvojošus primātus
   D. Lidojošus kukaiņus
9. Kurā no ezera ekoloģiskajām zonām, visticamāk, būtu sastopams fitoplanktons?
   A. Pelagiālē
   B. Profundālē
   C. Bentālē
   D. Visas atbildes ir pareizas
10. Kāpēc estuāri darbojas kā "barības vielu slazds"?
    A. Barības vielas atnes gan upe, gan paisums
    B. Ir pietiekami sekls, lai noritētu fotosintēze
    C. Saņem daudz nokrišņu
    D. Ir augsts ūdens līmenis
11. Kurā no okeāna zonām ir lielākā barības vielu koncentrācija?
    A. Epipelagiālē un bentālē
    B. Tikai epipelagiālē
    C. Tikai bentālē
    D. Neritiskajā zonā
12. Lietojiet plusa zīmes (maksimums 4), lai raksturotu temperatūras un mitruma pakāpi šādās biomās!

	Temperatūra	Mitrums
A. Mitrais tropiskais mežs		
B. Savanna		
C. Taiga		
D. Tundra		

Papildjautājumi

1. *Biocenožu produktivitāte ir atšķirīga.*
   Izmantojiet 9.25. attēlu, lai paskaidrotu, kāpēc okeāna neritiskā zona ir produktīvāka, bet piesārņotāka nekā dziļūdens zona!
2. *Biocenožu produktivitāte ir atšķirīga.*
   Kāpēc okeāna produktivitāte ir tik līdzīga tuksnesim?
3. *Biocenožu kopējā un tīrā produktivitāte ir atšķirīga.*
   Paskaidrojiet, kāpēc virzienā no kalna pakājes līdz virsotnei var novērot platlapju mežu, skujkoku mežu un tundru!

Multimediju izmantošana

Tēmu par populāciju ekoloģiju palīdzēs apgūt šādi multimediji.

Interneta izmantošana

Šo nodaļu jums palīdzēs apgūt Maderas mājas lapa

http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader
(izvēlieties bioloģiju)

Jēdzienu izpratne

Alpīnā tundra 167. lpp.
Arktiskā tundra 169. lpp.
Augsne 168. lpp.
Bentāle 183. lpp.
Bioma 167. lpp.
Biosfēra 162. lpp.
Eitrofikācija 178. lpp.
El Niņjo 164. lpp.
Epifīti 172. lpp.
Estuārs 180. lpp.
Ezers 178. lpp.
Fitoplanktons 179. lpp.
Garzāles prērija 174. lpp.
Hidrosfēra 164. lpp.
Hidrotermālie avoti 183. lpp.
Īszāles prērija 174. lpp.
Kalnu skujkoku mežs 167. lpp.
Klimats 162. lpp.
Koraļļu rifi 184. lpp.
Krūmāji 174. lpp.
Mitrie tropiskie meži 172. lpp.
Musoni 165. lpp.
Mūžīgais sasalums 169. lpp.
Pelagiāle 182. lpp.
Planktons 179. lpp.
Platlapju meži 171. lpp.
Plūdmaiņas zona 181. lpp.
Savanna 174. lpp.
Skujkoku meži 170. lpp.
Strauts 177. lpp.
Taiga 170. lpp.
Tuksnesis 176. lpp.
Ūdens vertikālā sajaukšanās pavasarī 179. lpp.
Ūdens vertikālā sajaukšanās rudenī 178. lpp.
Zooplanktons 179. lpp.

Atrodiet definīcijām atbilstošos jēdzienus!

A. _____ – upes ieteka, kur saldūdens sajaucas ar sālsūdeni.

B. _____ – sīki saldūdens un jūras organismi, kas brīvi peld ūdens augšējos slāņos.

C. _____ – lielas biocenožu kopas, kurām raksturīgi noteikti klimatiskie apstākļi un augi.

D. _____ – okeāna dibens, kur mīt citādi organismi nekā pelagiālē.

E. _____ – ūdens slānis virs jūras dibena.

F. _____ – sauszemes bioma ar skujkoku mežiem, kas plašā joslā stiepjas Ziemeļamerikas un Eirāzijas ziemeļos.

G. _____ – augi, kas barības vielas iegūst no gaisa, jo tie atrodas virs zemes uz citiem augiem.

H. _____ – sauszemes bioma Āfrikā, kur ir tikai atsevišķi koki un kurai raksturīga izteikta sausuma sezona.

I. _____ – atmosfēras apakšējais slānis, litosfēras virskārta un hidrosfēra, kur mīt dzīvie organismi.

J. _____ – ezera ūdens sajaukšanās process, kas notiek pavasaros, kad ar skābekli bagātie virspuses ūdeņi sajaucas ar dziļāko slāņu ūdeņiem, kuros ir daudz barības vielu.

Cilvēka ietekme uz vidi

10. NODAĻA

Nodaļas saturs

10.1. Cilvēku populācija un industrializācija

- Cilvēku populācijas pieauguma ātrums palielinās. Turpinās industrializācija, kas ietekmē visas pasaules vidi. 190. lpp.

10.2. Globālās klimata pārmaiņas

- Noteiktu gāzu, piemēram, oglekļa dioksīda, koncentrācijas palielināšanās atmosfērā izraisa globālo sasilšanu. 192. lpp.

10.3. Globālās ķīmiskās pārmaiņas

- Sēru un slāpekli saturošie nokrišņi negatīvi ietekmē virszemes ūdeņu kvalitāti, mežu stāvokli un cilvēku veselību. 194. lpp.
- Gaisa piesārņojums izraisa fotoķīmisko smogu; tajā ir ozons, kas negatīvi ietekmē augus un kaitē cilvēka veselībai. 195. lpp.

10.4. Ozona samazināšanās stratosfērā

- Ozona slāņa sarukšana atmosfērā izraisa ultravioletā starojuma palielināšanos uz Zemes. 196. lpp.

10.5. Virszemes ūdeņi, pazemes ūdeņi un okeāni

- Saldūdeni no virszemes un pazemes ūdenskrātuvēm izmanto dažādi. Sauszemes piesārņojums nonāk ūdeņos un tālāk – okeānā, kur uzkrājas daudzas kaitīgas vielas. 197. lpp.

10.6. Augsnes erozija, tuksnešu veidošanās un mežu platību samazināšanās

- Samazinoties mežu platībām, ievērojami samazinās bioloģiskā daudzveidība. 200. lpp.

10.7. Cilvēka ietekme uz bioloģisko daudzveidību

- Dabas aizsardzības bioloģija ir zinātnes nozare, kas pēta bioloģisko daudzveidību un ekosistēmu aprūpi, nodrošinot visu sugu, arī cilvēka *Homo sapiens*, aizsardzību. 203. lpp.



Autobusu izplūdes gāzes Josemitu nacionālajā parkā

Starp atmosfēru, okeānu un sauszemi nepārtraukti notiek vielu apmaiņa. Šīs apmaiņas ātrums ilgu laiku bija stabils. Mūsdienās šo vielu apriti ir ietekmējusi cilvēka darbība. Rezultātā ir notikušas globālas vides pārmaiņas. Var teikt, ka cilvēki veic eksperimentu, kura rezultātus nav iespējams paredzēt.

Cilvēks ir atkarīgs no biosfēras stāvokļa, jo pasaules dzīvo organismu kopums un vide nodrošina cilvēkam tīru ūdeni un gaisu, barību, medikamentus un daudzas citas nepieciešamas lietas. Tāpēc ir jānoskaidro, kā cilvēks ietekmē biosfēru, un jāmēģina pēc iespējas samazināt degradējošo ietekmi uz dzīvajiem organismiem. Strauji palielinās izmirstošo sugu skaits. Tas veicinājis jaunas bioloģijas nozares – dabas aizsardzības bioloģijas – veidošanos. Šī nozare pēta pašreizējās bioloģiskās daudzveidības krīzes cēloņus.

10.1. Cilvēku populācija un industrializācija

Sākotnēji vairākus miljonus gadu cilvēku uz Zemes bija maz un viņu ietekme uz vidi bija neliela. Kopš industriālās revolūcijas sākuma 18. gadsimtā sākās cilvēku populācijas eksponenciāls pieaugums. Modernās lauksaimniecības metodes un sasniegumi medicīnā veicinājuši populācijas pieauguma ātruma palielināšanos, un mūsdienās cilvēku populācija ik gadu palielinās par 90 miljoniem. Pēc ANO datiem, 21. gadsimta beigās cilvēku populācijas lielums sasniegs desmit miljardus (10.1. att. A).

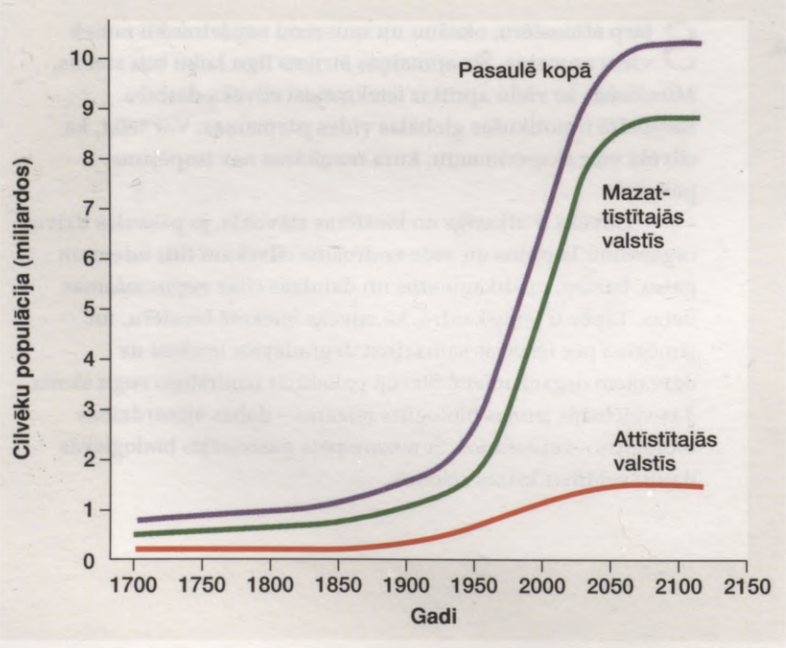
Visas pasaules valstis var iedalīt divās grupās – attīstītās valstis un mazattīstītās valstis. Industrializācija sākās un visvairāk gājusi uz priekšu attīstītajās valstīs – ASV, Kanādā, Japānā, Krievijā, Austrālijā, Jaunzēlandē un visās Eiropas valstīs. Industrializācija nosaka augstu resursu patēriņu. Lai uzturētu industrializētajās valstīs ierasto dzīves līmeni, nepieciešams ļoti daudz enerģijas un derīgo izrakteņu. Attīstītajās valstīs dzīvo 1,2 miljardi cilvēku, kas ir tikai 22 % no visas pasaules iedzīvotājiem. Tomēr tās patērē apmēram 80 % visas pasaules enerģijas un derīgo izrakteņu resursu. Patērējot enerģiju, no dažādām izejvielām tiek izgatavotas lietas, kas nepieciešamas mūsdienīgam dzīvesveidam. Izgatavošanas rezultātā rodas siltums un atkritumvielas, no kurām dažas, piemēram, oglekļa dioksīds, būtiski ietekmē biosfēras bioķīmiskos ciklus. Vēl nav zināms, kā tas ietekmēs biosfēras procesus, bet domājams, ka pārmaiņas noteikti būs.

21. gadsimtā visstraujāko cilvēka populācijas pieaugumu nodrošinās mazattīstītās valstis (10.1. att. A). Šīs valstis, kas atrodas galvenokārt Latīņamerikā, Āfrikā un Āzijā, nav vēl pilnībā industrializētas. Mazattīstītajās valstīs dzīvo 78 % visas pasaules iedzīvotāju, bet tās patērē tikai 20 % no enerģijas un derīgo izrakteņu resursiem. Lielākajā daļā mazattīstīto valstu cilvēku dzīves līmenis krietni vien atpaliek no attīstīto valstu iedzīvotāju dzīves līmeņa. Dzīves līmenim uzlabojoties, samazinās iedzīvotāju skaits, bet palielinās vides degradācija. Kas notiktu, ja visās mazattīstītajās valstīs dzīves līmenis sasniegtu attīstīto valstu dzīves līmeni? Tad spiediens uz vides ekoloģisko kapacitāti izraisītu vides degradāciju un, visdrīzāk, iestātos krīze.

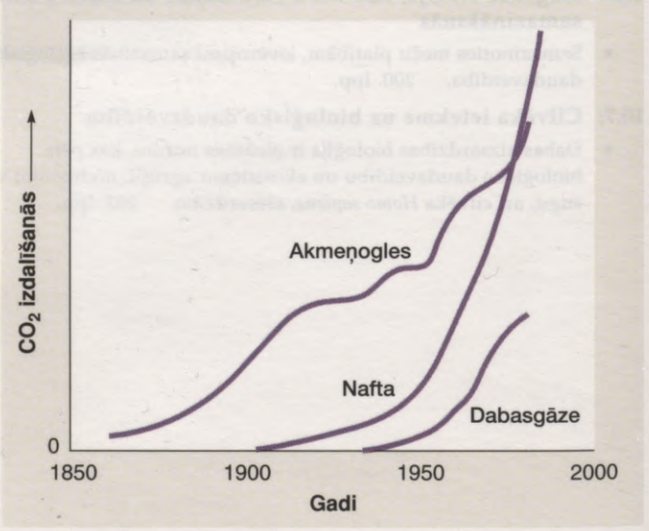
Var uzskatīt, ka attīstīto un mazattīstīto valstu ietekme uz vidi ir aptuveni vienāda, ja tās novērtēšanai izmantojam šādu formulu:

Cilvēku skaits x Viena cilvēka izmantotās resursu vienības x Vides degradācija un piesārņojums uz vienu izmantoto resursu vienību = Ietekme uz vidi

Tomēr, ja attīstītās valstis palielinās resursu patēriņu, pieaugs arī vides degradācija un cilvēku populācijas ietekme uz vidi.



A



B

10.1. attēls. Cilvēku populācija un industrializācija

A. Cilvēka populācijas lieluma izmaiņas no 1700. gada līdz 2120. gadam (prognoze) norāda, ka cilvēka populācijas pieaugumā arvien lielāks īpatsvars ir mazattīstītajām valstīm. **B.** Akmeņogļu, naftas un dabasgāzes patēriņš industrializācijas gaitā. Mūsdienu sabiedrība balstās uz fosilā kurināmā izmantošanu.

Industrializācijas sekas

Industrializācijas virzītājspēks ir enerģijas patēriņš. Joprojām gan mājām, gan rūpnīcām enerģiju nodrošina galvenokārt akmeņogles, nafta un dabasgāze (10.1. att. B). Tas ir **fosilais kurināmais**, kas veidojies, daļēji sadaloties un sablīvējoties pirms miljoniem gadu dzīvojušu augu un dzīvnieku atliekām. No naftas izgatavo benzīnu un daudzus citus izstrādājumus, piemēram, plastmasu, sintētiskās šķiedras un pat medikamentus.

Piesārņojumu var definēt kā jebkuras vides pārmaiņas, kas nelabvēlīgi ietekmē dzīvo organismu veselību. Fosilā kurināmā sadegšanas procesā veidojas oglekļa oksīdi, ogļūdeņraži, slāpekļa oksīdi, sēra oksīdi un citas gaisu piesārņojošas vielas (uzskaitītas 10.1. tabulā). Daži zinātnieki ir aptuveni aprēķinājuši, ka 2025. gadā pasaulē būs četras reizes vairāk automašīnu nekā pašreiz (10.2. att.). Atmosfēras ķīmisko sastāvu ietekmē arī dažādas rūpniecībā daudz lietotas halogēnus saturošas vielas, piemēram, hlorfluorogļūdeņraži, un plaši izmantotais slāpekļa mēslojums.

Ir enerģijas avoti, kas izraisa relatīvi mazu piesārņojumu. Uz māju jumtiem iespējams novietot saules baterijas, kas saules enerģiju tieši pārvērš elektroenerģijā, tā atmosfērā netiek izdalīts papildu siltums. Lai ražotu elektroenerģiju, hidroelektrostacijās izmanto krītoša ūdens spēku. Ģeotermālā enerģija tiek iegūta no sakarsētās magmas zem Zemes garozas. Ūdens tiek pārvērsts tvaikā un var tikt izmantots, lai apsildītu ēkas vai ražotu elektroenerģiju. Arī vējš spēj griezt dažāda veida propellerus, kas savukārt darbina elektroģeneratorus.

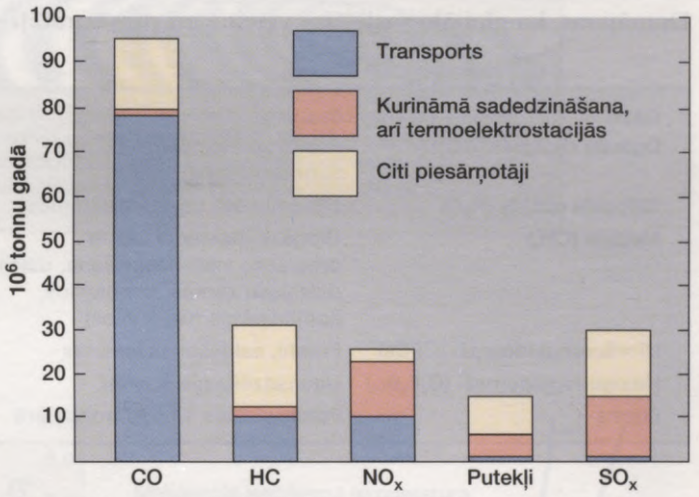
Fosilais kurināmais ir **neatjaunojamie enerģijas resursi**, kuru daudzums ir ierobežots. Cilvēks izlieto zināmās akmeņogļu, naftas un dabasgāzes atradnes un nepārtraukti meklē jaunas. Tomēr arī tās reiz beigsies. Saules enerģiju un citus no tās atkarīgos resursus sauc par **atjaunojamiem enerģijas resursiem**, jo tie nepārtraukti papildinās.

Cilvēku populācijas palielināšanās un industrializācijas intensificēšanās ne tikai draud pazemināt cilvēka dzīves līmeni, bet arī apdraud bioloģisko daudzveidību. 20. gadsimta 90. gados vides krīze veicināja jaunas zinātnes nozares – dabas aizsardzības bioloģijas rašanos. Dabas aizsardzības speciālisti cenšas novērtēt bioloģiskās daudzveidības līmeni, kā arī atjaunot un saglabāt ekosistēmas, tā nodrošinot arī cilvēces līdzsvarotu attīstību. Pētot cilvēka ietekmi uz vidi, rodas arī ētiska rakstura jautājumi (sk. 5. nodaļu), kas nav šīs zinātnes nozares izpētes objekts. Tomēr mums kā sabiedrībai ir jāapzinās mūsu darbības iespējamā ietekme uz vidi un jāizlemj, kāds ceļš nākotnē būtu ejams.

10.1. tabula

Gaisa piesārņotāji

Slāpekļa oksīdi	Slāpekļa monoksīds (NO), slāpekļa dioksīds (NO_2) un slāpekļa oksīds (N_2O)
Sēra oksīdi	Sēra dioksīds (SO_2) un sēra trioksīds (SO_3)
Oglekļa oksīdi	Oglekļa monoksīds (CO) un oglekļa dioksīds (CO_2)
Fotoķīmiskie oksidanti	Ozons (O_3) un peroksilnitrāti
Ogļūdeņraži	Metāns (CH_4) un benzols (C_6H_6)
Organiskie halogenīdi	Hlorfluorogļūdeņraži (CFCs) un halogēnogļūdeņraži ($C_xF_xBr_x$)
Aerosoli	Atmosfērā suspendētas daļiņas (putekļi, dūmi, azbesta šķiedras, metāli utt.) un šķidruma pilieni (sērskābe, eļļas, dioksīni, pesticīdi)



10.2. attēls. Gaisa piesārņojuma galvenās sastāvdaļas
Atmosfēras piesārņojumā ir oglekļa monoksīds (CO), ogļūdeņraži (C_xH_x), slāpekļa oksīdi (NO_x), putekļi un sēra oksīdi (SO_x). Tā galvenais izraisītājs ir transports.

Paredzamais cilvēku populācijas un tās patērēto resursu pieaugums var degradēt biosfēru un strauji samazināt bioloģisko daudzveidību.

10.2. Globālās klimata pārmaiņas

Laika gaitā klimats uz Zemes ir nepārtraukti mainījies. Ir zināms, ka pagātnē bijuši vairāki leduslaikmeti. Pašreiz dzīvojam mērenā klimatā, kādu Zeme nav redzējusi apmēram 130 000 gadu. Tomēr daudzi uzskata, ka klimats kļūst arvien siltāks, turklāt straujāk nekā jebkad agrāk. Aplūkosim cēloņus, kāpēc notiek globālā sasilšana.

Industrializācija ir būtiski ietekmējusi globālo oglekļa ciklu. 1850. gadā atmosfērā bija 0,028 % oglekļa dioksīda, bet mūsdienās – 0,035 %. Šīs pārmaiņas notikušas galvenokārt tāpēc, ka tika dedzināts fosilais kurināmais un meži, lai to vietā veidotu līdumus. Ja aptuveni pusi no atmosfērā izsviestā oglekļa dioksīda neakumulētu okeāns, pārmaiņas būtu vēl lielākas. Cilvēka darbības rezultātā atmosfērā nokļūst arī citas gāzes. Aptuveni par 1 % gadā pieaug metāna daudzums, kas izplūst no naftas un dabasgāzes urbumiem, rīsa laukiem un dažādiem dzīvajiem organismiem, arī govīm. Domājams, ka globālo sasilšanu veicina arī **piesārņotāji**.

Gāze	Avots
Oglekļa dioksīds (CO_2)	Fosilā kurināmā un koksnes sadedzināšana
Slāpekļa oksīds (N_2O)	Minerālmēsli un dzīvnieku mēsli
Metāns (CH_4)	Biogāze (baktēriju veiktā organisko vielu sašķelšana, daļēji dzīvnieku zarnās, nogulumos, applūdinātos rīsa laukos)
Hlorfluorogļūdeņraži (CFCs)	Freoni, saldēšanas iekārtas
Halogēnogļūdeņraži ($C_xF_xBr_x$)	Ugunsdzēšamie aparāti
Ozons	Fotoķīmiskais smogs troposfērā

Šīs gāzes veicina tā saukto **siltumnīcas efektu**, jo, līdzīgi siltumnīcas stikliem, tās ļauj ieplūst saules stariem, bet aizkavē infrasarkano siltuma staru aizplūšanu atpakaļ atmosfērā. 10.3. attēlā A redzams saules starojuma nestās enerģijas līdzsvars uz Zemes. Šī diagramma rāda, ka arī ūdens tvaiki sekmē siltumnīcas efektu – mākoņi atstaro siltumu uz Zemi. Ja siltumnīcas efekta dēļ iztvaiko vairāk ūdens, veidojas vairāk mākoņu – un vēl krasāk saasinās globālās sasilšanas problēma.

Ūdens tvaikiem, oglekļa dioksīdam un metānam atmosfērā ir bijusi milzīga loma Zemes attīstībā, jo šo gāzu klātbūtne nodrošinājusi siltumu, kas nepieciešams dzīvo organismu attīstībai. Analizējot arktiskajos ledājos ieslēgtās gāzes, ir konstatēts, ka arī senāk Zemes temperatūra ir mainījusies atkarībā no oglekļa dioksīda un metāna koncentrācijas atmosfērā (10.3. att. B). Dažādas gāzes absorbē atšķirīga viļņu garuma infrasarkano starojumu. Tas nozīmē, ka viena citas gāzes molekula dod lielāku siltumnīcas efektu nekā viena oglekļa dioksīda molekula. Piemēram, metāns šajā ziņā ir 25 reizes, bet N_2O – 200 reizes efektīvāks par oglekļa dioksīdu.

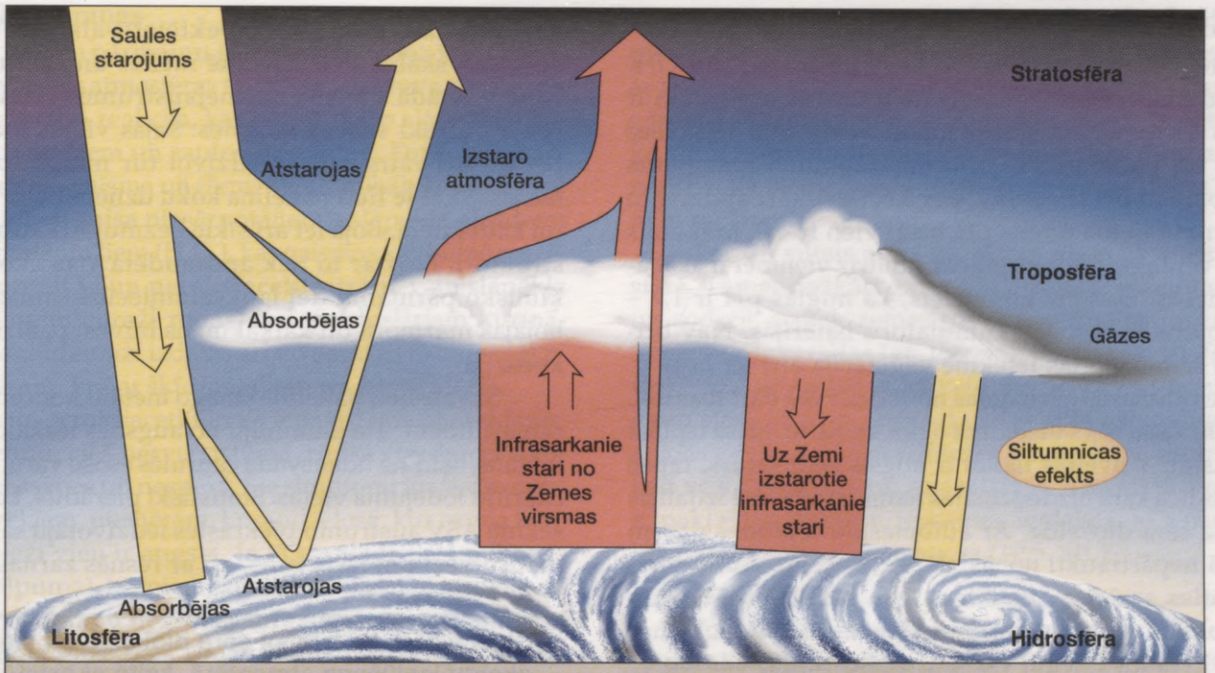
Mūsdienās visā pasaulē vāktie dati liecina, ka dažādu gāzu koncentrācija gaisā pastāvīgi palielinās. Šie dati tika izmantoti, lai veidotu datormodeļus. Tie paredz, ka Zeme var sasilt līdz tādai temperatūrai, ko dzīvie organismi vēl nav pieredzējuši. Kopš industriālās revolūcijas sākuma klimats ir kļuvis siltāks par 0,6 °C. Datormodeļi nespēj ņemt vērā visus iespējamos faktorus, tomēr, pastāvot pašreizējai dažādu gāzu izplūdes intensitātei atmosfērā, 2060. gadā temperatūra paaugstināsies par 1,5–4,5 °C (10.3. att. C).

Prognozētie rezultāti

Globālās sasilšanas izraisītās klimata pārmaiņas mēģina paredzēt, izmantojot datormodeļus. Ir zināms, ka, okeāniem sasilstot, straujākā temperatūras paaugstināšanās būs vērojama polārajos reģionos. Kūstot ledājiem, celsies arī jūras līmenis. Tas notiks ne tikai ledus kušanas dēļ, bet arī tādēļ, ka siltumā ūdens izplešas. Pastiprināsies ūdens iztvaikošana, un, visticamāk, piekrastēs palielināsies nokrišņu daudzums, bet iekšzemē kļūs sausāks. Sausuma dēļ samazināsies lauksaimniecībā izmantojamo zemju platības, kā arī nokaltīs meži.

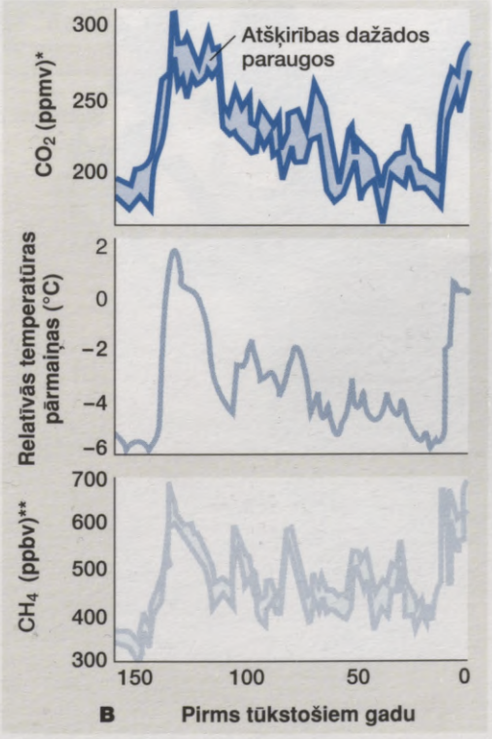
Meži sāks augt Arktikā, taču tie nespēs kompensēt mežu iznīkšanu mērenajā joslā. Applūdīs daudzas piekrastēs esošās lauksaimniecības zemes, piemēram, upju deltas Bangladešā, Indijā un Ķīnā. Tiks iztērēti milzīgi līdzekļi, lai no plūdiem paglābtu piekrastes pilsētas, piemēram, Ņujorku, Bostonu, Galvestonu un Maiami ASV.

Oglekļa dioksīds, metāns un daudzas citas gāzes, atstarojot atpakaļ uz Zemi infrasarkano starojumu, izraisa siltumnīcas efektu. Palielinoties šo gāzu koncentrācijai atmosfērā, noris globālā sasilšana, kas radīs lielas pārmaiņas hidrosfērā un litosfērā.

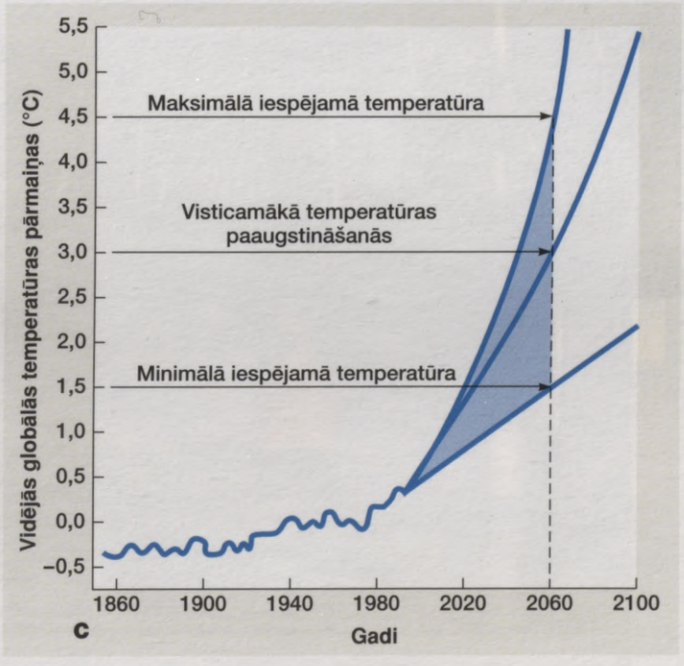


Saules starojums, kas izkļūst cauri atmosfērai, sasilda Zemes virsmu.	Mākoņi, kas satur ūdens tvaikus, absorbē no Zemes virsmas nākošos infrasarkanos starus un sasilda Zemes virsmu, atstarojot tos atpakaļ uz Zemi.	Dažādas gāzes, piemēram, oglekļa dioksīds un metāns, absorbē un atstaro atpakaļ uz Zemi infrasarkanos starus. Palielinoties šo gāzu koncentrācijai atmosfērā, palielināsies arī Zemes virsmas temperatūra.

A



B



C

* Daļiņas uz miljonu pēc tilpumu
** Daļiņas uz miljardu pēc tilpuma

10.3. attēls. Globālās klimata pārmaiņas
A. Zemes radiācijas un enerģijas plūsmas norāda, ka dažādas gāzes atmosfērā pastiprina virsmas sasilšanu. **B.** Oglekļa dioksīda un metāna koncentrācija atmosfērā un Zemes temperatūras pārmaiņas laika gaitā; noskaidrotas, pētot Antarktīdas ledājus. **C.** Sagaidāms, ka vidējā Zemes temperatūra paaugstināsies. Tā kā siltuma paaugstināšanās gaitu precīzi prognozēt nav iespējams, te dota gan minimālā, gan maksimālā iespējamā temperatūra.

10.3. Globālās ķīmiskās pārmaiņas

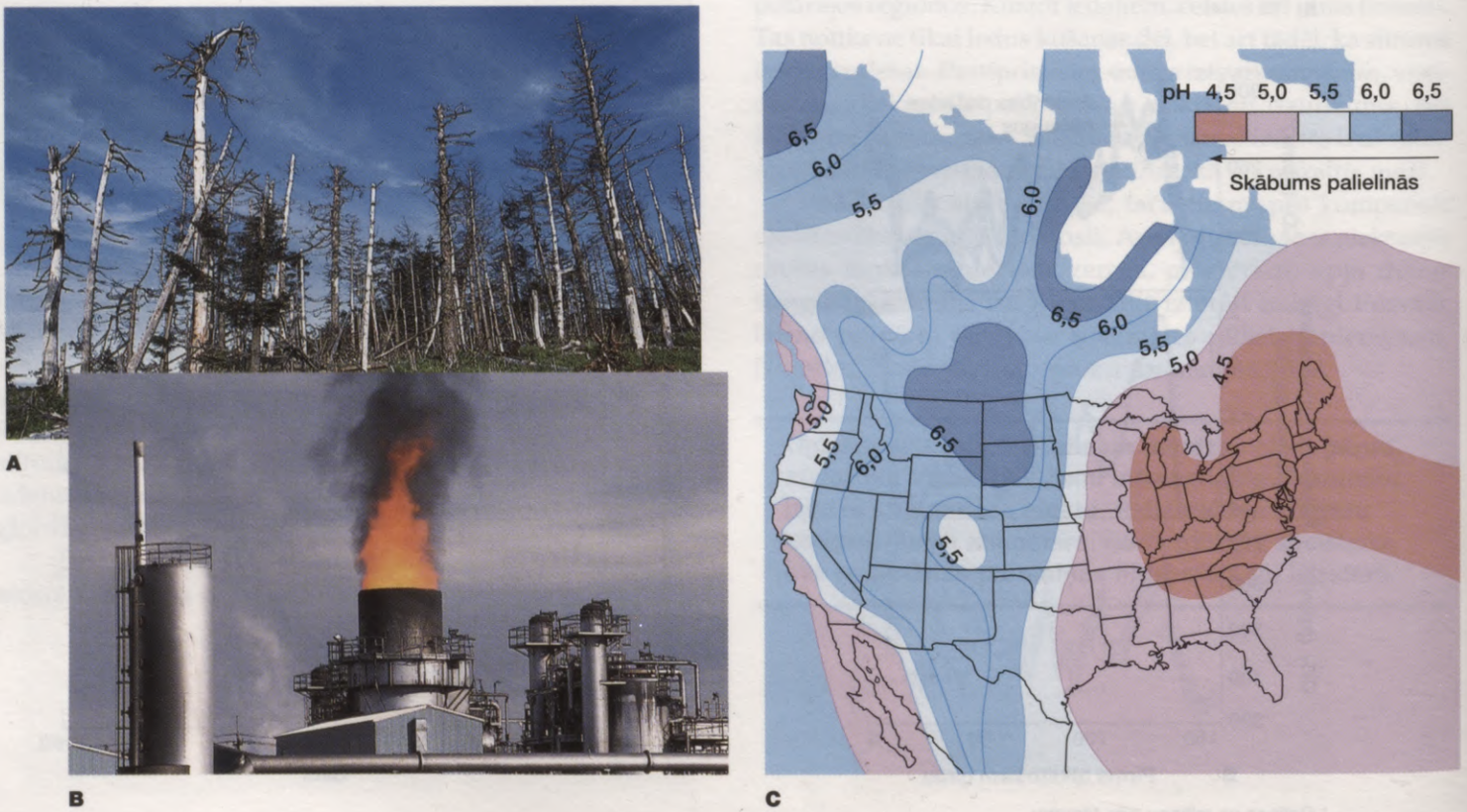
Tīra ūdens pH ir 7, jo ūdens veido vienādu H^+ un OH^- jonu daudzumu. Kaut gan oglekļa dioksīda atmosfērā ir maz (0,03 %), tomēr tas, šķīstot ūdenī, veido vāju ogļskābes šķīdumu un palielina H^+ jonu daudzumu. Tāpēc lietus ūdenim parasti pH ir nevis 7, bet 5,6. Savukārt apdzīvoto vietu tuvumā lietus ūdens pH bieži vien ir 4,0. Mākoņus un miglu veidojošie ūdens pilieni gandrīz vienmēr ir skābāki nekā lietus. Dažreiz konstatēts, ka miglas pH ir 1,7 – tāds skābums ir skābes akumulatoru baterijās. Nav brīnums, ka šādas miglas ietekmē veģetācija ātri iet bojā.

Vides ķīmiskās pārmaiņas notiek cilvēka darbības dēļ. Termoelektrostacijās sadedzinot ogles un naftu, gaisā izplūst sēra dioksīds. Kuveitas naftai ir augsts sēra saturs, tāpēc no Persijas līča karā aizdedzinātās naftas atmosfērā izdalījās ļoti daudz sēra dioksīda. Ar automašīnu izplūdes gāzēm atmosfērā nepārtraukti nonāk slāpekļa oksīdi. Atmosfērā, savienojoties ar ūdens tvaikiem, gan sēra dioksīds, gan slāpekļa oksīdi veido skābes. Šīs skābes atgriežas uz Zemes vai nu ar lietu un sniegu, vai sausu sāļu veidā.

Sēra dioksīds un slāpekļa oksīdi ar nokrišņiem uz Zemes nonāk ne tajā vietā, kur nokļuvuši atmosfērā, bet gan pavisam citur, nerespektējot valstu robežas. Vispēcīgāk skābie lieti ietekmē mežus un ezerus Ziemeļeiropā, Kanādā un ASV ziemeļaustrumos (10.4. att.), jo te jau ir dabiski skābas augsnes. Šajās vietās meži iet bojā, bet ezeros vairs nespēj izdzīvot tur mītošās zivju populācijas. **Skābie lieti** palielina koku uzņēmību pret slimībām un kaitēkļiem. Bojā iet arī sīkie bezmugurkaulnieki un destruktori. Līdz ar to tiek apdraudēta visa ekosistēma. Šo ķīmisko pārmaiņu dēļ lauksaimniecībā samazinās ražas, bojājas marmora un kaļķakmens būves, paātrinās metālu korozija.

Skābie lieti palielina smago metālu koncentrāciju dzeramajā ūdenī. Tie alumīniju no augsnes ieskalo apkārtējos ūdeņos, šķīdina ūdensvada caurulēs esošo varu, kā arī svinu cauruļu lodējuma vietās. Statistiski pierādīts, ka skābie lieti sekmē ASV austrumu piekrastes iedzīvotāju saslimšanu ar plaušu vēzi un, iespējams, arī ar resnās zarnas vēzi.

Skābie lieti, ko izraisa sēra dioksīda un slāpekļa oksīdu izplūšana atmosfērā, kaitē ekosistēmām un cilvēka veselībai.



10.4. attēls. Skābie lieti

A. Daudzi Ziemeļamerikas un Eiropas meži augstienēs iet bojā skābo lietu dēļ. **B.** Skābo lietu galvenie izraisītāji ir izmeši, kas veidojas rūpnīcās un fosilā kurināmā sadedzināšanas vietās. **C.** Šajā kartē skaitļi norāda vidējo lietus ūdens pH līmeni ASV. Skābos lietus vēji nes no citiem valsts reģioniem ziemeļaustrumu virzienā.

Fotoķīmiskais smogs

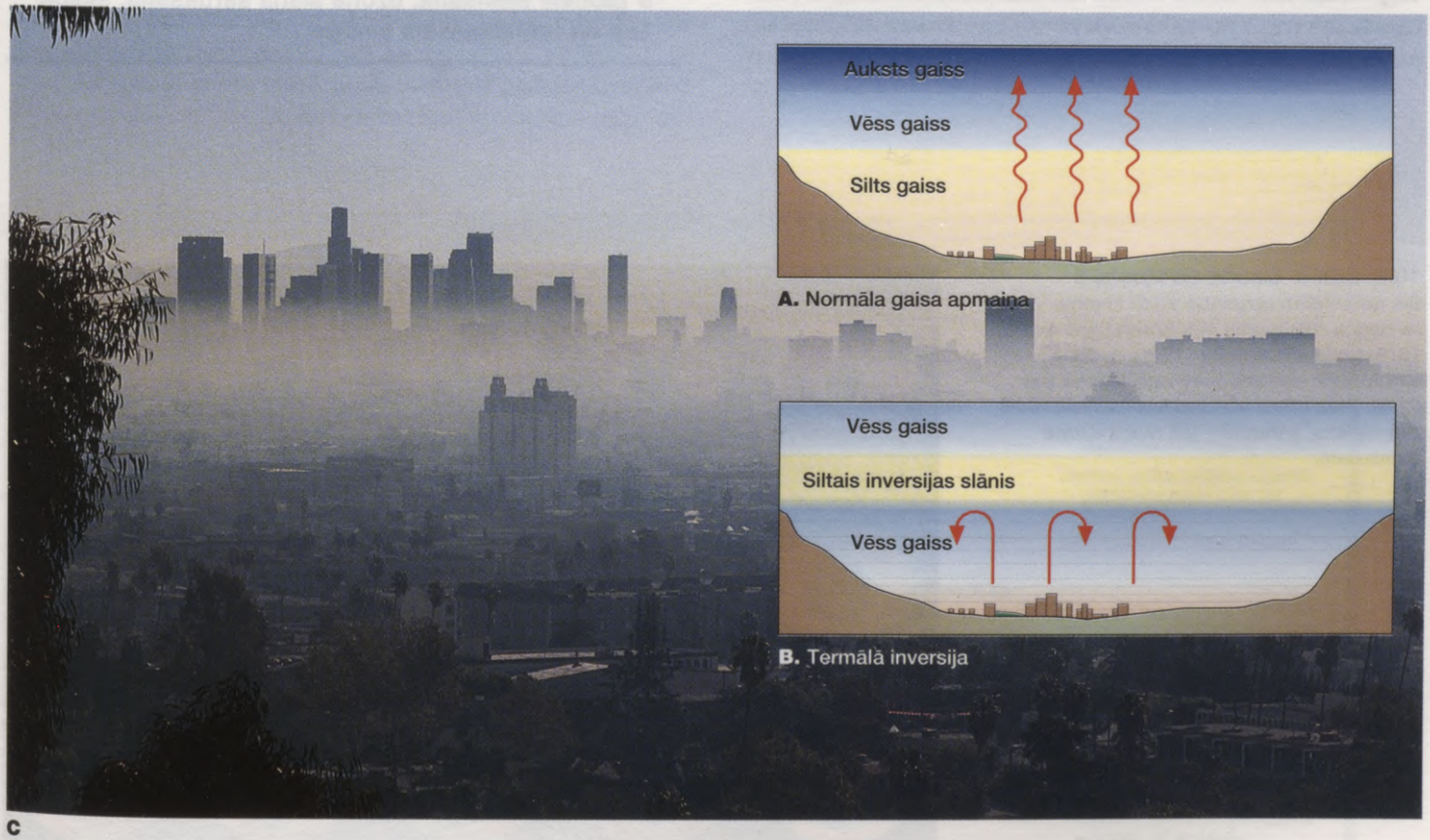
Cits vides ķīmisko pārmaiņu gadījums ir ozona koncentrācijas palielināšanās atmosfēras apakšējā slānī tuvu pie Zemes virsmas. To izraisa reakcija, kas notiek starp slāpekļa oksīdiem, ogļūdeņražiem un saules starojumu. **Fotoķīmiskais smogs** (gr. *photo* – gaisma un *chemo* – uz ķimikālijām attiecīgs) saistīts ar diviem gaisa piesārņotājiem – slāpekļa oksīdiem (NO_x) un ogļūdeņražiem (H_xC_x), kas gaismas klātbūtnē reaģē, veidojot ozonu (O_3) un **peroksiacetilnitrātu**. Gan slāpekļa oksīdi, gan ogļūdeņraži rodas, sadegot fosilajam kurināmajam, bet ogļūdeņraži izdalās arī no daudziem citiem avotiem, piemēram, krāsu šķīdinātājiem un pesticīdiem.

Ozons un peroksiacetilnitrāts ir pazīstams kā oksidants. Ieelpojot ozonu, cieš nervu sistēma, rodas elpošanas traucējumi, galvassāpes un nespēks. Šie simptomi īpaši vērojami jauniem cilvēkiem, piemēram, Losandželosā, kur ozona koncentrācija bieži vien ir augsta. Ja tā sasniedz 0,24 miljonās daļas (pēc tilpuma), bērniem jāpaliek telpās. Ozons bojā arī augus, sekmējot lapu nekrozes un palēninot augšanu.

Vēl viena gāze, kas rodas industrializētajā ziemeļpuslodē, sadedzinot fosilo kurināmo, ir oglekļa monoksīds (CO). Ja ir augsta oglekļa monoksīda koncentrācija, pastiprinās ozona veidošanās. Bez tam oglekļa monoksīds piesaistās asins hemoglobīnam, neļaujot tam savienoties ar skābekli. Oglekļa monoksīds ir arī automašīnu izplūdes gāzēs. Tās saelpojoties, var iestāties nāve. Ir noskaidrots, ka dienvidpuslodē oglekļa monoksīda daudzums nav mazāks kā ziemeļpuslodē, jo te tas rodas, degot tropiskajiem mežiem.

Parasti siltais gaiss no zemes plūst uz augšu – atmosfērā. Tomēr dažkārt gaisa piesārņotāji, piemēram, smogs un sodrēji, paliek zemes tuvumā termālās inversijas dēļ. **Termālās inversijas** (gr. *therme* – karstums; lat. *in* – pretēji un *verto* – apgriezt) laikā veidojas atšķirīgas temperatūras gaisa slāņi, parasti zem nekustīga siltā gaisa slāņa atrodas auksts gaiss. Biežāk šī parādība novērojama saulrieta laikā, kad vējš šos slāņus vēl nav sajaucis. Visvairāk šim efektam ir pakļautas pakalnu ieskautas ieplakas, jo gaiss te ir nekustīgāks un mazāk sajaucas (10.5. att.).

Fotoķīmiskais smogs satur ozonu un peroksiacetilnitrātu. Dažkārt termālās inversijas dēļ šīs vielas ilgstoši paliek tuvu Zemes virsmai.



10.5. attēls. Termālā inversija
A. Parasti, gaisam sasilstot, piesārņojums plūst uz augšu. **B.** Termālās inversijas laikā siltā gaisa slānis pārklāj piesārņotu vēsāka gaisa slāni. **C.** Īpaši bieži termālā inversija notiek Losandželosā, tāpēc to var dēvēt par ASV gaisa piesārņojuma galvaspilsētu.

10.4. Ozona samazināšanās stratosfērā

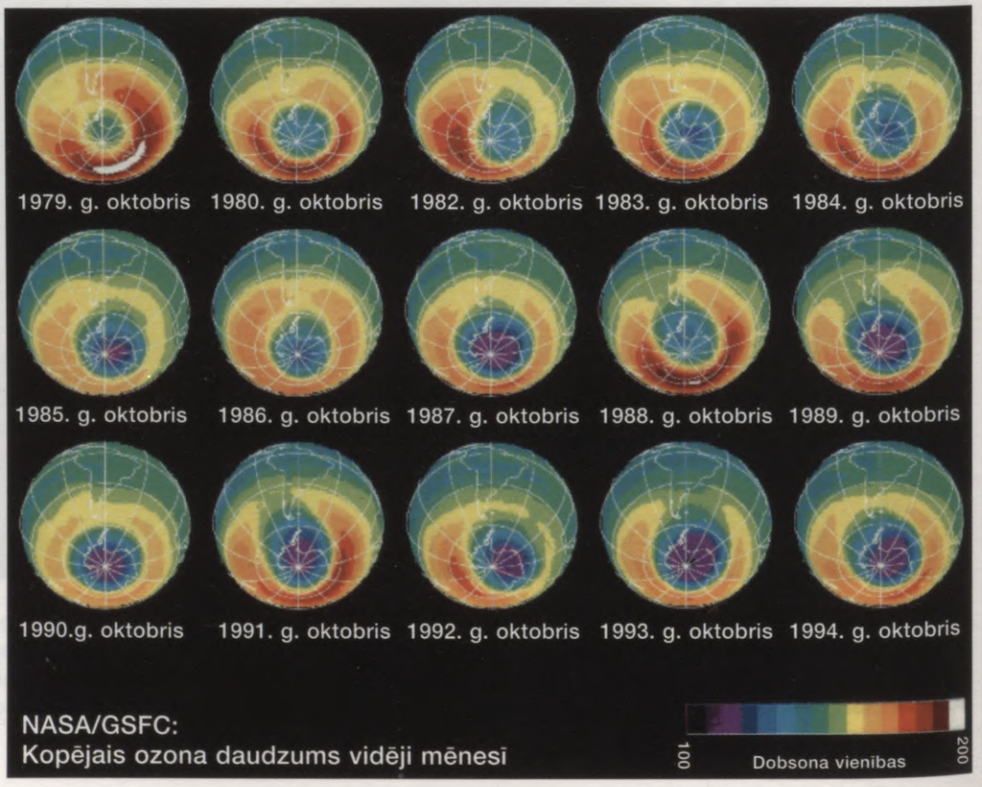
Atmosfēru veido vairāki slāņi (sk. 10.3. att.). Zemi apņem troposfēra. Troposfērā **ozons** ir piesārņotājs, bet stratosfērā, 50 km virs Zemes virsmas, tas veido ozona slāni, kas absorbē kaitīgo ultravioleto (UV) starojumu, neļaujot tam sasniegt Zemes virsmu. Ozona slāņa veidošanās senatnē ļāva dzīvībai iznākt uz sauszemes, jo UV starojums sauszemes organismus skar daudz vairāk nekā ūdens iemītniekus. UV starojums palēnina lauksaimniecības kultūru un koku augšanu, kā arī nogalina planktonu (mikroskopiskus augus un dzīvniekus), kas ir okeāna dzīvības pamats. Bez atbilstoša ozona slāņa biezuma ir apdraudēta cilvēka veselība un pārtikas avoti. UV starojums izraisa mutācijas, kas veicina ādas vēzi, un var izraisīt kataraktu (acu slimību). Tiek uzskatīts, ka tas nelabvēlīgi ietekmē arī imūnsistēmu un spēju pretoties infekcijas slimībām.

Pēdējos gadu desmitos par ozona slāņa sarukšanu ir īpaša interese. 1980. gadā kļuva skaidrs, ka visā pasaulē ozona slānis sāk ievērojami sarukt, bet kopš 1990. gada virs Antarktikas katru pavasari novēro ozona slāņa sarukšanu par 40–50 % (10.6. att.). Ozona slāņa sarukšanas vietas tiek dēvētas par **ozona caurumiem**. Ir zināms, ka ozona caurums veidojas arī virs Arktikas un var veidoties arī tālāk no poliem virs vietām, kur dzīvo daudz cilvēku. Ozona caurumu attīstība ir atkarīga no valdošajiem vējiem, laikapstākļiem un putekļiem atmosfērā. ANO Vides programmas atskaitē ir prognozēts, ka, samazinoties ozona slānim par 10 %, par 26 % palielināsies kataraktas un ādas vēža (izņemot melanomu) saslimstības gadījumu skaits. Tas nozīmē, ka pasaulē katru gadu papildus 1,75 miljoni cilvēku saslims ar kataraktu un 300 000 – ar ādas vēzi.

Ozona slāņa sarukšanu var izraisīt hlora joni (Cl^-), kas atbrīvojas troposfērā, bet paceļas līdz stratosfērai. Hlora atomi savienojas ar ozonu un to sašķeļ. Viens hlora atoms stratosfērā var palikt daudzus gadus, līdz atgriežas uz Zemes hlorīdu sastāvā. Tajā laikā tas var sašķelt pat 100 000 ozona molekulas. Šie hlora atomi veidojas, sadaloties **hlorfluorogļūdeņražiem** – vielām, kas intensīvi tika izmantotas no 1955. gada līdz 1990. gadam. Pazīstamākā šāda tipa viela ir freons – viela, kura līdz šai dienai tiek izmantota saldējamās ierīcēs un kondicionētājos. Hlorfluorogļūdeņražus satur arī sintētiskie mazgāšanas līdzekļi un putuplasts. Šo vielu lietošana sadzīves aerosolos ASV un dažās citās valstīs, bet ne Rietumeiropā, ir aizliegta. Lai gan vairākums valstu ir piekritušas līdz 2000. gadam pārtraukt hlorfluorogļūdeņražu izmantošanu, tomēr šīs vielas atmosfērā jau ir nonākušas tik lielā daudzumā, ka paies vairāk nekā simts gadu, līdz tās visas sadalīsies.

Gaisa piesārņojuma izraisītās negatīvās parādības ir globālā sasilšana, ozona slāņa sarukšana, skābie lieti un fotoķīmiskais smogs.

10.6. attēls. Ozons stratosfērā
Šie no satelīta uzņemtie attēli liecina, ka ozona daudzums virs Antarktikas no 1979. gada oktobra līdz 1990. gada oktobrim ir samazinājies vairāk nekā par 50 %. Zaļā krāsa – vidējs ozona daudzums, zilā – mazs, sarkanā – ļoti mazs ozona daudzums.



10.5. Virszemes ūdeņi, pazemes ūdeņi un okeāni

Bez saldūdens neiztikt nevienā dzīves sfērā – tas nepieciešams dzeršanai, lauksaimniecības kultūru apūdeņošanai, rūpniecībai un enerģētikai. Saldūdeni ņem no upēm, ezeriem un **pazemes ūdeņiem**. Pazemē ir bagātīgi dabiskā saldūdens resursi, taču tā patēriņš nedrīkst pārsniegt papildinājumu. Visās pasaules valstīs izmanto šos saldūdens resursus. ASV ir apgabali, kur pazemes ūdeni patērē 50 reizes vairāk, nekā tas spēj atjaunoties. Ir aprēķināts, ka Ķīnā, kur ir vairāk nekā viens miljards iedzīvotāju, pazemes ūdens krājumu pietiek tikai 650 miljoniem cilvēku. ASV saviem iedzīvotājiem subsidē ūdens izmantošanas izmaksas, diemžēl cilvēki joprojām ūdeni netaupa.

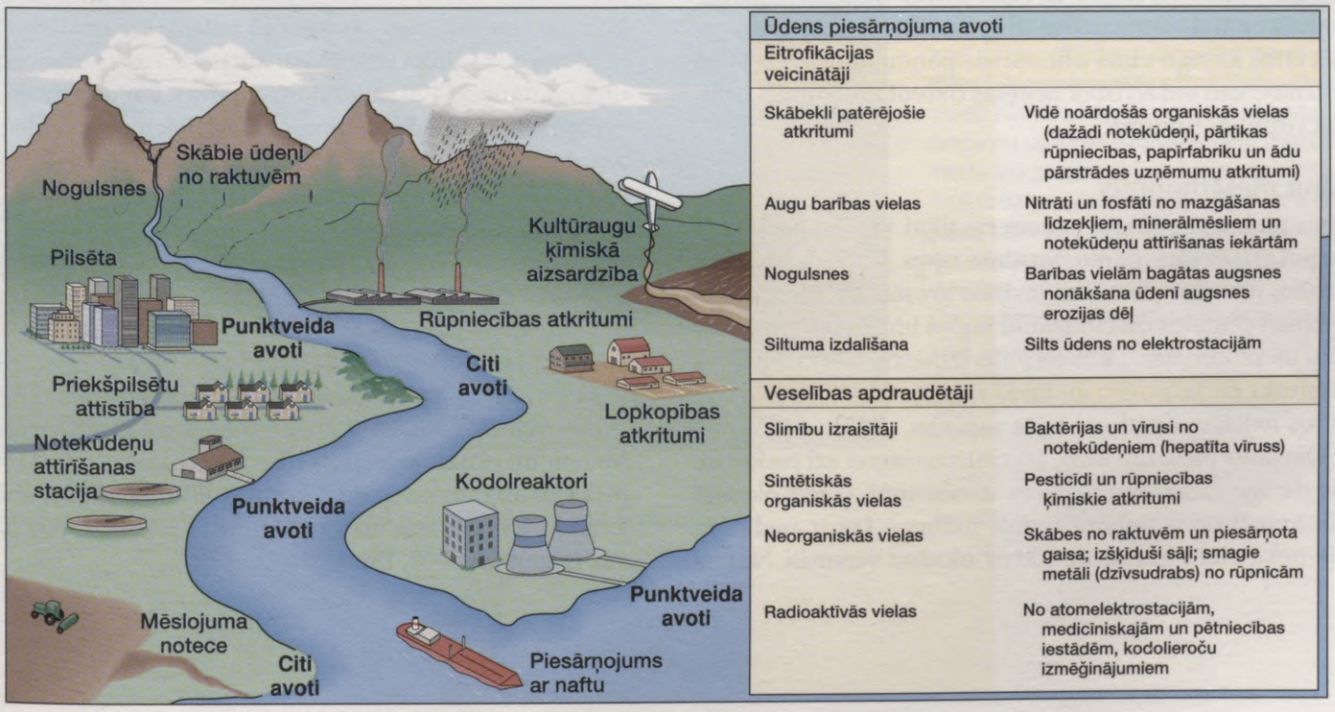
Virszemes ūdeņu piesārņojums

Saldūdens resursus samazina ne tikai tā izmantošana. Saldūdens trūkuma cēlonis ir virszemes un pazemes ūdeņu, kā arī okeānu piesārņojums. Cietie atkritumi nāk ne tikai no mājas papīrgroziem, bet arī no attīrīšanas iekārtu dūņām, lauksaimniecības pārpalikumiem, raktuvēm un rūpnīcām. Katru gadu ASV uz sauszemes, kā arī saldūdeņos un jūrā tiek izmests miljardiem tonnu cieto atkritumu. Piesārņojuma avotus nosacīti var iedalīt punktveida avotos, kas ir samērā vienkārši konstatējami, un pārējos, kur piesārņojums nāk no plašākas teritorijas (10.7. att.).

ASV, lai sakoptu piesārņotās vietas, ik gadu tiek iztērēti 9 miljardi dolāru, bet, lai novērstu piesārņošanu, – tikai 200 miljonu. Viens no pētījumiem rāda, ka 70–90 % sadzīves atkritumu ir iespējams atkārtoti pārstrādāt. Vienai ģimenei tas izmaksātu tikai 30 centus. Līdzīgi arī rūpniecībā, pārstrādājot atkritumus, iespējams pat ietaupīt. To pierādīja kāda kompānija, kas, pārstrādājot atkritumus un novēršot piesārņojumu, ietaupīja 1,2 miljardus dolāru.

Notekūdeņi

Notekūdeņu attīrīšana palīdz noārdīt organiskās vielas, kas var izraisīt pastiprinātu skābekļa patēriņu upēs un ezeros. Ūdenī samazinoties skābekļa daudzumam, dzīvo organismu daudzveidība krasi sarūk. Cilvēku ekskrementi turklāt var saturēt patogēnus mikroorganismus, kas izraisa holeru, vēdertīfu un dizentēriju. Mazattīstītajās valstīs, kur iedzīvotāju skaits strauji palielinās, bet notekūdeņi praktiski netiek attīrīti, no šīm slimībām katru gadu mirst daudz bērnu. Notekūdeņu attīrīšanas iekārtās parasti izmanto baktērijas, kuras sašķeļ organiskās vielas līdz neorganiskām vielām, piemēram, nitrātiem un fosfātiem, kas pēc tam nonāk upēs un ezeros. Šīs organiskās vielas ūdenstilpēs nokļūst arī tad, ja pārmērīgi lietoti minerālmēsli un notikusi augsnes erozija. Tā rezultātā noris eitrofikācija, kas paātrina dabisko procesu – ūdenstilpju aizaugšanu un izzušanu. Vispirms mēslojuma ietekmē masveidā savairojas aļģes. Tad tās iet bojā, skābekli izmanto destruktori, un ūdenstilpē nespēj vairs dzīvot organismi. Eitrofikācijas dēļ dažkārt masveidā iet bojā zivis.



Ūdens piesārņojuma avoti	
Eitrofikācijas veicinātāji	
Skābekli patērējošie atkritumi	Vidē noārdošās organiskās vielas (dažādi notekūdeņi, pārtikas rūpniecības, papīrfabriku un ādu pārstrādes uzņēmumu atkritumi)
Augu barības vielas	Nitrāti un fosfāti no mazgāšanas līdzekļiem, minerālmēsliem un notekūdeņu attīrīšanas iekārtām
Nogulsnes	Barības vielām bagātas augsnes nonākšana ūdeņi augsnes erozijas dēļ
Siltuma izdalīšana	Silts ūdens no elektrostacijām
Veselības apdraudētāji	
Slimību izraisītāji	Baktērijas un vīrusi no notekūdeņiem (hepatīta vīruss)
Sintētiskās organiskās vielas	Pesticīdi un rūpniecības ķīmiskie atkritumi
Neorganiskās vielas	Skābes no raktuvēm un piesārņota gaisa; izšķīduši sāļi; smagie metāli (dzīvsudrabs) no rūpnīcām
Radioaktīvās vielas	No atomelektrostacijām, medicīniskajām un pētniecības iestādēm, kodolieroču izmēģinājumiem

10.7. attēls. Virszemes ūdeņu piesārņojuma avoti
Piesārņojuma dēļ daudzās ūdenstilpēs iet bojā visa dzīvība. Piesārņojumu rada gan punktveida avoti, gan citas pārstāva vietas, kuras precīzi noteikt nevar.

Lauksaimniecības un rūpniecības notekūdeņi

Teritorijās ar intensīvu lopkopību vai apdzīvotās vietās notekūdeņos nonāk daudz amonija jonu (NH_4^+). Augsnes baktērijas tos pārvērš par nitrātiem, kuri izšķīst ūdenī un pakāpeniski iesūcas pazemes ūdeņos. 5–10 % ASV aku, kas tika pārbaudītas, nitrātu daudzums pārsniedza maksimāli pieļaujamo koncentrāciju.

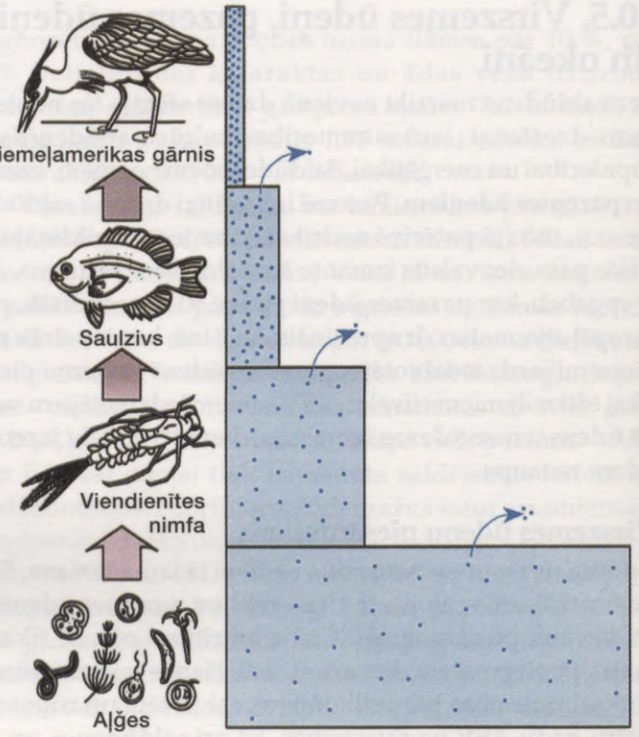
Rūpniecības atkritumos var būt smagie metāli un hlororganiskie savienojumi, piemēram, tādi, kas ietilpst arī pesticīdos. Šīs vielas pilnīgi nenoārdās ne dabiskos apstākļos, ne parastajās attīrīšanas iekārtās. Nereti tās uzkrājas stipri piesārņotu upju deltu dūņās. Ja dūņu slāni uzjauc, var rasties ievērojams ūdens piesārņojums. Mūsdienās daudzās attīstītās valstīs rūpnieciskajam piesārņojumam pievērš lielu uzmanību, taču to nedara mazattīstītās valstīs. Piesārņojums nonāk ūdenstilpēs, kur notiek kaitīgo vielu uzkrāšanās dzīvajos organismos (10.8. att.). Destruktori nespēj noārdīt šīs vielas. Tās uzkrājas dzīvajos organismos. Vielām virzoties pa barības ķēdi, notiek to **bioloģiskā uzkrāšanās**. 10.8. attēlā redzams, ka terciārajā konsumentā DDT uzkrājas daudz lielākā koncentrācijā. Vielu uzkrāšanās biežāk vērojama ūdens barošanās ķēdēs, jo tajās ir vairāk posmu nekā sauszemes barošanās ķēdēs. Gan ganību, gan detrīta tipa barošanās ķēdēs noslēdzošais posms ir cilvēks. Konstatēts, ka dažviet mātes pienā ir hlororganiskie savienojumi, piemēram, DDT un polihlorētie bifenili.

Rūpniecība piesārņo arī pazemes ūdeņus. Sākotnēji rūpnieciskie notekūdeņi tika ievadīti karjeros, kur piesārņojums iesūcās zemē. Notekūdeņi un ķīmiskie atkritumi tika ievadīti arī dziļos urbumos, no kuriem tie pastāvīgi sūcās tālāk. Abas šīs metodes vairs netiek lietotas vai arī to izmantošana tiek samazināta. Rūpniecībai ir ļoti grūti sameklēt citus kaitīgo vielu utilizācijas paņēmienus, it sevišķi mūsdienās, kad iedzīvotāji nevēlas dzīvot atkritumu utilizācijas rūpnīcu tuvumā.

Okeānu piesārņojums

Okeānu piekrastes rajoni saņem ne tikai vietējo piesārņojumu, bet arī piesārņojumu, ko atnes upes. Jūrās tiek izgāzti atkritumi, un viļņi tos nereti izskalo krastā. Tā, piemēram, plastmasas pudeles un citi trauki tagad bieži vien piesārņo okeānu un pludmales. Dažkārt jūrās izmestie atkritumi kļūst par iemeslu zivju, putnu un jūras zīdītāju bojāejai, jo dzīvnieki tos netīšām apēd vai tajos sapinas.

Okeānus piesārņo kuģi, atkritumus izmet arī piekrastē esošie derīgo izrakteņu ieguves uzņēmumi. Gadā okeānā nonāk apmēram 5 miljoni tonnu naftas – tas ir nedaudz vairāk nekā viens grams uz 100 m^2 okeāna virsmas. Naftas



10.8. attēls. Vielu uzkrāšanās dzīvajos organismos
Indīgās vielas, piemēram, DDT, kas no organisma tiek izvadītas nepilnīgi (bultas), pārvietojoties pa barošanās ķēdi, pamazām uzkrājas konsumentos.

noplūdes nogalina planktonu, zivju mazuļus un gliemjus, kā arī ūdensputnus un jūras zīdītājus. Lielākā naftas noplūde ASV teritoriālajos ūdeņos notika 1989. gada 24. martā, kad tankkuģis *"Exxon Valdez"* uzskrēja uz rifa Prinča Viljama šaurumā pie Aļaskas. Izplūda 44 miljoni litru naftas. Persijas līča kara laikā Irāka uzspridzināja piekrastes naftas krātuves un jūrā ieplūda 120 miljoni litru naftas. Lai gan naftu dzīvie organismi spēj sadalīt, tomēr tas notiek lēni, jo vidē parasti nav daudz naftu sadalošo baktēriju. Kad nafta tiek izskalota pludmalēs, tiek patērēts daudz laika un naudas, lai to savāktu.

Pēdējos 50 gados cilvēks ir piesārņojis jūras un izmantojis tās resursus, kā rezultātā daudzas dzīvnieku sugas ir nonākušas pie izmiršanas robežas. Daudzas kādreiz bagātas zvejas vietas, piemēram, Jaunanglijas piekrastē, mūsdienās ir panīkušas. Viena no kādreiz vairāk zvejotajām zivīm bija pikša, tagad to iegūst mazāk nekā 2 % no kopējās nozvejas. Mencu un tunzivju populācijas ir sarukušas par 90 %. Tropiskajos apgabalos daudzi koraļļu rifi ir apauguši ar aļģēm, jo zivis, kas pārtiek no šīm aļģēm, ir izķertas. Arī haizivis var izzust (sk. 199. lpp.).

Uzziniet tuvāk

Iznīkst haizivis – vismazāk mīlētie dzīvnieki pasaulē

No visiem augiem un dzīvniekiem, kurus apdraud cilvēka darbība, vismazāk mīlētas ir haizivis. Cilvēku negatīvo viedokli par šiem dzīvniekiem veido ziņas par haizivju uzbrukumiem cilvēkam, taču patiesībā šie negadījumi notiek daudz retāk, nekā tiek rakstīts (*Manire* un *Gruber*, 1990) un rādīts šausmu filmās (filmā "Žokļi" haizivis attēlotas kā nežēlīgas plēsoņas). Vairumam cilvēku haizivs asociējas gandrīz tikai ar trijstūrveida spuru un muti, kas pilna asiem zobiem. Haizivis tuvāk un rūpīgāk iepazīstot, varētu kliedēt netīksmi pret viņām. Tomēr dabas aizstāvji zina, ka haizivju populācijas strauji samazinās visā pasaulē.

Haizivju nozveja 20. gadsimta beigās ir strauji attīstījusies (*Waters,* 1992). Ķīniešu restorānu ēdienkartēs nekad netrūkst haizivju ēdienu. Iecienīta delikatese ir haizivs spuru zupa (*Manire* un *Gruber*, 1990). Tas radījis lielu pieprasījumu pēc vairāku sugu haizivīm. Bieži tiek izmantots nežēlīgs spuru ieguves paņēmiens – noķertai haizivij nogriež spuras un viņu ielaiž atpakaļ ūdenī nomiršanai. Sabiedrībā izskanējuši aicinājumi šādu rīcību aizliegt. Tomēr daudz biežāk haizivis nejauši iekļūst zvejnieku tīklos – apmēram puse no ik gadu konstatētajiem 200 miljoniem haizivju nāves gadījumu ir saistīti ar šo dzīvnieku iekļūšanu tīklos. Turklāt lielākā daļa šādi noķerto haizivju netiek izmantotas.

Lielā haizivju mirstība nopietni apdraud šo zivju populāciju, jo haizivis attīstās lēni. Viņām ir garš vairošanās cikls, un vienā reizē piedzimst tikai daži mazuļi (*Manire* un *Gruber*, 1990; *Waters*, 1992). Ja pārmērīgi zvejo daudzas citas zivis, piemēram, lašus, viņu populācija tomēr var ātri atjaunoties, jo vienai zivij ir daudz pēcnācēju. Haizivīm šīs iespējas nav. Otra nozīmīgākā problēma ir tā, ka haizivju zveja lielākoties netiek regulēta. Dažās valstīs, piemēram, Austrālijā un Dienvidāfrikā, ir pieņemti likumi, kas ierobežo haizivju iznīcināšanu, tomēr vairums komerciālās haizivju zvejas sekmētāju neredz nepieciešamību aizsargāt šīs zivis un kavē likumu pieņemšanu. ASV valdības noteiktās kvotas piekrastes un dziļjūras haizivju nozvejai ir solis pareizā virzienā, tomēr šīs kvotas vēl ir pārāk lielas, lai nodrošinātu daudzu sugu atjaunošanos iepriekšējā skaitā. Masveidīgā haizivju iznīcināšana notiek laikā, kad vēl ir ļoti maz zināms par daudzām haizivju sugām. Tiek uzskatīts, ka sastopamas vairāk nekā 350 haizivju sugas. Izstrādājot apsaimniekošanas plānus, parasti visas haizivis uztver kā vienu vienību, jo trūkst informācijas par atsevišķām sugām. Sugām, kas tikušas pētītas, piemēram, citronhaizivīm jeb Panamas haizivīm *(Negaprion brevirostris)*, pēdējo piecu gadu laikā novērota strauja jauno dzīvnieku skaita samazināšanās.



10.A. attēls. Citronhaizivs
Lai noķertu citronhaizivi, Florides piekrastē par ēsmu izmanto krabjus.

Haizivju populācijas samazināšanās ir iemesls satraukumam arī saistībā ar citu lielu problēmu. Haizivis ir vienas no nozīmīgākajām jūras ekosistēmu plēsoņām. Viņas barojas ar visdažādākajiem organismiem un sastopamas visā pasaulē (*Manire* un *Gruber*, 1990). Sauszemes ekosistēmu pētnieki jau ir novērojuši plēsonības labvēlīgo ietekmi uz upuru populāciju un problēmas, kas rodas, plēsoņas izspiežot no ekosistēmas. Haizivju skaita samazināšanās var atstāt būtisku, iespējams, pat katastrofālu iespaidu uz jūras ekosistēmām. Haizivis ir viena no senākajām mūsdienās dzīvojošajām dzīvo organismu grupām un ir pildījušas savu lomu apmēram 400 miljonus gadu. Viņu nākotne var izšķirties dažu gadu desmitu laikā atkarībā no cilvēka rīcības. Dabas aizstāvji mēģina pārliecināt valdības visā pasaulē neskatīties uz haizivīm tikai ar šausmām un sākt darboties, lai aizsargātu šos dzīvniekus, kas nepieciešami visas pasaules okeānu veselībai.

Primack R. B. Essentials of conservation biology. – Sunderland, Mass.: Sinauer Associates, 1993. Inc., pp. 189–190.

10.6. Augsnes erozija, tuksnešu veidošanās un mežu platību samazināšanās

1950. gadā pilsētās dzīvoja apmēram 20 % no pasaules iedzīvotājiem. Tiek prognozēts, ka 21. gadsimta sākumā pilsētās dzīvos vairāk nekā 60 %. Pilsētas mūsdienās arvien straujāk izplešas. Šādi un vēl vairākos citos veidos zeme pakāpeniski degradējas. Turpmāk aplūkosim vairākus iemeslus, kāpēc zeme degradējas.

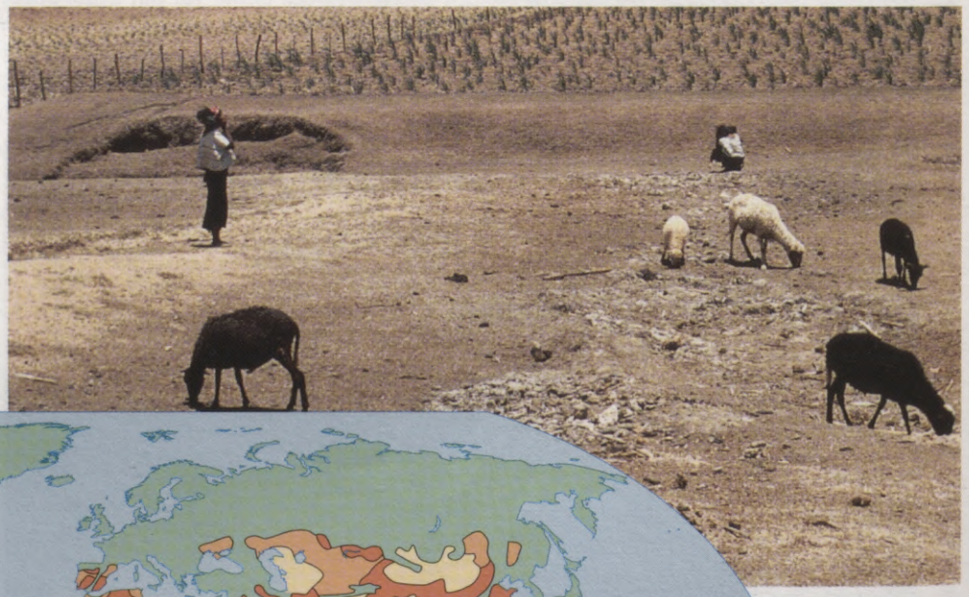
Augsnes erozija un tuksnešu veidošanās

Visā pasaulē no lauksaimniecības zemēm ik gadu lietus un vējš aiznes apmēram 25 miljardus tonnu augsnes. Ja tas turpināsies šādā tempā, tad apmēram 21. gadsimta vidū zeme zaudēs gandrīz visu lauksaimniecības zemju augsni. Augsnes erozija rada ražības kritumu, kas tiek kompensēts, pastiprināti lietojot minerālmēslus, pesticīdus un fosilā kurināmā enerģiju. Viens no šīs problēmas risinājumiem ir izmantot dažādus augsnes aizsardzības pasākumus. Piemēram, ASV daudzi fermeri veido aizsargjoslas, kas samazina augsnes eroziju.

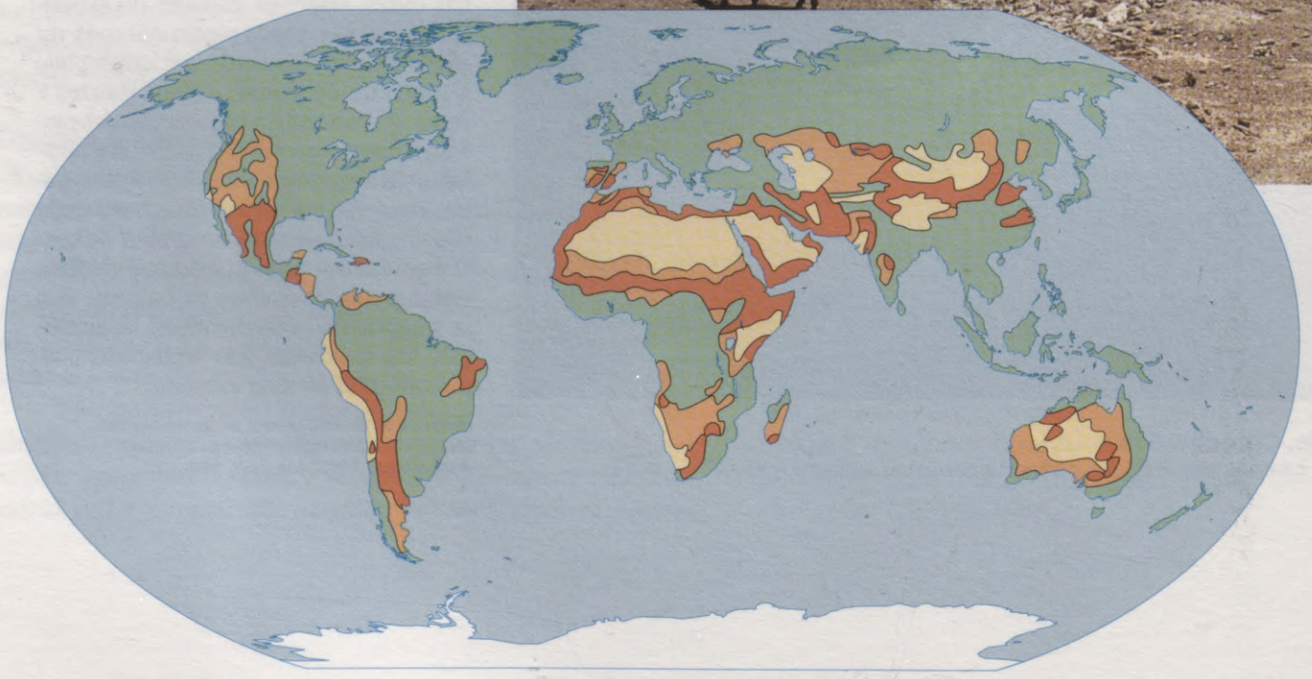
Pārmērīgas noganīšanas dēļ un nepareizas saimniekošanas rezultātā daudzviet radušies tuksneši (10.9. att.). Īpaši izteikti tas vērojams Āfrikā gar Sahāras tuksneša dienvidu robežu. Pēdējo 50 gadu laikā tuksnesī pārvērtušies 620 000 km^2 līdz tam produktīvu ganību. Tuksneši veidojas arī Amerikas Savienotajās Valstīs. ASV Zemes apsaimniekošanas birojs ziņo, ka lielākā daļa viņu pārziņā esošo zemju ir sliktā stāvoklī. Lielākā daļa augsnes ir aiznesta, tā rezultātā augiem ir ļoti sliktas augšanas iespējas.

Zeme tiek izmantota dažādām vajadzībām, piemēram, lauksaimniecībai un pilsētu būvniecībai. Lauksaimniecības zemju produktivitāti apdraud augsnes erozija, kas var izraisīt arī tuksnešu veidošanos.

10.9. attēls. Tuksnešu veidošanās
A. Pārmērīgas noganīšanas dēļ sausās un daļēji sausās teritorijas var pārvērsties tuksnesī. Veģetācijas samazināšanās sekmē augsnes eroziju, augsnei ir mazākas iespējas saglabāt mitrumu. **B.** ANO izdotā pasaules tuksnešu veidošanās karte.



A



B

Mežu platību samazināšanās

Daudzus Kanādas mežus ir paredzēts pārvērst papīrā un koksnes izstrādājumos, piemēram, stabos un skaidu plāksnēs. 21. gadsimta sākumā ir paredzēts uzbūvēt tūkstošiem kilometru garus ceļus baļķu izvešanai. Nav šaubu, ka uz vietām, kur līdz šim dzīvoja tikai vietējās ciltis, dosies daudz mednieku un makšķernieku. Šejienes dzīvnieki – aļņi, dzeloņcūkas, lūši un zaķi – pamazām tiks iznīdēti. Dziedātājputni, kas šurp devās katru vasaru, vairs neatradīs patvērumu. Lai gan mežizstrādes kompānijas mežus arī stādīs, tomēr dabas sargi netic, ka tās veiks nepieciešamās ekspertīzes, lai noskaidrotu, kā pareizi veikt mežu apsaimniekošanu.

Tropiskie meži ir daudzveidīgāki par mērenās joslas mežiem. Piemēram, mērenajos mežos visā ASV teritorijā ir apmēram 400 sugu koku. Lietusmežā desmit hektāru platībā ir sastopami vismaz 750 sugu koki. Dienvidamerikas saldūdeņos dzīvo apmēram 5000 sugu zivis. Andu austrumu nogāzēs ir vairāk nekā 80 sugu varžu un krupju. Ekvadorā ir vismaz 1200 putnu sugu – divreiz vairāk nekā ASV un Kanādā kopā. Tāpēc, sarūkot tropiskajiem mežiem, vienlaikus ievērojami samazinās bioloģiskā daudzveidība.

ASV Nacionālā zinātņu akadēmija ir izpētījusi, ka 20 gadu laikā tropisko mežu sarukšanas dēļ ir apdraudēti apmēram miljons sugu augu un dzīvnieku. Daudzi no šiem organismiem nekad nav pētīti, un nav zināms, vai tos nevarētu izmantot pārtikā vai medicīnā.

Tropiskie meži tiek izcirsti, jo industrializēto valstu iedzīvotāji tīko pēc mēbelēm, kas gatavotas no dārgās dienvidu zemju koksnes, kā arī lai atbrīvotu platības lauksaimniecības zemēm (10.10. att.). Brazīlijā īpašumā atdod jebkuru zemes gabalu Amazones mežos (gar Amazones upi), ja tiek nolīsts mežs. Mežs tiek nocirsts un sadedzināts, lai nodrošinātu augsni ar barības vielām un varētu stādīt lauksaimniecības kultūras. Diemžēl augsnes auglība saglabājas tikai dažus gadus. Kad kultūraugi vairs neaug, fermeris pārvietojas uz citu vietu, kur atkal veido jaunu līdumu. Savukārt pamestajā platībā ierodas lopkopji. Arī lopkopība veicina mežu sarukšanu. Nesen Brazīlijā uzsāktā čuguna ražošana arī netieši veicinājusi mitro tropisko mežu samazināšanos. Pirms eksportēšanas čuguns ir jāapstrādā. Tā kausēšanai ir nepieciešamas kokogles, ko iegūst no koksnes.

Visā pasaulē lielas bažas rada bioloģiskās daudzveidības samazināšanās, ko izraisa mežu izciršana.



10.10. attēls. Mežu samazināšanās
Mežu izpostīšanai ir dažādas negatīvas sekas.

10.7. Cilvēka ietekme uz bioloģisko daudzveidību

Viens no bioloģiskās daudzveidības līmeņiem ir zināms visiem, jo tas saistīts ar visu zemeslodes dzīvo organismu – baktēriju, vienšūņu, sēņu, augu un dzīvnieku – sugu daudzveidību. Cits līmenis ir ģenētiskā daudzveidība. Tā veicina vairošanās kvalitāti un palīdz adaptēties jauniem vides apstākļiem. Vēl viens līmenis saistīts ar daudzveidīgajām biocenozēm, kas kopumā veido biosfēru. Tātad var pieņemt, ka bioloģisko daudzveidību veido trīs līmeņi – sugu daudzveidība, ģenētiskā daudzveidība un biocenožu daudzveidība.

Izmiršana

Zemes vēsturē ir bijušas vairākas masveida izmiršanas, kurām sekojis atjaunošanās periods. Atjaunošanās periodā uz Zemes veidojās lielāka bioloģiskā daudzveidība nekā iepriekš. Cilvēka darbība bioloģisko daudzveidību sāka ietekmēt pirms 30 000 gadiem, kad Kromaņonas cilvēks iznīcināja daudzus lielus dzīvniekus, piemēram, milzu sliņķus, mamutus, zobenzobu tīģerus un milzu vēršus. Medības pārtikas ieguvei un komerciālās medības ir viens no galvenajiem cēloņiem, kas izraisa 15 000 līdz 30 000 sugu izmiršanu gadā (10.11. att.). 199. lappusē stāstīts par haizivju izzušanu okeānos to pārmērīgas nozvejas dēļ. Zināms, ka arī citu zivju daudzums pārmērīgas nozvejas dēļ krasi samazinās. Līdzīgi arī uz sauszemes cilvēks medī un iegūst dzīvos organismus gan peļņas dēļ, gan vienkārši izklaidējoties. Turīgi "sportisti" mūsdienās lido pat uz citādi nesasniedzamiem arktiskajiem reģioniem, lai no gaisa medītu baltos lāčus. Lielie kaķi (tīģeri, gepardi, leopardi, jaguāri utt.) ir apdraudēti, jo, viņu skaitam samazinoties, pircēji gatavi maksāt arvien lielāku naudu par kažokādām. Tāpat kā haizivīm, arī citiem dzīvniekiem draud izmiršana tikai tāpēc, ka cilvēkam noderīga kāda viņu ķermeņa daļa. Degunradža raga pulveris tiek izmantots potences palielināšanai, arī kā zāles pret čūskas kodienu un dažādām slimībām. Kenijas rezervātos ik gadu nelegāli tiek nogalināti tūkstošiem melno degunradžu viņu ragu dēļ. Savukārt ziloņus nonāvē, lai iegūtu ziloņkaulu. Savvaļas kaktusi tiek vākti pārdošanai citās valstīs. Kāda ekspedīcija Kalifornijas piekrastes salā savāca visus kaktusus, kas bija barība un patvērums dzīvniekiem.

Nākamais nozīmīgākais izmiršanas cēlonis ir vides iznīcināšana vai tās sadalīšana nelielās teritorijās, kas vairs nevar uzturēt iepriekšējo sugu daudzveidību. 2010. gadā ārpus nacionālajiem parkiem un citām relatīvi nelielām aizsargātām teritorijām būs palikuši neskarti tikai nedaudzi tropiskie meži. Ekosistēmas iznīcina lopkopība, augkopība, ciemi un pilsētas, kā arī citas cilvēka aktivitātes, piemēram, raktuvju veidošana un aizsprostu būve.



Nozveja. Tralis dažu minūšu laikā izvelk lielu lomu.



Malumedības. Melnos degunradžus Āfrikas aizsargājamās teritorijās medī ragu iegūšanai.



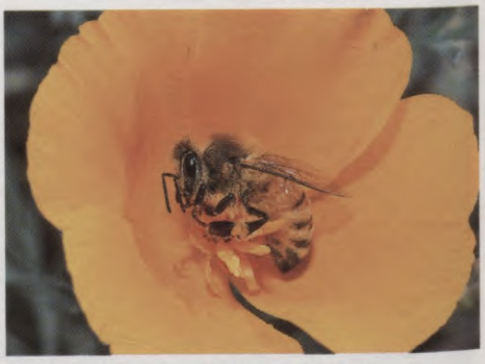
Ekosistēmu iznīcināšana. Iegūstot akmeņogles, tiek iznīcināti biotopi un piesārņota apkārtne.



Jaunu sugu introdukcija. Pēc introducēšanas daudzās Klusā okeāna salās brūnā boiga *(Boiga irregularis)* iznīcinājusi endēmiskās putnu populācijas.



Piesārņojums. Cietie atkritumi ir acīmredzama ekosistēmas piesārņojuma zīme. Pesticīdus redzēt nevar, bet arī tie dzīvajai dabai ir nāvējoši.



Piesārņojums. Pesticīdi nogalina bites, savukārt, bišu skaitam samazinoties, tiek apdraudēti augi, kurus bites apputeksnē.

10.11. attēls. Izmiršana
Sugu izmiršanu cilvēka darbība var veicināt visdažādākajā veidā. Te aplūkoti daži šādas darbības veidi.

Nejauša vai ar nolūku veikta jaunu sugu introdukcija ekosistēmā var izraisīt endēmisko sugu izmiršanu. 20. gadsimta 40. gadu beigās Guamā – vienā no Klusā okeāna dienvidrietumu salām – ieviesās jauna čūsku suga – brūnā boiga. Kopš tā laika šīs čūskas ir iznīdējušas deviņas no vienpadsmit vietējo putnu sugām, padarot mežus nedabiski klusus. Karpas, kas senāk bija sastopamas tikai Āzijā, ir labi pielāgojušās dzīvei piesārņotos ūdeņos, dažkārt gūstot pārsvaru pār vietējām zivju sugām.

Briesmas šajā jomā rada arī piesārņojums. Kā jau konstatēts, klimats var mainīties tik strauji, ka daudzas sugas nespēs pielāgoties pārmaiņām un izmirs. Piesārņojums var iznīcināt pat populācijas, kas šķietami ir netraucētas. Pesticīdu bioloģiskā uzkrāšanās organismā izraisa plēsīgo putnu skaita samazināšanos, bet visas pasaules abinieku populāciju sarukšana ir saistīta ar skābajiem nokrišņiem.

Cilvēka darbība veicina masveidīgu sugu izmiršanu un pasaules ekosistēmu izzušanu. Bioloģiskās daudzveidības samazināšanās pirmo ietekmēs cilvēku, jo viņš ir atkarīgs no visdažādākajiem dabas resursiem.

Dabas aizsardzības bioloģija

Teoriju par kompleksajiem procesiem biosfērā zinātnieki tik tikko sākuši izstrādāt. Tāpēc vēl nav zināms, kā labāk ierobežot ātro bioloģiskās daudzveidības samazināšanās tempu visā pasaulē. Dabas aizsardzības bioloģija ir relatīvi jauna zinātnes nozare. Tai pievērsušies dažādu disciplīnu pārstāvji, kas apkopo zināšanas, lai novērstu bioloģiskās daudzveidības krīzi.

Dabas aizsardzības bioloģija pēta cilvēka iedarbības ietekmi uz sugām, biocenozēm un ekosistēmām, kā arī izvirza praktiskus priekšlikumus, kas palīdz novērst sugu izmiršanu un ekosistēmu iznīcināšanu. Senāk, pētīdami ekosistēmās notiekošos procesus, ekologi neņēma vērā cilvēka darbības ietekmi. Sugu aizsardzības pasākumi parasti tika veikti tām sugām, kurām bija komerciāla vai rekreatīva nozīme. Mūsdienās zinātnieki cenšas aizsargāt biocenozi kopumā. Dabas aizsardzības bioloģijas uzdevums ir, izmantojot pētījumu rezultātus un apkopojot pieredzi, izstrādāt dabas aizsardzības pasākumu programmas un sekmēt ekosistēmu aizsardzību.

Dabas aizsardzības bioloģija saskaras ar dažādām nozarēm, arī ekoloģisko ētiku. Vairums šīs nozares speciālistu uzskata, ka bioloģiskā daudzveidība ir ļoti svarīga un katra suga ir vērtība pati par sevi neatkarīgi no tā, vai tā ir tieši noderīga cilvēkam. Šī teorija pilnīgi apgāž uzskatu, ka sugas nozīmība ir saistīta tikai ar labumu, ko tā var dot cilvēkam. Dabas aizsardzības speciālisti sadarbībā ar valsts institūcijām cenšas izstrādāt koncepciju par līdzsvarotu attīstību. Tiek ņemtas vērā ekonomiskās intereses, vienlaikus domājot par to, lai saglabātu vidi nākamajām paaudzēm. Daži ekonomisti uzskata, ka pašlaik vides degradācija palielinās, tomēr pēc kāda laika, kad cilvēks būs iemācījies aizsargāt vidi, tā mazināsies.

Dabas aizsardzības bioloģija ir zinātne, kas pēta bioloģisko daudzveidību un izstrādā priekšlikumus sugu un ekosistēmu aizsardzībai, nodrošinot līdzsvarotu cilvēka labklājību.

Pārskats

Kāda būs mūsu pasaule 21. gadsimta beigās? Tā būs ļoti apdzīvota. Iedzīvotāju skaits uz Zemes būs sasniedzis 10 miljardus. Ja iedzīvotāju skaits nepārtraukti palielināsies, tiks apdraudēta katra ekosistēma.

Kā jau noskaidrojām II daļā, dzīvība uz Zemes ir atkarīga no saules gaismas. Izmantojot saules enerģiju, oglekļa dioksīdu un ūdeni, fotosintezējošie organismi producē glikozi un izdala skābekli. Konsumenti pārtiek no producentiem vai citiem konsumentiem. Oglekļa cikls biosfērā mūsdienās ir izjaukts, jo strauji pieaugusi fosilā kurināmā izmantošana un mitro tropisko mežu iznīcināšana. Rezultātā atmosfērā ir palielinājusies oglekļa dioksīda un citu gāzu koncentrācija, izraisot siltumnīcas efektu un atmosfēras sasilšanu.

Cilvēka darbības ietekmē atmosfērā nonākušie ķīmiskie savienojumi daudzviet pasaulē nolīst skābā lietus veidā. Rezultātā nokalst meži, tiek piesārņots dzeramais ūdens, ezeros iet bojā zivis. Gaisa piesārņojums saules gaismas ietekmē rada fotoķīmisko smogu, izraisot elpošanas ceļu slimības. Hlora atomi veicina ozona slāņa caurumu veidošanos, kas var izraisīt ādas vēzi un kataraktu.

Tā kā arvien vairāk tiek piesārņots saldūdens un pieaug vajadzība pēc tīra ūdens, jo palielinās Zemes iedzīvotāju skaits, tiek pārkāpti ūdens aizsardzības principi. Tas varbūt izskaidrojams ar to, ka arī okeāns ir piesārņots. Agrāk domāja, ka cilvēka darbība nevar piesārņot okeānu, jo tas ir milzīgs. Mūsdienās ir zināms, ka toksiskās ķīmiskās vielas, naftas produkti un dažādi jūrās izmesti atkritumi apdraud visu jūru ekosistēmas, kā arī tajās mītošos organismus.

Palielinoties iedzīvotāju skaitam, cilvēks sāks izspiest citas sugas no to dabiskajiem biotopiem, līdz ar to samazināsies bioloģiskā daudzveidība, jo bojā ies daudzas sugas. Vai cilvēkam ir jārūpējas par bioloģiskās daudzveidības saglabāšanu? Noteikti. Iedomājieties kāršu namiņu. Katrai atsevišķai kārtij ir noteikta vieta šajā konstrukcijā. Ja izņem vienu vai divas kārtis, namiņš, iespējams, nesabruks, tomēr parasti, kādu kārti izņemot, sagrūst viss namiņš. Tas pats notiek ar ekosistēmām. Izzūdot, piemēram, kādai gliemežu vai pūču sugai, var sākties nevēlamas pārmaiņas ekosistēmā.

Kopsavilkums

10.1. Cilvēku populācija un industrializācija

Cilvēku populācija nepārtraukti palielinās. Tiek plānots, ka 21. gadsimta beigās iedzīvotāju skaits uz Zemes sasniegs 10 miljardus. Lai gan vairums cilvēku (78 %) dzīvo mazattīstītajās valstīs, lielāko gaisa, ūdens un sauszemes piesārņojumu rada attīstīto valstu iedzīvotāji (22 %).

10.2. Globālās klimata pārmaiņas

Gaisu piesārņo visdažādākie savienojumi, piemēram, sēra dioksīds, ogļūdeņraži, slāpekļa oksīdi, metāns, hlorfluorogļūdeņraži, oglekļa dioksīds, oglekļa monoksīds un ozons. Vairums no šiem savienojumiem rodas, fosilā kurināmā sadegšanas un transporta gāzu izplūdes rezultātā.

Līdzīgi siltumnīcas stiklam oglekļa oksīds, slāpekļa oksīds, metāns un hlorfluorogļūdeņraži laiž cauri saules starus, bet atstaro infrasarkano starojumu. Līdz ar to veidojas tā sauktais siltumnīcas efekts, kas izraisa globālo sasilšanu. Globālās sasilšanas dēļ var celties ūdens līmenis okeānos un ievērojami mainīties klimats. Tas atstās iespaidu arī uz lauksaimniecību.

10.3. Globālās ķīmiskās pārmaiņas

Sēra dioksīds un slāpekļa oksīds, reaģējot gaisā ar ūdens pilieniem, veido skābes. Tās skābo lietu veidā nonāk uz zemes. Skābie lieti iznīcina ezerus un mežus, kā arī izraisa iežu dēdēšanu un metālu koroziju.

Ogļūdeņražiem un slāpekļa oksīdiem reaģējot, veidojas smogs, kas satur ozonu un peroksiacetilnitrātus. Šie savienojumi ir bīstami dzīvniekiem un augiem.

10.4. Ozona samazināšanās stratosfērā

Ozona slāņa sarukšanu izraisa hlorfluorogļūdeņraži. Šiem savienojumiem nokļūstot stratosfērā, atbrīvojas hlora joni, kas noārda ozonu. Ozona slānis samazina bīstamā ultravioletā starojuma intensitāti, tāpēc ozona slāņa sarukšana palielina iespēju saslimt ar ādas vēzi, kā arī samazina okeānu produktivitāti.

10.5. Virszemes ūdeņi, pazemes ūdeņi un okeāni

Pazemes ūdens krājumi tiek izmantoti 50 reizes ātrāk, nekā tie spēj atjaunoties. Nopietna problēma ir arī pazemes ūdeņu piesārņojums.

Uz sauszemes tiek izmesti cietie atkritumi, no kuriem daudzi ir ļoti bīstami. Vēlāk šīs vielas, piemēram, metāli, hlororganiskie savienojumi un radioaktīvie atkritumi, var nonākt ūdenī, bet savukārt šīs vielas kopā ar upju ūdeņiem nonāk okeānā.

10.6. Augsnes erozija, tuksnešu veidošanās un mežu platību samazināšanās

Augsnes erozija pazemina augsnes auglību, veicina tuksnešu veidošanos.

Kanādas meži un Dienvidaustrumu Āzijas, Okeānijas, Centrālamerikas, Dienvidamerikas un Āfrikas mitrie tropiskie meži tiek izcirsti, lai iegūtu koksni eksportam. Samazinoties mežu platībām, krasi samazinās arī bioloģiskā daudzveidība. Daudzi no apdraudētajiem organismiem, iespējams, varētu dot labumu arī cilvēkam, ja vien būtu laiks tos izpētīt un pieradināt.

10.7. Cilvēka ietekme uz bioloģisko daudzveidību

Cilvēka darbība ir izraisījusi bioloģiskās daudzveidības krīzi. Galvenie sugu izzušanas cēloņi ir individuālās un komerciālās medības, biotopu iznīcināšana vai sadalīšana, jaunu sugu introdukcija, kā arī piesārņojums.

Dabas aizsardzības bioloģija ir jauna zinātne, kas apkopo dažādu bioloģijas nozaru pētījumu rezultātus, lai noteiktu, kā vislabāk rūpēties par ekosistēmām, lai nodrošinātu eksistenci visām sugām, arī cilvēkam.

Pārbaudiet sevi

1. Izskaidrojiet, kāpēc mūsdienās visā pasaulē cilvēka darbība ietekmē vidi daudz straujāk un daudz lielākā apjomā! 190.–191. lpp.
2. Kādas vielas sekmē gaisa piesārņojumu? Kas ir to avoti? 191. lpp.
3. Kā un kāpēc mainās Zemes klimats? Kādas ir šo pārmaiņu prognozētās sekas? 192. lpp.
4. Kas izraisa skābos lietus? Kā skābais lietus ietekmē vidi? 194. lpp.
5. Kā veidojas fotoķīmiskais smogs? Kas izraisa termālo inversiju? 195. lpp.
6. Kādu labumu dod atmosfēras ozona slānis? Kādi piesārņotāji sekmē ozona slāņa sarukšanu? Kādas sekas tas rada? 196. lpp.
7. Kādi ir nozīmīgākie virszemes ūdeņu, pazemes ūdeņu un okeānu piesārņotāji? Kā notiek kaitīgo vielu uzkrāšanās organismos? 197.–198. lpp.
8. Paskaidrojiet, kāda sakarība pastāv starp augsnes eroziju un tuksnešu veidošanos! 200. lpp.
9. Kādas sekas ir tam, ka samazinās mitro tropisko mežu platības? 201. lpp.
10. Raksturojiet galvenos bioloģiskās daudzveidības samazināšanās cēloņus un dabas aizsardzības bioloģijas mērķus! 202.–203. lpp.

Tests

Izvēlieties vienu pareizo atbildi uz katru jautājumu!

Kādas vielas (A.–D.) izraisa 1.–4. jautājumā minētos procesus?

A. Sēra dioksīds
B. Ozons
C. Oglekļa dioksīds
D. Hlorfluorogļūdeņraži

1. Skābie lieti
2. Ozona slāņa sarukšana
3. Siltumnīcas efekts

4. Fotoķīmiskais smogs
5. Kurš apgalvojums ir pareizs?
   A. Attīstītās valstis nesekmē mitro tropisko mežu iznīcināšanu
   B. Galvenais siltumnīcas efekta cēlonis ir oglekļa dioksīds, kurš rodas, sadegot fosilajam kurināmajam
   C. Pazemes ūdeņus nevar piesārņot
   D. Sadegot fosilajam kurināmajam, izdalās sēra dioksīds
6. Kurš apgalvojums ir pareizs?
   A. Globālajai sasilšanai nav tūlītēju seku
   B. Globālā sasilšana ir nenovēršama
   C. Samazinot fosilā kurināmā izmantošanu, vājināsies siltumnīcas efekts
   D. Tā kā gāzes, kas rodas, sadedzinot fosilo kurināmo, tiek saistītas, tad fosilā kurināmā sadedzināšanas samazināšana nevājinās siltumnīcas efektu
7. Kāpēc mitro tropisko mežu iznīcināšana ir tik bīstama?
   A. Tā ievērojami samazina bioloģisko daudzveidību
   B. Tropiskās augsnes nav piemērotas ilgstošai lauksaimnieciskai izmantošanai
   C. Lielie meži absorbē oglekļa dioksīdu, samazinot globālo sasilšanu
   D. Visas atbildes ir pareizas
8. Kurš apgalvojums **nav** pareizs?
   A. Fosilā kurināmā sadedzināšana – oglekļa dioksīda izdalīšanās
   B. Kodolenerģija – radioaktīvie atkritumi
   C. Saules enerģija – siltumnīcas efekts
   D. Biomasas sadedzināšana – oglekļa dioksīda izdalīšanās
9. Kādas sekas rada skābie lieti?
   A. Ezeru un mežu bojāeju
   B. Paaugstinātu skābes saturu cilvēka gremošanas traktā
   C. Siltumnīcas efekta pavājināšanos
   D. Visas atbildes ir pareizas
10. Kāpēc ūdens ir atjaunojamais resurss?
    A. Tas vienmēr būs pieejams pietiekamā daudzumā
    B. Okeāni nevar tikt piesārņoti
    C. Tas var tikt piesārņots
    D. Notekūdeņu attīrīšanas iekārtas nodrošina tīru dzeramo ūdeni

Papildjautājumi

1. *Gaisa piesārņošana rada negatīvas sekas.*
   Pastāstiet, kā gaisa piesārņojums ir saistīts ar vides problēmām, kas aplūkotas šajā nodaļā!
2. *Mitrajiem tropiskajiem mežiem ir nozīmīga vieta biosfērā.*
   Paskaidrojiet, kāpēc jāaizsargā mitrie tropiskie meži!
3. *Bioloģiskā daudzveidība ietver trīs līmeņus – ģenētisko, sugu un ekosistēmu.*
   Izskaidrojiet, kā šie trīs bioloģiskās daudzveidības līmeņi ir savstarpēji saistīti!

Multimediju izmantošana

Tēmu par cilvēka ietekmi uz vidi palīdzēs apgūt šādi multimediji.

Interneta izmantošana
Šo nodaļu jums palīdzēs apgūt Maderas mājas lapa
http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader
(izvēlieties bioloģiju)



CD-ROM disks. *Exploration in Human Biology*
Pollution of a Freshwater Lake (#16)

Jēdzienu izpratne

Atjaunojamie enerģijas resursi 191. lpp.
Bioloģiskā uzkrāšanās 198. lpp.
Fosilais kurināmais 191. lpp.
Fotoķīmiskais smogs 195. lpp.
Hlorfluorogļūdeņraži 196. lpp.
Neatjaunojamie enerģijas resursi 191. lpp.
Notekūdeņu attīrīšana 197. lpp.
Ozona caurums 196. lpp.
Ozons 196. lpp.
Pazemes ūdeņi 197. lpp.
Peroksiacetilnitrāts 195. lpp.
Piesārņojums 192. lpp.
Siltumnīcas efekts 192. lpp.
Skābie lieti 194. lpp.
Termālā inversija 195. lpp.

Atrodiet definīcijai atbilstošu jēdzienu!

A. _____ – gaisa piesārņojums ar slāpekļa oksīdiem un ogļūdeņražiem, kas reaģējot veido ozonu un peroksiacetilnitrātu.
B. _____ – slānis, kas atmosfēras augšējos slāņos veidojas no skābekļa un aizsargā Zemi no ultravioletā starojuma.
C. _____ – sēra dioksīdu un slāpekļa dioksīdu saturoši nokrišņi.
D. _____ – process, kurā vielu koncentrācija organismos palielinās barošanās tīkla augšējos trofiskajos līmeņos.
E. _____ – infrasarkanā starojuma atstarošana atpakaļ uz Zemi.

Ieteicamā papildliteratūra II daļai

Allen, J. L., editor. *Environment 96/97.* 1996. Guilford, Conn.: Dushkin Publishing Group/Brown & Benchmark Publishers. This volume is a collection of articles pertaining to the problems and issues of the environment and environmental quality.

Anderson, D. M. August 1994. Red tides. *Scientific American* 271(2): 62. The frequency of toxic red tides has been increasing because popullution provides rich nutrients, which encourages algal bloom.

Balick, M. J., and Cox, P. A. 1996. *Plants, people, and culture: The science of ethnobotany.* New York: *Scientific American* Library. This interesting, well-illustrated book discusses the medicinal and cultural uses of plants, and the importance of rain forest conservation.

Begon, M., et al. 1996. *Ecology: Individuals, populations, and communities.* London: Blackwell Science Ltd. This text discusses the distribution and abundance of organisms and their physical and chemical interactions within ecosystems.

Begon, M., et al. 1996. *Population ecology: A unified study of animals and plants.* 3d ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications. The present state of population ecology is described in this introductory-level text.

Béland, P. May 1996. The beluga whales of the St. Lawrence River. *Scientific American* 274(5): 74. Pollution and hydroelectric projects take their toll on the Beluga whale.

Blaustein, A. R., and Wake, D. B. April 1995. The puzzle of declining amphibian populations. *Scientific American* 272(4): 52. Many species are disappearing; this may be a result of changes in the environment, including pollution, disease, and diet.

Borman, F. H., and Likens, G. E. 1994. *Pattern and process in a forested ecosystem.* New York: Springer-Verlag. Disturbance, development, and the steady state based on the Hubbard Brook Ecosystem Study is presented.

Brewer, R. 1994. *The science of ecology.* 2nd ed. Fort Worth: Saunders College Publishing. This text for ecology majors considers the role of humans in nature and in the environment, and uses scientific studies to illustrate ecological principles.

Broecker, W. S. November 1995. Chaotic climate. *Scientific American* 273(5): 62. Researchers are beginning to understand past climate patterns; this knowledge may be used to predict future patterns.

Brown, B. E., and Ogden, J. C. 1993. Coral bleaching. *Scientific American* 268(1): 64. Coral bleaching usually occurs due to abnormally high seawater temperatures, and this could indicate global warming.

Charlson, R., and Wigley, T. L. February 1994. Sulfate aerosal and climatic change. *Scientific American* 270(2): 48. Sulfur aerosals scatter sunlight back into space before it can contribute to global warming.

Collier, M. P., et al. January 1997. Experimental flooding in Grand Canyon. *Scientific American* 276(1): 82. Periodic man-made floods may improve the canyon environment.

Cowen, R. 1995. *The history of life.* 2d ed. Boston: Blackwell Scientific Publications. From the origin of life through human evolution, this is an introduction to paleontology and paleobiology.

Cox, G. 1997. *Conservation ecology.* 2d ed. Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers. Discusses the nature of the biosphere, the threats to its integrity, and ecologically sound responses.

Cox, P. A., and Balick, M. J. June 1994. The ethnobotanical approach to drug discovery. *Scientific American* 270(6): 82. Many rain forest plants are used by indigenous cultures for medicinal purposes; these flora should be screened for pharmaceutical compounds.

Cranbrook, E., and Edwards, D. S. 1994. *Belalong: A tropical rain forest.* London: The Royal Geographic Society, and Singapore: Sun Tree Publishing. This is a readable, well-illustrated account of biodiversity in a Brunei rain forest.

Cunningham, W. P., and Saigo, B. W. 1997. *Environmental science: A global concern.* Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers. Provides scientific principles plus insights into the social, political, and economic systems impacting the environment.

Dobson, A. P. 1996. *Conservation and biodiversity.* New York: *Scientific American* Library. Discusses the extent and the value of biodiversity, and describes attempts to manage endangered species.

Duellman, W. E. 1992. Reproductive strategies of frogs. *Scientific American* 267(1): 80. Frogs have mananged to colonize niches throughout the terrestrial environment.

Eisner, T., and Wilson, E. O., editors. 1994. Readings from *Scientific American: Animal behavior.* San Francisco: W. H. Freeman and Co. A collection of articles on animal behavior.

Frosch, R. A. September 1995. The industrial ecology of the 21st century. *Scientific American* 273(3): 178. Taking lessons from the natural ecological system, industries may be able to recycle materials and minimize waste.

Getis, J. 1991. *You can make a difference: Help protect the earth.* Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publischers. Presents challenges and responses with regard to environmental problems, and interesting alternatives to common household chemicals and cleaners.

Grier, J., and Burk, T. 1992. *Biology of animal behavior.* 2d ed. St. Louis: Mosby-Year Book, Inc. Essays integrate the structure and function of behavior with topics of ethology, comparative psychology, and neurobiology.

Hammond, A. L., et al., editors. 1994. *World resources 1994–1995: A report by the World Resources Institute.* New York: Oxford University Press. This report provides accurate information on natural resorce management.

Hammond, A. L., et al., editors. 1996. *World resources 1996–1997: The urban environment.* New York: Oxford University Press. This report provides accurate information on urban environmental management.

Hedin, L. O., and Likens, G. E. December 1996. Atmospheric dust and acid rain. *Scientific American* 274(6): 88. Although there has been a reduction in acidic air pollutants, acid rain continues to be a problem.

Hoagland, W. September 1995. Solar energy. *Scientific American* 273(3): 170. Article discusses the use of solar energy to provide fuels.

Holloway, M. April 1994. Nurturing nature. *Scientific American* 270(4): 98. Florida's Everglades are serving as a testing groundņ and battlefieldņ for an epic attempt to restore an environment damaged by human activity.

Holloway, M. August 1994. Diversity blues. *Scientific American* 271(2): 16. Toxic tides, coastal development, and pollution are increasing; oceanic biodiversity is suffering.

Holloway, M., and Horgan, J. 1991. Soiled shores. *Scientific American* 265(4): 102. An evaluation of the effectiveness of cleanup techniques after the *Exxon Valdez* spill, and the implications for Persian Gulf cleanup.

Kirchner, W., and Towne, W. June 1994. The sensory basis of the honeybees' dance language. *Scientific American* 270(6): 74. The honeybees' elaborately choreographed dance and its sounds communicate to nestmates where food outside the hive is located.

Klinkenborg, V. December 1995. A farming revolution. *National Geographic* 188(6): 60. Farmers are experiencing strong crop yields by practicing farming methods that promote sustainable agriculture.

Kovacs, K. March 1997. Bearded seals. *National Geographic* 191(3): 124. This article describes a behavioral study of bearded seals in their natural environment.

Krebs, C. 1994. *Ecology.* 4th ed. New York: Harper-Collins. This book discusses the distribution and abundance of organisms at the population and community levels.

Laman, T. April 1997. Borneo's strangler fig trees. *National Geographic* 191(4): 38. Giant parasitic trees in the rain forests of Borneo kill their hosts, but provide food for other animals.

Lents, J. M., and Kelly, W. J. 1993. Clearing the air in Los Angeles. *Scientific American* 269(4): 32. During the past two decades, pollution has been cut dramatically, even as population and the number of automobiles soared.

Lohmann, K. 1992. How sea turtles navigate. *Scientific American* 266(1): 100. A combination of cues from the earth's magnetic field and the steady seasonal pattern of waves may be the sources of sea turtles' biological maps and compass.

May, R. M. 1992. How many species inhabit the earth? *Scientific American* 267(4): 42. Author argues that an accurate census of species is crucial to preserve biological diversity and to manage the earth's resources.

Miller, G. T. 1996. *Living in the environment*. 9th ed. Belmont, Calif.: Wadsworth Publishers. Designed for use in an introductory course on environmental science, this book discusses how the environment is being used and abused, and what individuals can do to protect the environment.

Mitchell, J. G. February 1996. Our plluted runoff. *National Geographic* 189(2): 106. 80 % of U. S. water pollution is due to land runoff not resulting from municipal or industrial sources.

Morgan, M. et al. 1993. *Environmetal science: Managing biological and physical resources*. Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers. Written for the undergraduate, this book explains how various environmental issues are linked.

Murawski, D. A. March 1997. Moths come to light. *National Geographic* 191(3): 40. Moths display a variety of disguises for survival.

Nemecek, S. August 1997. Frankly, my dear, I don't want a dam. *Scientific American* 277(2): 20. The article discusses how dams affect biodiversity.

Newman, E. 1993. *Applied ecology*. Oxford: Blackwell Scientific Publications. Presents the role of biological science in environmental preservation (a basic knowledge of related fields of science and math is assumed).

Odum, E. 1997. *A bridge between science and society*. 3d ed. Sunderland, Mass.: Sinauer Associates. Introduces the principles of modern ecology as they relate to threats to the biosphere.

Pfenning, D. W., and Sherman, P. W. June 1995. Kin recognition. *Scientific American* 272(6): 98. Discusses various methods organisms use to identify siblings.

Pinter, N. and Brandon, M. T. April 1997. How erosion builds mountains. *Scientific American* 276(4): 74. The building of mountains depends on the destructive power of water and wind, as well as volcanic eruptions and seismic plate collisions.

Plucknett, D. L., and Winkelmann, D. L. September 1995. Technology for sustainable agriculture. *Scientific American* 273(3): 182. The practice of sustainable agriculture, increasing productivity, while protecting the environment, will be difficult to achieve in developing countries.

Pollack, H., and Chapman, D. June 1993. Underground records of changing climate. *Scientific American* 268(6): 44. More is being learned about global climate through geological studies.

Primak, R. B. 1995. *A primer of conservation biology*. Sunderland, Mass.: Sinauer Associates. The relatively new discipline of conservation biology addresses the alarming loss of biological diversity throughout the world.

Prugh, T. 1995. *Natural capital and human economic survival*. Solomons, Md: ISEE Press. A concise treatment detailing the necessity of incorporating the dynamics of ecosystems into economic and commercial systems.

Reganold, J. P., et al. 1990. Sustainable agriculture. *Scientific American* 262(6): 112. Conservation-minded farming methods combined with modern technology can reduce farmers' dependence on dangerous chemicals.

Rennie, J. 1992. Living together. *Scientific American* 266(1): 122. Ecologists are studying intimate associations that develop between host and parasite; these associations may have fundamentally shaped the evolution of all living things.

Rice, R. E., et al. April 1997. Can sustainable management save tropical forests? *Scientific American* 276(4): 44. The strategy of replacing trees harvested for lumber in the rain forests often fails.

Robinson, B. H. July 1995. Light in the ocean's midwaters. *Scientific American* 273(1): 60. New technology allows organisms found in the very deep, dark benthic regions of the ocean to be seen.

Safina, C. November 1995. The world's imperiled fish. *Scientific American* 273(5): 46. Article discusses the decline of fish populations due to the commercial fishing industry.

Schmidt, M. J. January 1996. Working elephants. *Scientific American* 274(1): 82. In Asia, teams of elephants serve as an alternative to destructive logging equipment.

Smith, R. 1996. Ecology and field biology. 5th ed. New York: Harper & Row. Presents a balanced introduction to ecologyņ plant and animal, theoretical and applied, physiological and behavioral, and population and ecosystem.

Stiling, P. D. 1996. *Ecology: Theories and applications*. 2nd ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall. This text for ecology majors stresses the role of evolution and behavior in ecology, and uses scientific studies to illustrate the distribution and abundance of plants and animals.

Strobel, G. A. 1991. Biological control of weeds. *Scientific American* 265(1): 72. Presents environmentally compatible alternatives to chemical herbicides.

Toon, O. B., and Turco, R. P. 1991. Polar stratospheric clouds and ozone depletion. *Scientific American* 264(6): 68. Clouds and CFCs create the ozone hole in Antarctica.

Tumlinson, J. H., et al. 1993. How parasitic wasps find their hosts. *Scientific American* 266(3): 100. Besides recognizing odors from their caterpillar hosts, wasps also learn to identify compounds released by the plant on which the caterpillars feed.

Whitehead, H. November 1995. Sperm whales. *National Geographic* 188(5): 56. The social sperm whale forms extended family units.

III DAĻA

Dzīvības daudzveidība

11. Dzīvo būtņu klasifikācija
12. Vīrusi, baktērijas un arheji
13. Protisti
14. Sēnes
15. Augi
16. Dzīvnieku valsts. Ievads bezmugurkaulnieku zooloģijā
17. Dzīvnieki. Pirmmutnieki
18. Dzīvnieki. Otrmutnieki

Izmantojot fosilās, molekulārās un cita veida liecības, biologi ir noteikuši evolucionārās saiknes starp lielākajām organismu grupām un kopumā pārzina dzīvības daudzveidības rašanās gaitu. Filoģenētiskie koki palīdz šīs attiecības saskatīt, tomēr ir svarīgi saprast, ka evolūcijas procesam nav noteikta virziena un dzīvība neattīstās obligāti no vienkāršākā uz sarežģītāko. Katra attīstības līnija ir sīks zariņš plaši sazarotā krūmā, kuram nav galvenā stumbra.

Dzīvības daudzveidību nosaka pielāgošanās noteiktiem dzīves apstākļiem. Vienšūnas protozoji un zaļaļģes ir piemērojušās dzīvei dīķī, sēnes barojas ar organiskajām vielām, kas atrodamas jebkura mauriņa augsnē, kukaiņiem lidojums paver iespējas izbēgt no ienaidnieka un iegūt barību. Šie organismi ir tikpat labi pielāgojušies savam dzīvesveidam kā komplicētākie ziedaugi un mugurkaulnieki savējam. Bioloģisko pētījumu rezultātā ir izzināti daudzie ceļi, kādus dzīvie organismi ir nogājuši, lai dažādā veidā atrisinātu kopīgas savas eksistences problēmas. Visiem organismiem ir jāuzņem vielas un enerģija, jāaizsargā sevi un jāvairojas.

Dzīvo būtņu klasifikācija

11. NODAĻA

Nodaļas saturs

11.1. Organismu nosaukšana un klasifikācija

- Katrai atklātajai sugai ir dots divkāršais jeb binārais nosaukums, kas ietver ģints nosaukumu un sugas epitetu. 210. lpp.
- Sugas atšķiras ar to uzbūvi, vielmaiņu, reproduktīvo izolāciju un evolucionāro radniecību. Šajā nodaļā uzsvērta evolucionārā radniecība. 212. lpp.
- Klasificējot organismus, sugu iekļauj ģintī, dzimtā, rindā, klasē, nodalījumā, valstī un domēnē (augstākajā klasifikācijas kategorijā). 212. lpp.

11.2. Filoģenētisko koku veidošana

- Sistemātika ietver gan taksonomiju (nosaukumu došanu organismiem), gan klasifikāciju (sugu iekļaušanu noteiktās kategorijās). 214. lpp.
- Līdzību, molekulāros datus un fosilos atradumus izmanto, lai noskaidrotu sugu evolucionāro radniecību un izveidotu filoģenētiskos kokus – diagrammas, kas parāda to radniecību. 215., 217. lpp.
- Ir trīs galvenie sistemātikas virzieni: tradicionālais, kladistiskais un numerāli fenētiskais. 213. lpp.

11.3. Valstu skaita noteikšana

- Sistēmā, kurā ir piecas valstis, ietilpst augi *(Plantae)*, dzīvnieki *(Animalia)*, sēnes *(Fungi)*, protisti *(Protista)* un monēri *(Monera)*. 220. lpp.
- Mūsdienās visus organismus iedala trijās domēnēs: baktērijas *(Bacteria)*, arheji *(Archaea)* un eikarioti *(Eukarya)*. 220. lpp.



Zeltainais krupis *(Bufo periglenses)* Kostarikas lietusmežā

Tā kā dzīvo būtņu ir ļoti daudz, zinātnieki jau sen saprata, ka ir nepieciešams veids, kā tos klasificēt un nosaukt atsevišķas sugas. Sengrieķu filozofs Aristotelis apmēram pirms diviem tūkstošiem gadu bija izveidojis vienkāršu klasifikācijas sistēmu. Tomēr līdz pat 18. gadsimtam nebija vienotas sistēmas. Tad zviedru biologs Kārlis Linnejs izstrādāja sistemātikas metodi sugu nosaukumu veidošanai, kuru izmanto līdz pat mūsdienām. Sugas zinātniskais nosaukums sastāv no diviem latīņu vārdiem, piemēram, cilvēks ir *Homo sapiens*. Nav divu sugu ar vienādu zinātnisko nosaukumu.

Organismus pamatā klasificē, balstoties uz to evolucionāro radniecību ar citām sugām. Piemēram, lietusmežā tiek atrasta jauna krupju suga. Dzīvnieka vairošanās uzvedība, anatomija un ģenētika tiek izpētīta un salīdzināta ar līdzīgu, iepriekš zināmu krupju pazīmēm. Kad jaunā krupja saiknes ar citiem krupjiem ir noskaidrotas, var lemt par nosaukuma piešķiršanu tam un klasifikāciju. Ir vairākas klasifikācijas skolas, un dažas no tām ir samērā jaunas. Organismu klasifikācija nav statiska bioloģijas nozare; tā mainās laika gaitā līdz ar jauniem atklājumiem un jaunām idejām.



11.1. attēls. Organismu klasifikācija
Kā var klasificēt attēlos redzamos organismus? Mākslīgā sistēma neņemtu vērā to iespējamo saistību evolūcijas gaitā, kā to dara dabiskā sistēma.

11.1. Organismu nosaukšana un klasifikācija

Lai klasificētu visus dzīvos organismus, kuri ir pazīstami (11.1. att.), ir jāsāk veidot sarakstu un katram organismam jāpiešķir savs nosaukums. Pēc tam organismi būtu jāsadala noteiktās grupās. Kādus kritērijus tam izmanto – krāsu, lielumu, personisko attieksmi pret tiem? Šajā gadījumā izšķirties par grupu skaitu, veidu un izkārtojumu nebūtu viegli un, iespējams, ik pēc kāda laika nāktos sākt visu no jauna, izmantojot kādu citu pazīmi. Biologiem nav viegli izlemt, kā dzīvās būtnes vajadzētu klasificēt, un šajā ziņā vēsturiski ir notikušas dažādas pārmaiņas.

Taksonomija (gr. *tasso* – sakārtot, klasificēt un *nomos* – pielietojums, likums) ir bioloģijas nozare, kas nodarbojas ar organismu raksturošanu un nosaukumu došanu tiem. Taksonomijas attīstība sākās jau Senajā Grieķijā un Romā. Mūsdienās lieto zinātniskos nosaukumus latīņu valodā. Slavenais sengrieķu filozofs Aristotelis bija pirmais, kas interesējās par taksonomiju. Daudz vēlāk – septiņpadsmitajā gadsimtā – britu dabaszinātnieks Džons Reijs uzskatīja, ka katram organismam nepieciešams savs nosaukums. Viņš teica: "Ja cilvēks nezina dabas objektu nosaukumus, iespējas, viņš nevar tos skaidri atšķirt no citiem līdzīgiem objektiem un neprot par tiem pastāstīt."

Divdaļīgo (bināro) nosaukumu pieņemšana

Pazīstamo organismu skaits astoņpadsmitā gadsimta vidū ievērojami pieauga, jo eiropieši ceļoja uz tālām pasaules malām. Tieši šajā laikā Kārlis Linnejs (1707–1778) izveidoja **bināro sistēmu** sugu nosaukumu darināšanai (11.2. att.). Nosaukumam ir divas daļas. Piemēram, *Lilium bulbiferum* un *Lilium canadense* ir divas dažādas liliju sugas. Pirmais vārds – *Lilium* – ir ģints nosaukums. Ģints ir klasifikācijas kategorija, kurā var ietilpt daudz sugu. Otrais vārds ir šai ģintij piederošas sugas epitets. Sugas vārds dažreiz raksturo kādu organisma pazīmi. Zinātnisko nosaukumu parasti raksta kursīvā (slīpi). Ģints nosaukumu latīņu valodā vienmēr raksta ar lielo sākuma burtu, bet sugas epitetu – ne. Sugu vienmēr apzīmē ar abiem vārdiem. Šai piemērā tās ir *Lilium bulbiferum* un *Lilium canadense*. Sugas epitets viens pats nenorāda sugu – gluži tāpat kā mājas numurs



A



B



C

11.2. attēls. Kārlis Linnejs
A. Linnejs ir taksonomijas tēvs, kas mums devis bināro sistēmu organismu klasifikācijai. Viņu īpaši interesēja augu klasifikācija. **B.** *Lilium bulbiferum.* **C.** *Lilium canadense.*

bez ielas nosaukuma nerada skaidrību par to, kura konkrētā māja ir minēta. Ģints nosaukumu var lietot vienu pašu, norādot radniecīgu sugu grupu.

Kāpēc nepieciešams organismu zinātniskos nosaukumus dot latīņu valodā, bet nevar lietot tikai organismu tautas nosaukumus? Tautas nosaukums dažādās valstīs atšķiras kaut vai tāpēc vien, ka dažādās valstīs runā dažādās valodās. Tāpēc ir nepieciešams izmantot universālu valodu – latīņu valodu, kuru saprot lielākā daļa izglītotu cilvēku. Pat tie, kuri runā vienā valodā, dažreiz lieto dažādus tautas nosaukumus vienam un tam pašam organismam. Luiziānas gārnis un trejkrāsu gārnis ir viena un tā pati putnu suga, kas dzīvo Amerikas Savienoto Valstu dienvidos. Dažādās valstīs līdzīgs tautas nosaukums var tikt dots dažādām sugām. Sarkankrūtītis Anglijā ir pavisam cits putns nekā sarkankrūtītis Savienotajās Valstīs. Arī Latvijā par sarkankrūtīti dažādos novados sauc atšķirīgus putnus. Kad zinātnieki lieto vienu un to pašu zinātnisko nosaukumu, viņi zina, ka runā par vienu un to pašu organismu.

Sugu aprakstīšana un nosaukumu došana ir grūts uzdevums. Ir aprēķināts, ka pašlaik uz Zemes dzīvo no 3 līdz 30 miljoniem vai pat vēl vairāk sugu, bet no visām tām nosaukumi ir doti kādam miljonam dzīvnieku sugu un pusmiljonam augu un mikroorganismu sugu. Dažas organismu grupas ir izpētītas labāk nekā citas. Iespējams, ka nobeigumam tuvojas putnu sugu raksturošana, turpretim vēl ir simtiem tūkstošu nenosauktu kukaiņu sugu.

Organisma zinātniskais nosaukums sastāv no ģints nosaukuma un sugas epiteta. Tikai pilns binārais nosaukums norāda sugu.



11.3. attēls. Sugu noteikšana
Noteikt piederību kādai sugai var būt samērā sarežģīti, īpaši gadījumos, kad tēviņš un mātīte pēc izskata nav līdzīgi, kā tas ir šai meža pīlei *(Anas platyrhynchos)*.



11.4. attēls. Starpsugu hibridizācija
Attēlā redzams zirga un zebras hibrīds. Līdzīgi mūļiem, zebroīdi ir pilnīgi neauglīgi to vecāku sugu hromosomu atšķirību dēļ.

Kas ir suga?

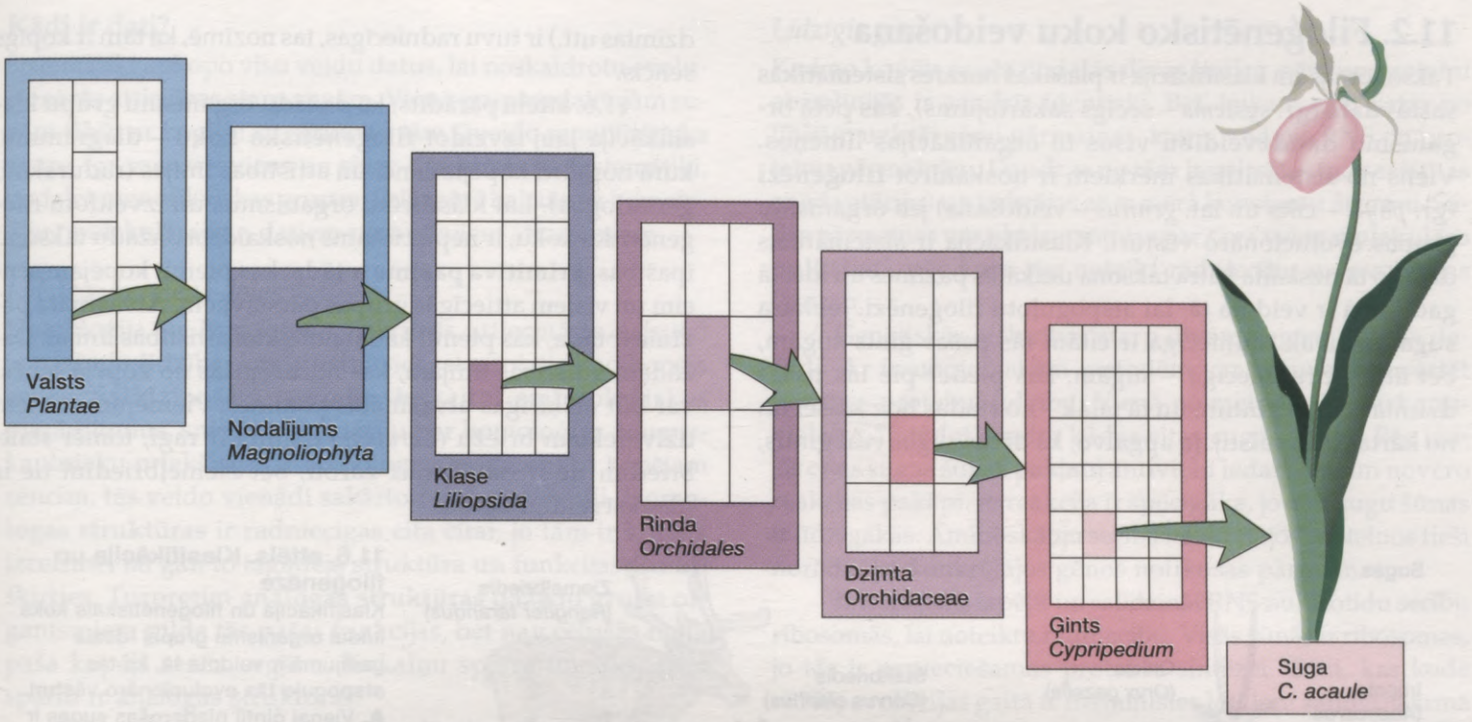
Ir dažādas pazīmes, ko izmanto sugu atšķiršanai, un katrai no tām ir savas priekšrocības un trūkumi. Linnejs katrai sugai sameklēja tās uzbūves pazīmes, kuru nebija līdzīgu sugu pārstāvjiem. Putniem uzbūves atšķirības ir saistītas ar ķermeņa, kāju, knābja vai spārnu lielumu, formu un krāsu. Tomēr ir ļoti labi zināms, ka arī starp vienas sugas pārstāvjiem pastāv atšķirības. Atšķirības starp tēviņiem un mātītēm, starp jaunajiem un pieaugušajiem īpatņiem katra organisma sugas noteikšanu padara vēl grūtāku (11.3. att.).

Sugas bioloģiskā definīcija apgalvo, ka raksturīgās pazīmes vecāki nodod pēcnācējiem. Šī definīcija, kas norāda, ka vienas sugas īpatņi savstarpēji krustojas un pārstāv kopēju genofondu, ir attiecināma tikai uz organismiem, kas vairojas dzimumceļā, un to nevar lietot organismiem, kas vairojas bezdzimumiski. Organismi, kas vairojas dzimumceļā, ne vienmēr ir reproduktīvi tik izolēti, kā varētu domāt. Ja sugai ir ģeogrāfiski plaša izplatība, var veidoties dažas atšķirīgas grupas, kurām ir tendence krustoties tad, kad to populācijas pārklājas. Šādos gadījumos šīs populācijas sauc par pasugām un to nosaukumā ir trīs vārdi. Piemēram, *Elaphe obsoleta bairdi* un *Elaphe obsoleta obsoleta* ir divas vienas un tās pašas čūsku sugas *Elaphe obsoleta* pasugas. Iespējams, ka abas šīs pasugas ir atsevišķas, patstāvīgas sugas. Pat tās sugas, kas pilnīgi noteikti ir dažādas sugas, dažreiz var krustoties (11.4. att.). Tāpēc hibridizācijas esamība vai trūkums arī var nebūt pietiekami labs rādītājs kādas sugas nodalīšanai.

Šajā nodaļā aplūkota **klasifikācija** – organismu iedalījums kategorijās, pamatojoties uz to **filoģenēzi** jeb organismu evolucionārajām saiknēm. Suga ir taksonomiska kategorija, kas ir zemāka par ģinti. Vienas un tās pašas ģints sugām atšķirībā no sugām, kas pieder pie citiem taksoniem, kopējas ir visjaunākās pazīmes no to senčiem. **Taksoni** (gr. *tasso* – sakārtot, klasificēt) ir organismu grupas, kas veido noteiktu klasifikācijas kategoriju. Rozes *(Rosa)* un kaķi *(Felis)* ir ģints ranga taksoni. **Kopējais sencis** ir tāds, no kura veidojušās vismaz divas attīstības līnijas; piemēram, visām rozēm ir viens kopējs sencis.

Kā klasificēt?

Klasifikācija, kas sākas tad, kad organismam tiek dots nosaukums, ietver taksonomiju, jo sugas un ģintis ir divas klasifikācijas kategorijas. Pētnieki, kurus iepriekš minējām, bija taksonomisti, kas devuši personīgo ieguldījumu klasifikācijas attīstībā. Aristotelis dzīvās būtnes iedalīja 14 grupās – zīdītāji, putni, zivis un tā tālāk. Grupas viņš sīkāk sadalīja, vadoties pēc organismu lieluma. Reijs lietoja dabiskāku sistēmu, jo viņš grupēja dzīvniekus un augus pēc tā, kāda varētu būt to radniecība, bet Linnejs vienkārši izmantoja atšķirības zieda daļu uzbūvē, lai augus iedalītu tādās kategorijās, kādas mēs lietojam arī mūsdienās: suga, ģints, rinda un klase. Viņš savus pētījumus publicēja grāmatā "Dabas sistēma" *(Systema Naturae)*.



11.5. attēls. Taksonomiskā hierarhija
Valsts ir augstākā klasifikācijas kategorija. Augu valstī ir vairāki nodalījumi, no kuriem katrs attēlots ar taisnstūri pirmajā diagrammā. Magnoliju *(Magnoliophyta)* nodalījumā ir tikai divas klases (viendīgļlapji un divdīgļlapji). Liliju *(Liliopsida)* klasē ir daudz rindu. Orhideju *(Orchidales)* rindā ir daudz dzimtu, bet orhideju *(Orchidaceae)* dzimtā ir daudz ģinšu. Savukārt dzegužkurpīšu *(Cypripedium)* ģintī ir daudz sugu, piemēram, *Cypripedium acaule*.

11.1. tabula

Cilvēka klasifikācija

Valsts dzīvnieki *(Animalia)*	Eikarioti, parasti kustīgi daudzšūnu organismi, bez šūnapvalka un hlorofila; parasti ir iekšējs ķermeņa dobums barības sagremošanai.
Tips hordaiņi *(Chordata)*	Organismi, kuriem kādā no attīstības stadijām mugurpusē ir doba nervu caurule – notohorda un žaunu atveres.
Klase zīdītāji *(Mammalia)*	Siltasiņu mugurkaulnieki ar piena dziedzeriem. Ķermenis vairāk vai mazāk klāts ar matiem; labi attīstītas galvas smadzenes.
Kārta primāti *(Primates)*	Augsti attīstītas galvas smadzenes, pārējiem pirkstiem pretstatīts roku un dažreiz arī kāju īkšķis; nav ilkņu, zvīņu, ragu un makstnagu.
Dzimta hominīdi *(Hominidae)*	Locekļu uzbūve piemērota stāvus stāvoklim un staigāšanai uz divām kājām.
Ģints cilvēks *(Homo)*	Maksimāli attīstītas galvas smadzenes un to atsevišķās daļas; rokas uzbūve piemērota rīku gatavošanai.
Suga *sapiens**	Mūsdienu cilvēka ķermeņa proporcijas; galvas smadzenēs labi attīstīti runas centri.

* *Lai nosauktu organismu, jālieto pilns tā sugas nosaukums* Homo sapiens.

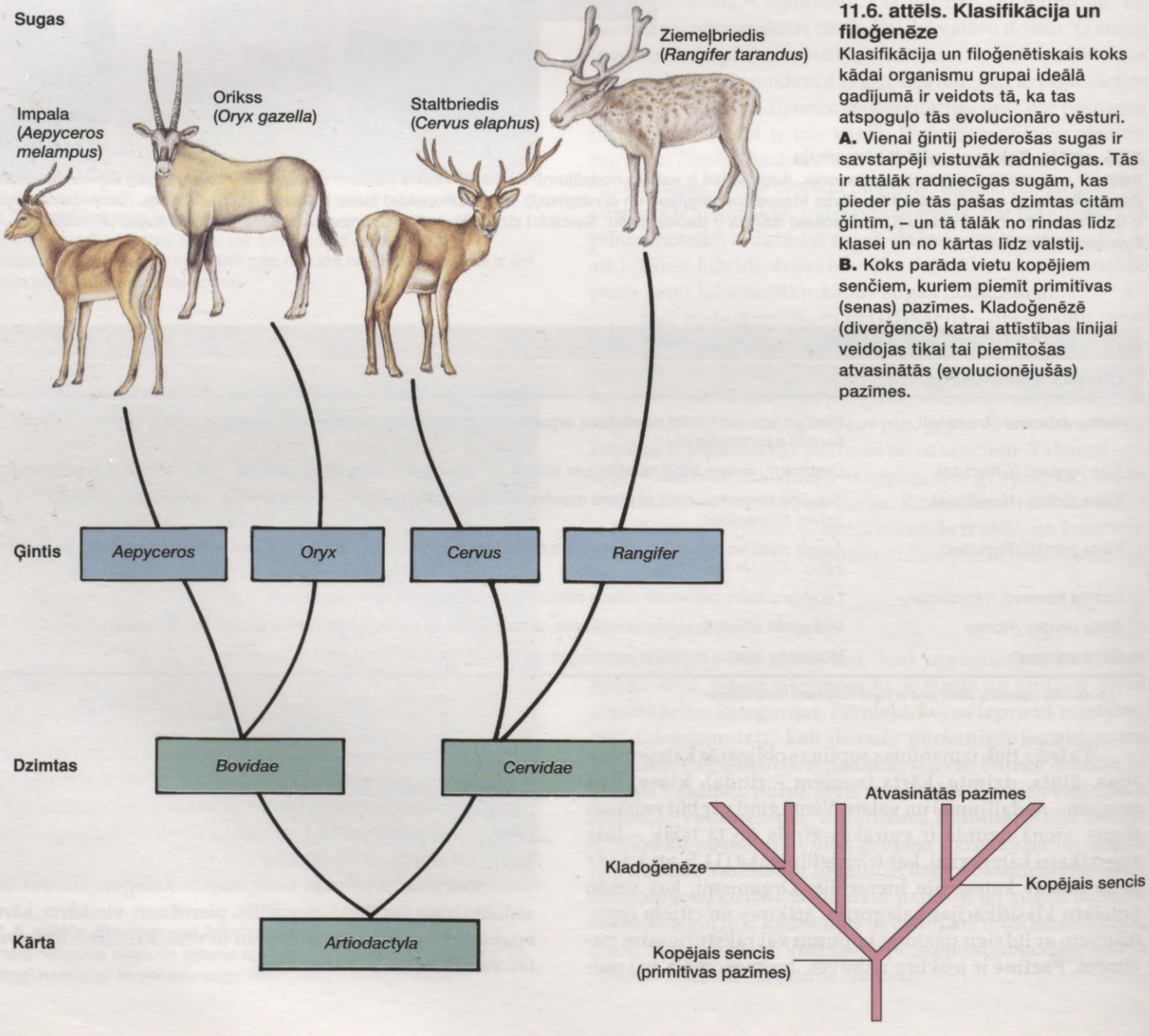
Pašreiz tiek izmantotas septiņas obligātās kategorijas: **suga, ģints, dzimta, kārta** (augiem – **rinda**), **klase, tips** (augiem – **nodalījums**) un **valsts**. Vienā ģintī var būt vairākas sugas, vienā dzimtā ir vairākas ģintis un tā tālāk – līdz augstākajai kategorijai, kas ir visietilpīgākā (11.5. att.). Līdz ar to pastāv kategoriju hierarhija. Organismi, kas veido noteiktu klasifikācijas kategoriju, atšķiras no citiem organismiem ar līdzīgu pazīmju kopumu vai raksturīgajām pazīmēm. **Pazīme** ir jebkura uzbūves, hromosomāla vai molekulāra īpašība, kas atšķir vienu grupu no kādas citas grupas. Organismiem vienā un tajā pašā valstī ir kopējas vispārīgās pazīmes; vienas un tās pašas sugas īpatņiem ir kopējas sugas pazīmes. 11.1. tabulā uzskaitītas dažas pazīmes, kas izmantotas cilvēka klasifikācijai.

Katra no septiņām obligātajām kategorijām var tikt sadalīta trijās papildu kategorijās, piemēram, virskārta, kārta, apakškārta un infrakārta. Ņemot to vērā, klasifikācijā ietvertas vairāk nekā 30 kategorijas.

11.2. Filoģenētisko koku veidošana

Taksonomija un klasifikācija ir plašākas nozares **sistemātikas** sastāvdaļa (gr. *systema* – secīgs sakārtojums), kas pēta organismu daudzveidību visos to organizācijas līmeņos. Viens no sistemātikas mērķiem ir noskaidrot **filoģenēzi** (gr. *phyle* – cilts un lat. *genitus* – veidošana) jeb organismu grupas evolucionāro vēsturi. Klasifikācija ir sistemātikas daļa, jo tā uzskaita katra taksona unikālās pazīmes un ideālā gadījumā ir veidota tā, lai atspoguļotu filoģenēzi. Jebkura suga vistuvāk radniecīga ir citām tās pašas ģints sugām, bet attālāk radniecīga – sugām, kas pieder pie tās pašas dzimtas citām ģintīm, un tā tālāk – no rindas līdz klasei un no kārtas līdz valstij. Ja apgalvo, ka divas sugas (vai ģintis, dzimtas utt.) ir tuvu radniecīgas, tas nozīmē, ka tām ir kopīgs sencis.

11.6. attēlā parādīts, kā dažādu organismu grupu klasifikācija ļauj izveidot **filoģenētisko koku** – diagrammu, kurā norādīti kopējie senči un attīstības līnijas (raduraksti, ģenealoģija). Lai klasificētu organismus un izveidotu filoģenētisko koku, ir nepieciešams noskaidrot dažādu taksonu īpašības. **Primitīva pazīme** ir tāda, kas piemīt kopējam sencim un visiem attiecīgās grupas pārstāvjiem. **Atvasināta pazīme** ir tāda, kas piemīt kādai noteiktai attīstības līnijai. Dažādām attīstības līnijām, kas nozarojušās no kopējā senča, var būt atšķirīgas atvasinātās pazīmes. Piemēram, visiem dzīvniekiem briežu *(Cervidae)* dzimtā ir ragi, tomēr staltbriedim tie ir daudzkārt zaroti, bet ziemeļbriedim tie ir plaukstveidīgi zaroti.



11.6. attēls. Klasifikācija un filoģenēze
Klasifikācija un filoģenētiskais koks kādai organismu grupai ideālā gadījumā ir veidots tā, ka tas atspoguļo tās evolucionāro vēsturi. **A.** Vienai ģintij piederošas sugas ir savstarpēji vistuvāk radniecīgas. Tās ir attālāk radniecīgas sugām, kas pieder pie tās pašas dzimtas citām ģintīm, – un tā tālāk no rindas līdz klasei un no kārtas līdz valstij. **B.** Koks parāda vietu kopējiem senčiem, kuriem piemīt primitīvas (senas) pazīmes. Kladoģenēzē (diverģencē) katrai attīstības līnijai veidojas tikai tai piemītošas atvasinātās (evolucionējušās) pazīmes.

Kādi ir dati?

Sistemātiķi apkopo visu veidu datus, lai noskaidrotu evolucionārās attiecības starp sugām. Vienā grupā iedalītajām sugām jābūt ar kopīgu izcelšanos – tām jāveido monofilētiska grupa (gr. *monos* – viens un *phyle* – raduraksti). Sistemātiķi, nodalot monofilētiskas grupas, lielā mērā balstās uz homoloģiju, molekulārajiem datiem un fosilajiem atradumiem.

Līdzīgas ķermeņa daļas

Homoloģija (gr. *homologos* – piekrītošs, attiecināms, saistīts) ir pazīmju līdzība, kas attīstījusies, atzarojoties no kopēja senča. Salīdzinošā anatomija, ieskaitot embrioloģiskos pierādījumus, sniedz informāciju par homoloģiju. Mugurkaulnieku priekškājas ir homologas, jo, līdzīgi kā kopējam sencim, tās veido vienādi sakārtoti tādi paši kauli. **Homologas struktūras** ir radniecīgas cita citai, jo tām ir kopīga izcelsme, lai gan to tagadējā struktūra un funkcijas var atšķirties. Turpretim **analogas struktūras** dažādu grupu organismiem pilda tās pašas funkcijas, bet nav cēlušās no tā paša kopējā senča orgāna. Kukaiņu spārni un sikspārņa spārni ir analogas struktūras.

Konverģence un paralēlā evolūcija dažreiz apgrūtina homoloģijas atšifrēšanu. **Konverģence** ir tādu pašu vai līdzīgu pazīmju parādīšanās attāli radniecīgās attīstības līnijās. Konverģences gadījumā organismiem piemīt līdzīgas strukturālas un funkcionālas iezīmes nevis tāpēc, ka tiem ir kopējs sencis, bet gan tāpēc, ka tie ir adaptējušies līdzīgiem vides apstākļiem. Gan eiforbijas, gan kaktusi ir līdzīgi pielāgojušies sausai un karstai videi – tie ir sukulenti, dzeloņaini ziedaugi (11.7. att.). Tomēr ziedu uzbūve norāda, ka tie nav tuvu radniecīgi. **Paralēlā evolūcija** ir tādu pašu vai līdzīgu kopējam sencim nepiemītošu pazīmju izveidošanās divās vai vairākās radniecīgās līnijās. Piemēram, līdzīgs radīto skaņu frekvenču augstums konstatēts dažām naktstauriņu sugām. Dažreiz ir grūti noteikt, vai pazīme ir paralēla, primitīva vai atvasināta.



Opuncija *(Opuntia)*



Eiforbija *(Euphorbia)*

11.7. attēls. Konverģence
Kaktusi un eiforbijas evolucionējuši dažādos kontinentos, bet rezultātā visi tie ir sukulenti ziedaugi ar dzeloņiem. Kaktusi ir pielāgojušies augšanai Amerikas tuksnešos, turpretim eiforbijas pielāgojušās Āfrikas tropu biotopiem. Tas ir konverģences piemērs.

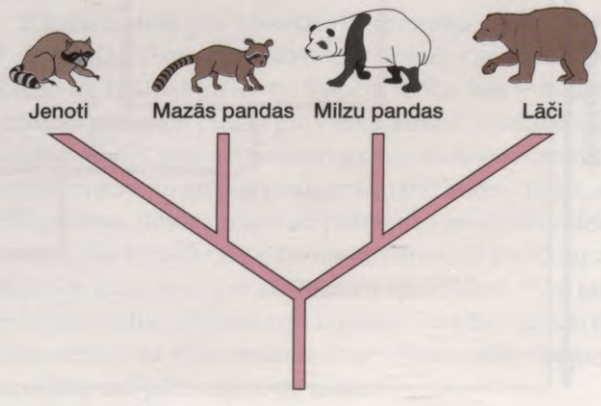
Līdzīgie gēni

Kad no kopēja senča nodalās divas līnijas, gēni un proteīni abās līnijās ir gandrīz identiski. Bet, laikam ejot, katra no līnijām uzkrāj gēnu pārmaiņas, kas noved pie RNS un proteīnu pārmaiņām. Daudzas no tām ir neitrālas (nav saistītas ar adaptāciju) un uzkrājas ar samērā konstantu ātrumu. Šādas pārmaiņas var tikt izmantotas par sava veida **molekulāro pulksteni**, pēc kura var noteikt radniecību un evolūcijas ilgumu.

Ģenētiskās atšķirības starp divām sugām nosaka dažādi. Ar imunoloģiskām metodēm var aptuveni novērtēt plazmas proteīnu līdzību. Vienā no metodēm iegūst antivielas, pārstādot trusim kādas citas sugas šūnas. Pēc tam šīs citas sugas šūnas pakļauj antivielu iedarbībai un novēro reakcijas pakāpi. Jo reakcija ir spēcīgāka, jo abu sugu šūnas ir līdzīgākas. Aminoskābju secība konkrētajos proteīnos tieši norāda, ka konkrētajos gēnos notikušas pārmaiņas.

Ir iespējams izpētīt un salīdzināt RNS nukleotīdu secību ribosomās, lai noteiktu radniecību. Visās šūnās ir ribosomas, jo tās ir nepieciešamas proteīnu sintēzei. Gēni, kas kodē rRNS, evolūcijas gaitā ir mainījušies ļoti lēni salīdzinājumā ar citiem gēniem. Tāpēc tie ir drošs organismu atšķirību indikators. Šī metode bija īpaši noderīga, kad tika veidota jauno mikroorganismu klasifikācija, par ko stāstīts turpmāk šajā pašā nodaļā.

Ir iespējams noteikt DNS līdzību, veicot **DNS-DNS hibridizāciju**. Katras sugas DNS dubultspirāli sadala atsevišķās ķēdēs. Divu sugu ķēdēm ļauj kombinēties. Jo tuvāk radniecīgas ir divas sugas, jo to DNS ķēdes labāk atbilst viena otrai. Uz vairākiem sistemātikā ilgi neatbildētiem jautājumiem atbildes tika atrastas ar DNS-DNS hibridizāciju. Milzu panda, kas dzīvo Ķīnā, kādreiz tika uzskatīta par lāci, bet tās skelets un zobi bija līdzīgi jenota zobiem un skeletam. Milzu panda ēd tikai bambusa dzinumus, un tai ir neīsts īkšķis, ar ko satvert bambusa stiebrus. Mazā (sarkanā) panda, kas dzīvo tajā pašā apvidū un kam ir tādas pašas, jenotiem līdzīgas pazīmes, arī barojas ar bambusu, bet tai nav neīstā īkšķa. DNS hibridizācijas pētījumi ļauj secināt, ka jenoti un lāči atdalījušies no kopējās attīstības līnijas pirms 50 miljoniem gadu. Milzu panda atdalījās no lāču attīstības līnijas, turpretim mazā panda – no jenotu attīstības līnijas.



Tāpēc var redzēt, ka dažas milzu pandas un sarkanās pandas pazīmes ir primitīvas (piemitušas to kopējam sencim), dažas ir izveidojušās paralēlās evolūcijas ceļā.

Tā kā hibridizācijas pētījumi sniedz tikai vispārēju informāciju, daudzi pētnieki priekšroku dod konkrēta gēna vai gēnu nukleotīdu secības salīdzināšanas rezultātā iegūtajai informācijai. Kāds pētījums par DNS atšķirībām parādīja, ka šimpanzes ir daudz tuvāk radniecīgas cilvēkam nekā pārējiem pērtiķiem (11.8. att.). Tomēr lielākajā daļā klasifikācijas sistēmu cilvēks un šimpanzes ir iekļauti atšķirīgās dzimtās: cilvēks iekļauts *Hominidae* dzimtā, bet šimpanzes – *Pongidae* dzimtā. Turpretī rēzus pērtiķi un zaļie pērtiķi, kuriem ir daudz vairāk savstarpējo DNS atšķirību, ir iekļauti vienā dzimtā *(Cercopithecidae)*. Vai vienveidības dēļ arī cilvēku un šimpanzes nevajadzētu iekļaut vienā dzimtā? Daļa sistemātiķu uzskata, ka cilvēks ievērojami atšķiras no šimpanzes, jo ir piemērojies dzīvei citā vidē, tāpēc ir vērts iekļaut cilvēku atsevišķā dzimtā.

Fosiliju pieejamība

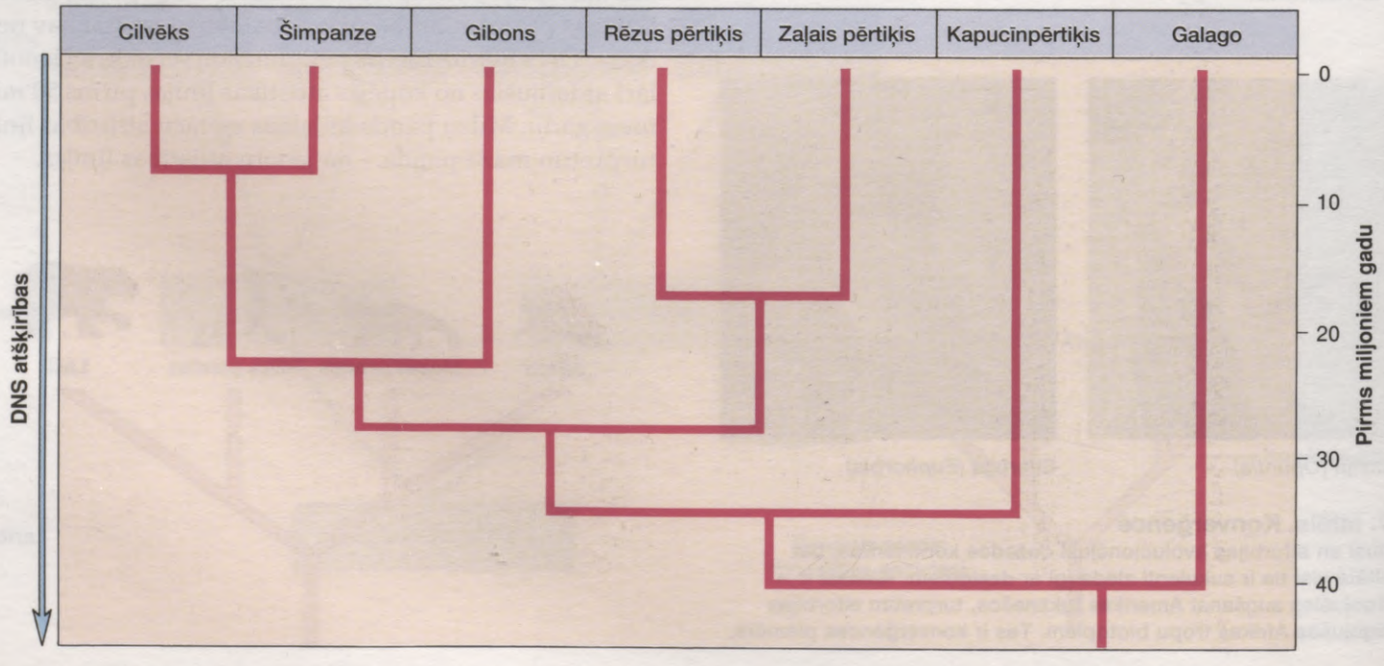
Fosilijas atspoguļo dzīvības attīstību ilgā laika posmā, tomēr dažādu iemeslu dēļ konkrētajās individuālajās līnijās fosiliju sniegtā informācija ir nepilnīga. Pirmkārt, bezskeleta organismi nefosilizējas. Jebkura organisma iespējas kļūt par fosiliju ir niecīgas, jo lielāko daļu organismu apēd vai arī tie sadalās neaprakti. Otrkārt, fosilizējas tikai cietākās ķermeņa daļas, piemēram, kauli un zobi. Arī tad fosilijām jāpārvar spēcīgi ģeoloģiskie procesi un jānonāk vietā, kur iespējams tās atrast.

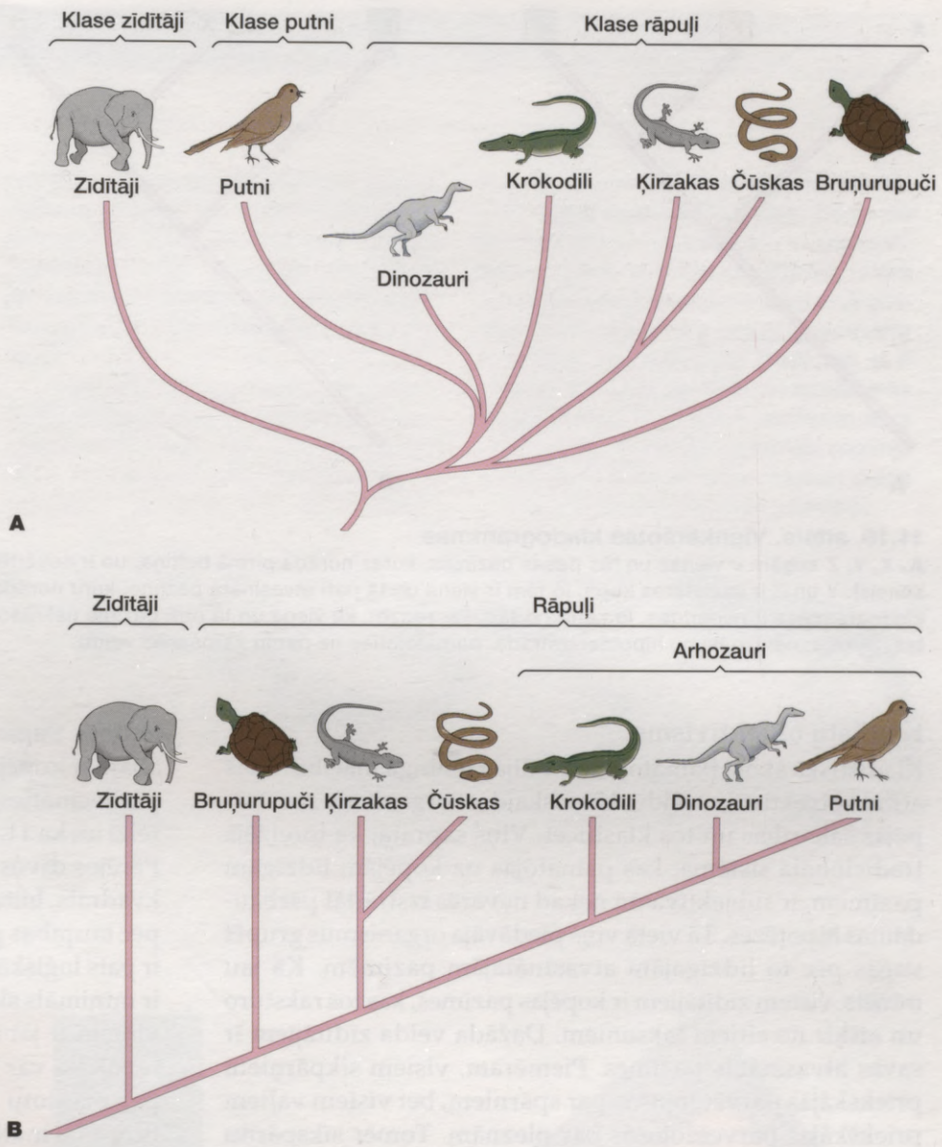
Tā kā fosilijām ir iespējams noteikt vecumu, tad, ja ir atrasta fosilija, var noteikt sugas vecumu. Dažos gadījumos ir fosilas liecības par kādas līnijas attīstību visā tās evolūcijas gaitā. Bet pat tad fosilija ne vienmēr norāda, vai pazīme ir primitīva vai attīstījusies vēlāk. Vienīgā objektīvā metode, kā atšķirt primitīvāko pazīmi no attīstītākās, ir aprakstīta 219. lappusē.

Homoloģija, ģenētiskā informācija un fosilie atradumi palīdz zinātniekiem atšifrēt filoģenēzes gaitu un izveidot filoģenētiskos kokus.

11.8. attēls. Ģenētiskā informācija
Atsevišķu primātu sugu radniecība, pamatojoties uz to genomu pētījumiem. Zaru garums norāda relatīvo nukleotīdu pāru atšķirību starp grupām. Izmantojot fosilijas, ir iespējams noskaidrot laiku, kad katra grupa ir nodalījusies.







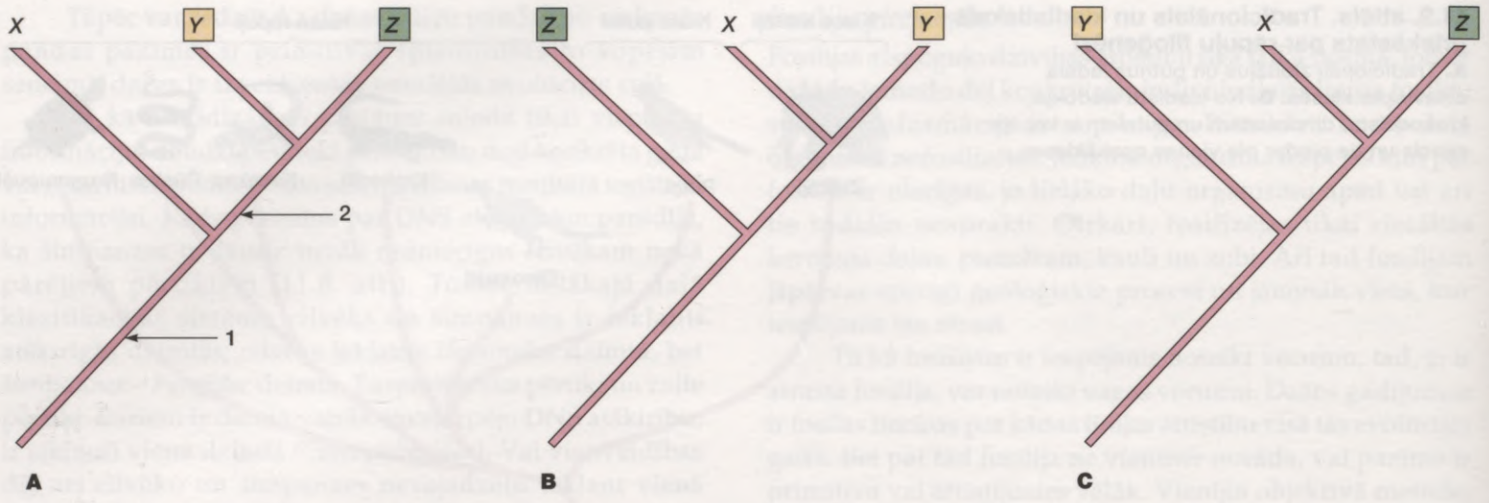
11.9. attēls. Tradicionālais un kladistiskais priekšstats par rāpuļu filoģenēzi
A. Tradicionāli zīdītājus un putnus iedala atsevišķās klasēs. **B.** No kladistu viedokļa, krokodiliem, dinozauriem un putniem ir kopējs sencis un tie pieder pie vienas apakšklases.

Filoģenētisko koku veidošana

Ir trīs galvenās sistemātikas skolas: tradicionālā, kladistiskā un numeriskā. Tradicionālā skola uzsver gan kopējo izcelsmi, gan strukturālo atšķirību pakāpi starp diverģentajām grupām. Tāpēc grupu, kas ir piemērojusies jauniem vides apstākļiem un ar ko ir notikušas lielas evolucionāras pārmaiņas, ne vienmēr klasificē kopā ar tās kopējo senci, no kura tā ir attīstījusies. Piemēram, 11.9. A attēlā putni un zīdītāji parādīti kā atšķirīgas attīstības līnijas, jo pat vispaviršākajam vērotājam acīmredzama ir ievērojamā izskata atšķirība starp zīdītājiem (kuriem ir ķermeņa apmatojums un piena dziedzeri), putniem (kuriem ir spalvas) un rāpuļiem (kuriem ir zvīņaina āda). Tradicionālisti turpina apgalvot, ka putni un zīdītāji ir attīstījušies no rāpuļiem.

Turpretim kladisti uzsver kopīgo izcelšanos un līdzīgās iegūtās pazīmes. Viņi neņem vērā pielāgošanos jauniem vides apstākļiem. Minētajā piemērā kladisti šaubās, vai rāpuļi ir uzskatāmi par taksonu, jo dinozaurus, krokodilus, čūskas, ķirzakas un bruņurupučus vieno tikai tas, ka tie nav ne putni, ne zīdītāji.

Kladisti dod priekšroku diagrammai, kas redzama 11.9. B attēlā. Visus attēlotos dzīvniekus var iedalīt vienā grupā, jo tie ir attīstījušies no kopēja senča, kas ir dējis olas. Visi zīdītāji patiešām pieder pie vienas klases, jo tiem ir raksturīgs apmatojums, piena dziedzeri un trīs iekšējās auss kauliņi. To kopējam sencim arī bija jābūt ar šīm pazīmēm. Tā kā, sākot ar krokodiliem, dinozauriem un putniem, visiem dzīvniekiem ir izveidojušās kopējas atvasinātās pazīmes, tie jāiekļauj vienā apakšklasē, kuru sauc par arhozauru apakšklasi. "Vai tas nozīmē, ka krokodili un dinozauri ir putni?" tradicionālisti taujā. Kladisti atbild, ka viņu metode ir objektīva atšķirībā no tradicionālistu subjektīvajām metodēm.



11.10. attēls. Vienkāršotas kladogrammas
A. X, Y, Z sugām ir vienas un tās pašas pazīmes, kuras norāda pirmā bultiņa, un ir novērtēts, ka tās veido monofilētisku grupu (tai ir kopējs sencis). Y un Z ir savietotas kopā, jo tām ir viena un tā pati atvasinātā pazīme, kuru norāda otrā bultiņa un iekrāsotais kvadrāts. **B, C.** Šīs kladogrammas ir nederīgas, jo katrā no tām var redzēt, ka viena un tā pati pazīme (iekrāsotais kvadrātiņš) attīstījusies dažādās grupās. Tā kā tas, šķiet, ir neiespējami, hipotēzi izstrādā, pamatojoties uz pirmo zarošanās veidu.

Kladistu objektīvisms

Kladistiskā skola pamatojas uz Vilija Heninga mācību. Viņš atrada objektīvāku veidu, kā noskaidrot organismu savstarpējās sakarības un tos klasificēt. Viņš saprata, ka toreizējā tradicionālā sistēma, kas pamatojas uz kopējām līdzīgām pazīmēm, ir subjektīva un nekad nevarēs izstrādāt pārbaudāmas hipotēzes. Tā vietā viņš piedāvāja organismus grupēt sugās pēc to līdzīgajām atvasinātajām pazīmēm. Kā jau minēts, visiem zīdītājiem ir kopējas pazīmes, kas tos raksturo un atšķir no citiem taksoniem. Dažāda veida zīdītājiem ir savas atvasinātās pazīmes. Piemēram, visiem sikpārņiem priekškājas pārveidojušās par spārniem, bet visiem vaļiem priekškājas pārveidojušās par pleznām. Tomēr sikspārņu spārni un vaļu pleznas ir homologas, un homologo struktūru klātbūtne norāda, ka taksoniem ir bijis kopējs sencis.

Kad kladisti ir apkopojuši informāciju par kopējām pazīmēm, viņi konstruē kladogrammas (gr. *klados* – zars, stumbrs un *gramma* – attēls), lai parādītu sazarotās (kladistiskās) attiecības starp sugām, kas balstās uz to kopējo atvasināto pazīmju sastopamību. Kladogramma jāuzskata par hipotēzi, kura jāpārbauda un vai nu jāpierāda, vai arī jānoraida, pamatojoties uz papildu datiem. Kladogramma atšķiras no tradicionālā filoģenētiskā koka, īpaši tāpēc, ka tās veidošanā izmantoti tikai dati bez to subjektīva novērtējuma un datus parāda kā daļu no kladogrammas. 11.10. attēlā parādīta vienkārša kladogramma ar trim sugām. Sarežģītākas kladogrammas veidošana ir aprakstīta 219. lappusē. Kladogramma nav filoģenētiskais koks, lai gan tās zarotais izskats atgādina īstu filoģenētisko koku.

11.10. attēlā parādīta kladogramma, kurā visas trīs sugas X, Y, Z pieder pie vienas monofilētiskās grupas, jo tām visām ir tādas pašas atvasinātās pazīmes, kuras norāda pirmā bultiņa. Sugas Y un Z ir ievietotas vienā apakšgrupā, jo tām abām ir kopējas pazīmes, kuras norāda otrā bultiņa. Kā var pārliecināties par to, ka pirmā kladogramma izveidota pareizi un ka 11.10. attēlā atainotās pārējās divas nav pareizas? Pārējos divos variantos pazīmēm, kuras ataino iekrāsotais kvadrāts, būtu jāevolucionē divreiz. Kladisti vienmēr vadās pēc taupības principa – minimālais pieņēmumu daudzums ir pats loģiskākais. Tas ir, viņi konstruē kladogrammu, kurā ir minimāls skaits pieņemto evolucionāro pārmaiņu. Tomēr viņiem ir jābūt piesardzīgiem, jo konverģentās evolūcijas rezultātā var būt izveidojies kaut kas tāds, ko var uzskatīt par mantotu no kopējiem senčiem. Tāpat kladogrammas ticamība ir atkarīga no katra konkrētā pētnieka zināšanām un pieredzes un tā, kā viņš vāc un analizē datus.

Skaitliskā fenētika

Skaitliskajā fenētikā sugas grupē pēc to līdzības pakāpes. Šīs skolas sistemātiķi uzskata, ka nav iespējams izveidot tādu klasifikāciju, kas attēlo filoģenēzi, tāpēc labāk ir stingri paļauties uz tādu metodi, kura ir nošķirta no personīgiem aizspriedumiem. Viņi izpēta iespējami daudz pazīmju, saskaita, cik pazīmju sugām ir kopīgas, un tad novērtē radniecības pakāpi. Viņi vienkārši ignorē iespēju, ka kāda no kopējām pazīmēm, iespējams, ir radusies konverģences vai paralēlisma procesā, kā arī to, ka dažas pazīmes var būt atkarīgas no citām pazīmēm. Piemēram, lielam dzīvniekam noteikti ir lielākas ķermeņa daļas. To analīzes rezultāti ir attēloti fenogrammā. Vienai un tai pašai organismu grupai fenogrammas mēdz variēt atkarībā no tā, kā tiek ievākti un uzglabāti dati. 11.8. attēlā parādīts fenogrammas piemērs, kas pamatojas tikai uz DNS daudzuma atšķirību starp parādītajām sugām.

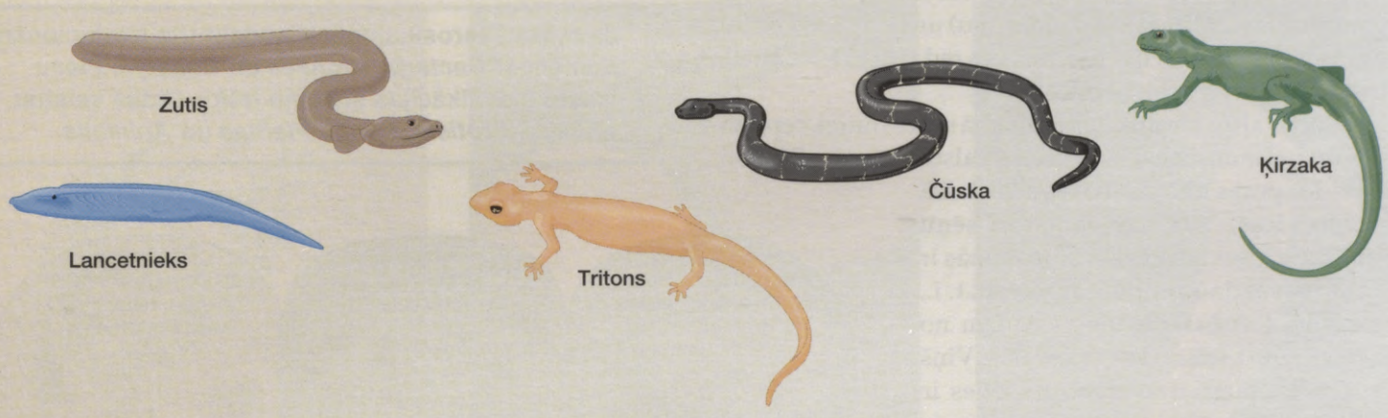
Uzziniet tuvāk

Kā veidot kladogrammu

Izvēloties analizējamās pazīmes, ir jābūt zināšanām par pētāmo organismu. Kladogrammas (kā zinātniskas hipotēzes) ticamība ir atkarīga no tās veidošanai izmantoto pierādījumu ticamības.

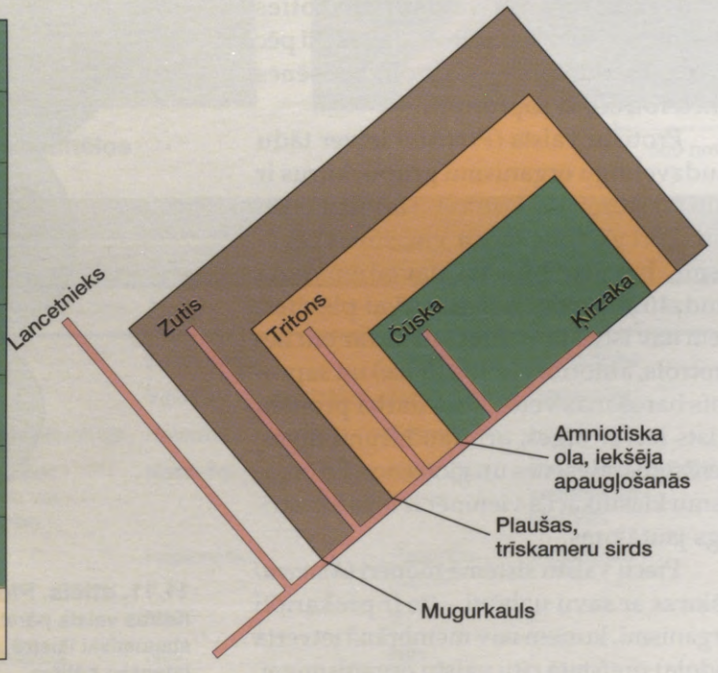
Pirmais solis kladogrammas veidošanā ir sastādīt tabulu, kas apkopo analizējamo taksonu īpašības. Vismaz viena suga, bet ieteicams – vairākas sugas, jāpēta ārpus grupas, kura izmantota pētījumiem. Jebkura pazīme, kas tiek atrasta gan pētījumu grupā, gan ārpus tās, jāuzskata par primitīvu (senu) pazīmi pētījumu grupai. Jebkura pazīme, kas atrasta visos taksonos vai tikai vienā taksonā, tiek izslēgta no kladogrammas. Tiek pieņemts, ka pārējās pazīmes ir kopējās atvasinātās pazīmes, un tās izmanto kladogrammu veidošanai.

Kladogrammas piemērs dots 11.A. attēlā. Kopējais sencis kopā ar visām sugām, kas no tā radušās, veido zaru (gr. *klados* – zars, stumbrs). Šī kladogramma sastāv no trim zariem, kuri atšķiras pēc lieluma, jo pirmais ietver nākamos divus, un tā tālāk. Visas pētītās grupas pieder pie pirmā klāstera, jo tiem visiem ir mugurkauls: tritoni, čūskas un ķirzakas ir klāsterī, jo tām ir plaušas un trīskameru sirds un tikai čūskām un ķirzakām olai ir amniota membrāna un iekšēja apaugļošanās. Gadījumā, ja ir pierādījumi vairāk nekā vienas iespējamās kladogrammas veidošanai, izvēlas to, kura izskaidro vairāk kopīgo atvasināto pazīmju vai arī atvasinātās pazīmes un kuru ir skāris mazāks skaits evolucionāru pārmaiņu.



Notohorda embrijam					
Mugurkauls					
Plaušas					
Trīskameru sirds					
Dēj olas ar ādainu apvalku					
Iekšējā apaugļošanās					
Amniotiska membrāna olai					
Četras ekstremitātes ar kauliem					
Garš, cilindrisks ķermenis					

A



B

11.A. attēls. Kladogrammas veidošanas posmi

A. Tabulas izveidošana. Šeit parādītā tabula ir vienkāršota; reālā tabulā būs daudz vairāk pazīmju.

B. Šajā kladogrammā pretstatā četrām ekstremitātēm ar kauliem nav norādīts garš, cilindrisks ķermenis. Nepieciešami pierādījumi, ka čūskas evolūcijas gaitā ir pazaudējušas ekstremitātes, citādi šķiet, ka zušiem un čūskām ir kopēja atvasināta pazīme.

11.3. Valstu skaita noteikšana

No Aristoteļa laika līdz pat divdesmitā gadsimta vidum biologiem bija pazīstamas tikai divas valstis: **augu valsts** *(Plantae)* un **dzīvnieku valsts** *(Animalia)*. Par augiem uzskatīja organismus, kuri auga zemē un bija nekustīgi, bet dzīvnieki bija "dzīvi" un kustējās. Pēc tam kad 17. gs. beigās bija izgudrots gaismas mikroskops, tika atklāti vienšūnas organismi, kas neiekļāvās ne augu, ne dzīvnieku valstī. Vācu zinātnieks Ernsts Hekelis 19. gs. astoņdesmitajos gados ieteica nodalīt trešo valsti. Viņš to nosauca par **vienšūņiem** *(Protista)*, lai mikroskopiskos vienšūnas organismus atdalītu no daudzšūnu organismiem.

R. Vitakers 1969. gadā paplašināja klasifikācijas sistēmu līdz piecām valstīm: augi, dzīvnieki, sēnes, protisti un monēri *(Monera)*. Organismus dažādās kategorijās iekļāva, pamatojoties uz šūnas veidu (prokariotiska vai eikariotiska), šūnas organizāciju (vienšūnas vai daudzšūnu) un barošanās veidu. Piecu valstu klasifikācijas sistēma, kas redzama 11.11. attēlā, mūsdienās ir vispārpieņemta.

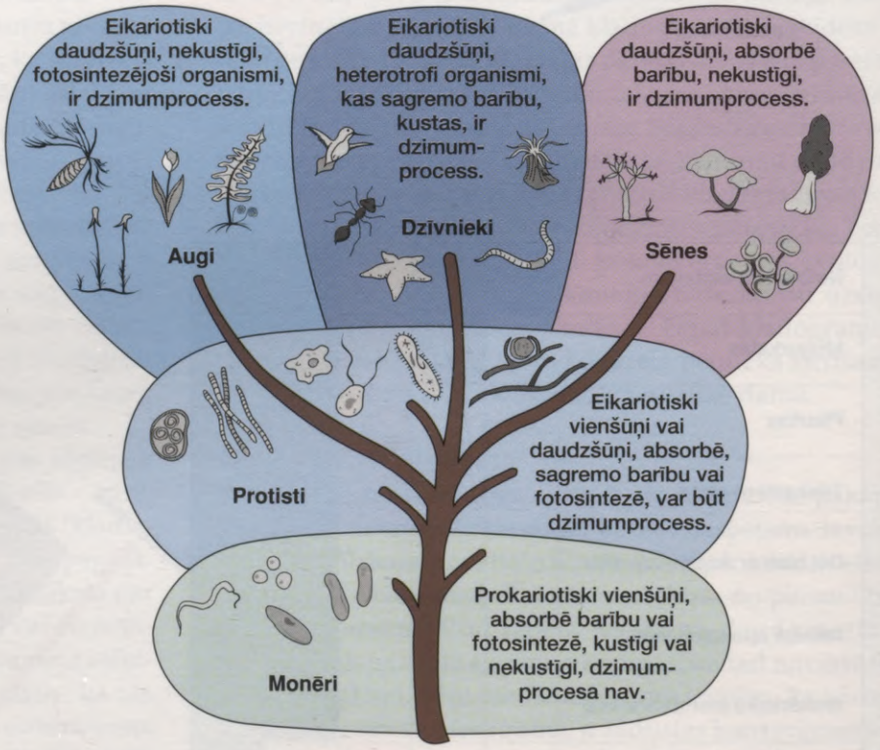
Piecu valstu klasifikācijas sistēmā sēnes (raugi, cepurīšsēnes un pelējumsēnes) ir atsevišķā valstī. Sēnes ir eikarioti, kas veido sporas un visa dzīves cikla laikā neveido vicas. Vitakers pamatoja sēņu nodalīšanu atsevišķā valstī ar to, ka tās ir vienšūnas vai daudzšūnu saprotrofi, t. i., organismi, kas barības vielas uzņem no organiskajām vielām, kuras sadalās. Viņš uzsvēra, ka augi, dzīvnieki un sēnes ir daudzšūnu eikarioti, kuriem katram ir atšķirīgs barošanās veids: pateicoties fotosintēzei, augi ir autotrofi, dzīvnieki pēc barošanās veida ir heterotrofi, bet sēnes ir heterotrofiski saprotrofi.

Protistu valsts *(Protista)* ietver tādu daudzveidīgu organismu grupu, kurus ir grūti raksturot un klasificēt. Tie visi ir eikarioti, kuri galvenokārt ir vienšūnas organismi, bet var būt arī pavedienveida daudzšūņi, veidot kolonijas vai plēvītes. Tiem nav īstu audu. Protistiem var būt heterotrofs, autotrofs (fotosintēze) un saprotrofs barošanās veids. Šajā darbā protistu valsts ietver aļģes, arī daudzšūnu aļģes, vienšūņus, aļģsēnes un gļotsēnes. Šo organismu klasifikācija vienmēr ir bijis ļoti strīdīgs jautājums.

Piecu valstu sistēmā monēri *(Monera)* atšķiras ar savu uzbūvi – tie ir prokarioti (organismi, kuriem nav membrānā ietverta kodola) pretstatā citu valstu organismiem, kuri ir eikarioti (tiem ir membrānā ietverts kodols) (11.12. att. un 11.2. tab.). Valsts monēri sākotnēji ietvēra visas baktērijas. Bet pēc DNS un ribosomālās RNS secību pētīšanas metožu uzplaukuma 20. gs. astoņdesmitajos gados tika atklāta jauna mikroorganismu grupa. Sākotnēji tos nosauca par arhebaktērijām, bet tagad pieņemts nosaukums arheji *(Archaea)* (sk. nākamo nodaļu). Arheju nukleotīdu secības vai nu ir līdzīgas eikariotu secībām, vai arī ir unikālas un tātad nav konstatētas ne baktērijām, ne eikariotiem.

Balstoties uz šo jauno informāciju, ir ierosināts, ka klasifikācijā vajadzētu atainot trīs evolucionāras domēnes (līmeņus): baktērijas *(Bacteria)*, arheji *(Archaea)* un eikarioti *(Eukarya)*. Baktērijas un arheji attīstījās agrīnajos dzīvības evolūcijas posmos, bet eikarioti attīstījās vēlāk no arheju attīstības zara.

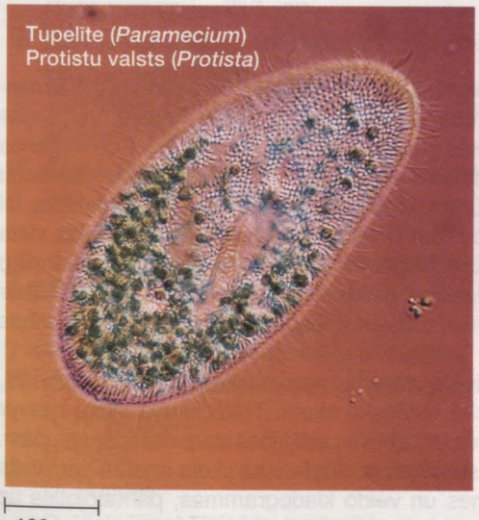
Jaunākais ierosinājums ir nodalīt trīs evolucionāras domēnes: *Bacteria, Archaea* un *Eukarya*. Piecu valstu klasifikācijas sistēmā izšķir šādas valstis: *Monera, Protista, Fungi, Plantae* un *Animalia*.



11.11. attēls. Piecu valstu klasifikācijas sistēma
Katras valsts pārstāvji ir atainoti vienā ovālajā kontūrā, un filoģenētiskais koks shematiski ilustrē attīstības līnijas. Eikariotu un prokariotu attiecības pašlaik tiek intensīvi pētītas.


Vilks *(Canis)*
Dzīvnieku valsts *(Animalia)*


Saulcerīte *(Rudbeckia)*
Augu valsts *(Plantae)*


Tupelīte *(Paramecium)*
Protistu valsts *(Protista)*
100 µm


Cepurīšu sēne *(Hygrocybe)*
Sēņu valsts *(Fungi)*


Baktērija *(Escherichia)*
Monēru valsts
(Monera)
500 nm

11.12. attēls. Piecu valstu klasifikācijas sistēmas pārstāvji fotoattēlos

11.2. tabula

Piecu valstu klasifikācijas sistēmas kritēriji

	Monera	*Protista*	*Fungi*	*Plantae*	*Animalia*
Šūnas veids	Prokariotiska	Eikariotiska	Eikariotiska	Eikariotiska	Eikariotiska
Sarežģītība	Vienšūņi	Vienšūņi	Vienšūņi vai daudzšūņi	Daudzšūņi	Daudzšūņi
Barošanās veids	Autotrofs vai heterotrofs	Fotosintētisks vai heterotrofs	Heterotrofi saprotrofs	Fotosintēze	Heterotrofs
Kustīgums	Atsevišķos gadījumos pārvietojas ar viciņu palīdzību	Atsevišķos gadījumos pārvietojas ar vicu vai skropstiņu palīdzību	Nekustīgi	Nekustīgi	Kustīgumu nodrošina kontraktilas šķiedras
Vairošanās	Parasti bezdzimumvairošanās	Dažāda	Haplontiska	Paaudžu maiņa	Diplontiska
Zigotas iekšēja aizsardzība	Nav	Nav	Nav	Ir	Ir
Nervu sistēma	Nav	Kairinājumu vadīšanas daži veidi	Nav	Nav	Ir

Pārskats

Šajā nodaļā tika pastāstīts, kā nosaka dzīvos organismus un dod tiem nosaukumus. Klasifikācija ir process, kas nepārtraukti attīstās. Kārļa Linneja izveidoto divkāršās nomenklatūras sistēmu vairums biologu pieņem, tomēr daudzas sugas vēl joprojām nav atklātas un tām jādod nosaukumi (lielākā daļa šo sugu sastopamas lietusmežos). Jau vairākus gadus plaši lieto Vitakera ieviesto zemeslodi apdzīvojošo dzīvo būtņu piecu valstu klasifikācijas sistēmu, tomēr jaunākie atklājumi, visticamāk, ieviesīs radikālas pārmaiņas šajā sistēmā. Arheji ir organismi, kuru uzbūve līdzinās baktērijām, taču ir atklāts, ka viņu ribosomu sastāvdaļas ir atšķirīgas no baktēriju tādām pašām struktūrām, bet ir līdzīgas eikariotu identiskām ribosomu sastāvdaļām. Daži arheju gēni ir pazīstami tikai šiem organismiem. Tāpēc tiek piedāvāts dzīvos organismus iedalīt trijās domēnēs (līmeņos): baktērijas, arheji un eikarioti. Visticamāk, ka, līdzīgi kā eikarioti sastāv no vairākām valstīm (protisti, sēnes, augi un dzīvnieki), arī no baktērijām un arhejiem tiks nodalītas vairākas valstis.

Lielākā daļa mūsdienu sistemātiķu klasifikāciju pamato ar evolucionārām saitēm starp organismiem, bet pēc tā, kā nosaka šīs attiecības, atšķiras tradicionālā un kladistiskā pieeja. Tradicionālisti cenšas ņemt vērā gan līdzību uzbūvē, gan acīmredzamās atšķirības, kas radušās, pielāgojoties jauniem vides apstākļiem. Kladisti uzskata, ka vienīgi līdzīgās pazīmes ir izmantojamas, lai organismus klasificētu. Noslēgumā jāatzīmē, ka iespēja ātri noteikt gēnu secību var padarīt klasifikāciju par objektīvu zinātni, atbrīvojot to no subjektīvisma.

Kopsavilkums

11.1. Organismu nosaukšana un klasifikācija

Taksonomija ir nosaukumu došana organismiem; katrai sugai ir piešķirts divkāršais nosaukums, kas sastāv no ģints nosaukuma un sugas vārda.

Dažos gadījumos nodalīt sugas pēc to uzbūves var būt sarežģīti, jo pat vienas sugas pārstāvju uzbūve var atšķirties. Nodalot sugas pēc to reproduktīvās izolācijas, problēmas var rasties tāpēc, ka dažas sugas veido hibrīdus, un tāpēc, ka reproduktīvo izolāciju ir grūti novērot. Šajā nodaļā suga ir aplūkota kā taksons, kas ir zem ģints līmeņa. Vienas un tās pašas ģints sugu kopējais sencis ir jaunāks par dažādām radniecīgām ģintīm piederošu sugu kopējo senci.

Klasifikācijā sugas ir sadalītas kategorijās. Līdz ar nosaukuma piešķiršanu organismam suga tiek iedalīta konkrētā ģintī. Ir septiņas galvenās klasifikācijas kategorijas: suga, ģints, dzimta, rinda, klase, kārta un valsts. Katra augstākā kategorija ietver zemāk esošās; vienas un tās pašas valsts pārstāvjiem ir kopējas galvenās pazīmes, bet vienas sugas pārstāvjiem daudzas specifiskākas pazīmes ir līdzīgas.

11.2. Filoģenētisko koku veidošana

Sistemātika kā ļoti plaša nozare ietver gan taksonomiju, gan klasifikāciju. Klasifikācijai jāatspoguļo filoģenēze, tāpēc viens no sistemātikas mērķiem ir izveidot filoģenētiskos kokus, kas pamatojas uz primitīvām un atvasinātām īpašībām.

Homoloģija, molekulārā informācija un fosilie atradumi tiek izmantoti filoģenēzes atšifrēšanai. Homoloģija palīdz noteikt, vai sugas pieder pie monofilētiskās grupas (tām ir kopējs sencis). Konverģence un paralēlā evolūcija dažkārt apgrūtina homologo struktūru atšķiršanu no analogajām struktūrām. Molekulārā informācija tiek izmantota, lai noskaidrotu radniecību, bet DNS pamatsecība un restrikcijas vieta var vēl precīzāk raksturot filoģenēzi. Tā kā ir iespējams noteikt fosiliju vecumu, pieejamās fosilijas palīdz atspoguļot sugas pagātni. Ja ir pietiekami daudz fosiliju, dažkārt ir iespējams rekonstruēt attīstības līniju.

Mūsdienās pastāv trīs galvenās sistemātikas skolas: tradicionālā, kladistiskā un skaitliskā fenētiskā skola. Tradicionālā skola uzsver rašanos no kopēja senča un uzbūves atšķirības starp dažādām grupām, lai izveidotu filoģenētiskos kokus. Kladistiskā skola analizē primitīvās un atvasinātās pazīmes un veido kladogrammas, pamatojoties uz kopējām atvasinātajām pazīmēm. Kladogramma ir diagramma, kas veidota, pamatojoties uz objektīvu informāciju. Skaitliski fenētiskā skola sagrupē sugas pēc tā, kāds ir kopējo īpašību skaits, neatkarīgi no tā, vai tās ir konverģentas, paralēlas vai atkarīgas cita no citas.

11.3. Valstu skaita noteikšana

Balstoties uz molekulārajiem datiem, ir ierosināts izdalīt trīs evolucionāros līmeņus (domēnes): baktērijas *(Bacteria)*, arheji *(Archaea)* un eikarioti *(Eukarya)*. Piecu valstu klasifikācijas sistēmu veido augi *(Plantae)*, dzīvnieki *(Animalia)*, sēnes *(Fungi)*, protisti *(Protista)* (aļģes, vienšūņi, aļģsēnes un gļotsēnes) un monēri *(Monera)* (baktērijas).

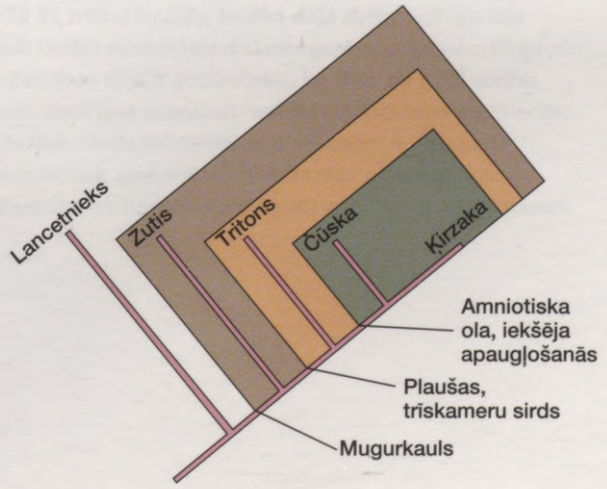
Pārbaudiet sevi

1. Izskaidrojiet divkāršo organismu nosaukumu sistēmu! Kāpēc sugām tiek piešķirts nosaukums, kas sastāv no diviem vārdiem? 210.–211. lpp.
2. Kāpēc organismiem ir jādod zinātniskais nosaukums? 211. lpp.
3. Kādos trīs veidos var raksturot sugu? Kurš no tiem ir saistīts ar klasifikāciju? 212.–214. lpp.
4. Kādas ir septiņas galvenās klasifikācijas vienības? Kāda ir to hierarhija? 213. lpp.
5. Kāpēc taksonomija un klasifikācija ir sistemātikas sastāvdaļas? Kādi triju veidu dati palīdz sistemātiķiem izveidot filoģenētiskos kokus? 214.–218. lpp.
6. Ar ko atšķiras tradicionālā, kladistiskā un skaitliskā fenētiskā sistemātikas skola? 217. lpp.
7. Izskaidrojiet kladistu principus! Paskaidrojiet, kā izveidot kladogrammu! 218. lpp.
8. Raksturojiet piecu valstu klasifikācijas sistēmu un ilustrējiet katru valsti ar piemēriem! 213. lpp.
9. Salīdziniet piecas valstis, izmantojot pieņemtos klasifikācijas kritērijus! 213.,220.–221. lpp.
10. Kādi ir trīs evolucionārie līmeņi (domēnes)? Kā tie ir saistīti? 220. lpp.

Tests

Izvēlieties pareizo atbildi uz katru jautājumu!

1. Kurš ir organisma zinātniskais nosaukums?
   A. *Rosa rugosa*
   B. *Rosa*
   C. *Rugosa*
   D. Visi iepriekšminētie ir pareizi
2. Kurš no apgalvojumiem par sugām labāk atbilst taksonomijai?
   A. Tām ir zinātniskais nosaukums, ko veido trīs vārdi, piemēram, *Homo sapiens sapiens*
   B. Tās ir reproduktīvi izolētas no citām sugām
   C. Tām ir visjaunākais kopējais sencis
   D. Tām ir tikai primitīvas pazīmes
3. Kura klasifikācijas kategorija ir zemāka par dzimtas līmeni?
   A. Klase
   B. Suga
   C. Kārta
   D. Ģints
4. Kura valsts **nav** raksturota pareizi?
   A. *Monera* – sēnes
   B. *Protista* – daudzšūnu aļģes
   C. *Plantae* – ziedaugi un sūnas
   D. *Animalia* – posmkāji un cilvēki
5. Kura valsts **nav** raksturota pareizi?
   A. *Fungi* – parasti saprotrofi
   B. *Plantae* – parasti fotosintezējoši
   C. *Animalia* – dažreiz gremo barību
   D. *Protista* – dažādi barošanās veidi
6. Kas ir nepareizs filoģenētiskajā kokā?
   A. Vienmēr doti diverģences laiki
   B. Kopējie senči novietoti zarošanās vietā
   C. Vēlāk evolucionējušie novietoti koka galotnē
   D. Senčiem ir primitīvas pazīmes
7. Kurš atbilžu pāris **nav** pareizs?
   A. Homoloģija – pazīmju kopību nosaka veidošanās no kopēja senča
   B. Molekulārie dati – DNS dubultspirāles iezīmēšana
   C. Fosilie atradumi – kauli un zobi
   D. Homoloģija – obligāta funkciju atšķirība
8. Kāpēc fosilijas ir nozīmīgas?
   A. Cietās ķermeņa daļas biežāk fosilizējas
   B. Fosilijas var datēt
   C. Tās ir sarežģītas
   D. Visi iepriekšējie apgalvojumi ir pareizi
9. Kāpēc tradicionālā sistemātikas skola putnus iekļauj citā grupā nekā rāpuļus?
   A. Putni ir evolucionējuši no rāpuļiem
   B. Tie ir diezgan atšķirīgi no rāpuļiem
   C. Spalvas ir attīstījušās no zvīņām
   D. Visi iepriekšējie apgalvojumi ir pareizi
10. Kurš apgalvojums par kladistiku ir pareizs?
    A. Kladogrammā jāiekļauj kopējais sencis un visi tā pēcteči
    B. Atvasinātās pazīmes palīdz veidot kladogrammu
    C. Kladogrammas dati ir aplūkojami
    D. Visi iepriekšējie apgalvojumi ir pareizi
11. Atbildiet uz jautājumiem par doto kladogrammu!
    A. Cik grupu ir ietverts šajā kladogrammā? Kā tās ir parādītas diagrammā?
    B. Kādas pazīmes ir kopīgas visām pētītajām grupām? Kādas pazīmes ir kopīgas tikai čūskām un ķirzakām?
    C. Kurām grupām ir kopējs sencis? Pēc kā to var secināt?



Papildjautājumi

1. *Klasifikācija atspoguļo filoģenēzi.*
   Ko cilvēka kā sugas klasifikācija liecina par cilvēku evolucionāro vēsturi?
2. *Organismi eksistē tikai sugu līmenī.*
   Kādas grūtības sagādā sugas definēšana?
3. *Klasifikācija pamatojas uz datiem.*
   Kāpēc kladisti uzskata, ka tradicionālisti, veidojot filoģenētiskos kokus, ir subjektīvi?

Multimediju izmantošana

Tēmu par dzīvo organismu klasifikāciju palīdzēs apgūt šādi multimediji.

Interneta izmantošana

Šo nodaļu jums palīdzēs apgūt Maderas mājas lapa

http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader
(izvēlieties bioloģiju)

Jēdzienu izpratne

Analoga struktūra 215. lpp.
Animalia 213. lpp.
Archaea 220. lpp.
Atvasināta pazīme 214. lpp.
Bacteria 220. lpp.
Divkāršā sistēma 210. lpp.
DNS-DNS hibridizācija 215. lpp.
Dzimta 213. lpp.
Eukarya 220. lpp.
Filoģenētiskais koks 214. lpp.
Filoģenēze 214. lpp.
Fungi 213. lpp.
Ģints 213. lpp.
Homologa struktūra 215. lpp.
Homoloģija 215. lpp.
Kārta 213. lpp.
Zari 216. lpp.
Kladisti 217. lpp.
Kladogramma 218. lpp.
Klase 212. lpp.
Klasifikācija 212. lpp.
Konverģentā evolūcija 215. lpp.
Kopējais sencis 214. lpp.
Molekulārais pulkstenis 215. lpp.
Monera 220. lpp.
Paralēlā evolūcija 215. lpp.
Plantae 213. lpp.
Primitīva pazīme 214. lpp.
Protista 220. lpp.
Rinda 214. lpp.
Sistemātika 214. lpp.
Suga 212. lpp.
Taksons 212. lpp.
Taksonomija 210. lpp.
Valsts 220. lpp.

Izvēlieties definīcijām atbilstošos terminus!

A. _____ – bioloģijas nozare, kas nodarbojas ar organismu noteikšanu, raksturošanu un nosaukumu došanu tiem.

B. _____ – diagramma, kas norāda kopējo senci un attīstības līnijas.

C. _____ – organismu grupas evolucionāra vēsture.

D. _____ – organismu grupa, kas veido noteiktu klasifikācijas kategoriju.

E. _____ – sistemātikas skola, kas nosaka radniecības pakāpi, analizējot primitīvas un atvasinātas pazīmes un veidojot kladogrammas.

F. _____ – kategoriju kopums, kurā sugas iekļauj, vadoties pēc to radniecības ar citām sugām.

G. _____ – struktūru līdzība, kas radusies, attīstoties no kopēja senča.

H. _____ – struktūru līdzība, kuras izveidošanās nav saistīta ar attīstību no kopēja senča.

I. _____ – strukturālas, fizioloģiskas un uzvedības iezīmes, kas piemīt kopējam sencim un visiem grupas īpatņiem, kas no tā veidojušies.

J. _____ – organismu daudzveidības pētījumi, lai noteiktu filoģenētisko radniecību un klasificētu organismus.

Vīrusi, baktērijas un arheji

12. NODAĻA

Nodaļas saturs

12.1. Vīrusi ir daļiņas

- Vīrusi ir bezšūnu struktūras, savukārt baktērijas ir pilnvērtīgi funkcionējoši organismi, kurus veido šūna. 226. lpp.
- Visiem vīrusiem ir ārējais apvalks jeb kapsīda, ko veido olbaltumvielas, un iekšējā serde, ko veido nukleīnskābe. Dažiem vīrusiem ir ārējais apvalks. 227. lpp.
- Vīrusi ir obligāti iekššūnas parazīti. Pie tiem pieder bakteriofāgi (vairojas baktērijās), kā arī augu un dzīvnieku vīrusi. 228. lpp.

12.2. Baktērijas veido šūna

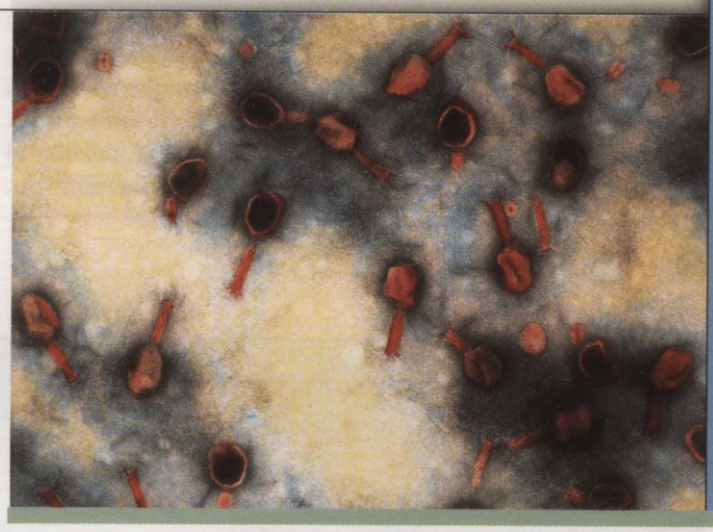
- Baktērijas ir prokarioti; tām nav kodola un vairāku citu citoplazmas organoīdu, kādi ir eikariotu šūnām. 232. lpp.
- Baktērijas vairojas bezdzimumiski, daloties uz pusēm. Mutācijas un gēnu rekombinācijas rada mainību. 233. lpp.
- Dažām baktērijām nepieciešams skābeklis; citas ir obligāti anaerobi vai fakultatīvi anaerobi. 234. lpp.
- Dažas baktērijas ir autotrofi organismi. Ir fotosintezējošas baktērijas (ciānbaktērijas izdala skābekli, savukārt purpura un zaļās sēra baktērijas to neizdala) un hemosintezējošas baktērijas. 234. lpp.
- Lielākā daļa baktēriju, tāpat kā dzīvnieki, ir aerobi heterotrofi organismi. Tomēr daudzas heterotrofas baktērijas ir simbiotiskas un veido mutuālistiskas, komensālas vai parazītiskas attiecības ar citiem organismiem. 234. lpp.

12.3. Baktēriju klasifikācija

- Baktērijām raksturīgo pazīmju noskaidrošanai izmanto tradicionālo laboratorijas metodi – Grama krāsošanās metodi. Baktērijas var būt nūjiņveida, apaļas (koki) un spirāliskas. 235. lpp.

12.4. Arheju un baktēriju salīdzinājums

- Mūsdienās izšķir trīs evolucionāros līmeņus (domēnes): baktērijas *(Bacteria)*, arhejus *(Archaea)* un eikariotus *(Eukaria)*. 237. lpp.
- Arheji ir diezgan specializēti organismi un dzīvo ekstrēmās dzīvesvietās. 237. lpp.



Zarnu nūjiņa *(Escherichia coli)* līzē izdala daudz T4 vīrusu (sarkani)

Vīrusiem nav šūnu struktūras, tāpēc tie nav iekļauti D pielikuma klasifikācijas tabulā. Šajā nodaļā ar tiem iepazīstina tāpēc, ka tie spēj vairoties dzīvo organismu šūnās. Savukārt prokariotiem ir šūnas uzbūve, un tie ir spējīgi dzīvot gandrīz jebkurā vietā uz Zemes. Pamatojoties uz molekulāro informāciju, prokarioti pieder pie diviem dzīvības koka zariem – baktērijām un arhejiem (trešais zars ir eikarioti, kuri tiks apskatīti turmākajās nodaļās).

Tā kā trūkst fosiliju, lielākā daļa mikrobiologu bija atmetuši cerību noskaidrot mikroorganismu dabisko filoģenēzi, tomēr patlaban viņi ir pārliecināti, ka DNS un RNS secību noskaidrošana ļaus pamatoti noteikt evolucionāro radniecību starp dažāda veida baktērijām un arhejiem. Šajā nodaļā galvenokārt tiek apskatīta tādu baktēriju bioloģija, kuru pamatuzbūve un funkcijas jau daudzus gadus ir labi zināmas.

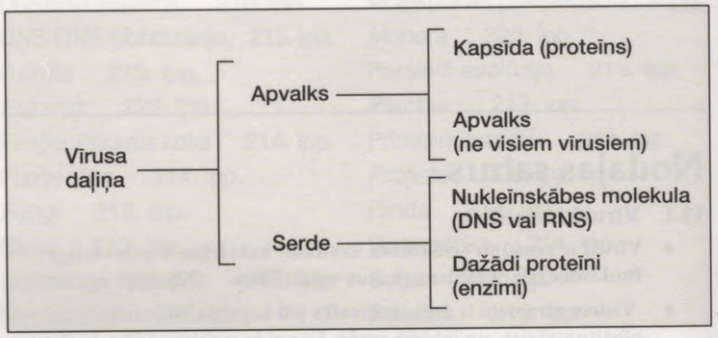
12.1. Vīrusi ir daļiņas

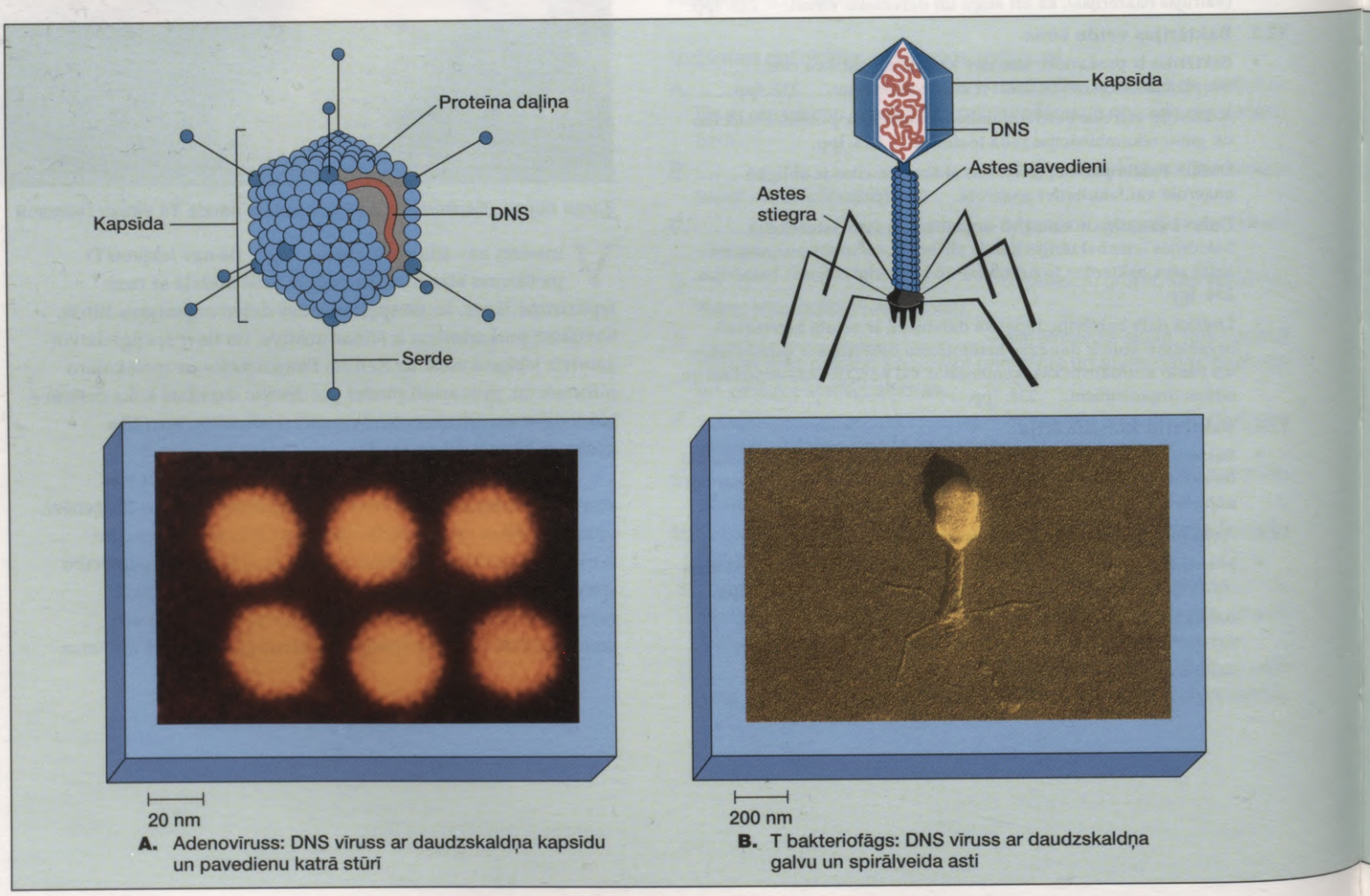
Vīrusi (lat. *virus* – inde) ir daudzveidīgas formas nedzīvas daļiņas, tomēr tiem ir noteiktas kopīgas īpašības (12.1. att.). Tie visi ir infekciozi. Franču ķīmiķis Luijs Pastērs 1884. gadā izteica domu, ka ir kaut kas vēl mazāks par baktērijām, kuras izraisa trakumsērgu. Tieši Pastērs izvēlējās latīņu vārdu *virus*, kas nozīmē "inde". Krievu biologs Dimitrijs Ivanovskis 1892. gadā pētīja tabakas lapu slimību, kuru nosauca par tabakas mozaīku, jo slimības skartās lapas kļūst raibas. Viņš novēroja, ka inficēts lapu izvilkums, filtrēts caur smalkporu porcelāna filtru, kas aiztur baktērijas, joprojām izraisa šo saslimšanu. Tas pastiprināja Pastēra pārliecību, ka slimību izraisošais aģents var būt mazāks par jebkuru zināmo baktēriju. Nākamajā gadsimtā tika izgudrots elektronmikroskops un zinātnieki pirmo reizi ieraudzīja vīrusus. Sākot ar 20. gadsimta piecdesmitajiem gadiem, virusoloģijā notiek aktīvi pētījumi, kuri ir devuši ļoti lielu ieguldījumu slimību, ģenētikas un pat dzīvo būtņu īpašību izpētē.

Vīrusi nesastāv no šūnas

Vīrusi ir tikpat lieli kā vairums proteīna makromolekulu. Parasti to diametrs ir mazāks par 200 nm. Daudzus vīrusus var šķīdināt un kristalizēt, bet kristālus var uzglabāt, līdzīgi kā uzglabā ķīmikālijas. Tomēr vīrusu kristāli var kļūt infekciozi, ja vīrusu daļiņām, kuras tie satur, ir iespēja iekļūt saimnieka šūnā.

Shēmā redzama vīrusu uzbūve.





12.1. attēls. Vīrusi
Kaut gan vīrusi ir daudzveidīgi, visiem ir ārējā kapsīda, ko veido proteīna daļiņas, un centrālā daļa, ko veido nukleīnskābe – gan DNS, gan RNS, bet ne abas vienlaikus. Dažiem vīrusu veidiem ir ārējais apvalks.

Visi vīrusi sastāv no vismaz 2 daļām: ārējās kapsīdas, ko veido proteīna daļiņas, un iekšējās serdes, ko veido nukleīnskābes – DNS (dezoksiribonukleīnskābe) vai arī RNS (ribonukleīnskābe), bet nekad ne no abām vienlaikus. Vīrusa genomā ir ne vairāk par dažiem simtiem gēnu. Cilvēka šūnā to ir tūkstošiem. Kapsīdu var ietvert ārējais apvalks; ja apvalka nav, tad vīrusu sauc par kailu. Apvalks ir saimniekorganisma plazmatiskās membrānas daļa, kas satur arī vīrusa glikoproteīna izaugumus. Vīrusa daļiņa var saturēt arī dažādus proteīnus, īpaši – tādus enzīmus kā polimerāzes, kas nepieciešamas, lai veidotu vīrusa DNS vai RNS.

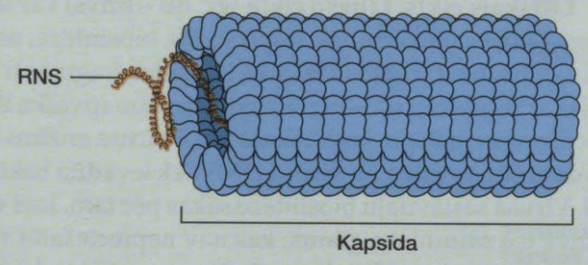
Vīrusus klasificē atkarībā no nukleīnskābes veida, tajos ņemot vērā arī to, vai tā ir vienkārša spirāle vai dubultspirāle; no formas un lieluma; no ārējā apvalka esamības. Vīrusi no baktērijām atšķiras ar pazīmēm, kuras uzskaitītas 12.1. tabulā. No šī salīdzinājuma var redzēt, kāpēc vīrusus uzskata par nedzīviem un kāpēc tie nav atrodami organismu klasifikācijā D pielikumā.

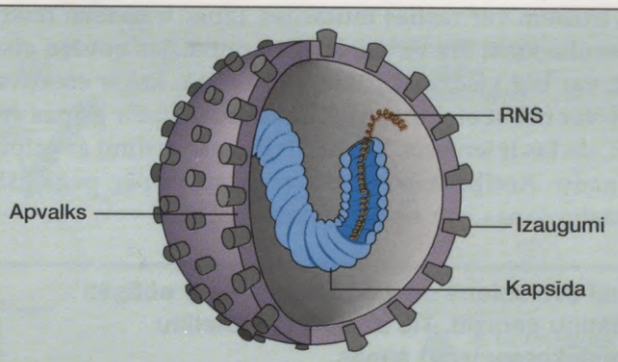
12.1. tabula

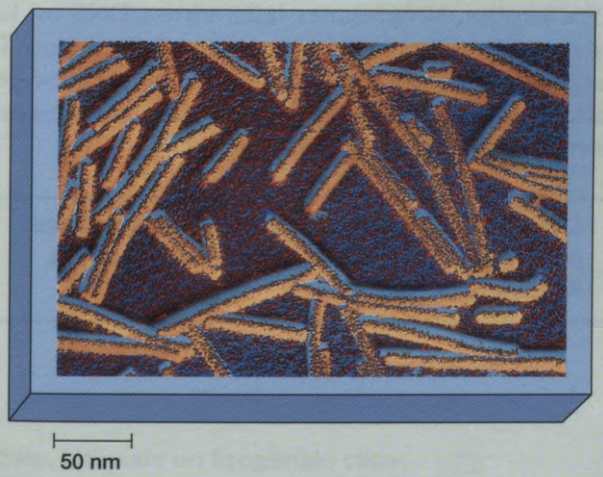
Vīrusu un baktēriju salīdzinājums

Dzīvībai raksturīgais	Vīrusi	Baktērijas
Sastāv no šūnas	Nē	Jā
Vielmaiņa (metabolisms)	Nē	Jā
Atbild uz kairinājumu	Nē	Jā
Vairojas	Jā (vienmēr dzīvā šūnā)	Jā (parasti patstāvīgi)
Evolucionē	Jā	Jā

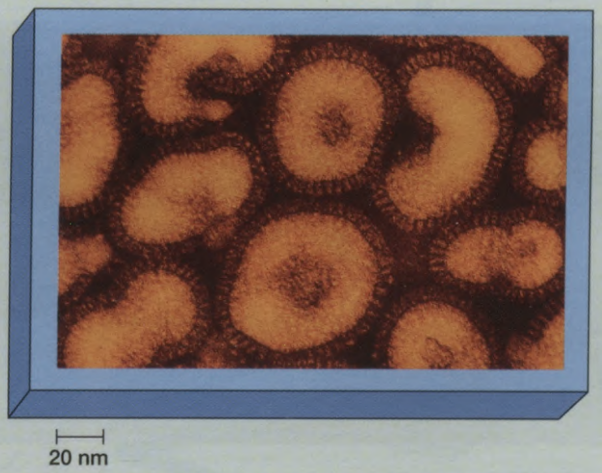
Vīrusi ir bezšūnu struktūras un sastāv no vismaz divām daļām: ārējās kapsīdas, ko veido proteīna daļiņas, un iekšējās serdes, kas sastāv no nukleīnskābes – no DNS vai RNS, bet ne no abām vienlaikus.







C. Tabakas mozaīkas vīruss: RNS vīruss ar spirālisku kapsīdu



D. Gripas vīruss: RNS vīruss ar spirālisku kapsīdu, ko ietver čaula ar izaugumiem

Vīrusi ir parazīti

Vīrusi ir obligāti iekššūnu parazīti. Tas nozīmē, ka tie nevar vairoties ārpus dzīvas šūnas. Lai saglabātu dzīvnieku vīrusus laboratorijā, tos dažkārt injicē dzīvu cāļu embrijos (12.2. att.). Mūsdienās saimnieka šūnas bieži audzē audu (šūnu) kultūrā, dažas šūnas vienkārši ievietojot stikla vai plastmasas traukā ar piemērotu barotni. Tādas šūnas var inficēt ar pētāmo dzīvnieku vīrusu. Vīrusi inficē visas šūnas – no baktēriju šūnām līdz cilvēku šūnām –, bet tie ir ļoti specifiski. Piemēram, bakteriofāgi inficē tikai baktērijas, tabakas mozaīkas vīruss inficē tikai augus un trakumsērgas vīruss inficē tikai zīdītājus. Ir zināms, ka daži no cilvēka vīrusiem specializējas pat uz noteiktiem audiem. Cilvēka imūndeficīta vīruss (HIV) var iekļūt tikai noteiktās asins šūnās, poliomielīta vīruss vairojas muguras smadzeņu šūnās, hepatīta vīruss inficē tikai aknu šūnas. Kas var izraisīt šo saimnieka–parazīta šūnu korelāciju? Tagad uzskata, ka vīrusi ir izveidojušies no tām pašām šūnām, kuras tie inficē. Vīruss iegūst nukleīnskābi no tā saimnieka genoma. Tāpēc vīrusi varēja attīstīties tikai pēc tam, kad sāka eksistēt šūnas. Jauni vīrusi, iespējams, veidojas arī pašlaik.

Vīrusiem var rasties mutācijas, tāpēc ir pareizi teikt, ka tie evolucionē. Tie vīrusi, kuriem mutācijas novēro visbiežāk, var būt visdraudīgākie, jo vakcīna, kas ir efektīva šodien, var nebūt efektīva rīt. Biežas mutācijas ir gripas vīrusiem, un tas ir iemesls, kāpēc cilvēks var saslimt ar gripu katru gadu. Antiķermenīši, kas veidojušies pēc pagājušā gada saslimšanas, var nebūt efektīvi šogad.

Vīrusi evolucionē un vairojas, bet tie ir obligāti iekššūnu parazīti. Tie dzīvo tikai noteiktu saimniekorganismu šūnās.



12.2. attēls. Vīrusu augšana
Lai izaudzētu vīrusu, svaigās vistu olās jāinjicē vīrusa daļiņas. Vīruss vairojas tikai dzīvas šūnas iekšienē, ne tāpēc, ka tas šūnu izmanto barībai, bet gan tāpēc, ka tas pārņem šūnas procesus.

Vīrusu replikācija

Vīrusi var iekļūt noteikta saimnieka šūnās, un tie ir tām specifiski tāpēc, ka kapsīdas fragmenti (vai apvalka izaugumi) saāķējas ar receptoriem saimnieka šūnas ārpusē līdzīgi kā atslēga ar slēdzeni. Vīrusa nukleīnskābe tādējādi var iekļūt šūnā. Tās iekšienē nukleīnskābe kalpo par kodu kapsīdas proteīna daļiņu sintēzei. Bez tam vīrusam var būt īpaši gēni dažu speciālu enzīmu sintēzei, kuri nepieciešami, lai vīruss vairotos un izkļūtu no saimnieka šūnas. Vairošanās procesam vīruss pamatā izmanto saimnieka enzīmus, ribosomas, transporta RNS (tRNS) un ATF (adenozīntrifosfātus). Citiem vārdiem, vīruss vairošanās laikā nomāc saimnieka šūnas vielmaiņu.

Divi bakteriofāgu cikli

Bakteriofāgi (gr. *bacterion* – nūja un *phagein* – ēst) vai, vienkārši, fāgi ir vīrusi, kas parazitē baktērijās: 12.3. attēlā redzamā baktērija ir zarnu nūjiņa *(Escherichia coli)*, kas dzīvo mūsu zarnās. Pamatīgi ir izpētīti divi bakteriofāgu dzīves cikli: lītiskais cikls un lizogēnais cikls. Lītiskā cikla laikā notiek vīrusu replicēšanās un saimnieka šūna lizē – tā sabrūk, lai atbrīvotu vīrusa daļiņas. Lizogēnā cikla laikā vīrusu replicēšanās nenotiek uzreiz, bet tā var sākties kaut kad nākotnē. Turpmāk ir apskatīts bakteriofāga dzīves cikls.

Lītiskais cikls. Lītisko ciklu (gr. *lyo* – brīvs) var iedalīt piecās stadijās: pieķeršanās, iespiešanās, biosintēze, nobriešana, izkļūšana. Pieķeršanās laikā kapsīdas fragmenti kombinējas ar receptoru uz stingrā baktērijas šūnapvalka līdzīgi kā slēdzene ar atslēgu. Iespiešanās laikā vīrusa enzīms izšķīdina daļu šūnapvalka un vīrusa DNS tiek ievadīta baktērijas šūnā. Vīrusa sastāvdaļu biosintēze sākas pēc tam, kad vīruss inaktivē tos saimnieka gēnus, kas nav nepieciešami vīrusa dalīšanās procesiem. Vīruss nomāc šūnas procesus, lai veiktu vīrusa DNS dalīšanos un veidotu neskaitāmas kapsīdas vienību kopijas. Nobriešanas laikā vīrusa DNS un kapsīdas apvienojas, veidojot vairākus simtus vīrusa daļiņu. Tiek sintezēts lizozīms – enzīms, kura sintēzi kodē vīrusa gēns. Tas izšķīdina šūnapvalku, un fāga daļiņas var izkļūt laukā. Tā rezultātā baktērija iet bojā.

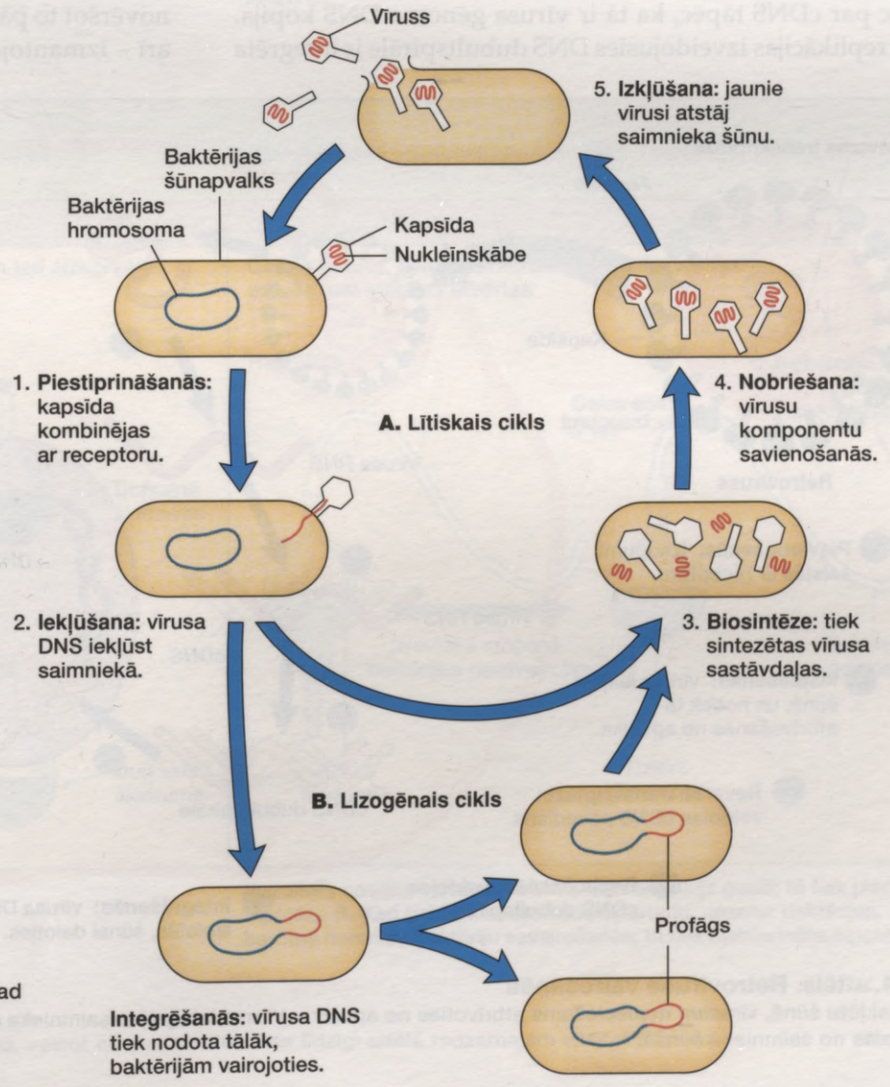
Lītiskā cikla laikā bakteriofāgs nomāc šūnas procesus un var notikt vīrusa dalīšanās un izkļūšana.

Lizogēnais cikls. Lizogēnajā ciklā (gr. *lyo* – zaudēt, sagraut un *genitus* – veidošana) inficētā baktērija neveido fāgu tūdaļ, bet var to darīt vēlāk. Līdz tam fāgs ir **latents** – tas aktīvi nereplicējas. Piestiprināšanās un iekļūšana nodrošina vīrusa DNS integrēšanos baktērijas DNS, neizjaucot saimnieka DNS. Latentajā stāvoklī vīrusa DNS sauc par **profāgu**. Profāgs replicējas kopā ar saimnieka DNS, un visas nākamās šūnas, kuras sauc par lizogēnajām šūnām, satur profāga kopiju. Vides faktori, piemēram, ultravioletais starojums, var ierosināt profāgu pāriet biosintēzes līdiskajā stadijā, kurai seko nobriešana un atbrīvošanās.

Lizogēnā cikla laikā fāgs kļūst par profāgu – tas integrējas saimnieka genomā. Vēlāk fāgs var atgriezties līdiskajā ciklā un replicēties.

Dzīvnieku vīrusu cikli

Dzīvnieku vīrusi replicējas līdzīgi bakteriofāgiem, bet tiem ir arī atšķirības. Ja vīrusam ir apvalks, tā glikoproteīna izaugumi ļauj vīrusam piestiprināties plazmatiskās membrānas receptoriem. Tad viss vīruss (ne vien tā nukleīnskābe) endocitozes ceļā iekļūst šūnā. Tās iekšienē no vīrusa nodalās apvalks un kapsīda. Vīrusa genoms (DNS vai RNS) ir brīvs no apvalkiem, un var sākties biosintēze. Vīrusiem ar apvalku ir vēl viena atšķirība, ko novēro tad, kad pumpurojoties noris to atbrīvošanās. Pumpurošanās laikā vīruss vai nu no plazmas membrānas, vai kodola apvalka iegūst savu apvalku, kas sastāv no lipīdiem, proteīniem un ogļhidrātiem. Citus apvalka marķierus, piemēram, glikoproteīnus, kas ļauj vīrusam iekļūt saimnieka šūnā, kodē vīrusa gēni. Pumpurošanās ne vienmēr beidzas ar saimnieka šūnas bojāeju. Daži dzīvnieku vīrusi ir specifiski cilvēka šūnām. Īpaša nozīme ir tādiem vīrusiem



12.3. attēls. Līdiskais un lizogēnais cikls baktērijās
A. Līdiskajā ciklā vīrusa daļiņas izkļūst laukā tad, kad šūna lizējas (atveras sabrūkot). **B.** Lizogēnajā ciklā vīrusa DNS ir integrēta saimnieka DNS. Kādā brīdī lizogēnais cikls var pāriet līdiskajā ciklā.

kā papillomas vīruss, herpes vīrusi, hepatīta vīrusi un adenovīrusi, kas papildus konkrētajai saslimšanai var izraisīt arī specifiskus vēža veidus. Šiem vīrusiem ir latentais periods. To klātbūtne pārmaina šūnas genotipu tā, ka tā kļūst ļaundabīga (kancerogēna). Daži vīrusi izraisa vēzi, jo tajos ietilpst **onkogēni** – parasti gēni, kas ir pārveidoti tā, ka var izraisīt atkārtotu šūnas dalīšanos.

Pēc dzīvnieku vīrusu nokļūšanas saimnieka šūnā un vīrusa DNS vai RNS atbrīvošanās no apvalka noris replicēšanās. Ja atbrīvošanās notiek pumpurošanās laikā, vīrusa daļiņa iegūst ārējo apvalku.

Retrovīrusiem ir RNS gēni. Retrovīrusi ir RNS dzīvnieku vīrusi, kuriem ir DNS stadija. Retrovīrusa vairošanās parādīta 12.4. attēlā. Retrovīruss (lat. *retro* – atpakaļ un *virus* – inde) satur speciālu enzīmu, ko sauc par reverso transkriptāzi, kas veic RNS → cDNS transkripciju. Šo DNS sauc par cDNS tāpēc, ka tā ir vīrusa genoma DNS kopija. Pēc replikācijas izveidojusies DNS dubultspirāle ir integrēta saimnieka genomā. Vīrusa DNS paliek saimnieka genomā un replicējas reizē ar saimnieka DNS. Ja notiek šīs DNS transkripcija, veidojas jauni vīrusi.

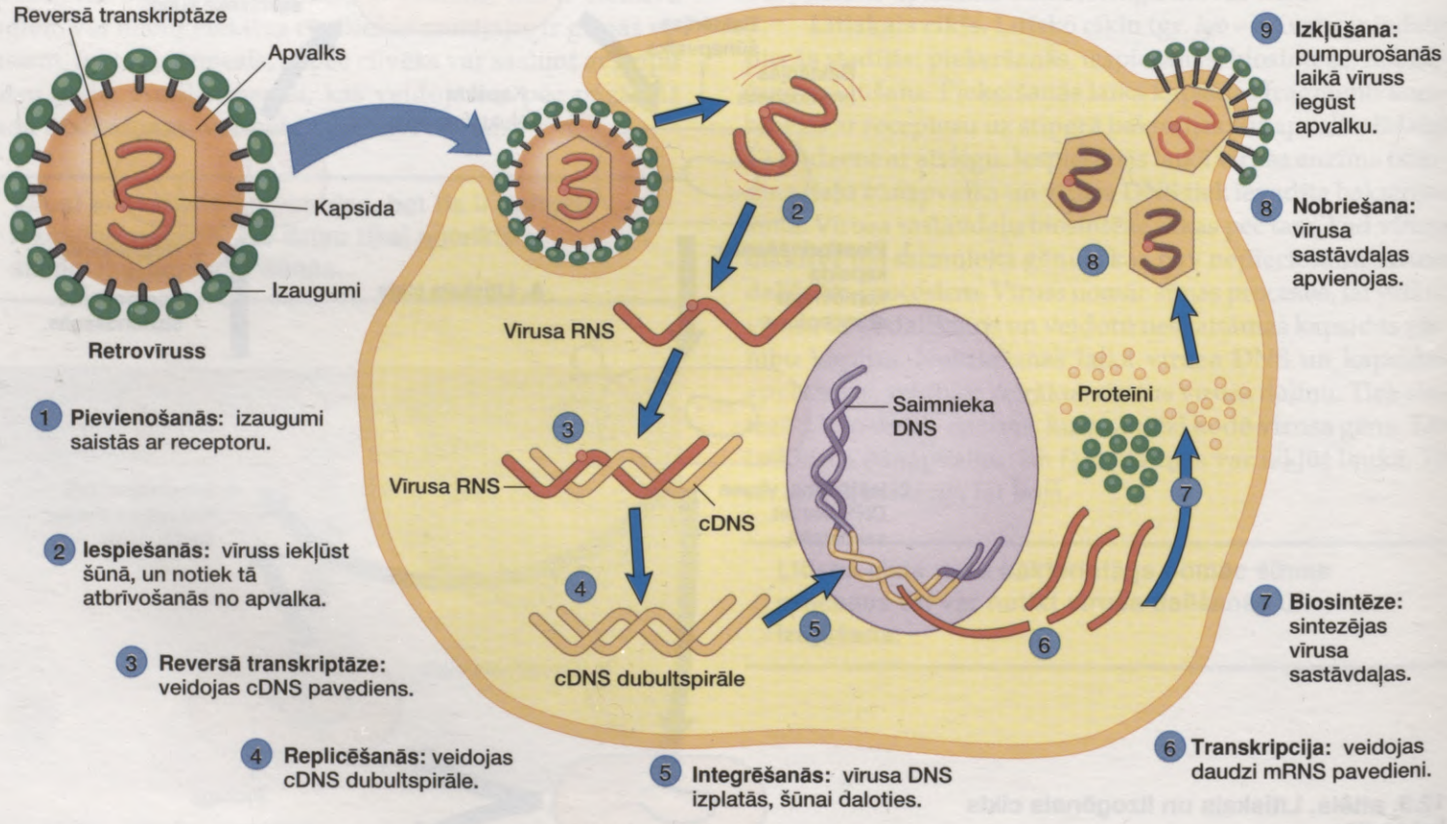
Pēc biosintēzes, nobriešanas un atbrīvošanās tie neiznīcina šūnu, bet nodalās no tās pumpurojoties.

Retrovīrusus īpaši pēta tāpēc, ka cilvēka imūndeficīta vīruss (HIV), kurš izraisa AIDS, arī ir retrovīruss. Retrovīrusi izraisa noteiktas vēža formas.

Vīrusu infekcijas

Visplašāk vīrusi ir pazīstami kā infekcijas slimību ierosinātāji augiem un dzīvniekiem, kā arī cilvēkam. Vismaz tūkstotis dažādu vīrusu izraisa augu slimības. Tā kā ir grūti ārstēt vīrusu infekcijas un atšķirt tās no minerālu deficīta augiem, cilvēki cenšas audzēt pret vīrusu slimībām izturīgus augus un aizsargāt tos no vīrusu infekcijas. Apmēram duci labības slimību izraisa nevis vīrusi, bet viroīdi – kaili, ar kapsīdu nesegti RNS pavedieni. Domājams, ka, līdzīgi kā vīrusu gadījumā, arī viroīdu ietekmē šūna veido jaunus viroīdus.

Arī cilvēkiem vīrusu slimību izplatību ierobežo, novēršot to pārnešanu, veicot vakcinēšanu un pēdējā laikā arī – izmantojot antivīrusu medikamentus.



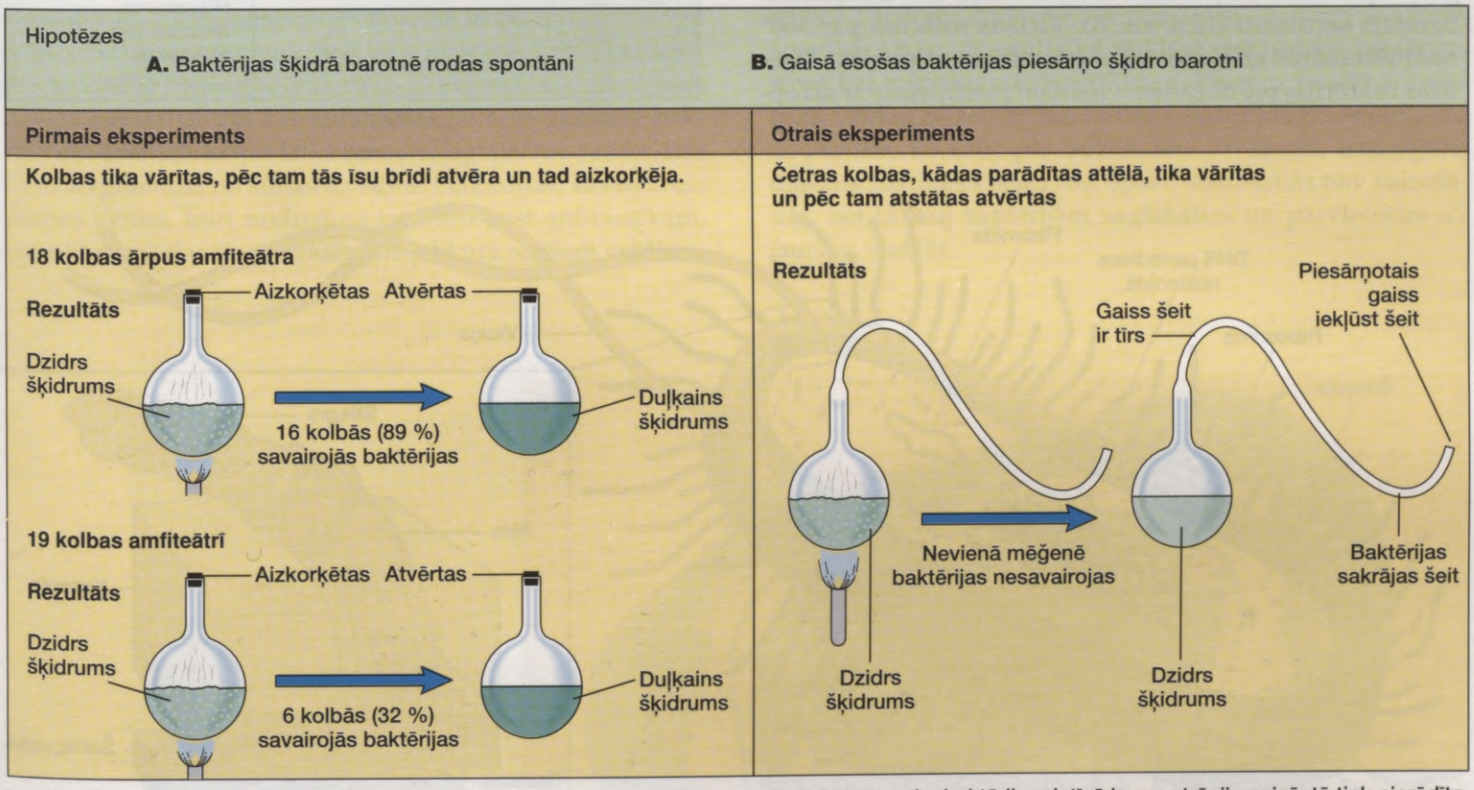
12.4. attēls. Retrovīrusa vairošanās
Lai iekļūtu šūnā, vīrusam nepieciešams atbrīvoties no apvalka. Vīruss integrējas saimnieka genomā. Tas iegūst apvalku, kad pumpurojoties nodalās no saimnieka šūnas.

Zināšanas par vīrusu slimību izplatīšanos var palīdzēt to novērst. Prezervatīva lietošana palīdz novērst HIV izplatīšanos. Bieža roku mazgāšana palīdz novērst gripu. Vakcīnas (lat. *vaccinus* – govju) ir medikamenti, ko lieto, lai veicinātu imunitāti pret patogēnu (saslimšanu izraisošs aģents). Tās ir pieejamas pret dažām vīrusu slimībām, piemēram, pret poliomielītu, masalām un cūciņu. Pētījumi par vīrusu replikāciju ļauj saprast, kāpēc **antibiotikas**, kuras ir izstrādātas, lai iejauktos baktēriju vielmaiņā, neiedarbojas vīrusu saslimšanu gadījumā. Vīrusiem nav savu enzīmu, un tie izmanto saimnieka šūnas enzīmus. Pastāv ļoti neliela iespēja atrast medikamentu, kas veiksmīgi iedarbojas uz vīrusu vairošanos, neietekmējot to saimnieka šūnu vielmaiņu, kurās vīrusu nav. Tomēr tādi medikamenti kā aciklovirs pret herpes infekcijām un AZT pret AIDS aptur vīrusu vairošanos.

Dažas cilvēka slimības rada nevis vīrusi vai baktērijas, bet gan **prioni** – proteīna daļiņas, kuras, iespējams, var pārvērst citus šūnas proteīnus prionā. Prioniem ir izkropļota terciārā struktūra, un tāpēc tie varbūt var citus līdzīgus proteīnus pārvērst šajā formā.

12.2. Baktērijas veido šūna

Monēru valstī ir tikai **baktērijas** (gr. *bacterion* – nūja), kuras tika atklātas tikai pēc tam, kad 17. gadsimtā nīderlandiešu dabaszinātnieks Antons van Lēvenhuks izgudroja pirmo mikroskopu un izpētīja dažāda veida paraugus, arī nokasījumu no paša zobiem. Lēvenhuks un citi viņa sekotāji uzskatīja, ka "mazie dzīvnieciņi", kurus viņi redzēja, var rasties spontāni no nedzīvas matērijas. Apmēram 200 gadus zinātnieki veica dažādus eksperimentus, lai noskaidrotu mikroorganismu, arī baktēriju rašanos. Beidzot, ap 1850. gadu, Luijs Pastērs Francijas Zinātņu akadēmijā veica eksperimentu, kas izskaidrots 12.5. attēlā. Tas parādīja, ka iepriekš sterilizēta šķidra barotne nevar kļūt duļķaina, tajā savairojoties baktērijām, ja vien tā nav tieši pakļauta gaisa ietekmei. Mūsdienās ir zināms, ka gaisā, ūdenī un augsnē, kā arī uz dažādu objektu virsmām ir liels skaits baktēriju. Viena pilna karote ar augsni var saturēt 10^{10} baktēriju. Ir pilnīgi skaidrs, ka visu baktēriju kopējais skaits pārsniedz jebkuru citu uz Zemes dzīvojošo organismu skaitu.



Secinājums
Pamatojoties uz hipotēzi **A**, visās kolbās vajadzētu būt duļķainam šķidrumam.

Rezultātu nosaka baktēriju relatīvā koncentrācija gaisā; tā tiek pierādīta hipotēze **B**. Kad gaiss, kas sasniedz šķidrumu, nesatur baktērijas, barotnē nenotiek baktēriju savairošanās; tā tiek apstiprināta hipotēze **B**.

12.5. attēls. Pastēra eksperiments
Pastērs noliedza mikrobu spontānās rašanās teoriju, veicot eksperimentus, kas līdzīgi attēlā redzamajam eksperimentam.

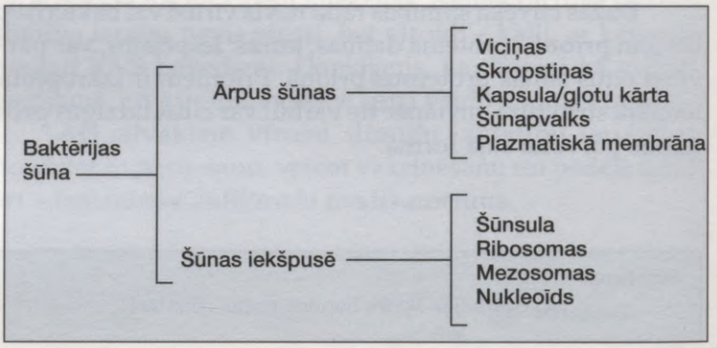
Baktēriju uzbūve ir vienkārša

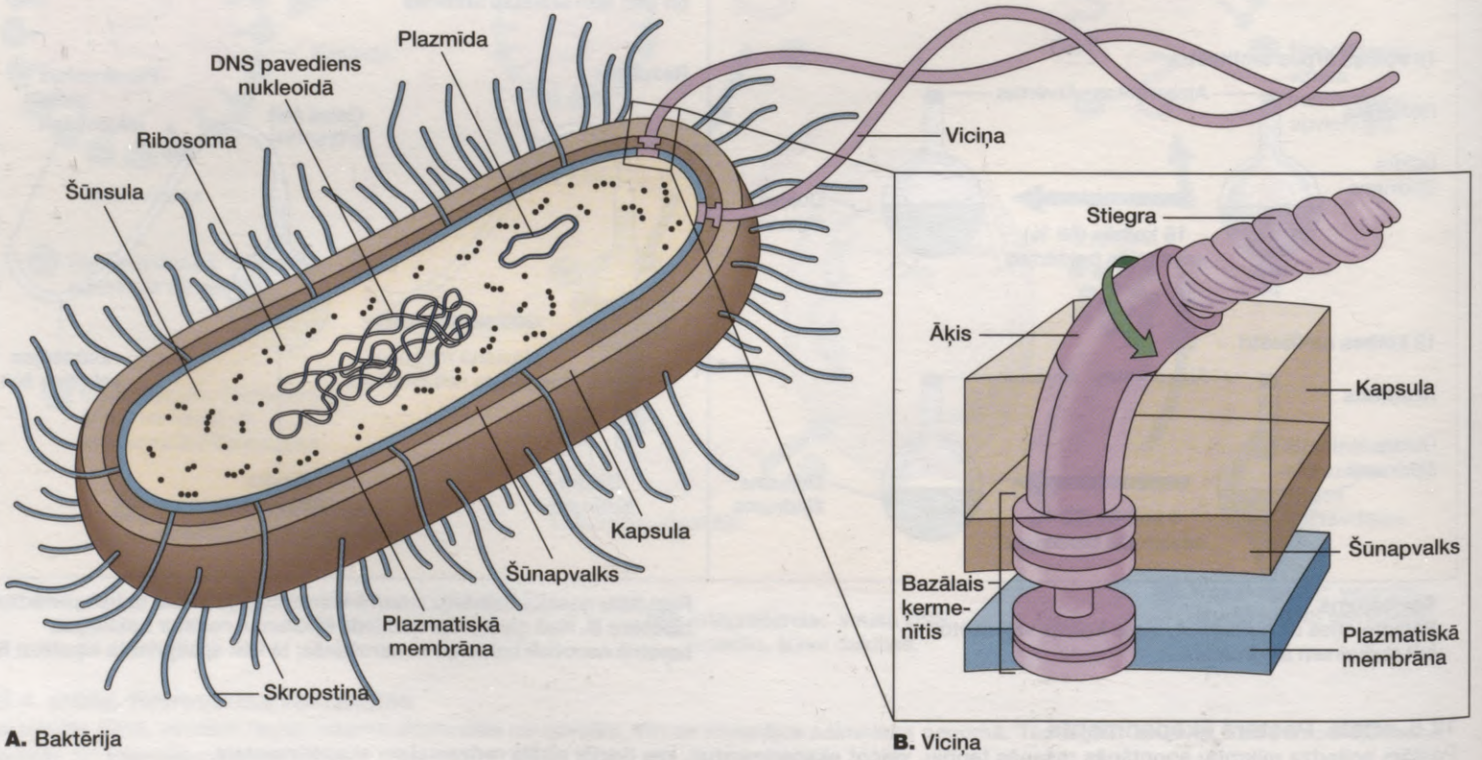
Baktēriju lielums var būt no 1 līdz 19 mm garumā un no 0,7 līdz 1,5 mm platumā. Baktērijas ir prokarioti, kas nozīmē "pirms kodola", un šiem organismiem nav eikariotiska kodola (12.6. att.). Ir atrastas prokariotu fosilijas, kuru vecums novērtēts ar 3,5 miljardiem gadu. Fosiliju atradumi liecina, ka vismaz 2 miljardus gadu prokarioti bija vienīgie organismi uz Zemes. Šajā ilgajā laikā tie kļuva īpaši daudzveidīgi, tomēr nevis uzbūvē, bet vielmaiņas norisēs. Baktērijas ir pielāgojušās dzīvošanai gandrīz visās iespējamās vidēs, jo dažādas baktērijas atšķiras ar veidu, kādā tās iegūst un izmanto enerģiju.

Baktērijām ir ārējais šūnapvalks, kas sastāv no **peptidoglikēna** – vielas, ko veido unikāla aminodisaharīda ķēde, kura savienota ar peptīdsaitēm. Šūnapvalks pasargā baktēriju no pārplīšanas, sadalīšanās osmotisko pārmaiņu rezultātā. Ap šūnapvalku ir kapsula un želejveida **slānis**, ko sauc par gļotu slāni, vai arī tikai želejveida slānis. Parazītiskajām formām šie ārējie apvalki sargā šūnu no saimnieka aizsargmehānismiem.

Dažas baktērijas kustas ar **viciņu** palīdzību. Viciņa sastāv no šķiedras, ko veido trīs spirālē savīti proteīna flagelīna pavedieni. Šķiedra ir ievietota āķī, kas iestiprināts bazālajā ķermenītī (12.6. att. B). Viciņas rotācijas par 360° nodrošina šūnas griešanos un pārvietošanos uz priekšu. Daudzas baktērijas pie dažādām virsmām piestiprinās ar skropstiņām – īsiem matveida izaugumiem uz šūnas virsmas. *Neisseria gonorrhoeae* skropstiņas nodrošina tai iespēju piestiprināties pie saimnieka šūnām un izraisīt gonoreju.

Baktēriju šūnām nav membrānās ietvertu organoīdu, kādi ir eikariotu šūnām, un dažādie vielmaiņas procesi noris uz plazmatiskās membrānas. Tāpat baktērijām nav kodola, bet tām ir blīvs rajons, ko sauc par **nukleoīdu**, kur atrodas viens gredzenveida DNS pavediens – **bakteriālā hromosoma**. Daudzām baktērijām ir papildu DNS gredzeni, ko sauc par **plazmīdām**. Gēnu inženierijā plazmīdas izdala un izmanto par svešas DNS pārnesējām uz saimnieka šūnu. Proteīnu sintēzi baktēriju šūnā veic tūkstošiem ribosomu, kas ir mazākas par eikariotu ribosomām. Shēmā ir parādīta baktērijas šūnas uzbūve.





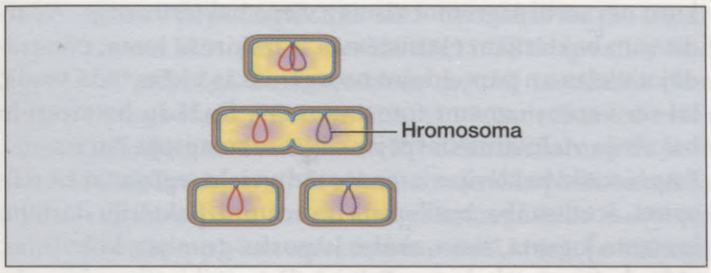
A. Baktērija **B.** Viciņa

12.6. attēls. Baktērijas uzbūves shēma

A. Šūna. **B.** Viciņu veido bazālais ķermenītis, āķis un stiegra. Bulta norāda, ka āķis (un stiegra) griežas par 360°.

Baktērijas vairojas bezdzimumiski

Baktērijas vairojas bezdzimumiski, daloties uz pusēm, ko var attēlot šādi:



Vienkāršā gredzenveida hromosoma replicējas, un, šūnai palielinoties, abas kopijas atdalās viena no otras. No jauna izveidojusies plazmatiskā membrāna un šūnapvalks sadala šūnu divās patstāvīgās šūnās. Prokariotiem nav mitozes, kurai nepieciešama vārpstveida aparāta veidošanās.

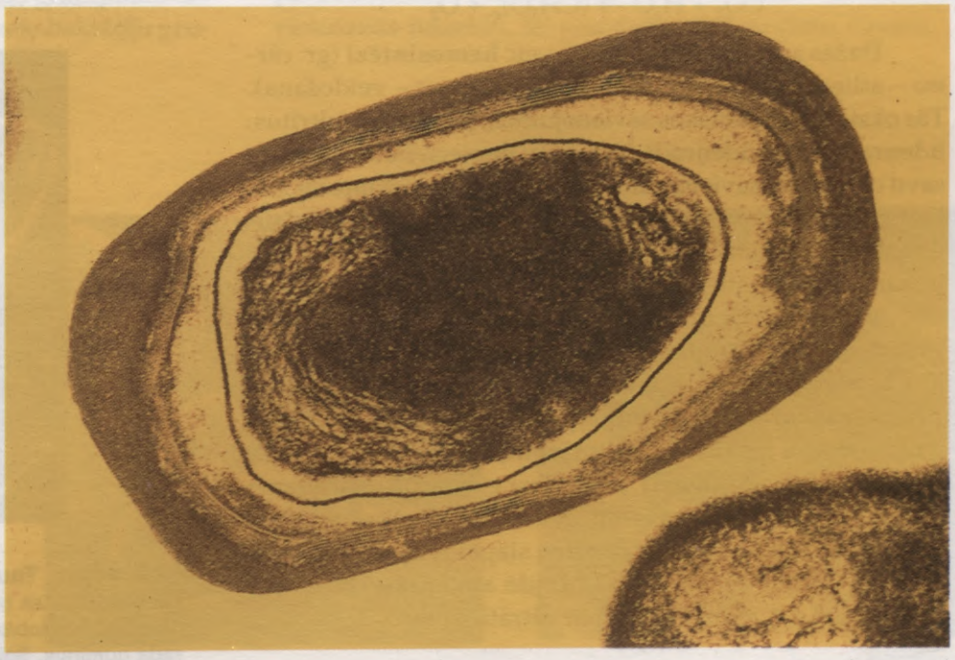
Eikariotiem dzimumvairošanās rezultātā noris ģenētiskā rekombinācija. Baktērijām ģenētiskā rekombinācija var notikt trejādi. Baktērijām ir novērota **konjugācija**, kad donora šūna un DNS recipienta šūna uz laiku ir savienota. Konjugācija notiek tikai starp tās pašas sugas vai radniecīgu sugu baktērijām. **Transformācija** notiek tad, kad no apkārtnes baktērija uzņem brīvus DNS gabaliņus, ko izdalījušas dzīvas baktērijas vai kas izdalījušās no bojā gājušām baktērijām. **Transdukcijas** laikā bakteriofāgi pārnes bakteriālās DNS fragmentus no šūnas uz šūnu. Plazmīdas, kas dažreiz pārnes gēnus, kuri nodrošina izturību pret antibiotikām, var tikt pārnestas starp baktērijām jebkurā no šiem veidiem.

Tā kā ģenētiskā rekombinācija parasti nenotiek, mutācijas kļūst par nozīmīgāko evolucionāro pārmaiņu cēloni. Labvēlīgos apstākļos baktēriju paaudžu maiņa var ilgt tikai 12 minūtes, tāpēc populācijā mutācijas rodas un izplatās daudz ātrāk nekā eikariotiem. Prokarioti ir haploīdi, tāpēc mutācijas tūdaļ tiek pakļautas dabiskajai izlasei jebkura iespējamā labuma izvērtēšanai.

Prokarioti vairojas bezdzimumiski, daloties uz pusēm. Mutācijas ir galvenais līdzeklis, kā sasniegt ģenētisko mainību.

Nonākot nelabvēlīgos vides apstākļos, dažas baktērijas veido **endosporas** (gr. *endon* – iekšpusē un *spora* – sēkla) (12.7. att.).

Citoplazmas daļa un hromosomas kopija zaudē ūdeni un pārklājas ar trim smagiem, aizsargājošiem sporas apvalkiem. Pārējā baktērijas šūnas daļa iet bojā, un endospora izkļūst ārpusē. Sporas izdzīvo visskarbākajos apstākļos, pat tuksneša karstumā, un saglabājas ļoti ilgstoši. Kad uzdīgst 1300 gadus vecas Sibīrijas mēra sporas, tās vēl joprojām var izraisīt nopietnu infekciju (parasti to novēro lielopiem un aitām). Lai dīgtu, endospora uzņem ūdeni un izaug no sporas apvalka. Dažu stundu laikā tā kļūst par tipisku baktērijas šūnu, kas ir spējīga atkal vairoties, daloties uz pusēm. Cilvēki īpaši baidās no nāvējošas, bet reti sastopamas saindēšanās ar pārtiku, ko sauc par **botulismu**. To izraisa endosporu dīgšana pārtikas konservos. Sporu veidošanās nav vairošanās, bet tā ļauj baktērijām saglabāties un pārvietoties uz jaunām vietām.



11.7. attēls. Endospora
Endospora ir izturīga pret ekstremāliem vides apstākļiem. Sterilizācija ir process, kas nogalina visus dzīvos organismus, pat endosporas. To veic autoklāvos – tilpnēs, kurās ir tvaiks zem spiediena. Attēlotā baktērija *Bacillus subtilis* satur endosporu. (Konservēšanai mājās tiek izmantots spiediena katls.)

Baktēriju daudzveidīgā barošanās

Prasībās pēc barības vielām baktērijas nav ļoti atšķirīgas no citiem organismiem. Viena no atšķirībām ir saistīta ar prasībām pēc skābekļa. Dažas baktērijas ir obligāti anaerobas un nav spējīgas augt skābekļa klātbūtnē. Dažas nopietnas slimības – botulismu, gangrēnu un stingumkrampjus (tetanusu) – izraisa anaerobās baktērijas. Citas baktērijas, kuras sauc par fakultatīvi anaerobām baktērijām, var augt gan vidē ar skābekli, gan bez tā. Lielākā daļa baktēriju tomēr ir aerobas, un, līdzīgi dzīvniekiem, tām nepieciešama pastāvīga apgāde ar skābekli, lai nodrošinātu šūnu elpošanu.

Autotrofās baktērijas

Autotrofi organismi var izmantot oglekļa dioksīdu kā oglekļa avotu un no tā sintezēt visas nepieciešamās makromolekulas. Fotosintezējošās baktērijas iedala divās grupās – tās, kas evolucionēja pirmās un neizdala skābekli (O_2), un tās, kas evolucionēja vēlāk un izdala skābekli.

Neizdala skābekli	Izdala skābekli
Ir tikai fotosistēma I	Ir fotosistēmas I un II
Unikāls hlorofila veids, ko sauc par bakteriohlorofilu	Augiem raksturīgais hlorofils

Zaļajām un purpura baktērijām raksturīgs pirmais fotosintēzes tips. Šīs baktērijas neizdala skābekli tāpēc, ka tās neizmanto ūdeni par elektronu donoru. Tā vietā tās izmanto sērogļūdeņradi (H_2S):

$$CO_2 + 2H_2S \rightarrow (CH_2O)_n + 2S$$

Šīs baktērijas parasti dzīvo anaerobos apstākļos, piemēram, purvu dūņainās gruntīs, un neveic fotosintēzi skābekļa klātbūtnē. Pretēji tam ciānbaktērijas (sk. 12.10. att.) satur hlorofilu a un fotosintēzi veic tāpat kā aļģes un augi:

$$CO_2 + H_2O \rightarrow (CH_2O)_n + O_2$$

Dažas autotrofās baktērijas veic **hemosintēzi** (gr. *chemo* – attiecas uz vielām, *syn* – kopā un *thesis* – veidošana). Tās oksidē neorganiskos savienojumus, piemēram, nitrītus, ūdeņradi un sērūdeņradi, lai iegūtu nepieciešamo enerģiju savu organisko savienojumu veidošanai. Hemosintezējošās baktērijas (hemoautotrofās baktērijas) uzņem nelielu daudzumu tās enerģijas, kas izdalās šīs oksidācijas laikā, un to izmanto ogļhidrātu sintēzes reakcijās.

Ir divas īpaši interesantas hemosintezējošo baktēriju grupas. Pirmās sastopamas 2,5 kilometrus zem jūras līmeņa, kur karstas minerālvielas izplūst no Zemes dzīlēm, piegādājot sērūdeņradi hemosintezējošām baktērijām, kas dzīvo gan brīvi, gan gigantisku veltņtārpu ķermeņos. Organiskās vielas, ko veido baktērijas, nodrošina gan tārpu, gan ēdamo gliemeņu un krabju augšanu. Hemosintezējošās baktērijās notiek arī reakcijas, kas nodrošina slāpekļa apriti ekosistēmās. Nitrificējošās baktērijas oksidē amonjaku (NH_3) par nitrītiem (NO_2^-) un nitrītus par nitrātiem (NO_3^-).

Heterotrofās baktērijas

Lielākā daļa baktēriju ir aerobi **saprotrofi** (gr. *sapros* – satrunējis un *trophe* – barība). Šie noārdītāji var sadalīt tik dažādas vielas, ka, iespējams, nav tādas dabiskas organiskas vielas, kuru nevarētu sagremot vismaz viena baktēriju suga. Noārdītājām baktērijām ekosistēmās ir izšķiroša loma, pārstrādājot vielas un pārveidojot neorganiskās vielas tādā veidā, lai tās varētu uzņemt fotosintezētāji. Dažādu heterotrofo baktēriju vielmaiņas iespējas cilvēks izmantojis jau izsenis. Rūpnieciski baktērijas izmanto tādu vielu iegūšanai kā etilspirts, acetilskābe, butilspirts un acetoni. Baktēriju darbību izmanto jogurta, siera, skābu kāpostu, gumijas, kokvilnas, zīda, kafijas un kakao ražošanā. Pat antibiotikas, kas tiks apskatītas turpmāk, ražo baktērijas.

Heterotrofās baktērijas var būt brīvi dzīvojošas vai **simbiotiskas** (gr. *sym* – kopā un *bios* – dzīve), tās veido mutuālistiskas, komensālistiskas vai parazītiskas attiecības ar visiem organismiem. Dažas mutuālistiskās baktērijas ir iesaistītas slāpekļa apritē. Tās dzīvo sojas, āboliņa un lucernas sakņu gumiņos, kur reducē gaisa slāpekli (N_2) par amonjaku. Šo procesu sauc par **slāpekļa fiksāciju** (12.8. att.). Augi nevar piesaistīt gaisa slāpekli, tāpēc tie, kuriem nav gumiņu, nitrātu un amonija jonus uzņem no augsnes. Citas mutuālistiskas baktērijas, kas dzīvo cilvēka zarnu traktā, izdala K un B_{12} vitamīnus, kas nepieciešami asiņu sastāvdaļu veidošanai. Govju un kazu kuņģos īpašas mutuālistiskas baktērijas sagremo celulozi, nodrošinot šo dzīvnieku barošanos ar zāli.

Komensālismu bieži novēro gadījumos, kad viena populācija uzlabo vidi tādā veidā, ka otra no tā gūst kādu labumu. Obligāti anaerobie organismi var dzīvot cilvēka zarnu traktā tikai tāpēc, ka baktērija zarnu nūjiņa *(Escherichia coli)* izmanto pieejamo skābekli. Līdzīgi inficēšanās ar vienām baktērijām paver iespēju citas baktērijas ietekmei.



12.8. attēls. Tauriņzieža gumiņi
Lai gan ir dažas brīvi dzīvojošas baktērijas, kas veic slāpekļa fiksāciju, *Rhizobium* ģints pārstāvji iekļūst tauriņziežu saknēs un rada gumiņus. Šeit baktērijas pārveido atmosfēras slāpekli organiskos slāpekļa savienojumos, kurus var izmantot augi. Attēlā redzami gumiņi uz sojas *(Glycine)* saknēm.

12.3. Baktēriju klasifikācija

Baktērijas ir prokarioti, kuriem nav kodola un ar membrānu norobežotu organoīdu, kādi ir eikariotu šūnās. Lielākajai daļai baktēriju šūna ir norobežota ar šūnapvalku, kas satur īpašu vielu – peptidoglikānu. Bieži baktērijas iedala, izmantojot Grama krāsošanas metodi. Dažādi šūnapvalku veidi krāsojas atšķirīgi. Šo krāsošanas metodi izstrādāja dāņu bakteriologs Hans Kristians Grams 19. gadsimta astoņdesmito gadu beigās. Grampozitīvās baktērijas satur joda kompleksu, kas krāsojas, tāpēc gaismas mikroskopā šīs baktērijas redzamas purpura krāsā, bet gramnegatīvās baktērijas nesatur šo kompleksu un redzamas sārtā krāsā. Šo atšķirību nosaka šūnapvalka uzbūve. Grampozitīvajām baktērijām šūnapvalkā ir biezs peptidoglikāna slānis, bet gramnegatīvajām baktērijām šis slānis ir plāns.

Baktērijām ir trīs pamatformas (12.9. att.): nūjiņas (*bacillus*; daudzsk. *bacilli*); lodveida baktērijas (*coccus*; daudzsk. *cocci*) un spirāliskas jeb spirālveida baktērijas (*spirillum*; daudzsk. *spirilli*). Šīs trīs baktēriju pamatformas var būt dažādi apvienotas. Piemēram, koki var veidot grupas (stafilokoki, diplokoki) vai ķēdes (streptokoki). Nūjiņveida baktērijas var būt ļoti īsas (koka baciļi) vai veidot garus pavedienus.

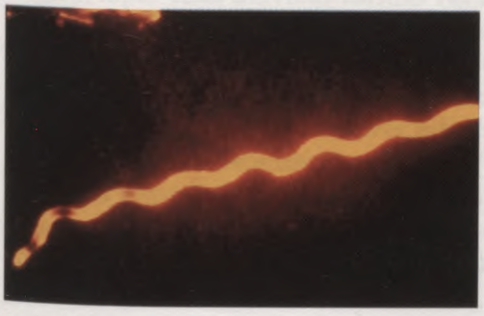
Vēsturiski baktērijas iedala taksonomiskās grupās, pamatojoties uz to šūnapvalka veidu (grampozitīvas un gramnegatīvas), endosporu veidošanos, vielmaiņas, augšanas un barošanās īpašībām, fizioloģiskajām īpašībām un citiem kritērijiem. Pēdējo 75 gadu laikā baktēriju taksonomija tika apkopota Berdžeja baktēriju noteikšanas rokasgrāmatā *(Bergey's Manual of Determinative Bacteriology)*. Jaunākajā Berdžeja rokasgrāmatas izdevumā baktērijas ir iedalītas 19 lielās grupās, kas tālāk sadalītas kārtās, dzimtās, ģintīs un sugās. Grupu nosaukumi, piemēram, "nekustīgas, gramnegatīvas, saliektas baktērijas" vai "sporas neveidojošas grampozitīvas nūjiņas", radīti, izmantojot fenotipisku pieeju baktēriju grupēšanā. Šis izdevums tika publicēts neilgi pirms atklājuma, ka par pamatu baktēriju filoģenētiskai grupēšanai var izmantot ribosomālās RNS analīzes.

Kopš 20. gadsimta astoņdesmitajiem gadiem Kārlis Veuzs un citi pētnieki ir radījuši jauna veida baktēriju taksonomiju, kas pamatojas uz baktēriju 16S ribosomālās RNS secību filoģenētisku salīdzinājumu. Pašlaik ir pazīstamas 12 grupas. Dažas pazīmes un šo grupu ģintis ir minētas 12.2. tabulā. Dažas jaunas grupas, piemēram, spirohetas, pamatā ir identiskas agrākajām klasifikācijas sistēmām. Tomēr citās grupās ir iekļautas atšķirīgas baktērijas, kas ir fizioloģiski attālas, bet tomēr tām ir kopējas 16S ribosomālās RNS secības. Piemēram, *Deinococcus* grupa ietver grampozitīvas, pret radiāciju izturīgas baktērijas un gramnegatīvas, termofilas baktērijas. Kaut gan pastāv ievērojamas fenotipiskas atšķirības, šie divi šķietami atšķirīgie baktēriju veidi ir ģenētiski radniecīgi. Ir nepieciešami turpmāki pētījumi, lai noskaidrotu, kādā veidā šie atšķirīgie fenotipi ir savā starpā saistīti.

Ciānbaktērijas

Ciānbaktērijas (gr. *kyanos* – zils un *bacterion* – nūjiņa) ir gramnegatīvas baktērijas ar vairākām neparastām īpašībām. Tām raksturīga tāda pati fotosintēze kā augiem, un tās uzskata par pirmajām, kas izdalīja skābekli pirmatnējā atmosfērā. Agrāk ciānbaktērijas sauca par zilaļģēm un tās tika klasificētas kopā ar eikariotiskajām aļģēm, bet tagad ir zināms, ka tās ir prokarioti. Tām var būt arī citi pigmenti, kas noslēpj hlorofila krāsu, un tāpēc tās izskatās, piemēram, ne tikai zilganzaļas, bet arī sarkanas, dzeltenas, brūnas vai melnas.

Ciānbaktēriju šūnas ir diezgan lielas. To diametrs ir no 1 līdz 50 mm. Tās var būt vienšūnas, kolonijveida vai pavedienveida. Ciānbaktērijām nav nekādu redzamu pārvietošanās līdzekļu, lai gan dažas slīd pa cietu virsmu.



A. Spirilla



B. Baciļi pa pāriem



C. Koki virknītēs

12.9. attēls. Baktēriju daudzveidība
A. Spirillas (spirālveida baktērijas)
B. Nūjiņveida baktērijas (baciļi)
C. Lodveida baktērijas (koki)

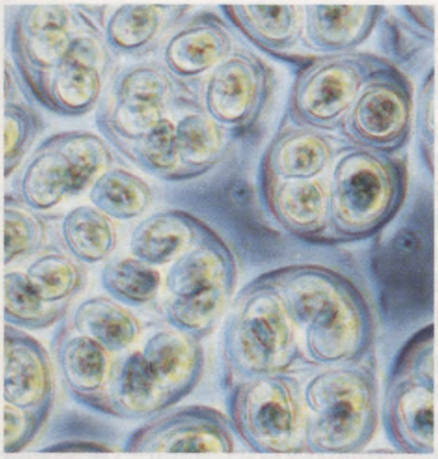
12.2. tabula

Lielākās baktēriju filoģenētiskās grupas

Grupa	Grupas raksturojums	Raksturīgākās grupas ģintis
Aquificales	Īpaši termofilas baktērijas. Baktēriju domēnes vecākais zars	*Aquifex, Hydrogenobacter*
Thermotogales	Īpaši termofilas baktērijas. Šūnas bieži ietver maksts (toga)	*Thermotoga, Thermosipho*
Zaļās bezsēra baktērijas	Lielākā daļa baktēriju šajā grupā ir fotosintezējošas, dažas ir termofilas	*Chloroflexus, Herpetosiphon, Thermomicrobium*
Deinococci	Baktērijas, kurām ir netipisks peptoglikāna šūnapvalks (satur ornitīnu diaminopimelijskābes veidā). *Deinococcus* apakšgrupa ir grampozitīvas baktērijas, kas ir izturīgas pret radiāciju. *Thermus* apakšgrupa ir gramnegatīvas, termofilas baktērijas	*Deinococcus, Thermus*
Proteobacteria	Ietver fenotipiski daudzveidīgu gramnegatīvu baktēriju grupu. Daži (purpura baktērijas) grupas pārstāvji ir fototrofi, bet neveido skābekli fotosintēzes laikā; daži ir hemotrofi; daži pārstāvji var fiksēt slāpekli. Grupu turpmāk iedala alfa, beta, gamma, delta un epsilon protobaktērijās	*Rhodobacter, Nitrobacter, Beggiatoa, Escherichia, Salmonella, Shigella, Enterobacter, Pseudomonas, Rhizobium, Legionella*
Grampozitīvās baktērijas*	Visas grampozitīvās baktērijas. Šo grupu sadala zema mol% G+C grupā, ieskaitot endosporas veidojošas baktērijas, latoskābes baktērijas, anaerobos un aerobos kokus un mikoplazmas; un augsta mol% G+C grupā, kas ietver pavedienveida aktinomicētes un tām radniecīgas baktērijas	*Staphylococcus, Clostridium, Bacillus, Mycoplasma, Mycobacterium, Corynebacterium, Streptomyces, Actinomyces*
Cyanobacteria	Fototrofas baktērijas, kas veido skābekli fotosintēzes laikā	*Nostoc, Anabaena, Oscillatoria*
Chlamydiae	Baktērijas, kurām nav peptidoglikāna un ir proteīna šūnapvalks; ir obligāti iekššūnu parazīti dzīvnieku šūnās	*Chlamydia*
Planctomycetes	Gramnegatīvas baktērijas, kas dalās pumpurojoties; daudzas šūnas veido izaugumus vai kājiņas	*Planctomyces*
Bacteroides un to radinieki	Gramnegatīvas nūjiņveida baktērijas. Šo grupu iedala *Bacteroides* apakšgrupā, kas ietver fermentatīvas anaerobas baktērijas, un *Flavobacterium* apakšgrupā, kas ietver elpojošas aerobas baktērijas, kas var būt nūjiņveida vai pavedienveida	*Bacteroides, Fusobacterium, Cytophaga, Flavobacterium*
Zaļās sēra baktērijas	Zaļas fototrofas baktērijas, kas neizdala skābekli fotosintēzes laikā	*Chlorobium*
Spirochetes	Gramnegatīvas spirāliskas vai spirālveida šūnas ar izteiktām spirālveida kustībām	*Spirochaeta, Borrelia, Treponema, Leptospira*

* G = guanīns, C = citozīns

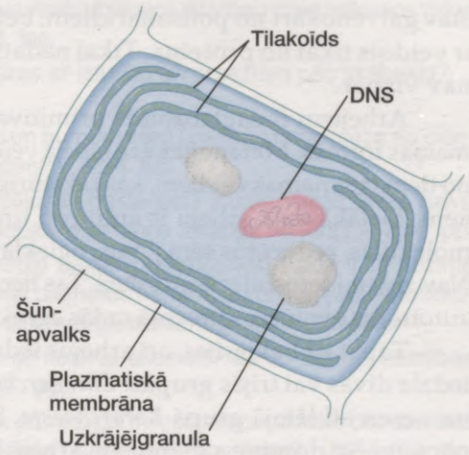
Lawrence C. Parks, Luisvilas Universitāte



A. *Gloeocapsa*



B. *Oscillatoria*



C. *Oscillatoria* šūna

12.10. attēls. Ciānbaktēriju daudzveidība
A. *Gloeocapsa* atsevišķas šūnas grupējas kopējā gļotainā makstī. **B.** *Oscillatoria* raksturīgi pavedieni. **C.** Viena *Oscillatoria* šūna, kāda tā redzama elektronu mikroskopā.

Citas ciānbaktērijas svārstās (šūpojas uz priekšu un atpakaļ). Dažām ciānbaktērijām ir īpašas priekšrocības, jo tām veidojas heterocistas – šūnas ar biezu šūnapvalku bez kodola – un noris slāpekļa fiksācija. Tā kā ciānbaktērijas spēj veikt fotosintēzi un arī fiksēt atmosfēras slāpekli (N_2), tām ir minimālas prasības pēc barības vielām. Ciānbaktērijas ekosistēmās var noderēt par barības objektu heterotrofiem organismiem.

Ciānbaktērijas (12.10. att.) ir izplatītas saldūdeņos, augsnē un uz mitrām virsmām, bet tās var atrast arī skarbos vides apstākļos, piemēram, karstajos avotos. Ciānbaktērijām ir simbiotiskas attiecības ar vairākiem organismiem, piemēram, aknu sūnām, papardēm un dažreiz pat ar koraļļiem. Kopā ar sēnēm tās veido ķērpjus, kas var augt uz klintīm. **Ķērpis** ir simbiotisks organisms, kurā ciānbaktērija piegādā organiskās barības vielas sēnei, bet sēne aizsargā savu partneri un piegādā tam neorganiskās vielas. Ir iespējams, ka sēne parazitē uz aļģes. Ķērpji palīdz pārveidot klintis par augsni, tāpēc citas dzīvības formas var attīstīties pēc tiem. Uzskata, ka ciānbaktērijas evolūcijas gaitā bija pirmās, kas kolonizēja sauszemi. Ciānbaktērijas ir arī citā veidā ekoloģiski nozīmīgas. Ja netiek pievērsta uzmanība rūpnieciskō, lauksaimniecisko un sadzīves atkritumu novietošanai, fosfāti ieskalojas ezeros un dīķos, izraisot "ziedēšanu". Ūdens virskārta kļūst duļķaina, un gaisma nespēj iespiesties dziļākajos slāņos. Kad ciānbaktēriju slānis atmirst, baktērijas, kas to sadala, izmanto pieejamo slāpekli, izraisot zivju bojāeju skābekļa trūkuma dēļ.

Ciānbaktērijas ir fotosintezētāji, kas dažreiz var fiksēt atmosfēras slāpekli. Kopā ar sēnēm tās veido ķērpjus, kas piedalās augsnes veidošanā.

12.4. Arheju un baktēriju salīdzinājums

Viens no nozīmīgākajiem baktēriju analīzes, kurā izmantoja 16S ribosomālās RNS secības, rezultātiem, bija tas, ka tika atklātas dažas baktēriju grupas, kas atšķīrās no visām pārējām baktērijām tikpat lielā mērā, cik baktērijas atšķiras no eikariotu šūnām. Sākotnēji šos mikroorganismus sauca par arhebaktērijām (gr. *archaios* – vecs). Tie ir prokarioti, kurus atrod dzīvības eksistencei ārkārtējos apstākļos. Turpmākie pētījumi atklāja, ka šie neparastie mikroorganismi ir pietiekami atšķirīgi no baktērijām, lai tos iekļautu īpašā arheju domēnē *(Archaea)*. **Arheji** ir prokarioti, kuru molekulārās īpašības tos atšķir gan no baktērijām, gan eikariotiem. To rRNS, tRNS un DNS analīze liecina, ka dzīvo organismu evolūcijā primāri ir iesaistītas trīs domēnes – baktērijas, arheji un eikarioti. Katra no šīm domēnēm ir veikusi savu evolucionāro ceļu kopš tā brīža, kad tās nodalījās no kopējā senča. Tā kā arheji un baktērijas dzīvo ekstremālos vides apstākļos (karstajos avotos, termālajos gāzu izplūdes rajonos un vietās ar augstu sāļu koncentrāciju), tās no kopējā senča varēja diverģēt relatīvi drīz pēc dzīvības rašanās. Uzskata, ka vēlāk no arheju attīstības līnijas nodalījās eikarioti. Tātad domā, ka eikarioti ir tuvāk radniecīgi arhejiem nekā baktērijām. Arhejiem daži ribosomu proteīni ir tādi paši kā eikariotiem, bet šie proteīni nav atrasti baktērijām. Arheji un eikarioti tādā pašā veidā sāk transpirāciju, un tiem ir arī līdzīga RNS. Arheju citoplazmatiskās membrānas satur reti sastopamus lipīdus, kas ļauj tiem funkcionēt augstā temperatūrā. Arheju lipīdi satur glicerolu, kas savienots ar zarotu ogļūdeņražu ķēdi, pretstatā baktēriju lipīdiem, kuri sastāv no taukskābēm piesaistīta glicerola. Arhejiem ir izveidojušies daudzveidīgi šūnapvalki, kas veicina to izdzīvošanu ekstremālos apstākļos. Šie šūnapvalki nesatur peptidoglikānu. Dažiem arhejiem šūnapvalks sa-

stāv galvenokārt no polisaharīdiem, bet citiem šūnapvalks ir veidots tikai no proteīna. Tikai nedaudziem šūnapvalka nav vispār.

Arhejiem ir saglabājušās primitīvas un unikālas vielmaiņas formas. **Metanoģenēze** (spēja veidot metānu) ir viens no tiem vielmaiņas veidiem, kas raksturīgs tikai dažiem arhejiem. Lielākā daļa arheju ir autotrofi un izmanto ūdeņraža molekulas, reducētus sēra jonus, oglekļa dioksīdu un ūdeni. Nav zināmi fotosintezējoši arheji. Tas liecina par to, ka hemoautotrofija evolūcijas procesā radās agrāk par fotoautotrofiju.

Tāpat kā baktērijas, arī arhejus iedala grupās. Arhejus iedala divās vai trijās grupās: *Chrenarchaeota*, *Euryarchaeota* un nesen atklātajā grupā *Korarchaeota*. Starp *Euryarchaeota* pārstāvjiem dominē metanogēni arheji, bet ir arī halofili organismi. **Metanogēnie** arheji dzīvo anaerobā vidē dumbrājos, dūkstājos un dzīvnieku zarnu traktā, kur tie veido metānu (CH_4) no ūdeņraža (H_2) un oglekļa dioksīda, vienlaikus veidojot ATP. Šis metāns, kuru sauc arī par biogāzi, izdalās atmosfērā, veicinot siltumnīcas efektu un globālo sasilšanu. Aptuveni 65 % metāna, kas atrodas mūsu atmosfērā, ir veidojuši šie metanogēnie arheji.

Halofilu eksistencei nepieciešama augsta sāļu koncentrācija (parasti 12–15 %; okeānā sāls saturs ir aptuveni 3,5 %). Tie ir izdalīti no vietām ar augstu sāļu koncentrāciju, piemēram, Lielā Sālsezera Jūtā (ASV), Nāves jūras, sālsezeriem, hipersalīnām augsnēm. Šiem arhejiem ir izveidojušies vairāki mehānismi, kas palīdz izdzīvot vidē ar augstu sāļu koncentrāciju. To proteīniem ir unikāli hlorīdu sūkņi, kas izmanto halorodopsīnu (radniecīgu pigmentam rodopsīnam, kas atrodams mūsu acīs), lai iesūknētu hlorīdu šūnā, un bakteriorodopsīnu, lai gaismas vidē sintezētu ATP.

Trešais galvenais arheju tips ir termoacidofili, kas pārstāv *Chrenarchaeota*, *Euryarchaeota* un *Korarchaeota*. Šie arheji ir izdalīti no tādām ļoti karstām un skābām vietām kā karstie avoti, geizeri, zemūdens termālās gāzu izplūdes vietas jūrā un vulkānu apkaimē. Lielākā daļa no šiem arhejiem labi izdzīvo vidē, kuras temperatūra ir augstāka par 80 °C, un daži var augt pat 105 °C temperatūrā (ūdens vārās 100 °C temperatūrā). Daudzi no termoacidofiliem arhejiem izmanto sulfātu par enerģijas avotu ATP veidošanai. Tie dabā ir atrasti vietās ar augstu sulfātu koncentrāciju un vislabāk aug, ja pH ir no 1 līdz 2.

Pārskats

Ikviens no mums zina, ka vīrusu infekcijas gadījumos medicīnas zinātne nespēj neko darīt mūsu labā tāpēc, ka antibiotikas ir neefektīvas pret vīrusiem. Toties tad, kad veselības problēmas rada baktērijas, atbilstošas antibiotikas labi palīdz. Tomēr pēdējos gados daudzas baktērijas kļuvušas izturīgas pret antibiotikām. Tas ir labs evolūcijas piemērs – tās dažas baktērijas, kas ir izturīgas pret antibiotikām, izdzīvo un vairojas, un tā galu galā viss baktēriju celms ir izturīgs. Rezultātā patlaban ir novērojama tādu slimību parādīšanās no jauna, kas tika uzskatītas par apkarotām, piemēram, tuberkuloze.

Kļūdaini ir domāt, ka visas baktērijas ir kaitīgas. Lielākā daļa ir labdabīgi saprotrofi, kas sadala bojāgājušu organismu organiskās vielas un nodrošina vielu atkārtotu iekļaušanos ekosistēmās. Mutuālistiskās baktērijas fiksē slāpekli augu gumiņos, nodrošina zālēdājiem celulozes sagremošanu un izdala cilvēka zarnu traktā noteiktus vitamīnus.

Ciānbaktērijas, ko sauc arī par zilaļģēm, veic fotosintēzi līdzīgi augiem. Uzskata, ka Zemes primitīvajā atmosfērā tie pirmie izdalīja skābekli. Ciānbaktērijas, iespējams, ir bijušas pirmie sauszemes iekarotāji, bet mūsdienās tās kopā ar sēnēm rada ķērpjus, kas nodrošina augsnes veidošanos.

Daudzas baktērijas un arheji var dzīvot tādā vidē, kas, iespējams, atgādina vidi, kāda bija sastopama Zemes veidošanās laikā. Prokarioti ir atrodami tādās dzīvībai nelabvēlīgās vietās kā dūksnāji, Nāves jūra un karstie sēravoti. Bez baktērijām nav iedomājama vairuma ekosistēmu eksistence.

Kopsavilkums

12.1. Vīrusi ir daļiņas

Vīrusi ir bezšūnu struktūras, bet baktērijas ir pilnvērtīgi funkcionējoši organismi. Visiem vīrusiem ir vismaz divas daļas: ārējā kapsīda, kas sastāv no proteīna daļiņām, un iekšējā nukleīnskābes serde, ko veido vai nu DNS, vai RNS, bet ne abas vienlaikus. Dažiem ir arī ārējais membrānas apvalks.

Vīrusi ir obligāti iekššūnas parazīti, kas var saglabāties tikai dzīvās šūnās, piemēram, vistas olā. Tos var savairot audu kultūrās.

Bakteriofāga lītisko ciklu veido piestiprināšanās, iekļūšanas, biosintēzes, nobriešanas un izkļūšanas stadija. Bakteriofāgu lizogēnajā ciklā vīrusa DNS uz nenoteiktu laiku ir bakteriālajā DNS, bet, ja to stimulē, tā var pāriet lītiskajā ciklā.

Dzīvnieku vīrusiem, kuriem ir membrānas apvalks, vairošanās cikls atšķiras. Lai atbrīvotu genomu, ir nepieciešams nomest apvalkus, un pumpurošanās laikā vīrusu daļiņas izkļūst no šūnas. RNS retrovīrusiem ir enzīms – reversā transkriptāze, kas veic atgriezenisko transkripciju. Tās gaitā veidojas cDNS, kas iesaistās saimnieka DNS. AIDS izraisošais HIV vīruss ir retrovīruss.

Vīrusu infekcijas var novērst, lietojot vakcīnas un antivīrusu medikamentus. Antivīrusu medikamenti novērš DNS replicēšanos.

12.2. Baktērijas veido šūna

Baktērijas, arī zilaļģes, ietilpst monēru valstī. Baktēriju šūnām nav kodola, kā arī lielākās daļas citu citoplazmatisko organoīdu, kādi ir eikariotu šūnās. Šūnapvalku veido peptidoglikāns. Baktērijas vairojas bezdzimumiski, daloties uz pusēm. Ģenētiskās rekombinācijas nodrošina konjugācija, transformācija un transdukcija, bet galvenā nozīme ģenētiskās daudzveidības radīšanā ir mutācijām. Dažas baktērijas veido endosporas, kas ir īpaši izturīgas pret iznīcināšanu. Šādā veidā ģenētiskais materiāls pārdzīvo nelabvēlīgus apstākļus.

Baktērijas atšķiras ar prasībām pret skābekli. Starp tām ir obligāti anaerobas, fakultatīvi anaerobas un aerobas baktērijas. Dažas baktērijas ir autotrofas un var būt vai nu fotosintezējošas, vai hemosintezējošas. Dažas fotosintezējošas baktērijas (ciānbaktērijas) izdala skābekli, bet citas (purpura un zaļās sēra baktērijas) to neizdala. Hemosintezējošas baktērijas oksidē neorganiskās vielas, piemēram, sērūdeņradi, lai iegūtu enerģiju nepieciešamo barības vielu veidošanai. Pārsteidzoši, ka šīs baktērijas nodrošina sabiedrību eksistenci hidrotermālajās gāzu izdalīšanās vietās.

Lielākā daļa baktēriju ir aerobi heterotrofi – saprotrofi sadalītāji, kas ir pilnīgi nepieciešami, lai notiktu barības vielu aprite ekosistēmās. To metaboliskās iespējas ir tik plašas, ka cilvēks tās izmanto gan vielu sadalīšanai, gan veidošanai. Daudzas heterotrofas baktērijas ir simbiotiskas. Mutuālistiskās, slāpekli fiksējošās baktērijas dzīvo gumiņos, kas atrodas uz tauriņziežu saknēm. Daži simbionti tomēr ir parazītiski un izraisa augu un dzīvnieku slimības.

12.3. Baktēriju klasifikācija

Baktēriju klasifikācija joprojām pilnveidojas. Pašreiz primārā nozīme ir šūnas formai un šūnapvalka struktūrai, kas nosaka iekrāsošanos pēc Grama metodes. Ir trīs baktēriju formu pamatveidi: nūjiņveida baktērijas (baciļi), apaļas baktērijas (koki) un spirāliskas baktērijas (spirillas). Īpašu interesi izraisa ciānbaktērijas, kas ir pirmie organismi, kuri fotosintezēja tādā pašā veidā kā augi. Ciānbaktērijām simbiozē ar sēnēm veidojas ķērpji.

12.4. Arheju un baktēriju salīdzinājums

Pamatojoties uz molekulāro pētījumu rezultātiem, tiek izdalītas trīs evolucionāras domēnes: baktērijas *(Bacteria)*, arheji *(Archaea)* un eikarioti *(Eukarya)*. Turklāt izrādās, ka arheji ir ciešāk saistīti ar eikariotiem nekā ar baktērijām. Tomēr gan arheji, gan baktērijas ir prokarioti. Arheju šūnapvalkus atšķirībā no baktēriju šūnapvalkiem neveido peptidoglikāns, un tiem ir ar eikariotiem kopēji gēni.

Triju veidu arheji dzīvo ļoti skarbos apstākļos, piemēram, anaerobos dūkstājos (metanogēni), sāļajos ezeros (halofili) un karstajos sēravotos (termoacidofili).

Pārbaudiet sevi

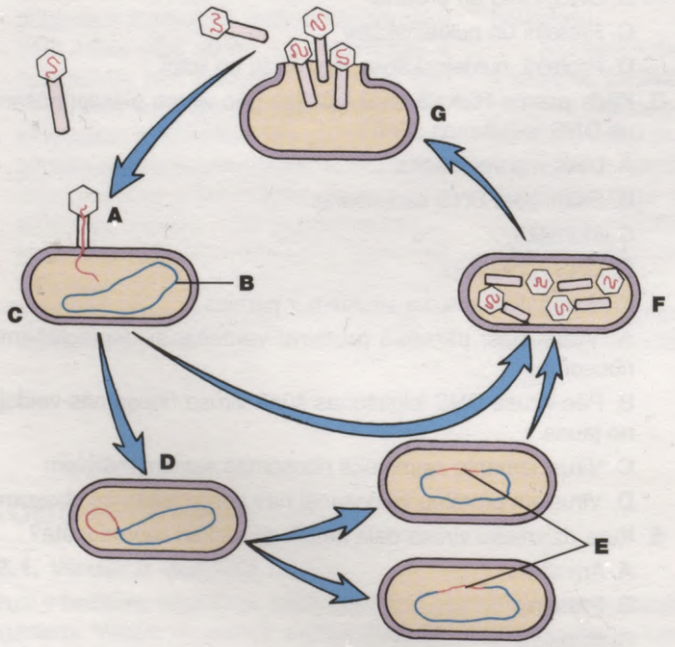
1. Salīdziniet vīrusu un baktēriju dzīvības pazīmes! 217. lpp.
2. Kāda ir vīrusu vispārējā uzbūve? Kāpēc tie ir obligāti parazīti? 228. lpp.
3. Kas ir tikai vīrusiem raksturīgais? Kā vīrusus var kultivēt laboratorijā? 228. lpp.
4. Raksturojiet bakteriofāgu lītisko un lizogēno ciklu! 228.–229. lpp.
5. Ar ko atšķiras dzīvnieku vīrusu un bakteriofāgu uzbūve un vairošanās cikls? 228.–229. lpp.
6. Ar ko retrovīrusi atšķiras no dzīvnieku vīrusiem? Raksturojiet retrovīrusu reproduktīvo ciklu! 230. lpp.
7. Kā var apkarot vīrusu infekcijas? Kāpēc antibiotikas neiedarbojas uz vīrusiem? 230.–231. lpp.
8. Izskaidrojiet Pastēra eksperimentu, kas parāda, ka baktērijas nerodas spontāni! 230. lpp.
9. Kāda ir baktēriju uzbūve? Kā vairojas baktērijas? 232.–233. lpp.
10. Kā noris ģenētiskā rekombinācija baktērijās? Kas ir mainības biežākais cēlonis? 233. lpp.
11. Kā baktērijas izdzīvo visskarbākajos dzīvībai nepieciešamos vides apstākļos? 233. lpp.
12. Kā baktērijas atšķiras ar izturību un prasībām pēc skābekļa? 234. lpp.
13. Ar ko atšķiras zaļo un purpura sēra baktēriju fotosintēze no ciānbaktēriju fotosintēzes? 234. lpp.
14. Kas ir hemosintezējošās baktērijas? Kurās vietās visas dzīvo organismu sabiedrības eksistence atkarīga no tām? 234. lpp.
15. Analizējiet heterotrofo baktēriju barošanos! Kāda ir to nozīme ekosistēmās? Miniet piemērus heterotrofo baktēriju simbiotiskajām attiecībām ar citiem organismiem! 234.–235. lpp.
16. Kāda ir ciānbaktēriju nozīme ekosistēmās un Zemes attīstības gaitā? 236.–237. lpp.
17. Uz kādiem faktiem pamatojas mikrobiologu uzskats par dzīvības eksistenci trīs domēnēs? Kādas ir šīs domēnes? 236.–237. lpp.

Tests

Izvēlieties pareizo atbildi uz katru jautājumu!

1. Kāpēc vīrusus uzskata par nedzīviem?
   A. Tiem nav mutāciju, un tāpēc tie nespēj pielāgoties
   B. Tie nekustas
   C. Tie nevar vairoties neatkarīgi
   D. To nukleīnskābe nekodē proteīnu sintēzi
2. Kuras no nosauktajām sastāvdaļām ir atrodamas visos vīrusos?
   A. Apvalks, nukleīnskābe, kapsīda
   B. DNS, RNS un proteīni
   C. Proteīni un nukleīnskābe
   D. Proteīni, nukleīnskābes, ogļhidrāti un lipīdi
3. Kāds posms lītiskajā ciklā iestājas pēc vīrusa piestiprināšanās un DNS iekļūšanas šūnā?
   A. Lizozīma veidošana
   B. Saimnieka DNS sadalīšana
   C. Montāža
   D. DNS replikācija
4. Kurš apgalvojums par vīrusiem ir pareizs?
   A. Vīrusi paši pārnēsā proteīnu veidošanai nepieciešamās ribosomas
   B. Pēc vīrusa DNS iekļūšanas šūnā vīrusa ribosomas veidojas no jauna
   C. Vīrusi izmanto saimnieka ribosomas saviem mērķiem
   D. Vīrusiem proteīnu veidošanai nav nepieciešamas ribosomas
5. Kura dzīvnieku vīrusa daļa netiek daudzkārt reproducēta?
   A. Apvalks
   B. Proteīni
   C. Kapsīda
   D. Ribosomas
6. Ko veic speciālais RNS retrovīrusu enzīms?
   A. Iznīcina saimnieka DNS
   B. Polimerizē saimnieka DNS
   C. Transkribē vīrusa RNS par cDNS
   D. Nolasa saimnieka DNS

7. Kas no nosauktā neattiecas uz prokariotiem?
   A. Tie ir dzīvas šūnas
   B. Tie ir bez kodola
   C. Visi ir parazīti
   D. Tie ir arheji un baktērijas
8. Kurš apgalvojums par fakultatīvi anaerobiem organismiem ir pareizs?
   A. Tiem nepieciešama pastāvīga skābekļa piegāde
   B. Tiem skābekļa vidē draud bojāeja
   C. Tiem ne vienmēr nepieciešams skābeklis
   D. Tiem raksturīga fotosintēze
9. Ar ko atšķiras ciānbaktērijas no citiem baktēriju veidiem, kuriem raksturīga fotosintēze?
   A. Tās neizdala skābekli
   B. Tās izdala skābekli
   C. Tās nesatur hlorofilu
   D. Tām nav šūnapvalka
10. Kurš apgalvojums par hemosintezējošām baktērijām ir pareizs?
    A. Tās ir autotrofas
    B. Tās enerģiju iegūst no saules stariem
    C. Tās oksidē neorganiskos savienojumus, lai iegūtu enerģiju
    D. Pareizā atbilde ir A un B
11. Sameklējiet bakteriofāga reproduktīvā cikla shematiskajam attēlam atbilstošos terminus!
    Bakteriālā hromosoma, iespiešanās, nobriešana, atbrīvošana, profāgs, piestiprināšanās, integrēšanās



Papildjautājumi

1. *Vīrusi ir obligāti parazīti.*
   Izskaidrojiet šo apgalvojumu!
2. *Prokarioti ir daudzveidīgi organismi.*
   Kā var pierādīt, ka prokarioti ir daudzveidīgi?
3. *Dzīvība attīstījās no vienkāršā uz sarežģīto.*
   Kā var šo apgalvojumu saskaņot ar iepriekšējo?

Multimediju izmantošana

Tēmu par vīrusiem, baktērijām un arhejiem palīdzēs apgūt šādi multimediji.

Interneta izmantošana

Šo nodaļu jums apgūt palīdzēs Maderas mājas lapa

http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader
(izvēlieties bioloģiju)

Jēdzienu izpratne

Arheji 237. lpp.
Bakteriālā hromosoma 232. lpp.
Bakteriofāgs 228. lpp.
Baktērija 231. lpp.
Ciānbaktērija 235. lpp.
Dalīšanās uz pusēm 233. lpp.
Endospora 233. lpp.
Kapsula 232. lpp.
Komensālisms 234. lpp.
Konjugācija 233. lpp.
Ķērpis 237. lpp.
Lītiskais cikls 228. lpp.
Lizogēnais cikls 229. lpp.
Mutuālistiskas attiecības 234. lpp.
Noārdītājs 234. lpp.
Nukleoīds 240. lpp.
Peptidoglikāns 232. lpp.
Prions 231. lpp.
Retrovīruss 232. lpp.
Saprotrofs 234. lpp.
Simbiotisks 234. lpp.
Slāpekļa fiksācija 234. lpp.
Transdukcija 233. lpp.
Transformācija 233. lpp.
Vakcīna 231. lpp.
Viciņa 232. lpp.
Viroīds 230. lpp.
Vīruss 226. lpp.

Sameklējiet definīcijām atbilstošos jēdzienus!

A. _____ – bakteriofāga dzīves cikls, kura laikā vīruss savu DNS iekļauj baktērijas DNS sastāvā. Vēlāk sākas lītiskais cikls, kas noslēdzas ar baktērijas iznīcināšanu.

B. _____ – nedzīvi, obligāti iekššūnas parazīti, kas sastāv no ārējās kapsīdas un nukleīnskābes serdes.

C. _____ – viens no bakteriofāgu dzīves cikliem, kura laikā vīruss pārņem baktērijas procesus tūdaļ pēc iekļūšanas tajā un turpmāk iznīcina baktēriju.

D. _____ – organisms, kas izdala gremošanas enzīmus un sašķeltās barības vielas absorbē caur citoplazmatisko membrānu.

E. _____ – fotosintezējošas baktērijas, kas sastāv no hlorofila un izdala skābekli. Agrāk tās sauca par zilaļģēm.

F. _____ – prokariotu pārstāvji, kas ir vistuvāk radniecīgi eikariotiem.

Protisti

13. NODAĻA

Nodaļas saturs

13.1. Aļģes – augiem līdzīgi organismi

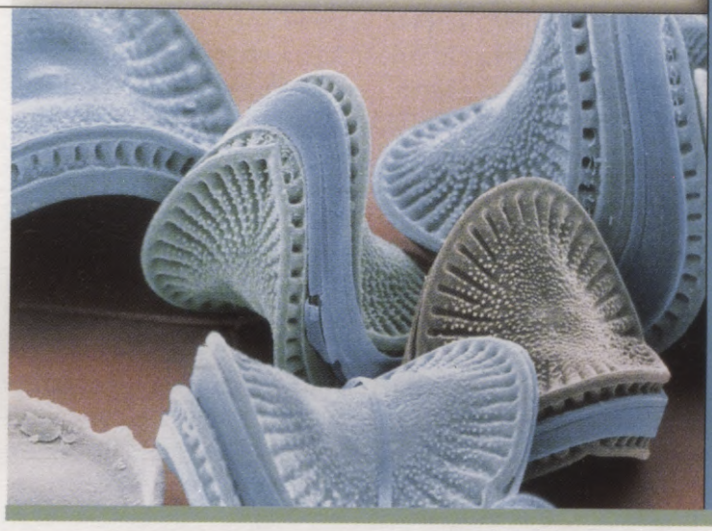
- Aļģes ir pielāgojušās ūdens videi, un atšķirībā no augiem, kas ir pielāgojušies sauszemes videi, tām nav aizsargmehānismu pret gametu un zigotas izžūšanu. 242. lpp.
- Līdzīgi kā augiem, zaļaļģēm ir *a* un *b* hlorofils, ir celulozes šūnapvalks, un tās hloroplastos uzkrāj rezerves barības vielas, piemēram, cieti. 243. lpp.
- Brūnaļģes (piemēram, fukusi) un zeltainās aļģes (piemēram, kramaļģes) satur hlorofilu *a* un *c*, kā arī brūno karotinoīdu. 245. lpp.
- Kramaļģes kopā ar bruņvicaiņiem ir nozīmīgi producenti jūras un saldūdeņu ekosistēmās. 246. lpp.
- Eiglēnaļģes ir vienšūņi ar vicu, un tiem piemīt gan augu, gan dzīvnieku īpašības, tāpēc tie rada protistu klasifikācijas grūtības. 246. lpp.
- Sārtaļģes ir pavedienveida daudzšūnu jūras aļģes, kas ir smalkāk veidotas un aug siltākos ūdeņos nekā brūnaļģes. 247. lpp.

13.2. Protozoji – dzīvniekiem līdzīgi organismi

- Aļģes veido fitoplanktonu, bet protozoji dažādos ūdeņos veido zooplanktonu. 248. lpp.
- Protozojus neuzskata par dzīvniekiem, jo dzīvnieki ir daudzšūnu organismi, sastāv no vairāk nekā viena veida somatiskajām šūnām un to attīstībā ir embrionālā stadija. 248. lpp.
- Ameboīdi (sakņkāji) pārvietojas ar māņkājiņu jeb pseidopodiju palīdzību, skropstaiņi pārvietojas ar skropstiņām, bet zooflagellātiem (zoovicaiņiem) ir vicas. Sporaiņi ir nekustīgi parazīti, kas veido sporas; malārijas plazmodiji *(Plasmodium)* izraisa malāriju. 248. lpp.

13.3. Gļotsēnes un aļģsēnes – sēnēm līdzīgi organismi

- Līdzīgi sēnēm, gļotsēnēm veidojas nekustīgas sporas, bet atšķirībā no sēnēm tām ir amēbveida stadija, kad tās barību norij. 253. lpp.
- Līdzīgi sēnēm, aļģsēnes ir pavedienveida un saprofītiskas, bet atšķirībā no sēnēm tām veidojas 2n zoosporas. 254. lpp.



Kramaļģe *Campylodiscus hibernicus*

Iepriekšējā nodaļā tika aprakstīti vīrusi un vissīkākās dzīvības formas uz Zemes – prokarioti. Šī nodaļa iepazīstinās ar protistiem – sīku, eikariotisku organismu grupu: aļģēm, protozojiem jeb vienšūņiem, kā arī gļotsēnēm un aļģsēnēm.

Aļģes dzīvo okeānos, saldūdeņos un uz sauszemes. Daudzas no tām veido fitoplanktonu – ūdens masā peldošus organismus, kuri veic fotosintēzi un veido barības bāzi veselām sabiedrībām. Brūnaļģes ir jūras aļģes, kas rada milzīgus zemūdens brūnaļģu mežus. Fotosintezējošās vienšūnas kramaļģes sastopamas milzīgā skaitā, un to atliekas veido diatomeju (kramaļģu) zemi, kuru cilvēks izmanto dažādiem nolūkiem.

Protozoji jeb vienšūņi ir vairāk līdzīgi dzīvniekiem. Tie ir heterotrofi vienšūnas organismi. Protozoji veido okeānu un saldūdeņu zooplanktonu. Jūras sakņkāju – radiolāriju – čaulas ir vieni no skaistākajiem dabas veidojumiem. Protozoji var izraisīt arī slimības, sākot no caurejas un beidzot ar malāriju.

Gļotsēnēm un aļģsēnēm ir sēnēm līdzīgas pazīmes, bet dzīves ciklu dēļ tās klasifikācijas sistēmā jāierindo atsevišķās grupās. Aļģsēnes ir izplatīti ūdens organismu un sauszemes formu parazīti.

13.1. Aļģes – augiem līdzīgi organismi

Protistu valstī ir **protisti**, kas parasti ir vienšūnas organismi (ierāmējumā sk. klasifikāciju). Diskutējams jautājums ir šīs valsts daudzšūnu formu klasifikācija, līdzīgi kā tas ir ar protistu klasifikāciju kopumā. Tā kā šī valsts iekļauj grupas, kas ir tikpat attālu radniecīgas kā augi no dzīvniekiem, to iespējams sadalīt atsevišķās valstīs.

Nepastāv atsevišķa taksonomiska kategorija **aļģes** (lat. *alga* – jūraszāle). Ar šo terminu ērtības labad bioloģijā ilgu laiku apzīmēja ūdens organismus, kuri veic fotosintēzi. Okeānos, saldūdens ezeros un dīķos aļģes ir **planktona** (gr. *planktos* – klejojošs) sastāvā, ko veido organismi, kurus nes straumes vai kuri peld ūdens slāņa virspusē. Aļģes veido **fitoplanktonu** (gr. *phyton* – augs un *planktos* – klejojošs), kurš veic fotosintēzi un ir barības objekts, kas nodrošina noteiktas organismu sabiedrības eksistenci. Fitoplanktons veido lielu daļu atmosfēras skābekļa.

Līdzīgi kā augiem, aļģēm ir hloroplasti, un parasti to šūnas balsta šūnapvalks. Dažas aļģes ir koloniālas. Kolonija ir patstāvīgu šūnu vāja asociācija, kurā var būt specializētas šūnas, kas nodrošina vairošanos. Daļa aļģu ir daudzšūnu organismi, un tām ir pat audi. Kāpēc daudzšūnu aļģes neuzskata par augiem? Šajā grāmatā par augiem sauc tikai tos organismus, kam ir speciāli veidojumi, kuri pasargā gametas un zigotu no izžūšanas. Tā ir pielāgošanās dzīvei uz sauszemes. Aļģēm, kas dzīvo ūdens vidē, šādu veidojumu nav.

KLASIFIKĀCIJA

Valsts. Protisti (*Protista*)

Eikarioti; vienšūnas organismi un to tieši daudzšūnu pēcnācēji; dzimumvairošanās; vica un skropstiņas ar 9 + 2 mikrocaurulītēm

Aļģes*
Nodalījums. Zaļaļģes (*Chlorophyta*)
Nodalījums. Brūnaļģes (*Phaeophyta*)
Nodalījums. Kramaļģes un tām radniecīgās aļģes (*Chrysophyta*)
Nodalījums. Bruņvicaiņi (*Dinoflagella*)
Nodalījums. Eiglēnaļģes (*Euglenophyta*)
Nodalījums. Sārtaļģes (*Rhodophyta*)

Protozoji jeb vienšūņi*
Nodalījums. Amēbas un tām radniecīgie organismi (*Sarcodina*)
Nodalījums. Skropstaiņi (*Ciliophora*)
Nodalījums. Zooflagellāti jeb zoovicaiņi (*Zoomastigophora*)
Nodalījums. Sporaiņi (*Sporozoa*)

Gļotsēnes*
Nodalījums. Gļotsēnes (*Gymnomycota*)

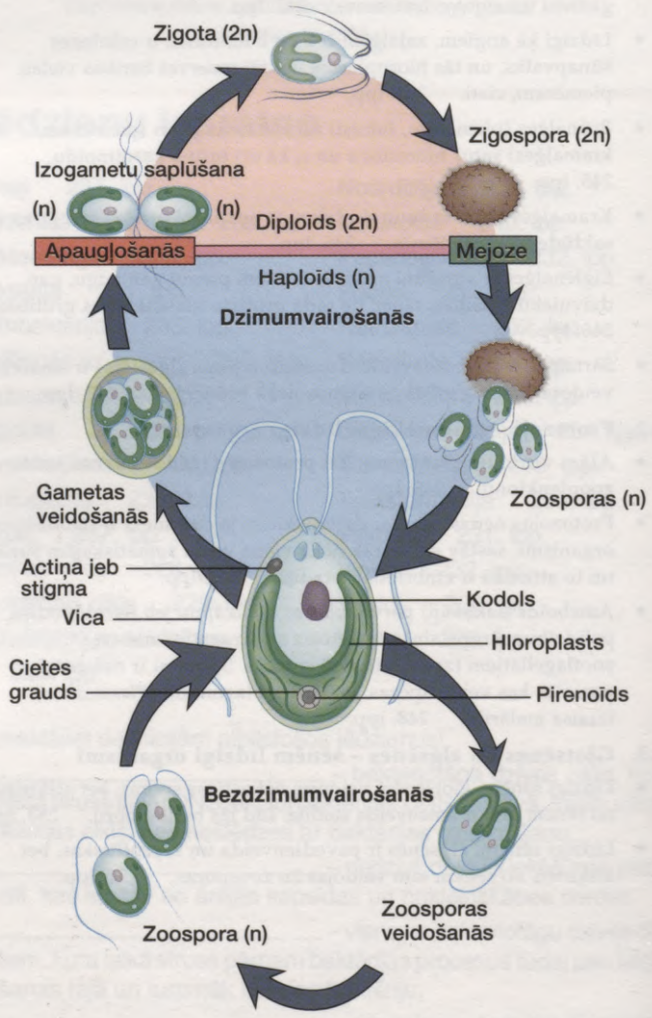
Aļģsēnes*
Nodalījums. Aļģsēnes (*Oomycota*)

* Nelieto organismu klasifikācijā, bet šeit ievietots lielākas skaidrības labad.

Ilgu laiku pastāv aļģu klasifikācija pēc to krāsas, un aļģes sauc par zaļajām, brūnajām, zeltainajām un sārtajām aļģēm. Vairumā gadījumu mūsdienu bioķīmiskās analīzes apstiprina šādu iedalījumu. Visas aļģes satur vismaz viena veida hlorofilu, kā arī citus pigmentus, kas var apslēpt hlorofila krāsu. Šūnapvalka veids un rezerves barības vielu uzkrāšanas veids arī palīdz iedalīt aļģes.

Zaļaļģes ir vislīdzīgākās augiem

Zaļaļģes (nodalījums *Chlorophyta*, 7000 sugu) dzīvo gan okeānos, gan – visbiežāk – saldūdeņos un pat uz sauszemes, īpaši, ja ir pieejams mitrums. Kā paskaidrots 258. lpp., tās kopā ar sēnēm veido ķērpjus. Dažām ir veidojumi, kas ļauj dzīvot uz stumbriem pat spilgtā saulē.



13.1. attēls. *Chlamydomonas*
Hlamidomona *(Chlamydomonas)* ir kustīga zaļaļģe. Bezdzimumvairošanās laikā visas tās struktūras ir haploīdas; dzimumvairošanās laikā zigotas stadijai seko mejoze, kas ir cikla diploīdā stadija.

Uzskata, ka zaļaļģes ir tuvu radniecīgas pirmajiem augiem, jo abām šīm grupām ir šūnapvalks, kas sastāv no celulozes, tām ir gan *a*, gan *b* hlorofils, un rezerves barības vielas tās uzkrāj hloroplastos cietes veidā. (Citu grupu aļģes rezerves barības vielas uzkrāj ārpus hloroplastiem.) Zaļaļģes ne vienmēr ir zaļas, jo dažām ir pigmenti, kas piešķir tām oranžu, sarkanu vai rūsas krāsu.

Zaļaļģes, kurām ir viciņas

Hlamidomona *(Chlamydomonas)* ir vienšūnas zaļaļģe. Parasti tā ir īsāka par 25 mm, tāpēc tās detalizētai izpētei izmanto elektronmikroskopu (13.1. att.). Hlamidomonām ir labi izveidots šūnapvalks un viens liels kausveida hloroplasts, kas satur pirenoīdu – blīvu ķermeni, kurā tiek sintezēta ciete. Hloroplasts satur arī sarkanas krāsas actiņu (stigmu), kas ir gaismjutīga un palīdz organismam uzturēties gaismā, kur ir iespējama fotosintēze. Divas garas, pātagām līdzīgas vicas atiet no šīs aļģes priekšgala un atliecas atpakaļ, lai šūnu netraucēti virzītu pretim gaismai. Ja augšanas apstākļi ir labvēlīgi, aļģes vairojas bezdzimumiski. Pieauguši īpatņi dalās, veidojot **zoosporas** (vicainas sporas), kuras ir līdzīgas vecāku šūnām. **Spora** ir haploīds ķermenis, kas veidojas nobriedušā īpatnī tad, kad vides apstākļi ir labvēlīgi. Ja augšanas apstākļi nav labvēlīgi, hlamidomonas vairojas dzimumiski. Divu vairošanos īpatņu gametas saskaras, lai savienojoties veidotu zigotu. Ap zigotu veidojas blīvs apvalks, un tā kļūst par izturīgu zigosporu, kas var izdzīvot līdz brīdim, kad apstākļi kļūst labvēlīgi tās dīgšanai. Kad zigospora dīgst, mejozes ceļā tā veido četras zoosporas. Lielākajai daļai sugu gametas ir vienādas. Šādu parādību sauc par **izogāmiju** (gr. *isos* – vienāds un *gamos* – precēšanās, savienošanās). Šādas gametas sauc par **izogametām**. Citām sugām ir nekustīga olšūna, kurā uzkrājas barības vielas, un kustīgs spermatozoīds, kas piemērojies olšūnas meklēšanai. Šādu parādību sauc par **oogāmiju** (gr. *oon* – ola un *gamos* – precēšanās, savienošanās), bet gametas – par **heterogametām**.

Uzziniet tuvāk

Vienšūnas aļģu dzīvesveids

Kolorādo Universitātes (Boulderā) pētniece Sūzana Dačere paskaidro, kāpēc viņa pēdējos 11 gadus ir veltījusi vienšūnas eikariotiskās aļģes Chlamydomonas reinchardii *pētījumiem.*

Chlamidomonas reinchardii ir tikai apmēram 10 mikrometrus (mm) garš organisms, kas dzīvo augsnē un peļķēs. Citoplazmas lielāko daļu aizņem liels kausveida hloroplasts, kurā noris fotosintēze. Šūnas priekšgalā atrodas organoīdi, kas mani piesaistīja *Chlamidomonas* pētījumiem. Šie organoīdi ir divas vicas, kuras nodrošina šūnas pārvietošanos ar ātrumu 200 mm minūtē. Vicas, līdzīgi kā pārējo eikariotu vicas, sastāv vismaz no 250 dažādiem polipeptīdiem. Tie ir apvienoti struktūrā, ko veido 9 pāra mikrocaurulītes, kuras gredzenveidā ietver divas atsevišķas mikrocaurulītes. Vicas darbina dineīni – proteīni, kas pārvērš ATP ķīmisko enerģiju vicas saliekšanas un atliekšanas kustību enerģijā.

Hlamidomonas ar vicu palīdzību peld, kā arī veic vairākas citas sarežģītas funkcijas, arī atpazīst vairošanās partneri. Parasti hlamidomonas šūna peld, vēzējot vicas un veļoties uz riņķi. To var salīdzināt ar peldētāju, kurš šķērso peldbaseinu, peldot uz vēdera, tad uz sāniem, tad uz muguras un atkal uz vēdera. Hlamidomonas var arī mainīt kustības virzienu, regulējot spēku, ar kādu kustas katra vica. Peldot tās pārvietojas gaismas virzienā. Šādu parādību sauc par fototaksiju.

Fototaksijas, visticamāk, palīdz organismam atrast fotosintēzei vispiemērotākās intensitātes gaismu. Kā hlamidomonas uztver gaismu? Līdzīgi daudzām citām aļģēm, hlamidomonām ir struktūra, kuru sauc par actiņu. Tajā tiek izmantotas molekulas. Peldot uz priekšu, hlamidomonas arī rotē, ļaujot actiņai pārskatīt apkārtni. Ja gaismas intensitāte rotācijas laikā nemainās, šūna turpina kustēties uz priekšu. Ja gaismas intensitāte ir atšķirīga, šūna sāk kustēties gaismas virzienā, mainot vicu locīšanās relatīvo pakāpi.

Kāpēs es ieinteresējos par vienšūnas aļģēm, nevis mušām, pelēm vai cilvēku? Viens no galvenajiem iemesliem ir lielāka iespēja atrast mutāciju, kas pārtrauc pētīto bioloģisko procesu. Kā ģenētiķe es pētu procesu, noteiktā laika sprīdī atdalot daļu no ģenētiskā aparāta un tad vērojot, kas notiek ar struktūru un organisma vai šūnas funkcijām. Ģenētisko "preparēšanu" izmanto, lai izprastu šūnas dzīves ciklu, šūnu attīstību un daudzus citus procesus. Mutācijas, kas ietekmē vicu funkcijas, ir atrastas pat cilvēkiem. Ir tāda ģenētisko slimību grupa, kuru sauc par Kartagenera sindromu. Tā gadījumā vicas un skropstiņas ir paralizētas. Neauglība (nekustīgu spermatozoīdu vai nekustīgu olvada skropstiņu dēļ) un bronhīts (nekustīgu bronhu skropstiņu dēļ no tiem netiek izvadītas gļotas) ir tipiski slimības simptomi. Mēs ceram, ka mūsu pētījumi palīdzēs izprast šīs cilvēka slimību grupas rašanās cēloņus.

Lai noskaidrotu vicu lomu fototaksijās, mana laboratorija kopā ar citām laboratorijām pēta to mutāciju daudzveidību, kuras ietekmē vicu veidošanos un funkcijas. Kad hlamidomonas nespēj pārvietoties gaismas virzienā, iespējams, ka organisms nav spējīgs konstatēt gaismu vai reaģēt uz gaismas klātbūtni. Pastāv iespēja, ka mutācija ir ietekmējusi vicu veidošanos, tāpēc tās nespēj atbildēt uz šādu signālu. Mūs interesē šī mutāciju grupa, jo mēs uzskatām, ka tās palīdzēs mums saprast, kā vicu uzbūve var ietekmēt reaģētspēju. Mēs ceram, ka šādi pētījumi, kuros par modeļorganismu izmanto hlamidomonas, palīdzēs noskaidrot līdzīgus procesus citos organismos.

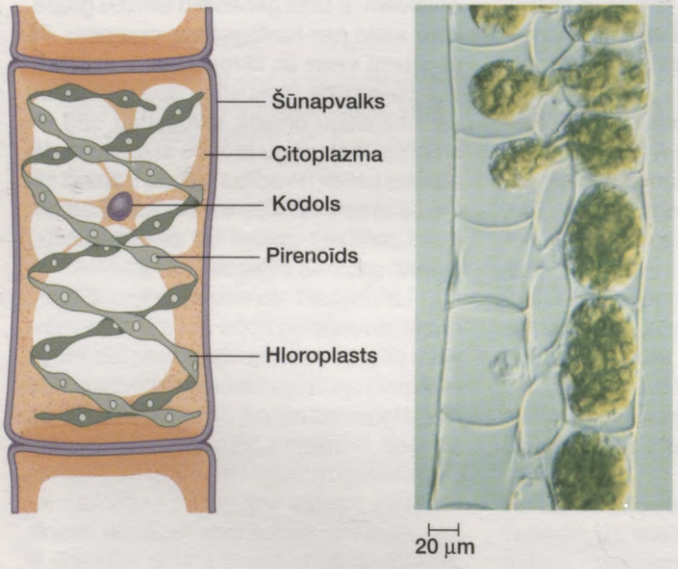
Pavedienveida zaļaļģes

Pavedienus veido cita citai galā piestiprinātu šūnu ķēdes, kas vienā plaknē izvietojušās šūnu dalīšanās rezultātā. Spirogīra *(Spirogyra)* ir pavedienveida zaļaļģe, kas, līdzīgi zaļam paklājam, pārklāj dīķus un upītes. Tai ir lentveida, spirālē savīti hloroplasti (13.2. att.). Dzimumvairošanās laikā noris **konjugācija** (lat. *conjugalis* – uz precēšanos attiecināms) – divu indivīdu īslaicīga savienošanās, kuras laikā notiek apmaiņa ar ģenētisko materiālu. Divi pavedieni novietojas viens otram blakus, un viena pavediena šūnu saturs ieplūst otra pavediena šūnās, veidojot diploīdas zigotas. Šīs zigotas pārziemo un pavasarī mejozes rezultātā veido jaunus haploīdus pavedienus.

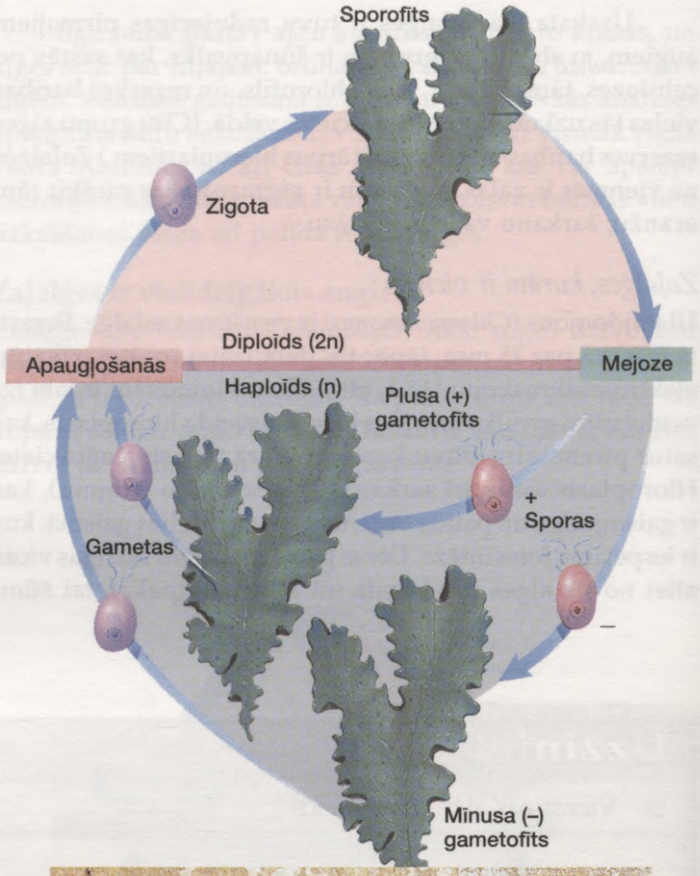
Pavedienveida zaļaļģēm novēro oogāmiju. *Oedogonium* ģintī ietilpst pavedienveida aļģes, kuru šūnas ir cilindriskas, ar tīklveida hloroplastiem. To dzimumvairošanās laikā veidojas skaidri saskatāma olšūna un spermatozoīds.

Daudzšūnu zaļaļģes

Daudzšūnu aļģi ulvu *(Ulva)* tās lapveida izskata dēļ parasti sauc par jūras salātiem (13.3. att.). Laponis (aļģes ķermenis) ir divu šūnu biezumā un var būt pat metru garš. Šai aļģei, tāpat kā augiem, ir raksturīga paaudžu maiņa, bet atšķirībā no tiem tās abas paaudzes ir pēc izskata līdzīgas, gametas ir vienādas (izogāmija) un sporas – vicainas. Augiem viena paaudze ir dominējošā (eksistē ilgāk par otru), tiem veidojas olšūnas un spermatozoīds (ogāmija) un sporas nav vicainas (13.3. att.).



13.2. attēls. Spirogīra *(Spirogyra)*
Spirogīra ir pavedienveida zaļaļģe, kuras katrā šūnā ir lentveida hloroplasts. Konjugācijas laikā viena pavediena šūnas saturs ieplūst otra pavediena šūnās. Tam seko zigotas veidošanās.

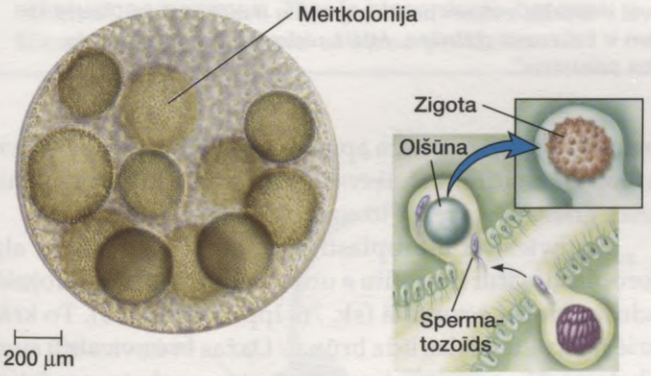




13.3. attēls. Ulva *(Ulva)*
Ulva ir daudzšūnu zaļaļģe. Tās dzīves cikls noris ar paaudžu maiņu, līdzīgi kā tas ir augiem. Sporofīts pēc izskata ir tāds pats kā gametofīts, un gametofīts veido izogametas. Šīs pazīmes ulvas atšķir no augiem.

Koloniālās zaļaļģes

Vairākām pavedienveida zaļaļģēm raksturīgas kolonijas (vāji saistītu šūnu sakopojumi). Volvoksa *(Volvox)* kolonija ir doba lode, ko veido tūkstošiem šūnu. Tās ir izvietotas vienā slānī ap ūdeņainu kolonijas iekštelpu. Katra volvoksa kolonijas šūna atgādina hlamidomonu šūnu. Iespējams, ka tās ir veidojušās no meitšūnām, kas nav atdalījušās zoosporu rašanās laikā. Volvoksa šūnas sadarbojas, vicām saskaņoti saliecoties. Dažas šūnas ir specializējušās vairošanās procesam. Katra no tām var bezdzimumceļā dalīties, lai veidotu jaunu meitkoloniju (13.4. att.). Šāda meitkolonija uz laiku paliek mātes kolonijas iekšienē, bet tad to atstāj, izdalot enzīmu, kas izšķīdina daļu no mātes kolonijas un tā nodrošina izkļūšanu no tās. Dzimumvairošanās šīm aļģēm noris ar oogāmiju palīdzību.



13.4. attēls. Volvokss *(Volvox)*
Volvokss ir koloniāla zaļaļģe. Pieaugusi volvoksa kolonija bieži satur meitkolonijas, kas veidojušās bezdzimumceļā no speciālām šūnām. Dzimumvairošanās laikā kolonijas veido olšūnas un spermatozoīdus.

Zaļaļģes var būt vienšūnas, koloniālas un daudzšūnu. Parasti dzimumvairošanās laikā zigota mejotiski dalās, un vienīgais pieaugušais īpatnis ir haploīds. Ulvai, līdzīgi kā augiem, raksturīga paaudžu maiņa.

Brūnaļģes un zeltainās aļģes ir bioķīmiski līdzīgas

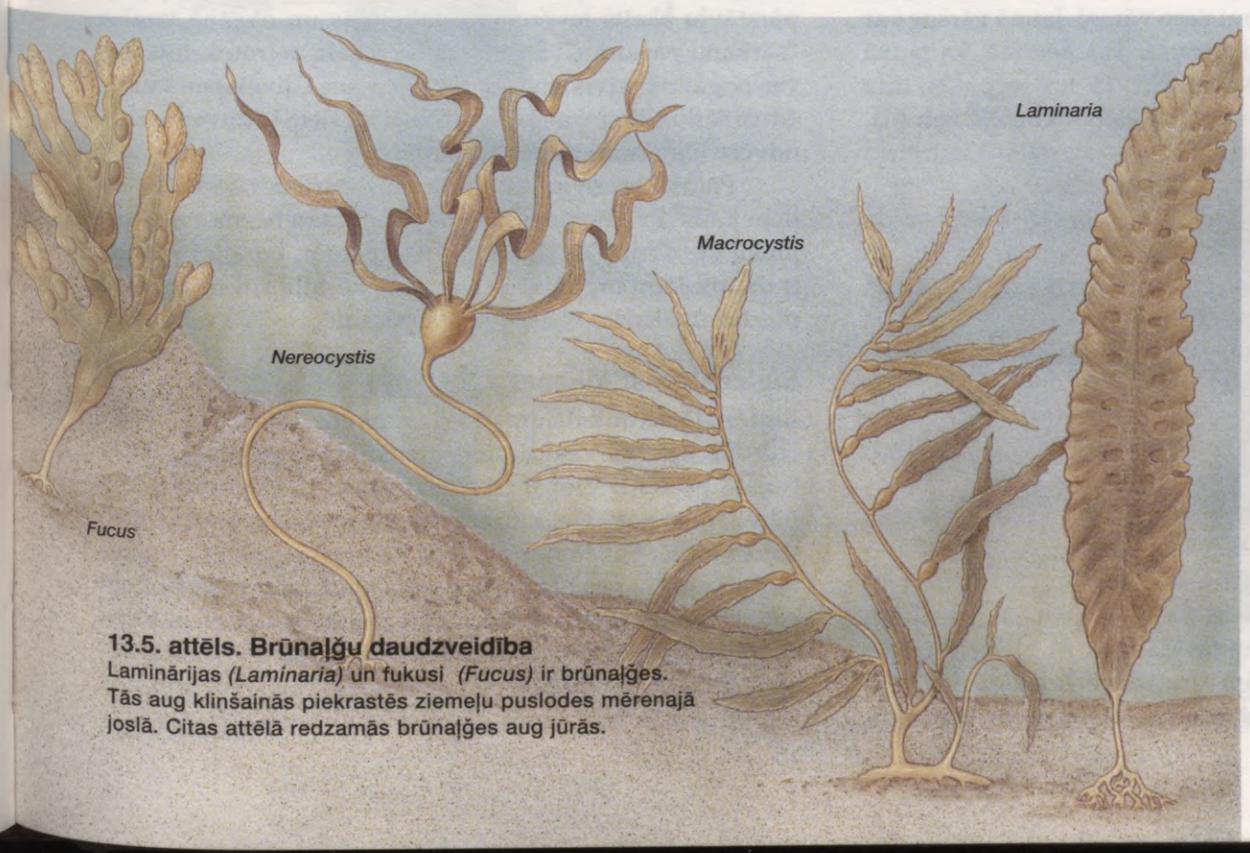
Brūnaļģu un zeltaino aļģu hloroplastos ir hlorofils *a* un *c* un viens no karotinoīdu pigmentiem (fukoksantīns), kas piešķir tām raksturīgo krāsu. To rezerves barības viela ir ogļhidrāts laminarīns.

Brūnaļģes

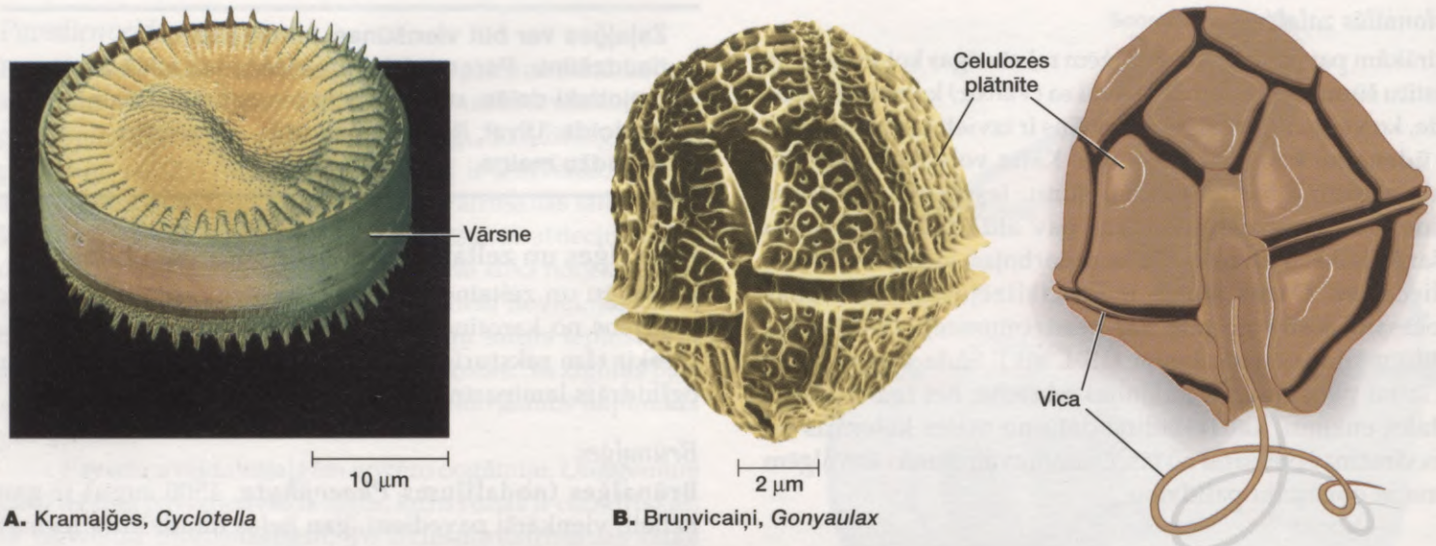
Brūnaļģes (nodalījums *Phaeophyta*, 1500 sugu) ir gan nelieli, vienkārši pavedieni, gan lielas daudzšūnu formas (50–100 m garas) (13.5. att.). Daudzšūnu formas tautā sauc par jūraszālēm. Brūnaļģes bieži novēro klinšainās piekrastēs ziemeļu puslodes mērenajā joslā, kur paisuma laikā tās plosa viļņi, bet bēguma laikā tās žūst sausumā. Tomēr brūnaļģes pilnībā neizžūst, jo to šūnapvalks satur gļotainu, ūdeni saglabājošu vielu.

Gan laminārijas *(Laminaria)*, gan fukusi *(Fucus)* ir brūnaļģes, kas aug gar piekrasti. Dziļākos ūdeņos milzu brūnaļģes *Nereocystis* un *Macrocystis* bieži veido iespaidīgus zemūdens mežus. *Sargassum* ģints aļģes dažreiz tiek atrautas no to pamatnes un veido peldošus paklājus, kuros koncentrējas okeāna iemītnieki. Brūnaļģes ne tikai nodrošina jūras organismus ar barību un dzīvesvietām, bet tās dažās pasaules vietās izmanto arī cilvēku uzturam un tīrumu mēslošanai. No brūnaļģēm iegūst algīnu – pektīnam līdzīgu vielu, ko pievieno saldējumam, šerbetam, krēmveida sieram un citiem produktiem, lai piešķirtu tiem nemainīgu, gludu konsistenci.

Laminārijas *(Laminaria)* starp protistiem ir unikālas, jo šīs ģints aļģēm vērojama audu veidošanās. Tie transportē organiskās vielas pa audiem, kas līdzīgi sauszemes augu lūksnei. Lielākajai daļai brūnaļģu dzīves ciklā ir paaudžu maiņa, bet daži fukusi *(Fucus)* ir unikāli ar to, ka tiem mejozes laikā veidojas gametas un pieaugušie īpatņi vienmēr ir diploīdi, līdzīgi kā tas ir dzīvniekiem.



13.5. attēls. Brūnaļģu daudzveidība
Laminārijas *(Laminaria)* un fukusi *(Fucus)* ir brūnaļģes. Tās aug klinšainās piekrastēs ziemeļu puslodes mērenajā joslā. Citas attēlā redzamās brūnaļģes aug jūrās.



A. Kramaļģes, *Cyclotella* **B.** Bruņvicaiņi, *Gonyaulax*

13.6. attēls. Kramaļģes un bruņvicaiņi
A. Kramaļģes var būt dažādās krāsās, jo to hloroplastos bez hlorofila *a* un *c* vēl ir unikāls zeltaini brūns pigments (fukoksantīns). Izciļņi un iedobumi silīciju saturošajā apvalkā veido brīnišķīgus rakstus. **B.** Bruņvicaiņiem ir celulozes plātnītes. Attēlā redzams *Gonyaulax* ģints pārstāvis. Šis bruņvicainis satur sarkanu pigmentu un dažreiz izraisa "sarkanos paisumus".

Zeltainās aļģes ir kramaļģes

Zeltainās aļģes (nodalījums *Chrysophyta*, 11 000 sugu) atšķiras no citām aļģēm, tāpēc daži speciālisti kramaļģes iedala atsevišķā nodalījumā *Bacillariophyta*. **Kramaļģes** okeānos ir visdaudzskaitlīgākās vienšūnas aļģes (13.6. att. A). To ļoti daudz ir arī saldūdeņos. Sīko izmēru dēļ tūkstošiem īpatņu var dzīvot vienā ūdens kubikmilimetrā. Tās ir nozīmīgs barības un skābekļa avots heterotrofiem organismiem gan saldūdenī, gan jūras ekosistēmās.

Kramaļģes uzbūvi bieži salīdzina ar kastīti, jo tās šūnapvalkam ir divas pusītes jeb vārsnes, no kurām lielākā kalpo par "vāciņu" mazākajai. Vairojoties bezdzimumceļā, katra no šūnām saņem vienu veco vārsni. Jaunā vārsne var ievietoties vecās vārsnes iekšpusē. Tas nozīmē, ka jaunā kramaļģe ir mazāka par sākotnējo. Tā tas turpinās, līdz kramaļģes lielums vairs ir tikai 30 % no sākotnējā lieluma. Tad tās vairojas dzimumceļā. Zigota aug un tad mitotiski dalās, veidojot normāla lieluma kramaļģes.

Šūnapvalka ārējais slānis ir no silīcija, kas ir stikla sastāvdaļa. Vāršņu virsmai ir ļoti daudzveidīgi izciļņi un padziļinājumi, kas, aplūkoti mikroskopā, izskatās kā brīnišķīgi raksti. Caur šiem padziļinājumiem jeb porām organisms nodrošina saikni ar apkārtējo vidi. Kramaļģu atliekas sauc par kramaļģu jeb diatomeju zemi. Tā uzkrājas okeānu dibenā. Kramaļģu zemi izmanto par filtrējamo materiālu, skaņu necaurlaidīgu materiālu vai maigu pulējamo materiālu.

Bruņvicaiņiem ir divas vicas

Daudzi **bruņvicaiņi (nodalījums *Dinoflagella*,** 1000 sugu) (gr. *dinos* – virpuļojošs un lat. *flagello* – pātaga) ir ieskauti aizsargājošās celulozes plātnītēs (13.6. att. B). Lielākajai daļai ir divas vicas. Viena no tām atrodas gareniskajā rievā, un tās distālais gals ir brīvs, bet otra, kas ir plakana un lentveida, novietota šķērsrievā, kura apņem organismu. Gareniskā vica darbojas kā stūre, bet šķērseniskās vicas kustības izraisa šūnas griešanos, virzot to uz priekšu.

Bruņvicaiņu hloroplasti, kas, tāpat kā zeltaino aļģu hloroplasti, satur hlorofilu *a* un *c*, visticamāk, ir veidojušies endosimbiozes rezultātā (sk. 76. lpp. 1. grāmatā). To krāsa variē no dzeltenzaļas līdz brūnai. Dažas bruņvicaiņu sugas ir heterotrofi organismi, un tāpēc tos uzskata par īstiem protozojiem.

Līdzīgi kramaļģēm, bruņvicaiņi okeānos sastopami ļoti lielā skaitā. To blīvums vienā kubikmilimetrā var sasniegt 30 000. Noteiktos apstākļos ģinšu *Gymnodinium* un *Gonyaulax* pārstāvju skaits ievērojami palielinās un okeānā izraisa "sarkano paisumu". Šajā laikā tie izdala neirotoksīnu, kas var nogalināt zivis un saindēt gliemjus. Cilvēkiem, kuri ir ēduši šādus gliemjus, kas pārtikuši no šiem bruņvicaiņiem, novēro elpošanas muskuļu paralīzi.

Parasti bruņvicaiņi ir nozīmīgs barības objekts nelieliem jūras dzīvniekiem. Tie dzīvo arī dažu bezmugurkaulnieku ķermeņos kā simbionti. Piemēram, koraļļos parasti ir daudz šādu organismu, un tāpēc koraļļu rifi ir viena no produktīvākajām ekosistēmām pasaulē.

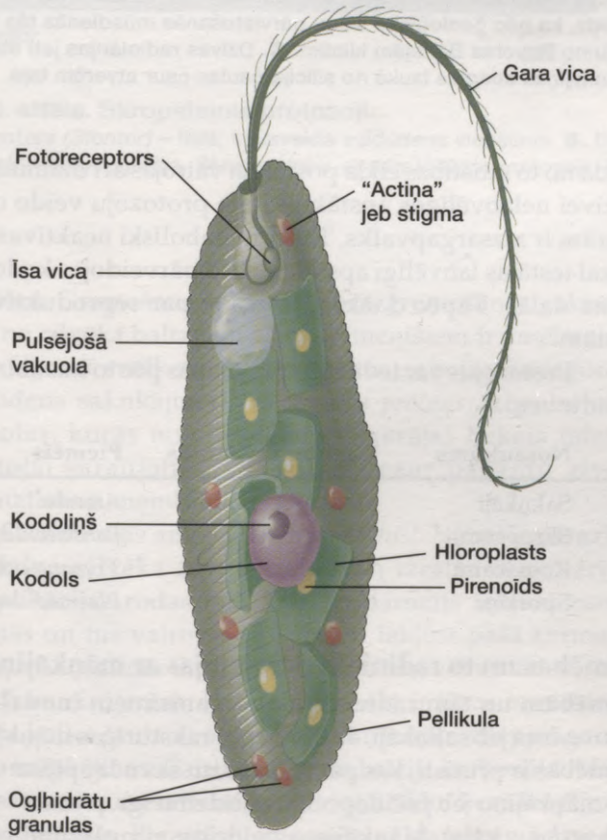
Eiglēnaļģes ir lokanas

Eiglēnaļģes (nodalījums *Euglenophyta*, 1000 sugu) ir sīki (10–500 µm lieli) saldūdens vienšūnas iemītnieki. Tie ir tipiski protisti. Vienai trešdaļai ģinšu ir hloroplasti, bet pārējiem to nav. Tie, kuriem nav hloroplastu, barību norij vai absorbē. Bez tam ir zināms, ka tumsā augušās eiglēnaļģes zaudē savus hloroplastus un kļūst par heterotrofiem organismiem. Tas nešķiet pārsteidzoši tad, ja zina, ka to hloroplasti ir līdzīgi zaļaļģu hloroplastiem un, iespējams, attīstījušies no zaļaļģēm endosimbiozes ceļā. Hloroplastus ietver drīzāk trīs, nevis divas membrānas. Pirenoīds ir

orgāns, kas atrodas ārpus hloroplasta un veido neparastu ogļhidrātu polimēru (paramilonu), kāds nav atrasts zaļaļģēm.

Eiglēnaļģēm ir divas vicas, no kurām viena parasti ir daudz garāka par otru un ir redzama ārpus priekšgalā esošā vāzes veida dobuma (13.7. att.). To sauc par vizuļvicu, jo tā klāta ar matiņiem. Netālu no vicas pamatnes atrodas "actiņa", kurā ir fotoreceptors, kas uztver gaismu. Tā kā eiglēnaļģes ietver elastīga pellikula, ko veido cita citai blakus novietotas proteīna joslas, tā var pieņemt dažādu formu, šūnas citoplazmai viļņojoties vai saraujoties. Tāpat kā atsevišķiem protozojiem, eiglēnaļģēm arī ir pulsējošā vakuola, kas izvada ūdens pārpalikumu no organisma. Eiglēnaļģes vairojas, šūnai gareniski daloties, bet dzimumvairošanās tām nav novērota.

Eiglēnaļģēm ir gan augiem, gan dzīvniekiem raksturīgas pazīmes. Tām ir hloroplasti, bet nav šūnapvalka, un tās peld ar vicas palīdzību.



13.7. attēls. Eiglēna
Eiglēna *(Euglena)* ir vicaina zaļaļģe, kurai piemīt gan augu, gan dzīvnieku pazīmes. Ļoti gara vica nodrošina pārvietošanos. Ķermeni klāj elastīga pellikula. Fotoreceptori atrodas "actiņā" un ļauj eiglēnai nokļūt gaismā, un tad daudzajos hloroplastos var notikt fotosintēze. Kā rezerves ogļhidrāti veidojas pirenoīdi, kurus uzkrāj hloroplastos un citoplazmā.

Sārtaļģes ir agara izejviela

Līdzīgi brūnaļģēm, **sārtaļģes** (**nodalījums *Rhodophyta***, 4000 sugu) ir daudzšūnu aļģes, bet tās galvenokārt dzīvo siltākās jūrās gan seklumā, gan dziļos ūdeņos. Parasti sārtaļģes ir mazākas un smalkāk veidotas par brūnaļģēm, tomēr to garums var sasniegt pat vienu metru. Dažas sārtaļģes ir vienkārši pavedieni, bet biežāk tās ir vairākkārt zarotas. To zari var būt spalvām līdzīgi, plakani vai lentveida (13.8. att.). Koraļļaļģes ir sārtaļģes, kuru šūnapvalki satur kalcija karbonātu. Dažviet tās veicina koraļļu rifu augšanu tāpat kā koraļļi.

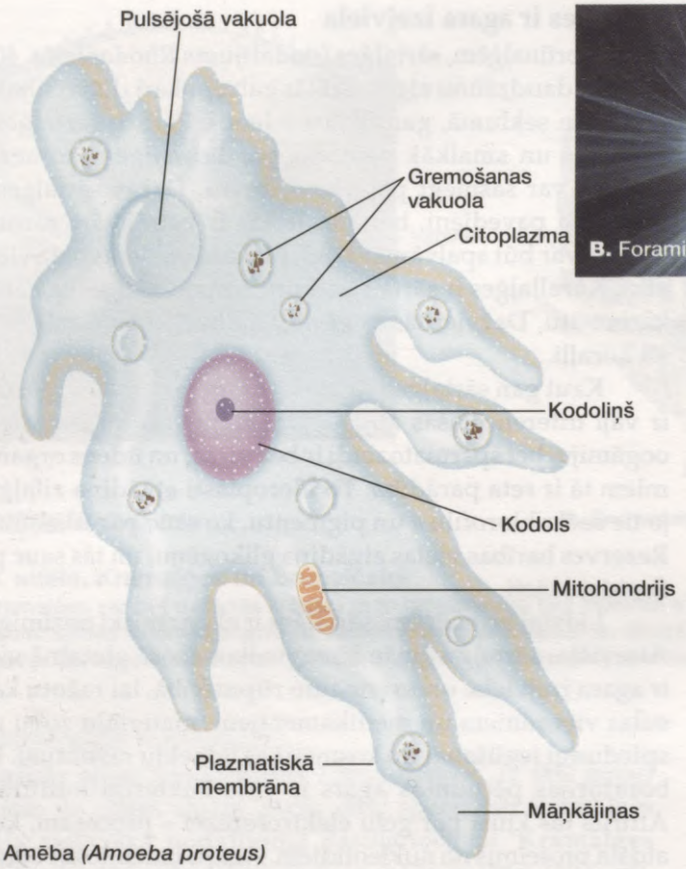
Kaut gan sārtaļģēm ir makroskopiski izmēri, to šūnas ir vāji diferencējušās audos. Dzimumvairošanās noris ar oogāmiju, bet spermatozoīdi ir bez vicas, un ūdens organismiem tā ir reta parādība. To hloroplasti atgādina zilaļģes, jo tie satur hlorofilu *a* un pigmentu, ko sauc par fikobilīnu. Rezerves barības vielas atgādina glikogēnu, un tās sauc par floridejū cieti.

Līdzīgi brūnaļģēm, sārtaļģes ir ekonomiski nozīmīgas. Atsevišķu sārtaļģu ģinšu šūnapvalkos esošā gļotainā viela ir agara izejviela, un to izmanto rūpniecībā, lai ražotu kapsulas vitamīniem un medikamentiem, materiālu zobu nospiedumu iegūšanai un kosmētikas līdzekļu ražošanai. Laboratorijas pētījumos agars ir vide baktēriju kultūrām. Attīrīts tas kļūst par gelu elektroforēzei – procesam, kurā atdala proteīnus no nukleotīdiem. Agaru izmanto arī ēdiena gatavošanai. Tā ir sastāvdaļa, kas dažādus konditorejas izstrādājumus pasargā no izžūšanas, bet želejām un desertiem liek ātrāk sarecēt.

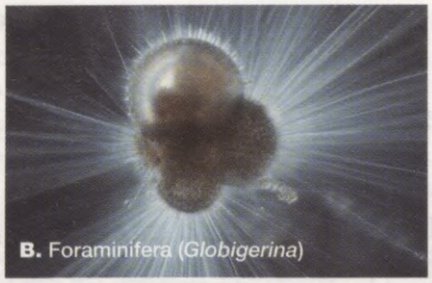
Sārtaļģes ir daudzšūnu aļģes. Daudzas no tām zarojas.



13.8. attēls. Sārtaļģes
Sārtaļģes, kuru pārstāvis *Chondrus crispus* redzams attēlā, ir mazākas un smalkāk veidotas nekā brūnaļģes.

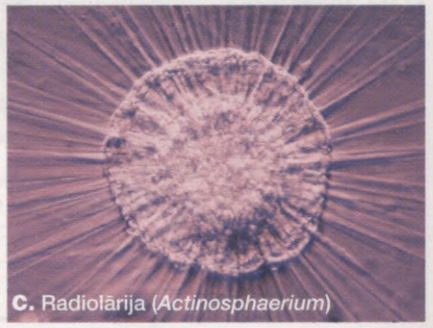


A. Amēba *(Amoeba proteus)*



B. Foraminifera *(Globigerina)*

250 µm



C. Radiolārija *(Actinosphaerium)*

20 µm

13.9. attēls. Amēbveida protozoji jeb sakņkāji
A. Saldūdens dīķos bieži sastopamās mainīgās amēbas *Amoeba proteus* uzbūve. Baktērijas un citi mikroorganismi tiek sagremoti gremošanas vakuolās, bet pulsējošās vakuolas atbrīvo organismu no liekā ūdens. **B.** Dzīvai foraminiferai māņkājiņas stiepjas laukā no kalcija kabonāta čaulas caur atverēm tajā. Šo čaulu ir bijis tik daudz, ka pēc ģeoloģisko slāņu pārvietošanās mūsdienās tās veido daļu no Doveras Baltajām klintīm. **C.** Dzīvas radiolārijas jeb starītes māņkājiņas stiepjas laukā no silīcija čaulas caur atverēm tajā.

13.2. Protozoji – dzīvniekiem līdzīgi organismi

Termins "protozoji" jeb "vienšūņi", kuru lieto ērtības labad, nav taksonomiska kategorija. **Protozoji** (gr. *protos* – pirmais un *zoon* – dzīvnieks) ir nelieli (2–1000 mm), heterotrofi, kustīgi vienšūnas organismi. Tie nav dzīvnieki, jo klasifikācijas sistēmā, kas izmantota šajā grāmatā, dzīvnieki ir daudzšūnu organismi, kuriem ir vairāku veidu somatiskās šūnas un kuru attīstībā ir embrionālā stadija.

Protozoji parasti dzīvo ūdenī, bet tos var atrast arī mitrā augsnē un dzīvos organismos. Okeānos, kā arī saldūdens ezeros un dīķos tie ir planktona sastāvdaļa. Tie veido **zooplanktonu**, kas barojas ar fitoplanktonu. Daži protozoji barību aprij veselu, un tos sauc par **holozoiskiem** vienšūņiem. Citi ir saprotrofi un absorbē barības vielas caur plazmatisko membrānu. Vēl citi ir parazīti, kas izraisa vairākas smagas slimības cilvēkiem.

Lielākā daļa protozoju ir vienšūnas organismi, bet ir sastopamas arī koloniālas un pat daudzšūnu formas. Arī vienšūnas protozoji nav uzskatāmi par vienkāršiem organismiem. Katrai šūnai vienai pašai jāveic tās funkcijas, ko veic specializētie audi un orgāni daudz komplicētākos organismos. Protozojiem ir arī organoīdi, kuru nav citiem organismiem. Barību viņi sagremo gremošanas vakuolās, bet saldūdens vienšūņiem ūdens izvadīšanai kalpo pulsējošās vakuolas.

Lai gan protozojiem ir raksturīga bezdzimumvairošanās, daloties uz pusēm vai mitotiski, tomēr daudzi protozoji kādā no to attīstības cikla posmiem vairojas arī dzimumceļā. Dzīvei nelabvēlīgos apstākļos daļa protozoju veido cistas, kurām ir aizsargapvalks. Tās ir metaboliski neaktīvas. Kad atkal iestājas labvēlīgi apstākļi, cistā pārveidojas kodols un šūna dalās. Tāpēc dažkārt tās sauc par reproduktīvajām cistām.

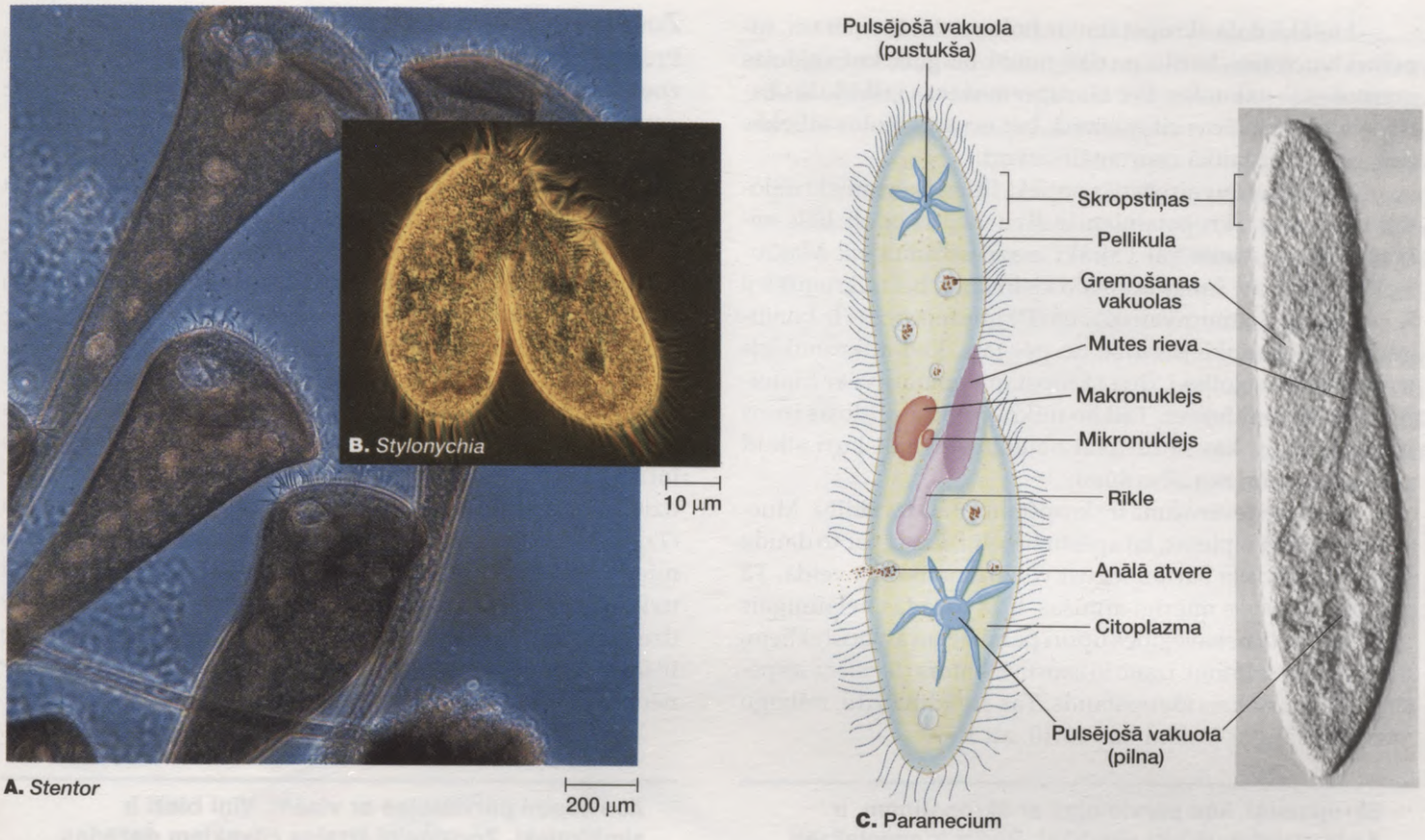
Protozojus var iedalīt četrās grupās pēc to kustību organoīdu veida.

Nosaukums	Kustību organoīds	Piemērs
Sakņkāji	Māņkājiņas	*Amoeba*
Skropstaiņi	Skropstiņas	*Paramecium*
Zoovicaiņi	Vica	*Trypanosoma*
Sporaiņi	Nav	*Plasmodium*

Amēbas un to radinieki pārvietojas ar māņkājiņām

Amēbām un tām radniecīgiem organismiem (**nodalījums *Sarcodina*** jeb sakņkāji, 40 000 sugu) raksturīgas māņkājiņas. Amēbas ir protisti, kas pārvietojas un savu laupījumu norij ar māņkājiņu jeb pseidopodiju palīdzību (gr. *pseudes* – viltus un *podos* – kāja). Māņkājiņas veidojas, citoplazmai plūstot vienā noteiktā virzienā. Daudziem sakņkājiem ir čaulas, piemēram, foraminiferām un radiolārijām.

Parasti apskata šīs grupas saldūdens pārstāvi – mainīgo amēbu *(Amoeba proteus)* (13.9. att.). Kad amēbas barojas, viņas veic fagocitozi (gr. *phagein* – ēst un *kytos* – šūna). Māņkājiņas apņem un aprij barību, piemēram, aļģi, baktēriju vai citu



13.10. attēls. Skropstainie protozoji
A. Stentors *(Stentor)* – liels, kausveida saldūdens vienšūnis. **B.** Divu stilonihiju *(Stylonychia)* konjugācija. **C.** Tupelītes *(Paramecium)* uzbūve un tās elektronmikrogrāfija. Skropstaiņi ir vissarežģītākie protozoji. Tiem ir mutes rieva, rīkle un anālā atvere (tūplis).

vienšūni. Gremošana turpmāk noris gremošanas vakuolā. Daži no cilvēka baltajiem asinsķermenīšiem ir amēbveida, un tie fagocitē svešķermeņus, parazītus un bojāgājušās šūnas. Saldūdens sakņkājiem, arī *Amoeba proteus*, ir pulsējošās vakuolas, kurās no citoplazmas sakrājas liekais ūdens. Vakuolai saraujoties, tas izdalās caur pagaidu atveri plazmatiskajā membrānā.

Dizentērijas amēba *(Entamoeba histolytica)* ir parazīts, kas dzīvo cilvēka zarnu traktā un izraisa dizentēriju. Komplikācijas rodas tad, kad šis parazīts iekļūst zarnu sieniņās un tur vairojas. Ja parazīti iekļūst pašā ķermenī, tiem nonākot aknās un galvas smadzenēs, var iestāties nāve.

Foraminiferām, kas galvenokārt ir jūras iemītnieki, ir ārēja kaļķa čaula ar atverēm, caur kurām stiepjas garas, tievas māņkājiņas. Čaula sastāv no kalcija karbonāta. Māņkājiņas zarojas un savienojas, veidojot tīklu, kurā laupījums tiek sagremots. Foraminiferas milzīgā daudzumā atrodamas okeāna dibena nogulumos – vienā gramā nogulumu var būt līdz 50 000 foraminiferu čaulu. Miljoniem gadu laikā nogulumi Zemes garozas ģeoloģiskās pacelšanās rezultātā izveidoja Doveras Baltās klintis Anglijas dienvidu krastā. No foraminiferu kaļķakmens ir celtas Ēģiptes lielās piramīdas.

Radiolārijas, kuru ārējais skelets ir veidots no silīcija vai stroncija sulfāta, peld okeānos ūdens virsējā slānī. To īpaši smalko skeletu daudzveidībai gandrīz nav robežu. Lai barotos, radiolārijas izmanto adatveida māņkājiņas, ko balsta mikrocaurulītes.

Sakņkāji izmanto māņkājiņas, lai barotos un kustētos. Mainīgā amēba *(Amoeba proteus)* dzīvo saldūdeņos, bet čaulās ietvertās foraminiferas un radiolārijas lielā daudzumā sastopamas okeānos.

Skropstaiņi jeb infuzorijas pārvietojas ar skropstiņām

Skropstaiņi (**nodalījums *Ciliophora***, 8000 sugu), piemēram, tupelītes *(Paramecium)*, ir visarežģītākie protozoji (13.10. att.). Simtiem skropstaiņu, kas koordinēti un ritmiski lokās, stiepjas laukā no sīkām atverēm puscietajā ārējā apvalkā pellikulā. Citoplazmā tieši zem pellikulas novietots daudz ovālu kapsulu, kurās atrodas **trihocistas**. Mehāniska vai ķīmiska kairinājuma rezultātā trihocistas izgrūž garus, dzeloņainus pavedienus, ko izmanto aizsardzībai vai upura notveršanai. Līdzīgas ir arī toksicistas, bet tās izdala indi, kas upuri paralizē.

Lielākā daļa skropstaiņu ir holozoiski. Piemēram, tupelītei barojoties, barība pa rīkli nonāk tās galā, kur veidojas gremošanas vakuolas. Pēc tās sagremošanas izšķīdušās barības vielas uzsūcas citoplazmā, bet nesagremotās atliekas tiek izvadītas laukā caur anālo atveri.

Bezdzimumvairošanās notiek, šūnai šķērseniski daloties uz pusēm. Skropstaiņiem ir divu veidu kodoli: liels *makronuklejs* un viens vai vairāki mazi *mikronukleji*. Makronuklejs kontrolē šūnas normālo vielmaiņu, bet mikronukleji ir saistīti ar dzimumvairošanos. Dzimumprocess ir konjugācija. Makronuklejs sairst, un pēc tam, kad mikronuklejs ir sadalījies mejotiski, divi skropstaiņi apmainās ar hiploīdiem mikronuklejiem. Tad no mikronukleja veidojas jauns makronuklejs, kas satur tikai noteiktus gēnus, kuri atbild par parastajām norisēm šūnā.

Diezgan ievērojama ir skropstaiņu daudzveidība. Mucveida didinija izplešas, lai apēstu tupelīti, kas ir par to daudz lielāka. Suktorija barību iegūst vēl dramatiskākā veidā. Tā piestiprinājusies mierīgi atpūšas, līdz parādās nelaimīgais upuris. Tad tā nekavējoties upuri paralizē un ar taustekļiem, līdzīgi gā ar salmiņu, izsūc to sausu. Stentors *(Stentor)*, iespējams, ir skaistākais skropstainis. Tas atgādina zilu, milzīgu vāzi, izrotātu ar joslām (sk. 13.10. att.).

Skropstaiņi, kas pārvietojas ar skropstiņām, ir daudzveidīgi un ļoti sarežģīti. Šūnai ir specializēti rajoni, kas veic dažādas funkcijas.

Zoovicaiņi kustas ar vicām

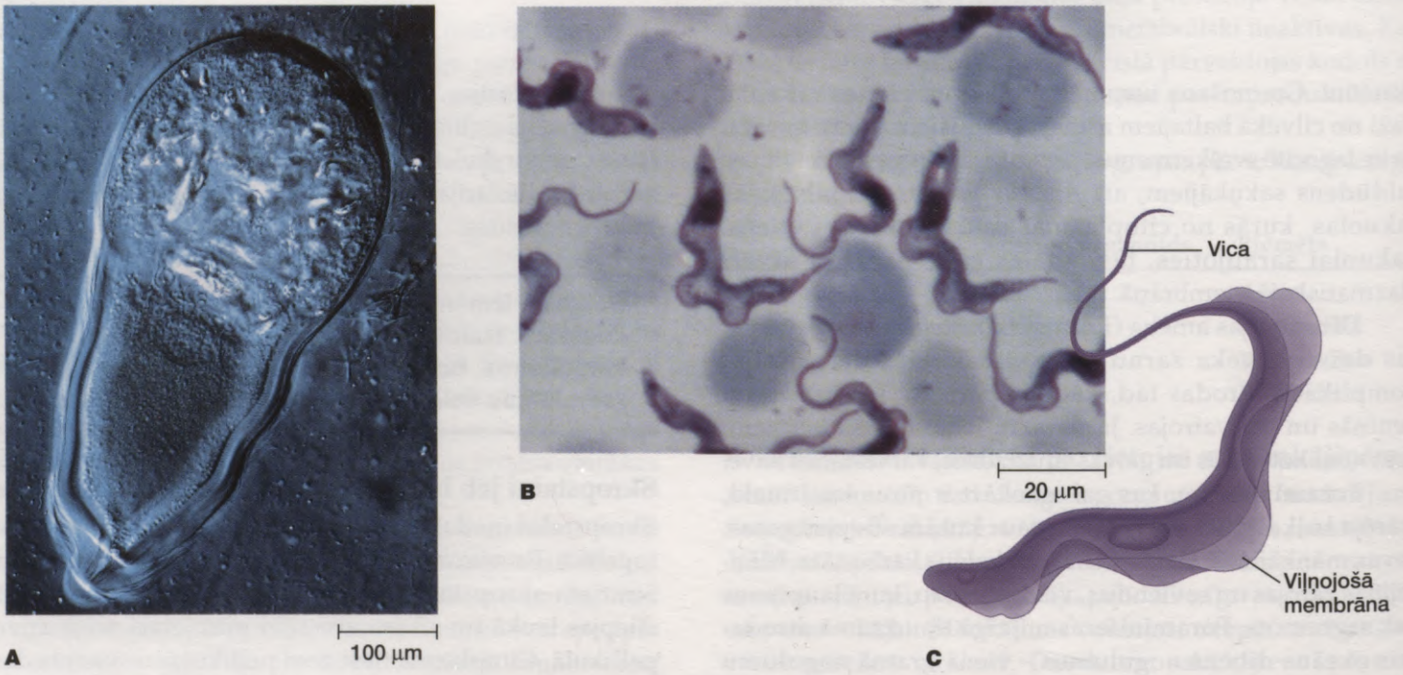
Protozojus, kuri pārvietojas ar vicas palīdzību, sauc par **zoovicaiņiem** jeb **zooflagellātiem** (**nodalījums *Zoomastigophora***) atšķirībā no vienšūnas aļģēm, kam arī ir vicas.

Zoovicaiņus jeb zooflagellātus (gr. *zoon* – dzīvnieks un lat. *flagello* – pātaga) klāj pellikula, ko bieži nostiprina zem tās esošās mikrocaurulītes.

Daudziem zoovicaiņiem raksturīga simbioze (13.11. att.). *Trichonympha collaris* dzīvo termītu zarnās. Viņā ir baktērija, kas fermentatīvi pārvērš koksnes celulozi šķīstošos ogļhidrātos, kurus kukainis var viegli sagremot. *Giardia lamblia*, kuras cistas var norīt ar piesārņotu ūdeni, piestiprinās pie zarnu sieniņām un izraisa smagu caureju. *Trichomonas vaginalis* ir organisms, kas izplatās dzimumkontaktu ceļā. Sievietēm inficē maksti un urīnizvadkanālu, bet vīriešiem – priekšdziedzeri, sēklas pūslīšus un urīnizvadkanālu. **Tripanosoma** *(Trypanosoma brucei)*, ko izplata cece mušas, izraisa Āfrikas miega slimību. Inficētā dzīvnieka baltie asins ķermenīši uzkrājas ap asinsvadiem, kas piegādā asinis galvas smadzenēm, un nosprosto to cirkulāciju. Letarģiskā slimības norise ir saistīta ar nepietiekamu skābekļa piegādi galvas smadzenēm.

Vicaiņi parasti vairojas, šķērseniski daloties uz pusēm.

Zoovicaiņi pārvietojas ar vicām. Viņi bieži ir simbiotiski. Zoovicaiņi izraisa cilvēkiem dažādas slimības, no kurām daļa ir bīstamas.



13.11. attēls. Zoovicaiņi

A. *Trychonympha collaris* dzīvo termītu zarnās un palīdz sagremot celulozi. **B.** Fotogrāfijā *Trypanosoma brucei* redzama starp sarkanajām asinsšūnām. Viņa izraisa Āfrikas miega slimību. **C.** Attēlā redzama tripanosomas vispārējā uzbūve.

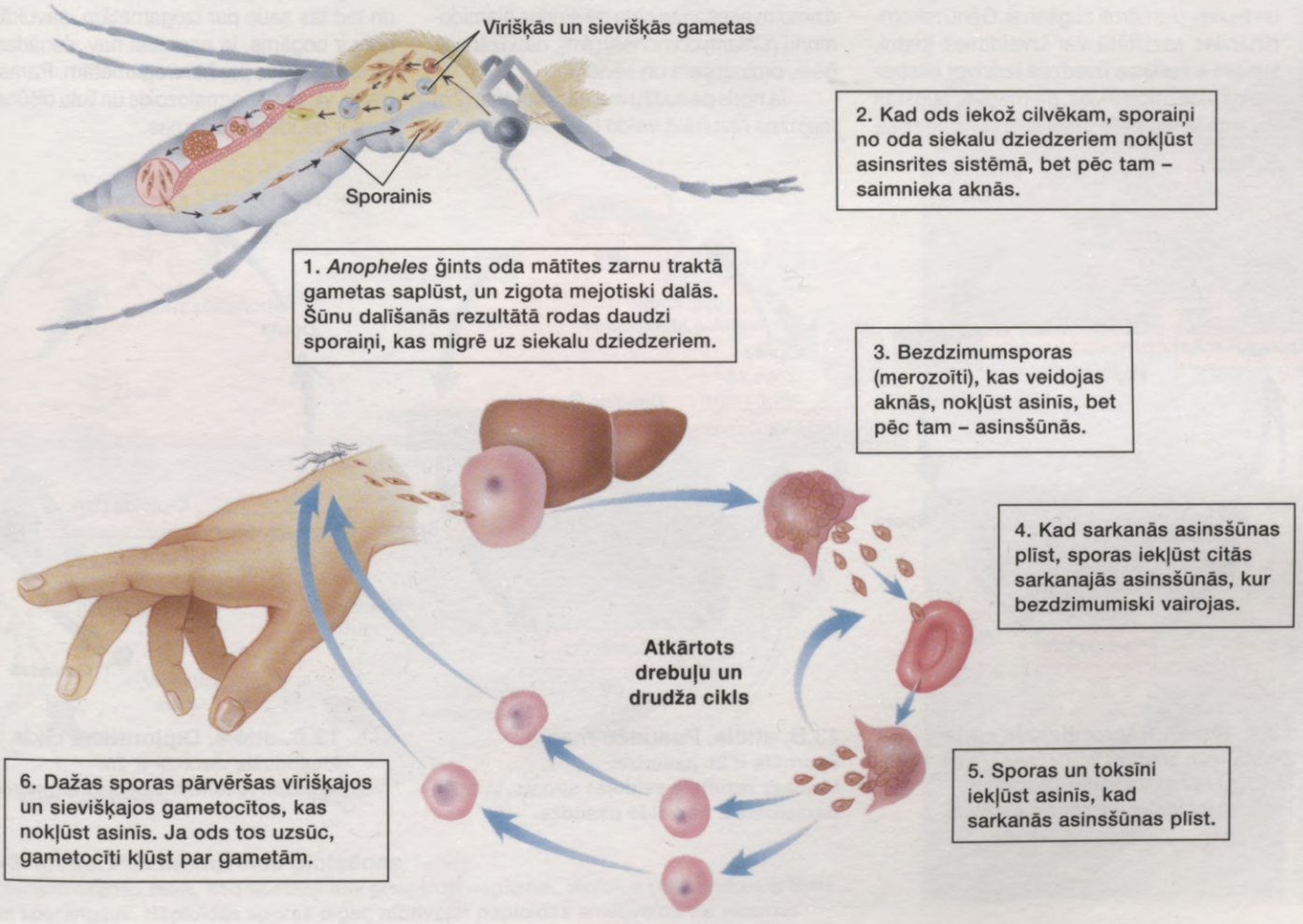
Sporaiņi veido sporas

Sporaiņi (nodalījums *Sporozoa*, 3600 sugu) ir nekustīgi parazīti. Tiem ir organoīdu komplekss, kas palīdz iekļūt saimniekorganisma šūnās un audos. Sporaiņu nosaukums norāda, ka šie organismi kādā sava dzīves cikla posmā veido sporas. To sarežģītais dzīves cikls sastāv no dzimumfāzes un bezdzimumfāzes un notiek parasti divos vai vairākos saimniekorganismos.

Vienu no pneimonijas veidiem, kuru parasti novēro AIDS slimniekiem, izraisa *Pneumocystis carinii*. Dzimumvairošanās laikā plaušu gaisa maisu sieniņās veidojas cistas ar bieziem apvalkiem. Cistās atrodas sporas, kuras sekmīgi dalās tikmēr, kamēr cista uzplīst un sporas atbrīvojas. Katra spora kļūst par nobriedušu organismu, kurš var bezdzimumumiski vairoties vai arī sākt dzimumvairošanos cistas stadijā.

Visizplatītākais cilvēka parazīts ir malārijas plazmodijs *(Plasmodium vivax)*, kas izraisa vienu no malārijas veidiem. Kad cilvēkam iekož inficēta *Anopheles* odu ģints mātīte, parazīts iekļūst sarkanajās asinsšūnās. Malārijas drebuļi un drudzis sākas tad, kad inficētās šūnas sabrūk un asinīs izdalās toksiskās vielas (13.12. att.). Malārija joprojām ir galvenais cilvēku nāves cēlonis, kaut gan ir plaši izvērsta cīņa ar to. Jaunus slimības uzliesmojumus vispirms izraisa pret insekticīdiem izturīgu odu izveidošanās, kā arī parazīti, kas ir izturīgi pret malāriju ārstējošiem medikamentiem.

Cits sporainis toksoplazma *(Toxoplasma gondii)* visbiežāk toksoplazmozi izraisa kaķiem, bet var izraisīt to arī cilvēkiem. Grūtniecēm šis parazīts var inficēt augli un radīt tam iedzimtus defektus. AIDS slimniekiem tas var inficēt galvas smadzenes un izraisīt neiroloģiskas saslimšanas.



13.12. attēls. Malārijas plazmodija *(Plasmodium vivax)* dzīves cikls
Bezdzimumvairošanās noris cilvēka organismā, bet dzimumvairošanās – *Anopheles* ģints odos.

Uzziniet tuvāk

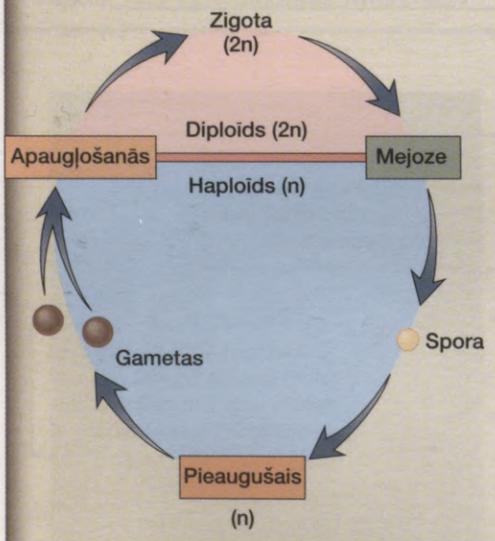
Protistu dzīves cikli

Organismi vairojas bezdzimumiski un dzimumiski. Bezdzimumvairošanās gadījumā ir nepieciešams tikai viens no vecākiem. Pēcnācējs ir identisks šim vecākam, jo saņem tikai tā gēnu kopijas. Ir vairāki bezdzimumvairošanās veidi. Sakņkāju, vicaiņu vai kramaļģu atsevišķās šūnas vienkārši dalās uz pusēm; *Chlamydomonas* un aļģsēnes veido zoosporas. Jauns pieaudzis īpatnis jebkurā gadījumā veidojas augšanas rezultātā. Protistiem bezdzimumvairošanās ir bieži sastopams vairošanās veids vides apstākļos, kas piemēroti to augšanai. Īpatņi, kas ir identiski saviem vecākiem, var izdzīvot un augt. Dzimumvairošanās laikā notiek ģenētiskā rekombinācija apaugļošanās un hromosomu neatkarīgās grupēšanās rezultātā. Tā noris tad, kad mainās vides apstākļi un tie nav piemēroti augšanai. Gēnu rekombinācijas rezultātā var izveidoties īpatņi, kuriem ir lielākas izredzes izdzīvot ekstremālos vides apstākļos, piemēram, augstās vai zemās temperatūrās, skāba vai bāziska pH apstākļos, tad, kad trūkst kādas noteiktas barības vielas.

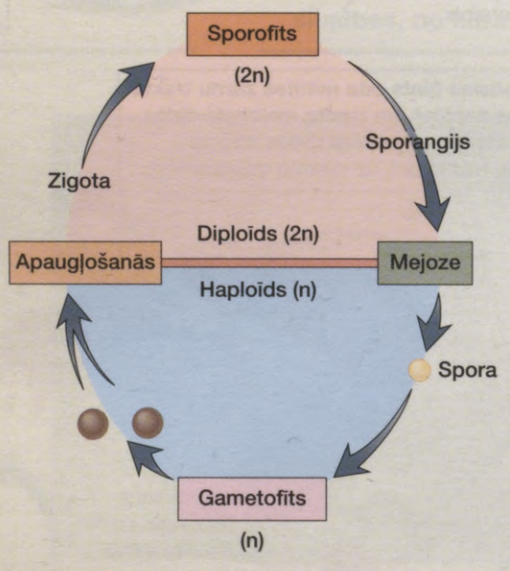
Lai notiktu dzimumvairošanās, ir vajadzīgi divi partneri, kuru abu gēnus pēcnācējs saņem ar dzimumšūnu jeb gametu starpniecību. Gametas saplūst, veidojot diploīdu zigotu. Dzimumvairošanās laikā noris mejoze – vienīgi tas, kad tā notiek, atšķir vienu dzimumvairošanās ciklu no otra, kā tas parādīts diagrammās. Šajās diagrammās diploīdā fāze attēlota virs līnijas, bet haploīdā – zem tās. Haploīdajā ciklā (13.A. att.) zigota mejotiski dalās, veidojot haploīdas sporas, no kurām attīstās haploīds pieaugušais īpatnis. Ūdens protistiem sporas ir tipiskas zoosporas. Zigota ir vienīgā diploīdā stadija šajā dzīves ciklā. Haploīdajā pieaugušajā īpatnī nobriest gametas. Šāds dzimumvairošanās cikls raksturīgs hlamidomonu *(Chlamydomonas)* ģintij, daudzām aļģēm, protozojiem un sēnēm.

Ja noris paaudžu maiņa, sporofīts (2n) mejozes rezultātā veido haploīdas sporas (13.B. att.). No sporas attīstās haploīds gametofīts, kas veido gametas. Gametas saplūst, veidojot diploīdu zigotu, bet no zigotas attīstās sporofīts. Šāds dzīves cikls raksturīgs dažām aļģēm (piemēram, *Ulva* un *Laminaria*) un visiem augiem. Ģints *Ulva* pārstāvjiem haploīdā un diploīdā paaudze izskatās vienādi. Augiem tās viena no otras ievērojami atšķiras.

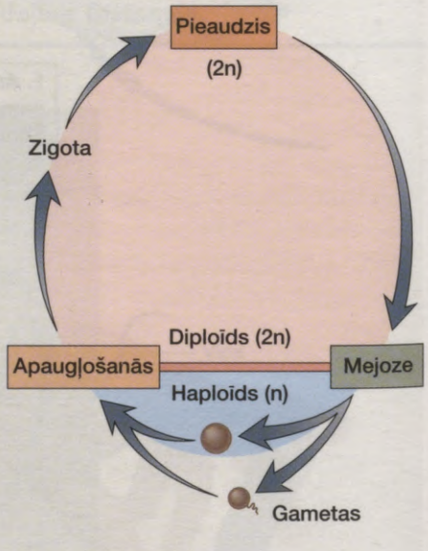
Diploīdajā ciklā diploīdā pieaugušajā īpatnī mejozes rezultātā veidojas gametas (13.C. att.). Gametas ir vienīgā haploīdā stadija šā cikla laikā. Tās saplūst, lai veidotu zigotu, no kuras attīstās diploīdais pieaugušais īpatnis. Šāds dzīves cikls ir raksturīgs nedaudziem protistiem (piemēram, *Oomycota* un *Fucus*) un visiem dzīvniekiem. Cikls ir izogāms, ja gametas izskatās vienādas, un tad tās sauc par izogametām, savukārt cikls ir oogāms, ja gametas nav vienādas, un tad tās sauc par heterogametām. Parasti ir sīks, vicains spermatozoīds un liela olšūna, kurā ir daudz citoplazmas.



13.A. attēls. Haplontiskais cikls
Zigota ir 2n stadija.
Mejozes rezultātā veidojas sporas.
Pieaugušie īpatņi vienmēr ir haploīdi.



13.B. attēls. Paaudžu maiņa
Sporofīts ir 2n paaudze.
Mejozes rezultātā veidojas sporas.
Gametofīts ir haploīdā paaudze.



13.C. attēls. Diplontisks cikls
Pieaugušie vienmēr ir 2n.
Mejozes rezultātā veidojas gametas.

13.3. Gļotsēnes un aļģsēnes – sēnēm līdzīgi organismi

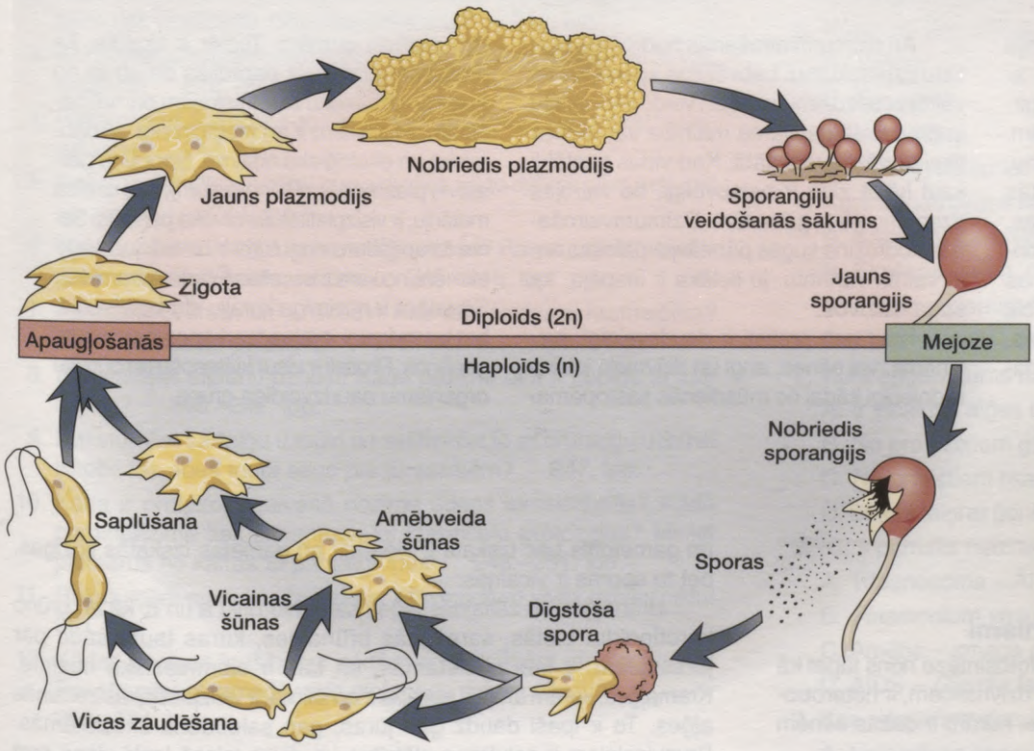
Gan gļotsēnes, gan aļģsēnes dažā ziņā ir līdzīgas sēnēm. Sēnēm ir pavedienveida ķermenis, un tās ir saprotrofiskas. **Saprotrofiem** (gr. *sapros* – satrunējis un *trophe* – barība) raksturīga ārējā gremošana, un tās rezultātā radušās barības vielas tie absorbē caur plazmatisko membrānu. Sēnēm parasti pēc mejozes notiek zigotas veidošanās un gan dzimumvairošanās, gan bezdzimumvairošanās laikā veidojas nekustīgas sporas. Gļotsēnes un aļģsēnes no sēnēm atšķiras ar kustīgumu dzīves ciklā, kā tas aprakstīts turpmāk.

Gļotsēnes atgādina amēbas

Pēc paviršas apskates **gļotsēnes** (**nodalījums** *Gymnomycota*, 560 sugu) varētu likties līdzīgas sēnēm, bet veģetatīvajā stadijā tās ir kustīgas un amēbveida. Šajā laikā tās izskatās daudz vairāk līdzīgas amēbveida protozojam nekā sēnei. Pēc barošanās veida gļotsēnes tiešām ir heterotrofiskas – tās norij organiskās vielas un baktērijas. Kad apstākļi ir labvēlīgi augšanai, tās veido un izdala sporas, kas ir izturīgas pret ārkārtējiem vides apstākļiem. Kad sporas dīgst, tās atbrīvo šūnas, kas dzīves ciklu sāk no jauna.

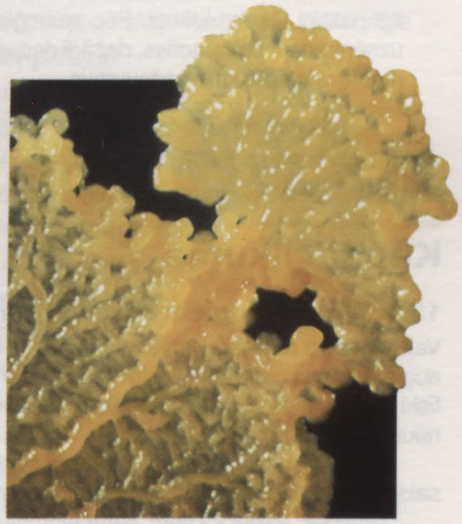
Plazmodijveida gļotsēnes ir daudzkodolu masa

Parasti plazmodijveida gļotsēnes eksistē kā plazmodijs – diploīds citoplazmatisks veidojums, kas ietverts daudzkodolu gļotu apvalkā. Mežos vai tīrumos tas lēni pārvietojas, fagocitējot augu materiālu (13.13. att.). Vēdekļveida masu veido blīvākas citoplazmas caurulītes, kurās ir šķidrāka citoplazma. Augšanai nelabvēlīgos laika apstākļos, piemēram, sausumā, plazmodijs veido daudzus sporangijus. **Sporangijs** (gr. *spora* – sēkla un *angeion* – trauks) ir reproduktīva struktūra, kas, mejotiski daloties, veido sporas. Tās var izdzīvot tik ilgi, kamēr ir pietiekami daudz mitruma to dīgšanai. Plazmodijveida gļotsēnēm sporas izdala haploīda vicaina vai amēbveida šūna. Galu galā divas no tām saplūst, veidojot zigotu, kas barojas un aug, atkal izveidojot daudzkodolu plazmodiju.



13.13. attēls. Plazmodijveida gļotsēnes
Dzimumvairošanās laikā, kad apstākļi nav piemēroti augšanai, diploīds pieaugušais īpatnis veido sporangijus. Haploīdas sporas dīgst, atbrīvojot haploīdas amēbveida vai vicainas šūnas, kas saplūst.


Hemitrichia sporangiji 1 mm


Plazmodijs *Physarum*

Celulārās (šūnveida) gļotsēnes ir atsevišķas šūnas

Celulārās gļotsēnes eksistē kā individuālas amēbveida šūnas. Katra no tām dzīvo, fagocitējot baktērijas un raugus. Kad barības bāze izsīkst, šūnas izdala vielu, kas liek tām apvienoties pseidoplazmodijā. Pseidoplazmodija stadija ir īslaicīga un rezultātā izveido sporangiju, kas producē sporas. Kad apstākļi atkal kļūst labvēlīgi, sporas dīgst, atbrīvojot haploīdas amēbveida šūnas, un šis bezdzimumcikls sākas no jauna. Ir zināms, ka dzimumcikls noris paaugstināta mitruma apstākļos.

Gļotsēnes, kas veido nekustīgas sporas, no sēnēm atšķiras ar amēbveida stadiju un heterotrofisko barošanos.

Aļģsēnes ir pavedienveida

Aļģsēnes (**nodalījums *Oomycota***, 580 sugu) parasti dzīvo ūdenī, kur tās parazitē uz zivīm, veidojot vilnainus izaugumus uz viņu žaunām, tomēr daļa no tām dzīvo uz sauszemes un parazitē kukaiņos un augos. Aļģsēnes 1840. gadā izraisīja kartupeļu trūkumu Īrijā. Tomēr lielākā daļa aļģsēņu ir saprotrofiskas un pārtiek no atmirušām organiskajām vielām.

Aļģsēnēm, tāpat kā sēnēm, ir pavedienveida ķermenis. To šūnapvalki lielākoties ir veidoti no celulozes, bet sēņu šūnapvalki ir veidoti no hitīna. Aļģsēņu dzīvescikls arī atšķiras no sēņu dzīvescikla. Bezdzimumvairošanās laikā aļģsēnes veido kustīgas sporas (2n zoosporas), kurām ir vicas. Pieauguši īpatņi ir diploīdi (nevis haploīdi, kā tas ir sēnēm) un mejozes ceļā veido gametas. To nodalījuma zinātniskais nosaukums norāda uz palielinātajiem pavedienu galiem, kurus sauc par oogonijiem un kuros veidojas olšūnas.

Aļģsēņu lielākajai daļai ir pavedienveida ķermenis, un tās ir saprotrofiskas. Pieauguši īpatņi ir diploīdi un mejozē veido gametas. Bezdzimumvairošanās laikā tām rodas kustīgas zoosporas.

Pārskats

Protisti vairākkārt minami kā pirmie. Tie bija pirmie eikariotiskie organismi; pirmie ar daudzšūņiem raksturīgām pazīmēm; pirmie, kas vairojās dzimumceļā ar gametām. Eikariotu šūna ir lielāka par prokariotu šūnu, un tai ir noteikta struktūra. Katram tās rajonam ir noteikta uzbūve un funkcijas, piemēram, šūnas elpošana notiek mitohondrijos, bet fotosintēze – hloroplastos. Šūnas izmēram palielinoties, tā dzīvo tik ilgi, cik ilgi pastāv tās struktūras. Pēc analoģijas, uzņēmumam palielinoties, dažādi departamenti veic noteiktus uzdevumus.

Arī dzimumvairošanās nodrošina protistu uzplaukumu. Labvēlīgos apstākļos tie vairojas bezdzimumiski un veido lielu skaitu īpatņu. Šajā gadījumā mainība var rasties tikai mutāciju rezultātā. Kad vides apstākļi kaut kādā ziņā ir nelabvēlīgi, tie vairojas dzimumceļā ar gametām. Dzimumvairošanās nodrošina sugas pārstāvju mainību, un, jo vairāk variantu, jo lielāka ir iespēja, ka suga izdzīvos.

Kaut gan protisti ir daudzveidīgi, nav zināms, vai sēnes, augi un dzīvnieki ir tuvu radniecīgi kādai no mūsdienās sastopamajām protistu grupām. Tomēr ir skaidrs, ka protistiem pirmoreiz parādījās daudzas no augu un dzīvnieku bioloģiskajām pamatīpašībām. Protistiem ir arī medicīniska, ekonomiska un ekoloģiska nozīme. Sporaiņu pārstāvis plazmodijs *(Plasmodium)*, kas izraisa malāriju, ir visizplatītākais cilvēka parazīts. Senie foraminiferu nogulumi ir izveidojuši kaļķakmeni, no kura ir uzceltas Ēģiptes piramīdas. Sārtaļģes ir nozīmīga koraļļu rifu sastāvdaļa, bet bruņvicaiņi izraisa "sarkanos paisumus" okeānos. Protisti ir visur klātesošu un būtisku organismu daudzveidīga grupa.

Kopsavilkums

13.1. Aļģes – augiem līdzīgi organismi

Valsts protisti *(Protista)* ietver aļģes, kurās fotosintēze noris tāpat kā augiem; protozojus, kuri, līdzīgi daudzšūnu dzīvniekiem, ir heterotrofiski un barību norij; gļotsēnes un aļģsēnes, kurām ir dažas sēnēm raksturīgas pazīmes.

Aļģes ir fitoplanktona daļa, kas ir barības bāze gan jūras, gan saldūdens ekosistēmās. Tās grupē atkarībā no to pigmentiem (krāsas).

Zaļaļģes, līdzīgi kā augi, satur hlorofilu *a* un *b*, rezerves barības vielas uzkrāj cietes veidā, un to šūnapvalki ir no celulozes. Zaļaļģes iedala vicainajās *(Chlamydomonas)*, pavedienveida *(Spirogyra* un *Oedogonium)*, daudzšūnu *(Ulva)* un koloniālajās *(Volvox)* aļģēs. Zaļaļģu dzīves cikli ir atšķirīgi. Lielākajai daļai zigota mejotiski dalās un pieauguši īpatņi ir haploīdi. Ir novērota gan izogāmija, gan oogāmija. Ulvai, līdzīgi kā augiem, ir raksturīga paaudžu maiņa, bet sporofīts un gametofīts pēc izskata ir vienādi; arī gametas izskatās līdzīgas, bet to sporas ir vicainas.

Brūnaļģes un zeltainās aļģes satur hlorofilu *a* un *c*, kā arī brūno karotinoīdu. Lielās, sarežģītās brūnaļģes, kuras tautā sauc par jūraszālēm, ir labi pazīstamas, un tām ir saimnieciska nozīme. Kramaļģes, kurām ārējais apvalks ir no silīcija, ir visizplatītākās zeltainās aļģes. To ir īpaši daudz gan jūras, gan saldūdens ekosistēmās. Bruņvicaiņiem ir celulozes plātnītes un divas taisnā leņķī viena pret otru novietotas vicas. To hloroplasti, iespējams, attīstījušies no zeltainajām aļģēm endosimbiozes ceļā. Ļoti daudz to ir okeānos, un, izraisot "sarkanos paisumus", tie izdala neirotoksīnus.

Eiglenoīdi ir vicainas šūnas, kurām šūnapvalka vietā ir pellikula. To hloroplasti varētu būt veidojušies no zaļaļģēm endosimbiozes rezultātā.

Sārtaļģes ir pavedienveida daudzšūnu jūras aļģes, kas ir daudz trauslākas par brūnaļģēm un parasti ir sastopamas siltākos ūdeņos. Tāpat kā brūnaļģēm, arī sārtaļģēm ir saimnieciska nozīme.

13.2. Protozoji – dzīvniekiem līdzīgi organismi

Protozoji jeb vienšūņi ir daļa no zooplanktona un kalpo par barības bāzi dzīvniekiem jūru un saldūdeņu ekosistēmās. Protozojus grupē pēc to kustību organoīdu veida. Sakņkāji kustas un barojas, veidojot māņkājiņas. Kaut gan parasti apraksta mainīgo amēbu *(Amoeba proteus)*, radiolārijām un foraminiferām, kas veido kaļķakmeņu iegulas, ir daudz lielāka nozīme. Skropstaiņi, kas pārvietojas ar skropstiņu palīdzību, ir viskomplicētākie protozoji. Tie ir ļoti daudzveidīgi. Zoovicaiņi, kuriem ir vicas, parasti ir simbiotiski. *Trichonymopha* palīdz termītiem sagremot barību, *Trypanosoma* izraisa Āfrikas miega slimību cilvēkiem. Sporaiņi ir nekustīgi parazīti, kas veido sporas. *Plasmodium* izraisa malāriju.

13.3. Gļotsēnes un aļģsēnes – sēnēm līdzīgi organismi

Gļotsēnes, kas veido nekustīgas sporas, atšķiras no sēnēm ar to, ka tām ir amēbveida stadija un tās barojas heterotrofiski, barību norijot. Aļģsēnes, kas ir saprofītiski pavedienveida organismi, no sēnēm atšķiras ar to, ka veido 2n zoosporas. Mejozes rezultātā rodas gametas.

Pārbaudiet sevi

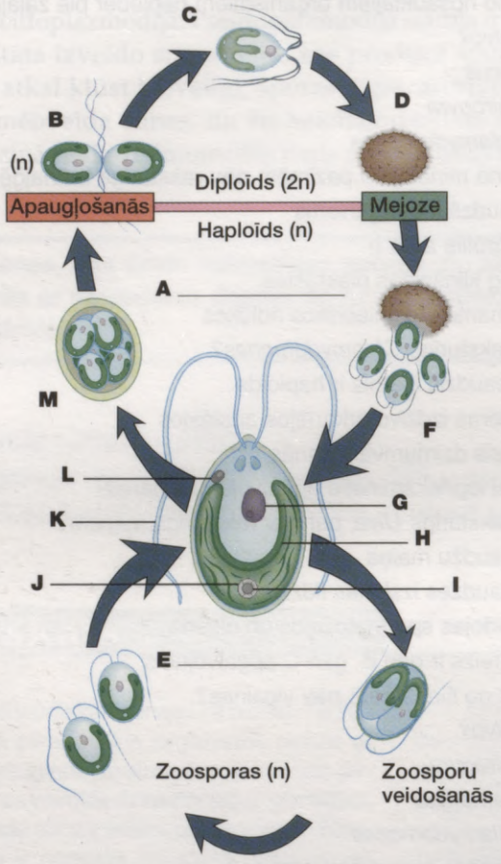
1. Kādi ir trīs protistu veidi? Kādas ir tiem raksturīgās pazīmes? 242. lpp.
2. Kāda ir aļģu galvenā loma ūdeņu ekosistēmās? Kāda pamatpazīme tiek izmantota aļģu klasificēšanai? 242. lpp.
3. Aprakstiet *Chlamydomonas* un *Volvox* uzbūvi! Salīdziniet to vairošanos! 242.–243., 245. lpp.
4. Raksturojiet *Spirogyra* un *Oedogonium* uzbūvi! Salīdziniet to vairošanos! 244. lpp.
5. Raksturojiet *Ulva* uzbūvi! Izskaidrojiet, kā to dzīves cikls atšķiras no augiem! 244. lpp.
6. Raksturojiet brūnaļģu un kramaļģu uzbūvi! Raksturojiet to ekoloģisko un saimniecisko nozīmi! 245.–246. lpp.
7. Raksturojiet bruņvicaiņu uzbūvi! Kas tiem līdzīgs ar kramaļģēm? Kas ir sarkanais paisums? 246. lpp.
8. Raksturojiet eiglēnu uzbūvi! Kāda pazīme tām ir kopīga ar zaļaļģēm? 246.–247. lpp.
9. Raksturojiet sārtaļģu uzbūvi un salīdziniet to ar brūnaļģu uzbūvi! Kāpēc tās abas tautā sauc par jūraszālēm? 247. lpp.
10. Kāda ir protozoju galvenā nozīme ūdens ekosistēmās? Kāda pamatpazīme tiek izmantota, lai klasificētu protozojus? Miniet piemērus no katras to pamatgrupas! 248.–251. lpp.
11. Raksturojiet malārijas izraisītāja *Plasmodium vivax* dzīves ciklu! 251. lpp.
12. Kādas kopīgas īpašības ir sēnēm ar gļotsēnēm un aļģsēnēm? Raksturojiet plazmodijveida gļotsēnes dzīves ciklu! 253.–254. lpp.

Tests

Sameklējiet vienu pareizo atbildi uz katru jautājumu!

1. Kuri no nosauktajiem organismiem nepieder pie zaļaļģēm?
   A. *Volvox*
   B. *Fucus*
   C. *Spirogyra*
   D. *Chlamydomonas*
2. Kura no minētajām pazīmēm **nav** raksturīga brūnaļģēm?
   A. Daudzšūnu organisms
   B. Hlorofils *a* un *b*
   C. Aug klinšainās piekrastēs
   D. Izmanto saimnieciskos nolūkos
3. Kas raksturīgs *Chlamydomonas*?
   A. Pieaudzis īpatnis ir haploīds
   B. Sporas izdzīvo ārkārtējos apstākļos
   C. Noris dzimumvairošanās
   D. Visi iepriekšminētie apgalvojumi ir pareizi
4. Kas raksturīgs *Ulva*, bet nav raksturīgs augiem?
   A. Paaudžu maiņa
   B. Paaudzes izskatās līdzīgas
   C. Veidojas spermatozoīds un olšūna
   D. Pareizs ir gan B, gan C apgalvojums
5. Kuras no šīm aļģēm **nav** vicainas?
   A. *Volvox*
   B. *Spirogyra*
   C. Kramaļģes
   D. *Chlamydomonas*
6. Kurš apgalvojums **nav** pareizs?
   A. Kramaļģes – silīcija čaula, kārbiņveida, zeltainas
   B. Eiglēnas – vica, pellikula, actiņa
   C. *Fucus* – pieaugušie ir diploīdi, jūraszāles, hlorofils *a* un *c*
   D. *Paramecium* – skropstiņas, kalcija karbonāta čaula, rīkle
7. Kurš apgalvojums **nav** pareizs?
   A. Ir vicainas aļģes un vicaini protozoji
   B. No protozojiem gan vicaiņi, gan sporaiņi ir simbiotiski
   C. No protistiem tikai zaļaļģu dzīves ciklā ir dzimumvairošanās
   D. Skropstaiņi ar ģenētisko materiālu apmainās konjugācijas laikā
8. Kurš parazīts neizraisa nosaukto slimību?
   A. Tripanosoma – Āfrikas miega slimība
   B. *Plasmodium vivax* – malārija
   C. Amēba – smaga caureja
   D. AIDS – *Giardia lamblia*
9. Kas raksturīgs gļotsēnēm, bet **nav** atrasts sēnēm?
   A. Nekustīgas sporas
   B. Amēbai līdzīgs pieaugušais īpatnis
   C. Zigotas veidošanās
   D. Fotosintēze

10. Paskaidrojiet, kas redzams hlamidomonas *(Chlamydomonas)* dzīves ciklā!
11. Nosauciet divas pazīmes, ar ko zīmējumā attēlotajā dzīves ciklā atšķiras bezdzimumstadija no dzimumstadijas!



Papildjautājumi

1. *Ikvienam organismam ir kāds no trim dzīves cikliem.*
   Raksturojiet katru no dzīves cikliem, izmantojot mejotisko dalīšanos un haploiditāti!
2. *Protisti ir daudzveidīga organismu grupa.*
   Mūsdienās lietotais protistu iedalījums ir mākslīgs. Paskaidrojiet, kāpēc!
3. *Protozoji ir dzīvniekiem līdzīgi protisti.*
   Balstoties uz šo koncepciju, pamatojiet, kāpēc sporaiņus nevar uzskatīt par īstiem protozojiem!

Multimediju izmantošana

Tēmu par protistiem palīdzēs apgūt šādi multimediji.

Interneta izmantošana

Šo nodaļu jums palīdzēs apgūt Maderas mājas lapa

http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader
(izvēlieties bioloģiju)



Dabaszinātņu videofilmas

Video#5: Animal Biology II

Malārijas dzīves cikls (#45)

Jēdzienu izpratne

Aļģe 242. lpp.
Aļģsēne 254. lpp.
Bruņvicainis 246. lpp.
Brūnaļģe 245. lpp.
Eiglēna 246. lpp.
Fagocitoze 248. lpp.
Fitoplanktons 242. lpp.
Gļotsēne 252. lpp.
Holozoisks 252. lpp.
Izogāmija 243. lpp.
Jūraszāle 245. lpp.
Kolonija 242. lpp.
Konjugācija 244. lpp.
Kramaļģe 246. lpp.
Māņkājiņa 248. lpp.
Oogāmija 243. lpp.
Pavediens 244. lpp.
Planktons 242. lpp.
Protists 242. lpp.
Protozojs 248. lpp.
Sakņkājis 248. lpp.
Saprotrofs 253. lpp.
Sārtaļģe 247. lpp.
Skropstainis 249. lpp.
Spora 243. lpp.
Sporainis 251. lpp.
Sporangijs 253. lpp.
Trihocista 249. lpp.
Tripanosoma 250. lpp.
Zaļaļģe 242. lpp.
Zeltainā aļģe 246. lpp.
Zooplanktons 248. lpp.
Zoovicainis 250. lpp.

Sameklējiet definīcijām atbilstošos terminus!

A. _____ – augam līdzīgs fotosintezējošs ūdens organisms, valsts *Protista* pārstāvis.
B. _____ – pret nelabvēlīgiem vides apstākļiem noturīga bezdzimumvairošanās struktūra, kas attīstās haploīdās paaudzes laikā.
C. _____ – sakņkāju protistu citoplazmas izspīlējums, ko izmanto, lai pārvietotos un norītu barību.
D. _____ – vicains un kustīgs vienšūnas saldūdens organisms, kas parasti satur hloroplastus. To raksturo kā tādu, kam piemīt gan augu, gan dzīvnieku pazīmes.
E. _____ – saldūdens un jūras organismi, kas ir izkliedēti ūdens virspusē vai tuvu tai.
F. _____ – saldūdens un jūras vienšūnas zeltainās aļģes, kuru šūnapvalks sastāv no divām silīciju saturošām vārsnēm un kuras īpaši lielā skaitā sastopamas fitoplanktonā.
G. _____ – parazītisku zoovicaiņu ģints pārstāvis, kas izraisa smagas cilvēka un mājdzīvnieku saslimšanas, arī miega slimību.
H. _____ – planktona daļa, kas sastāv no protozojiem un mikroskopiskiem dzīvniekiem.
I. _____ – protisti, kas pārvietojas un barību uzņem ar māņkājiņu palīdzību.
J. _____ – ģenētiskā materiāla nodošana no vienas šūnas uz otru.

Sēnes

14. NODAĻA

Nodaļas saturs

14.1. Kas ir sēnes?

- Sēnes ir saprotrofi noārdītāji, kas nodrošina neorganisko vielu apriti ekosistēmās. 258. lpp.
- Sēnes ir daudzšūnu organismi, kas sastāv no tieviem pavedieniem, kurus sauc par hifām. 260. lpp.
- Sēnes ir pielāgotas dzīvei uz sauszemes. Bezdzimumvairošanās un dzimumvairošanās laikā sēnēm veidojas nekustīgas sporas, kas izplatās ar vēja palīdzību. 259. lpp.

14.2. Sēņu klasifikācija

- Sēnes klasificē pēc to dzimumvairošanās cikla īpatnībām. Zigomicētēm ir miera stadija – biezā apvalkā iekļauta zigospora. 258. lpp.
- Asku sēņu dzimumvairošanās laikā sporas veidojas maisveida šūnās – askos, kuri atrodas sēņu augļķermeņos. 262. lpp.
- Bazīdijsēņu dzimumvairošanās procesā sporas veidojas uz vāles veida struktūrām – bazīdijām, kuras atrodas sēņu augļķermeņos. 264. lpp.
- Nepilnīgi pazīstamās sēnes vienmēr vairojas bezdzimumiski ar konīdijsporām; šiem organismiem dzimumvairošanās līdz šim nav novērota. 267. lpp.

14.3. Sēnes veido simbiotiskas attiecības

- Ķērpji, kas var dzīvot ārkārtējos vides apstākļos, ir sēnes un ciānbaktērijas (zilaļģes) vai zaļaļģes apvienojums. Sēne var būt aļģes parazīts. 267. lpp.
- Mikoriza ir simbiotiskas attiecības starp sēni un augu saknēm. Sēne palīdz augam uzņemt minerālvielas, un augs apgādā sēni ar ogļhidrātiem. 268. lpp.



Bāli šarlaksarkanā gliemezeņu ģints cepurīšsēne *(Hygrophorus miniatus)*

Kas kopīgs LSD, pēdu mikozēm un mājās ceptai maizei? Lai tos iegūtu, nepieciešama kāda no sēņu *Fungi* valsts sugām. Sēnes ir vienas no noslēpumainākajām dzīvības formām. Tās var atrast augam uz koku stumbriem un pat pagalmā pēc lietus. Sēnes atgādina augus, bet tām nav hloroplastu un tās neveic fotosintēzi. Pilnīgi skaidrs, ka sēnes nav dzīvnieki, tās arī neatgādina baktērijas vai protozojus. Pamatojoties uz sēņu daudzšūnu uzbūvi un barošanās veidu, Vitakers tās ir iekļāvis atsevišķā valstī. Katrs zina, ka sēņu valstij pieder cepurīšu sēnes, daudzi zina arī to, ka pie sēnēm pieder miltrasa, pelējums un lāčpurni. Tas liek domāt, ka sēnes nav īpaši lielas. Taču zinātnieki apgalvo, ka Vašingtonas štatā ir atraduši sēni, kas aizņēma 6060 hektārus. Sēnes pārtiek no augu un dzīvnieku atliekām. Atmirušas lapas, koku stumbri un pat beigti dzīvnieki tām ir ikdienas iztika. Tāpat kā baktērijas, sēnes ir noārdītāji, kas bagātina savu apkārtējo vidi ar neorganiskajām vielām un tā veicina vielu apriti ekosistēmās. Koki aug, zāle zaļo, ziedi plaukst – viss noris tāpēc, ka sēnes, pašas barojoties, nodrošina ar barību arī citus organismus. Iespējams, ka tās ir visnesavtīgākās visā dzīvajā dabā.

14.1. Kas ir sēnes?

Pie **sēņu valsts** *(Fungi)* pieder **sēnes**, kas ir galvenokārt daudzšūnu eikarioti ar dažādu uzbūvi un līdzīgu barošanās veidu. Līdzīgi dzīvniekiem, tās ir heterotrofas un patērē gatavas organiskās vielas. Dzīvnieki ir heterotrofi un savu barību norij. Lai gan sēnes arī ir heterotrofas, tās barību uzsūc (absorbē). To šūnas ap sevi izdala gremošanas enzīmus. Pēc tam kad organiskās vielas ir sadalītas, šūnas absorbē izveidojušās barības vielu molekulas.

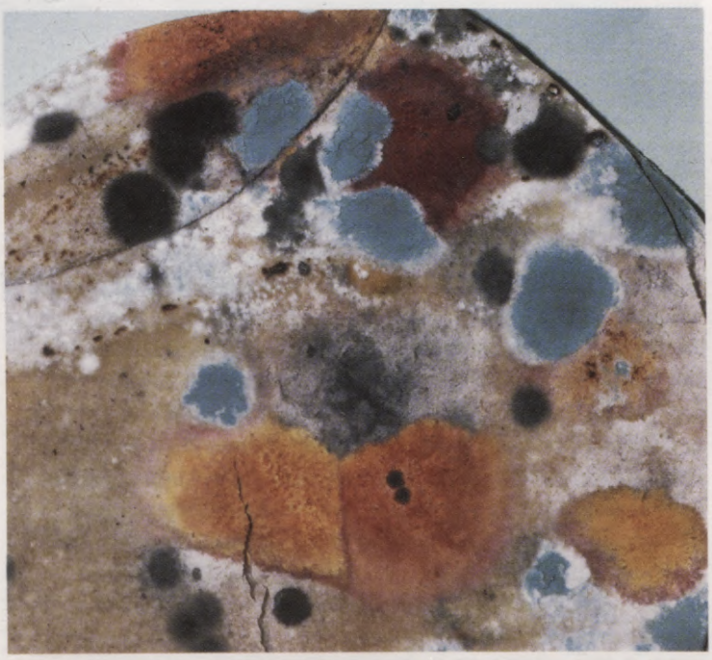
Lielākā daļa sēņu ir **saprotrofi noārdītāji**, kas sadala atkritumvielas un augu un dzīvnieku atliekas. Dažas sēnes ir parazītiskas; tās pārtiek no dzīvu augu un dzīvnieku audiem. Sēnes augos var iekļūt caur atvārsnītēm, tāpēc augi ir īpaši uzņēmīgi pret to radītajām slimībām. Tās katru gadu izraisa miljoniem dolāru lielus kultūraugu ražas zudumus un ir ievērojami samazinājušas dažādu sugu koku skaitu. Sēnes izraisa arī tādas cilvēka ādas sēnīšu slimības kā ēdi, pēdu mikozes, kandidozes.

Dažām sēnēm ir mutuālistiskas (savstarpēji izdevīgas) attiecības ar sēklaugu saknēm; tās piegādā augiem neorganiskās barības vielas, pretī saņemot organiskās vielas. Citas sēnes kopā ar zaļaļģēm vai ciānbaktērijām (zilaļģēm) veido ķērpjus. Tie var augt uz klintīm un ir nozīmīgi augsnes veidotāji.

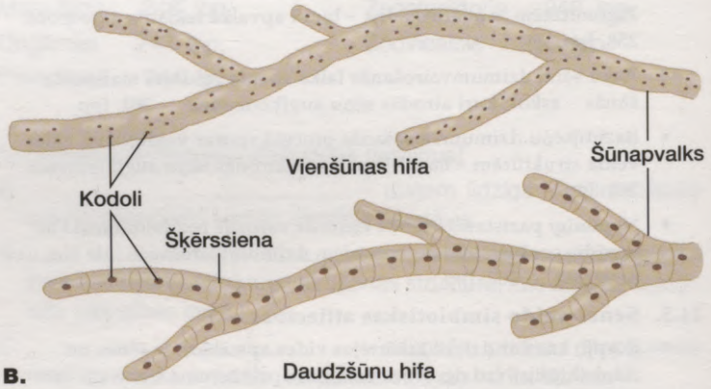
Sēnes veic ārēju gremošanu un ir heterotrofi absorbētāji. Tās ir saprotrofas vai parazītiskas, kā arī veido simbiotiskas attiecības.

Vairums sēņu ir pavedienveida

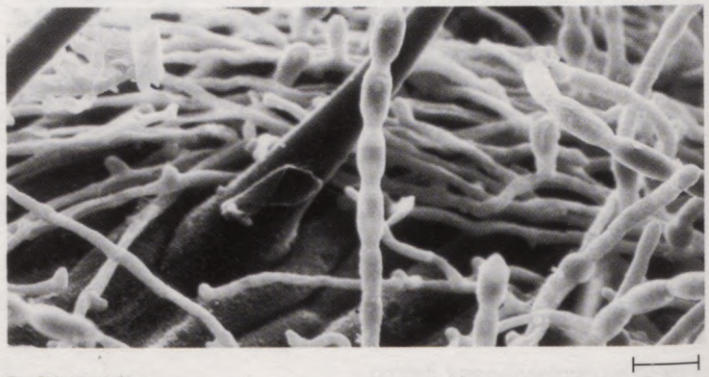
Sēnes var būt vienšūnas organismi. Raugs ir vispazīstamākais šādu sēņu piemērs. Tomēr lielākajai daļai sēņu ķermenis ir daudzšūnu struktūra, ko sauc par micēliju (14.1. att.). Sēņotne jeb **micēlijs** (gr. *mycelium* – sēnes pavedieni) ir pavedienu jeb **hifu** (gr. *hyphe* – tīmeklis) tīkls. Hifas micēlijam rada lielu virsmas laukumu attiecībā pret citoplazmas tilpumu. Tas sekmē barības vielu uzsūkšanu sēnes ķermenī. Hifas aug no galotnes, un micēlijs uzņem barības vielas un nodod tās tālāk augošajām galotnēm. Kad sēne vairojas, specifiska micēlija daļa kļūst par vairošanās struktūru, kuru uztur pārējā micēlija daļa.



A. Sēnes micēlijs



B.



C. Sēnes hifas

10 μm

14.1. attēls. Sēnes micēlijs
A. Uz kukurūzas vālītes seglapas no dažādām sporām izaugušie atšķirīgie micēliji ir diezgan simetriski. **B.** Hifas var būt vienšūnas (bez šķērssienām) vai daudzšūnu (ar šķērssienām). **C.** Sēnes hifas skenējošā elektronmikroskopā.

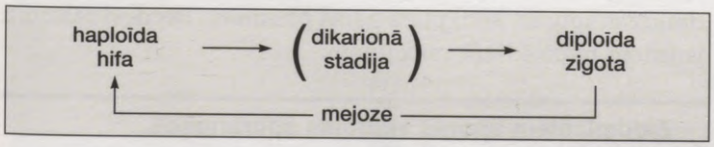
Sēņu šūnas ir diezgan atšķirīgas no augu šūnām ne tikai tāpēc, ka tām nav hloroplastu, bet arī tāpēc, ka to šūnapvalks satur hitīnu, nevis celulozi. Hitīns, līdzīgi celulozei, ir glikozes polimērs, kas veido mikrošķiedras. Katrai hitīna glikozes molekulai ir pievienota slāpekli saturoša aminogrupa. Hitīns ir kukaiņu un visu pārējo posmkāju ārējos skeletos. Sēņu rezerves barības viela ir nevis ciete, bet, līdzīgi kā dzīvniekiem, – glikogēns. Sēnes ir nekustīgas: tām nav bazālo ķermenīšu, kā arī nevienā no to attīstības stadijām nav vicas. Tās pārvietojas, augot barības avota virzienā. Hifas vienā dienā var izaugt pat kilometru garas!

Dažu sēņu hifām nav šķērssienu. Šādas hifas sauc par vienšūnas jeb **bezseptu** hifām. Septa (lat. *septum* – žogs, siena) ir termins, ar kuru apzīmē sēņotnes pavedienu šķērssienas. Bezseptu sēnes ir daudzkodolu – to hifu citoplazmā atrodas daudz kodolu. Daudzšūnu jeb **septu** sēnēm ir šķērssienas, tomēr septu esamībai ir maza nozīme, jo poras nodrošina netraucētu citoplazmas un dažreiz par organoīdu plūsmu no šūnas uz šūnu. Septas, kas atdala reproduktīvās šūnas, visām sēņu grupām ir bez porām.

Sēnes nekustīgo ķermeni veido micēlijs, kas sastāv no hifām.

Lielākā daļa sēņu veido sporas

Sēņu dzimumvairošanās cikls sastāv no šādām stadijām.



Katras stadijas relatīvais ilgums dažādām sugām ir atšķirīgs.

Dzimumvairošanās laikā divu dažādu dzimumu hifas saskaras un saplūst. Var šķist, ka arī abu dzimumu kodoli nekavējoties saplūst. Dažām sugām tā tas patiešām notiek. Citām sugām kodoli satuvojas, bet nesaplūst vairāku dienu, mēnešu un pat gadu laikā. Kodoli turpina dalīties, tāpēc katrā šūnā (septu hifām) ir vismaz viens katra veida kodols. Hifas, kurās ir haploīdu kodolu pāris, sauc par n+n jeb **dikarionu** (gr. *dis* – divi un *karyon* – kodols, kauliņš). Kad kodoli saplūst, zigota pirms sporas veidošanas mejotiski dalās. Sēņu sporas tūdaļ dīgst un bez jebkāda embrionālās attīstības perioda veido hifas.

Kā nekustīgs sauszemes organisms spēj nodrošināt sugas izplatīšanos uz citām vietām? Sēnes ir pielāgojušās dzīvei uz sauszemes. Gan dzimumvairošanās, gan bezdzimumvairošanās laikā veidojas nekustīgas sporas, kuras parasti pārnēsā vējš (14.2. att.). **Spora** ir reproduktīva šūna, no kuras tūdaļ var attīstīties jauns organisms.

Bezdzimumvairošanās procesā sporas veido viens micēlijs. Bezdzimumvairošanās notiek arī fragmentējoties – daļa micēlija sāk patstāvīgu dzīvi. Vienšūnas raugiem bezdzimumvairošanās noris **pumpurojoties**. Veidojas maza šūna, kas, sasniedzot normālus izmērus, noraisās (sk. 14.6. att.).



A



B

20 μm

14.2. attēls. Sporu izplatīšanās

A. Elektronu mikrofotogrāfijā redzamas zemeszvaigznes *(Geastrum)* **(B)** sporas. Tās zemeszvaigzne milzīgā skaitā izšauj gaisā.

Zemeszvaigznes sporas no C.Y. Shih, R. G. Kessel *Living Images.* Sciences Books International, Boston, 1982.

14.2. Sēņu klasifikācija

KLASIFIKĀCIJA

Valsts. Sēnes. *(Fungi)*

Daudzšūnu eikarioti, heterotrofi absorbētāji, nav viciņu, gan bezdzimumvairošanās, gan dzimumvairošanās laikā veidojas nekustīgas sporas

Nodalījums. Zigomicētes (*Zygomycota*)

Nodalījums. Askusēnes (*Ascomycota*)

Nodalījums. Bazīdijsēnes (*Basidiomycota*)

Nodalījums. Nepilnīgi pazīstamās sēnes (*Deuteromycota*) (t. i., sēnes, kurām nav zināms dzimumvairošanās veids)

Sēņu priekšteči, kas radušies apmēram pirms 570 miljoniem gadu, vēl nav atklāti. Iespējams, ka organismiem, kurus tagad iedala **sēņu valstī**, nemaz nav kopēja senča. Tādā gadījumā tās radās no dažādiem protistiem. Ir izteikts pieņēmums, ka sēnes evolucionēja no sārtaļģēm, jo gan sēnēm, gan sārtaļģēm nevienā no to attīstības stadijām nav viciņu.

Pagātnē sēnes tika iekļautas citās valstīs. Sākotnēji sēnes uzskatīja par augu valsts sastāvdaļu, pēc tam tās pieskaitīja protistu valstij *(Protista)*. Bet 1969. gadā R. Vitakers ierosināja tās iekļaut atsevišķā valstī, pamatojot šo iedalījumu ar to, ka sēnes ir tipiski daudzšūnu organismi ar sev raksturīgu barošanās veidu (ārpussūnas gremošana un barības vielu absorbēšana). 14.1. tabulā salīdzinātas sēņu un to organismu pazīmes, kuri šajā grāmatā ir iekļauti protistu valstī. Tā kā nav pietiekami daudz zināšanu par sēņu savstarpējām evolucionārajām attiecībām, tās iedala, vadoties pēc atšķirībām dzīves ciklos un sporu veidojošo struktūru veida. Mūsdienās zinātnieki salīdzina DNS (dezoksiribonukleīnskābi), kā arī analizē enzīmu un citu proteīnu līdzību, lai noskaidrotu evolucionārās saiknes, bet tas līdz šim vēl nav pārmainījis sēņu klasifikāciju.

Zigomicētes veido zigosporas

Zigomicētes (nodalījums *Zygomycota*; 600 sugu) galvenokārt ir saprotrofi, kas dzīvo uz augu un dzīvnieku atliekām augsnē vai uz maizes izstrādājumiem pieliekamajos. Dažas parazitē uz sīkiem augsnes protistiem, tārpiem vai pat uz kukaiņiem, piemēram, istabas mušas.

Melno maizes pelējumu *Rhizopus stolonifer* bieži izmanto par piemēru šī nodalījuma raksturošanai. Šīs sēnes ķermenis, ko veido vienšūnas jeb bezseptu hifas, norāda, ka, neraugoties uz sēņu šūnu nelielo diferenciāciju, hifas var būt specializējušās dažādām funkcijām. Rizopiem *(Rhizopus)* stoloni ir horizontālās hifas, kas aug maizes virspusē. Rizoīdi ieaug maizē, nostiprinot micēliju un veicot gremošanu. Sporangiofori ir kātiņi, uz kuriem atrodas sporangiji – tvertnes, kurās veidojas sporas, ko sauc par sporangiosporām. Bezdzimumvairošanās laikā visas struktūras ir haploīdas (14.3. att.).

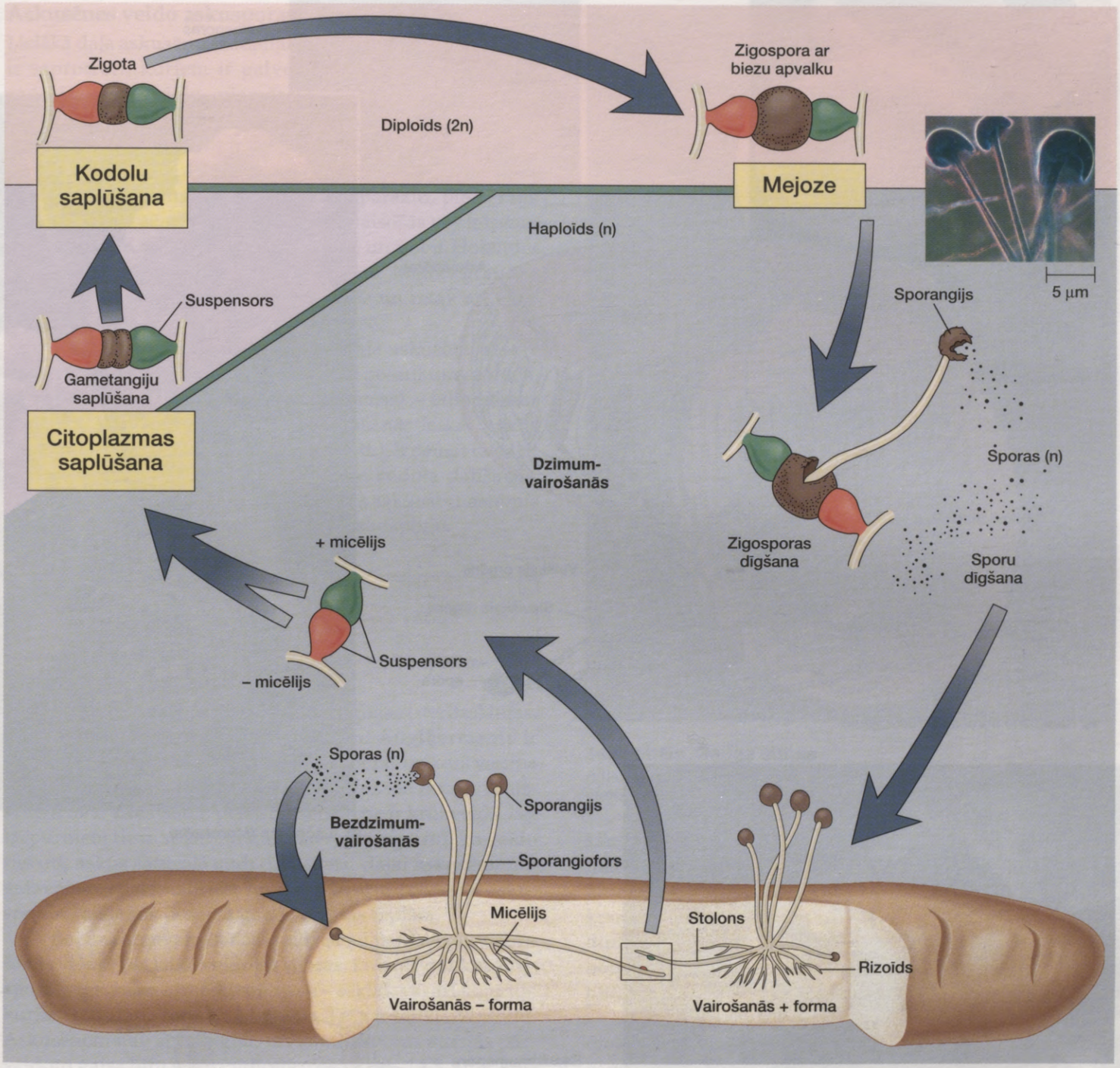
Nodalījuma nosaukums norāda uz zigotu, kas veidojas dzimumvairošanās laikā. Divu dažādu dzimumu hifas, ko apzīmē ar plusa (+) un mīnusa (–) zīmi, ar ķīmisku savienojumu starpniecību sajūt viena otru. Tās aug viena otrai pretim, līdz saskaras. Hifu gali paresninās, tajos ienākot kodoliem. Tad ar šķērssienām to galos norobežojas īss nodalījums gametangijs. Gametangiji savienojas, un rezultātā izveidojas liela daudzkodolu šūna, kurā abu dzimumu kodoli savienojas un saplūst. Ap šūnu, ko tagad sauc par **zigosporu**, izveidojas biezs šūnapvalks. Zigosporai pirms mejozes un dīgšanas ir miera periods. Veidojas viens vai vairāki sporangiofori ar sporangijiem to galos, un no tiem izsējas daudzas sporas, ko izplata gaisa plūsmas. Tās dod sākumu jauniem haploīdiem micēlijiem.

Zigomicētēm sporas veidojas sporangijos. Dzimumvairošanās laikā pirms mejozes un sporu veidošanās veidojas zigospora.

14.1. tabula

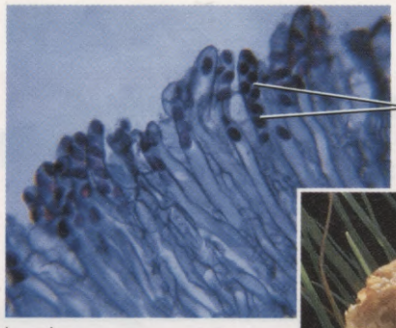
Protistu un sēņu salīdzinājums

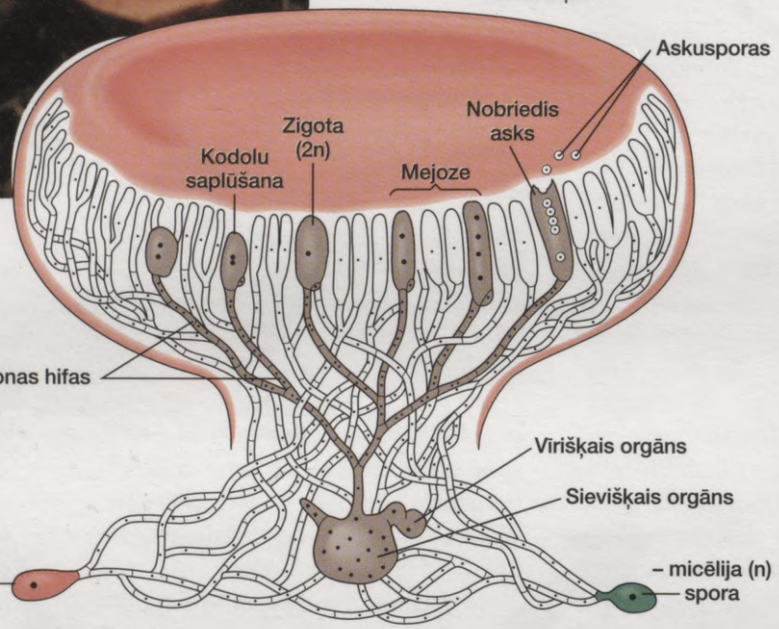
Pazīme	Sēnes	Sārtaļģes	Plazmodijveida gļotsēnes	Aļģsēnes
Ķermeņa forma	Pavedienveida	Pavedienveida	Daudzkodolu plazmodijs	Pavedienveida
Barošanās veids	Heterotrofs absorbējot	Autotrofs fotosintezējot	Heterotrofs absorbējot	Heterotrofs absorbējot
Bazālie ķermenīši/viciņas	Nav nevienai stadijai	Nav nevienai stadijai	Vienai stadijai	Vicainas zoosporas
Šūnapvalks	Satur hitīnu	Satur celulozi	Nav	Satur celulozi
Dzīves cikls	Zigotu mejoze (haplontisks cikls)	Sporu mejoze (paaudžu maiņa)	Unikāls	Gametu mejoze (diplontisks cikls)



14.1. attēls. Melnais maizes pelējums *Rhizopus stolonifer*
Raksturīga bezdzimumvairošanās. Dzimumvairošanās rezultātā pēc zigomejozes, kas notiek pirms sporangijsporu veidošanās, rodas haploīdi pieaugušie īpatņi. Kad divu dažādu dzimumu hifas saskaras, vispirms savienojas gametangiji, bet pēc tam savienojas kodoli. Zigospora ir miera stadija, kas pārdzīvo nelabvēlīgus augšanas apstākļus.





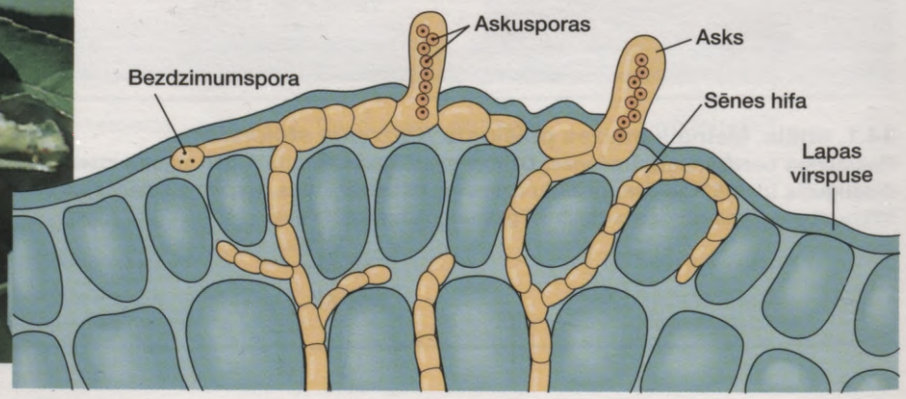


A. Kaussēne agrene (*Sarcoscypha*)



B. Lāčpurns *(Morchella)*





C. Persika vējlapas *(Taphrina)*

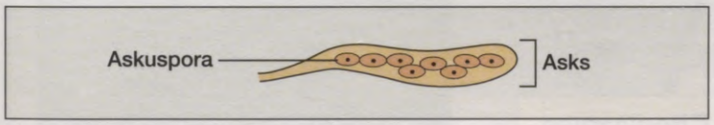
14.4. attēls. Askusēnes

A. Kaussēne; augļķermeņa šķērsgriezuma fotoattēls un zīmējums. Kad pēc kodolu saplūšanas notiek mejoze un sākas sporu veidošanās, dikariona hifu gali atrodas augļķermenī un veido askus. **B.** Lāčpurns; fotoattēls un augļķermeņa griezuma gaismas mikrofotogrāfija. **C.** Persika vējlapas; fotoattēls un zīmējums.

Askusēnes veido askusporas

Lielākā daļa **askusēņu** (nodalījums *Ascomycota*; 30 000 sugu) ir saprotrofi, kuriem ir galvenā ekoloģiskā loma grūti sadalāmu materiālu, piemēram, celulozes, lignīna vai kolagēna, pārstrādāšanā. Arī sarkanais maizes pelējums (piemēram, *Neurospora*) ir askusēne, tāpat kā kausiņsēnes, lāčpurni un trifeles. Lāčpurni un trifeles ir gardēžu iecienīts kārums. Liels skaits askusēņu ir augu parazīti, piemēram, īstās miltrasas sēnes, kā arī vējlapas izraisošās vējslotsēnes aug uz lapām, īstās kastaņas miltrasa un gobu Holandes slimība izraisa šīs sugas koku nokalšanu. Melnie graudi – parazītiska askusēne, kas inficē rudzus un retāk arī citus graudaugus, – ir aprakstīta 166. lappusē.

Raugi ir vienšūnas, bet lielākā daļa askusēņu sastāv no pavedienveida hifām. To nodalījuma nosaukums norāda, ka sēnēm ir aski (gr. *askos* – soma, maiss) – cilindriskas tvertnes, kuras attīstās dzimumvairošanās laikā. Askus veidojošās hifas paliek dikarioni (14.4. att.), izņemot to daļu, kas pārveidojas par askiem. Tur noris kodola dalīšanās, mejoze un askusporu veidošanās. Katrs asks satur astoņus haploīdus kodolus un veido astoņas askusporas.



Askus parasti ieskauj un aizsargā neauglīgas (sterilas) hifas, kas veido augļķermeni jeb askokarpu. **Augļķermenis** ir reproduktīva struktūra, kurā veidojas sporas un kurš veicina to izplatīšanos. Askokarpiem var būt dažāda forma. Kausēnēm tie ir kausveida, pelējsumsēnēm tie ir krūzveida, bet lāčpurniem tie ir ar kātiņu un zvanveida cepurīti, ko veido rievoti, askus saturoši audi. Lielākajai daļai askusēņu nogatavojoties aski uzbriest un tad pārplīst, izsviežot askusporas. Ja sporas nokļūst gaisā, vējš tās izplata.

Bezdzimumvairošanās ir askusēņu parastākais vairošanās veids. Tās laikā veidojas sporas, ko sauc par **konīdijsporām** (gr. *konis* – putekļi un *spora* – sēkla), vai arī konīdiji, kuriem ir dažāda forma un lielums. Tie var būt daudzšūnu. Askusēnēm nav sporangiju, un konīdijsporas attīstās pārveidotu gaisa hifu jeb konidioforu galos (sk. 14.8. att.). Kad sporas atbrīvojas, tās pārnēsā vējš.

Askusēnes parasti veido bezdzimuma konīdijsporas. Dzimumvairošanās laikā augļķermenī novietotie aski veido sporas.

Raugi ir atsevišķas šūnas

Raugi ir vienšūnas organismi, kas vairojas bezdzimumiski, mitotiski daloties vai pumpurojoties. Maizes jeb alus raugs *(Saccharomyces cerevisiae)* ir raugs, kas pumpurojas. Šūnai

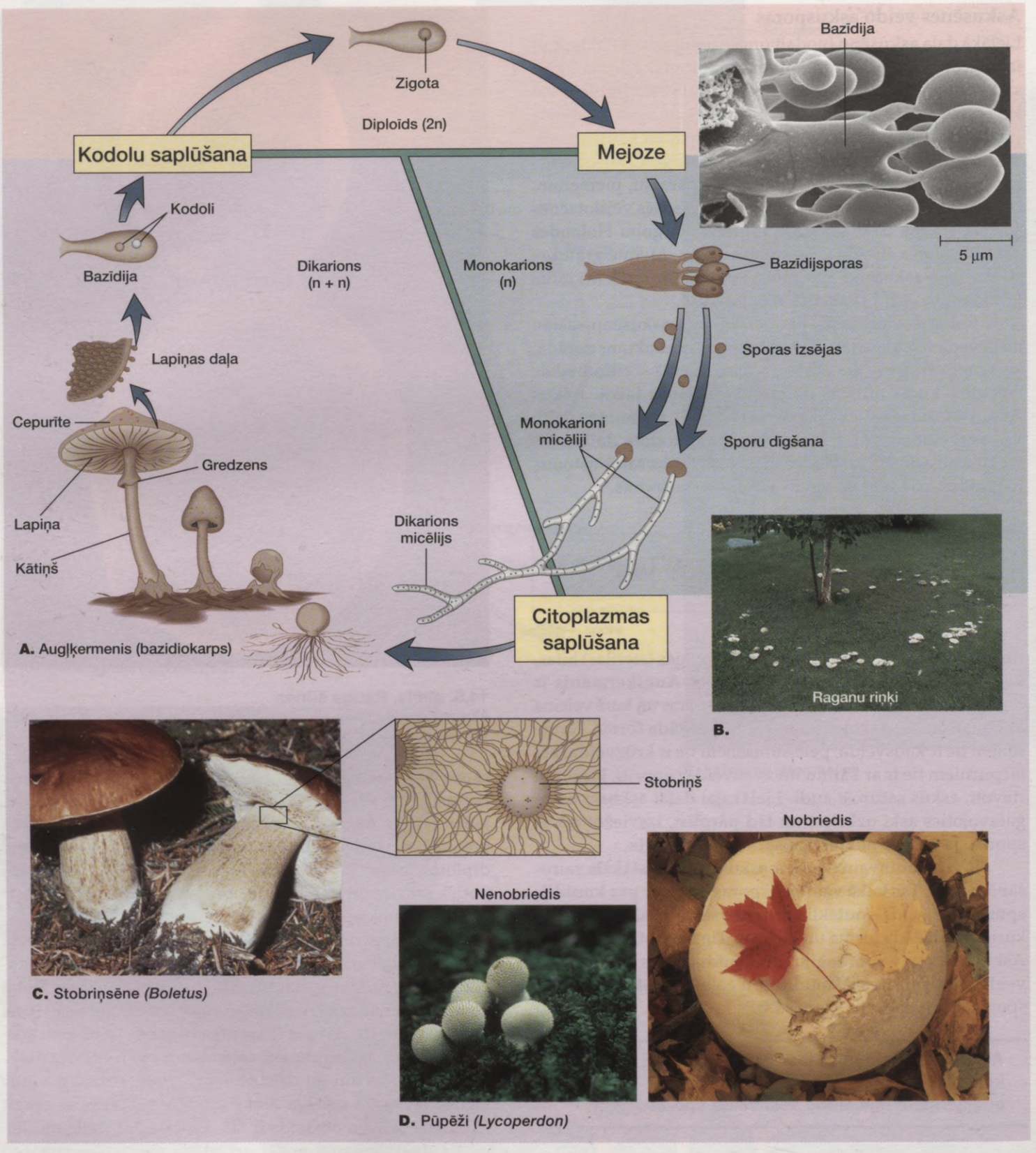


14.5. attēls. Rauga šūnas
Alus jeb maizes raugs *(Saccharomyces cerevisiae)* bezdzimumceļā vairojas pumpurojoties.

sānos veidojas maza šūna, un, sasniedzot pieaugušas šūnas lielumu, tā noraisās (14.5. att.). Dzimumvairošanās, veidojoties askiem un askusporām, notiek tad, ja izsīkst barības krājumi. Divu dzimumu askusporas var saplūst, veidojot diploīdu šūnu. Tā var vairoties bezdzimumiski, līdz atkal notiek mejoze un rodas askusporas. Haploīdās askusporas tūdaļ sāk funkcionēt kā jaunas rauga šūnas.

Kad raugi rūgst, tie veido etanolu (etilspirtu) un oglekļa dioksīdu. Savvaļā raugi attīstās uz augļiem. Agrāk uz vīnogām esošos raugus izmantoja vīna ieguvei. Mūsdienās, lai iegūtu vīnu, salīdzinoši sterilajai vīnogu sulai pievieno īpaši atlasītus raugus. Arī pie īpaši sagatavotiem graudiem pievieno raugus, lai iegūtu alu. Gan etanols, gan oglekļa dioksīds saglabājas alū un dzirkstošajos vīnos. Parastos vīnus iegūst, aizvadot oglekļa dioksīdu. Maizes cepšanā raugu izdalītais oglekļa dioksīds ir tas, kas rūgstot izcilā mīklu.

Cilvēkam raugi noder arī citādā veidā. Tos izmanto par materiālu gēnu inženierijas eksperimentos, kuros pēta eikariotus. Parastais eksperimentu objekts – zarnu nūjiņa *Escherichia coli* – ir prokariots un proteīnu sintēzes laikā nefunkcionē kā eikariots.



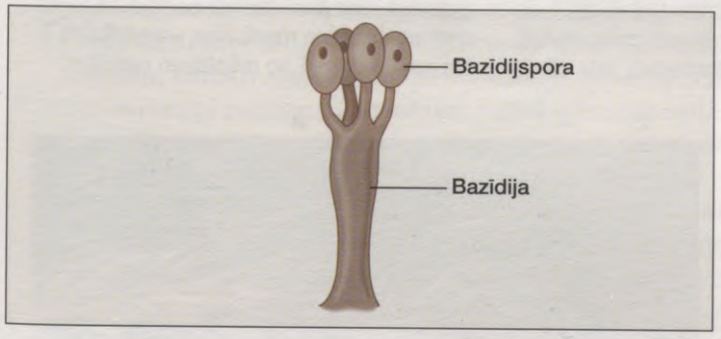
14.6. attēls. Bazīdijsēnes

A. Sēnes dzīves cikls. Parasti novēro dzimumvairošanos. Pēc tam kad saplūst divu dzimumu hifas, veidojas dominējošā fāze – dikarions micēlijs. Katrā bazīdijā uz attēlā redzamā augļķermeņa lapiņām kodola dalīšanās noslēdzas ar diploīda kodola izveidošanos. Tālāk notiek zigomejoze un bazidiosporu veidošanās. Sporām dīgstot, veidojas haploīds micēlijs. **B.** Raganu riņķis. Sēnes attīstās uz ārējiem dzīvajiem dikariona micēlija pavedieniem, veidojot gredzenu. Centrālajā daļā visas barības vielas ir izmantotas, un tā vairs nav dzīva.
C. Baravikas *(Boletus)* augļķermenis. Šī sēne nav lapiņsēne; lapiņu vietā tai ir ar bazīdijām klāti stobriņi, kas atveras cepurītes apakšpusē.
D. Pūpēži var izaugt diezgan lieli. Ir aprēķināts, ka nobriedis attēlā redzamais pūpēdis satur 7 miljardus sporu.

Bazīdijsēnēm ir bazīdijsporas

Bazīdijsēnēm (nodalījums *Basidiomycota*; 16 000 sugu) ir pavedienveida hifas. Pie tām pieder visparastākās cepurīšsēnes, kas aug zālājos, un piepes, kas aug uz trūdošas koksnes. Mazāk pazīstami ir pūpēži, ligzdenītes un zemestauki. Tām ir atšķirīgas formas augļķermeņi, ko sauc par bazīdijkarpiem. Bazīdijkarpi satur bazīdijas (lat. *basidium* – pjedestāls) – vālesveida struktūras, uz kurām attīstās bazīdijsporas. No bazīdijām ir cēlies nodalījuma nosaukums.

Lai gan atsevišķos gadījumos bazīdijsēnes var bezdzimumceļā veidot konīdijsporas, parasti tās vairojas dzimumceļā. Kad divu dažādu dzimumu monokarionu (n) hifas sastopas, tās saplūst, veidojot dikarionu (n + n) micēliju (14.6. att.). Dikarionais micēlijs turpina savu eksistenci gadu pēc gada, labvēlīgos apstākļos pat simtiem gadu ilgi. Cepurīšu sēnēm dikarionais micēlijs bieži gredzenveidā izplešas, tāpēc to veidojošie bazīdijkarpi aug aizvien lielākos lokos, ko sauc par raganu riņķiem. Bazīdijkarpus neveido nekas cits kā tikai stingri sablīvētas hifas, kuru gali ir bez šūnapvalka un pārveidojas par vālesveida bazīdijām. Lapiņsēnēm hifu gali veido starveida plātnītes, turpretim stobriņsēnēm un piepēm tie beidzas stobriņos. Visos gadījumos auglīgo slāni klāj bazīdijas, kurās notiek kodolu dalīšanās, mejoze un sporu veidošanās. Bazīdijai ir četri izaugumi, kuros, veidojoties bazīdijsporām, ieplūst citoplazma un haploīdie kodoli.



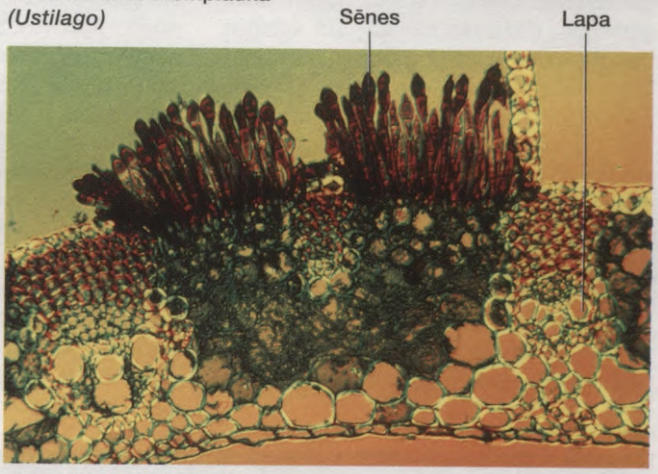
Bazīdijsporas visbiežāk pārnēsā vējš. Tām dīgstot, veidojas jauns haploīds micēlijs.

Pūpēžiem sporas veidojas pergamentam līdzīgas segas ietvertā dobumā un, apvalkam pārplīstot, tiek izsviestas caur atveri tajā. Ligzdenītēm krītošu lietuslāšu radītā trieciena rezultātā bazīdijsporas saturošās "olas" no "ligzdas" paceļas gaisā, lai nokristu augājā, kur tās kopā ar zāli var apēst kāds dzīvnieks. Sporas cauri dzīvnieku gremošanas traktam iziet neskartas. Zemestauki atgādina cepurīšu sēni ar porainu kātiņu un blīvu, gļotainu cepurīti. Garā kātiņa galā atrodas iegarens bazīdijkarps. Zemestauki izdala sevišķi nepatīkamu smaku, kas pievilina mušas. Kad viņas nosēžas uz sēnes, lai barotos ar gļotaino kārumu, sporas pielīp mušu ķermenim un tā tiek izplatītas.

Bazīdijsēnes parasti vairojas dzimumceļā. Dikariona stadija ir ilgstoša. Tās laikā periodiski veidojas augļķermeņi, kuru bazīdijās attīstās sporas.



A. Kukurūzas melnplauka *(Ustilago)*



B. Kviešu rūsa *(Puccinia)*

14.7. attēls. Melnplaukas un rūsas sēnes
A. Kukurūzas melnplauka. **B.** Kviešu rūsa.

Melnplaukas un rūsas sēnes ir parazīti

Melnplaukas un **rūsas sēnes** ir bazīdijsēnes, kas ir graudaugu, piemēram, kukurūzas, kviešu, auzu un rudzu parazīti. Tām ir liela nozīme lauksaimniecībā, jo katru gadu šīs sēnes izraisa ievērojamus ražas zudumus. Melnplaukas un rūsas sēnes neveido bazīdijkarpus. To mazās sporas veidojas milzīgā skaitā un atgādina sodrējus. Dažas melnplaukas sēnes iekļūst sēklās un attīstās auga audos, kļūstot redzamas tikai īsi pirms nogatavošanās. Citas melnplaukas inficē augus no ārpuses. Kukurūzas melnplaukai micēlijs aug starp graudiem, izdalot vielas, kas izraisa izaugumu veidošanos uz vālītēm (14.7. att. A).

Rūsas sēņu dzīves cikls var būt īpaši sarežģīts. Parasti tā pilnīgai norisei nepieciešama divu saimniekaugu līdzdalība. Kviešiem raksturīgajai graudzāļu svītru rūsai saimniekaugs ir parastā bārbele, bet upenes un ērkšķogas ir saimniekaugi Veimuta priedes stabiņrūsai. Šo rūsas sēņu izplatību ierobežo, masveidā iznīcinot saimniekaugu krūmus labības audzēšanas vietās. Graudzāļu svītru rūsas apkarošanai veido jaunas un izturīgas kviešu šķirnes. Šis process ir nepārtraukts, jo rūsas sēnei var rasties mutācijas, kas infekciju izraisa no jauna.

Uzziniet tuvāk

Iznīcinošās sēnes

Tiem, kas sēnes labi nepazīst, mežā tās lasīt ir neprāts, jo daudzas sēņu sugas ir indīgas. Sarkanās un dzeltenīgās krāsas mušmiru *(Amanita)* ģints sēnes ir īpaši bīstamas. Šīs sēnes sauc par mušmirēm tāpēc, ka agrāk tās izmantoja mušu iznīcināšanai (tās audzēja un pēc tam mušu pievilināšanai samaisīja ar cukuru). Šo sēņu toksīni – muskarīns un muskardīns – izraisa saindēšanos, kuras simptomi ir līdzīgi tiem, kādus novēro akūtu alkohola intoksikāciju gadījumos. Vienas līdz sešu stundu laikā upurim rodas reiboņi, viņš zaudē samaņu, var iestāties delīrijs. Dažreiz novēro halucinācijas, dažādas mānijas un apziņas traucējumus. Laimīgā kārtā saindēšanās izraisa arī vemšanu, kas atbrīvo organismu no indes, tāpēc nāve iestājas retāk nekā 1 % gadījumu. Ja saindējas ar zaļo mušmiri *(Amanita phaloides;* 14. A att.), nāve iestājas 90 % gadījumu. Ja apēd šo sēni, saindēšanās simptomi parādās ne agrāk kā pēc desmit līdz divpadsmit stundām. Sāpes vēderā, vemšana, delīrijs un halucinācijas nav bīstamākie simtomi. Ļaunākā ir indes iedarbība uz RNS (ribonukleīnskābju) transkripciju, bremzējot RNS polimerāzi. Tāpēc upuris mirst no aknu un nieru bojājumiem.

Dažas halucinogēnās sēnes izmanto reliģiskajās ceremonijās, piemēram, Meksikas indiāņi. *Phylocibe mexicana* satur psilocibīnu, kurš pēc sastāva ir līdzīgs LSD un meskalīnam. Psilocibīns izraisa sapņiem līdzīgu stāvokli, kura laikā daudzkrāsainu rakstu un objektu vīzijas šķietami piepilda visu telpu un slīd garām nebeidzamā dejā. Lai radītu spēcīgāku īstenības ilūziju, tiek saasinātas arī citas sajūtas.

Prasme pareizi noteikt katru sēni ir vienīgais veids, kā droši atšķirt ēdamo sēni no indīgās. Nav iespējams noteikt indīgās sēnes, izmantojot tādas vienkāršas pazīmes kā slikta smaka vai sudraba monētas nomelnēšana sēņu gatavošanas laikā.

Bazīdijsēnes un dažas askusēnes satur arī citas cilvēkiem kaitīgas vielas. Melnie graudi *(Claviceps purpurea)* inficē rudzus, graudu vietā veidojot melnos graudus (vilkuzobus) – cietu, violeti melnu veidojumu, kas sastāv no cieši sacementētām hifām. Tajās atrodas askusporas (14.B. att.). Ja tos samaļ kopā ar rudziem un izcep maizē, sēne izdala indīgus alkaloīdus, kas cilvēkiem izraisa vemšanu, pastiprinātu karstuma vai aukstuma sajūtu, muskuļu sāpes. Seja kļūst dzeltena, rodas halucinācijas un histērija, kā arī roku un kāju darbības traucējumi. Tagad jau ir zināms, ka melnie graudi satur lizergīnskābi, no kuras viegli var sintezēt LSD. Analizējot novērotos simptomus, vēsturnieki uzskata, ka septiņpadsmitajā gadsimtā Salemā (Masačūsetsas štats) cilvēki, kurus kaimiņi apsūdzēja burvestībās, varēja būt saindējušies ar melnajiem graudiem. Vēl 1951. gadā šāda masveida saslimšana notika Francijā, Pontsentespritā. Vairāk nekā 150 cilvēkiem novēroja histēriju, bet četri nomira.

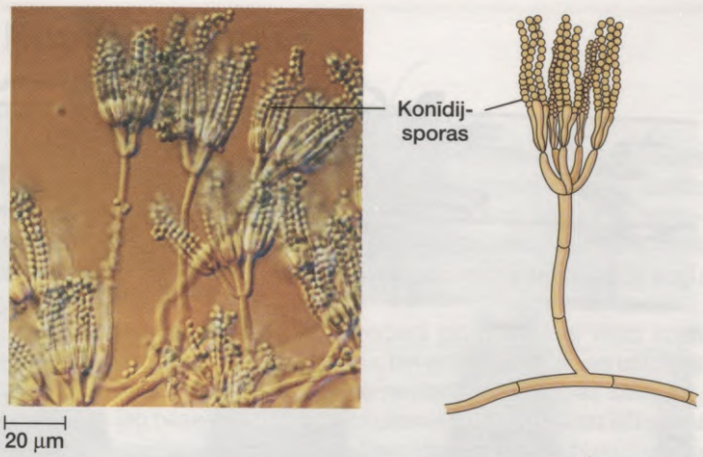
Tā kā alkoloīdi, kas izraisa saindēšanos (ergotismu), stimulē gludo muskulatūru un selektīvi bloķē simpātisko nervu sistēmu, tos var izmantot medicīnā, lai stimulētu dzemdes muskulatūras kontrakcijas un ārstētu noteiktas asinsrites saslimšanas un migrēnu. Lai gan melno graudu sēni var kultivēt petri platēs, nevienam vēl nav izdevies laboratorijā izaudzēt pašus melnos graudus. Līdz šim vienīgā iespēja, kā iegūt melnos graudus medicīnas vajadzībām, ir tos ievākt tīrumā no inficētiem rudziem.



14.A. attēls. Indīga cepurīssēne *(Amanita phalloides)*



14.B. attēls. Melnie graudi rudzu vārpā, ko izraisa *Claviceps purpurea*



14.8. attēls. Konīdijsporas
Askusēnes un nepilnīgi pazīstamās sēnes vairojas bezdzimumceļā, veidojot konīdijsporas noteiktu hifu galos. Attēlotais organisms ir nepilnīgi pazīstama pelējumsēne *Penicillium*.

Nepilnīgi pazīstamās sēnes vairojas tikai bezdzimumceļā

Nepilnīgi pazīstamās sēnes (nodalījums *Deuteromycota*; 25 000 sugu) vienmēr vairojas bezdzimumiski, veidojot konīdijsporas (14.8. att.). Šīs sēnes ir "nepilnīgi pazīstamas" tādā nozīmē, ka līdz šim nav novērota to dzimumvairošanās, bet, iespējams, tā vispār nepastāv. Nezinot dzimumstadiju, ir grūti sēni iedalīt kādā no diviem citiem nodalījumiem. Parasti pēc šūnu morfoloģijas un bioķīmijas tās var pieskaitīt askusēnēm, kuras ir zaudējušas spēju vairoties dzimumceļā. Tomēr nepilnīgi pazīstamajām sēnēm notiek gēnu rekombinācija. Hifas saplūst, un pēc hromosomu krosingovera veidojas haploīds kodols ar pārmainītu ģenētisko materiālu.

Dažas nepilnīgi pazīstamās sēnes ir noderīgas cilvēkam. Vairākas pelējumsēnes *(Penicillium)* ir avots antiobiotikas penicilīna ieguvei, bet citas sugas piešķir Rokforas vai Kamembēra sieram raksturīgo garšu un aromātu. Zilganās joslas zilajā sierā ir konīdijsporu grupas. Medikamentu ciklosporīnu, ko izmanto imūnsistēmas novājināšanai pēc orgānu transplantācijas operācijām, iegūst no augsnē sastopamas nepilnīgi pazīstamās sēnes. Citu pelējumu *(Aspergillus)*, tāpat kā vēl citas sēnes, izmanto sojas mērces iegūšanai, raudzējot sojas pupas. *Aspergillus* izmanto arī citronskābes un gallusskābes ražošanai, kuru izmanto kā piedevu dažādu izstrādājumu, piemēram, tintes un košļājamās gumijas ražošanā.

Diemžēl dažas nepilnīgi pazīstamās sēnes cilvēkiem rada saslimšanu. Noteiktas sporas kopā ar putekļiem izraisa elpošanas ceļu infekciju, bet pēdu mikozes un ēde izplatās tieša kontakta ceļā. *Candida albicans* ir raugam līdzīgs organisms, kas izsauc maksts infekcijas, īpaši sievietēm, kuras lieto pretapaugļošanās tabletes vai antibiotikas. Šis organisms izraisa arī kandidozo stomatītu, kā arī mutes un rīkles iekaisumu.

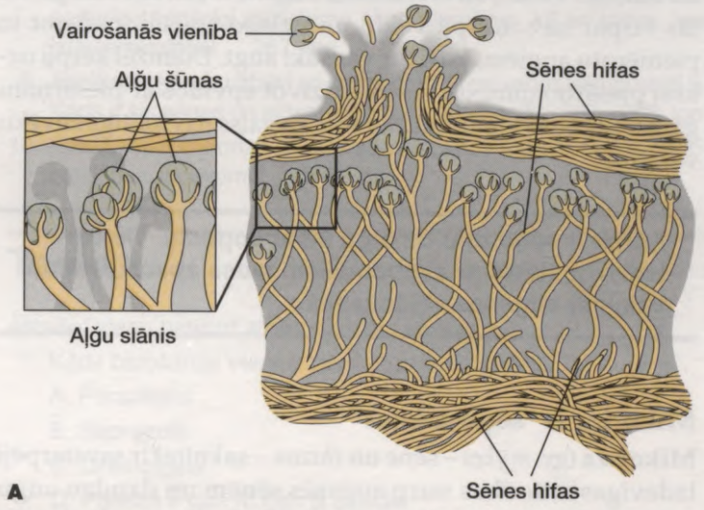
Nepilnīgi pazīstamās sēnes nevar iedalīt nevienā no citiem nodalījumiem, jo nav zināms to dzimumvairošanās veids.

14.3. Sēnes veido simbiotiskas attiecības

Mēs jau pieminējām gadījumus, kad sēnes ir augu un dzīvnieku parazīti. Interesanti ir arī divi citi gadījumi.

Ķērpji uzlabo augsnes apstākļus

Ķērpji ir sēnes un ciānbaktērijas (zilaļģes) vai zaļaļģes savienība. Ķērpja laponim raksturīgi trīs slāņi: sēne veido plānu un izturīgu augšējo slāni un irdenāku apakšējo slāni. Tie ietver vidējā slāņa fotosintezējošās šūnas (14.9. att.). Specializētas sēnes hifas, kas iespiežas fotosintezējošajās šūnās vai tās ietver, nogādā barības vielas pārējai sēņotnes daļai. Ķērpji var vairoties bezdzimumiski, nodaloties laponja gabaliņiem, kas satur hifas un aļģes šūnas.



A



B. Vairāki krevu ķērpji



C. Krūmu ķērpis *(Cladonia)*



D. Lapu ķērpis *(Xanthoparmelia)*

14.9. attēls. Ķērpju morfoloģija
A. Ķērpja šķērsgriezumā redzams, kā izvietotas aļģu šūnas un sēnes hifas, kas aptver aļģu šūnas un iespiežas tajās.
B. Krevu ķērpji ir kompakti.
C. Krūmu ķērpji ir līdzīgi krūmiem.
D. Lapu ķērpji ir līdzīgi lapām.

Agrāk uzskatīja, ka ķērpjos valda mutuālistiskas (abpusēji izdevīgas) attiecības, kurās sēne no aļģu šūnām saņem barības vielas, bet aļģe pasargā tās no izžūšanas. Patiesībā ķērpjos var būt ierobežota sēnes parazitēšana uz aļģu šūnām. No šādas savienības aļģēm var nebūt nekāda labuma. To pierāda eksperimenti, kuros sēnes un aļģes komponenti tiek atdalīti un audzēti atsevišķi. Aļģes aug ātrāk tad, kad tās ir vienas, nekā tad, kad tās ir ķērpja sastāvdaļa. Taču ir sarežģīti audzēt sēni, kura dabiskos apstākļos neaug viena. Ķērpju sugas klasificē pēc tajos esošās sēnes pazīmēm.

Ir trīs ķērpju grupas. Kompaktus krevu ķērpjus bieži var redzēt uz kailām klintīm vai koku mizas. Lapu ķērpji ir lapveida, bet krūmu ķērpji ir krūmveida (14.9. att.). Ķērpji efektīvi uzņem barības vielas, tāpēc tie var izdzīvot sausās un aukstās vietās, kā arī tur, kur augsne ir ļoti nabadzīga vai tās vispār nav. Ķērpji veido un uzlabo augsni, padarot to piemērotu augiem, kuri tur var sākt augt. Diemžēl ķērpji uzkrāj piesārņojumu un nevar izdzīvot apvidos ar piesārņotu gaisu. Tāpēc to klātbūtne norāda, ka gaiss nav kaitīgs cilvēku veselībai.

Ķērpji ir sēņu hifu un aļģu šūnu kopums. Tie var izdzīvot vietās ar ekstremāliem vides apstākļiem un veicināt augsnes veidošanos.

Mikoriza ir "sēņu saknes"

Mikoriza (gr. *mykes* – sēne un *rhizon* – saknīte) ir savstarpēji izdevīgas attiecības starp augsnes sēnēm un daudzu augu saknēm (14.10. att.; sk. arī 235. lpp.). Augi nabadzīgās augsnēs, īpaši, kur ir fosfātu deficīts, aug labāk tad, ja tiem ir mikoriza. Sēne var caururbt saknes miziņu, bet nevar iekļūt auga šūnu citoplazmā. Ektomikoriza veido apvalku, kas no ārpuses apņem sakni, un tā aug starp šūnapvalkiem.



14.10. attēls. Augu audzēšanas eksperiments
Soja *(Glycine)* bez mikorizas aug slikti salīdzinājumā ar diviem citiem augiem, kuri ir inficēti ar dažādiem mikorizas kloniem.

Endomikoriza iekļūst tikai šūnapvalkos. Jebkurā gadījumā sēnes klātbūtne augiem palielina minerālvielas uzsūcošo virsmu. Arī sēne gūst labumu no šādas savienības, saņemot no auga ogļhidrātus.

Ir interesanti uzzināt, ka gardēžu kārums trifele, kuras askokarps ir plūmei līdzīgs, ir mikorizas sēne, kas dzīvo savienībā ar ozolu un dižskābaržu saknēm. Agrāk franči izmantoja cūkas, kas saoda un izraka trifeles, bet tagad viņiem ir izdevies kultivēt trifeles, koku dēstu saknēm uzpotējot attiecīgo micēliju.

Pat vissenākajiem fosilajiem augiem ir konstatēta mikoriza. Iespējams, ka mikoriza palīdzēja augiem pielāgoties dzīvei uz sauszemes un plaši izplatīties.

Mikoriza (sēņu saknes) ir savstarpēji izdevīga kopdzīve starp sēni un augu saknēm, kas palīdz augiem uzņemt minerālvielas.

Pārskats

Ir skaidrs, ka sēnes veido patstāvīgu valsti. Līdzīgi dzīvniekiem, sēnes ir heterotrofas, bet tās nesagremo savu barību. Sēnes uzsūc (absorbē) barības vielas. Līdzīgi augiem, tām ir šūnapvalki, tomēr cietes vietā šūnapvalkus veido hitīns. Sēņu šūnas enerģiju uzkrāj glikogēna veidā, līdzīgi kā to dara dzīvnieki. Kādu laiku sēnes uzskatīja par augu valsts daļu, bet vēlāk tās iekļāva valstī *Protista*. Vitakers ierosināja nodalīt sēnes atsevišķā valstī, tāpēc ka tās ir daudzšūnu organismi ar atšķirīgu barošanās veidu.

Sugu daudzveidība valsts ietvaros ir ļoti liela. Dažas sēnes ir vienšūnas organismi (piemēram, raugi), dažas ir daudzšūnu parazīti (piemēram, tās, kas izraisa pēdu mikozes), savukārt citas veido mutuālistiskas attiecības ar citām sugām (piemēram, tās, kas veido ķērpjus). Tomēr lielākā daļa ir saprotrofiski noārdītāji, kam ir nozīmīga loma visās ekosistēmās. Noārdītāji darbojas kopā ar baktērijām, sadalot atkritumvielas un bojā gājušu augu un dzīvnieku atliekas, tā nodrošinot organisko vielu atkārtotu izmantošanu.

Sēnēm ir ne tikai daudzveidīgs dzīvesveids, bet arī daudzveidīga vairošanās, tāpēc tās ir plaši izplatītas. Bezdzimumvairošanās ar sporām, fragmentācija un pumpurošanās ir biežas parādības sēņu valstī. Dzimumvairošanās laikā parasti saplūst dažādu dzimumu pavedieni.

Sēnes ir dzīvojušas jau vismaz 570 miljonus gadu. Kāda ir bijusi to evolūcija? To precīzi neviens nezina. Iespējams, ka sugām, kas tagad iekļautas šajā valstī, nav kopēja senča, bet tās ir attīstījušās no dažādiem protistiem. Tāpat ir iespējams, ka sēnes ir radušās no sārtaļģēm, jo šo divu organismu grupu uzbūvē var saskatīt līdzīgas pazīmes.

Kopsavilkums

14.1. Kas ir sēnes?

Sēnes ir daudzšūnu eikarioti, kas barojas heterotrofiski, absorbējot barības vielas. Pēc sagremošanas ārpus organisma tās uzsūc izveidojušās barības vielu molekulas. Lielākā daļa sēņu ir saprotrofiskas noārdītājas, kas nodrošina vielu riņķojumu ekosistēmās. Dažas sēnes ir parazīti, īpaši uz augiem, savukārt citām ir simbioze ar augu saknēm un aļģēm.

Sēņu ķermeni veido tievi pavedieni jeb hifas, kas visas kopā rada micēliju. Šūnapvalks satur hitīnu, bet enerģijas rezerves uzkrājas glikogēna veidā. Sēnēm nav viciņu nevienā no attīstības stadijām. Vienšūnas jeb bezseptu hifām nav šķērssienu. Daudzšūnu jeb septu hifām ir šķērssienas, kurās ir poras. Caur tām savienojas blakus esošo šūnu citoplazma un pārvietojas pat organoīdi.

Sēnēm gan dzimumvairošanās, gan bezdzimumvairošanās laikā veidojas nekustīgas sporas, ko parasti iznēsā vējš. Atkarībā no sēņu veida dzimumvairošanās laikā dažādu dzimumu hifas var saplūst, veidojot dikarionu (n + n) hifas. Dzimumvairošanās ceļā radušos sporu attīstības procesā pēc kodolu saplūšanas notiek zigotiskā mejoze.

14.2. Sēņu klasifikācija

Ir četri sēņu nodalījumi: zigomicētes (*Zygomycota*), askusēnes (*Ascomycota*), bazīdijsēnes (*Basidiomycota*) un nepilnīgi pazīstamās sēnes (*Deuteromycota*).

Zigomicētes ir vienšūnas jeb bezseptu sēnes, un dzimumvairošanās laikā tām ir miera periods, kurā veidojas biezsienu zigospora. Kad zigospora dīgst, sporangijos veidojas sporas, kuras pārnēsā vējš. Bezdzimumvairošanās notiek tad, kad sēnēm ir daudz barības vielu un sporangijos atkal veidojas sporas.

Askusēnes ir daudzšūnu jeb septu sēnes, kam dzimumvairošanās laikā maisveida šūnas jeb aski veido sporas. Aski atrodas augļķermeņos, ko sauc par askokarpiem. Biežāk notiek bezdzimumvairošanās, kuras slaikā veidojas konīdijsporas.

Bazīdijsēnes ir daudzšūnu jeb septu sēnes. Dzimumvairošanās laikā sporas veido vālei līdzīgas struktūras jeb bazīdijas. Tās atrodas augļķermeņos, ko sauc par bazīdijkarpiem. Bazīdijsēnēm ir ilgstoša dikariona stadija un bezdzimumvairošanās ar konīdijsporām notiek reti. Dikarionu micēlijs periodiski veido augļķermeņus.

Nepilnīgi pazīstamās sēnes vienmēr vairojas bezdzimumiski ar konīdijsporām. Tām nav novērota dzimumvairošanās, tāpēc tās netiek iekļautas nevienā no citiem nodalījumiem. Dažām nepilnīgi pazīstamajām sēnēm ir nozīme cilvēku dzīvē, piemēram, no penicīlija *(Penicillium)* iegūst penicilīnu, bet *Candida* izraisa infekcijas – kandidozes.

14.3. Sēnes veido simbiotiskas attiecības

Ķērpis ir sēnes un ciānbaktērijas vai zaļaļģes koporganisms. Tradicionāli šo savienību uzskatīja par savstarpēji izdevīgu, tomēr eksperimenti liecina, ka sēnes nedaudz parazitē uz aļģes. Ķērpji var dzīvot ekstremālos vides apstākļos – pat uz kailām klintīm. Tie ļauj ieviesties citiem organismiem, kas veido augsni. Ķērpjiem ir liela nozīme sākotnējo pirmējo dzīvo organismu sabiedrību nomaiņā.

Termins "mikoriza" norāda uz augu sakņu un sēņu kopdzīvi. Sēne palīdz augam uzsūkt minerālvielas, bet augs apgādā sēni ar ogļhidrātiem.

Kopsavilkums

1. Kādas pazīmes vislabāk raksturo sēnes? Raksturojiet sēnes ķermeni un tās vairošanās veidus! 258.–259. lpp.
2. Kas ir sēņu klasifikācijas pamatā? 260. lpp.
3. Izskaidrojiet terminu "zigomicētes"! Kā galvainais pelējums vairojas bezdzimumiski? Kā tas vairojas dzimumiski? 260.–261. lpp.
4. Izskaidrojiet terminu "askusēnes"! Kā askusēnes vairojas bezdzimumiski? Kāda ir askokarpa uzbūve? 263. lpp.
5. Raksturojiet rauga sēņu uzbūvi un paskaidrojiet, kā tās vairojas! Kāda nozīme raugiem ir cilvēka dzīvē? 263. lpp.
6. Paskaidrojiet terminu "bazīdijsēnes"! Uzzīmējiet un izskaidrojiet tipiskas cepurīssēnes attīstības cikla diagrammu! 264.–265. lpp.
7. Kāda ir melnplaukas un rūsas sēņu saimnieciskā nozīme? Kā var kontrolēt to izplatību? 265. lpp.
8. Izskaidrojiet terminu "nepilnīgi pazīstamās sēnes"! Miniet cilvēkam noderīgu nepilnīgi pazīstamo sēņu piemērus, kā arī tādas, kas izraisa slimības! 267. lpp.
9. Aprakstiet ķērpju uzbūvi un nosauciet trīs galvenos ķērpju veidus! Kāds ir šīs sēnes un aļģes kopdzīves raksturs? 267.–268. lpp.
10. Raksturojiet mikorizu un izskaidrojiet, kāds katram no tās dalībniekiem ir ieguvums! 268. lpp.

Tests

Atrodiet vienu pareizo atbildi uz katru jautājumu!

1. Kāds barošanās veids ir raksturīgs noārdītājam?
   A. Parazītisks
   B. Saprotrofs
   C. Gremošana
   D. Pareiza ir gan A, gan B atbilde
2. Kura pazīme vislabāk raksturo hifu?
   A. Stingras, necaurlaidīgas sieniņas
   B. Ātra augšana
   C. Liels virsmas laukums
   D. Pareiza ir gan A, gan B atbilde
3. Kurš apgalvojums par sporu ir pareizs?
   A. Satur organisma dīgli
   B. Dīgst tieši organismā
   C. To vienmēr iznēsā vējš
   D. Pareiza ir gan A, gan B atbilde
4. Kas ir sēņu taksonomijas pamatā?
   A. Dzimumvairošanās struktūras
   B. Sporokarpu veids
   C. Barošanās veids
   D. Šūnapvalka veids
5. Kurš apgalvojums par galvainā pelējuma dzīves cikla zigosporu ir pareizs?
   A. Mejotiski dalās un veido zoosporas
   B. Veido sporas kā bezdzimumvairošanās sastāvdaļu
   C. Miera stadija ar biezu apvalku
   D. Ir asku un bazīdiju ekvivalents
6. Kurš apgalvojums par askokarpu ir pareizs?

A. Tam ir auglīgas un neauglīgas hifas
B. Hifas saplūst, veidojot dikariono stadiju
C. Spermatozoīds apaugļo olšūnu
D. Hifām nav hitīna šūnapvalku

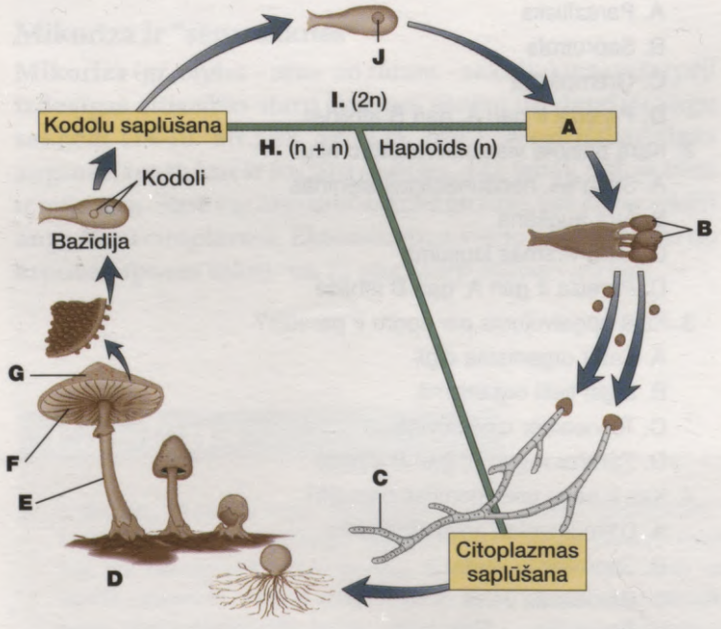
7. Kurām sēnēm visilgākā ir dikariona stadija?
A. Zigomicētēm
B. Nepilnīgi pazīstamajām sēnēm
C. Askusēnēm
D. Bazīdijsēnēm

8. Kurš apgalvojums par konīdijsporu veidošanos ir pareizs?
A. Tā notiek sporangijos
B. Tā notiek dzimumvairošanās procesā
C. Tā veidojas visiem sēņu tipiem
D. Tās veidojas, kad barības vielu nav pietiekamā daudzumā

9. Kāpēc nepilnīgi pazīstamās sēnes tā sauc?
A. Tām nav zoosporu
B. Tās izraisa slimības
C. Tās veido konīdijsporas
D. Tām nav novērota dzimumvairošanās

10. Kurš apgalvojums par ķērpjiem ir pareizs?
A. Nevairojas
B. Lai tie izdzīvotu, vajadzīgs slāpekļa avots
C. Parazitē uz kokiem
D. Var izdzīvot ekstremālos vides apstākļos

11. Paskaidrojiet, kas ir apzīmēts ar burtiem A–J sēnes dzīves cikla diagrammā!



Papildjautājumi

1. *Organismi ir piemērojušies noteiktam dzīvesveidam.*
Kā sēņu uzbūve un vairošanās stratēģijas atbilst to dzīvesveidam?

2. *Dzīvās būtnes ir daudzveidīgas.*
Visām sēnēm ir līdzīgs barošanās veids. Ar ko tās ir atšķirīgas?

3. *Klasifikācijas sistēmas ne vienmēr atspoguļo evolucionāro radniecību.*
Ar kādām grūtībām jāsaskaras, zīmējot sēņu filoģenētisko koku?

Multimediju izmantošana

Tēmu par sēnēm apgūt jums palīdzēs šādi multimediji.

Interneta izmantošana
Šo nodaļu jums apgūt palīdzēs Maderas mājas lapa
http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader
(izvēlieties bioloģiju)

Jēdzienu izpratne

Asks 263. lpp.	Micēlijs 258. lpp.
Augļķermenis 263. lpp.	Mikoriza 268. lpp.
Bazīdija 265. lpp.	Pumpurošanās 259. lpp.
Bezseptas 259. lpp.	Sēne 268. lpp.
Dikarions 259. lpp.	Septas 259. lpp.
Hifa 258. lpp.	Spora 259. lpp.
Konīdijspora 263. lpp.	Sporangijs 260. lpp.
Ķērpis 267. lpp.	Zigospora 260. lpp.

Atrodiet definīcijām atbilstošos jēdzienus!

A. _____ – zinātne par organismu ģeogrāfisko izplatību.

A. _____ – kapsula, kas veido sporangijsporas.

B. _____ – vālesveida struktūra, kurā bazīdijsēņu dzimumvairošanās procesa laikā noris kodolu saplūšana un mejoze.

C. _____ – sēnes veģetatīvā ķermeņa pavediens.

D. _____ – sēnes veģetatīvo ķermeni veidojošo hifu pavedienu pinums.

E. _____ – saprotrofs sadalītājs; ķermeni veido pavedieni, ko sauc par hifām. Tās veido pinumu, ko sauc par micēliju.

F. _____ – spora, ko askusēnes un bazīdijsēnes veido bezdzimumvairošanās procesā.

G. _____ – askusēņu un bazīdijsēņu struktūra, kas veido un izplata sporas.

H. _____ – simbiotiskas attiecības starp noteiktām sēnēm un aļģēm, kurās sēne, iespējams, apgādā aļģes ar ūdeni un minerālvielām, bet aļģes piegādā organiskās barības vielas.

I. _____ – simbiotiskas attiecības starp sēņu hifām un vaskulāro augu saknēm. Sēnes palīdz augam uzņem vairāk minerālelementu jonu un saņem ogļhidrātus no auga.

Augi

15. NODAĻA

Nodaļas saturs

15.1. Kas ir augs?

- Augs ir fotosintezējošs organisms, kas piemērojies dzīvei uz sauszemes. Visiem augiem dzīves cikla laikā ir raksturīga paaudžu maiņa. 272. lpp.
- Augus iedala grupās, vadoties pēc vaskulāro audu (vadaudu) esamības tajos un augu vairošanās veida. 273. lpp.

15.2. Augi bez vadaudiem ir daudzveidīgi

- Augus, kuriem nav vadaudu (aknu sūnas un lapu sūnas), sauc par briofītiem. Tie ir augumā nelieli. Briofītiem gametofīts (haploīdā dzimumpaaudze) ir dominējošā, un sugas izplatās ar vēja nestu sporu palīdzību. 273. lpp.

15.3. Vaskulārie augi – sporaugi un sēklaugi

- Vaskulārajiem augiem dominē sporofīts (diploīdā paaudze). Tiem ir vadaudi. 276. lpp.
- Vaskulārie sporaugi izplatās ar vēja nestu sporu palīdzību, bet sēklaugi izplatās ar sēklām. 274. lpp.

15.4. Papardes un tām radniecīgie augi ir vaskulārie sporaugi

- Vaskulārie sporaugi karbona periodā bija ļoti plaši izplatīti un daudz lielāki. 277. lpp.
- Paparžu sporofīts ir labi pamanāms augs ar lielām raksturīgām lapām, uz kurām attīstās vieglas sporas, ko izplata vējš. Gametofīts ir sirdsveida struktūra, kurai veidojas vicaini spermatozoīdi. 280. lpp.

15.5. Kailsēkļiem ir kailas sēklas

- Ir četras kailsēkļu grupas. Vispazīstamākie ir skujkoki, bet mazāk zināmas ir cikadejas, ginki un efedras. 282. lpp.
- Skujkoku sporofīts parasti ir koks ar čiekuriem (piemēram, priede). Vīrišķajos sastatos (čiekuros) veidojas putekšņi (vīrišķais gametofīts), kurus vējš pārnes uz sievišķajiem sastatiem, kur veidojas sēklas, ko arī izplata vējš. 282. lpp.

15.6. Segsēkļu sēklas ir auglī

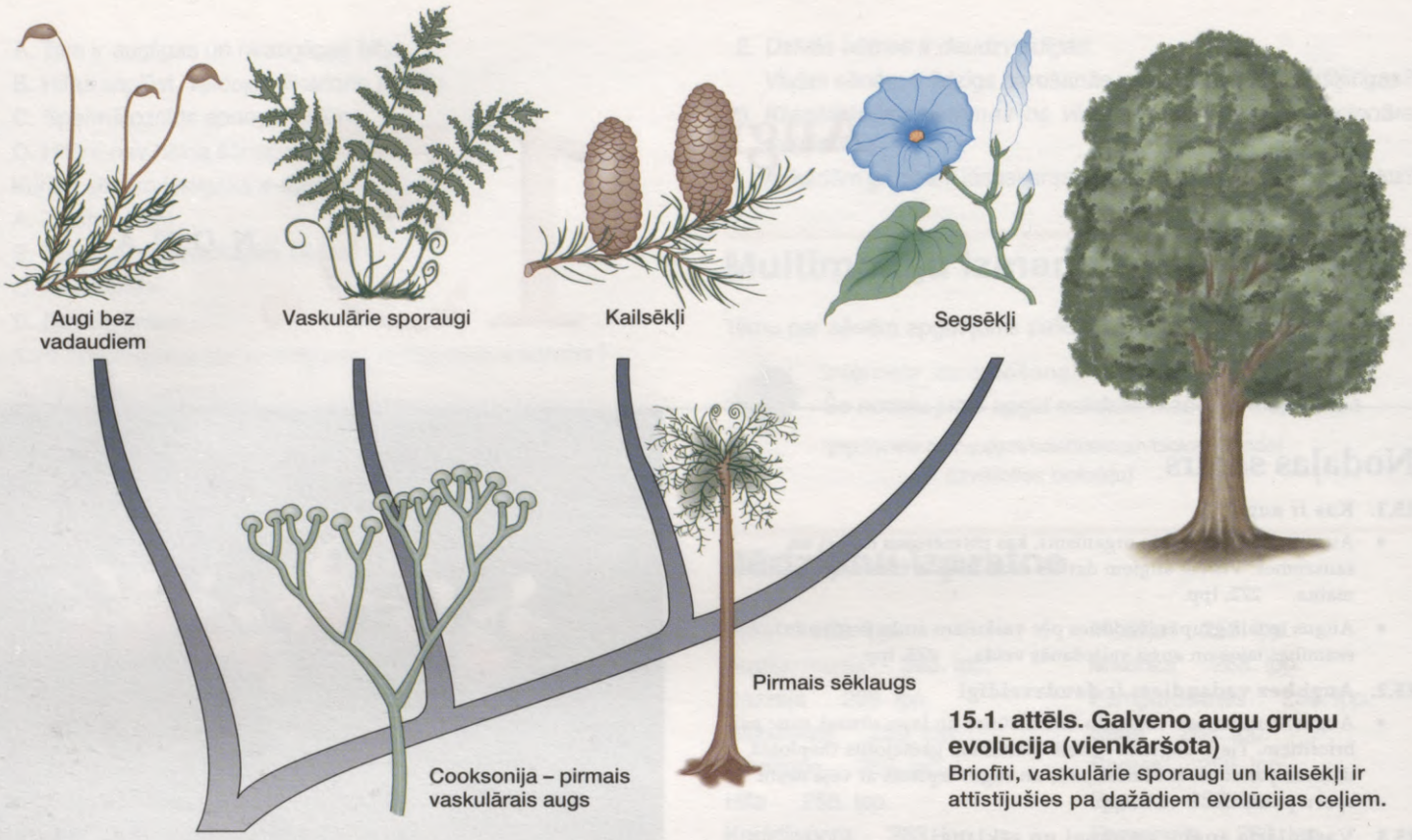
- Segsēkļi ir ļoti daudzveidīgie ziedaugi, kas var būt atkarīgi no dzīvniekiem – apputeksnētājiem, kri pārnes putekšņus no viena zieda uz citu. Sēklas ir iekļautas auglī, kas parasti piedalās sēklu izplatīšanā. 289. lpp.



Starp citiem augiem kādā Minesotas purvā aug arī dzegužkurpīte *(Cypripedium reginae)*.

Sastopamos biomus raksturo pēc to veģetācijas, piemēram, lietusmeži, mērenās joslas lapkoku meži un pļavas, jo augi ir dominējošie organismi ainavā. Augi ir pirmie sauszemes apdzīvotāji un galvenie producenti uz tās. Dzīvnieki nevar dzīvot uz sauszemes bez augiem, kas tos uztur. Augi uzkrāj enerģiju cietes veidā un ir pamatā lielākajai daļai ekoloģisko piramīdu, arī tām, no kurām ir atkarīga zemeslodes cilvēku populācija. Augi no gaisa uzņem oglekļa dioksīdu un piegādā skābekli, kas organismiem nepieciešams aerobajai elpošanai.

Augu valsti veido vairāk nekā 250 000 sugu, starp kurām ir arī zemeslodes lielākās sugas. Daži ozoli un sekvojas paceļas simts pēdu augstumā un sver tūkstošiem mārciņu. Vaskulārajiem augiem ir iekšējie audi, kas absorbē un vada ūdeni, organiskās vielas un minerālvielas uz visām tā daļām. Sēklaugu vairošanās nav atkarīga no ūdens vides. Ziedaugiem ir izveidojušās unikālas savstarpēji izdevīgas attiecības ar dzīvniekiem, kas pārnes putekšņus no viena zieda uz citu.



15.1. attēls. Galveno augu grupu evolūcija (vienkāršota)
Briofīti, vaskulārie sporaugi un kailsēkļi ir attīstījušies pa dažādiem evolūcijas ceļiem.

15.1. Kas ir augs?

Augi (valsts *Plantae)* ir daudzšūnu eikarioti ar labi attīstītiem audiem (15.1. att.). Augi ir autotrofi fotosintezējoši organismi un aug visdažādākajos vides apstākļos uz sauszemes, sākot no meža valgmes līdz tuksneša sausumam un tundras sasalumam. Dzīve uz sauszemes rada augiem vairākas priekšrocības. Viena priekšrocība ir fotosintēzei nepieciešamās gaismas pārpilnība. Ūdens, pat ja tas ir tīrs, aiztur gaismu. Arī oglekļa dioksīds un skābeklis ir pieejams lielā koncentrācijā un izplatās gaisā daudz labāk nekā ūdenī.

Dzīvojot uz sauszemes, ir nepieciešami pielāgojumi, lai izvairītos no pastāvīgajiem izžūšanas draudiem (nokalšanas). Lielākā daļa augu var uzņemt ūdeni no substrāta ar saknēm. Lai šo ūdeni saglabātu, lapas un stublāji ir klāti ar ūdensnecaurlaidīgu **kutikulu**. Lapas virsmā ir poras, kas var atvērties un aizvērties, lai regulētu gāzu apmaiņu un ūdens zudumu. Daļai augu ir vadaudu sistēma, kas transportē ūdeni augšup uz lapām un organiskās vielas – lejup no tām. Šī sistēma rada kokiem stingru iekšējo skeletu, kas darbojas pret gravitācijas spēku un paceļ lapas pret sauli. Visi augi aizsargā dīgli no izžūšanas, bet daži aizsargā visu tā dzimumpaaudzi – gametofītu. Šiem augiem spermijus saturošie putekšņi ar vēja vai dzīvnieku palīdzību tiek pārnesti uz olšūnu, no kuras attīstās dīglis un sēkla.

Augi ir pielāgojušies dzīvei uz sauszemes, tāpēc spēj tur dzīvot un vairoties.

KLASIFIKĀCIJA

Valsts. Augi. (*Plantae*)

Daudzšūņi; primāri sauszemes eikarioti ar labi attīstītiem audiem; autotrofi fotosintezētāji; dzīves cikls ar paaudžu maiņu. Līdzīgi zaļaļģēm, augos ir hlorofils *a* un *b*, kā arī karotinoīdi; hloroplastos uzkrājas ciete; šūnapvalks satur celulozi.

Sporaugi bez vadaudiem

Nodalījums. Aknu sūnas (*Hepatophyta*)

Nodalījums. Lapu sūnas (*Bryophyta*)

Nodalījums. Ragvācelītes (*Anthoceratophyta*)

Vaskulārie sporaugi*

Nodalījums. Psilofīti (*Psilotophyta*)

Nodalījums. Staipekņi (*Lycopodophyta*)

Nodalījums. Kosas (*Equisetophyta*)

Nodalījums. Papardes (*Pteridophyta*)

Vaskulārie sēklaugi*

Kailsēkļi*

Nodalījums. Skujkoki (*Pinophyta*)

Nodalījums. Cikadejas (*Cycadophyta*)

Nodalījums. Ginki (*Ginkophyta*)

Nodalījums. Gneti (*Gnetophyta*)

Segsēkļi*

Nodalījums. Ziedaugi (*Magnoliophyta*)

Klase. Divdīgļlapji (*Magniolyopsida*)

Klase. Viendīgļlapji (*Liliopsida*)

* Nav iekļauts organismu klasifikācijā, bet šeit minēts lielākas skaidrības labad.

Tiek uzskatīts, ka augi ir tuvu radniecīgi zaļaļģēm, jo šīm divām grupām ir vairākas kopīgas pazīmes. Abām fotosintēzē piedalās vieni un tie paši pigmenti: hlorofils *a* un *b*, kā arī karotinoīdi. Primārā rezerves barības viela ir ciete, kas uzkrājas hloroplastos. Šūnapvalki satur celulozi, un abas organismu grupas šūnu dalīšanās laikā veido šūnas plātnīti.

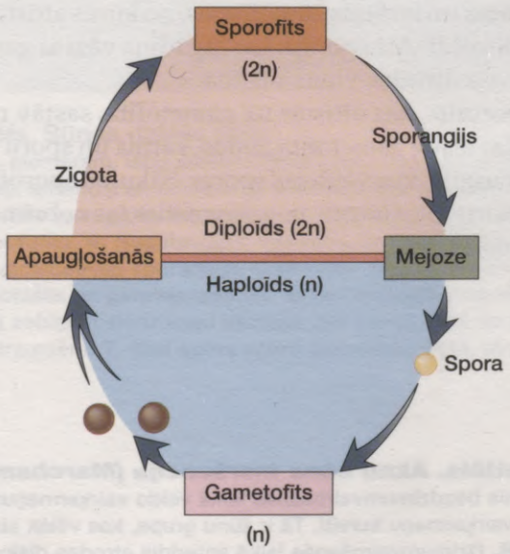
Kāpēc daudzšūnu zaļaļģes, kas ir līdzīgas, piemēram, ģints *Ulva* sugām, netiek uzskatītas par augiem? Atšķirībā no zaļaļģēm augiem ir daudzšūnu *gametangiji* (dzimumvairošanās orgāni) un sporangiji, kuros vairāki somatisko šūnu slāņi aizsargā dzimumšūnas. Arī zigota un pēc tam dīglis tiek aizsargāts auga iekšienē. Aļģēm ir ārējā apaugļošanās, un to dīglis nav pasargāts no apkārtējās vides ietekmes.

Augiem un dažām aļģēm dzīves cikla laikā sporas mejotiski dalās, un tām ir paaudžu maiņa ar divām paaudzēm (15.3. att.).

1. **Sporofīts** (gr. spora – sēkla un phyton – augs) ir diploīdā paaudze, kas mejozē veido haploīdas sporas. No sporas attīstās haploīdā paaudze.
2. **Gametofīts** (gr. gamete – sieva un gametes – vīrs; phyton – augs) ir haploīdā paaudze, kas veido gametas, kuras saplūst, veidojot diploīdu zigotu.

Abas paaudzes ir atšķirīgas, un viena no tām dominē pār otru. Dominējošā paaudze ir lielāka un dzīvo ilgāku laiku. Bez tam augi ir oogāmi; to gametas ir spermatozoīdi vai spermiji un olšūnas. Augiem raksturīgās pazīmes ir uzskaitītas 15.1. tabulā.

Augiem atšķirībā no zaļaļģēm dīglis ir aizsargāts no izžūšanas. Dzīves ciklā ar paaudžu maiņu viena paaudze ir dominējošā.



15.2. attēls. Paaudžu maiņa

15.2. Augi bez vadaudiem ir daudzveidīgi

Pašlaik augus iedala divās galvenajās grupās: vaskulārajos augos un augos bez vadaudiem. Ir trīs augu grupas, kurām **nav vadaudu**: **ragvācelītes** (nodalījums *Anthoceratophyta*), **aknu sūnas** (nodalījums *Hepatophyta*) un **lapu sūnas** (nodalījums *Bryophyta*).

Augiem, kuriem nav vadaudu, nav specializētu veidojumu ūdens un organisko vielu pārvietošanai, kādi ir vaskulārajiem augiem. Tiem bieži ir lapai līdzīga ārējā uzbūve (laponis). Šiem augiem nav īstu sakņu, stublāju un lapu, jo tiem saskaņā ar definīciju jābūt veidotiem no īstiem vaskulārajiem audiem. Tādējādi augiem bez vadaudiem ir saknēm, stublājiem vai lapām līdzīgas struktūras.

Augiem bez vadaudiem dominējošā paaudze ir gametofīts – tā paaudze, kuru parasti pazīst kā pašu augu. Vicains spermatozoīds peld netālu no olšūnas plānā ūdens slānītī. Kad izveidojas sporofīts, tas ir saistīts ar fotosintezējošo gametofītu. Sporofīts no gametofīta uzņem nepieciešamās barības vielas.

Augi bez vadaudiem ir samērā sīki: to garums nepārsniedz 20 cm. Šī pazīme ir izskaidrojama ar to, ka šie augi nav pielāgojušies ūdens transportēšanai lielākā augstumā. Briofītus visbiežāk atrod mitrās augtenēs, tāpēc ka dzimumvairošanās notiek ar vicainu spermatozoīdu palīdzību. Tomēr sūnas veiksmīgi izdzīvo arī nelabvēlīgos vides apstākļos, jo gametofīts var vairoties bezdzimumiski, nodrošinot augu izplatīšanos mainīga mitruma un pat sausās augtenēs. Sūnas var izžūt un vēlāk, kad ūdens ir pietiekamā daudzumā, sākt fotosintēzi no jauna.

Nav zināms, cik tuva radniecība pastāv starp dažādām to augu grupām, kuriem nav vadaudu. Pašlaik pastāv uzskats, ka šiem augiem ir katram sava attīstības līnija, tāpēc šajā grāmatā briofīti ir iedalīti trīs nodalījumos. Dažām lapu sūnām ir vadaudu aizmetņi, tāpēc lapu sūnas uzskata par tuvākiem vaskulāro augu radiniekiem nekā aknu sūnas un ragvācelītes. Turpmāk tiks aplūkotas aknu sūnas un lapu sūnas – vispazīstamākie augi bez vadaudiem.

Augiem, kuriem nav vadaudu, dominējošā paaudze – gametofīts – ir atkarīgs no ūdens, jo tiem ir ūdens pārvades grūtības un veidojas vicains spermijs.

15.1. tabula

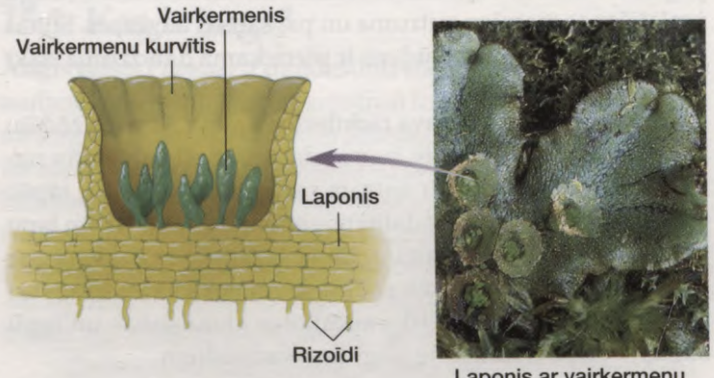
Augu pazīmes

1. Tie ir daudzšūnu; to šūnas ir specializējušās un veido audus un orgānus.
2. Tie satur hlorofilu *a* un *b*, kā arī karotinoīdus; rezerves barības vielas uzkrāj cietes veidā; to šūnapvalkos ir celuloze.
3. Tiem ir gametangiji (dzimumvairošanās orgāni), kuru ārējo slāni veido somatiskās šūnas, kas pasargā jaunās gametas no izžūšanas.
4. To dīglis atrodas sievišķajās vairošanās struktūrās un tiek apgādāts ar ūdeni un barības vielām un līdz ar to arī pasargāts no izžūšanas.
5. Dzīves ciklā ir paaudžu maiņa.

Aknu sūnas ir augi bez vadaudiem

Visām **aknu sūnām** (nodalījums *Hepatophyta*; 10 000 sugu) ir plakans laponis. Tās aknu sūnas, kuru laponis ir daivains, ir labāk pazīstamas nekā tās, kuru laponis sastāv no "lapām". Nosaukums "aknu sūnas" radās devītajā gadsimtā, jo cilvēkiem šķita, ka augam ir aknām līdzīgas daivas. Pastāvēja tā arī nekad nepierādīts uzskats, ka tāpēc šos augus var izmantot aknu slimību ārstēšanā.

Vispazīstamākais šīs grupas augs ir maršancija *(Marchantia)* (15.3. att.). Katra lapoņa daiva ir tikai kādu centimetru gara. Auga augšpuse ir gluda, bet uz apakšējās virsmas ir neskaitāmi rizoīdi (gr. *rhizion* – kājiņa) jeb saknēm līdzīgi matiņi, kas iestiepjas augsnē. Maršancijas vairojas gan bezdzimumiski, gan dzimumiski. Vairķermeņi atrodas vairķermeņu kurvīšos lapoņa augšpusē. Tos veido šūnu grupas, kuras atraisās no lapoņa un rada jaunus augus. Vīrišķie dzimumvairošanās orgāni ir novietoti uz īpašiem izaugumiem ar diskveida galviņām, kurās atrodas **anterīdiji** (gr. *anthos* – zieds un *idion* – mazs). Tie veido vicainus spermatozoīdus. Sievišķie dzimumvairošanās orgāni ir lietussargam līdzīgas galviņas, kurās atrodas **arhegoniji** (gr. *arche* – pirmais un *gone* – sēkla), kas veido olšūnas. Pēc apaugļošanās veidojas ļoti sīks, ne vairāk kā dažus milimetrus garš sporofīts, kas sastāv no piesūcekņa, īsa kātiņa un sporu vācelītes. Tajā veidojas sporas, ko iznēsā vējš.



A. Vairķermeņu kurvītis

Laponis ar vairķermeņu kurvīšiem



B. Izaugumi ar anterīdijiem



Izaugumi ar arhegonijiem

Lapu sūnas ir augi bez vadaudiem

Lapu sūnu (nodalījums *Bryophyta*; 12 000 sugu) ķermenis parasti ir lapains dzinums. Dažas lapu sūnas ir sekundāri saplacinātas. Lapu sūnas var atrast no Arktikas līdz pat dažām Antarktīdas daļām, kā arī tropos. Vairums lapu sūnu vislabāk aug slapjās, ēnainās vietās mērenajā joslā, dažas var izdzīvot tuksnešos, bet citas aug purvos un upēs. Mežos bieži tās veido paklāju, kas nosedz zemi un trūdošus stumbrus. Lapu sūnas savās šūnās var uzkrāt daudz ūdens, bet ilgstošā sausumā tās atrodas miera stāvoklī. Tad viss augs sačokurojas, nobrūnē un izskatās pilnīgi nokaltis. Tūdaļ pēc lietus tas atkal kļūst zaļš un atsāk aktīvu vielmaiņu.

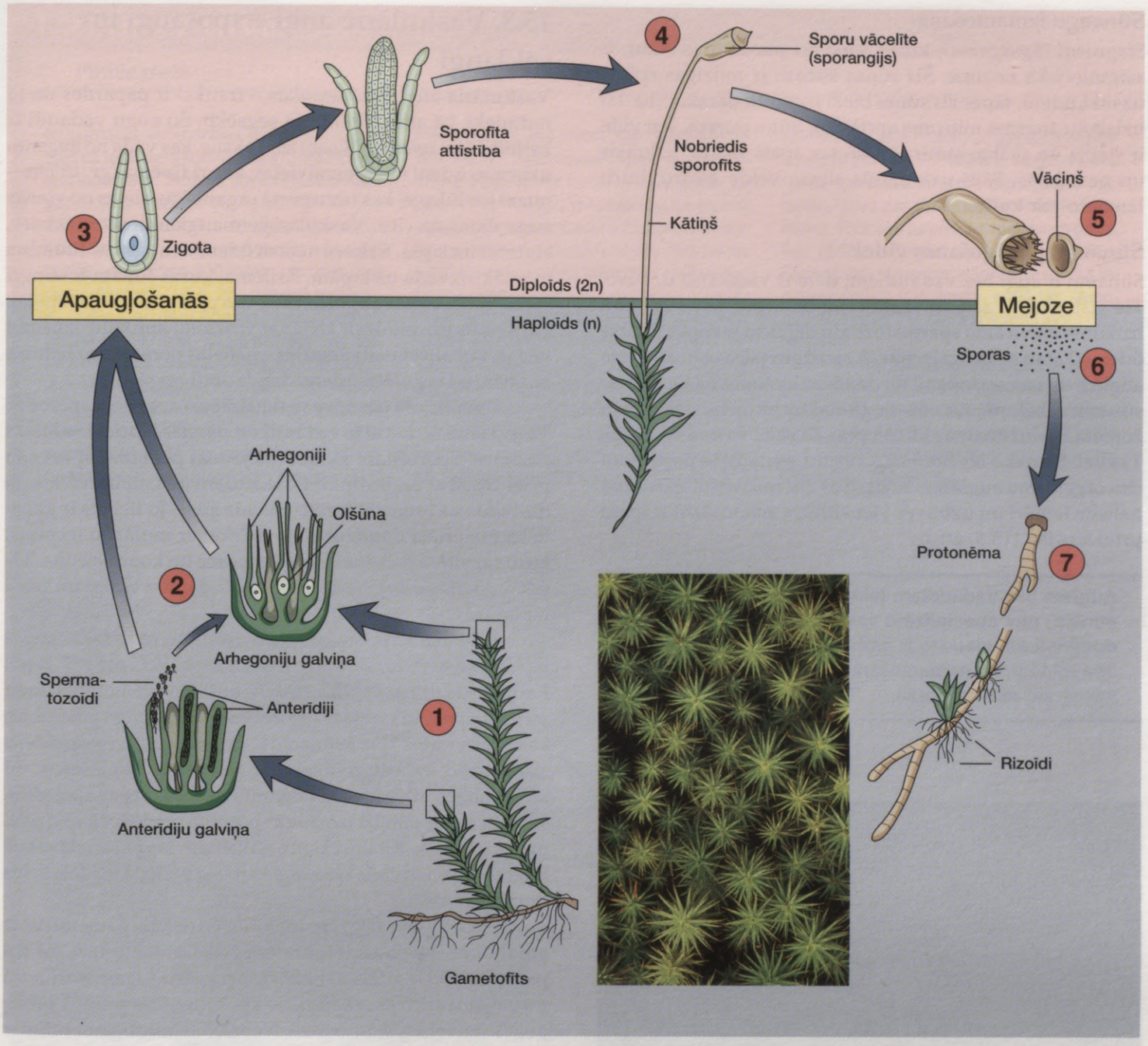
Dažas lapu sūnas ir piemērojušās neparastiem apstākļiem. Tā sauktās vara sūnas aug tikai to vietu apkaimē, kur atrodams varš, tāpēc tās var izmantot par vara nogulumu indikatoriem. Spulgsūnas, kas spīd ar zeltaini zaļu gaismu, aug alās zem koku saknēm un citās vāji apgaismotās vietās. To šūnas ir līdzīgas mazām lēcām un fokusē visniecīgāko gaismas daudzumu uz hloroplastu graudiņiem.

Dažkārt augu sugu tautas nosaukumi ir nepareizi, jo norāda uz augu piederību pie pavisam citas grupas. Augs, ko angļi sauc par īru sūnu, patiesībā ir ēdama aļģe, kas ādainu pušķu veidā aug ziemeļu jūru krastos. Mēs arī bieži briežu ķērpi nepareizi saucam par briežsūnu, bet kladonijas – par balto sūnu. Staipekņus, kas tiks apskatīti šīs nodaļas turpinājumā, angliski sauc par vāles sūnām *(Club moss)*, bet patiesībā tie ir vaskulārie augi.

Lielākā daļa sūnu var vairoties bezdzimumiski, laponim fragmentējoties. Gandrīz jebkura auga daļa ir spējīga augt un veidot lapainus dzinumus. 15.4. un 15.B. attēlā (sk. 287. lpp.) ir parādīts tipiskas mērenās joslas sūnas dzīves cikls. Sūnu gametofītam ir divas stadijas. Pirmā ir aļģei līdzīga **protonēma** – zarots šūnu pavediens. Labvēlīgos augšanas apstākļos apmēram pēc trim dienām ar noteiktiem atstatumiem uz protonēmas parādās stāvi, lapaini dzinumi. Rizoīdi nostiprina šos dzinumus, uz kuriem atrodas anterīdiji un arhegoniji. Anterīdijs sastāv no īsa kātiņa, ārējās neauglīgu šūnu kārtas un iekšējās šūnu masas, no kuras attīstās vicaini spermatozoīdi. Arhegonijā, kas atgādina vāzi ar garu kaklu, pie pamata atrodas viena olšūna.

Sporofīts, kas attīstās uz gametofīta, sastāv no piesūcekņa, kas ieaug gametofīta audos, kātiņa un sporu vācelītes vai **sporangija**, kur veidojas sporas. Sākumā sporofīts ir zaļš un tajā noris fotosintēze; nogatavojoties tas nobrūnē un pārtrauc fotosintēzi.

15.3. attēls. Aknu sūna maršancija *(Marchantia)*
A. Laponis bezdzimumvairošanās laikā veido vairķermeņus, kas atrodas vairķermeņu kurvītī. Tā ir šūnu grupa, kas vēlāk atraisās no lapoņa. **B.** Dzimumvairošanās laikā anterīdiji atrodas diskveida struktūrās, bet arhegoniji – lietussargam līdzīgās struktūrās.



15.4. attēls. Sūnas dzīves cikls
Briofītiem, piemēram, lapu sūnām, dominējošā paaudze ir gametofīts. **1.** Uz atsevišķiem lapainajiem dzinumiem atrodas vīrišķie un sievišķie gametangiji: anterīdiji un arhegoniji. **2.** Anterīdijos veidojas vicaini spermatozoīdi, kas, peldot ūdenī, nokļūst pie arhegonija, kurā atrodas viena olšūna. **3.** Pēc apaugļošanās arhegonijs nodrošina dīgļa attīstību. Dažām sūnu sugām no arhegonija attīstās kapucveida cepurīte, kas sedz augošo sporofītu. **4.** Nogatavojies sporofīts, kas aug gametofīta dzinuma galā, sastāv no piesūcekņa, kas ieaug gametofīta audos, no kātiņa un sporu vācelītes jeb sporangija, kurā noris mejoze un veidojas sporas. **5.** Kad cepurīte un sporu vācelītes vāciņš *(operculum)* nokrīt, sporas ir nogatavojušās un gatavas izsēties. Sporu izbārstīšanos regulē viens vai divi "zobiņu" gredzeni, kas atrodas sporu vācelītes malas iekšpusē. Mitrā laikā zobiņi noslēdz ieeju vācelītē, bet sausā laikā tie atliecas un atbrīvo sporas. **6.** Sporas izsējas laikā, kas ir piemērots to izplatīšanai ar gaisa straumēm. **7.** Kad spora nokrīt piemērotā vietā, tā dīgst, veidojot pirmo gametofīta stadiju, ko sauc par protonēmu.

Sūnaugu izmantošana

Sfagniem *(Sphagnum)*, kurus sauc arī par kūdras sūnu, ir saimnieciska nozīme. Šīs sūnas šūnām ir milzīgas spējas uzsūkt ūdeni, tāpēc šīs sūnas bieži izmanto dārzkopībā, lai uzlabotu augsnes mitruma apstākļus. Sūnu purvos, kur vide ir slapja un skāba, atmirušās sūnas, īpaši sfagni, uzkrājas un nesadalās. Šādi uzkrājušās sūnas veido kūdru, kuru izmanto par kurināmo.

Sūnaugu pielāgošanās videi

Sūnaugi ir augi bez vadaudiem, tiem ir vienkārša uzbūve. Tie visbiežāk ir saistīti ar mitriem biotopiem, jo vadaudu trūkuma un vicaino spermatozoīdu dēļ tiem ir nepieciešams ūdens. Tātad sūnaugi ir mazāk sarežģīti par vaskulārajiem augiem un nav sastopami tik daudzos biotopos kā tie. Tomēr sūnas ir labāk piemērotas augšanai uz akmens sienām vai žogiem, kā arī ēnainās klinšu plaisās nekā vaskulārie augi. Tās uzlabo tikko izveidojušos augsni, padarot to piemērotu citu organismu augšanai. Šajos, īpašajos mikrobiotopos sūnu nelielie izmēri un uzbūves vienkāršība acīmredzot ir īpaša priekšrocība (15.5. att.).

Augiem bez vadaudiem (aknu sūnām un lapu sūnām) nav specializētu vaskulāro audu, un tiem dominējošā paaudze ir gametofīts. Lai notiktu apaugļošanās, nepieciešams ūdens, tāpēc tos bieži var atrast mitrās vietās.



15.5. attēls. Uz klintīm augošas sūnas
Sūnas, kas pielāgojušās augšanai uz klintīm, piedalās augsnes veidošanā – līdz ar to arī citi augi var sākt apdzīvot šo teritoriju.

15.3. Vaskulārie augi – sporaugi un sēklaugi

Vaskulārie augi (lat. *vasculum* – trauks) ir papardes un to radinieki, kā arī kailsēkļi un segsēkļi. Šo augu vadaudi ir **ksilēma** (gr. *xylon* – koksne) jeb koksne, kas vada no augsnes uzņemto ūdeni un minerālvielas, kā arī **floēma** (gr. *phloios* – miza) jeb lūksne, kas transportē organiskās vielas no vienas auga daļas uz citu. Vaskulārajiem augiem ir īstas saknes, stumbri un lapas. **Saknes** uzņem ūdeni no augsnes. **Stumbrs** to tālāk aizvada uz lapām. Ksilēma, kuras šūnām ir stingri šūnapvalki, balsta augu, darbojoties pret gravitācijas spēku. Lapas gandrīz pilnīgi ir klātas ar vaskainu kutikulu, izņemot vietas, kur atrodas **atvārsnītes** – nelielas poras, kuru lielums mainās, lai regulētu ūdens daudzumu augā.

Dominējošā paaudze vaskulārajiem augiem ir sporofīts. Tā ir paaudze, kurai ir vadaudi un pārējās iepriekš minētās pazīmes. Sporofītam kā dominējošajai paaudzei ir arī cita priekšrocība: tas ir diploīds. Ja kādam gēnam ir defekts, tā darbību var bremzēt funkcionālais gēns. Jo lielāks ir ģenētiskā materiāla daudzums, jo lielākas ir mutāciju iespējas, kuru rezultātā palielinās daudzveidība un komplicētība. Tāpēc vaskulārie augi ir sarežģīti, ļoti daudzveidīgi un plaši izplatīti.

Vaskulāro sporaugu (paparžu un to radinieku) sugas izplatās ar sporām, kuras pārnēsā vējš (sk. 15.C. att. 287. lpp.). Kad sporas dīgst, veidojas salīdzinoši liels gametofīts, kura vielmaiņa nav atkarīga no sporofīta. Šiem augiem anterīdijos veidojas vicains spermatozoīds, kas pa ārpusē esošo ūdens slānīti peld uz arhegonijiem, kur notiek apaugļošanās. Tā kā no ūdens atkarīgais gametofīts nav saistīts ar sporofītu, šie augi nevar pilnībā izmantot sporofīta priekšrocības dzīvei uz sauszemes. Kā aprakstīts nākamajā lappusē iekļautajā fragmentā, vaskulārie sporaugi karbona periodā veidoja lielus dumbrāju mežus.

Sēklaugiem mikrogametofīts (vīrišķais gametofīts) ir atdalīts no megagametofīta (sievišķā gametofīta), kā tas parādīts 15.D. attēlā (sk. 287. lpp.). Mikrogametofīts un megagametofīts ir atkarīgs no sporofīta, kas pilnībā pielāgojies dzīvei uz sauszemes. Nobriedis mikrogametofīts ir puteksnis. Megagametofīts un dīglis, kas no tā veidojas, paliek sporofītā un veido sēklu. Ar sēklu palīdzību izplatās sēklaugi. Sēklas izplatās dažādi. Dažiem augiem tās izplata vējš vai ūdens vai arī uz jaunu vietu tās pārnes dzīvnieki.

Vaskulārie sporaugi izplatās ar vēja nestu sporu palīdzību, bet sēklaugi izplatās ar sēklām.

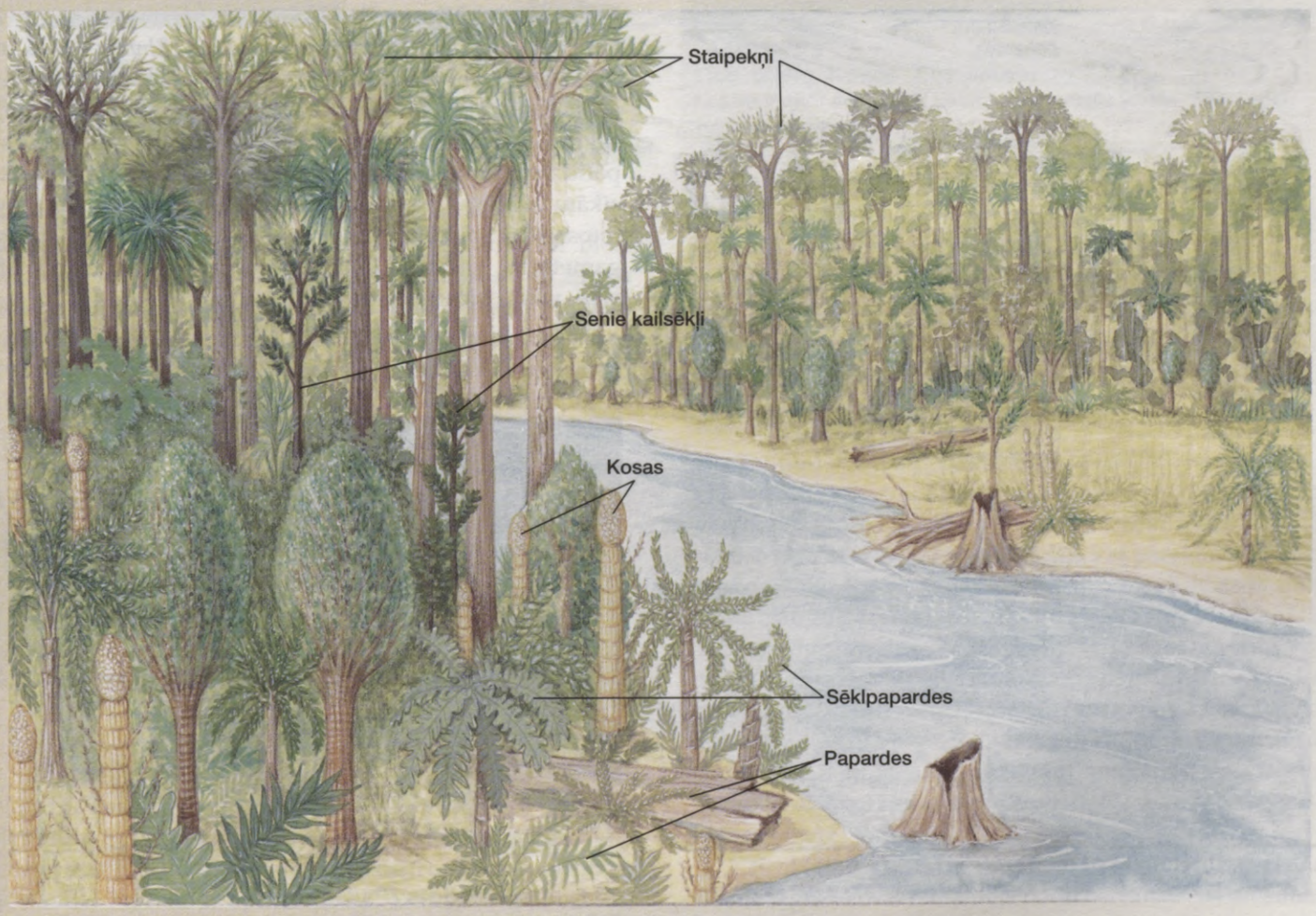
Uzziniet tuvāk

Pirmie meži

Industriālās sabiedrības izdzīvošana balstās uz fosilajiem kurināmajiem, piemēram, **akmeņoglēm**. Termins "fosilais kurināmais" var likties dīvains, ja nesaprot, ka tas attiecas uz senu laikmetu organisko materiālu. Karbona jeb akmeņogļu perioda laikā vairāk nekā pirms 300 miljoniem gadu lieli dumbrāju meži (15.A. att.) aptvēra teritoriju, ko pašlaik aizņem Apalaču kalni, Ziemeļeiropa un Ukraina. Tā kā klimats bija silts un mitrs, koki izauga ļoti augsti. Tie nebija tādi paši koki, kādus mēs pazīstam tagad. Tie bija mūsdienu vaskulāro sporaugu radinieki: staipekņi, kosas un papardes. Staipekņi mūsdienās var sasniegt tikai 30 cm garumu, bet senie to radinieki bija 30,5 metrus augsti un 1 metru plati. Sporu sastati bija līdz 30 centimetriem gari, un dažiem augiem bija vairāk nekā 1 metru garas lapas. Arī 15 m augstās kosas bija īsti giganti salīdzinājumā ar mūsdienu kosām. Kokveida papardes bija augstākas par mūsdienās augošajām kokveida papardēm, kuras aug tropos. Bija sastopami vēl divu citu veidu koki: sēklpapardes un senie kailsēkļi. "Sēklpaparde" ir kļūdains apzīmējums, jo, kā ir pierādīts, šie augi, kuri tikai atgādina papardes, patiesībā bija kailsēkļu pārstāvji.

Kad negaidīti dumbrājos paaugstinājās ūdens līmenis un koki gāja bojā, milzīgais biomasas daudzums zem ūdens pilnībā nesadalījās. Šīs nepilnīgi sadalījušās atliekas pārklāja nogulumi, kas dažviet pārveidojās par nogulumiežiem. Nogulumiežu radītā spiediena ietekmē organiskais materiāls kļuva par akmeņoglēm – fosilo kurināmo. Process turpinājās miljoniem gadu, līdz radās milzīgas akmeņogļu iegulas. Ģeoloģisko slāņu pacelšanās rezultātā iegulas nonāca tajā līmenī, kādā tās sastopamas tagad. Tur tās iespējams iegūt rūpnieciski.

Klimata pārmaiņu rezultātā karbona perioda koki izmira, bet to radinieki – lakstaugi – izdzīvoja. Bez senajiem mežiem mūsu dzīve šodien būtu pavisam citāda, nekā tā ir, jo šie koki ir palīdzējuši izveidot mūsu industriālo sabiedrību.



15.A. attēls. Karbona perioda dumbrāju mežs

15.2. tabula

Ģeoloģiskā laika skala: galvenie notikumi augu evolūcijā

Ēra	Periods	Pirms milj. gadu	Galvenie bioloģiskie notikumi augu valstī
Kainozojs	Neogēns	2	Palielinās lakstaugu sugu skaits
	Paleogēns	66	Segsēkļu laikmets **Uz sauszemes dominē segsēkļi**
Mezozojs	Krīts	144	Izplatās segsēkļi
	Jura	208	Parādās pirmie segsēkļi **Kailsēkļu laikmets**
	Triass	245	Uz sauszemes dominē kailsēkļi un papardes
Paleozojs	Perms	286	Sauszemi klāj vaskulāro sporaugu meži
	Karbons	360	Akmeņogles veidojošo lielo mežu laikmets Tajos aug staipekņi, kosas un papardes **Dumbrāju mežs**
	Devons	408	Vaskulāro sporaugu ekspansija uz sauszemes
	Silūrs	438	Vaskulārie sporaugi parādās uz sauszemes
	Ordoviks	505	Pirmās augu fosilijas
	Kembrijs	570	Lielā skaitā sastopamas vienšūnas jūras aļģes **Aļģu laikmets**

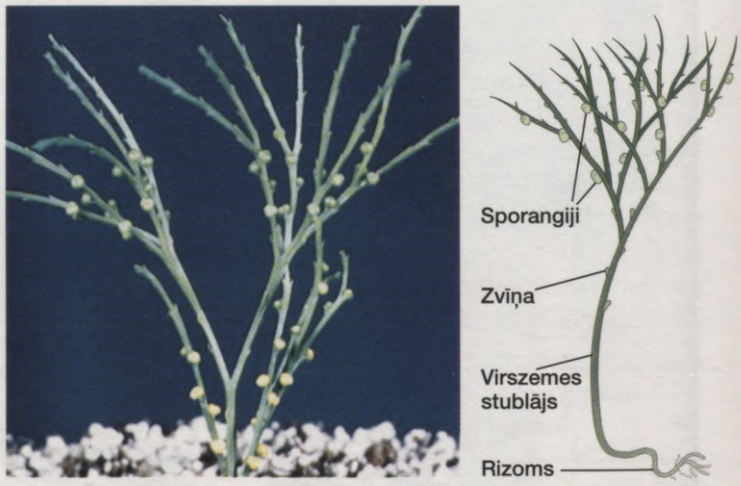
15.4. Papardes un tām radniecīgi augi ir vaskulārie sporaugi

Tā kā vaskulārie sporaugi nav tuvu radniecīgi savā starpā, katra to grupa iedalīta atsevišķā nodalījumā. Vaskulārie sporaugi ir psiloti (nodalījums *Psilotophyta*), staipekņi (nodalījums *Lycopodophyta*), kosas (nodalījums *Equisetophyta*) un papardes (nodalījums *Pteridophyta*).

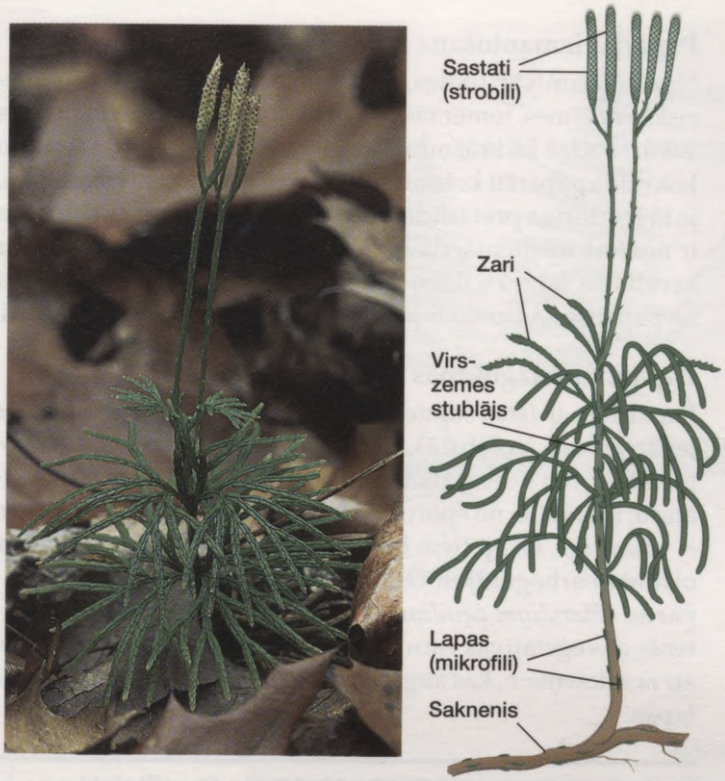
15.2. tabulā attēlota auga evolucionārā vēsture. Starp pirmajiem vaskulārajiem augiem bija rīnijas, kuras dominēja no silūra perioda vidus līdz devona perioda vidum. Koksonija *(Cooksonia)*, iespējams, bija pats pirmais vaskulārais augs, bet rīniju *(Rhynia)* ģints bija visizplatītākā. Rīniju stāvie stublāji vairākkārt dakšveidā (dihotomiski) zarojas. Tie ir piestiprināti pie **sakneņa** jeb **rizoma** – horizontāla pazemes stublāja ar rizoīdiem apakšpusē. Stublājā ir vadaudi, bet šim augam nav ne īstu sakņu, ne lapu. Sporangiji novietoti dažu zaru galos. Uzskata, ka papardes un to radinieki ir attīstījušies no rīnijām vai tām tuvu radniecīgām formām.

Psiloti

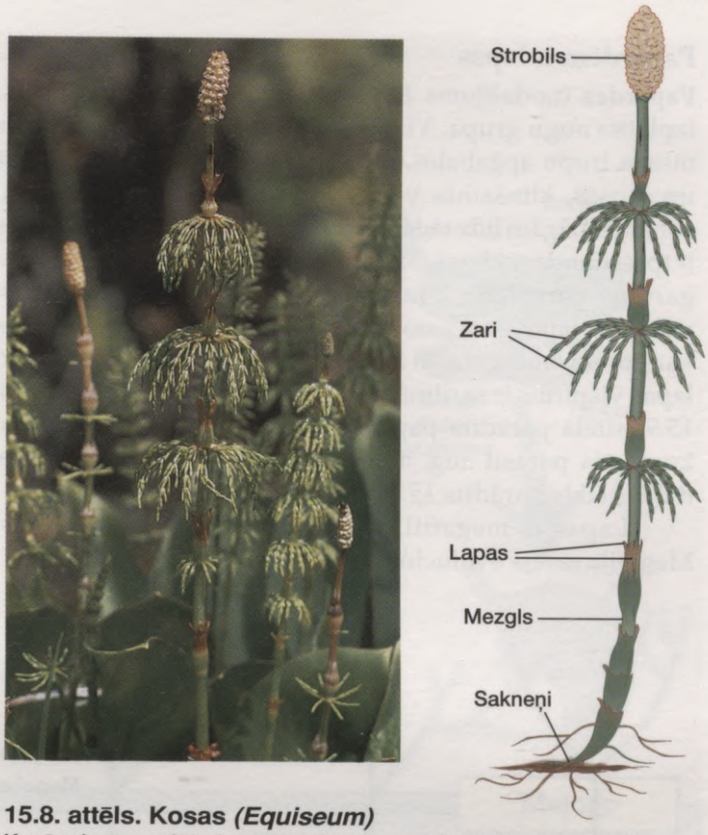
Psilotu (nodalījums *Psilotophyta*) pārstāvis psilots *(Psilotum)* ir augs, kas ļoti atgādina rīnijas *(Rhynia)* (15.6. att.). Tie ir atrodami Arizonā, Teksasā, Luiziānā un Floridā, kā arī Havaju salās un Puertoriko. Psilotiem nav ne lapu, ne sakņu. Zarotais saknenis ir ar rizoīdiem, bet mikorizas sēne palīdz uzņemt barības vielas. Virszemes stublāji ir klāti ar sīkām zvīņām. Tie vairākkārt dakšveidā dalās, kā arī veic fotosintēzi. Sporangiji ir novietoti īsu zaru galos. Patstāvīgais gametofīts, kas attīstās augsnē un ir saistīts ar mikorizas sēni, veido vicainus spermatozoīdus.



15.6. attēls. Psilots *(Psilotum)*
Psilotiem nav ne sakņu, ne lapu, un fotosintēzi veic zari. Sporangiji ir dzelteni.



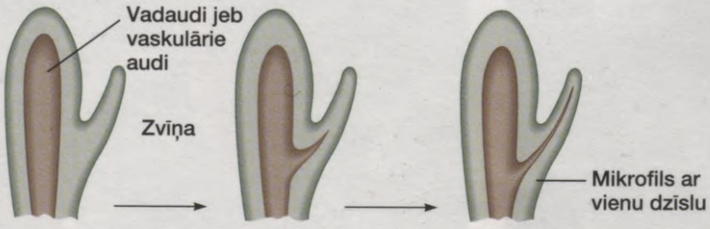
15.7. attēls. Staipeknis *(Lycopodium)*
Zaļi, fotosintezējoši stublāji ir klāti ar zvīņveida lapām, bet sporangiji atrodas uz īpašām lapām, kas sakārtotas sastatos jeb strobilos.



15.8. attēls. Kosas *(Equiseum)*
Kosām ir zaru mieturi un sīkas lapas mezglu vietās. Sporangiji veidojas strobilos.

Staipekņiem ir vālesveida sastati jeb strobili

Staipekņi (nodalījums *Lycopodophyta*; 1000 sugu) ir bieži sastopami mitros mērenās joslas mežos. Parasti no zarota sakneņa uz augšu aug virszemes stublāji, kas nav garāki par 30 centimetriem. Auga (sk. 15.7. att.) stumbru un zarus blīvi klāj zvīņveida lapas, ko sauca par mikrofiliem. Tām ir tikai viens vadaudu kūlītis. Šādas lapas varēja attīstīties no zvīņām.



Staipekņiem sporangiji veidojas uz galotnes lapu pušķiem. Tos sauc par **sastatiem** jeb **strobiliem**, un tie ir vālesveida. Sporas dīgstot izveido ļoti sīkus, bet patstāvīgus gametofītus. Lielākā daļa staipekņu aug tropos un subtropos, kur daudzi no tiem ir epifīti – augi, kas dzīvo uz kokiem, bet nav parazīti. Tuvu radniecīgās selaginellas *(Selaginella)* ir ļoti daudzveidīgas, un starp tām ir tā sauktais atdzimšanas augs, kas sausumā saveļas blīvā lodītē, bet samitrināts it kā pēc burvju mājiena atritinās.

Staipekņu senči parādījās devona periodā (15.2. tab.). Tie ir vienīgie mūsdienās sastopamie augi, kuriem ir mikrofili. Tas norāda, ka tie, iespējams, ir netieši saistīti ar papardēm un citām radniecīgām grupām.

Kosām ir posmaini stublāji

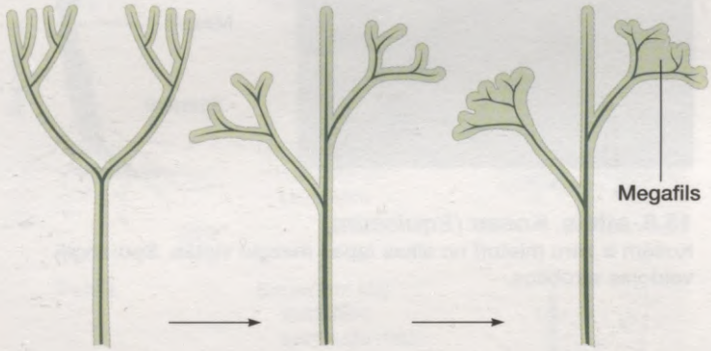
Kosas (nodalījums *Equisetophyta*; 15 sugu), kas sastopams visā pasaulē neizmantotās un mitrās vietās, mūsdienās ir pārstāvētas tikai ar vienu ģinti *Equisetum* (15.8. att.). No rizoma atiet stāvi virszemes stublāji, kas pārsniedz 1,3 metru garumu. Nokarenie, zaļie zaru mieturi pie stublāja posmiem padara augu pārsteidzoši līdzīgu zirga astei, tāpēc angliski šo augu sauc *horsetails*. Mazās zvīņām līdzīgas lapas arī veido mieturus pie katra posma. Lai gan lapām ir tikai viens vadaudu kūlītis, tās ir radušās, reducējoties megafiliem ar daudziem vadaudu kūlīšiem, nevis mikrofiliem. Daudzām kosām sastati ir stublāju gados; citām izaug īpaši miesaskrāsas dzinumi, uz kuriem atrodas sastati. No sporām izaug sīki, bet patstāvīgi gametofīti.

Stublāji ir sīksti un raupji, jo to šūnapvalkos atrodas silīcijs. Agrāk kosas izmantoja podu beršanai. Arī mūsdienās tās vēl pievieno dažiem abrazīvajiem materiāliem un lauku sētās izmanto katlu beršanai.

Papardēm ir lapas

Papardes (nodalījums *Pteridophyta*; 12 000 sugu) ir plaši izplatīta augu grupa. Vislielākais sugu skaits ir sastopams mitros tropu apgabalos, tomēr tās atrodamas arī ziemeļos un sausās, klinšainās vietās. To lielums variē no sīkām, sūnām līdzīgām līdz tādām, kas izaug augstas kā koki. Lapas ir īpaši daudzveidīgas. Skarpapardes *(Osmunda regalis)* lapu garums pārsniedz 2 m, bet citas papardes *(Adianthum pedatum)* lapa sastāv no platām daiviņām. Paparžu lapas var būt arī lentveida un ādainas. Gandrīz visām papardēm lapas vispirms ir saritinātas spirālē, bet augot tās atritinās. 15.9. attēlā parādīta paparžu daudzveidība un augtenes, kurās tās parasti aug. Tipiskas mērenās joslas papardes dzīves cikls parādīts 15.10. un 15.C. attēlā 287. lappusē.

Lapas ir megafili, kas sekundāri sadalīti daivās. Megafili varēja evolucionēt šādi.



Paparžu izmantošana

Nezinātājam var likties, ka papardēm nav lielas saimnieciskās nozīmes, tomēr tās plaši izmanto floristi ziedu pušķos vai arī audzē kā krāšņumaugus un istabas augus. Tropisko kokveida paparžu koksni izmanto par celtniecības materiālu, jo tā ir izturīga pret trūdēšanu un pret termītiem. Papardēm ir nozīme medicīnā; daudzi indiāņi izmanto papardes par savelkošu līdzekli dzemdībās, lai apturētu asiņošanu, bet no papardes *Adianthum pedatum* iegūst līdzekli atkrēpošanai.

Paparžu pielāgošanās videi

Papardēm ir īstas saknes, stublāji un lapas. Labi attīstītās lapas ir plati izpletušās, uztver saules enerģiju un veic fotosintēzi. No ūdens atkarīgais gametofīts, kuram nav vadaudu, ir atdalīts no sporofīta. Vicainajiem spermatozoīdiem ir vajadzīgs, lai ap tiem būtu ūdens, pa kuru aizpeldēt līdz olšūnām arhegonijos. Dažas papardes, piemēram, ērgļpaparde *(Pteridium aquilinum)*, spēj izplatīties sausākās augtenēs ar veģetatīvās vairošanās palīdzību. Papardes izplatās arī ar sakneņiem, kas aug horizontāli augsnē un veido jaunas lapas.

Vaskulārie sporaugi ir papardes un to radinieki. Dominējošā paaudze ir sporofīts. Augi izplatās ar sporām. Patstāvīgs gametofīts, kuram nav vadaudu, veido vicainus spermatozoīdus.



Adiantum pedatum

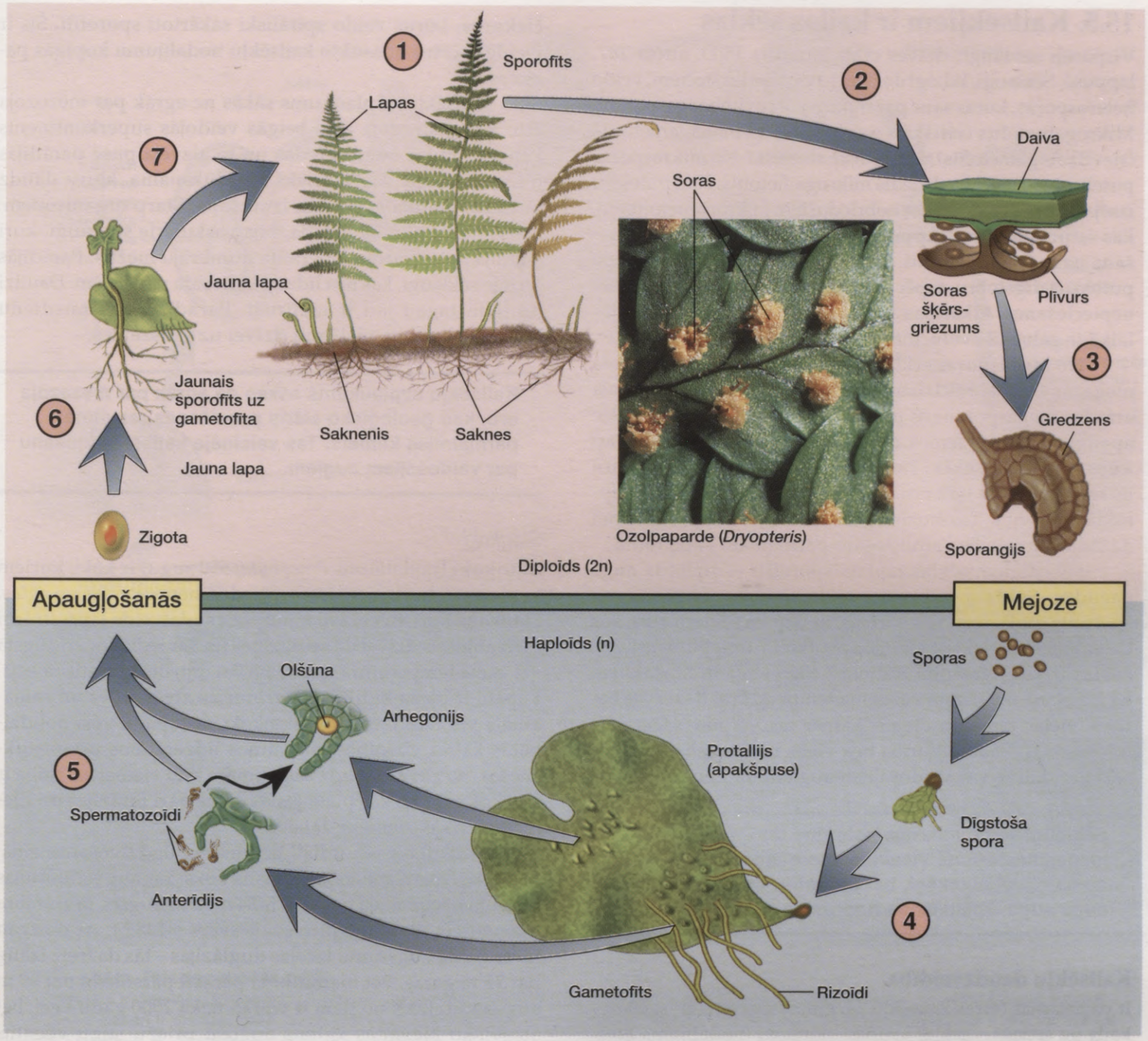


Campyloneurum scolopendrium



Skarpaparde *(Osmunda regalis)*

15.9. attēls. Paparžu daudzveidība



15.10. attēls. Papardes dzīves cikls

1. Papardēm sporofīts ir dominējošā paaudze. **2.** Šeit attēlotajai papardei lapu apakšpusē ir soras, ko sedz plīvurs. Sporangijos noris mejoze un veidojas sporas. **3.** Sporangijus ietver uzbiezinātu šūnu grupa, kas veido gredzenu. Izžūstot tie atliecas, uzplēš sporangiju un izsvaida sporas. **4.** Spora dīgstot veido protalliju, kura apakšpusē atrodas anterīdiji un arhegoniji. Parasti arhegoniji atrodas pie izgriezuma, bet anterīdiji – tuvāk galotnei starp rizoīdiem. **5.** Apaugļošanās var notikt, ja ir pietiekams mitruma daudzums, jo vicainajiem spermatozoīdiem pa ūdens slāņiti no anterīdija jāaizpeld līdz arhegonijam. **6.** Izveidojas zigota, kuras attīstība sākas arhegonijā, bet dīglis ātri izaug lielāks par to. Kad virs protallija parādās pirmā lapa, bet zem tā izaug saknes, sporofīts kļūst ieraugāms. Bieži sporofīta audi un gametofīta audi ir atšķirīgos zaļās krāsas toņos. **7.** Jaunais sporofīts veido sakneni ar saknēm. No tā izaug lapas.

15.5. Kailsēkļiem ir kailas sēklas

Vispārējs sēklaugu dzīves cikls parādīts 15.D. attēlā 287. lappusē. Sēklaugi, līdzīgi dažiem saviem priekštečiem, veido heterosporas, kuras sauc par mikrosporām un megasporām. Mikrogametofīts (vīrišķais gametofīts) un megagametofīts (sievišķais gametofīts) tiem eksistē atsevišķi. No **mikrosporas** puteksnī attīstās nenobriedis mikrogametofīts. Kad putekšņi izsējas, tie pārveidojas par nobriedušiem mikrogametofītiem, kas satur spermijus. **Apputeksnēšanās** ir putekšņu pārnešana uz megagametofītu. Spermijs nokļūst līdz olšūnai pa putekšņa dīgstobru, tāpēc apaugļošanās procesā ūdens nav nepieciešams. Atkarības zaudēšana no ūdens vairošanās laikā ir galvenā evolucionārā attīstības līnija augu valstī.

No **megasporas** sēklaizmetnī attīstās olšūnu saturošs megagametofīts. **Sēklaizmetnis** ir sporofīta sastāvdaļa. Tajā atrodas megasporangijs un vēlāk arī megagametofīts. Pēc apaugļošanās auglenīcā no zigotas rodas auga dīglis, ap kuru veidojas sēkla. Jāievēro, ka megagametofīts un mikrogametofīts līdz noteiktai pakāpei ir atkarīgs no diploīdā sporofīta. Tas nozīmē, ka sporofīts var evolucionēt dažādās formās bez atbilstošām pārmaiņām gametofītā.

Sēklaugiem sēklas izplata sporofīts – diploīdā auga paaudze. **Sēkla** ir nobriedis sēklaizmetnis. Tā sastāv no sporofīta dīgļa, rezerves barības vielām un sēklapvalka, kas izveidojies no sēklaizmetņa apvalkiem (integumentiem). Sēklas ir izturīgas pret tādiem nelabvēlīgiem apstākļiem kā izžūšana un augsta vai zema temperatūra. Rezerves barības vielas izmanto dīgsts, kamēr tas vēl nav sācis pats fotosintezēt. Sēklu izturība bija viens no iemesliem, kāpēc sēklaugi kļuva var valdošajiem augiem uz Zemes.

Sēklaugi veido mikrogametofītus un megagametofītus. Vicainus spermatozoīdus ir nomainījuši putekšņi, bet sporofītu un līdz ar to augu sugu izplatīšanos nodrošina sēklas.

Kailsēkļu daudzveidība

Ir pazīstamas četras kailsēkļu jeb gimnospermu (gr. *gymnos* – kails un *sperma* – sēkla) grupas: skujkoki (nodalījums *Pinophyta*), cikadejas (nodalījums *Cycadophyta*), ginki (nodalījums *Ginkgophyta*) un gnetofīti (nodalījums *Gnetophyta*).

Kailsēkļu sēklas ir bez augļapvalka un ir novietotas uz sporangijus nesošo lapu – sporofilu – virsmas. (Ziedaugiem sēklas atrodas auglī.) Vairošanās orgāni parasti atrodas **čiekuros**, kurus veido spirāliski sakārtoti sporofili. Šīs ir vienīgās četru nosaukto kailsēkļu nodalījumu kopīgās pazīmes.

Kailsēkļu uzplaukums sākās ne agrāk par mezozoja ēru. Kad paleozoja ēras beigās veidojās superkontinents Pangeja, radās kalnu grēdas un to aizvēja pusē parādījās tuksneši. Zeme, kas iepriekš bija dūksnaina, kļuva daudz sausāka. Notika masveida izmiršana. Starp organismiem, kas gandrīz pilnībā izzuda, bija vaskulārie sporaugi, kuri veidoja lielos karbona perioda dumbrāju mežus. Parādījās pirmie sēklaugi, kas bija līdzīgi kokveida papardēm. Daudzi no tiem tagad jau ir izmiruši. Parādījās arī mūsdienu kailsēkļi, kas bija pielāgoti dzīvei uz sauszemes.

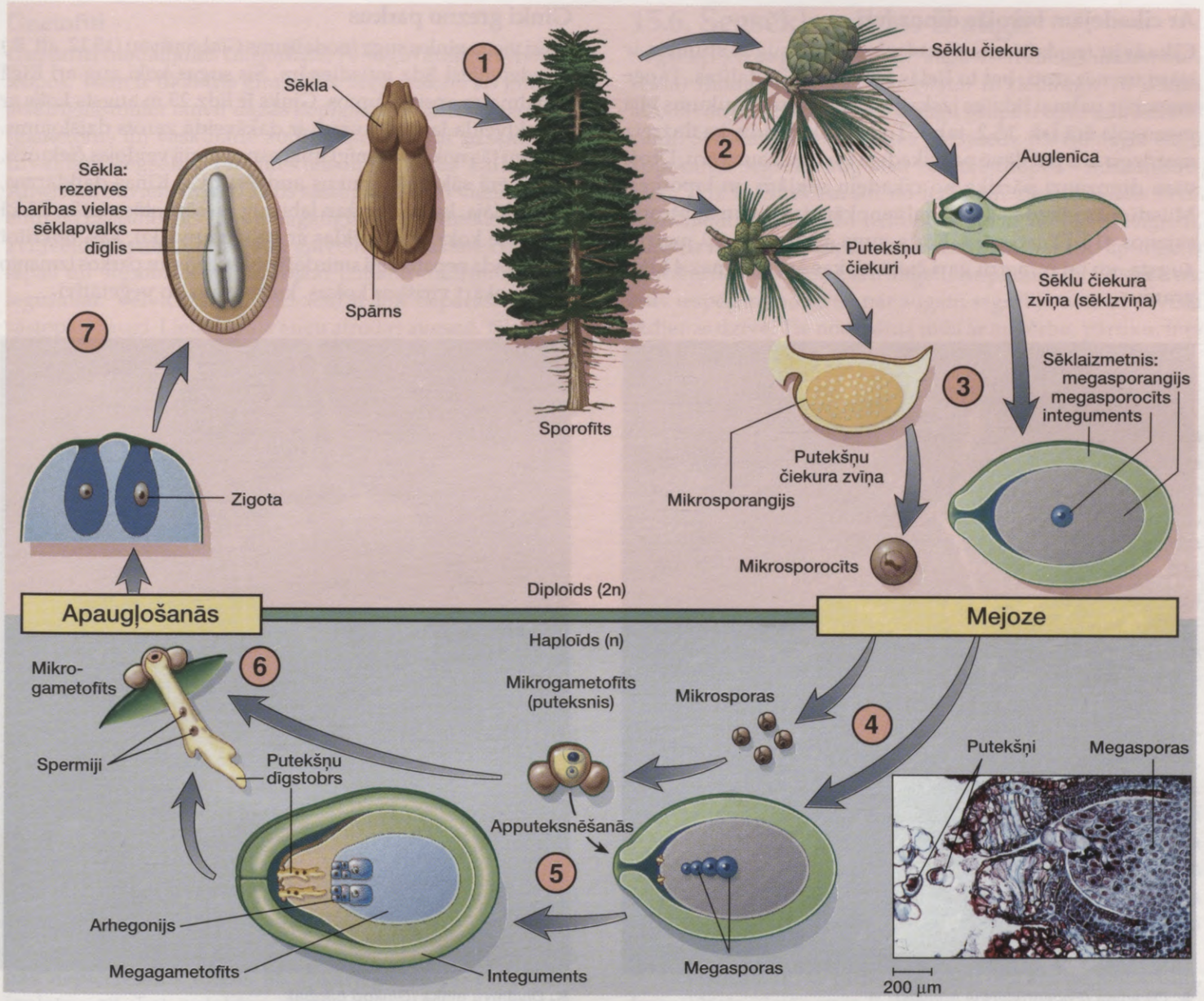
Kailsēkļu uzplaukums sākās ne agrāk par mezozoja ēru, kad ģeoloģisko slāņu pacelšanās rezultātā pārmainījās klimats. Tas veicināja kailsēkļu kļūšanu par valdošajiem augiem.

Skujkoki

Skujkoki (nodalījums *Pinophyta*; 550 sugu) ir koki, kuriem veidojas čiekuri, piemēram, priedes, hemlokegles un egles. Skujkoki, kuriem parasti ir mūžzaļas adatveida lapas, ir labi pielāgojušies dzīvei uz sauszemes un var izdzīvot arī augstā vai zemā temperatūrā, sausumā vai mitrumā un stiprā vējā. Lapām ir bieza kutikula, iegrimušas atvārsnītes un samazināts virsmas laukums. Skujkoki sastopami vēja nolīdzinātās kalnu virsotnēs, purvainos līdzenumos un pustuksnešos, no ekvatora līdz sasalumam tālu ziemeļos. Taiga ir skujkoku mežs, kas platā joslā plešas pāri Eirāzijas un Ziemeļamerikas ziemeļu daļai.

Skujkoki ir rekordisti lieluma un ilgdzīvošanas ziņā. Milzu sekvoja – ģenerāļa Šermana koks, kas aug Kalifornijas Sekvoju nacionālajā parkā, – ir 84 metrus augsts, tā stumbra diametrs ir 10 m un aptuvenais svars – 1385 t. Ar diezgan ievērojamu augstumu izceļas duglāzijas – tās dažreiz izaug pat 75 m garas, bet mamutkoki parasti pārsniedz pat 90 m augstumu. Daži no tiem ir vairāk nekā 2000 gadu veci, bet atsevišķu Nevadas kalnos augošu priežu sugu vecums pārsniedz pat 4500 gadus.

Priežu dzīves ciklam, kas attēlots 15.11. attēlā, apaugļošanās procesam nav nepieciešams papildu ūdens no apkārtējās vides, un sēklas ir piemērojušās izplatīšanai ar vēja palīdzību.



15.11. attēls. Priedes dzīves cikls

1. Sporofīts ir dominējošā paaudze, un tā sporangiji veidojas čiekuros. **2.** Ir divu veidu čiekuri: putekšņu čiekuri un sēklu čiekuri. Parasti putekšņu čiekuri ir diezgan mazi un attīstās tuvu pie apakšējo zaru galiem. **3.** Katras putekšņu čiekura zvīņas apakšpusē ir divi vai vairāki mikrosporangiji. **4.** Šajos sporangijos katrs mikrosporocīts (mikrosporas mātšūna) mejotiski dalās un veido četras mikrosporas. **5.** Katra mikrospora attīstās par mikrogametofītu jeb puteksni. Mikrogametofītam ir divi gaisa maisi, un to apputes laikā uz sēklu čiekura pārnes vējš. Sēklu čiekuri ir lielāki par putekšņu čiekuriem un novietoti tuvu zaru galiem. **3.** Katras sēklu čiekura zvīņas augšpusē atrodas divi sēklaizmetņi. Katru sēklaizmetni ietver biezs, slāņains integuments, kura galā ir atvere. **4.** Megasporangijs atrodas sēklaizmetnī, kurā megasporocīts (megasporas mātes šūna) mejotiski dalās, veidojot megasporas. **5.** Tikai viena no šīm sporām attīstās par megagametofītu ar diviem līdz sešiem arhegonijiem. Katrs arhegonijs satur vienu lielu olšūnu, kas atrodas tuvů sēklaizmetņa atverei. **6.** Kad puteksnis iekļūst sēklu čiekurā, tas veido putekšņa dīgstobru, kas lēni aug gametodīta virzienā. Putekšņa dīgstobrs atbrīvo divus spermijus bez vicām. Viens no tiem arhegonijā apaugļo olšūnu, bet otrs atmirst. Apaugļošanās noris vienu gadu pēc apputeksnēšanās un ir pilnībā atdalīta no apputeksnēšanās. **7.** Pēc apaugļošanās olšūna nobriest, un no tās attīstās sēkla, kas sastāv no dīgļa, rezerves barības vielām un sēklapvalka. Otrās sezonas rudenī pārkoksnētais, cietais sēklu čiekurs atveras, lai izsētu sēklas. Sēklai dīgstot, no sporofīta dīgļa attīstās jauna priede, un cikls ir noslēdzies.

Ar cikadejām barojās dinozauri

Cikadeju (nodalījums *Cycadophyta*; 100 sugu) stumbri ir stāvi un nezaroti, bet to lielās lapas ir dziļi dalītas. Tāpēc augam ir palmai līdzīgs izskats. Cikadeju uzplaukums bija mezozoja ērā (sk. 15.2. tab.). To bija tik daudz, ka dažreiz mezozoja ēru pat dēvē par cikadeju un dinozauru ēru. Droši vien dinozauri pārtika no cikadeju sēklām un lapotnes. Mūsdienās cikadejas aug galvenokārt tropu un subtropu rajonos (15.12. att. A.). Kāda suga izaug pat 20 metrus augsta, un tai ir metru gari čiekuri, kas sver vismaz 4 kilogramus.

Ginki grezno parkus

Tikai viena **ginku** suga (nodalījums *Ginkgophyta*) (15.12. att. B.) ir izdzīvojusi līdz mūsdienām. Šīs sugas koki aug arī Rīgā kanālmalas apstādījumos. Ginks ir līdz 25 m augsts koks ar vēdekļveida lapām, kurām ir dakšveidā zarots dzīslojums. Rudenī tās nokrīt. Vienīgi mikrosporangiji veidojas čiekuros. Mūsu ērā sākotnēji ginkus audzēja tikai Ķīnas daiļdārzos, līdz atklāja, ka tie diezgan labi aug piesārņotās vietās. Tā kā sievišķie koki veido sēklas ar gaļīgu apvalku, kas, nokrītot zemē, rada nepatīkami smirdošu masu, pilsētu parkos izmanto galvenokārt vīrišķos kokus, kurus pavairo veģetatīvi.



A. Cikadeja *(Encephalartos humilis)*



B. Divdaivu ginks *(Ginkgo biloba)*



C. Gnetofīts velvičija *(Welwitschia mirabilis)*

15.12. attēls. Mazāk pazīstamie kailsēkļi
A. Cikadejas atgādina palmas, tomēr ir kailsēkļi, kas veido čiekurus. Vīrišķajiem augiem veidojas putekšņu čiekuri, bet sievišķajiem – sēklu čiekuri. **B.** No ginkiem saglabājusies tikai viena suga – divdaivu ginks. Fotogrāfijā redzamas šī sievišķā auga sēklas. Vīrišķajiem augiem ir putekšņu čiekuri. **C.** Ir trīs gnetofītu ģintis. Attēlā redzamā *Welwitschia mirabilis* ir ļoti neparasts Āfrikas augs. Uz stumbra, kuram ir tikai divas milzīgas lentveida lapas, attīstās strobili.

Gnetofīti

Gnetofīti (nodalījums *Gnetophyta*; 70 sugu) aug galvenokārt tropos. Tiem ir tikai trīs ģintis. Pēc ārējā izskata šīs ģintis ir atšķirīgas, tomēr tām ir dažas kopīgas anatomiskas pazīmes (gametofīts un vaskulārie audi), tāpēc tos var uzskatīt par tuvākiem segsēkļu radiniekiem nekā citus kailsēkļus. Amerikas Savienotajās Valstīs sastopama tikai viena ģints – efidras *(Ephedra)*. Šis augs ir bagātīgi zarots krūms ar mazām zvīņveida lapām, un tas aug galvenokārt tuksnešos. Auga lapas un stumbrus vēl joprojām izmanto mormoņu tējas iegūšanai. Velvičijas *(Welwitschia)* ir ļoti neparasti Āfrikā sastopami augi. Lielākā daļa augu atrodas augsnē. Tikai daži centimetri no stumbra paceļas virs zemes, toties stumbra resnums var pārsniegt vienu metru. Augam ir tikai divas milzīgas lentveida lapas, kas aug simtiem gadu. Tās spēj apsegt lielāko daļu virs zemes redzamā stumbra (15.12. att. C.).

Kailsēkļiem ir kopīga īpašība: to sēklas ir kailas (bez augļa apvalka). Skujkoki ir plaši izplatīta augu grupa, jo tie spēj augt bargos klimatiskos apstākļos.

Kailsēkļu izmantošana

Kailsēkļi aizņem lielas platības uz Zemes un ir saimnieciski nozīmīgi. Lielāko daļu no celtniecībai un papīra ražošanai nepieciešamās koksnes iegūst no skujkokiem. No tiem iegūst arī daudz noderīgu vielu, piemēram, terpentīnu. Sveķi pasargā skujkokus no sēņu un kukaiņu uzbrukumiem.

Kailsēkļu pielāgošanās videi

Kailsēkļiem ir labi attīstīti stumbri un saknes. Daudzi no tiem ir augsti koki, kas var pārciest karstumu, sausumu un austumu. Kailsēkļu vairošanās ir citāda nekā augiem, kuri tika apskatīti līdz šim. Lai kailsēkļiem notiktu apaugļošanās, nav nepieciešams ūdens no apkārtējās vides. Putekšņus izplata vējš, bet putekšņa dīgstobra augšana nodrošina spermija nokļūšanu pie olšūnas. No sporofīta atkarīgais gametofīts atrodas sēklaizmetnī, kas to pasargā attīstības laikā. Sēklaizmetnis nodrošina arī zigotas aizsardzību. Rezultātā dīglis sēklā ir aizsargāts un tiek apgādāts ar rezerves barības vielām, kas nodrošina tā attīstību augšanas perioda sākumā tūdaļ pēc apaugļošanās. Tas viss sekmē kailsēkļu vairošanos uz sauszemes.

Skujkoki ir valdošie kailsēkļi. Skujkoku dzīves ciklā vicainus spermatozoīdus aizstāj vēja nesti putekšņi. Pēc apaugļošanās no sēklaizmetņiem attīstās čiekurā ietvertas sēklas. Tām nav augļa apvalka, un tās izplata vējš.

15.6. Segsēkļu sēklas un auglī

Segsēkļi jeb **angiospermi** (gr. *angion* – trauciņš un *sperma* – sēkla) (nodalījums *Magnoliophyta*) ir ziedaugi. To sēklas atrodas augļos. Šajā ļoti lielajā augu grupā ir aptuveni 235 000 sugu. Šis skaitlis sešas reizes pārsniedz pārējo augu sugu kopskaitu. Segsēkļi aug visu veidu biotopos – no saldūdeņiem līdz tuksnešiem un no ledājiem ziemeļos līdz svelmainajiem tropiem. To lielums svārstās no ļoti niecīgiem, gandrīz mikroskopiskiem ūdensziediem līdz eikaliptu ģints *(Eucalyptus)* kokiem, kuru augstums pārsniedz 100 metrus. Nav iespējams novērtēt par augstu segsēkļu nozīmi cilvēka ikdienas dzīvē. Tie nodrošina mūs ar apģērbu, pārtiku, medikamentiem un saimnieciski vērtīgiem materiāliem.

Segsēkļu rašanās un evolūcija

Segsēkļi ir attīstījušies no senajiem kailsēkļiem. Mezozoja ēras vidū, juras periodā daudziem kailsēkļiem parādījās mūsdienu segsēkļiem raksturīgās pazīmes. Dažiem no tiem vaskulārie audi bija līdzīgi segsēkļu vaskulārajiem audiem, bet citiem sporofili atgādināja zieda daļas. Ziedus apmeklēja vieni no evolucionāri pirmajiem kukaiņiem – vaboles. Lielākā daļa no šiem pārejas tipa kailsēkļiem ir izmiruši; tikai dažas to attīstības līnijas ir saglabājušās līdz mūsdienām, piemēram, gnetofīti un segsēkļi. Uzskata, ka gnetofītu pārstāvis efedra *(Ephedra)* ir mūsdienu kailsēklis, kurš ir vistuvāk radniecīgs ziedaugiem.

Vissenākās fosilijas, kas noteikti ir piederējušas segsēklim, ir no mezozoja ēras krīta perioda (sk. 15.2. tab.), tomēr ziedaugu daudzveidība līdz kainozoja ērai bija neliela. Kainozoja ēras laikā kontinenti dreifēja līdz to pašreizējai atrašanās vietai un klimats kļuva vēsāks. Iespējams, ka segsēkļi šajos pārmaiņu laikos spēja labāk piemēroties un kļuva daudzveidīgāki. Tāpēc pašlaik tie ir valdošie augu uz Zemes. Iespējams, ka šajā procesā nozīmīga loma bija kukaiņiem, jo tie apputeksnēja augus.

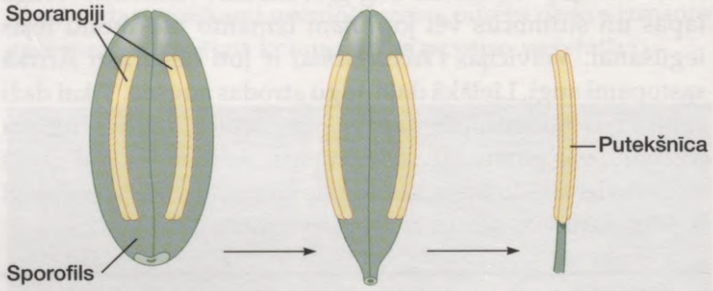
Visticamāk, ka pirmie segsēkļi bija ātri augoši krūmi, kas atklātās vietās auga līdzīgi nezālēm, nevis augsti koki. No šādiem senčiem varēja evolucionēt gan augstie koki, gan lakstaugi. Mūsdienās daudzi segsēkļi ir **lakstaugi**, nevis kokaugi – koki vai krūmi. Kokaugiem ir iekšējais balsts, ko veido iepriekšējās sezonās radusies ksilēma. Lakstaugi spēj augt vietās, kur kokaugi nevar izdzīvot. Segsēkļi, kas ir pielāgojušies mērenajai, subarktiskajai un arktiskajai joslai, ir daudzgadīgi vai viengadīgi. **Daudzgadīgie augi** ir augi, kas dzīvo divus vai vairākus gadus. Lakstaugi katru sezonu atmirst, bet kokaugiem iestājas miera periods. **Viengadīgie augi** ir augi, kas dzīvo tikai vienu veģetācijas periodu.

Ziedaugu klasifikācija

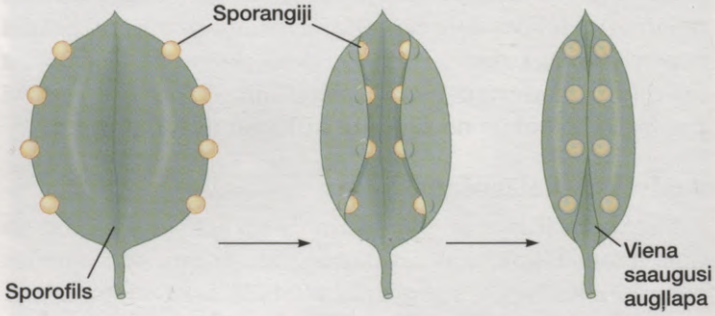
Segsēkļus iedala divās grupās: divdīgļlapji (klase *Magnoliopsida*) un viendīgļlapji (klase *Liliopsida*). **Divdīgļlapji** ir gan kokaugi, gan lakstaugi, un to ziediem parasti ir četras vai piecas kauslapas, vainaglapas un putekšņlapas, lapām ir plūksnains dzīslojums, vadaudu kūlīši stumbrā ir sakārtoti gredzenveidā, un dīglim ir divas dīgļlapas. Labi pazīstamas divdīgļlapju dzimtas ir, piemēram, gundegu, krustziežu, kļavu, kaktusu, tauriņziežu un rožu dzimtas. Rožu dzimtā ietilpst rozes, ābeles, plūmes, bumbieres, ķirši, persiki, zemenes, avenes un vēl vairākas citas ģintis. **Viendīgļlapji** gandrīz vienmēr ir lakstaugi, un to zieda daļas ir pa trim, lapām ir paralēls dzīslojums, vadaudu kūlīši stumbrā izvietoti neregulāri, bet dīglim ir tikai viena dīgļlapa. Viendīgļlapju klasē ir liliju, palmu, orhideju, īrisu un graudzāļu dzimta. Graudzāļu dzimtā ietilpst kvieši, rīss, kukurūza un citi lauksaimnieciski nozīmīgi augi.

Zieds sastāv no pārveidotām lapām

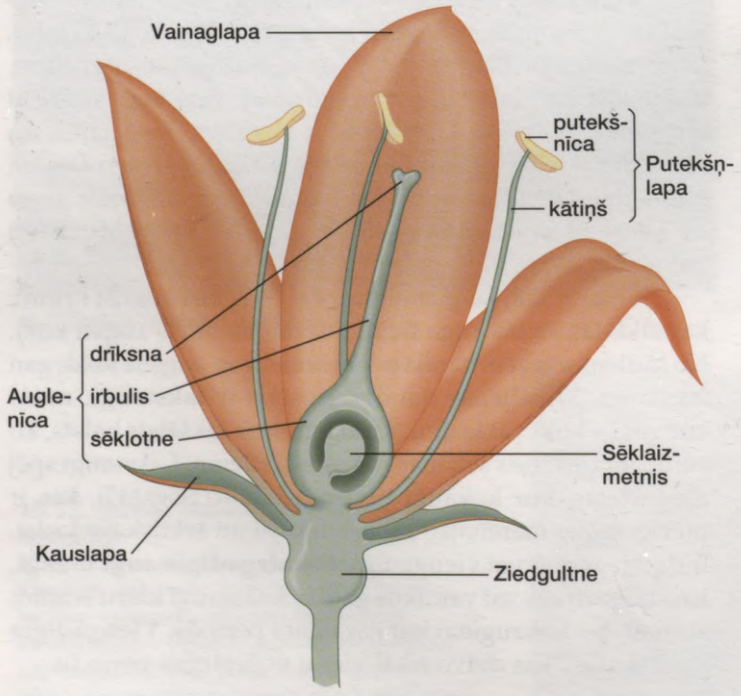
Zieds sastāv no vairāku veidu ievērojami pārveidotām lapām, kas sakārtotas koncentriskos gredzenos un piestiprinātas pie pārveidotas stumbra galotnes – zieda ass (15.13. att.). Kauslapas, kas veido ārējo gredzenu, visbiežāk ir zaļas un ir diezgan līdzīgas parastām vasas lapām. Kauslapas ietver ziedu pirms tā atvēršanās. Nākamais gredzens sastāv no vainaglapām, kuras parasti ir lielas un krāsainas. To krāsa bieži palīdz pievilināt apputeksnētājus. Vainaglapu iekšpusē ap auglenīcu ir putekšņlapu gredzens. **Putekšņlapas** ir zieda daļa, kas veido putekšņus. Katrai putekšņlapai ir tievs kātiņš, kura galā atrodas putekšnīca. **Putekšnīcas** ir pārveidoti sporofili, kuros atrodas mikrosporangiji, kas veido mikrosporas (putekšņus). Putekšnīca, zaudējot tās lapai līdzīgo daļu, ir evolucionējusi šādi.



Putekšņus uz auglenīcu – zieda daļu, kas sastāv no vienas vai vairākām augļlapām, – pārnes vai nu vējš, vai apputeksnētāji (visbiežāk kukaiņi). **Augļlapas** arī ir pārveidoti sporofili. Tajās atrodas sēklaizmetņi, kuros ir megasporangiji. Augļlapas evolūcija varēja notikt šādi.



Auglenīca sastāv no trim daļām: **drīksnas, irbuļa** un **sēklotnes**. Atkarībā no auga sugas sēklotnē atrodas viens vai vairāki sēklaizmetņi. Tie attīstās par sēklu, bet sēklotne – par augli. Tā sēklas ir iekļautas auglī. **Auglis** ir nobriedusi sēklotne, kas viena pati vai kopā ar citām zieda daļām veido sulīgu vai sausu augļa apvalku ap sēklām. Dažreiz augļi ir īpaši pielāgojušies sēklu izplatīšanai. Sulīgos augļus var apēst arī dzīvnieki un izkārnoties sēklas izsēt jaunā vietā. Ziedaugu dzīves cikls parādīts 15.14. attēlā.



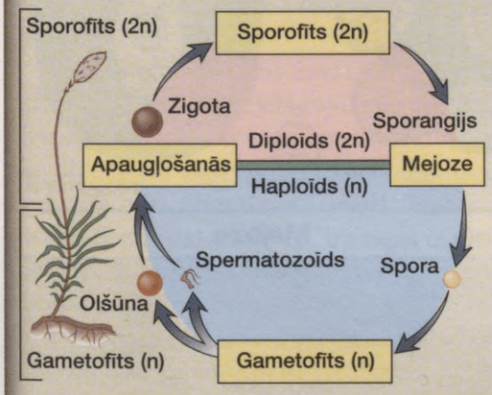
15.13. attēls. Zieda uzbūve un ziedaugu daudzveidība

Uzziniet tuvāk

Augu dzīves ciklu salīdzinājums

Fosilijās ir atrasti trīs augu grupu pārstāvji. Pirmie parādījās nevaskulārie augi, kurus mūsdienās pārstāv briofīti. Pēc tam radās vaskulārie sporaugi, bet vēlāk – sēklaugi. Visām šīm trim augu grupām dzīves cikls noris ar paaudžu maiņu: diploīdā (2n) paaudze jeb sporofīts, kas mejozē veido haploīdas (n) sporas, mijas ar haploīdo paaudzi jeb gametofītu, kas veido gametas. Pēc apaugļošanās no diploīdās zigotas attīstās sporofīts.

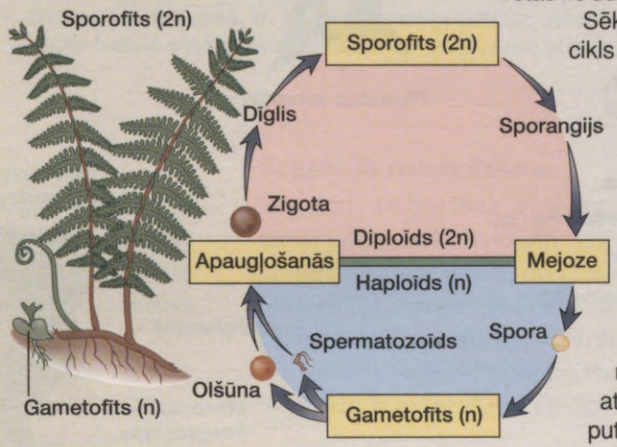
Sūnām, kas ir viena no briofītu grupām, haploīdais gametofīts ir ilgstoši pastāvošā paaudze, kuru parasti pazīst kā attiecīgo augu. Tātad gametofīts ir dominējošā paaudze, un tam 15. B. attēlā atvēlēta lielākā vieta.



15.B. attēls. Augi bez vadaudiem
- Dominējošais gametofīts
- Vicains spermatozoīds
- Nepatstāvīgs sporofīts
- Sūnas izplatās ar homosporu palīdzību

Sūnām spermatozoīdi ir vicaini un līdz olšūnai peld pa ūdens slānīti. Zigota paliek sievišķajā gametofītā, un sporofīts ir atkarīgs no gametofīta – tas eksistē īslaicīgi un tikai nedaudz veic fotosintēzi. Sporofīts veido viena veida sporas, kuras parasti iznēsā vējš. Tās nodrošina gametofīta izplatīšanos.

Papardēm, kuras ir vaskulārie sporaugi, abas paaudzes ir patstāvīgas, bet dominējošā paaudze ir sporofīts. Kā tas varēja izveidoties? Sporofīts ir saistīts ar gandrīz mikroskopisku gametofītu, taču tam ir vaskulārie audi un tas ir kļuvis par lielāko un ilgāk dzīvojošo paaudzi. 32.C. attēlā valdošais ir sporofīts. Tas veido homosporas, kuras parasti pārnēsā vējš. No sporas izaug gametofīts, kas veido gan vīrišķās, gan sievišķās gametas. Spermatozoīds ir vicains un līdz olšūnai nokļūst, peldot ūdens slānītī.

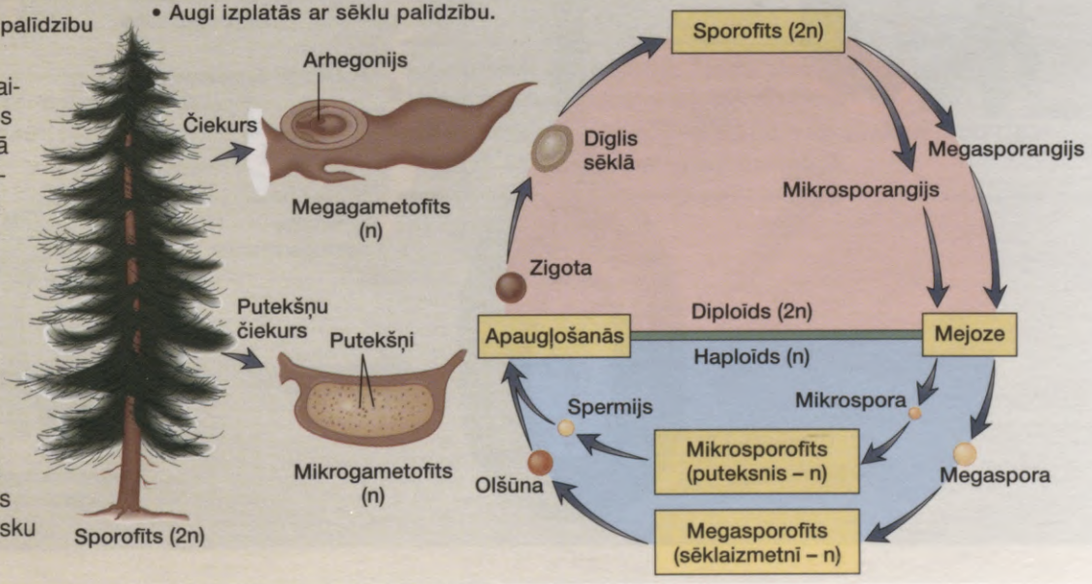


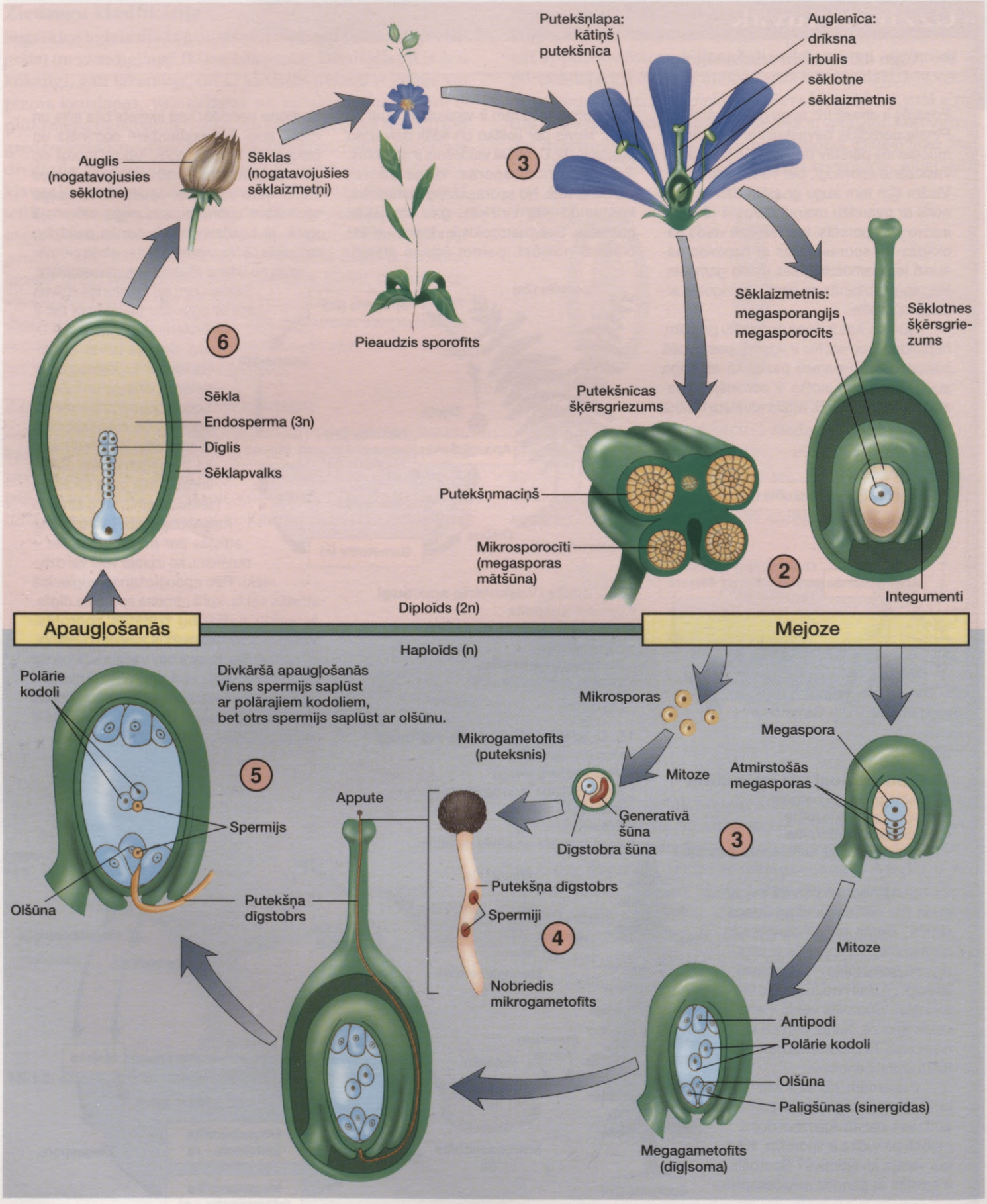
15.C. attēls. Vaskulārie sporaugi
- Dominē sporofīts
- Sugas izplatīšanos nodrošina homosporas.
- Patstāvīgs gametofīts
- Vicains spermatozoīds

Karbona periodā, kad klimats bija silts un mitrs, augi bez vadaudiem dominēja un izauga ļoti lieli (sk. 277. lpp.). Daudzi no šiem augiem izmira, kad uz lielākās Zemes daļas kļuva siltāks un sausāks. Toreizējie vaskulārie sporaugi, kas auga mērenajā joslā, ar bezdzimumvairošanās palīdzību izplatījās tādās vietās, kuras nebija piemērotas no ūdens atkarīgajam gametofītam.

Sēklaugam arī raksturīgs dzīves cikls ar paaudžu maiņu, bet tas ir ievērojami pārveidots (15.D. att.). Sporas paliek sporofīta iekšienē. Sēklaugiem ir heterosporangiji un heterosporas, ko sauc par mikrosporām un megasporām. Gametofīts ir tik reducēts, ka megagametofīts paliek iekļauts tajā pašā struktūrā (sēklaizmetnī), kurā atrodas megasporangijs. Mikrosporas attīstās par mikrogametofītu – puteksni, ko izplata vējš vai dzīvnieki. Pēc apaugļošanās auglenīcā attīstās sēkla, kurā atrodas sporofīta dīglis. Ar sēklu palīdzību izplatās sporofīts. Vicainos spermatozoīdus aizvieto putekšņi, un gametofīts, kuram nav vadaudu, ir pilnīgi atkarīgs no vaskulārā sporofīta. Apaugļošanās procesā vairs netiek izmantots ūdens no apkārtējās vides. Dzimumvairošanās ir pilnīgi pielāgota norisei uz sauszemes.

15. D. attēls. Vaskulārie sēklaugi
- Dominē sporofīts
- Veido heterosporas
- Nepatstāvīgs mikrogametofīts un makrogametofīts
- Putekšņi
- Augi izplatās ar sēklu palīdzību.




Putekšņlapa:
kātiņš
putekšnīca
Auglenīca:
drīksna
irbulis
sēklotne
sēklaizmetnis
Auglis
(nogatavojusies
sēklotne)
Sēklas
(nogatavojušies
sēklaizmetņi)
3
Pieaudzis sporofits
Sēklaizmetnis:
megasporangijs
megasporocīts
Sēklotnes
šķērsgrie-
zums
6
Sēkla
Endosperma (3n)
Dīglis
Sēklapvalks
Putekšnīcas
šķērsgriezums
Putekšņmaciņš
Mikrosporocīti
(megasporas
mātšūna)
2
Integumenti
Diploīds (2n)
Apaugļošanās
Mejoze
Haploīds (n)
Polārie
kodoli
Divkāršā apaugļošanās
Viens spermijs saplūst
ar polārajiem kodoliem,
bet otrs spermijs saplūst ar olšūnu.
Mikrosporas
Megaspora
Mikrogametofīts
(puteksnis)
Mitoze
Atmirstošās
megasporas
5
Appute
Ģeneratīvā
šūna
Dīgstobra šūna
3
Spermijs
Olšūna
Putekšņa
dīgstobrs
Putekšņa dīgstobrs
Spermiji
4
Mitoze
Nobriedis
mikrogametofīts
Antipodi
Polārie kodoli
Olšūna
Palīgšūnas (sinergīdas)
Megagametofīts
(dīgļsoma)

15.4. attēls. Ziedauga dzīves cikls
1. Putekšņlapas un auglenīca ir zieda daļas, kas iesaistīta vairošanās procesā. Vairošanās ciklā ir vairākas fāzes: megagametofīta attīstība, mikrogametofīta attīstība, divkāršā apaugļošanās un sēklas veidošanās. **Megagametofīta attīstība.** Sēklotnē pie auglenīcas pamatnes atrodas viens vai vairāki sēklaizmetņi. **2.** Sēklaizmetnī megasporocīts (megasporas mātšūna) mejotiski dalās un veido četras haploīdas megasporas. **3.** Trīs no šīm megasporām uzsūcas, un paliek viena funkcionējoša megaspora, kas mitotiski dalās. **4.** Rezultātā izveidojas megagametofīts jeb dīgļsoma, kuras citoplazmas masā parasti atrodas astoņi haploīdi kodoli. Citoplazma diferencējas šūnās, no kurām viena ir olšūna, bet otra ir endospermas šūna ar diviem kodoliem (polārajiem kodoliem). **Mikrogametofīta attīstība.** Putekšņlapas galotnē atrodas putekšnīca, kurā novietoti putekšņmaciņi ar lielu skaitu mikrosporocītu (mikrosporu mātšūna). **2.** Katrs mikrosporocīts mejotiski dalās un veido četras haploīdas šūnas – mikrosporas. Kad mikrosporas atdalās, katra no tām kļūst par mikrogametofītu jeb puteksni. **3.** Jaunajam mikrogametofītam ir divi kodoli: dzimumšūna un dīgstobra šūna. Apputeksnēšanās noris tad, kad puteksnis ar vēja, kukaiņu, putnu vai sikspārņu palīdzību nonāk uz tās pašas sugas auga drīksnas. **4.** Tikai tad puteksnis dīgst, veidojot garu dīgstobru. Šis dīgstobrs ieaug irbulī un sasniedz sēklotnē esošo sēklaizmetni. Pirms notiek apaugļošanās, ģeneratīvais kodols dalās, veidojot divus spermijus, kuriem nav vicu. Šāds uzdīdzis puteksnis ar tā dīgstobru un diviem spermijiem ir nobriedis mikrogametofīts. **Divkāršā apaugļošanās. 5.** Sasniedzot sēklaizmetni, putekšņa dīgstobrs atbrīvo spermijus. Viens no tiem apaugļo olšūnu, veidojot zigotu; otrs spermijs saplūst ar diviem polārajiem kodoliem, veidojot 3n (triploīdu) endospermas kodolu. Endospermas kodols dalās, veidojot endospermu, kas ir barība augošajam augam. Divkāršā apaugļošanās pazīstama tikai segsēkļiem. **Sēklas veidošanās. 6.** No sēklaizmetņa attīstās sēkla ar sēklapvalku, kurā atrodas dīglis un barības vielas. Auglenīcas sieniņas un dažreiz arī citas blakus esošās zieda daļas veido augli, kurā atrodas sēklas. Tāpēc saka, ka segsēkļiem sēklas ir segtas.

Zieds sekmē daudzveidību

Ziedos veidojas un attīstās sporas, gametofīti, gametas, sēklās ir dīgļi. Lai vairošanās process būtu pilnīgs, nepieciešama efektīva putekšņu un sēklu izplatīšanās. Tā kā putekšņi un sēklas izplatās dažādos veidos, arī ziedu tipi ir izveidojušies atšķirīgi.

Kaut gan dažiem ziediem putekšņi izplatās ar vēja palīdzību, daudzi ir pielāgojušies specifisku apputeksnētāju, piemēram, bišu, lapseņu, mušu, tauriņu un pat sikspārņu pievilināšanai. Viņi pārnes tikai noteiktus putekšņus no viena zieda uz citu. Piemēram, ziedi, kurus apputeksnē bites, parasti ir zili vai dzelteni, un tiem ir ultravioletsēnojums, kas norāda apputeksnētājam vietu, kur pie zieda pamatnes atrodas nektārs. Bišu mutes daļas ir saaugušas un veido garu caurulīti, ar ko no zieda var izsūkt nektāru.

Ziedi ir piemēroti ne tikai svešapputei, bet tie, veidojot augļus, sekmē arī sēklu izplatīšanos. Ir augļi, kas izplatās ar vēja, Zemes pievilkšanas spēka, ūdens un dzīvnieku palīdzību. Tā kā dzīvnieki mīt noteiktos biotopos un tiem ir noteikti migrācijas ceļi, tie spēj augļos esošās sēklas aiznest līdz vietām, kas piemērotas to dīgšanai (dīgļa augšanai) un auga attīstībai.

Ziedu daudzveidību var izskaidrot ar daudzajiem apputes veidiem un augļu daudzveidīgo izplatīšanos.

Segsēkļu izmantošana

Segsēkļi ir barības objekts lielākajai daļai sauszemes iemītnieku, arī cilvēkam. Cilvēki augu šķiedras izmanto apģērba gatavošanai, no tām iegūst malku un celtniecības materiālus. Augu eļļas lieto ne tikai ēdiena gatavošanai, tās, piemēram, izmanto arī smaržu un medikamentu ražošanā. No dažādu segsēkļu daļām iegūst garšvielas un narkotikas. Segsēkļu izmantošana apskatīta arī 285. un 286. lappusē.

Segsēkļu pielāgošanās videi

Segsēkļiem ir īstas saknes, stumbri un lapas. To vaskulārie audi ir labi attīstīti. Vairumam lapas ir platas. Segsēkļi aug visu veidu biotopos, arī ūdenī.

Vairošanās orgāni atrodas ziedos, kas bieži pievilina apputeksnētājus. Barība ir balva, ko apputeksnētāji saņem par saviem pakalpojumiem. Daži dzīvnieki ēd putekšņus, tomēr daudzi pārtiek no nektāra, ko izdala īpaši dziedzeri, kurus sauc par nektārijiem. Tie ir paslēpti dziļi ziedā. Pēc apaugļošanās auglenīcās esošie sēklaizmetņi izveido augļus. Tā segsēkļi veido segtas sēklas. Augļi bieži piedalās sēklu izplatīšanā.

Segsēkļi ir ziedaugi. Zieds pievilina dzīvniekus (piemēram, kukaiņus), nodrošinot apputeksnēšanos. Tas veido sēklas, kas ietvertas auglī, kurš veicina to izplatīšanos.

Pārskats

Pirmajiem augiem, kas iekaroja sauszemi, nebija jāsacenšas par dzīvesvietu un resursiem. Evolūcijas gaitā tie pielāgojās sauszemes apstākļiem un ūdens zaudēšanai (izžūšanai). Mūsdienās augi bez vadaudiem kopumā ir nelieli un parasti aug mitros biotopos. Lapu sūnas var uzkrāt daudz ūdens un sausuma periodos pat pāriet miera stāvoklī. Vaskulārajiem augiem turpretim ir specializēti audi, kas vada ūdeni un barības vielas no vienas augļa daļas uz citu. To lapas ir segtas ar vaskainu kutikulu, kurā ir sīkas poras, kas atveras un aizveras, lai regulētu ūdens zudumu.

Arī vairošanās ziņā augi ir piemērojušies sauszemes apstākļiem. Lapu sūnām un papardēm veidojas vicaini spermatozoīdi, kuriem nepieciešams ūdens. Šie augi izplatās ar sporu palīdzību, kuras pārnes vējš. Sēklaugiem putekšņi aizsargā spermijus, līdz tie apaugļo olšūnu. Megagametofīti, kas veido olšūnu, un zigotas pat neatstāj sporofītu. Sēkla aizsargā sporofīta dīgli no izžūšanas, kamēr tas jaunajā vietā uzdīgst. Augu izplatīšanās ar sporām vai sēklām samazina konkurenci par resursiem.

Cilvēki augus izmanto dažādiem nolūkiem. Karbona periodā ievērojams daudzums biomasas tika nogremdēts purvos vai pārklāts ar nogulumiem. Milzīga spiediena ietekmē šis organiskais materiāls pārveidojās par fosilo kurināmo – akmeņoglēm, kas kopā ar citiem kurināmajiem nodrošina mūsu dzīvesveidu. Tāpat nedrīkst aizmirst, ka augi mūs nodrošina ar barību un skābekli – resursiem, no kuriem atkarīga biosfēras funkcionēšana mūsdienās.

Kopsavilkums

15.2. Kas ir augs?

Augi ir fotosintezējoši organismi, kas dažādi pielāgojušies dzīvei uz sauszemes. Visiem augiem raksturīga dīgļa aizsardzība no izžūšanas tā attīstības laikā. Visiem augiem dzīves ciklā ir paaudžu maiņa. Dažām augu grupām dominē gametofīts, citām – sporofīts.

15.2. Augi bez vadaudiem ir daudzveidīgi

Augiem bez vadaudiem (ķērpjiem un sūnām) nav īstu sakņu, stumbru un lapu. Sūnu dzīves ciklā dominējošā paaudze ir gametofīts. Anterīdijos veidojas spermatozoīdi, kuriem nepieciešams ūdens no ārējās vides, lai aizpeldētu līdz arhegonijos esošajām olšūnām. Pēc apaugļošanās izveidojas sporofīts, kas sastāv no piesūcekņa, kātiņa un sporu vācelītes, kurā mejozes rezultātā veidojas sporas, ko izplata vējš. Sporām dīgstot, veidojas jauni gametofīti.

15.3. Vaskulārie augi – sporaugi un sēklaugi

Vaskulārie augi radās paleozoja ēras silūra periodā. Izmirušās rinijas, iespējams, ir senie vaskulārie augi. Šiem augiem bija fotosintezējoši stumbri ar sporangijiem galotnēs, bet nebija ne lapu, ne sakņu. Visvairāk ticams, ka to dzīves cikls bijis līdzīgs mūsdienu paparžu dzīves ciklam. Diploīds sporofīts ar vaskulārajiem audiem ir paparžu dominējošā paaudze. Patstāvīgs gametofīts veido vicainus spermatozoīdus. Sēklaugu sporofīts veido heterosporas, no kurām attīstās heterogametas. Viss dzīves cikls ir saistīts ar dzīves apstākļiem uz sauszemes.

15.4. Papardes un tām radniecīgi augi ir vaskulārie sporaugi

Pie vaskulārajiem sporaugiem pieder psiloti, staipekņi, kosas un papardes. Staipekņi, kosas un papardes karbona periodā bija kokveida. Mūsdienās staipekņu un kosu daudzveidība ir neliela un to izmēri ir samērā mazi. Visiem vaskulārajiem sporaugiem ir tāds pats dzīves cikls kā papardēm.

Papardēm gametofīts (sirdsveida protallijs) ir patstāvīgs un no ūdens atkarīgs. Tā anterīdijos veidojas vicaini spermatozoīdi, bet arhegonijos – olšūnas. Pēc apaugļošanās no zigotas attīstās sporofīts, kuram ir lielas lapas. Lapu apakšpusē atrodas soras, kas sastāv no vairākiem sporangijiem, kuros mejozes rezultātā veidojas sporas, ko izplata vējš. No sporām attīstās protalliji.

Mezozoja ērā notika daudzas ģeoloģiskas pārmaiņas – veidojās Pangeja, bet pēc tam tā sadalījās atsevišķās daļās. Tas izraisīja masveida izmiršanu, paverot ceļu daudzveidīgu sēklaugu attīstībai. Kokveida sēklaugiem vaskulāro audu sekundārās augšanas rezultātā ir īpaši labi attīstītas saknes un stumbri. Sēklaugiem veidojas heterosporas, mikrogametofīti un megagametofīti. Putekšņi ir aizstājuši ārējos vicainos spermatozoīdus, un megagametofīts ir paslēpts sēklaizmetnī, no kura attīstās sēkla.

15.5. Kailsēkļiem ir kailas sēklas

Ir četri kailsēkļu (sēklaugi ar kailām sēklām) nodalījumi: labi pazīstamie skujkoki un mazāk zināmās cikadejas, ginki un gnetofīti. Skujkokiem putekšņu (vīrišķie) un sēklu (sievišķie) čiekuri rodas uz sporofīta. Putekšņu čiekura zvīņas apakšpusē atrodas divi mikrosporangiji, kuros veidojas mikrosporas; tās pārtop par mikrogametofītu jeb puteksni. Sēklu čiekura zvīņas augšpusē atrodas divi sēklaizmetņi, kuros pēc mejozes attīstās pa vienai megasporai, no kuras veidojas megagametofīts. Pēc apputeksnēšanās, kuru veic vējš, no putekšņa izaug dīgstobrs, pa kuru spermiji nokļūst līdz olšūnai. Pēc apaugļošanās no olšūnas attīstās sēkla.

15.6. Segsēkļu sēklas ir auglī

Segsēkļi (sēklaugi, kuru sēklas aizsargā auglis) ir daudzveidīgāki par citām augu grupām. To plašā izplatīšanās ir saistīta ar klimata pārmaiņām kainozoja ērā.

Mikrosporangiji attīstās zieda putekšņlapas putekšnīcās, bet megasporangiji attīstās sēklaizmetņos, kas novietoti zieda auglenīcas sēklotnē. Apputeksnējoties nobriedis mikrogametofīts (puteksnis) nokļūst uz auglenīcas, bet pa putekšņa dīgstobru spermiji nokļūst sēklaizmetņos, kas atrodas sēklotnē. Segsēkļiem raksturīga divkāršā apaugļošanās. Viens spermijs apaugļo olšūnu, bet otrs saplūst ar polāro kodolu, lai no tā veidotos endosperma – dīglim nepieciešamās barības vielas. No sēklaizmetņa attīstās sēkla, bet no sēklotnes – auglis.

Segsēkļiem ir sarežģīti vadaudi jeb vaskulārie audi, un tie aug visdažādākajos biotopos. To vairošanās orgāni atrodas ziedos. Apputeksnēšanās ar kukaiņu palīdzību palielina apaugļošanās iespējas, bet augļiem bieži veidojas palīgierīces, kas palīdz izplatīties sēklām.

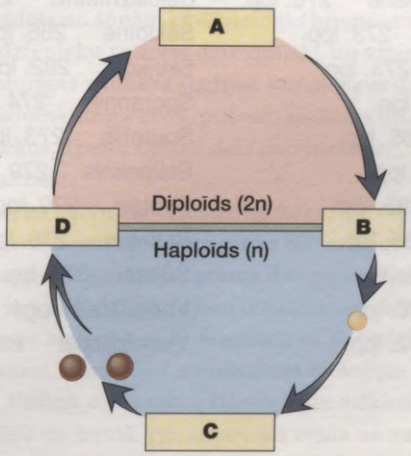
Pārbaudiet sevi

1. Kādas pazīmes raksturīgas augiem? 272.–273. lpp.
2. Kādas pazīmes kopīgas augiem, kuriem nav vadaudu? Kādas ir to trīs galvenās grupas? 273. lpp.
3. Uzzīmējiet sūnu attīstības cikla shēmu, norādot svarīgākās pazīmes! 275. lpp.
4. Kā cilvēki izmanto augus, kuriem nav vadaudu? Kā šie augi ir pielāgojušies videi? 276. lpp.
5. Kādas ir vaskulāro augu kopējās īpašības? Ar kādām pazīmēm sporaugu dzīves cikls atšķiras no sēklaugu dzīves cikla? 276., 287. lpp.
6. Kāda ir rīniju nozīme augu attīstības vēsturē? Kādi vaskulārie sporaugi sastopami mūsdienās? Raksturojiet to laika periodu Zemes vēsturē, kurā vaskulārie sporaugi bija lielāki un daudz biežāk sastopami nekā pašlaik! 278.–279. lpp.
7. Uzzīmējiet papardes dzīves cikla shēmu, uzsverot nozīmīgākās pazīmes! Kā cilvēki izmanto papardes? Kādi ir paparžu pielāgojumi videi? 180.–281. lpp.
8. Uzskaitiet un raksturojiet četrus kailsēkļu nodalījumus! 282. lpp.
9. Izveidojiet priedes dzīves cikla shēmu! Norādiet svarīgākās šā cikla pazīmes, ieskaitot tās pazīmes, ar kurām sēklaugu dzīves cikls atšķiras no vaskulāro sporaugu dzīves cikla! 283. lpp.
10. Kā cilvēki izmanto kailsēkļus? Kā kailsēkļi ir pielāgojušies videi? 285. lpp.
11. Kāda loma ziedaugu evolūcijā, iespējams, ir bijusi vabolēm un citiem kukaiņiem? 285. lpp.
12. No kādām daļām sastāv zieds? Izveidojiet ziedaugu attīstības cikla shēmu un norādiet tā svarīgākās pazīmes! 286.–288. lpp.
13. Izskaidrojiet, kāpēc ziedaugi ir dominējošā augu grupa mūsdienās! Kā cilvēki izmanto segsēkļus? Kā segsēkļi ir pielāgojušies videi? 289. lpp.

Tests

Atrodiet pareizo atbildi uz katru jautājumu!

1. Kuras no pazīmēm piemīt augiem?
   A. Daudzšūnu organismi ar specializētiem audiem un orgāniem
   B. Fotosintezējoši organismi, kas satur hlorofilu *a* un *b*
   C. Tie pasargā augošo dīgli no izžūšanas
   D. Visi apgalvojumi ir pareizi
2. Kas raksturīgs sūnu sporofītam?
   A. Zaļi, lapaini dzinumi
   B. Sirdsveida protallijs
   C. Sastāv no piesūcekņa, kātiņa un sporu vācelītes
   D. Ir dominējošā paaudze
3. Kas raksturīgs rīnijām?
   A. Mūsdienās plaši izplatīta augu grupa
   B. Lielas lapas, kas līdzīgas paparžu lapām
   C. Sporangiji zaru galos
   D. Visi apgalvojumi ir pareizi
4. Kāpēc papardes var atrast mitrās vietās?
   A. Tām ir no ūdens atkarīgs sporofīts
   B. Tām ir vicainas sporas
   C. Tām ir peldoši spermatozoīdi
   D. Visi apgalvojumi ir pareizi
5. Kurš pazīmju pāris **nav** pareizs?
   A. Puteksnis – mikrogametofīts
   B. Sēklaizmetnis – megagametofīts
   C. Sēkla – nenobriedis sporofīts
   D. Putekšņa dīgstobrs – sporas
6. Kur priedes dzīves ciklā atrodas sēklaizmetņi?
   A. Uz adatveida lapām
   B. Sēklu čiekuros
   C. Putekšņu čiekuros
   D. Visi apgalvojumi ir pareizi
7. Kuras zieda daļas funkcija **nav** pareiza?
   A. Putekšnīca – veido mikrosporangijus
   B. Auglenīca – veido putekšņus
   C. Sēklaizmetnis – veido sēklu
   D. Sēklotne – veido augli
8. Kuri augi ir galvenie akmeņogļu veidotāji?
   A. Augi bez vadaudiem
   B. Vaskulārie sporaugi
   C. Skujkoki
   D. Segsēkļi
9. Kuras no minētajām pazīmēm ir raksturīgas sēklaugiem?
   A. Sarežģīti vaskulārie audi
   B. Putekšņi aizstāj peldošus spermatozoīdus
   C. Megagametofīts neatstāj sēklaizmetni
   D. Visi apgalvojumi ir pareizi
10. Ko apzīmē katrs burts paaudžu maiņas shēmā?



Papildjautājumi

1. *Augi ir viena no galvenajām mūsdienās sastopamo organismu grupām.*
   Vai visi organismi, kas veic fotosintēzi, jāiekļauj vienā valstī? Kāpēc?
2. *Augi ir pielāgojušies dzīvei uz sauszemes.*
   Vaskulārajiem augiem ir saknes, stumbri un lapas. Kā katrs no šiem orgāniem sekmē augu pielāgošanos dzīvei uz sauszemes?
3. *Augu dzīves ciklā ir paaudžu maiņa.*
   Nosauciet, kādas priekšrocības augam dod sporofita kļūšana par dzīves cikla dominējošo paaudzi! Raksturojiet katru no tām!

Jēdzienu izpratne

Akmeņogles 277. lpp.
Aknu sūnas 274. lpp.
Anterīdijs 274. lpp.
Appute 272. lpp.
Apputeksnēšanās 282. lpp.
Apputeksnētājs 276. lpp.
Arhegonijs 274. lpp.
Atvārsnīte 276. lpp.
Augi bez vadaudiem 273. lpp.
Auglenīca 286. lpp.
Auglis 286. lpp.
Augu valsts *(Plantae)* 272. lpp.
Cikadeja 284. lpp.
Čiekurs 282. lpp.
Divdīgļlapis 286. lpp.
Drīksna 286. lpp.
Floēma jeb lūksne 276. lpp.
Gametangijs 273. lpp.
Gametofīts 273. lpp.
Ginks 284. lpp.
Gnetofīts 285. lpp.
Irbulis 291. lpp.
Kailsēklis 285. lpp.
Kokaugs 285. lpp.
Kosa 273. lpp.
Ksilēma 276. lpp.
Kutikula 272. lpp.
Kūdra 276. lpp.
Lakstaugi 284. lpp.
Megaspora 282. lpp.
Mikrospora 282. lpp.
Paparde 280. lpp.
Psilotofīts 278. lpp.
Psilots 278. lpp.
Puteksnis 282. lpp.
Putekšnīca 286. lpp.
Putekšņlapa 286. lpp.
Ragvācelīte 273. lpp.
Rizoīds 274. lpp.
Rizoms 278. lpp.
Sakne 276. lpp.
Segsēklis 285. lpp.
Sēkla 282. lpp.
Sēklaizmetnis 282. lpp.
Sēklotne 286. lpp.
Skujkoki 282. lpp.
Sporangijs 274. lpp.
Sporofīts 273. lpp.
Staipeknis 279. lpp.
Strobils 279. lpp.
Stumbrs 276. lpp.
Sūnas 274. lpp.
Vaskulārais augs 276. lpp.
Viendīgļlapis 286. lpp.

Multimediju izmantošana

Tēmu par augu valsti palīdzēs apgūt šādi multimediji.



Interneta izmantošana

Šo nodaļu jums palīdzēs apgūt Maderas mājas lapa

http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader
(Izvēlieties bioloģiju)



Dabas zinātņu videofilmas

Video #5: Plant Biology/Evolution/Ecology
Journey into a Leaf (#46)
How Water Moves Through a Plant (#47)

Atrodiet definīcijām atbilstošos jēdzienus!

A. _____ – diploīdā paaudze auga attīstības ciklā ar paaudžu maiņu; mejozes rezultātā rodas haploīdas sporas, no kurām attīstās haploīdā paaudze.
B. _____ – ziedaugu grupa; tās pārstāvjiem ir viena dīgļlapa, lapām raksturīgs paralēls dzīslojums, izkaisīti vadaudu kūlīši un citas pazīmes.
C. _____ – ziedaugu grupa; tās pārstāvjiem ir divas dīgļlapas, plūksnains lapu dzīslojums, gredzenveidā sakārtoti vadaudu kūlīši un citas pazīmes.
D. _____ – haploīdā paaudze augu dzīves ciklā ar paaudžu maiņu; tās laikā veidojas gametas, kurām saplūstot rodas zigota.
E. _____ – sēklaugu mikrogametofīts.
F. _____ – viena no kailsēkļu grupām; augi ar čiekuriem, pie kuriem pieder priede, ciedrs un egle.
G. _____ – augs, kuram nav izturīgu koksnainu audu.
H. _____ – sakņveida pavedieni, kas nostiprina augu un uzņem no augsnes ūdeni un minerālvielas.
I. _____ – vadaudi, kas vada organiskās vielas augos; tos veido sietšūnas un pavadītājšūnas.
J. _____ – vadaudi, pa kuriem augā augšup tiek vadīts ūdens un minerālvielas; tos veido trahejas un traheīdas.

Dzīvnieku valsts
Ievads bezmugurkaulnieku zooloģijā

16. NODAĻA

Nodaļas saturs

16.1. Dzīvnieku attīstība un klasifikācija

- Dzīvnieki ir heterotrofi daudzšūnu organismi, kas spēj kustēties un uzņemt barību. Katrā pieaugušu dzīvnieku šūnā ir diploidāls šūnu skaits. 294. lpp.
- Dzīvniekus klasificē pēc ķermeņa uzbūves, ķermeņa dobuma un simetrijas veida, attīstības un segmentācijas īpatnībām. 294. lpp.

16.2. Daudzšūnu dzīvnieku izcelšanās

- Sūkļiem ir šūnu attīstības līmenis, viņiem nav audu un ķermeņa simetrijas. Barību sūkļi uzņem no ūdens, kas plūst cauri viņu organismam. 296. lpp.

16.3. Audu veidošanās

- Zarndobumaiņiem un ktenoforiem ir staraini simetrisks maisveida ķermenis. Tas sastāv no diviem audu slāņiem, kas veidojas no ektodermas un entodermas. 298. lpp.
- Zarndobumaiņiem var būt divas paaudzes – polips un medūza. Polips ir bezdzimumpaaudze, bet medūza – dzimumpaaudze. 299. lpp.

16.4. Divpusējas simetrijas attīstība

- Plakantārpi un nemertīntārpi ir divpusēji simetriski dzīvnieki. Viņiem no trešās dīgļlapas – mezodermas – ir attīstījušies audi un orgāni. 302. lpp.
- Planārijas ir brīvi dzīvojoši plēsēji, bet fasciolām un lenteņiem ir parazītisks dzīvesveids. 302. lpp.

16.5. Primārā dobuma attīstība

- Veltņtārpiem un virpotājiem jau ir izveidojies ķermeņa dobums, kurā atrodas iekšējie orgāni. Tas veic arī hidroskeleta funkcijas. Tomēr mezoderma to neizklāj pilnībā, tāpēc šo dobumu sauc par primāro ķermeņa dobumu jeb pseidocelomu. 307. lpp.
- Veltņtārpi ieguvuši savu nosaukumu tāpēc, ka viņiem ir neposmots, cilindrisks (veltenisks) ķermenis. Veltņtārpu dzīvesveids ir ļoti daudzveidīgs, daudzas sugas ir parazīti. 307. lpp.



Dzeltenās zoantārijas polipi *(Parazoanthus garcillis)*

Dzīvnieki ir ārkārtīgi daudzveidīgi. Pie dzīvniekiem pieder gan tikai mikroskopā saskatāmi tārpi, gan vaļi, kas sver apmēram 150 tonnas. Visi dzīvnieki, arī cilvēks, ir heterotrofi daudzšūnu organismi, kas uzņem barību. Vairumam dzīvnieku ķermeni veido dažādi audi, bet kustības parasti nodrošina muskuļšķiedru saraušanās. Pieauguša dzīvnieka organisms vienmēr ir veidots no šūnām ar diploidālu hromosomu skaitu. Lielākā daļa dzīvnieku vairojas dzimumiski, un viņu dīgļa attīstībai raksturīgas vairākas stadijas. Runājot par dzīvniekiem, parasti mēs iedomājamies zivis, putnus, zīdītājus un citus mugurkaulniekus. Tomēr lielākā daļa dzīvnieku ir bezmugurkaulnieki.

Uzskata, ka dzīvnieki cēlušies no ūdenī dzīvojošiem vienšūnas organismiem apmēram pirms 600 miljoniem gadu vai vēl senāk. No šī senā evolūcijas posma dzīvnieku fosilijas nav saglabājušās, jo tolaik dzīvojošajiem organismiem bija mīksts ķermenis. Tomēr biologi ir spējuši ieskatīties dzīvnieku evolūcijas vēsturē, izmantojot molekulārās bioloģijas sasniegumus. Pašlaik dzīvniekus klasificē pēc atšķirībām ķermeņa uzbūvē un formā, pēc simetrijas veida un audu slāņu skaita. Šajā nodaļā tiks aplūkoti bezmugurkaulnieki, kuriem vēl nav izveidojies sekundārais ķermeņa dobums jeb celoms. Pārējie dzīvnieki tiks apskatīti nākamajās divās nodaļās.

16.1. Dzīvnieku attīstība un klasifikācija

Atšķirībā no augiem, kas ir autotrofi (fotosintezējoši) daudzšūnu organismi, dzīvnieki ir heterotrofi daudzšūnu organismi: lai iegūtu enerģiju, viņi barojas (16.1. att.). Atšķirībā no sēnēm, kas barības vielas uzsūc ar ķermeņa virsmu, dzīvnieki barību norij un sagremo ķermeņa dobumā. Dzīvniekiem ir divu veidu dzimumšūnas jeb gametas – olšūnas un spermatozoīdi, kas veidojas mejozes procesā, un tām ir haploidāls hromosomu komplekts. Dzimumšūnām saplūstot, veidojas diploidāla zigota, no kuras attīstās pieaudzis organisms. Dzīvnieku raksturīgākās pazīmes apkopotas 16.1. tabulā.

Uzskata, ka visi dzīvnieki cēlušies no seniem dzīvniekiem, kas bija līdzīgi vienšūņiem. Mūsdienās dzīvnieki tiek iedalīti apmēram 34 tipos, bet šajā nodaļā sīkāk tiks aplūkoti tikai deviņi – 16.2. attēlā redzamie nozīmīgākie un sugām bagātākie tipi. Šie tipi ietver **bezmugurkaulniekus** – dzīvniekus, kuriem nav mugurkaula. Pie hordaiņu tipa pieder arī mugurkaulnieki – dzīvnieki, kuriem ir mugurkauls. Vairums dzīvnieku (it īpaši bezmugurkaulnieki) mīt jūrās. Tur arī notikusi dzīvnieku agrīnā evolūcija. Kembrija perioda fosilijās ir pārstāvēti visi nozīmīgākie dzīvnieku tipi, tomēr ir ļoti grūti pilnībā restaurēt visu evolūcijas vēsturi, jo daudz labāk ir saglabājušās to dzīvnieku fosilijas, kurus klāja cieta čaula. Tāpēc par bezmugurkaulnieku evolūcijas gaitu spriež galvenokārt pēc dzīvnieku anatomiskās uzbūves.

Viena no pazīmēm, kas tiek izmantota dzīvnieku sistemātikā, ir ķermeņa simetrija. **Asimetrisku** dzīvnieku ķermenim nav izteiktas simetrijas. **Staraini** jeb **radiāli simetrisku** dzīvnieku ķermenim ir daudzas simetrijas plaknes – jebkurš garengriezums pa simetrijas asi to sadala vienādās daļās. **Divpusēji** jeb **bilaterāli simetrisku** dzīvnieku ķermenim ir tikai viena simetrijas plakne, kas to sadala divās vienādās daļās – labajā un kreisajā. Staraina simetrija ir sēdošiem dzīvniekiem – visu dzīvi viņi pavada, piestiprinājušies pie substrāta. Staraina simetrija ir ļoti piemērota šādam dzīvesveidam, jo dzīvniekam tā ļauj vienlīdz tālu sniegties visos virzienos. Divpusēji simetriski dzīvnieki parasti aktīvi pārvietojas.

Viens no nozīmīgākajiem procesiem dzīvnieka attīstībā ir **dīgļlapu** veidošanās. No tām vēlāk attīstās visi organisma audi. Zemāk attīstītiem dzīvniekiem, kuriem ir dikai divas dīgļlapas – ektoderma un entoderma –, ir **audu attīstības līmenis**. Tomēr vairumam dzīvnieku veidojas trīs dīgļlapas – ektoderma, entoderma un mezoderma. Šiem dzīvniekiem ir **orgānu attīstības līmenis**.

Četriem dzīvnieku tipiem, kas atrodas 16.2. attēlā redzamā evolūcijas koka lejasdaļā, nav **celoma** (gr. *koiloma* – dobums) – ķermeņa dobuma, kurā atrodas iekšējie orgāni un ko pilnībā izklāj mezoderma. Daļai šo dzīvnieku ķermeņa dobuma vispār nav, bet citiem – pseidocelomiskajiem



Hidra *(Hydra)*



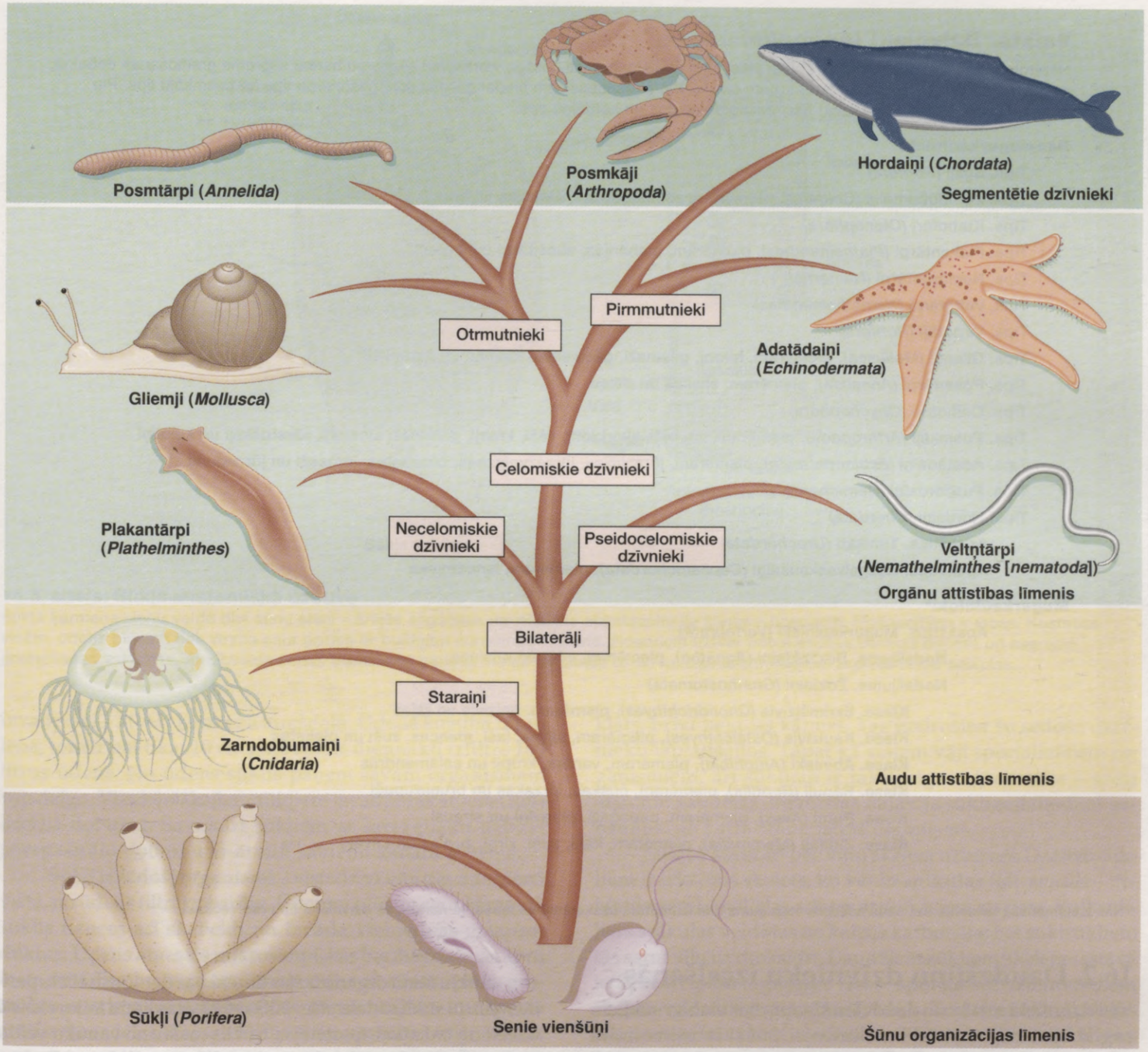
Krupis *(Bufo)*

16.1. attēls. Dzīvnieku daudzveidība
Gan hidra, gan krupis ir heterotrofi daudzšūnu organismi, kas spēj uzņemt barību

16.1. tabula

Dzīvnieku raksturīgākās pazīmes

1. Dzīvnieki ir heterotrofi organismi, kas barību norij un pēc tam sagremo.
2. Dzīvnieku kustības parasti nodrošina muskuļšķiedras.
3. Dzīvnieki ir daudzšūnu organismi, un vairumam no viņiem šūnas veido specializētus audus un orgānus.
4. Pieaudzis dzīvnieks vienmēr ir veidots no šūnām, kurās ir diploidāls hromosomu komplekts.
5. Lielākajai daļai dzīvnieku raksturīga dzimumvairošanās, kuras gaitā veidojas dīglis ar vairākām attīstības stadijām.



16.2. attēls. Dzīvnieku valsts evolūcijas (filoģenēzes) koks
Uzskata, ka visi dzīvnieki cēlušies no vienšūņiem, tomēr sūkļi ir attīstījušies pa citu evolūcijas ceļu.

dzīvniekiem – ir **primārais ķermeņa dobums** jeb **pseidoceloms**, kuru daļēji izklāj mezoderma. Mezodermas slānis no iekšpuses klāj ķermeņa sienu, bet neaptver zarnu. Evolūcijas koka divos augšējos zaros ir celomiski dzīvnieki – viņu ķermeņa dobumu mezoderma izklāj pilnībā. Celomiskos dzīvniekus pēc dīgļa attīstības veida iedala divās grupās: pirmmutniekos un otrmutniekos. Otrmutnieku dīglim pirmā izveidojusies atvere – blastopora – kļūst par anālo atveri, bet otrā atvere – par muti (sk. 17.1. att.).

Celomiskos dzīvniekus var iedalīt arī segmentētos un nesegmentētos. Segmentētie dzīvnieki ir veidoti no daudziem **segmentiem**, kam ir līdzīga uzbūve. Attīstītākiem dzīvniekiem **segmenti** jeb **posmi** ir diezgan dažādi, jo to funkcijas ir atšķirīgas.

Dzīvniekus klasificē pēc viņu ķermeņa simetrijas veida, dīgļlapu skaita, ķermeņa dobuma veida un segmentācijas.

KLASIFIKĀCIJA

Valsts. Dzīvnieki (*Animalia*)

Heterotrofi daudzšūnu organismi ar labi attīstītiem audiem; parasti kustīgi; vairākumā gadījumu barību sagremo gremošanas dobumā; sastāv no šūnām ar diploidālu hromosomu skaitu. Pie pirmmutniekiem pieder gliemju tips, posmtārpu tips un posmkāju tips. Pie otrmutniekiem pieder adatādaiņu tips, pushordaiņu tips un hordaiņu tips.

Bezmugurkaulnieki*

- Tips. Sūkļi *(Porifera)*
- Tips. Zarndobumaiņi *(Cnidaria)*, piemēram, scifomedūzas, aktīnijas un koraļļi
- Tips. Ktenofori *(Ctenophora)*
- Tips. Plakantārpi *(Plathelminthes)*, piemēram, planārijas, sūcējtārpi un lenteņi
- Tips. Nemertīntārpi *(Nemertini)*
- Tips. Veltņtārpi *(Nemathelminthes)*
- Tips. Virpotāji *(Rotifera)*
- Tips. Gliemji *(Mollusca)*, piemēram, hitoni, gliemeži, gliemenes, kalmāri un astoņkāji
- Tips. Posmtārpi *(Annelida)*, piemēram, sliekas un dēles
- Tips. Onihofori *(Onychophora)*
- Tips. Posmkāji *(Arthropoda)*, piemēram, zirnekļi, skorpioni, vēži, krabji, garneles, simtkāji, tūkstoškāji un kukaiņi
- Tips. Adatādaiņi *(Echinodermata)*, piemēram, jūraslilijas, jūraszvaigznes, čūskastes, jūraseži un jūrasgurķi
- Tips. Pushordaiņi *(Hemichordata)*
- Tips. Hordaiņi *(Chordata)*
  - Apakštips. Tunikāti *(Urochordata)*
  - Apakštips. Bezgalvaskausaiņi *(Cephalochordata)*, piemēram, lancetnieks

Mugurkaulnieki*

- Apakštips. Mugurkaulnieki *(Vertebrata)*
  - Nodalījums. Bezžokļaiņi *(Agnatha)*, piemēram, nēģi un misīnas
  - Nodalījums. Žokļaiņi *(Gnathostomata)*
    - Klase. Skrimšļzivis *(Chondrichthyes)*, piemēram, haizivis un rajas
    - Klase. Kaulzivis *(Osteichthyes)*, piemēram, siļķes, laši, mencas, zuši un plekstes
    - Klase. Abinieki *(Amphibia)*, piemēram, vardes, krupji un salamandras
    - Klase. Rāpuļi *(Reptilia)*, piemēram, čūskas, ķirzakas un bruņurupuči
    - Klase. Putni *(Aves)*, piemēram, papagaiļi, pingvīni un strausi
    - Klase. Zīdītāji *(Mammalia)*, piemēram, kaķi, suņi, zirgi, žurkas un cilvēki

* Nav sistemātiska taksona, bet šāds nosacīts iedalījums tiek izmantots uzskatāmības labad, jo norāda uz dzīvnieku tipu radniecību.

16.2. Daudzšūnu dzīvnieku izcelšanās

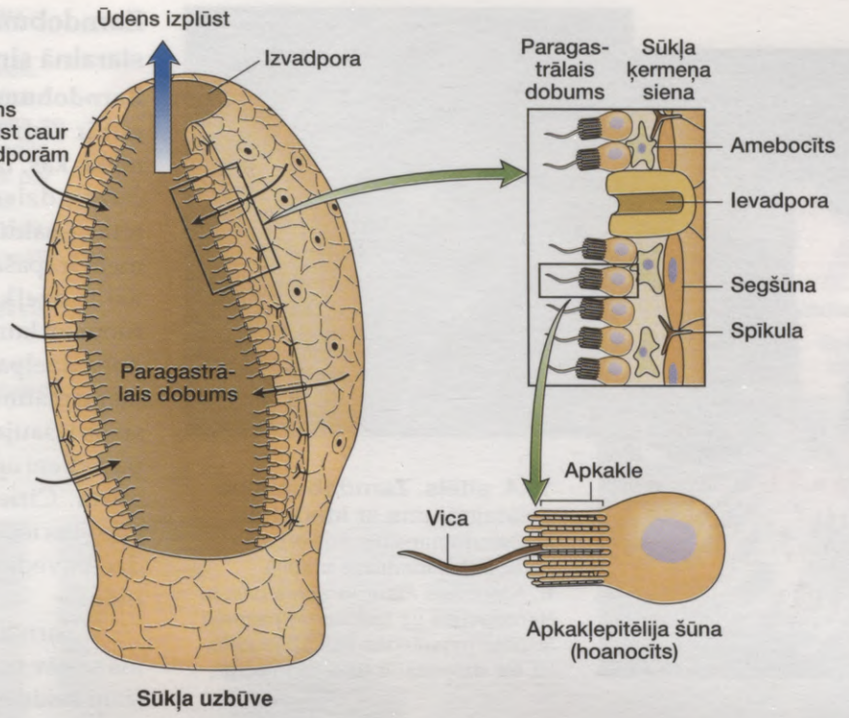
Visi dzīvnieki sastāv no daudzām šūnām, bet vienīgi sūkļiem saglabājies šūnu attīstības līmenis. Sūkļi ir asimetriski dzīvnieki, un viņiem nav audu. Tāpēc tiek uzskatīts, ka sūkļi attīstījušies citādi nekā visi pārējie dzīvnieki. Citi dzīvnieki, kas, tāpat kā sūkļi, attīstījušies no vienšūņiem, ir jau izmiruši.

Sūkļiem ir poras

Sūkļi (tips *Porifera*; 5000 sugu) ir ūdensdzīvnieki, kas mīt galvenokārt jūrās. Sastopami visdažādākā lieluma, formas un krāsas sūkļi. Viņiem ir maisveida ķermenis, kurā ir daudz poru, – arī tipa latīniskais nosaukums *Porifera* nozīmē porains.

Sūkļu šūnu organizācijas līmeni var demonstrēt eksperimentāli. Ja sūkli sadala atsevišķās šūnās, tās kādu laiku eksistē izolēti un tad atkal apvienojas. Sūklis sastāv no vairāku veidu šūnām. Ārējo (dermālo) slāni veido plakanas segšūnas. Dažām no tām ir šķiedras, kas spēj sarauties. Vidējais slānis (mezogleja) ir pussķidra viela ar kustīgām amēbveida šūnām – amebocītiem. Savukārt iekšējā (gastrālajā) slānī ir īpatnējas apkakļepitēlija šūnas ar vicām – **hoanocīti** –, kas ir ļoti līdzīgas vienšūņiem (16.3. att.). Sūklī nav ne nervu šūnu, ne kādu citu šūnu, kas saskaņotu organisma darbību. Var pat domāt, ka sūklis ir vienšūņu kolonija.

Hoanocītu vicu kustības rada ūdens plūsmu caur ievadporām iekšējā jeb paragastrālajā dobumā un tad ārā caur



16.3. attēls. Sūkļa anatomiskā uzbūve
Sūkļa ķermeņa sienu veido divi šūnu slāņi – ārējās segšūnas un iekšējās apkakļepitēlija šūnas – hoanocīti. Hoanocītiem ir vicas. Kustoties vicām, ūdens plūsma tiek virzīta caur porām ar bultiņām norādītajā virzienā. Hoanocīti uztver ūdenī esošās barības daļiņas un sagremo gremošanas vakuolās. Amēbveida šūnas transportē barības vielas no šūnas uz šūnu. Daudziem sūkļiem skeletu veido spīkulas.

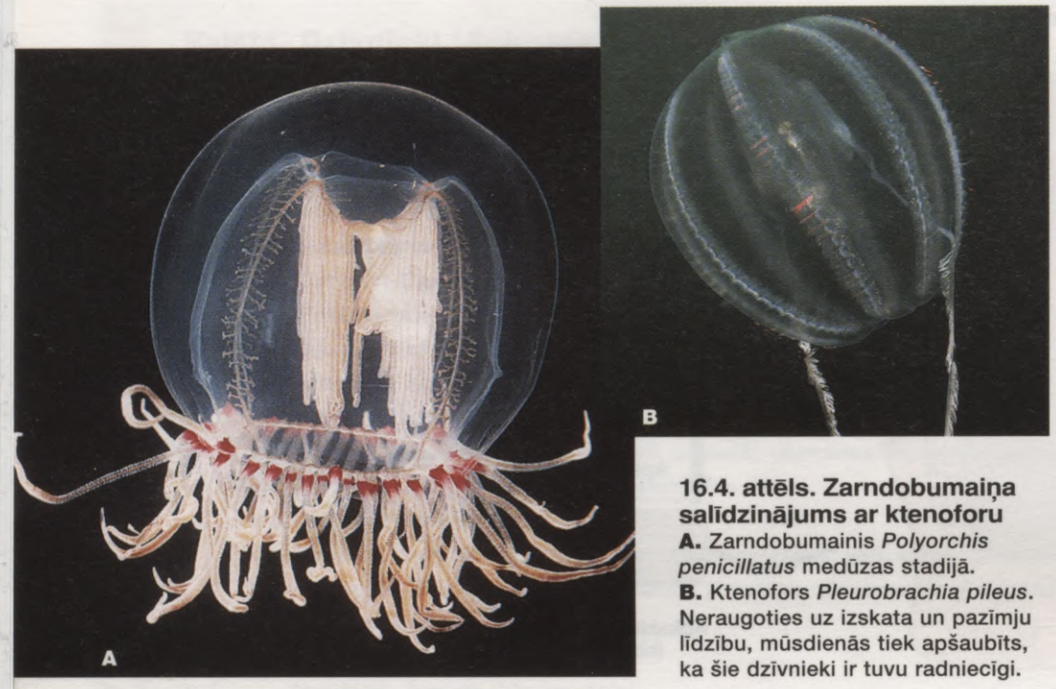
izvadporu – atveri ķermeņa augšdaļā. Ūdens kustība ir ļoti lēna, tomēr pat tikai 10 cm garš sūklis diennaktī izfiltrē 100 litrus ūdens. No ūdens sūklis paņem savam organismam vajadzīgo. Vienkāršākajiem sūkļiem ievadporas atveras tieši iekšējā dobumā. Savukārt sūkļiem ar sarežģītāku uzbūvi paragastrālo dobumu ar ārvidi savieno kanālu sistēma.

Sūkļi ir **sēdoši organismi** – visu dzīvi viņi pavada vienā vietā, no ūdens filtrējot barību. Ūdenim plūstot caur ķermeni, sūklis uzņem arī skābekli un izvada vielmaiņas galaproduktus. Ūdens atnestās mikroskopiskās barības daļiņas aprij hoanocīti. Barību sagremo amebocīti, vai arī tas notiek gremošanas vakuolās. Amebocīti no šūnas uz šūnu transportē arī barības vielas. Tajos attīstās dzimumšūnas (olšūnas un spermatozoīdi) un spīkulas.

Sūkļiem raksturīga bezdzimumvairošanās pumpurojoties – uz sūkļa ķermeņa parādās neliels izaugums, kas pakāpeniski kļūst lielāks, līdz izaug tikpat liels kā pieaudzis organisms. Sūkļiem pumpurojoties, var izveidoties lielas šo dzīvnieku kolonijas. Dzimumvairošanās laikā olšūnas un spermatozoīdi iekļūst centrālajā dobumā. Olšūnai apaugļojoties, izveidojas zigota. No tās attīstās skropstiņām klāts, brīvi peldošs kāpurs. Tas nodrošina šo sēdošo dzīvnieku izplatīšanos. Tāpat kā visiem vāji specializētiem organismiem, arī sūkļiem ir raksturīga reģenerācija – spēja atjaunot zaudētās organisma daļas. Ja sūkli sadala sīkos gabaliņos, no katra izaug jauns organisms.

Sūkļus klasificē pēc viņu skeleta uzbūves. Dažiem sūkļiem ir iekšējais skelets, ko veido **spīkulas** (lat. *spicula* – žebērkļa zars) – nelielas adatas ar 1–6 asiem stariem. Kaļķsūkļiem spīkulas veidotas no kalcija karbonāta, bet stiklsūkļiem tās satur silīcija dioksīdu. Daudziem sūkļiem skeleta sastāvā ietilpst arī īpaša organiska viela – spongīns. Dažiem sūkļiem skeletu veido tikai spongīna šķiedras. Tualetes sūkļu skeletus atbrīvo no dzīvajiem audiem un izžāvē, lai pēc tam cilvēks tos varētu izmantot mazgājoties. Tiesa, mūsdienās šādus "sūkļus" parasti gatavo no sintētiskiem materiāliem.

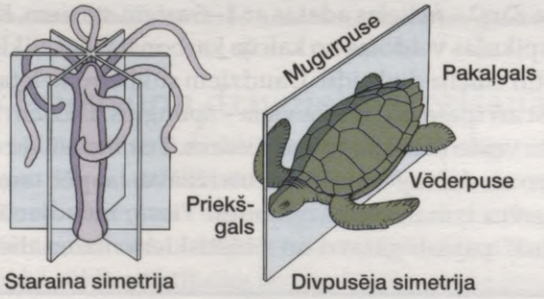
Sūkļiem nav audu. Iespējams, ka viņi attīstījušies no vienšūņiem citādi nekā pārējie dzīvnieki. Sūkļi ir vienīgie dzīvnieki, kuriem gremošana notiek tikai šūnās.



16.4. attēls. Zarndobumaiņa salīdzinājums ar ktenoforu
A. Zarndobumainis *Polyorchis penicillatus* medūzas stadijā.
B. Ktenofors *Pleurobrachia pileus*. Neraugoties uz izskata un pazīmju līdzību, mūsdienās tiek apšaubīts, ka šie dzīvnieki ir tuvu radniecīgi.

16.3. Audu veidošanās

Kā jau iepriekš minēts, dzīvnieka attīstībā iespējama trīs dīgļlapu – ektodermas, entodermas un mezodermas attīstība. Divu tipu dzīvniekiem – ktenoforiem un zarndobumaiņiem – attīstās tikai ektoderma un entoderma, tāpēc viņus dēvē par divslāņaiņiem (16.4. att.). Šo tipu dzīvniekus sauc arī par staraiņiem, jo viņiem ir **starainā simetrija**. Tas nozīmē, ka jebkurš garengriezums (tas redzams attēlā) dzīvnieku sadala divās vienādās daļās. Savukārt **divpusēji** jeb **bilaterāli simetriskiem** dzīvniekiem iespējams tikai viens garengriezums, kas viņus dala uz pusēm. Šos dzīvniekus sauc par bilaterāļiem.



Ktenofori ir nelieli, dažus centimetrus gari, caurspīdīgi, bieži vien luminiscējoši dzīvnieki. Viņu ķermeni apņem astoņas airplātnīšu rindas, ko veido kopā saplūdušas skropstiņas. Ktenoforu ķermeņa lielākā daļa sastāv no želejveida vielas – **mezoglejas** (gr. *mesos* – vidus; *gloios* – līme). Viņi ir lielākie dzīvnieki, kuri spēj pārvietoties ar skropstiņu palīdzību. Ktenofori medījumu notver ar garajiem taustekļiem vai ar visu ķermeni, ko klāj lipīgas gļotas.

Zarndobumaiņiem raksturīga starainā simetrija

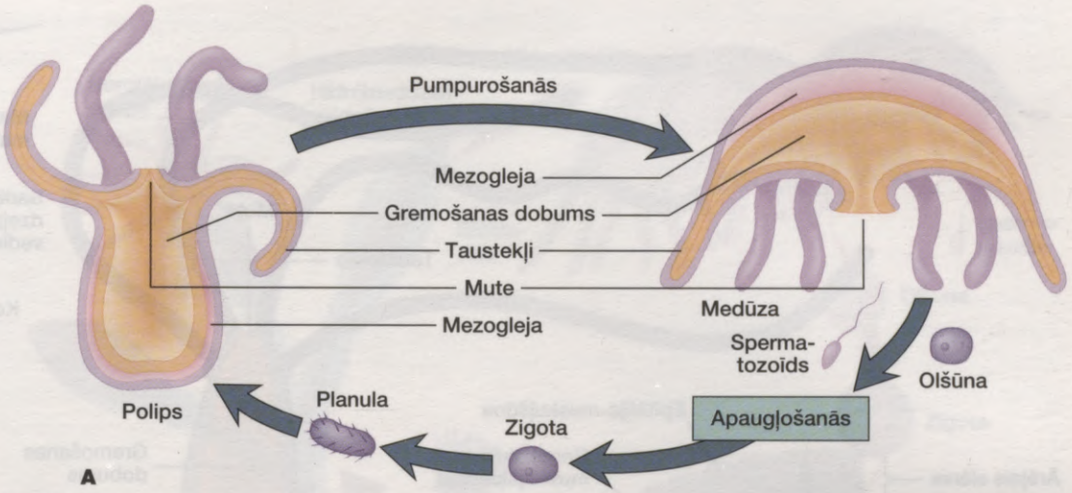
Zarndobumaiņi (tips *Cnidaria*; 9000 sugu) ir cauruļveida vai zvanveida dzīvnieki, kas, izņemot okeānā mītošās medūzas, dzīvo seklos piekrastes ūdeņos, retāk – saldūdeņos. Tikai zarndobumaiņiem ir īpašas **dzeļšūnas**. Katrai dzeļšūnai ir **dzeļkapsula**, kas pildīta ar šķidrumu un kurā ievietots garš, spirālē savīts dobs dzeļpavediens. Kad tiek aizskarts maņu matiņš dzeļšūnas galā, no dzeļkapsulas izšaujas dzeļpavediens. Daži dzeļpavedieni aptinas ap laupījumu un to sagūsta. Citiem dzeļpavedieniem ir ass gals. Tas ieduras medījumā, un caur dobo dzeļpavedienu tajā ieplūst paralizējoša inde.

Zarndobumaiņu maisveida ķermenis sastāv no diviem audu slāņiem. Ārējo slāni veido epitēlijs, kas aizsargā ķermeni un ir attīstījies no ektodermas. Iekšējais slānis ir attīstījies no entodermas. Tajā ir dziedzeršūnas, kas **gremošanas** jeb **zarnas dobumā** (no tā cēlies tipa nosaukums) izdala gremošanas sekrētu. Gremošanas dobumā tiek sagremota barība, un pa to tiek transportētas barības vielas. Abus audu slāņus atdala mezogleja. Gan ārējā, gan iekšējā slāņa šūnām pie pamatnes ir muskuļšķiedras. Tieši zem epitēlija pa visu ķermeni ir izkaisītas zvaigžņveida nervu šūnas, kas savienotas ar izaugumiem un veido **nervu tīklu**. (Atšķirībā no augstāk attīstītām nervu sistēmām nervu tīkls impulsus pārvada vienlaikus visos virzienos.) Tā kā šiem dzīvniekiem ir gan nervu šķiedras, gan muskuļšķiedras, viņi spēj kustēties, reaģējot uz kairinājumu, – zarndobumaiņu ķermenis saraujas vai izstiepjas, bet ap muti esošie taustekļi satver laupījumu.

Zarndobumaiņiem ir divas dzīves stadijas. **Polipa** stadijā dzīvnieka mute ir vērsta uz augšu, bet **medūzas** stadijā – uz leju. Medūzai parasti ir zvanveida forma. Viņai ir vairāk mezoglejas nekā polipam un taustekļi novietoti zvanu malās. Zarndobumaiņa dzīves ciklā var būt abas stadijas. Tad no sēdošā polipa pumpurojoties attīstās medūza, bet kustīgajai medūzai veidojas olšūnas un spermatozoīdi. Tā medūzas nodrošina sugas izplatīšanos. Dažiem zarndobumaiņiem viena dzīves stadija dominē. Savukārt citiem ir tikai viena dzīves stadija.

Zarndobumaiņu maisveida ķermeni veido audi, un tam ir raksturīga starainā simetrija. Dzīves cikla dažādos posmos zarndobumaiņiem var būt gan polipa, gan medūzas stadija.

16.5. attēls. Zarndobumaiņu daudzveidība
A. Zarndobumaiņu attīstības cikls. Daļai zarndobumaiņu ir gan polipa, gan medūzas stadija, citiem viena no tām dominē vai ir tikai viena stadija.
B. Aktīnijas, kuras dažkārt dēvē par jūras ziediem, ir polipi vieninieki.
C. Koraļļi ir kolonijās dzīvojoši polipi, kuru skeletu veido kalcija karbonāts vai ragvielai līdzīga viela.
D. Fizālija ir kolonija, kas sastāv no dažādiem polipiem.
E. Scifozoju klases pārstāvjiem ir abas dzīves stadijas. Attēlā redzama medūzas stadija.




B. Aktīnija *(Apitasia)*


C. Tubastreja *(Tubastrea)*


D. Fizālija *(Physalia)*


E. Aurēlija *(Aurelia)*

Zarndobumaiņu daudzveidība

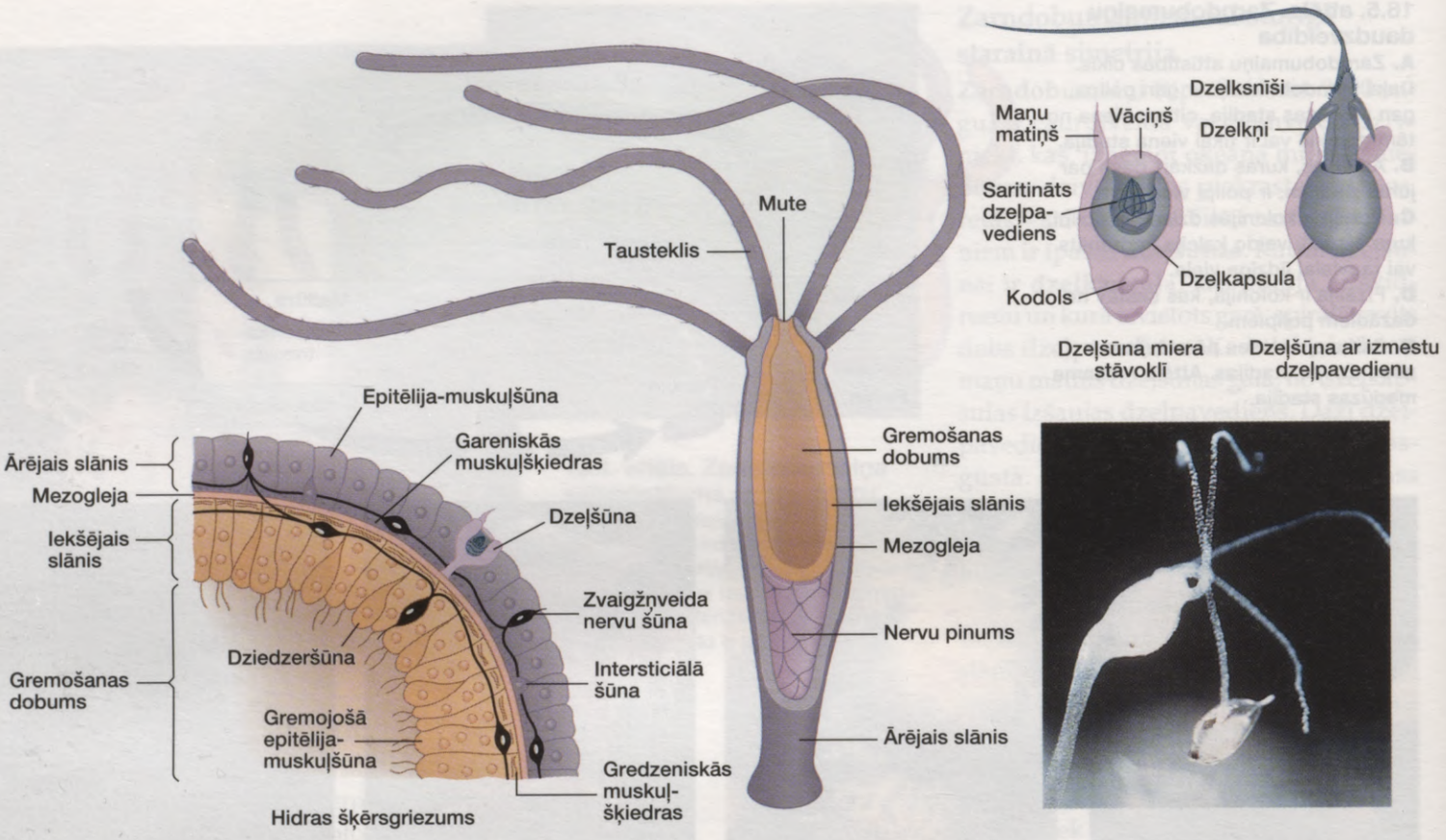
Pie koraļļu klases *(Anthozoa)* pieder aktīnijas un koraļļi (16.5. att. B un C). Aktīnijas ir polipi vieninieki. Viņas ir lielas – labi saskatāmas ar neapbruņotu aci. Vairums aktīniju ir 5–100 mm augstas un ar 5–200 mm diametru, bet dažas ir daudz lielākas. Viņas bieži ir ļoti košās krāsās un atgādina krāšņus ziedus.

Aktīnijas mutes disku apņem liels skaits dobu taustekļu. Ar tiem viņas notver dažādus bezmugurkaulniekus, bet lielākās aktīnijas – arī zivis. Aktīnijas dzīvo, piestiprinājušās pie zemūdens akmeņiem, nogrimušiem kokiem vai čaulām. Vairāku sugu aktīniju un vientuļniekvēžu attiecībām raksturīgs mutuālisms (abas sugas gūst labumu). Aktīnija dzīvo, piestiprinājusies pie vientuļniekvēža čaulas, tā viņu nomaskējot un aizsargājot. Savukārt, vēzim pārvietojoties, aktīnija var iegūt vairāk barības.

Koraļļi izskatās līdzīgi aktīnijām. Daži koraļļi ir vieninieki, tomēr vairums veido visdažādākās formas kolonijas. Visi rifus veidojošie madreporkoraļļi mīt seklos ūdeņos, jo viņu audos dzīvo mutuālistiskas aļģes. Šiem koraļļiem ir masīvs kaļķa skelets. Pakāpeniski uzkrājoties bojā gājušu koraļļu skeletiem, veidojas lieli koraļļu rifi, piemēram, Lielais Barjerrifs Austrālijas austrumu piekrastē. Koraļļu rifi ir sugām visbagātākās vietas tropiskajās jūrās – tur mīt vairāki tūkstoši visdažādāko dzīvnieku sugu.

Hidrozoju klases *(Hydrozoa)* zarndobumaiņiem dominē polipa stadija. Viens no neparastākajiem šīs klases pārstāvjiem ir **fizālija** jeb **portugāļu kuģītis**. Tā ir polipu kolonija, kas izskatās pēc dīvainas formas medūzas (16.5. att. D). Vienā polipā uzkrājas gāzes, līdz viņš kļūst par pūsli, kas koloniju notur virs ūdens. Vēlāk pumpurojoties no viņa izaug pārējie polipi, kas specializējas dažādu funkciju veikšanai. Barotājpolipiem, kas uzņem barību, ir viens garš, zarots, ar daudzām dzeļšūnām klāts tausteklis. Cilvēks, kas peldot nejauši saskaras ar fizāliju, var gūt sāpīgus, dažkārt pat dzīvībai bīstamus ievainojumus.

Scifozoju klasi *(Scyphozoa)* pārstāv zarndobumaiņi, piemēram, **aurēlija** (16.5. att. E), kuriem labāk attīstīta ir medūzas stadija, bet polips ir ļoti mazs. Šīs klases medūzas ir okeāna zooplanktona nozīmīga sastāvdaļa un barība lielākiem dzīvniekiem.



16.6. attēls. Hidras anatomiskā uzbūve

Hidra un obēlija

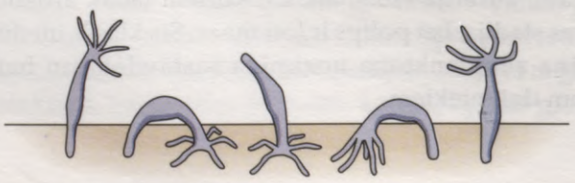
Hidras *(Hydra)* un obēlijas *(Obelia)* ir raksturīgākie hidrozoju klases pārstāvji. Hidras ir vienīnieki, bet obēlijas – kolonijās dzīvojoši dzīvnieki. Abiem šiem dzīvniekiem dzīves ciklā ir gan polipa, gan medūzas stadija.

Hidra ir polips vienīnieks

Hidras (gr. *hydra* – daudzgalvaina čūska) mīt saldūdeņos, galvenokārt ezeros un dīķos, kur viņas ir piestiprinājušās pie zemūdens augiem vai akmeņiem. Hidra ir neliels, apmēram 1 cm garš polips ar iegarenu maisveida ķermeni. Ķermeņa augšdaļā ir vienīgā atvere – mute. To apņem vairāki (6–12) taustekļi, kas klāti ar daudzām dzeļšūnām. Ķermeņa vidū ir gremošanas dobums.

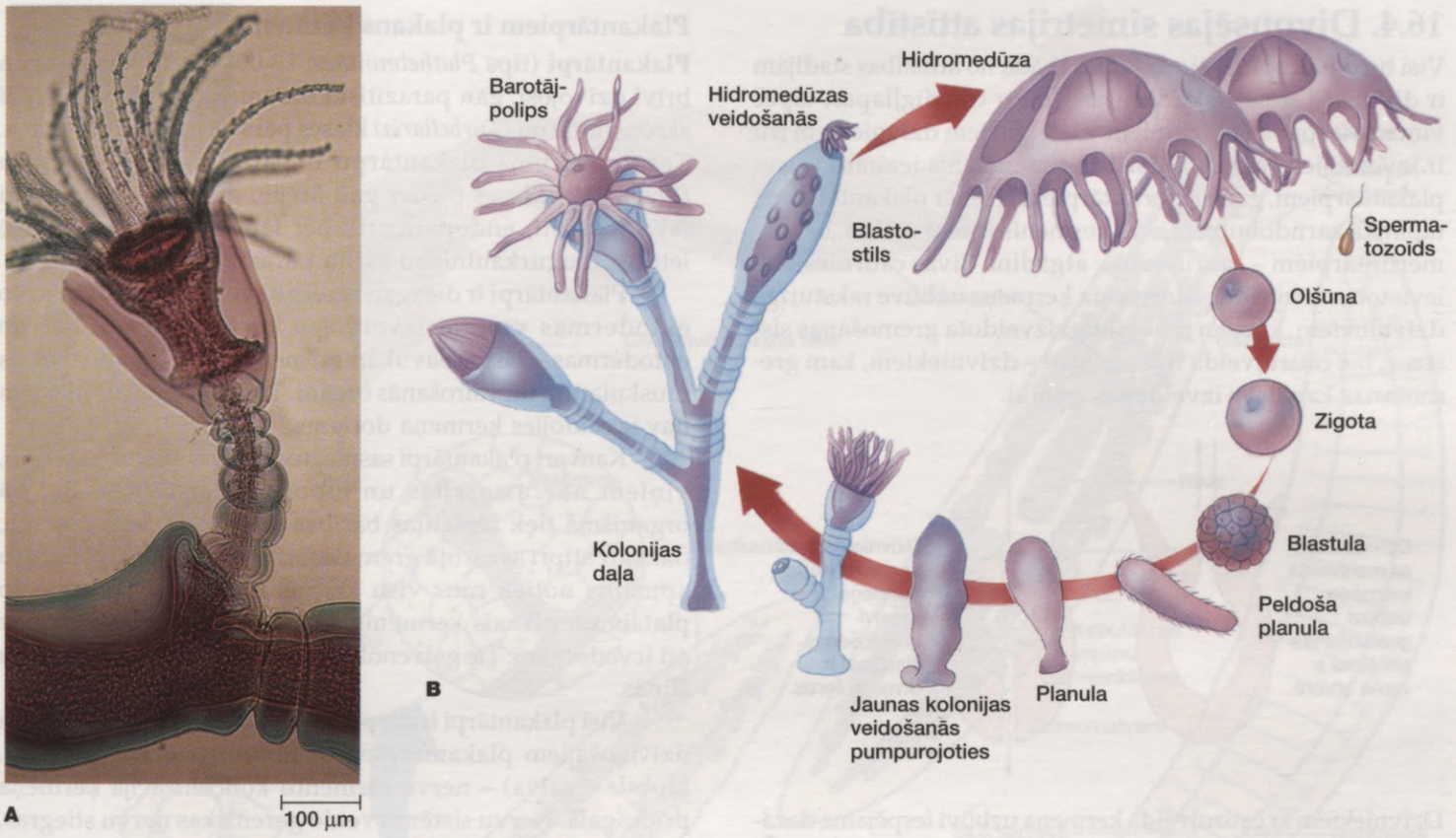
Hidra parasti uzturas vienā vietā, tomēr viņa ar pēdas palīdzību var lēni slīdēt uz priekšu vai samērā ātri pārvietoties kūleņojot.

Hidra var atbildēt arī uz kairinājumiem. Ja viņas taustekļim pieskaras ar adatu, visi taustekļi un ķermenis saraujas, bet vēlāk atkal izstiepjas. Tas liecina, ka hidrai, tāpat kā citiem dzīvniekiem, kas spēj kustēties, ir gan nervu šķiedras, gan muskuļšķiedras.



Hidras anatomiskā uzbūve redzama 16.6. attēlā. Ārējā slānī ir galvenokārt **epitēlija-muskuļšūnas**, kurās ir muskuļšķiedras, kā arī dzeļšūnas un zvaigžņveida nervu šūnas, kas savstarpēji savienotas ar gariem izaugumiem, veidojot nervu pinumu. Ārējā slānī atrodamas arī intersticiālās šūnas jeb starpšūnas, no kurām var izveidoties cita tipa šūnas. No tām veidojas dzimumšūnas un dzeļšūnas. Tās nodrošina ievērojamas reģenerācijas spējas. Tāpat kā sūkļi, arī zarndobumaiņi var atjaunoties no nelielas organisma daļas.

Iekšējā slānī ir **dziedzeršūnas**, kas gremošanas dobumā izdala gremošanas sulas. Hidra pārtiek no nelieliem dzīvniekiem, kurus nonāvē, izšaujot dzeļpavedienu. Taustekļi satver laupījumu un caur muti ievada gremošanas dobumā, kas izplešas, pielāgojoties barības lielumam. Dziedzeršūnu izdalītie fermenti sāk barības sagremošanu, bet gremošana beidzas **gremojošo epitēlija-muskuļšūnu** gremošanas vakuolās. Barības vielu molekulas difundējot nokļūst pārējās organisma šūnās. Gremojošās epitēlija-muskuļšūnas satur arī šķiedras, kas spēj sarauties un dzīvnieka ķermeni apņem gredzeniski. Tām saraujoties, ķermenis sašaurinās un kļūst garāks.



16.7. attēls. Obēlijas uzbūve un attīstības cikls
Obēlija ir kolonija, kuru veido barotājpolipi un blastostili, kas vairojas. Attīstības ciklā novērojama paaudžu maiņa. **A.** Barotājpolipa mikrofotogrāfija. **B.** Dzīves cikls.

Hidras var vairoties gan bezdzimumiski, gan dzimumiski. Vairojoties bezdzimumiski, hidras pumpurojas – veido nelielus izaugumus – pumpurus. Tie attīstās par pieaugušiem dzīvniekiem un, atdaloties no mātes organisma, pāriet uz patstāvīgu dzīvi. Vairojoties dzimumiski, spermatozoīdi apaugļo olšūnu. No tās mātes ķermenī izveidojas dīglis, ko pārklāj cieta aizsargčaula, bet pati hidra iet bojā. Izveidojas ola, kura paliek miera stāvoklī līdz piemērotiem apstākļiem, kad no tās attīstās jauna hidra.

Obēlijas kolonija

Obēlija (16.7. att.) ir polipu kolonija, ko apņem ciets organiskas vielas apvalks – tēka. Kolonijā ir divu veidu polipi. **Barotājpolipi** var izsniegties ārpus apvalka, bet, lai aizsargātos, ievilkties atpakaļ. Ar dzeļšūnām klātajiem taustekļiem viņi sagrābj laupījumu, piemēram, sīkus vēzīšus, tārpus un kāpurus, un ievada tos gremošanas dobumā. Tā kā polipu gremošanas dobumi ir savienoti, daļa sagremotās barības tiek nodota citiem kolonijas pārstāvjiem.

Kolonija palielinās, barotājpolipiem pumpurojoties. Dzimumvairošanās procesā piedalās medūza, kas veidojas pumpurojoties uz īpaša tipa polipa – **blastostila**. Daudz mazāka nekā jebkura no scifozoju klases medūzām ir **hidromedūza**. Viņas taustekļus, kas piestiprināti pie zvana malām, klāj dzeļšūnas. Ar taustekļiem hidromedūza iegūst barību un ievirza to gremošanas dobumā. Hidromedūzas nervu tīklam ir sabiezinājums, kas veido nervu gredzenu. Gar zvana malām ir izvietotas maņu šūnas, kas veido līdzsvara orgānus – statocistas – vai gaismjutīgus orgānus – actiņas.

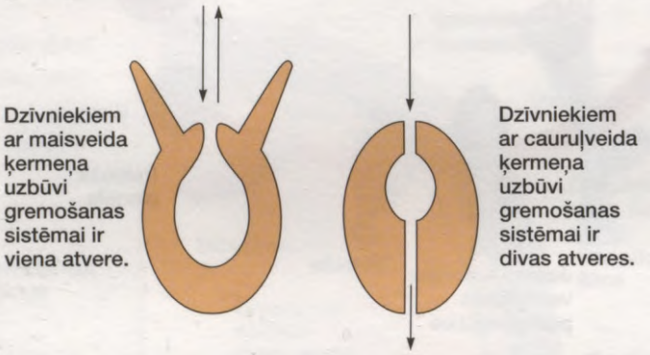
Daļa sugu ir brīvi peldošas hidromedūzas, bet citas hidromedūzas visu mūžu paliek piestiprinājušās pie kolonijas, atdalot vienīgi dzimumšūnas. No izveidojušās zigotas attīstās skropstiņām klāts kāpurs – planula. Kāpurs nosēžas uz substrāta un pārvēršas par polipu, kas aug, pumpurojas un veido jaunu koloniju.

Obēlija ir tipisks kolonijās dzīvojošo hidrozoju pārstāvis. Barošanās funkciju veic atsevišķi kolonijas īpatņi – barotājpolipi, bet vairošanās funkciju – blastostili. Obēlijas dzīves ciklā ir gan polipa, gan medūzas stadija.

Ir ļoti grūti noskaidrot staraini simetrisko zarndobumaiņu un divpusēji simetrisko dzīvnieku izcelšanās likumsakarības. Tomēr daudzi zinātnieki uzskata, ka zarndobumaiņu kāpuram (planulai) līdzīgs organisms ir bijis priekštecis gan zarndobumaiņiem, gan plakantārpiem, kas tiks aplūkoti nākamajā nodaļā. Zarndobumaiņi ir staraini simetriski dzīvnieki, kuru ķermenis attīstās no divām dīgļlapām. Plakantārpiem ir trīs dīgļlapas un divpusēja simetrija.

16.4. Divpusējas simetrijas attīstība

Visi turpmāk aplūkotie dzīvnieki kādā no attīstības stadijām ir divpusēji simetriski. Viņu dīglim ir trīs dīgļlapas, tāpēc viņus sauc par trejslāņaiņiem. Pieaugušiem dzīvniekiem jau ir izveidojies **orgānu attīstības līmenis**. Šīs iezīmes ir gan plakantārpiem, gan nemertīntārpiem. Tomēr plakantārpiem, tāpat kā zarndobumaiņiem, ķermenis ir **maisveida**, bet nemertīntārpiem – **cauruļveida**: atgādina divas caurules, kas ievietotas viena otrā. Maisveida ķermeņa uzbūve raksturīga dzīvniekiem, kuriem ir nepilnīgi izveidota gremošanas sistēma, bet cauruļveida tipa uzbūve – dzīvniekiem, kam gremošanas kanāls ir izveidojies pilnīgi.



Dzīvniekiem ar cauruļveida ķermeņa uzbūvi iespējama dažādu ķermeņa daļu specializācija.

Nemertīntārpi (tips *Nemertea*, 650 sugu) dzīvo galvenokārt jūrās. Viņiem ir īpatnējs snuķis – gara, doba caurule, kas spēj saritināties speciālā makstī (16.8. att.). Makstij saraujoties, snuķis tiek izstumts caur atveri, kas atrodas virs mutes. Nemertīntārpi snuķi izmanto, lai notvertu medījumu, kā arī lai aizsargātos, pārvietotos un ieraktos. Tāpat kā plakantārpiem, arī nemertīntārpiem nav ķermeņa dobuma.



16.8. attēls. Nemertīntārps *(Amphiporus)* uz milzīgas brūnaļģes *(Nacrocystis)*
Tāpat kā plakantārpiem, arī nemertīntārpiem ir divpusēja simetrija, trīs dīgļlapas un orgānu attīstības līmenis. Viņiem ir pilnīgi izveidojusies gremošanas sistēma. Attēlā redzamajam dzīvniekam snuķis ir daļēji izbīdīts.

Plakantārpiem ir plakans ķermenis

Plakantārpi (tips *Plathelminthes*; 13 000 sugu) var būt gan brīvi dzīvojoši, gan parazītiski dzīvnieki. Planārija un citi skropstiņtārpu *(Turbellaria)* klases pārstāvji mīt saldūdeņos. Tomēr vairums plakantārpu ir parazīti. Pie sūcējtārpu *(Trematoda)* klases pieder gan ārējie, gan iekšējie parazīti (ektoparazīti, endoparazīti), bet lenteņu *(Cestoda)* klasē ietilpst mugurkaulnieku zarnu parazīti.

Plakantārpi ir diezgan sarežģīti veidoti organismi. No ektodermas viņiem izveidojas ķermeņa sega, bet no entodermas – zarna. Savukārt no mezodermas ir attīstījusies muskulatūra un vairošanās orgāni. Tomēr šiem dzīvniekiem nav izveidojies ķermeņa dobums.

Kaut arī plakantārpi sasnieguši orgānu attīstības līmeni, viņiem nav asinsrites un elpošanas sistēmas. Bet kā organismā tiek izplatītas barības vielas? Šo funkciju veic dažkārt stipri sazarotā gremošanas sistēma. Savukārt gāzu apmaiņa notiek caur visu ķermeņa virsmu. To atvieglo platais un plānais ķermenis. Daudziem plakantārpiem ir arī izvadorgāni. Tie galvenokārt regulē osmotisko spiedienu šūnās.

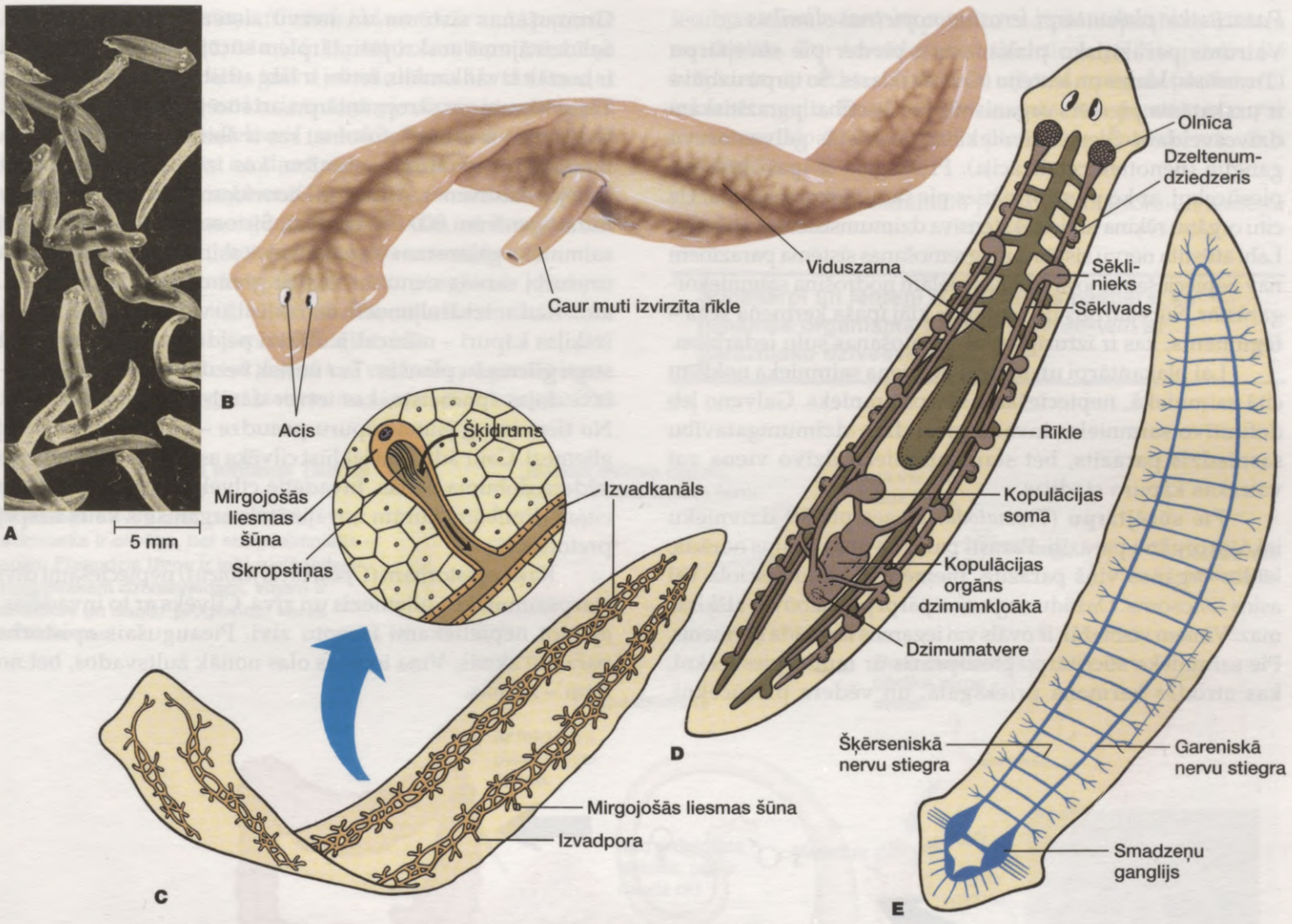
Visi plakantārpi ir **divpusēji simetriski** dzīvnieki. Brīvi dzīvojošajiem plakantārpiem ir notikusi **cefalizācija** (gr. *kaphale* – galva) – nervu elementu koncentrācija ķermeņa priekšgalā. Nervu sistēmu veido gareniskas nervu stiegras, kas savienotas ar gredzeniskām šķērsstiegrām, tā iegūstot regulāra režģa formu. Šādu nervu sistēmas uzbūves tipu sauc par **ortogonu**. Ķermeņa priekšgalā ir izveidojušies pāra nervu mezgli – smadzeņu gangliji. Kairinājumus uztver maņu šūnas, kas izvietotas ķermeņa sienā.

Plakantārpiem ir divpusēji simetrisks maisveida ķermenis. Viņiem izveidojušās trīs dīgļlapas un sasniegts orgānu attīstības līmenis. Plakantārpiem raksturīga arī cefalizācija.

Planārijas ir brīvi dzīvojoši plakantārpi

Pie skropstiņtārpu jeb turbelāriju klases pieder saldūdeņos dzīvojošās planārijas, piemēram, *Dugesia*. Šīs planārijas ir nelieli, tikai dažus milimetrus vai centimetrus gari tārpi ar lapveida ķermeni. Viņu āda parasti ir klāta ar brūniem vai melniem plankumiem (16.9. att.). Šīs planārijas mīt ezeros, dīķos un upēs, kur barojas ar sīkiem organismiem vai dzīvo organismu atliekām.

Planāriju galva atgādina neasu bultu. Tās sānos ir nelieli **taustekļi**, kas darbojas kā taustes orgāni. Ar tiem planārijas meklē barību vai sajūt ienaidnieka tuvošanos. Uz galvas ir divas gaismjutīgas acis, kuras īpatnējās uzbūves dēļ sauc par apvērstām acīm. Galvā ir smadzeņu gangliji, ko savieno nervu stiegras. Planārijai ir trīs gludās muskulatūras slāņi. Ārējā ir gredzeniskā muskulatūra, iekšējā – gareniskā muskulatūra. Ir arī diagonālā muskulatūra, kas nodrošina



16.9. attēls. Planārijas anatomiskā uzbūve
A. Fotogrāfijā redzams, ka *Dugesia* plakantārpi ir divpusēji simetriski. Viņiem ir labi saskatāma galva ar acīm. **B.** Attēlā redzama izvirzīta rīkle. Caur to barība tiek iesūkta sazarotajā zarnā un sadalīta pa visu organismu. **C.** Izvadsistēma ar mirgojošās liesmas šūnām. **D.** Dzimumsistēma sastāv gan no vīrišķajiem, gan sievišķajiem dzimumorgāniem. Gremošanas sistēmai ir tikai viena atvere. **E.** Nervu sistēma veido regulāru režģi.

kustību daudzveidību. Kustības veicina arī skropstiņas, kas klāj gan sānu, gan vēdera virsmu. Planāriju ķermeņa segā ir daudz dziedzeršūnu, kuras, dzīvniekam kustoties, uz ķermeņa virsmas izdala biezas gļotas.

Planārija medījumu notver, apvijoties tam apkārt, sagūstot ar gļotu palīdzību vai piepiežot pie substrāta. Tad viņa izvirza muskuļoto rīkli un barību izsūc. Barība no rīkles iekļūst trīszarainā zarnā, kur tiek daļēji sagremota. Barības sagremošanā, līdzīgi kā tas notiek zarndobumaiņiem, liela nozīme ir arī gremošanai šūnās.

Saldūdeņos dzīvojošajām *Dugesia* ir labi attīstīta izvadsistēma. Tās galvenais uzdevums ir regulēt ķermeņa osmotisko spiedienu, no organisma izvadot lieko ūdeni. Izvadsistēmu veido kanāli, kuru viens gals atveras ārvidē. Otrs kanāla gals sazarojas daudzos sīkos kanāliņos, kas stiepjas pa visu ķermeni. Katru kanāliņu noslēdz zvaigžņveida šūna ar skropstiņu pušķi. Skropstiņām kustoties, ūdens tiek dzīts kanāliņos un pa izvadporām izvadīts ārvidē. Skropstiņas nepārtraukti kustas, atgādinot plīvojošu liesmu, tāpēc skropstiņu pušķi mēdz saukt par mirgojošo liesmu.

Panārijas var vairoties bezdzimumiski, daloties šķērseniski. Aiz rīkles izveidojas iežmauga, planārija pārdalās uz pusēm, un no katras puses izaug jauns dzīvnieks. Tā kā planārijām ir lielas reģenerācijas spējas, šos dzīvniekus izmanto organismu attīstības pētīšanā. Planārijas vairojas arī dzimumiski. Viņas ir **hermafrodīti** – vienam īpatnim ir gan vīrišķie, gan sievišķie dzimumorgāni. Šiem tārpiem apaugļošana notiek, kad viens dzīvnieks savu vīrišķo kopulācijas orgānu ievada otra dzīvnieka dzimumkloākā. Pēc apaugļošanās olšūnas apņem apvalks. No šī kokona pēc dažām nedēļām izšķiļas sīki tārpi.

Brīvi dzīvojošās planārijas ir raksturīgs piemērs plakantārpu divpusējai simetrijai un orgānu, arī nervu sistēmas un muskulatūras attīstībai.

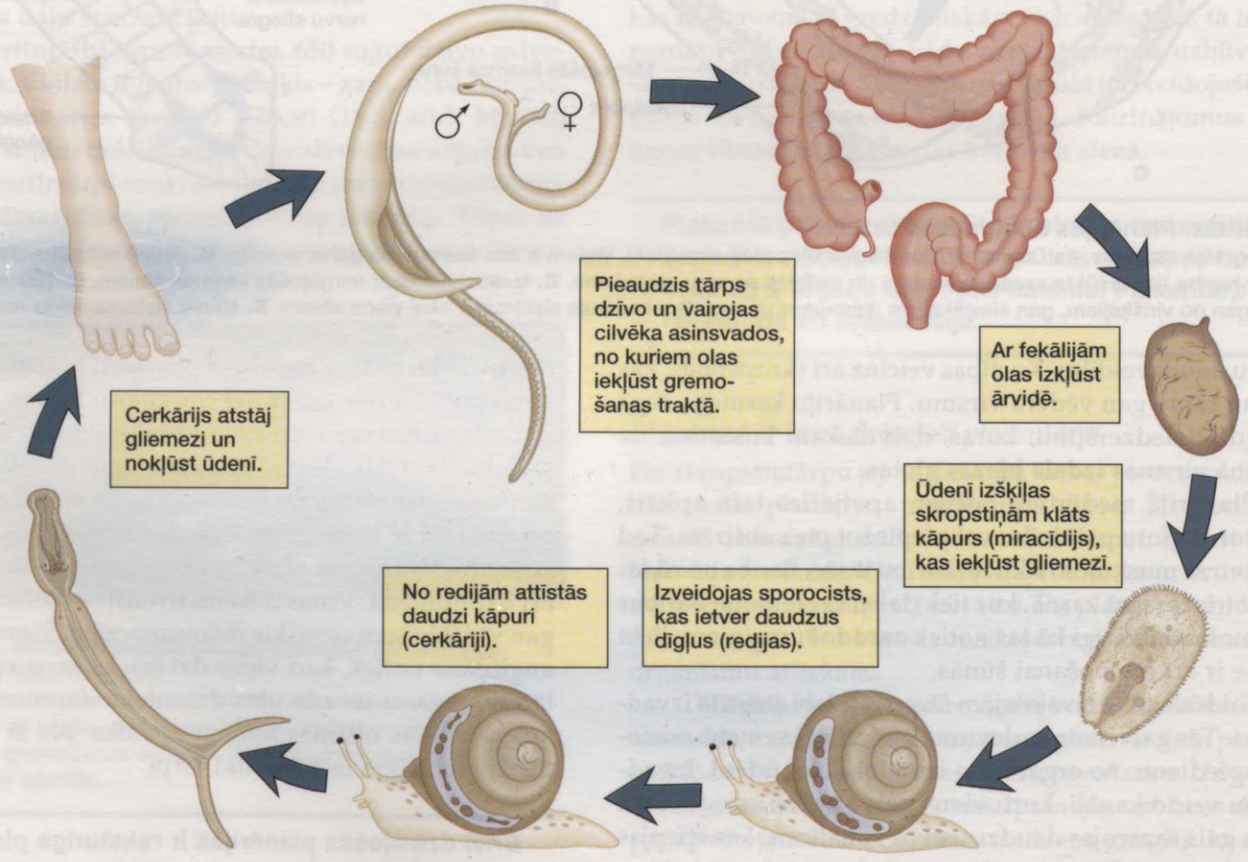
Parazītiskie plakantārpi ierosina nopietnas slimības

Vairums parazītisko plakantārpu pieder pie sūcējtārpu *(Trematoda)* klases un lenteņu *(Cestoda)* klases. Šo tārpu uzbūve ir uzskatāms piemērs organismu pielāgotībai parazītiskam dzīvesveidam. Šiem dzīvniekiem neattīstās galvas nervu gangliji (nenotiek cefalizācija). Priekšgalā ir īpaši kāši vai piesūcekņi, ar ko piestiprināties pie saimniekorganisma. Uz citu orgānu rēķina notiek ekstensīva dzimumsistēmas attīstība. Labi attīstīta nervu sistēma un gremošanas sistēma parazītiem nav nepieciešama, jo ar barības vielām nodrošina saimniekorganisms. Sūcējtārpus un lenteņus klāj īpaša ķermeņa sega – **teguments**, kas ir izturīgs pret gremošanas sulu iedarbību.

Lai plakantārpi un lenteņi no viena saimnieka nokļūtu citā saimniekā, nepieciešams starpsaimnieks. Galveno jeb definitīvo saimnieku invadē pieaudzis, dzimumgatavību sasniedzis parazīts, bet starpsaimniekā dzīvo viena vai vairākas kāpura stadijas.

Pie **sūcējtārpu** *(Trematoda)* klases pieder dzīvnieku iekšējo orgānu parazīti. Parasti parazīta nosaukums norāda, kādos orgānos viņš parazitē, piemēram, aknu fasciola vai asins šistosoma. Dažādu sugu sūcējtārpi pēc uzbūves atšķiras maz. Viņiem visbiežāk ir ovāls vai iegarens lapveida ķermenis. Pie saimnieka sūcējtārps piestiprinās ar mutes piesūcekni, kas atrodas ķermeņa priekšgalā, un vēdera piesūcekni. Gremošanas sistēma un nervu sistēma ir reducējusies. Salīdzinājumā ar skropstiņtārpiem sūcējtārpu izvadsistēmai ir mazāk izvadkanālu, toties ir labi attīstīta dzimumsistēma. Tāpat kā vairums skropstiņtārpu, arī sūcējtārpi ir hermafrodīti. Izņēmums ir asins šistosoma, kas ir šķirtdzimumiska. Viņa izraisa **šitosomatozi** – slimību, kas izplatīta galvenokārt Vidējos Austrumos, Āfrikā un Dienvidamerikā. No tās ik gadu mirst apmēram 800 000 cilvēku. Šistosomas mātīte olas dēj saimnieka galazarnas sienas sīkajos asinsvados. Olas lēnām caururbj zarnas sienu un iekļūst gremošanas traktā (16.10. att.). Kad ar izkārnījumiem tās izkļūst ārvidē un nonāk ūdenī, izšķiļas kāpuri – miracīdiji. Aktīvi peldot, viņi iekļūst dažu sugu gliemežu plaušās. Tur notiek bezdzimumvairošanās – izveidojas **sporocists**, kas ietver daudzus dīgļus – redijas. No tiem izaug jauna kāpuru paaudze – cerkāriji, kas atstāj gliemezi. Caur ādu viņi iekļūst cilvēka asinīs un tālāk attīstās vēdera dobuma vēnās. Invadētie cilvēki nereti nomirst no citām slimībām, kurām novājinātais organisms vairs nespēj pretoties.

Kaķa opistorham *(Opisthorcis felineus)* nepieciešami divi starpsaimnieki – gliemezis un zivs. Cilvēks ar to invadējas, apēdot nepietiekami izceptu zivi. Pieaugušais opistorhs parazitē aknās. Viņa iedētās olas nonāk žultsvados, bet no tiem – zarnās.



16.10. attēls. Šistosomatoze

Šī slimība, kuru izraisa asins šistosoma, ir plaši izplatīta Ēģiptē, it īpaši pēc Asuānas hidroelektrostacijas uzbūvēšanas. Irigācijas kanālos stāvošais ūdens un antisanitārie apstākļi veicina parazītu izplatīšanos.

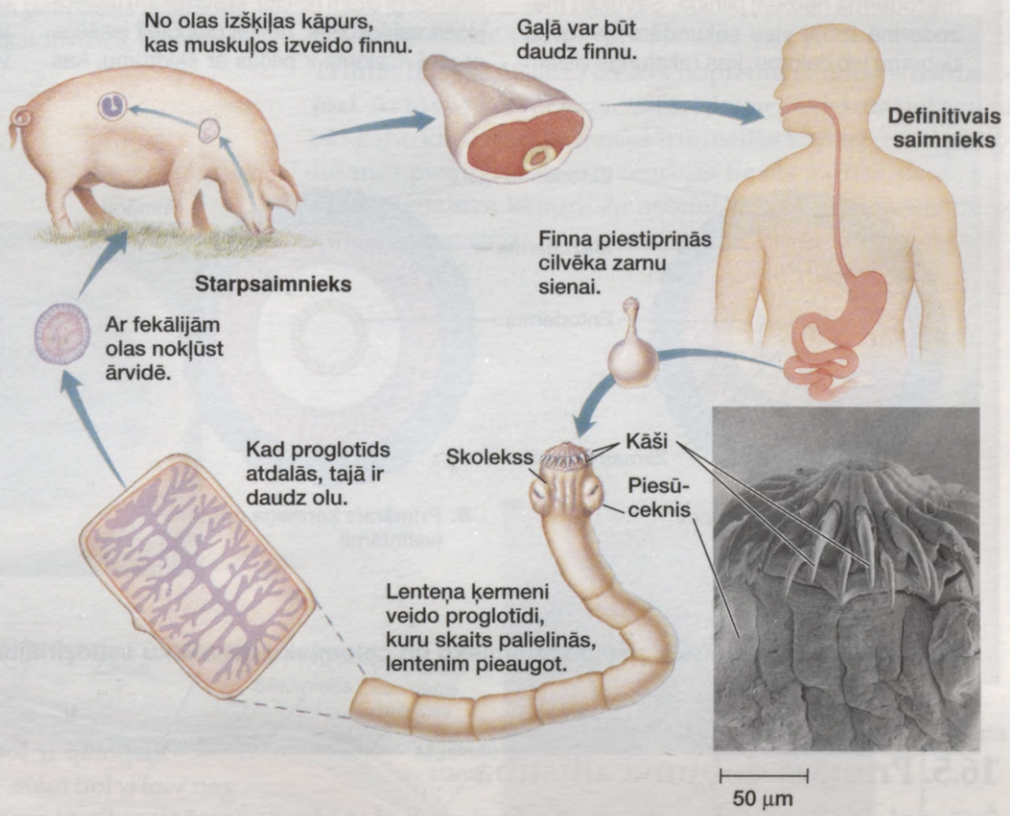
Pieaugušie **lenteņu** *(Cestoda)* klases dzīvnieki parazitē mugurkaulnieku zarnās (16.11. att.). Lenteņu ķermeņa priekšgals veido nelielu galvu jeb **skoleksu**. Uz tās atrodas kāši un piesūcekņi, ar kuriem viņi piestiprinās saimnieka zarnas sienai. Aiz skoleksa ir īss kakls, bet aiz tā – lentveida ķermenis, kas sastāv no daudziem savirknētiem proglotīdiem. **Proglotīdi** ir segmenti, kuros ir galvenokārt vīrišķie un sievišķie dzimumorgāni. Tajos atrodas arī izvadkanāli un nervu rudimenti, bet nav gremošanas orgānu.

Pēc apaugļošanās orgāni izzūd un proglotīds kļūst par apaugļotām olām pildītu maisu. Tas atdalās no dzīvnieka ķermeņa un ar fekālijām nokļūst ārvidē.

Ja ola ar barību iekļūst cūkas vai liellopa gremošanas traktā, olas apvalks izšķīst un no tās izkļūst kāpurs. Tas ieurbjas zarnas sienā un pa asinsvadiem aizpeld līdz kādam muskulim. Tur izveidojas ar šķidrumu pildīts pūslis, ko klāj ciets apvalks – **finna**. Ja cilvēks apēd nepietiekami izkarsētu gaļu, finna nokļūst zarnās, kur piestiprinās pie to sienas. No finnas attīstās pieaudzis lentenis, un cikls sākas no jauna.

16.2. tabulā salīdzināta planāriju, fasciolu un lenteņu uzbūve.

Sūcējtārpi un lenteņi ir raksturīgs piemērs, kā izmaiņās organisma uzbūve dzīvniekiem ar parazītisku dzīvesveidu.



16.11. attēls. Cūkas lenteņa *Taenia solium* dzīves cikls
Šī lenteņa dzīves ciklā definitīvais saimnieks ir cilvēks, bet starpsaimnieks – cūka. Pieaudzis tārps ir labi pielāgojies parazītiskam dzīvesveidam. Viņam ir skolekss un daudz proglotīdu, kuros attīstās olas.

16.2. tabula

Brīvi dzīvojošo plakantārpu salīdzinājums ar parazītiskajiem plakantārpiem

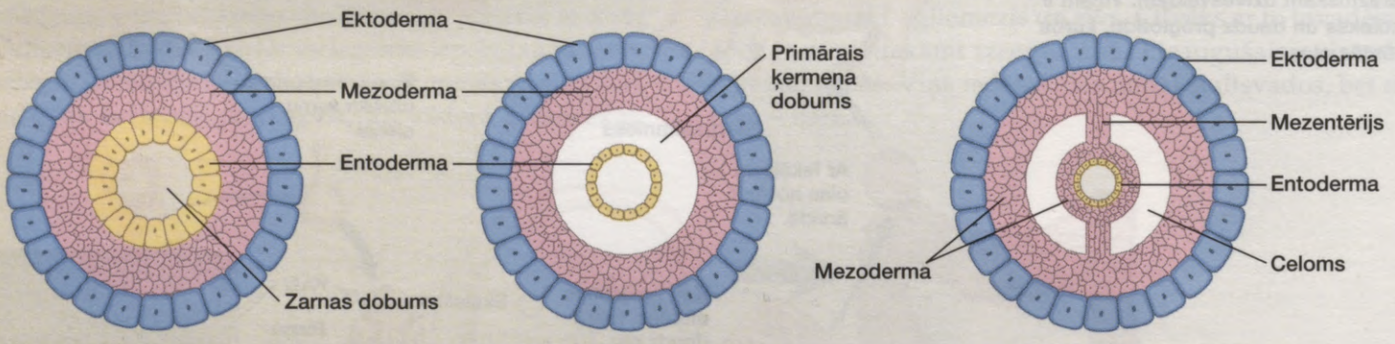
	Brīvi dzīvojošie	Parazītiskie	
	Planārijas	*Fasciolas*	*Lenteņi*
Ķermeņa sega	Skropstiņepitēlijs	Teguments	Teguments
Cefalizācija	Ir acis un taustekļi	Ir mutes piesūceknis	Ir skolekss ar kāšiem un piesūcekņiem
Nervu sistēma	Nervi un smadzeņu gangliji	Reducēta	Reducēta
Gremošanas sistēma	Sazarota	Reducēta	Nav
Dzimumsistēma	Hermafrodītiska	Palielināta apjoma	Ārkārtīgi attīstīta
Kāpurs	Nav	Ir	Ir

Uzziniet tuvāk

▶ Ķermeņa dobuma veidi

Vairumam dzīvnieku ir ķermeņa dobums, kurā atrodas gremošanas orgāni un citas orgānu sistēmas. Plakantārpiem ķermeņa dobuma nav (16.A att. A), tāpēc mezoderma veido nepārtrauktu slāni starp ektodermu un entodermu. Veltņtārpiem ir primārais ķermeņa dobums, kurā iekšējie orgāni nav nostiprināti. Acīmredzami šāda uzbūve ierobežo ķermeņa lielumu, tāpēc visi šie tārpi ir diezgan mazi. Pseidocelomiskajiem dzīvniekiem primāro ķermeņa dobumu mezoderma neizklāj pilnībā. Savukārt mezoderma izklāj visu sekundāro ķermeņa dobumu jeb celomu, kas raksturīgs visiem celomiskajiem dzīvniekiem. Iekšējos orgānus apņem mezoderma. Tos nostiprina mezodermas starpsienas – mezentērijs. Zarnu apņem muskuļi (muskuļi veidojas no mezodermas), tāpēc tās daļas diferencējas, kas nav raksturīgi pseidocelomiskajiem dzīvniekiem. Celomiskajiem dzīvniekiem (viņi tiks aplūkoti vēlāk) iekšējie orgāni ir sarežģītāki.

Celomam ir vēl citas priekšrocības. Tas ļauj orgāniem un ķermeņa sienai kustēties neatkarīgi citam no cita. Dzīvniekam izstiepjoties vai lokoties, netiek piepūlēti iekšējie orgāni. Celoms ir pildīts ar šķidrumu, kas balsta un aizsargā iekšējos orgānus. Daļai dzīvnieku celoms kalpo dažādu vielu, piemēram, vielmaiņas galaprodukta transportam. Citiem šīs funkcijas pārņem asinsrites sistēma. Celomā var atrasties arī dzimumšūnas, kuras pēc tam aizplūst tālāk pa dzimumvadiem. Necelomiskajiem dzīvniekiem (zarndobumaiņiem un plakantārpiem) hidroskeleta funkcijas var veikt arī zarnas dobums, bet celomiskajiem dzīvniekiem, kuriem nav cieta ārējā vai iekšējā skeleta, – celoms. Tas nodrošina ķermeņa spraigumu un elastību, ļauj mainīt ķermeņa formu un veikt dažādas kustības.



A. Ķermeņa dobuma nav (plakantārpi)

B. Primārais ķermeņa dobums (veltņtārpi)

C. Celoms (gliemji, posmtārpi, posmkāji, adatādaiņi, hordaiņi)

16.A. attēls. Necelomisko, pseidocelomisko un celomisko dzīvnieku salīdzinājums

16.5. Primārā dobuma attīstība

Šajā nodaļā tiks aplūkoti dzīvnieki, kuriem ir dažāda ķermeņa dobuma attīstības pakāpe un noskaidrots, kādā veidā ķermeņa dobums izpilda arī **hidroskeleta** funkcijas. **Primāro ķermeņa dobumu** jeb **pseidocelomu** (gr. *pseudes* – neīsts, viltots; *koiloma* – dobums) mezoderma neizklāj pilnībā – tā sedz tikai ķermeņa sienu, bet neapņem zarnu. Primārais ķermeņa dobums ir veltņtārpiem *(Nemathelminthes)* un virpotājiem *(Rotifera*, 2000 sugu). Tāpat kā nemertīntārpiem, arī viņiem ir cauruļveida ķermeņa uzbūve – cauri visam ķermenim stiepjas gremošanas trakts.

Virpotāji ir ļoti sīki saldūdeņos mītoši dzīvnieki. Lai gan viņi ir ļoti mazi, tomēr virpotāji ir daudzšūņi ar iekšējiem orgāniem. Savu nosaukumu viņi ieguvuši tāpēc, ka priekšgalā ir skropstiņu sakopojums (virpotājaparāts), kura kustības atgādina riteņa griešanos. Virpotājaparāts nodrošina gan dzīvnieka kustības ūdenī, gan ievirza barību mutē.

Pseidocelomiskajiem dzīvniekiem (veltņtārpiem un virpotājiem) ir izveidojies primārais ķermeņa dobums, kuru mezoderma neizklāj pilnībā. Primārajā ķermeņa dobumā atrodas iekšējie orgāni, un tas veic arī hidroskeleta funkcijas.

Veltņtārpiem nav posmojuma

Veltņtārpiem (tips *Nemathelminthes*; 500 000 sugu) ir gluds, neposmots, šķērsgriezumā apaļš ķermenis. Šie parasti bezkrāsainie tārpi sastopami gandrīz visur – jūrās, saldūdeņos un augsnē. Turklāt veltņtārpi (galvenokārt nematodes) veido lielāko daļu augsnes iemītnieku. Daži no viņiem ir plēsēji, kuriem izveidojušies zobi (kutikulāri izaugumi) un citi mutes orgāni, bet vairums ir maitēdāji vai parazīti. Daudzi no parazītiskajiem veltņtārpiem, piemēram, spalīši, kinorinhi un trihinellas, ir sīki un grūti saskatāmi. Daudz lielāka ir cērme, kuru kā raksturīgu šī tipa pārstāvi aplūkosim sīkāk.

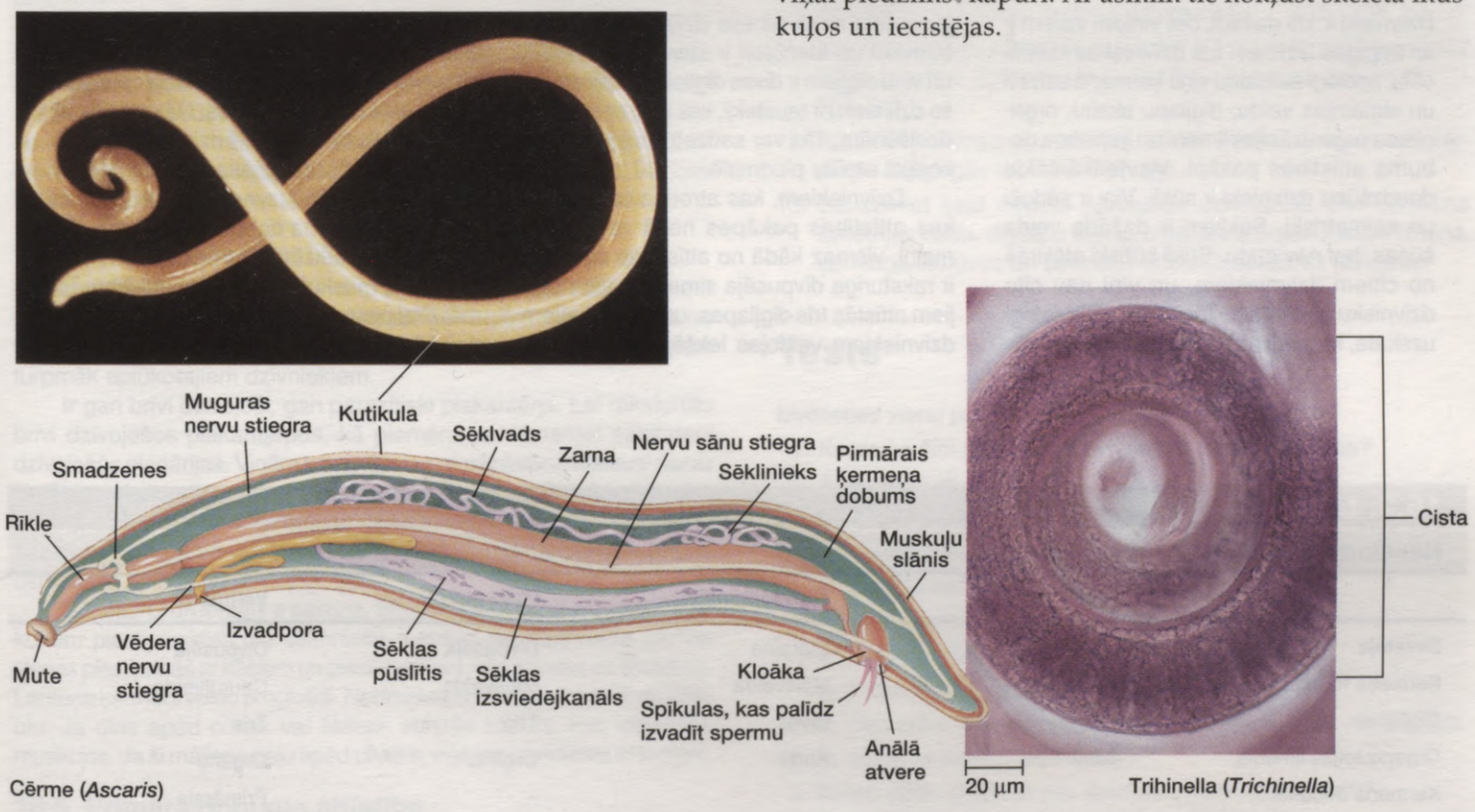
Cērmes ir arī cilvēka parazīti

Cērmju *(Ascaris)* tēviņi (16.12. att.) ir mazāki (13–31 cm gari) nekā mātītes (20–49 cm garas). Tēviņiem pakaļgals ir izliekts un smails. Abu dzimumu cērmes var tikai locīties, bet nevar izstiepties vai sarauties, jo ķermeņa sienā ir tikai garenisko muskuļu slānis.

Iekšējie orgāni, arī cauruļveida vairošanās orgāni atrodas primārajā ķermeņa dobumā. Ar ekskrementiem cērmju olas nonāk augsnē. Kad cilvēks norij cērmes olas, no tām izšķiļas kāpurs, kas izurbjas cauri zarnas sienai, iekļūst asinīs un kopā ar tām nonāk aknās, tālāk – sirdī un plaušās. Apmēram pēc desmit dienām kāpurs no plaušām pa elpvadu nonāk rīklē, kur vēlreiz tiek norīts un atkal nokļūst zarnās. Tikai tagad attīstās pieaugusi cērme. Zarnās cērmes pārojas un mātīte dēj olas, kas ārvidē izkļūst ar fekālijām, un cikls sākas no jauna. Cilvēks norij cērmju un citu parazītisko veltņtārpu, piemēram, spalīšu olas kopā ar netīru ēdienu vai ūdeni. Tāpēc labākais profilakses līdzeklis pret invadēšanos ir elementāras personiskās higiēnas ievērošana.

Citi parazītiskie veltņtārpi

Trihinellas (16.12. att.) izraisa nopietnu slimību – **trihinellozi**. Ar to cilvēks var invadēties, ēdot nepietiekami izkarsētu cūkgaļu, kurā ir iecistējušies trihinellas kāpuri. Pēc apaugļošanās pieaugusī mātīte ieurbjas tievās zarnas sienā, kur viņai piedzimst kāpuri. Ar asinīm tie nokļūst skeleta muskuļos un iecistējas.

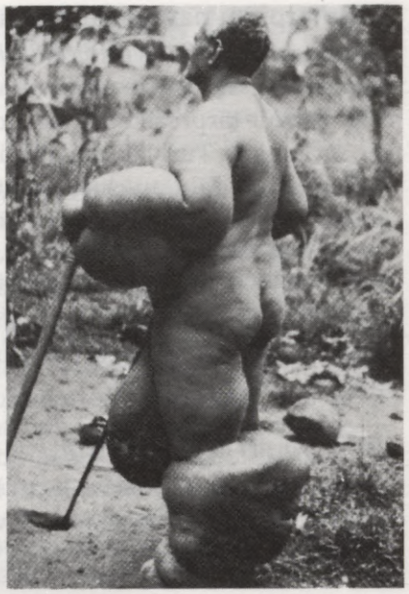


16.12. attēls. Veltņtārpu uzbūve

Veltņtārpiem, piemēram, cērmei, ir primārais ķermeņa dobums un pilnīgi attīstījies gremošanas trakts ar muti un anālo atveri. Tātad veltņtārpiem ir cauruļveida ķermeņa uzbūve. Cērmes ir šķirtdzimumu dzīvnieki. Šajā attēlā redzams cērmes tēviņš. Savukārt trihinellas kāpurs iespiežas šķērssvītrotajos muskuļos, sagriežas spirālē, un to pārklāj saistaudi.

Veltņtārpi izraisa arī daudzas citas slimības. Mērenajā joslā bieži sastopami ir suņu parazīti *Dirofilaria*. Savukārt Āfrikas tropiskajos rajonos novērojama saslimstība ar **elefantiāzi**. To izraisa nematodes, kuru starpsaimnieki ir asinssūcēji odi. Pieaugušie tārpi (filāriji) nosprosto limfvadus. Tur uzkrājas limfa, tāpēc invadētās ķermeņa daļas pietūkst, sasniedzot milzīgus apmērus (16.13. att.). Agrīnās stadijās elefantiāze ir ārstējama, bet vēlāk var atstāt smagas sekas.

Sastopami gan brīvi dzīvojoši, gan parazītiski veltņtārpi. Brīvi dzīvojošie veltņtārpi mīt augsnē vai ūdenī, bet parazītiskie veltņtārpi ir daudzu bīstamu slimību ierosinātāji.



16.13. attēls. Elefantiāze
Elefantiāzi ierosina nematode *Wuchereria bancrofti*. Šai slimībai raksturīga ķermeņa daļu apjoma palielināšanās, ko izraisa limfvadus nosprostojušie parazīti.

Pārskats

Dzīvnieki ir ļoti dažādi, bet viņiem visiem ir arī kopīgas iezīmes. Lai dzīvniekus klasificētu, zoologi salīdzina viņu ķermeņa uzbūvi un simetrijas veidu, dīgļlapu skaitu, organisma organizācijas līmeni un ķermeņa dobuma attīstības pakāpi. Visvienkāršākie daudzšūnu dzīvnieki ir sūkļi. Viņi ir sēdoši un asimetriski. Sūkļiem ir dažāda veida šūnas, bet nav audu. Sūkļi būtiski atšķiras no citiem dzīvniekiem, un viņi nav citu dzīvnieku priekšteči. Tāpēc daudzi biologi uzskata, ka sūkļi attīstījušies pa citu evolūcijas ceļu nekā pārējie dzīvnieki. Zarndobumaiņi un ktenofori ir staraini simetriski, un viņu dīgļiem ir divas dīgļlapas. Vairumam šo dzīvnieku ir taustekļi, kas klāti ar indīgām dzeļšūnām. Tās var sadzelt cilvēku, tā sabojājot atpūtu pludmalē.

Dzīvniekiem, kas atrodas uz augstākas attīstības pakāpes nekā zarndobumaiņi, vismaz kādā no attīstības stadijām ir raksturīga divpusēja simetrija. Viņu dīgļiem attīstās trīs dīgļlapas, un pieaugušiem dzīvniekiem veidojas iekšējie orgāni. Pie plakantārpiem un veltņtārpiem pieder gan brīvi dzīvojoši, gan parazītiski dzīvnieki. Šo divu tipu dzīvnieki ir vieni no labāk pielāgotajiem parazītiem uz zemes. Nākamajās divās nodaļās tiks apskatīti dzīvnieku tipi, kuriem ir daudz sarežģītāka uzbūve. Visiem šiem dzīvniekiem ir izveidojies sekundārais (otrējais) ķermeņa dobums – celoms. Tas veicinājis dažādu organisma daļu, arī nervu sistēmas, muskuļu un skeleta attīstību. Tomēr tikai posmkājiem un hordaiņiem ir izveidojušās kustīgas ekstremitātes.

16.3. tabula

Necelomisko dzīvnieku salīdzinājums

	Sūkļi	Zarndobumaiņi	Plakantārpi	Veltņtārpi
Simetrija	Staraina vai nav	Staraina	Divpusēja	Divpusēja
Ķermeņa forma	–	Maisveida	Maisveida	Cauruļveida
Dīgļlapas	–	Divas	Trīs	Trīs
Organizācijas līmenis	Šūnu	Audu	Orgānu	Orgānu
Ķermeņa dobums	–	–	–	Primārais

Kopsavilkums

16.1. Dzīvnieku attīstība un klasifikācija

Dzīvnieki ir heterotrofi daudzšūnu organismi, kas uzņem barību. Viņi ir veidoti no diploīdām šūnām. Parasti dzīvnieku kustības nodrošina muskuļšķiedru saraušanās.

Biologu izveidotā dzīvnieku evolūcijas shēma lielā mērā balstās uz mūsdienās dzīvojošo organismu pētījumiem. Dzīvnieku klasifikācijā svarīgs ir ķermeņa simetrijas veids, dīgļlapu skaits, ķermeņa dobuma veids, segmentācijas esamība vai trūkums. Šajā nodaļā aprakstītajiem dzīvnieku tipiem šīs pazīmes salīdzinātas 16.3. tabulā.

16.2. Daudzšūnu dzīvnieku izcelšanās

Iespējams, ka sūkļi attīstījušies citādi nekā pārējie dzīvnieki, jo viņiem ir dažas izteikti atšķirīgas iezīmes. Sūkļi nav sasnieguši audu attīstības līmeni, un viņiem nav arī ķermeņa simetrijas. Sūkļi ir sēdoši dzīvnieki un barību iegūst no ūdens, kas plūst cauri viņu ķermenim. Barība tiek sagremota īpašu šūnu – hoanocītu vakuolās. Šīs šūnas klāj paragastrālo dobumu.

16.3. Audu veidošanās

Zarndobumaiņiem un ktenoforiem ir divi audu slāņi, kas veidojas no dīgļlapām – ektodermas un entodermas. Viņi ir staraini simetriski dzīvnieki.

Zarndobumaiņiem ir maisveida ķermeņa uzbūve. Viņu dzīves ciklā var būt divas stadijas – polipa un medūzas stadija. Koraļļiem un aktīnijām ir tikai polipa stadija, hidrozojiem dominē polipa, bet scifozojiem – medūzas stadija. Zarndobumaiņiem ārējo audu slāni no iekšējā atdala mezogleja. Medījumu viņi notver un nogalina ar taustekļiem, ko klāj dzeļšūnas. Kustības koordinē nervu tīkls. Barības sagremošana sākas gremošanas dobumā un beidzas šūnās.

16.4. Divpusējas simetrijas attīstība

Plakantārpi un nemertīntārpi ir divpusēji simetriski dzīvnieki. Viņiem jau ir izveidojušies iekšējie orgāni, arī tie orgāni, kas cēlušies no mezodermas, – trešās dīgļlapas. Šīs iezīmes ir raksturīgas visiem turpmāk aplūkotajiem dzīvniekiem.

Ir gan brīvi dzīvojoši, gan parazītiski plakantārpi. Lai raksturotu brīvi dzīvojošos plakantārpus, kā piemēru var izmantot saldūdenī dzīvojošās planārijas. Viņām ir attīstījusies muskulatūra, notikusi nervu sistēmas elementu cefalizācija – tā ir ortogona tipa. Planārijas barību uzņem caur rīkli, kuru var izvirzīt no ķermeņa. No tās barība iekļūst sazarotā zarnā. Izvadsistēma ar mirgojošās liesmas šūnām regulē osmotisko spiedienu.

Sūcējtārpi un lenteņi ir parazīti. Sūcējtārpiem ir divi piesūcekņi, ar kuriem piestiprināties pie saimnieka. Lenteņi pie saimnieka zarnas sienas piestiprinās ar kāšiem un piesūcekņiem, kas atrodas uz skoleksa. Lenteņa ķermeni veido proglotīdi. Nobriedušos proglotīdos ir tūkstošiem olu. Ja olas apēd cūkas vai liellopi, attīstās kāpurs, kas iecistējas muskuļos. Ja šī mājlopa gaļu apēd cilvēks, viņš var invadēties ar lenteni.

16.5. Primārā dobuma attīstība

Veltņtārpiem un virpotājiem ir primārais ķermeņa dobums jeb pseidoceloms, kurā atrodas iekšējie orgāni. Ķermeņa dobums darbojas arī kā hidroskelets. Veltņtārpi ir nelieli un ļoti dažādi. Viņu ir daudz gandrīz visur. Raksturīgs šī tipa pārstāvis ir cērme, kas ir parazīts. Cilvēkā parazitē arī trihinellas, kuru kāpuri iecistējas muskuļos. Elefantiāzi izraisa vuherērija, kas nosprosto limfvadus.

Pārbaudiet sevi

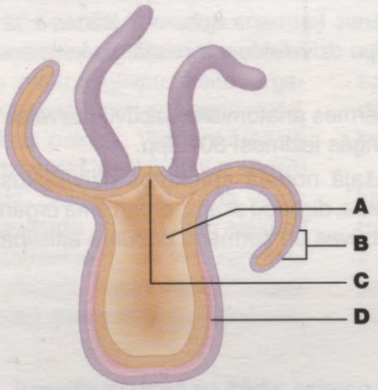
1. Kādas ir raksturīgākās pazīmes, pēc kurām dzīvnieki atšķiras no augiem un sēnēm? 294. lpp.
2. Ko par šajā nodaļā aplūkoto dzīvnieku evolūciju var secināt, aplūkojot evolūcijas shēmu (sk. 16.2. att.)? 295. lpp.
3. Nosauciet, kādu tipu šūnas ir sūkļiem, un raksturojiet to funkcijas! 296.–297. lpp.
4. Kādas iezīmes sūkļus atšķir no pārējiem dzīvniekiem? 297. lpp.
5. Kādas īpašības zarndobumaiņiem un ktenoforiem ir kopīgas un kādas – atšķirīgas? 298. lpp.
6. Kādas divas stadijas raksturīgas zarndobumaiņu dzīves ciklā? Paskaidrojiet, ar ko tās atšķiras un kā izpaužas dažādiem zarndobumaiņiem! 298. lpp.
7. Aprakstiet hidras uzbūvi, uzsverot īpatnības, kas ir tipiskas visiem zarndobumaiņiem! 300. lpp.
8. Kādas īpašības plakantārpiem un nemertīntārpiem ir kopīgas un kādas – atšķirīgas? 302. lpp.
9. Aprakstiet planārijas anatomisko uzbūvi, uzsverot īpašības, kas raksturīgas visiem brīvi dzīvojošajiem plakantārpiem! 302.–303. lpp.
10. Raksturojiet parazītiskos plakantārpus un aprakstiet asins šistosomas un cūkas lenteņa dzīves ciklu! 304.–305. lpp.
11. Kas ir primārais ķermeņa dobums? Kādas ir tā priekšrocības? Kādu divu tipu dzīvniekiem ir primārais ķermeņa dobums? 306. lpp.
12. Aprakstiet cērmes anatomisko uzbūvi, uzsverot visiem veltņtārpiem raksturīgās iezīmes! 307. lpp.
13. Salīdziniet šajā nodaļā aplūkotos dzīvniekus pēc ķermeņa simetrijas veida, dīgļlapu skaita, organisma organizācijas līmeņa, ķermeņa uzbūves un ķermeņa dobuma attīstības pakāpes!

Tests

Izvēlieties vienu pareizo atbildi uz katru jautājumu!

1. Kuras no šīm pazīmēm dzīvniekiem **nav** raksturīgas?
   A. Heterotrofi organismi
   B. Šūnas ar diploidālu hromosomu komplektu
   C. Ir sarauties spējīgas šķiedras
   D. Vienšūnas vai koloniāli organismi
2. Ko var redzēt dzīvnieku evolūcijas shēmā?
   A. Zarndobumaiņi ir attīstījušies no sūkļiem
   B. Plakantārpi ir attīstījušies no veltņtārpiem
   C. Gan sūkļi, gan zarndobumaiņi ir attīstījušies no vienšūņiem
   D. Visas atbildes ir pareizas
3. Kuras sūkļu īpašības nav tipiskas citiem dzīvniekiem?
   A. Viņiem raksturīga dzimumvairošanās
   B. Viņiem raksturīgs šūnu organizācijas līmenis
   C. Viņi ir asimetriski
   D. Pareiza ir gan B, gan C atbilde

4. Kurš vārdu pāris ir neatbilstošs?
   A. Sūkļi – spīkulas
   B. Lenteņi – proglotīdi
   C. Zarndobumaiņi – dzeļkapsulas
   D. Veltņtārpi – skropstiņas
5. Kas ir raksturīgs sūcējtārpiem un lenteņiem?
   A. Cefalizācija
   B. Labi attīstīta dzimumsistēma
   C. Labi attīstīta nervu sistēma
   D. Viņi ir augu parazīti
6. Kāda ir mezodermas nozīme?
   A. Tā ierobežo celoma attīstību
   B. Tā ir saistīta ar ogānu attīstības līmeni
   C. Tā ir saistīta ar muskuļu attīstību
   D. Pareiza ir gan B, gan C atbilde
7. Kas ir cērmes?
   A. Parazītiski veltņtārpi
   B. Parazītiski plakantārpi
   C. Parazītiski hidrozoji
   D. Parazītiski sūkļi
8. Uzrakstiet cipariem atbilstošos nosaukumus!



9. Pie katra termina pierakstiet atbilstošā dzīvnieka tipa nosaukumu!
   A. Staraina simetrija
   B. Primārais ķermeņa dobums
   C. Audu organizācijas līmenis
   D. Cauruļveida ķermeņa uzbūve
10. Pie katra termina pierakstiet atbilstošā dzīvnieka nosaukumu!
    A. Proglotīdi
    B. Acis uz galvas
    C. Hoanocīti
    D. Dzeļšūnas

Papildjautājumi

1. *Dzīvnieki ir viena no nozīmīgākajām mūsdienās sastopamo dzīvo organismu grupām.*
   Kādas pazīmes liecina par to, ka dzīvnieki ir heterotrofi organismi, kas uzņem barību? Kā tās veicina pielāgošanos dažādiem apstākļiem?
2. *Dzīvnieki izgājuši garu evolūcijas ceļu.*
   Kādas anatomiskās uzbūves īpatnības bijušas plakantārpu un veltņtārpu priekštečiem?
3. *Parazīti ir pielāgojušies parazītiskam dzīvesveidam.*
   Kādi pielāgojumi raksturīgi iekšējiem parazītiem jeb endoparazītiem?

Multimediju izmantošana

Mācību vielu apgūt jums palīdzēs šādi multimediji.



Interneta izmantošana

Šo nodaļu jums palīdzēs apgūt Maderas mājas lapa

http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader

(izvēlieties bioloģiju)

Jēdzienu izpratne

Asimetrija 294. lpp.
Bezmugurkaulnieki 294. lpp.
Cauruļveida ķermeņa uzbūve 302. lpp.
Cefalizācija 302. lpp.
Celoms 294. lpp.
Divpusēja simetrija 294. lpp.
Dzeļšūnas 298. lpp.
Elefantiāze 308. lpp.
Finna 305. lpp.
Gremošanas dobums 298. lpp.
Hermafrodīti 303. lpp.
Hidrozoji 300. lpp.
Lenteņi 305. lpp.
Maisveida ķermeņa uzbūve 302. lpp.
Mezogleja 298. lpp.
Nemertīntārpi 302. lpp.
Nervu tīkls 298. lpp.
Paragastrālais dobums 306. lpp.
Plakantārpi 302. lpp.
Primārais ķermeņa dobums 306. lpp.
Proglotīdi 305. lpp.
Sēdoši organismi 294. lpp.
Skolekss 305. lpp.
Spīkulas 297. lpp.
Starainā simetrija 294. lpp.
Sūcējtārpi 304. lpp.
Sūkļi 296. lpp.
Šistosomatoze 304. lpp.
Trihinelloze 307. lpp.
Veltņtārpi 307. lpp.
Virpotāji 306. lpp.
Zarndobumaiņi 298. lpp.

Atrodiet definīcijai atbilstošu jēdzienu!

A. _____ – gremošanas dobums ar vienu atveri, kas nodrošina arī transporta funkcijas dzīvniekiem, kuriem nav asinsrites sistēmas.
B. _____ – ķermeņa dobums, kas atrodas starp gremošanas sistēmu un ķermeņa sienu un ir pilnībā izklāts ar mezodermu.
C. _____ – ķermeņa dobums, kas atrodas starp gremošanas sistēmu un ķermeņa sienu un ir daļēji izklāts ar mezodermu.
D. _____ – ķermeņa simetrijas veids, kura gadījumā jebkurš garengriezums sadala dzīvnieku divās vienādās daļās.
E. _____ – celomisko dzīvnieku dīgļa uzbūves tips, ja dīglim ir attīstījusies gan mutes, gan anālā atvere.
F. _____ – dzīvnieki, kam ir gan vīrišķie, gan sievišķie dzimumorgāni.

Dzīvnieki
Pirmmutnieki

17. NODAĻA

Nodaļas saturs

17.1. Celoms

- Celomam ir vairākas priekšrocības: gremošanas sistēma var kļūt daudz sarežģītāka, celomu aizpildošais šķidrums piedalās dažādos organismā norisošos procesos un kalpo arī kā hidroskelets. 312. lpp.
- Pirmmutniekiem blastoporas jeb pirmās dīģļa atveres vietā attīstās mute, bet celoms veidojas, daloties mezodermai. 312. lpp.

17.2. Trīsdaļīgis ķermenis

- Gliemju ķermenis parasti sastāv no iekšējo orgānu maisa, mantijas un kājas. 314. lpp.
- Gliemenes pielāgojušās mazkustīgam dzīvesveidam piekrastes ūdeņos, galvkāji ir jūru iemītnieki, kas aktīvi pārvietojas, bet daudzi gliemeži dzīvo uz sauszemes. 315. lpp.

17.3. Posmojuma attīstība

- Posmtārpiem ir posmots ķermenis, slēgta asinsrites sistēma, ventrālā nervu stiegra un pāra nefrīdiji katrā segmentā (posmā). 318. lpp.
- Plēsīgajiem daudzsartārpiem ir izveidojies galvas nodalījums, bet sēdošie daudzsartārpi barību no ūdens izfiltrē ar galvas taustiem. 318. lpp.
- Mazsartārpi, piemēram, sliekas, dzīvo augsnē, kur ir pietiekami mitrs. Tas nodrošina gāzu apmaiņu caur ādu. 319. lpp.

17.4. Ekstremitāšu locītavu attīstība

- Posmkāju ķermenis ir sadalīts specializētos nodalījumos. Ķermenim ir ārējais skelets un posmotas ekstremitātes. 321. lpp.
- Daudzi posmkāji, piemēram, vēži, ir pielāgojušies dzīvei jūrā, bet citi, piemēram, kukaiņi, – dzīvei uz sauszemes. 323. un 327. lpp.



Dārza vīngliemezis *(Cepaea hortensis)*

Iepriekšējā nodaļā mēs aplūkojām bezmugurkaulniekus – sūkļus, zarndobumaiņus, plakantārpus un veltņtārpus. Šīs dzīvās būtnes daudzi no mums necik labi nepazīst, tomēr viņas dzīvo uz Zemes jau miljoniem gadu. Jāatceras, ka iepriekšējā nodaļā aplūkotajiem nelielajiem dzīvniekiem ar vienkāršu uzbūvi ir liela bioloģiska un ekoloģiska nozīme.

Šajā nodaļā aplūkosim dzīvniekus, kuri droši vien daudziem ir labāk pazīstami, – gliemjus, posmtārpus un posmkājus. Gliemji ir ļoti daudzveidīgs dzīvnieku tips. Viņiem ir īpatnēja ķermeņa uzbūve. Vairums gliemju dzīvo ūdenī, bet daudzi gliemeži ir pielāgojušies dzīvei uz sauszemes. Lai arī posmtārpu tips sugu skaita ziņā ir daudz mazāks nekā gliemju tips, arī pie tā pieder ļoti atšķirīgi dzīvnieki. Labi pazīstami posmtārpi ir sliekas, kurām ir izteikts ķermeņa posmojums. Arī posmkāji ir posmoti. Viņiem ir posmots eksoskelets, kas veicina pārvietošanos pa sauszemi. No posmkājiem vislielākā dzīvnieku klase ir kukaiņi. Vairākums kukaiņu dzīvo uz sauszemes.

17.1. Celoms

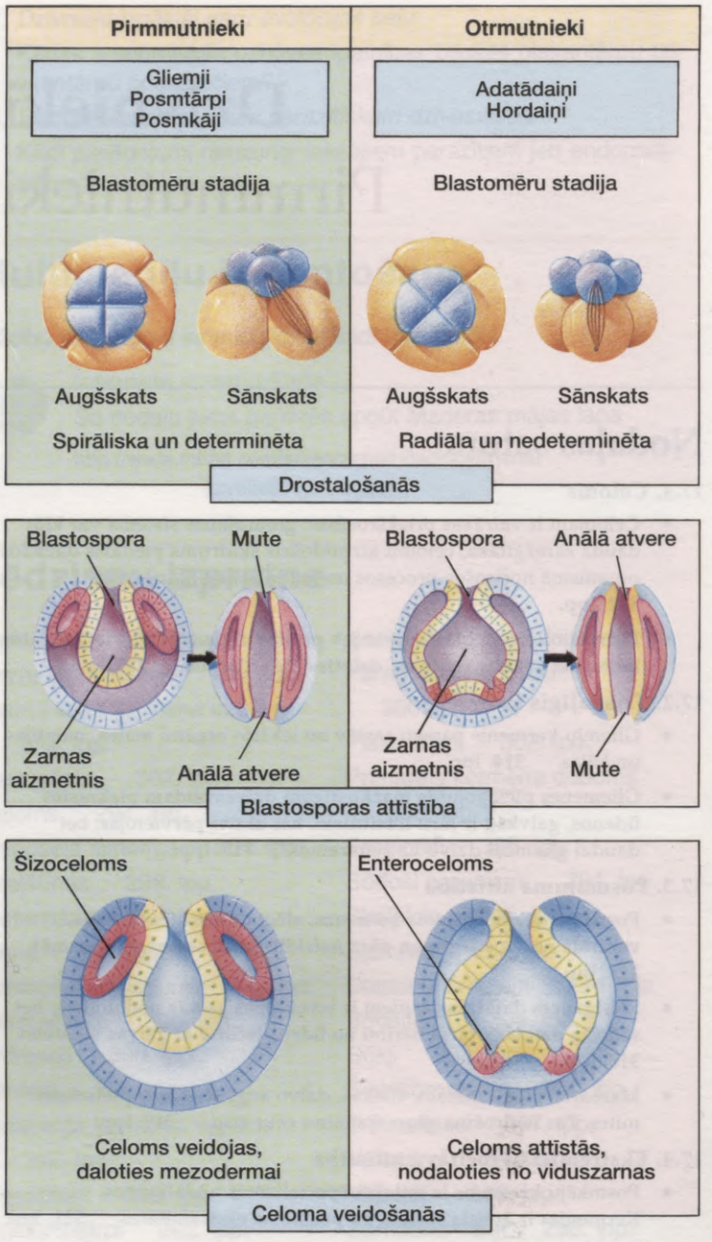
Pirmmutnieki ir divpusēji simetriski dzīvnieki. Viņiem ir trīs dīgļlapas, orgānu attīstības līmenis un cauruļveida ķermeņa uzbūve. Turklāt viņiem ir attīstījies **celoms** (gr. *koiloma* – dobums) jeb sekundārais ķermeņa dobums, kuru pilnībā izklāj mezoderma.

Celoma izveidošanās nodrošina daudzas priekšrocības. Brīvākas kļūst ķermeņa kustības, jo ķermeņa siena var kustēties neatkarīgi no iekšējiem orgāniem. Plašajā celomā ir daudz vietas, kur attīstīties sarežģītākiem orgāniem un to sistēmām. Piemēram, gremošanas trakts var izlocīties, tā nodrošinot lielāku virsmu barības vielu absorbēšanai. Pirms izvadīšanas ārvidē celomā var uzkrāties olšūnas un spermatozoīdi. Celomu aizpildošais šķidrums pasargā iekšējos orgānus no traumām un straujām temperatūras svārstībām. Tas var piedalīties arī elpošanā un vielu transportā, apgādājot ar skābekli un barības vielām celomam piegulošās šūnas. Celomā var uzkrāties vielmaiņas galaprodukti, līdz tos no organisma izvada izvadsistēma. Celomu aizpildošais šķidrums darbojas arī kā **hidroskelets** – muskuļi saraujoties spiež uz šķidrumu un rada dzīvnieka kustības.

Dzīvniekiem, kuriem ir celoms, ķermeņa siena un gremošanas trakts var kustēties neatkarīgi viens no otra un iekšējie orgāni kļūst sarežģītāki. Celomu aizpildošais šķidrums piedalās elpošanā, vielu transportā un izvadīšanā. Tas darbojas arī kā hidroskelets.

Visus celomiskos dzīvniekus iedala **pirmmutniekos** *(Protostomia)* un **otrmutniekos** *(Deuterostomia)*. Pirmmutnieki no otrmutniekiem atšķiras pēc trim galvenajām pazīmēm (17.1. att.). Organisma pirmajā attīstības stadijā notiek **drostalošanās** – šūnu dalīšanās, nepalielinoties to kopējiem izmēriem. Pirmmutniekiem raksturīga **spirāliska drostalošanās** – no jauna nodalījušās šūnas (blastomēri) katrā dalīšanās reizē ir nedaudz novirzītas, tāpēc neguļ tieši uz apakšējām šūnām. Katrai jaunizveidotajai šūnai turpmāk ir noteikts attīstības ceļš, ko sauc par determinētu drostalošanos. Otrmutniekiem notiek **radiāla drostalošanās** – no jauna nodalījušās šūnas (blastomēri) atrodas uz apakšējām šūnām. Šajā ceļā izveidojušos šūnu turpmākais liktenis nav noteikts; tās atdalot citu no citas, no katras var izveidoties vesels organisms.

Attīstībai turpinoties, šūnas izveido dobu lodveida struktūru. Tad dīgļa sienā izveidojas atvere – blastopora. Pirmmutniekiem no blastosporas attīstās **mute**, bet otrmutniekiem tās vietā vai tai blakus veidojas **anālā atvere** un tikai vēlāk izveidojas mutes atvere.



17.1. attēls. Pirmmutnieku un otrmutnieku attīstības atšķirības

Pirmmutnieku (gliemju, posmtārpu, posmkāju) dīglim drostalošanās ir spirāliska – jaunās šūnas attīstoties nedaudz novirzās attiecībā pret vecajām šūnām. Katrai šūnai ir noteikta (determinēta) specializācija, un no tām nevar izveidoties vesels organisms. Blastoporas vietā attīstās mutes atvere, bet celoma veidošanās tips ir šizocelomisks. Otrmutniekiem (adatādaiņiem un hordaiņiem) raksturīga radiāla drostalošanās – jaunās šūnas novietojas virs vecajām šūnām. No katras jaunveidotās šūnas var izaugt pilnvērtīgs organisms. Blastosporas vietā attīstās anālā atvere, un celoma veidošanās tips ir enterocelomisks.

KLASIFIKĀCIJA

Valsts. Dzīvnieki (*Animalia*)

Daudzšūnu organismi ar labi attīstītiem audiem, parasti kustīgi, heterotrofi, barību ierij gremošanas dobumā, sastāv no diploidālām šūnām. Pie pirmmutniekiem pieder gliemju, posmtārpu un posmkāju tips. Pie otrmutniekiem pieder adatādaiņu, pushordaiņu un hordaiņu tips.

Bezmugurkaulnieki*

- Tips. Sūkļi *(Porifera)*
- Tips. Zarndobumaiņi *(Cnidaria)*, piemēram, scifomedūzas, aktīnijas, koraļļi
- Tips. Ktenofori *(Ctenophora)*
- Tips. Plakantārpi *(Plathelminthes)*, piemēram, planārijas, sūcējtārpi, lenteņi
- Tips. Nemertīntārpi *(Nemertini)*
- Tips. Veltņtārpi *(Nemathelminthes)*
- Tips. Virpotāji *(Rotifera)*
- Tips. Gliemji *(Mollusca)*, piemēram, hitoni, gliemeži, gliemenes, kalmāri, astoņkāji
- Tips. Posmtārpi *(Annelida)*, piemēram, sliekas, dēles
- Tips. Onihofori *(Onychophora)*
- Tips. Posmkāji *(Arthropoda)*, piemēram, zirnekļi, skorpioni, vēži, krabji, garneles, simtkāji, tūkstoškāji, kukaiņi
- Tips. Adatādaiņi *(Echinodermata)*, piemēram, jūraslilijas, jūraszvaigznes, čūskastes, jūraseži, jūrasgurķi
- Tips. Pushordaiņi *(Hemichordata)*
- Tips. Hordaiņi *(Chordata)*
  - Apakštips. Tunikāti *(Urochordata)*
  - Apakštips. Bezgalvaskausaiņi *(Cephalochordata)*, piemēram, lancetnieks

Mugurkaulnieki*

- Apakštips. Mugurkaulnieki *(Vertebrata)*
  - Nodalījums. Bezžokļaiņi *(Agnatha)*, piemēram, nēģi, miksīnas
  - Nodalījums. Žokļaiņi *(Gnathostomata)*
    - Klase. Skrimšļzivis *(Chondrichthyes)*, piemēram, haizivis, rajas
    - Klase. Kaulzivis *(Osteichthyes)*, piemēram, siļķes, laši, mencas, zuši, plekstes
    - Klase. Abinieki *(Amphibia)*, piemēram, vardes, krupji, salamandras
    - Klase. Rāpuļi *(Reptilia)*, piemēram, čūskas, ķirzakas, bruņurupuči
    - Klase. Putni *(Aves)*, piemēram, papagaiļi, pingvīni, strausi
    - Klase. Zīdītāji *(Mammalia)*, piemēram, kaķi, suņi, zirgi, žurkas, cilvēki

* Netiek ietverti dzīvnieku klasifikācijā, bet tiek izmantoti uzskatāmības labad.

Katrai dzīvnieku grupai atšķirīgi attīstās arī celoms. Pirmmutniekiem mezoderma veidojas no divām šūnām blastosporas tuvumā. Šūnām daloties, veidojas arī dobums – **šizoceloms**. Otrmutniekiem celoms attīstās, nodaloties no vidus- zarnas. Tādu celoma (enteroceloma) veidošanos sauc par **enterocelomisku.**

Celoms ir augstāk attīstītiem dzīvniekiem. Viņus iedala pirmmutniekos (spirāliska drostalošanās, no blastosporas veidojas mute, celoma veidošanās ir šizocelomiska) un otrmutniekos (radiāla drostalošanās, no blastosporas attīstās anālā atvere, celoma veidošanās ir enterocelomiska).

Šajā nodaļā tiks aplūkoti pirmmutnieki, bet nākamajā – otrmutnieki.

Pirmmutnieki	Otrmutnieki
Gliemji	Adatādaiņi
Posmtārpi	Hordaiņi
Posmkāji	

Tāpat kā viņu priekšteči, arī pirmmutnieki ir attīstījušies jūrā, tomēr daži no viņiem ir pielāgojušies dzīvei uz sauszemes. Šajā nodaļā salīdzināsim pielāgojumus, kas ir piemēroti dzīvei ūdenī, ar pielāgojumiem, kas piemēroti dzīvei uz sauszemes. Uz sauszemes jāelpo gaiss, jāsargās no izžūšanas, bet kustības un vairošanās nedrīkst būt atkarīga no ūdens. Rodas nepieciešamība pielāgot izvadsistēmu, lai izvadītu sausus slāpekļa vielmaiņas galaproduktus, tā taupot ūdeni.

17.2. Trīsdaļīgs ķermenis

Gliemjiem ir trīsdaļīgs ķermenis. Tas sastāv no iekšējo orgānu maisa, mantijas un kājas. Šī īpatnība gliemjus atšķir no pārējo tipu dzīvniekiem. Par šādas ķermeņa uzbūves priekšrocībām liecina gliemju daudzveidība un dažādi pielāgojumi, lai veiksmīgāk varētu baroties un kustēties.

Gliemjiem ir mīksts ķermenis

Pasaulē ir vairāk nekā 110 000 **gliemju** (tips *Mollusca*) sugu – tas ir vismaz divreiz vairāk nekā visu mugurkaulnieku sugu kopā. Vairums no viņiem mīt jūrās, bet daži dzīvo saldūdeņos, kā arī uz sauszemes (17.2. att.).

Gliemjiem ir labi attīstīti iekšējie orgāni – augsti specializēts gremošanas trakts, izvadorgāni – divas nieres – un attīstīti vairošanās orgāni. Tipa latīniskais nosaukums veidots no latīņu vārda *mollusc*, kas nozīmē "mīksts". Tas gan attiecas galvenokārt uz iekšējiem orgāniem. Iekšējos orgānus gandrīz no visām pusēm sedz liela ādas kroka – **mantija**, kas orgānus tomēr neieslēdz pilnīgi. Mantija var izdalīt cietu aizsargčaulu. Starp mantiju un ķermeni ir mantijas dobums. **Kāja** ir nepāra muskuļots ķermeņa sienas izaugums, kas nodrošina kustības, piestiprināšanos pie substrāta, barības iegūšanu un citas funkcijas. Vēl viens gliemjiem raksturīgs veidojums ir **rīvīte** *(radula)* – sīkiem zobiņiem klāts orgāns, kas piemērots barības sasmalcināšanai.

Attīstītākajiem gliemjiem nervu sistēma sastāv no vairākiem ganglijiem, kurus savieno nervu stiegras. **Celoms ir reducēts**, un parasti tā paliekas ir sirds somiņa un gonādu dobums. Vairumam gliemju ir **vaļēja asinsrites sistēma**. Asinis jeb hemolimfa plūst pa asinsvadiem lakūnu un sīnusu sistēmā – neregulāros dobumos starp audiem. Šādu ķermeņa dobuma veidu sauc par hemocelu. Hemolimfā skābekli saista nevis sarkanais pigments hemoglobīns, bet zilais – hemocianīns.

Daži gliemji, piemēram, gliemenes, pārvietojas ļoti lēni, un viņiem nav galvas. Savukārt citiem raksturīga izteikta cefalizācija – viņiem ir galva, kurā atrodas maņu orgāni. Šie gliemji bieži vien ir aktīvi plēsēji. Hitonus (*Polyplacophora* klase) klāj aizsargčaula, ko veido astoņas plātnītes. Viņu platā kāja kalpo, lai lēni rāpotu vai pieķertos pie akmeņiem. Hitoni pārtiek no aļģēm un citiem augiem, kurus šie dzīvnieki ar labi attīstīto rīvīti noskrāpē no akmeņiem.

Visiem gliemjiem ir iekšējo orgānu maiss, mantija un kāja. Daudziem no viņiem ir čaula un rīvīte. Gliemjiem ir arī reducēts celoms un vaļēja asinsrites sistēma.

17.2. attēls. Gliemju daudzveidība
A. Hitoniem ir saplacināta kāja. Viņu čaula sastāv no astoņām savienotām plātnītēm.
B. Vēdekļgliemenei no čaulas izvirzītie taustekļi kalpo kā maņu orgāni.
C. Kuģītis nodrošina peldspēju, regulējot gaisa daudzumu čaulā.
D. Kailžaungliemezim nav čaulas un mantijas dobuma. Primāro jeb īsto žaunu vietā ir sekundārās žaunas, kas parasti atrodas uz muguras.



A. Hitons *(Tonicella)*



B. Vēdekļgliemene *(Pecten)*



C. Kuģītis *(Nautilus)*



D. Kailžaungliemezis *(Flabellina)*

Gliemenēm ir divdaļīga čaula

Pērļgliemenes, austeres, mīdijas un vēdekļgliemenes pieder pie **gliemeņu** *(Bivalvia)* klases. Viņām ir divdaļīga čaula, kuru atver un aizver spēcīgi muskuļi. Gliemenēm nav galvas, nav rīvītes un ir ļoti vāji izteikta cefalizācija. Viņām ir ķīļveida kāja, kas palīdz ierakties smiltīs vai dūņās. Mīdijām uz kājas atrodas **bisusa dziedzeris**. Tas izdala lipīgus bisusa pavedienus, ar kuriem gliemenes piestiprinās dažādiem priekšmetiem. Vēdekļgliemenes gan ierokas, gan peld. Viņas pārvietojas, strauji izgrūžot no ķermeņa ūdeni.

Saldūdens gliemeņu, piemēram, bezzobes (*Anodonta*, 17.3. att.) mantijas izdalītā čaula sastāv no olbaltumvielām un kalcija karbonāta, bet tās iekšpusi klāj perlamutrs. Ja starp mantiju un čaulu iekļūst kāds svešķermenis, ap to veidojas koncentriski perlamutra slāņi – izveidojas pērle. Vidukļa vēderpusē atrodas muskuļota kāja. Gliemene pārvietojas, vispirms izvirzot kājas galu uz priekšu un pēc tam kājai pievelkot ķermeni.

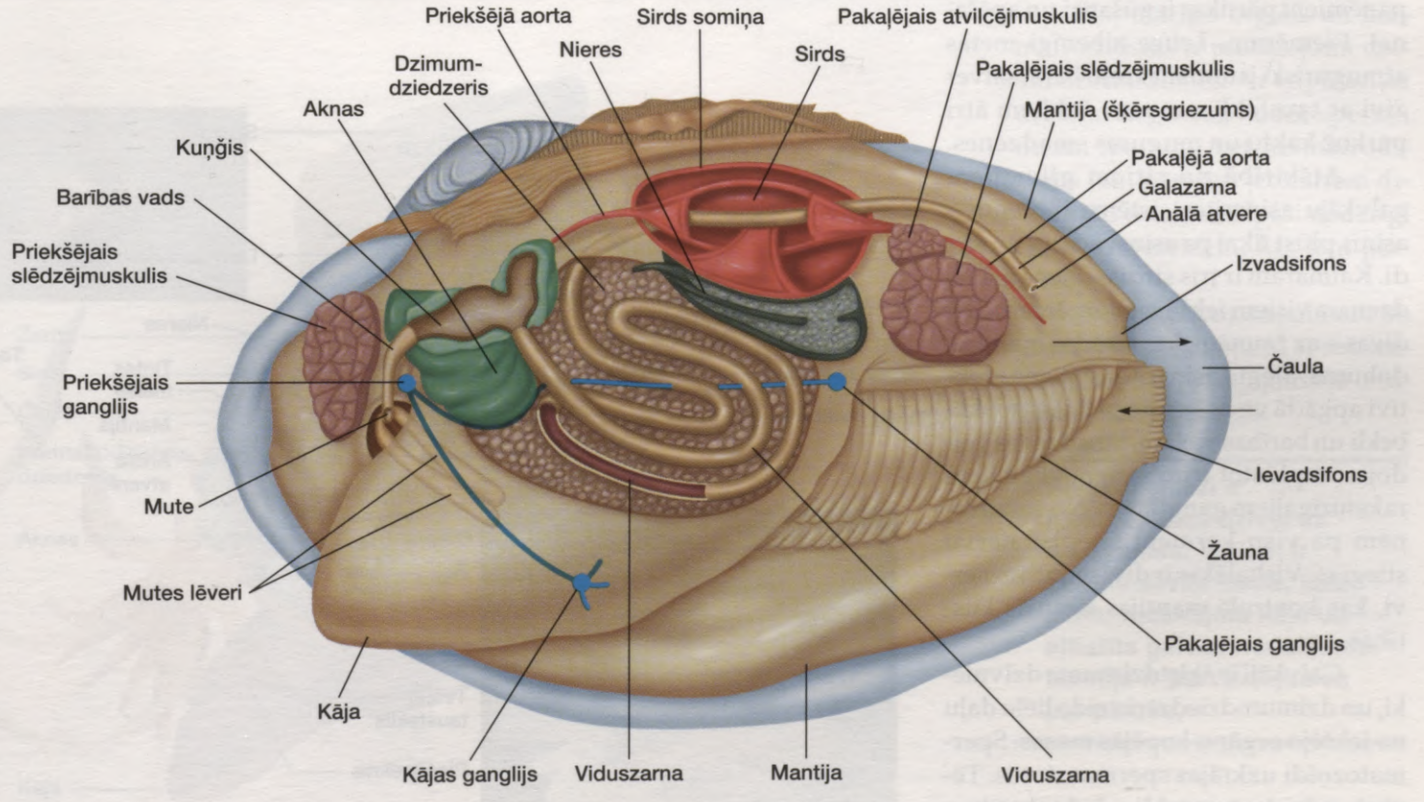
Mantijas dobumā atrodas žaunu lapiņām klātas žaunas jeb ktenīdijas. Žaunu lapiņu kustības ūdeni mantijas dobumā ievirza caur ievadsifonu un izdzen caur izvadsifonu. Gliemenes barojas filtrējot. Sīkās barības daļiņas pielīp pie žaunām, un skropstiņu kustības tās aizvirza uz muti.

No mutes sākas īss barības vads, pa kuru barība nonāk kuņģī un tālāk zarnās (viduszarnā un galazarnā). Zarnas vairākkārt izlokās starp iekšējiem orgāniem. Galazarna iet caur sirds kambariem un beidzas ar anālo atveri, kas atveras izvadsifonā. Kuņģī atrodas īpašs gremošanas orgāns – kristālstabiņš, kas sastāv no gremošanas fermentiem. Sirds novietota nedaudz zem čaulas augstākā punkta un atrodas sirds somiņā (perikardā) – vienīgajā celoma paliekā. Asinsrites sistēma ir vaļēja – sirds dzen hemolimfu asinsvados, kas atveras lakūnās. Nervu sistēmu veido trīs pāri gangliju, kas atrodas ķermeņa priekšgalā, pakaļgalā un pēdā. Ganglijus savieno nervu stiegras.

Izvadsistēmu veido divas nieres, kas atrodas zem sirds. Tās uzņem vielmaiņas galaproduktus no sirds somiņas un izvada mantijas dobumā. Gliemenes izdala ūdenī izšķīdušu indīgu vielu – amonjaku (NH_3).

Vairums gliemeņu ir šķirtdzimumiskas. Dzimumdziedzeri atrodas blakus zarnas lokiem. Zināms, ka gliemenēm un posmtārpiem ir līdzīgs kāpurs. Tas liecina par iespējamo kopējo evolūciju. Bet 325. lappusē ir minēti arī citi fakti, kas liecina, ka šīm divām dzīvnieku grupām varētu būt kopīga izcelšanās.

Gliemenēm ķermeni aizsargā cieta divvāku čaula. Viņas barojas filtrējot. Muskuļotā ķīļveida kāja ļauj lēnām ierakties smiltīs vai dūņās.



17.3. attēls. Bezzobe *(Anodonta)*

No vienas puses bezzobei ir noņemta čaula un mantijā. Izpētiet, kāds ir barības ceļš no ievadsifona uz žaunām, tālāk uz muti, kuņģi, zarnām, anālo atveri un izvadsifonu. Atrodiet trīs ganglijus – priekšējo, pakaļējo un kājas! Sirds atrodas reducētā celomā.

Galvkājiem ir galva

Pie **galvkāju** (*Cephalopoda;* gr. *kaphale* – galva un *podos* – kāja) klases pieder kalmāri, sēpijas, astoņkāji un kuģīši. Viņi visi ir ātri peldoši plēsēji, kas mīt atklātā okeānā. Gan astoņkāji, gan kalmāri pārvietojas pēc reaktīvā principa, izspiežot no mantijas dobuma ūdeni. Galvu apņem taustekļi, kurus klāj piesūcekņi vai lipīga viela, kas palīdz notvert medījumu. Medījuma saplosīšanai noder spēcīgs, papagaiļa knābim līdzīgs veidojums. Galvkājiem ir labi attīstīti maņu orgāni, arī acis, kuras, līdzīgi kā **mugurkaulnieku** acis, spēj mainīt fokusa attālumu. Galvkājiem, it īpaši astoņkājiem, ir labi attīstītas smadzenes, un viņi spēj mācīties. Tikai kuģīšus no ārpuses klāj čaula, bet kalmāriem tā ir paslēpta zem ķermeņa segām vai ir rudimentāra. Astoņkājiem čaulas vispār nav. Lai aizsargātos, kalmāriem un astoņkājiem ir īpašs **tintes maiss**, no kura viņi briesmu brīdī izšļāc melnu vai brūnu, tintei līdzīgu šķidrumu. Šāda rīcība var apmulsināt iespējamos uzbrucējus.

Kalmāriem, piemēram, *Loligo* ģints pārstāvjiem (17.4. att.), cietajā, muskuļotajā mantijā ir īpašs skelets (ragvielas plātnītes), kas aizsargā iekšējos orgānus. Lai nodrošinātu reaktīvās kustības, sākotnēji caur spraugu ķermeņa priekšgalā mantijas dobumā ieplūst ūdens. Tad sprauga aizveras, mantija tiek spēcīgi piespiesta pie vidukļa un ūdens izšļācas caur piltuvi, izraisot atpakaļvirziena kustību. Piltuve var būt vērsta uz priekšu vai aizmuguri, nodrošinot kustību vai nu uz priekšu, vai atmuguriski. Kalmāriem ir interesanti paņēmieni pārtikas iegūšanai un apēšanai. Piemēram, *Loligo* zibenīgi metas atmuguriski jaunu makreļu barā, satver zivi ar taustekļiem un ar žokļiem ātri pārkož kaklu un muguras smadzenes.

Atšķirībā no citiem gliemjiem galvkāju asinsrites sistēma ir slēgta – asinis plūst tikai pa asinsvadiem un sirdi. Kalmāram ir trīs sirdis – viena asinis dzen uz visiem iekšējiem orgāniem, bet divas – uz žaunām, kas atrodas mantijas dobumā. Slēgtā asinsrites sistēma efektīvi apgādā visas ķermeņa daļas ar skābekli un barības vielām. Smadzenes veidojas, saplūstot trim visiem gliemjiem raksturīgajiem ganglijiem. No smadzenēm pa visu ķermeni stiepjas nervu stiegras. Vislielākie ir divi mantijas nervi, kas kontrolē mantijas straujās kustības.

Galvkāji ir šķirtdzimuma dzīvnieki, un dzimumdziedzeri veido lielu daļu no iekšējo orgānu kopējās masas. Spermatozoīdi uzkrājas spermatoforos. Tēviņš ar īpašu taustekli – hektokotilu – spermatoforus pārnes uz mātītes mantijas dobumu. Apaugļotās olas garās ķēdēs piestiprinās pie substrāta. Katrā ķēdē ir vismaz 100 olu.

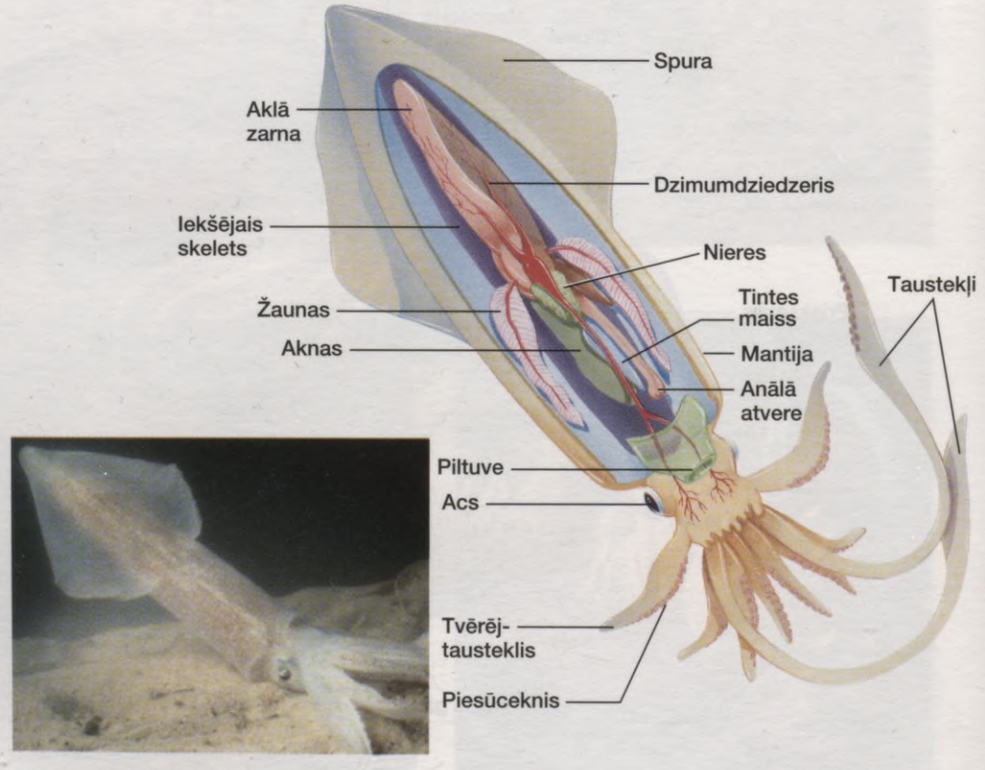
17.1. tabulā ir salīdzināta divvāku gliemenes (barojas filtrējot) un kalmāra (aktīva plēsēja) anatomija un uzvedība.

Kalmāriem, kas pieder pie galvkāju klases, ir slēgta asinsrites sistēma un labi attīstīta nervu sistēma ar izteiktu cefalizāciju. Viņi ir aktīvi plēsēji, kas mājo dziļās okeāna vietās.

17.1. tabula

Divvāku gliemenes un kalmāra salīdzinājums

	Divvāku gliemene	Kalmārs
Barības uzņemšana	Filtrējot	Aktīvs plēsējs
Skelets	Cieta ārējā čaula	Nav ārējā skeleta
Asinsrites sistēma	Vaļēja	Slēgta
Cefalizācija	Nav	Izteikta
Kustības	Ar ķīļveida kāju	Reaktīva
Nervu sistēma	Trīs atsevišķi gangliji	Smadzenes un nervi



17.4. attēls. Kalmārs *(Loligo)*

Gliemeži kļuvuši asimetriski

Gliemežu jeb **vēderkāju** (*Gastropoda;* gr. *gastros* – vēders, *podos* – kāja) klases pārstāvji visbiežāk sastopami jūrās, tomēr daļa no viņiem mīt arī saldūdeņos. Savukārt plaušgliemeži pielāgojušies dzīvei uz sauszemes. Daudzi gliemeži ir augēdāji – viņi ar rīvīti noskrāpē barību no substrāta. Citi ir gaļēdāji – viņi rīvīti izmanto, lai piekļūtu barībai caur cietu virsmu, piemēram, caur gliemenes čaulu.

Gliemežiem ir iegarena, saplacināta kāja, un vairumam ir labi attīstīts galvas nodalījums ar acīm un taustekļiem, kuri izvirzās no spirālē savītās čaulas, kas aizsargā iekšējos orgānus. Tomēr daļai gliemežu, piemēram, kailžaungliemežiem un dažiem plaušgliemežiem, čaulas nav. Attīstības gaitā gliemežiem anālā atvere un mantijas dobums ir sagriezies par 180 grādiem un atrodas ķermeņa priekšpusē, bet iekšējie orgāni novietojušies virs kājas.

Ūdenī dzīvojošajiem gliemežiem mantijas dobumā ir žaunas, bet sauszemes gliemežiem mantijā ir daudz asinsvadu, un, gaisam ieplūstot mantijas dobumā un izplūstot no tā, dobums darbojas kā plauša. Cits pielāgojums – sauszemes gliemežiem nav peldoša kāpura stadijas, kura ir raksturīga ūdenī dzīvojošām sugām.

Sauszemes gliemežiem, piemēram, vīngliemezim *Helix aspersa*, ir trīs skaidri norobežoti ķermeņa nodalījumi – galva ar diviem pāriem **taustekļu**, no kuriem vienam galos ir **acis**, plata, gara, muskuļota pēda un čaulas apņemts viduklis, kur atrodas iekšējo orgānu maiss (17.5. att.). Čaula pasargā ne tikai no ievainojumiem, bet arī no izžūšanas. Gliemezis pārvietojas, viļņveidīgi kustoties kājai. Lai atvieglotu pārvietošanos, gliemezis izdala slidenas gļotas.

Sauszemes gliemeži ir hermafrodīti. Sākot pārošanos, gliemeži viens otram dursta ādu ar īpašām kalcija karbonāta adatām. Tad viņi viens otra makstī ievada kopulācijas orgānu un izdala spermu. Apaugļotās olas tiek izdētas augsnē. Attīstība ir tieša, bez kāpura stadijas.

Kopulācijas orgāns un hermafrodītisms ir pielāgojumi dzīvei uz sauszemes. Ar kopulācijas orgānu viegli var nodot spermu otram īpatnim, bet hermafrodītisms ļauj pāroties jebkuriem diviem dzīvniekiem. Īpaši noderīgi tas ir dzīvniekiem, kas lēni pārvietojas.

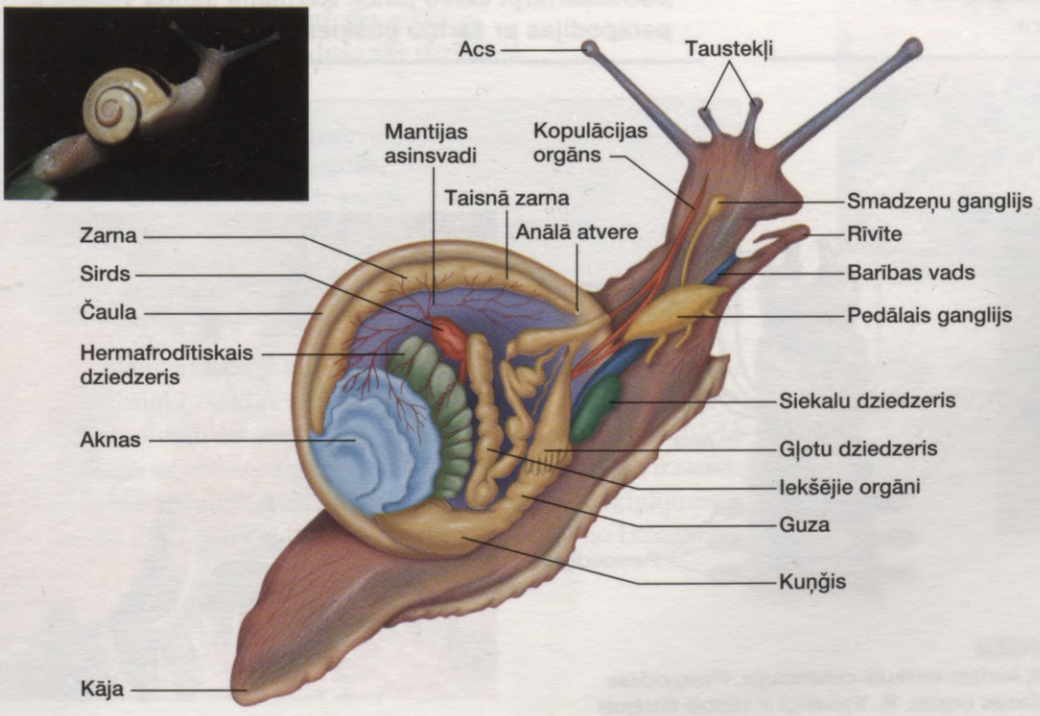
Ūdenī dzīvojošā kalmāra un gliemenes pielāgojumi ar sauszemes gliemeža pielāgojumiem ir salīdzināti 17.2. tabulā.

Plaušgliemeži ir pielāgojušies dzīvei uz sauszemes. Viņiem ir spirālē savīta čaula, liela, plata, muskuļota kāja un attīstīts galvas nodalījums. Mantija ir pārveidojusies par plaušu.

17.2. tabula

Gliemene un kalmārs salīdzinājumā ar plaušgliemezi

	Gliemene un kalmārs	Plaušgliemezis
Skelets	Čaula gliemeni aizsargā pret ievainojumiem un izžūšanu	Čaula aizsargā pret ievainojumiem
Kustības	Piemērotas pludmalei vai ūdenim	Piemērotas sausai virsmai
Elpošana	Žaunas apskalo no ārvides ieplūstošs ūdens	Mantija darbojas kā plauša
Izvada	Ūdenī izšķīdušu amonjaku	Urīnskābes kristālus
Vairošanās	Nav kopulācijas orgāna, šķirtdzimumu, ir kāpura stadija	Ir kopulācijas orgāns, hermafrodītiska, nav kāpura stadijas



17.5. attēls. Sauszemes gliemezis *(Helix)*

17.3. Posmojuma attīstība

Posmojums jeb **segmentācija** ir ķermeņa dalījums daudzās vienādās daļās – **posmos** jeb **segmentos**. Iespējams, ka posmojuma veidošanās ir saistīta ar hidroskeleta attīstību. Celoma sadalīšanās ļauj katram ķermeņa posmam kustēties neatkarīgi. Tā dzīvnieks var ne tikai rakties dūņās, bet arī izlīst zemes virspusē. Kad izveidojās posmojums, radās arī citas priekšrocības. Katrs posms vai posmu grupa varēja specializēties un pildīt noteiktas funkcijas.

Posmtārpiem raksturīgs posmojums

Posmtārpiem (tips *Annelida*; lat. *annelus*, *annulus* – aplis; 12 000 sugu) ir raksturīgs labi saskatāms ķermeņa posmojums. Labi attīstīto, ar šķidrumu pildīto celomu, kas funkcionē kā hidroskelets, ķermeņa iekšienē sadala starpsienas – **septas**.

Posmtārpiem cauruļveida ķermeņa uzbūve ir veicinājusi **gremošanas trakta daļu specializāciju**. Piemēram, gremošanas sistēmā ir izveidojusies rīkle, kuņģis un dažādi dziedzeri. Posmtārpiem ir slēgta asinsrites sistēma. Asinsvadi stiepjas cauri visam ķermenim un katrā posmā sazarojas. Nervu sistēmu veido **smadzeņu gangliji**, kurus **ventrālās nervu stiegras** savieno ar katra posma ganglijiem. Izvadsistēma sastāv no pāra nefrīdijiem (gr. *nephros* – niere), kas atgādina savītas caurules. Parasti nefrīdiji ir katrā segmentā. Tie no celoma savāc organismam nevajadzīgās vielas un izvada ārā caur porām ķermeņa sienā.

Posmtārpu ķermenis ir posmots. Celomu sadala septas. Orgānu sistēmām ir daļas, kas atkārtojas. Posmtārpiem ir slēgta asinsrites sistēma un nepārtraukta vēdera nervu stiegra.

Jūrā dzīvojošiem tārpiem ir parapodijas

Vairums posmtārpu pieder pie **daudzsartārpu** (*Polychaeta*; gr. *polys* – daudz, *chaite* – sari) klases. Viņi visi, atskaitot dažus izņēmumus, dzīvo jūrās. Nosaukums liecina, ka viņiem uz ķermeņa ir sariņi. Tie ir sakopoti pušķos uz **parapodijām** (gr. *para* – blakus, *podos* – kāja). Parapodijas ir muskuļoti, kustīgi ķermeņa izaugumi, kas izvietojušies ķermeņa sānos gandrīz pie visiem posmiem. Parapodijas noder ne tikai, lai pārvietotos, bet tās veic arī elpošanas funkciju. Daudzi daudzsartārpi, piemēram, nereīdas *Nereis* (17.6. att.), ir plēsēji. Nereīdas pārtiek no vēzīšiem un citiem nelieliem dzīvniekiem, ko satver ar spēcīgajiem hitīna žokļiem. Barojoties žokļi izvirzās uz ārpusi kopā ar daļu rīkles. Nereīdas *Nereis* dzīvesveids ir sekmējis cefalizāciju – viņām ir izveidojies galvas nodalījums ar acīm un citiem maņu orgāniem.

Pie daudzsartārpiem pieder arī sēdoši dzīvnieki. Viņiem ir spēcīgi attīstīti **galvas tausti** (palpi), kas noder barības daļiņu savākšanai un ievirzīšanai mutē. Ar galvas taustiem barība tiek sašķirota, un dzīvnieks izmanto tikai mazākās barības daļiņas.

Daudzsartārpi vairojas noteiktā laikā, un tikai tad viņiem izveidojas dzimumorgāni. Daudziem nereīdu *Nereis* pārstāvjiem pārošanās laikā atdalās daļa ķermeņa, kas uzpeld ūdens virspusē, kur notiek apaugļošanās. No zigotas attīstās kāpurs – trohofora, kas ir līdzīgs jūras gliemeža kāpuram. Tas liecina, ka posmtārpi un gliemji ir radniecīgi tipi.

Daudzsartārpi dzīvo jūrās. Ķermeņa sānos viņiem ir parapodijas ar sariņu pušķiem.



A. Nereīda *(Nereis)*



B. Sabellīds *(Sabellastarte)*

17.6. attēls. Daudzsartārpu daudzveidība
A. Nereīdas *Nereis* ir plēsīgi daudzsartārpi, kuriem notikusi cefalizācija. Parapodijas kalpo, gan lai pārvietotos, gan arī kā elpošanas orgāni. **B.** Sabellīdi ir sēdoši filtrējoši dzīvnieki, kuru taustekļi veido piltuvveida vēdekli.

Sliekas dzīvo augsnē

Mazsartārpu (*Oligochaeta*; gr. *oligos* – daži, *chaite* – sari) klases dzīvniekiem, piemēram, sliekām, ķermeni klāj tikai nedaudzi sariņi. Sliekām *(Lumbricus)* galvas nodalījums attīstīts vāji un arī parapodijas ir gandrīz izzudušas (17.7. att.). Katrā segmentā ir daži īsu sariņu pušķi, kas nāk laukā tieši no ķermeņa sienas. Ķermeņa kustības nodrošina muskuļu kontrakcijas un sariņi. Saraujoties gareniskajiem muskuļiem, posmi izliecas un sariņi ieduras zemē. Pēc tam, saraujoties gredzeniskajiem muskuļiem, sariņi tiek izvilkti no zemes un ķermenis virzās uz priekšu.

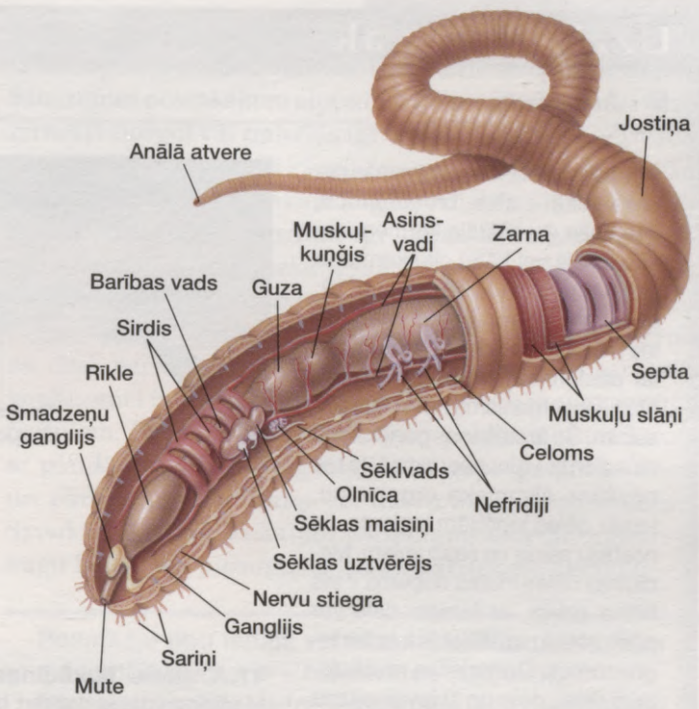
Sliekas dzīvo augsnē, kur pietiek mitruma. Lai varētu notikt gāzu apmaiņa, viņu ādai vienmēr jābūt mitrai. Sliekas pārtiek no nobirušām lapām un citām organiskām vielām, kuras uzņem kopā ar augsni. Barību mutē iestumj muskuļotā rīkle. Barība tiek uzkrāta guzā un pēc tam saberzta muskuļkuņģī. Sagremošana un barības vielu uzsūkšana notiek viduszarnā. Tās dorsālajā sienā ir gareniska rieva – **tiflozols**, kas palielina uzsūcošo virsmu.

No ārpuses labi saskatāmie posmi organisma iekšienē ir atdalīti ar septām. No smadzeņu ganglijiem cauri visam ķermenim stiepjas vēdera nervu ķēdīte. Katrā segmentā ir nervu mezgli, sānu nervi un izliektu caurulīšu – nefrīdiju pāris. Vienā nefrīdija galā ir skropstiņām klāta šūna, kas caurulītē ievada celoma šķidrumu, bet otrs gals atveras ķermeņa sienā. Caurulīti apvij asinsvadi, no kuriem izvadsistēmā nonāk organismam nevajadzīgās vielas un kuros atpakaļ uzsūcas šķidrums. Sarkanās asinis plūst pa pulsējošo dorsālo asinsvadu. Asins plūsmu veicina arī priekšgalā esošo piecu gredzenisko asinsvadu – siržu pulsācija. Katrā posmā galvenie asinsvadi sazarojas sīkākos.

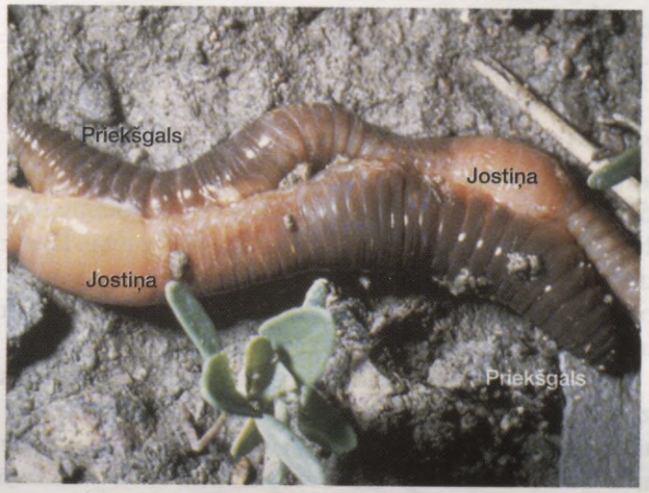
Posmojuma izveidošanās rezultātā

- ķermenis ir gredzenveida,
- celomu sadala septas,
- uz katra posma ir sariņi,
- katrā posmā ir sānu nervi un ganglijs,
- vairumā posmu ir nefrīdiji,
- katrā posmā ir sazaroti asinsvadi.

Mazsartārpi ir **hermafrodīti**. Vīrišķie dzimumorgāni ir sēklinieki, sēklas maisiņi un sēklvadi, bet sievišķie – olnīcas, olvadi un sēklas uztvērēji. Pārojoties divi dzīvnieki sakļaujas ar vēderpusēm, galvas pavērsuši pretējā virzienā. Ķermeņa vidusdaļā ir īpašs gredzenveida uzbiezinājums – **jostiņa**, kas izdala gļotas. Tās pasargā spermu no izžūšanas,



A



B

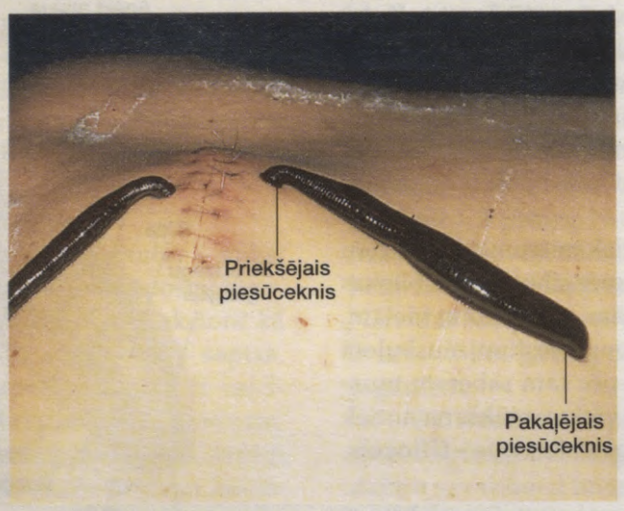
17.7. attēls. Slieka *(Lumbricus)*
A. Sliekas priekšējās daļas anatomiskā uzbūve. Uz katra ķermeņa posma ir sariņu pušķu pāris, celomu sadala septas. **B.** Sliekām pārojoties, tās savieno jostiņu izdalītas gļotas. Sliekas ir hermafrodīti, un katra īpatņa sperma nonāk otra dzīvnieka sēklas uztvērējā.

Uzziniet tuvāk

Asinssūcēji

Parazītiskās dēles piestiprinās pie saimnieka – zivs, bruņurupuča, gliemeža vai zīdītāja ķermeņa un sūc asinis vai kādu citu ķermeņa šķidrumu. Savulaik – 18. un 19. gadsimtā – Eiropā medicīnas dēles *(Hirudo medicinalis)* izmantoja, lai pacientiem "nolaistu asinis", atbrīvojot organismu no "sliktajām" asinīm. Šo ārstēšanas paņēmienu mūsdienās vairs nepraktizē, jo tas novājina slimnieka organismu, tomēr dēles joprojām izmanto, lai nosūktu asinis no sasitumiem. Medicīnas dēles mutes dobumā ir trīs hitīna zobiņi, ar kuriem dēle var pārkost ādu, atstājot Y formas iegriezumus. Darbojoties muskuļotajai rīklei, dēle no šī ievainojuma sūc asinis (17.A. att.). Siekalu dziedzeri izdala antikoagulantu hirudīnu, kas neļauj asinīm sarecēt, kamēr dēle barojas. Cita viela siekalās paplašina asinsvadus un darbojas anestezējoši. Medicīnas dēle var uzņemt piecreiz vairāk asiņu, nekā pati sver, jo viņas guzā ir kabatas, kas, uzņemot asinis, izplešas. Kad šīs kabatas ir pilnas, dēle atlaižas, lai sagremotu maltīti. Pilnīgai barības sagremošanai vajag daudz laika, tāpēc dēle ēd tikai vienreiz gadā.

Ne visas dēles sūc asinis vai citus ķermeņa šķidrumus. Dažas dēles ir plēsīgas un pārtiek no dažādiem sīkiem bezmugurkaulniekiem.



17.A. attēls. Medicīnas dēles *(Hirudo medicinalis)*
Medicīnas dēles dažkārt izmanto medicīnā, lai viņas no ievainotiem audiem nosūktu asinis.

kamēr tā nokļūst no viena tārpa otrā. Tad tārpi atraujas viens no otra. Jostiņa atkal izdala gļotas, kas veido gļotainu uzroci. Muskuļiem saraujoties, tas tiek nobīdīts pāri galvai. Uzrocim nobīdoties, tajā tiek ievadīta gan sperma, gan olšūnas un notiek apaugļošanās. Nomauktais uzrocis izveido kokonu, kurā notiek olu attīstība bez kāpura stadijas.

Interesanti ir salīdzināt nereīdu un slieku anatomisko uzbūvi, jo tā parāda, kā sliekas ir pielāgojušās dzīvei uz sauszemes. Viņām nav žokļu, jo organisko atlieku uzņemšanai tie nav nepieciešami. Parapodiju trūkums samazina ūdens zudumus iztvaikojot un uzlabo ierakšanās iespējas. Apaugļošanās nereīdām ir ārēja un notiek ūdenī, bet sliekas izdala īpašas gļotas. Tikai ūdenī dzīvojošiem posmtārpiem ir peldoša kāpura stadija – trohofora.

Sliekām, kas dzīvi pavada, rokoties augsnē, nav izteikta cefalizācija un trūkst parapodiju. Sliekas ir hermafrodīti, un viņām nav kāpura stadijas.

Dēles ir parazīti

Dēles (klase *Hirudinea*) parasti sastopamas saldūdeņos, bet dažas mīt jūrās vai pat uz sauszemes. Viņām ir tāda pati ķermeņa uzbūve kā citiem posmtārpiem, bet nav sariņu un katram posmam ir dažas gredzeniskas rievas. Vairums dēļu ir tikai 2–6 cm garas, bet dažas, piemēram, medicīnas dēle, var izaugt pat 20 cm garas.

Starp citiem pielāgojumiem dēlēm ir arī divi piesūcekņi – viens ap muti un otrs – lielāks – ķermeņa pakaļgalā. Dažas dēles ir brīvi dzīvojošas plēsējas, bet vairums sūc šķidrumus, piestiprinājušās pie vaļējiem ievainojumiem. Dažas asinssūcējas dēles, piemēram, medicīnas dēle, spēj pārgrauzt audus. Dēles siekalās ir īpaša viela – hirudīns, kas asinīm neļauj sarecēt. Dažkārt dēles izmanto medicīnā, kā tas aprakstīts šajā lappusē.

Dēles ir pielāgojušās parazītiskam dzīvesveidam. Dažas no viņām sūc asinis.

17.4. Ekstremitāšu locītavu attīstība

Posmkāji ir radniecīgi posmtārpiem. Sīkāk par to pastāstīts 325. lappusē. Posmkājiem ir posmots ķermenis un ciets, vairākās vietās savienots **eksoskelets** (gr. *ex* – ārpus, *skeleton* – sauss ķermenis). Posmkājiem, kā to liecina tipa nosaukums, ir **posmotas ekstremitātes**. Posmu savienojumu vietās tās var locīties. Ķermeņa posmojums un ekstremitātes ar locītavām ir raksturīgas divām dzīvnieku grupām, kas dominē uz sauszemes, – posmkājiem un mugurkaulniekiem.

Posmkāju ekstremitātēm ir locītavas

Posmkāji (tips *Arthropoda*; gr. *arthron* – locītava, *podos* – kāja; vairāk nekā miljons sugu) ir ārkārtīgi daudzveidīgi un pielāgojušies dzīvei visdažādākajos apstākļos. Tāpēc daudzi zinātnieki viņus uzskata par mūsdienu apstākļiem vislabāk piemērotajiem dzīvniekiem. Daži pat domā, ka pašreizējais laikmets būtu jāsauc nevis par zīdītāju, bet gan par posmkāju ēru.

Kādas iezīmes liecina par posmkāju augsto attīstības līmeni? Pirmām kārtām viņiem ir stiprs, bet lokans ārējais skelets jeb **eksoskelets**. Posmkāju eksoskelets sastāv galvenokārt no **hitīna** (gr. *chiton* – apmetnis) – cietas, elastīgas, organisko slāpekli saturošas vielas. Eksoskeletam ir dažādas funkcijas – tas aizsargā ķermeni gan no mehāniskiem bojājumiem, gan izžūšanas. Pie eksoskeleta piestiprinās muskuļi, un tas piedalās ķermeņa kustībās. Tomēr eksoskelets nevar izplesties, tāpēc posmkājiem laiku pa laikam tas ir jānomaina. Pirms skeleta nomaiņas zem vecā hitīna slāņa izveidojas jauna un mīksta hitīna sega. Pēc tam fermenti daļēji noārda veco eksoskeletu, dzīvnieks to pārplēš un izlien ārā. Jaunais eksoskelets ātri izplešas un sacietē. Šādu parādību sauc par **novilkšanos**.

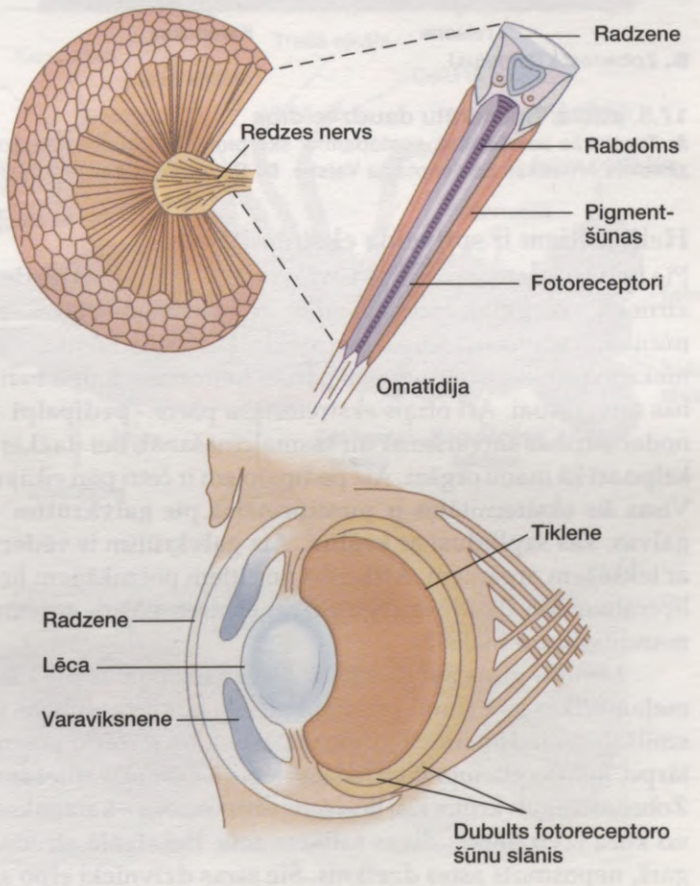
Posmkājiem ir posmots ķermenis, bet līdzīgiem posmiem saplūstot, posmi ir apvienojušies **nodalījumos** jeb **tagmās**, piemēram, galva, krūtis un vēders. Trilobītiem (apakštips *Trilobitomorpha*), kuru uzplaukums bija kembrija periodā, pie katra ķermeņa posma atradās ekstremitāšu pāris. Mūsdienu posmkājiem ir ļoti dažādas ekstremitātes – tās dzīvniekam palīdz iet, lidot, vairoties, ēst, kā arī kalpo kā maņu orgāni. Tieši ekstremitāšu pārveidojumi ir pamatā lielajai posmkāju daudzveidībai. Pie vairākām posmkāju grupām, piemēram, kukaiņiem, zirnekļveidīgajiem, simtkājiem un tūkstoškājiem, pieder sugas, kas pielāgojušās dzīvei uz sauszemes.

Posmkājiem ir **attīstīta nervu sistēma**. To veido smadzenes un vēdera nervu ķēdīte. Galvā ir dažādi maņu orgāni, piemēram, divu tipu acis – saliktās un vienkāršās (17.8. att.). Saliktā acs ir veidota no daudzām sīkākām actiņām – omatīdijām, kas katra darbojas neatkarīgi no citām. Katrai omatīdijai ir lēca, kas fokusē attēlu uz nedaudziem fotoreceptoriem. Vienkāršajai acij ir viena lēca. Tā fokusē attēlu uz daudziem fotoreceptoriem, no kuriem katrs saņem nelielu attēla daļu.

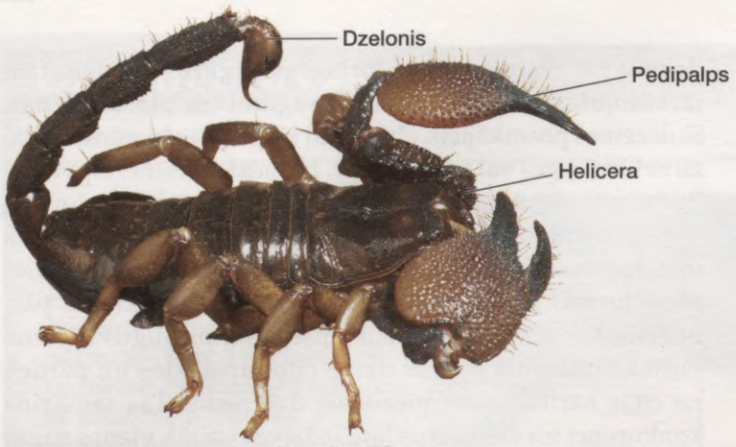
Posmkājiem ir **daudzveidīgi elpošanas orgāni**. Jūrā dzīvojošiem posmkājiem ir žaunas, kas parasti ir pārveidojušās par ekstremitātēm. Pielāgojoties gāzu apmaiņai, tām izveidojušies dažādi izlocīti izaugumi un plānas sienas. Sauszemes posmkājiem elpošanai kalpo plaušu maisi (daļai zirnekļveidīgo) vai **trahejas** (gr. *trachea* – balsene, elpvads). Trahejas ir sīki, sazaroti kanāli, kas gaisu nogādā līdz šūnām.

Visbeidzot, posmkāju augsto attīstības līmeni nosaka metamorfoze. **Metamorfoze** (gr. *meta* – netieša maiņa, *morphe* – forma) ir dzīvnieka izskata un uzbūves krasas pārmaiņas, kas notiek, kāpuram kļūstot par pieaugušu īpatni. Posmkāju kāpurs parasti dzīvo citos apstākļos un pārtiek no citas barības nekā pieaudzis dzīvnieks. Tas samazina konkurenci un vienlaikus ļauj izdzīvot vairāk vienas sugas īpatņiem. Piemēram, krabju kāpuri peld ūdenī un barojas ar planktonu, bet pieaugušie krabji rāpo pa jūras dibenu un pārtiek no medījuma vai dzīvo organismu atliekām. Savukārt daudzu kukaiņu, piemēram, tauriņu kāpuri ēd augu lapas, bet pieaugušie īpatņi pārtiek no nektāra.

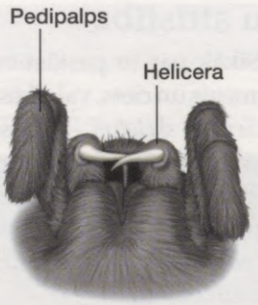
Posmkāju tipu iedala vairākos apakštipos. No tiem mēs aplūkosim trīs – helicerātus (zirnekļi), žaunaiņus (vēži) un traheātus (simtkāji, tūkstoškāji un kukaiņi).



17.8. attēls. Saliktas un vienkāršas acs salīdzinājums
A. Posmkāju saliktā acs sastāv no daudzām sīkām actiņām – omatīdijām, kurām katrai ir sava lēca. Lēca fokusē attēlu uz rabdoma, kas veidots no gaismjutīgām membrānām ar nedaudziem fotoreceptoriem. **B.** Galvkāju vienkāršajai acij ir viena lēca, kas attēlu fokusē uz dubulta fotoreceptoro šūnu slāņa.



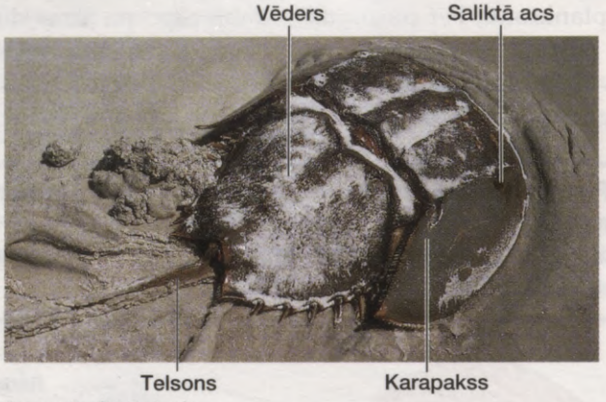
A. Kenijas milzskorpions *(Pandinus)*



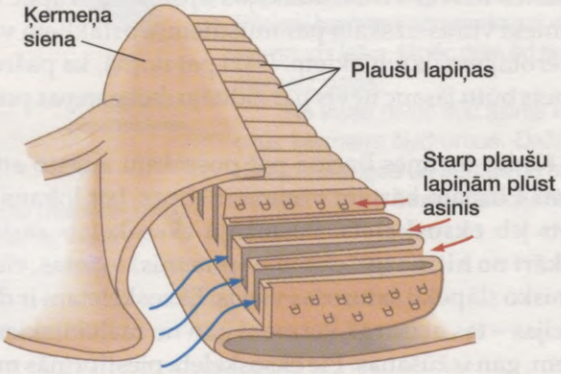
Mutes orgāni
(skats no apakšpuses)



C. Melnā atraitne *(Latrodectus)*



B. Zobenaste *(Limulus)*



D. Gaiss plūst gar plaušu lapiņām.

17.9. attēls. Helicerātu daudzveidība

A. Tropiskās zemēs bieži sastopami ir skorpioni. **B.** Zobenastes dzīvo Ziemeļamerikas austrumu piekrastē. **C.** Melnā atraitne ir indīgākais zirneklis Amerikas Savienotajās Valstīs. **D.** Sauszemes helicerātiem, piemēram, zirnekļiem, elpošanai kalpo plaušu maisi.

Helicerātiem ir spīļveida ekstremitātes

Pie **helicerātiem** (apakštips *Chelicerata*; 57 000 sugu) pieder zirnekļi, skorpioni, ērces, kā arī mazāk pazīstamie jūras iemītnieki zobenastes un jūraszirnekļi (17.9. att.). Šiem dzīvniekiem pirmais ekstremitāšu pāris – **heliceras** – kalpo barības satveršanai. Arī otrais ekstremitāšu pāris – **pedipalpi** – noder barības satveršanai un sasmalcināšanai, bet dažkārt kalpo arī kā maņu orgāni. Aiz pedipalpiem ir četri pāri ejkāju. Visas šīs ekstremitātes ir piestiprinātas pie **galvkrūtīm** – galvas, kas saplūdusi ar krūtīm. Aiz galvkrūtīm ir vēders ar iekšējiem orgāniem. Atšķirībā no citiem posmkājiem helicerātiem nav daudzveidīgu galvas ekstremitāšu – antenu, mandibulu un maksilu.

Limulus ģints zobenastes ir bieži sastopamas pie Ziemeļamerikas austrumu krastiem vietās, kur jūras dibens ir smilšains vai dūņains. Tur viņas pārtiek no dažādu posmtārpu, nelielu gliemju un citu bezmugurkaulnieku atliekām. Zobenastes galvkrūtis klāj liels muguras vairogs – **karapakss**, no kura izvirzījušās divas saliktas acis. Pakaļgalā atrodas garš, neposmots astes dzelknis. Šie jūras dzīvnieki elpo ar žaunām, kas ir pārveidojušās vēdera ekstremitātes un tāpēc tiek dēvētas par žaunkājām.

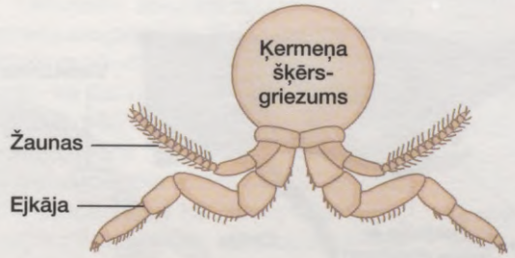
Skorpioni, kas pieder pie zirnekļveidīgo klases, ir senākie sauszemes posmkāji. Mūsdienās viņi dzīvo tropos, subtropos un Ziemeļamerikā apgabalos ar mērenu klimatu. Skorpioni ir naktsdzīvnieki un lielāko dienas daļu pavada, paslēpušies zem kāda baļķa vai akmens. Šiem dzīvniekiem pedipalpi ir pārveidojušies par lielām spīlēm, bet garā vēdera galā ir dzelonis, kurā atveras indes dziedzeru kanāli. Sugu skaita ziņā vislielākā zirnekļveidīgo klases kārta ir ērces (25 000 sugu). Ērces bieži vien ir parazīti. Viņas sūc mugurkaulnieku asinis un dažkārt pārnēsā slimības, piemēram, ērču encefalītu un Laima slimību. Ērču kāpuri – nimfas – pārtiek no mugurkaulnieku ādas.

Vislabāk pazīstamie zirnekļveidīgo klases pārstāvji ir zirnekļi. Viņu galvkrūtis ar vēderu savieno šaurs kātiņš. Zirnekļiem nav salikto acu – to funkcijas izpilda daudzas sīkas vienkāršās acis. Heliceru gali ir asi un savienoti ar indes dziedzeriem. Savukārt pedipalpi tiek izmantoti kā mutes orgāni. Vēderā nereti atrodas tīmekļa dziedzeri. To izdalītais tīmeklis noder ķeramtīklu pagatavošanai, ar ko sagūstīt medījumu. Daudziem zirnekļiem elpošanai kalpo iedobes ķermeņa sienā – plaušu maisi ar plaušu lapiņām. Tajās plūst asinis un notiek gāzu apmaiņa ar atmosfēras gaisu.

Pie helicerātiem pieder zobenastes, zirnekļi un skorpioni. Šiem dzīvniekiem ir spīļveida ekstremitātes – heliceras, kas zirnekļiem beidzas ar kustīgu nagveida posmu.

Vēžiem ir kaļķa eksoskelets

Vēži (klase *Crustacea*; apakštips **žaunaiņi** – *Branchiata*) ir posmkāji, kas galvenokārt dzīvo jūrās. Viņus klāj ciets kaļķa eksoskelets. Kaut gan vēžu uzbūve ir ļoti daudzveidīga, parasti viņiem ir viens salikto acu pāris un **pieci ekstremitāšu pāri**. Pirmie divi pāri – antenas un antenulas – atrodas virs mutes un ir maņu orgāni. Trīs nākamie pāri (mandibulas, pirmās un otrās maksillas) ir novietoti tūlīt zem mutes un kalpo kā mutes orgāni. Pārējo ekstremitāšu pāri ir piestiprināti katrs pie sava krūšu vai vēdera posma. Šīs ekstremitātes parasti ir divzarotas. Uz viena no zariem ir žaunas, bet otrs tiek izmantots kā ejkāja.

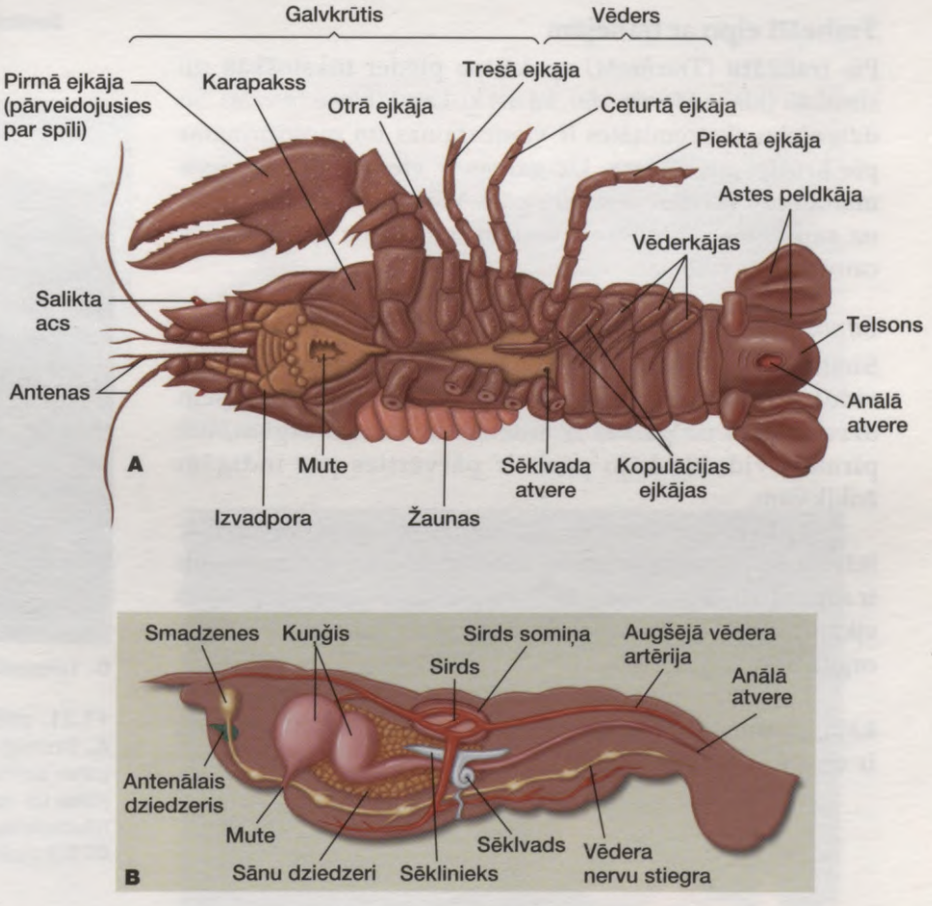


Airkājvēži un spīdvēži ir nelieli vēži, kas dzīvo ūdenī un pārtiek no aļģēm. Jūrās viņi ir dažādu zivju un vaļu barība. Šie dzīvnieki ir ļoti mazi, bet viņu ir ārkārtīgi daudz, tāpēc viņus uzskata par potenciālu cilvēka pārtikas avotu. Sprogkājvēžiem, piemēram, jūraspīlītēm un jūraszīlēm, mazaktīvā dzīvesveida dēļ ir izveidojusies bieza, cieta čaula. Jūraspīlītes pie substrāta piestiprinās ar garu, gaļīgu kātu, bet jūraszīles – ar platu pēdu. Šie dzīvnieki piestiprinās pie piestātņu pāļiem, kuģiem, akmeņiem jūrā un pat pie vaļu ķermeņiem. Sprogkājvēžu dzīves pirmā stadija ir brīvi peldošs kāpurs. Metamorfozes ceļā peldēšanai izmantotās ekstremitātes pārvēršas par taustekļiem, ar kuriem dzīvnieks no ūdens izfiltrē barību un pievada to mutei.

Desmitkājvēži ir vislabāk pazīstamā un sugām bagātākā vēžu kārta. Pie šīs kārtas pieder garneles, omāri, vēži un dažādi krabji, kuriem pie krūtīm piestiprināti pieci pāri ejkāju. Pirmais ejkāju pāris var būt pārveidojies par spīlēm. Virs ejkājām parasti ir žaunas. Vēža ārējā uzbūve parādīta 17.10. attēlā A. Galva un krūtis ir saplūdušas, veidojot galvkrūtis, kuras no augšas un sāniem sedz neposmots karapakss. Uz vēdera posmiem ir nelielas airveida ekstremitātes, kas noder peldēšanai. Tēviņi pirmos divus šo ekstremitāšu pārus izmanto kā kopulācijas orgānus. Pie pēdējiem diviem ķermeņa posmiem ir piestiprinātas astes peldkājas un telsons, kas veido vēdekļveida asti.

Parasti vēzis nekustīgi gaida medījumu. Viņš ierāpjas paslēptuvē, ārā atstājot tikai spīles un antenas. Ar spīlēm vēzis satver jebkuru nelielu dzīvnieku vai cita plēsēja atstātos pārpalikumus un ievirza mutē. Vēzis parasti pārvietojas, lēni rāpojot, taču viņš spēj arī ātri peldēt, izmantojot spēcīgos vēdera muskuļus un asti.

Elpošanas sistēma sastāv no žaunām, kas atrodas virs ejkājām. Žaunas aizsargā karapakss. 17.10. attēlā B redzams, ka kuņģim ir divi nodalījumi: priekšējais – **kardiālais** jeb **gremošanas** un pakaļējais – **piloriskais** nodalījums. Kardiālajā nodalījumā ir cietas hitīna plātnītes, kas barību saberž, bet piloriskais nodalījums veido filtru, caur kuru izkļūst tikai labi sasmalcinātas barības daļiņas. Tālāk barība nonāk paplašinātajā viduszarnā, kur izdalās gremošanas fermenti un tiek asimilētas barības vielas. Vēža izvadorgāni ir **antenālie dziedzeri**, kas vielmaiņas galaproduktus izvada caur atveri pie antenu pamata. Celoms, kas posmtārpiem ir ļoti labi attīstīts, posmkājiem ir reducēts un galvenokārt veido dobumu, kur atrodas vairošanās orgāni, kā arī ir svarīga asinsrites sistēmas daļa. Asinsrites sistēma ir vaļēja.



17.10. attēls. Vēža *Cambarus* tēviņš
A. Aplūkojot vēzi no apakšpuses, var redzēt posmotās ekstremitātes, arī vēderkājas un spīles. Lai varētu aplūkot žaunas, labajā pusē ir noņemtas ekstremitātes un karapakss. **B.** No sāniem labi apskatāma gremošanas sistēma un asinsrites sistēma. Attēlā redzama arī vēdera nervu stiegra.

Posmkāju asinis ir hemolimfa, kas satur elpošanas fermentu hemocianīnu. Atšķirībā no sarkanā hemoglobīna tas ir zils. Sirds sūknētā hemolimfa ieplūst **hemocelā** (gr. *haima* – asinis, *koiloma* – dobums), kas sastāv no dobumiem – sīnusiem un apskalo iekšējos orgānus.

Nervu sistēma ir ļoti līdzīga slieku nervu sistēmai. To veido smadzenes un **vēdera nervu ķēdīte**. Uz nervu stiegrām atrodas gangliji, no kuriem atzarojas sānu nervi.

Vēži ir šķirtdzimumu dzīvnieki. Dzimumdziedzeri atrodas uz leju no sirds somiņas. Tēviņiem pie piektā ejkāju pāra pamata atveras sēklvads. Mātītēm starp ceturto un piekto ejkāju pāri atrodas sēklas uztvērējs. Spermu tajā ievada īpaši pārveidotie pirmie divi tēviņa vēderkāju pāri (kopulācijas ejkājas). Mātītēm dzimumatvere atrodas pie trešo ejkāju pamatnes. Pēc apaugļošanās olas piestiprinās pie mātītes vēderkājām.

Vēži ir posmkāji, kas galvenokārt dzīvo jūrās. Viņiem uz galvas ir pieci ekstremitāšu pāri, arī mandibulas un maksillas. Pārējās ekstremitātes parasti ir divzarotas.

Traheāti elpo ar trahejām

Pie **traheātu** *(Tracheata)* apakštipa pieder tūkstoškāji un simtkāji (klase *Myriapoda*), kā arī kukaiņi (klase *Insecta*). Šo dzīvnieku ekstremitātes ir vienzarainas un piestiprinātas pie krūtīm un vēdera. Uz galvas ir **viens antenu**, viens mandibulu un divi maksillu pāri. Vairums traheātu dzīvo uz sauszemes. Elpošanu viņiem nodrošina īpašas gaisa caurulītes – trahejas.

Simtkāji un tūkstoškāji

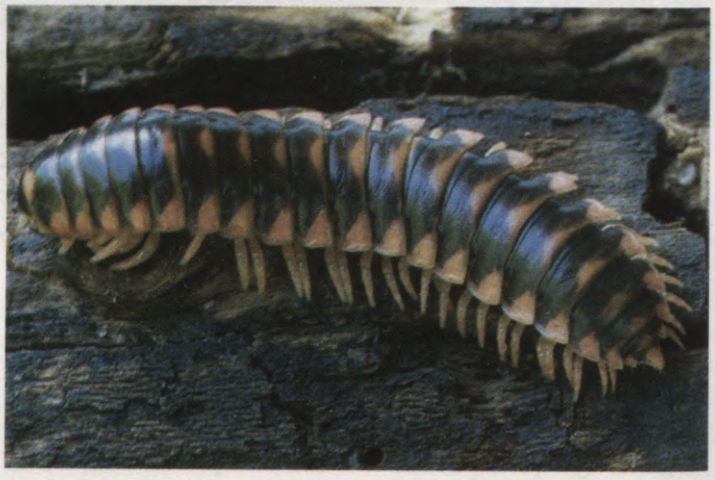
Simtkāju (2500 sugu) ķermenis sastāv no galvas un posmota vidukļa. Pie katra segmenta ir ejkāju pāris. Šiem plēsīgajiem dzīvniekiem uz galvas ir antenas un mutes orgāni, bet pirmais vidukļa kāju pāris ir pārvērties par indīgām žokļkājām.

Tūkstoškājiem (10 000 sugu) ķermeņa uzbūve ir līdzīga, tomēr viņu ķermenis ir cilindrisks un daži segmenti ir saplūduši, tāpēc izskatās, it kā pie katra posma būtu divi ejkāju pāri. Tūkstoškāji mīt augsnē un pārtiek no dzīvo organismu atliekām.

Lai gan ne simtkājiem, ne tūkstoškājiem nav tik daudz kāju, cik minēts viņu nosaukumā, tomēr tūkstoškājiem kāju ir vairāk nekā simtkājiem (17.11. att.).



A. Kaulene *(Lithobius)*



C. Tūkstoškājis *(Sigmoria)*

17.11. attēls. Simtkājis un tūkstoškājis
A. Simtkājim gandrīz pie katra posma ir kāju pāris. **B.** Simtkāja galva salīdzinājumā ar tūkstoškāja galvu. Simtkājis ir plēsīgs dzīvnieks un upuri nogalina, iekožot ar indīgajām žokļkājām. Vairums tūkstoškāju ir augēdāji, kas pārtiek no atmirušām augu daļām. **C.** Tūkstoškājiem pie saplūdušo posmu pāriem ir divi pāri ejkāju.

Uzziniet tuvāk

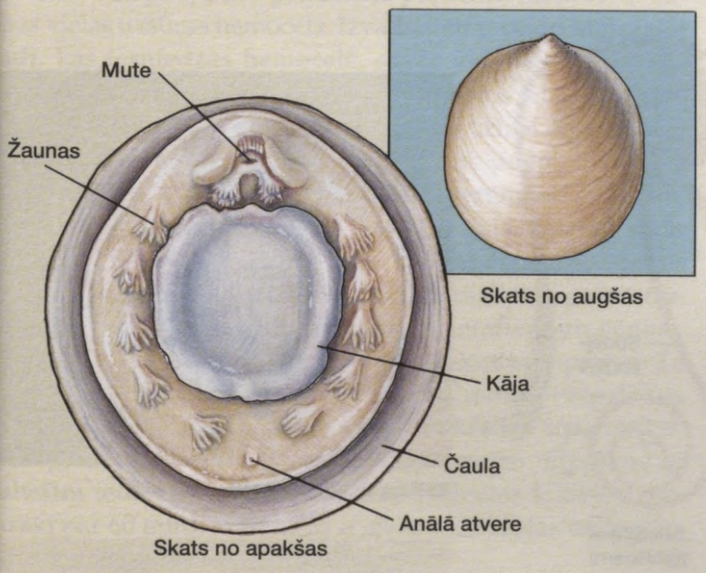
Pirmmutnieku evolūcijas norise

Pirmmutniekus (gliemjus, posmtārpus un posmkājus) no otrmutniekiem atšķir attīstības īpatnības, piemēram, spirāliska drostalošanās, mutes atveres izveidošanās un celoma attīstības veids (sk. 17.1. att.), bet nav īsti zināms, vai viņu izcelšanās bijusi savstarpēji radniecīga. Tomēr ir fakti, kas liecina, ka kopīgs priekštecis bijis gan gliemjiem un posmtārpiem, gan posmtārpiem un posmkājiem.

Gliemjiem atšķirībā no posmtārpiem ķermenis nav posmots. Tāds tas ir tikai *Neopilina* ģints pārstāvjiem (17.B. att.). Tika uzskatīts, ka šie neparastie gliemji izmiruši pirms 500 miljoniem gadu. Taču 1952. gadā Klusajā okeānā Kostarikas tuvumā 3500 metru dziļumā tika atrasti desmit dzīvi šīs ģints īpatņi. Tāpat kā citiem gliemjiem, viņiem ir mantija, čaula, muskuļota kāja un rīvīte. Gliemjiem neparastas ir posmos sakārtotās žaunas, nefrīdiji un muskuļi. Tas liecina, ka *Neopilina* ir ļoti līdzīgi hipotētiskajam gliemju un posmtārpu kopīgajam sencim. Tomēr var gadīties, ka šim gliemim raksturīgais posmojums ir veidojies neatkarīgi un gan gliemji, gan posmtārpi cēlušies no neposmotiem plakantārpiem.

Ir arī dzīvnieki, kas liecina par posmtārpu un posmkāju iespējamām radniecīgām saitēm. Onihoforu *(Onichophora)* tipa pārstāvjiem, piemēram, *Peripatus* (17.C att. A), ir 14–40 pāri īsu, resnu kāju. Tās nedaudz atgādina posmtārpu parapodijas. Līdzīgi kā posmkāji, šie dzīvnieki ķermeni tur paceltu virs zemes. Par līdzību posmkājiem liecina arī hitīna kutikula un labi izveidojusies galva ar mandibulu pāri. Savukārt iekšējiem orgāniem ir gan posmtārpiem, gan posmkājiem raksturīgas iezīmes. Izvadsistēma un muskulatūra ir līdzīga posmtārpu izvadsistēmai un muskulatūrai, bet asinsrites un elpošanas sistēma – posmkāju asinsrites un elpošanas sistēmai. Katrā izvadsistēmas posmā atrodas nefrīdiji, kas savāc šķidrumu no celoma un izvada caur nefrīdijporām.

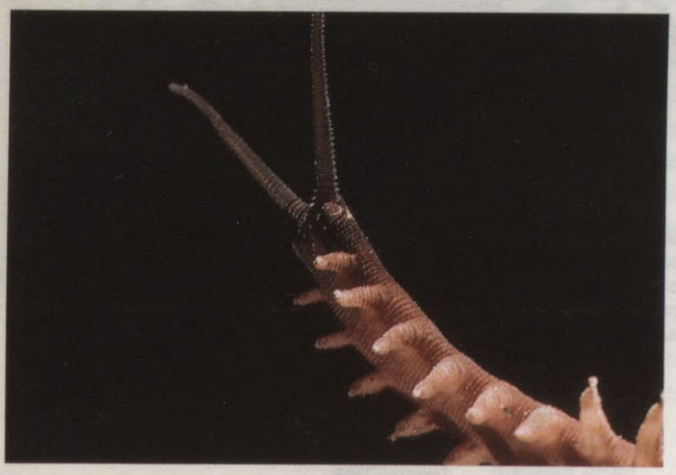
Peripatus ģints dzīvniekiem ir vaļēja asinsrites sistēma un mugurpusē novietota cauruļveida sirds. Asinsrites sistēma audiem nepiegādā skābekli. Šo funkciju pilda traheju sistēma. *Peripatus* ekstremitātēm nav locītavu, bet fosilijās atrasti tārpveida dzīvnieki, kuru ekstremitātēm locītavas ir bijušas. Tāpēc iespējams, ka posmkāji un posmtārpi ir cēlušies no kopīga senča, bet var arī būt, ka posmkāji attīstījušies tieši no posmtārpiem.



17.B. attēls. Gliemezis *(Neopilina)*

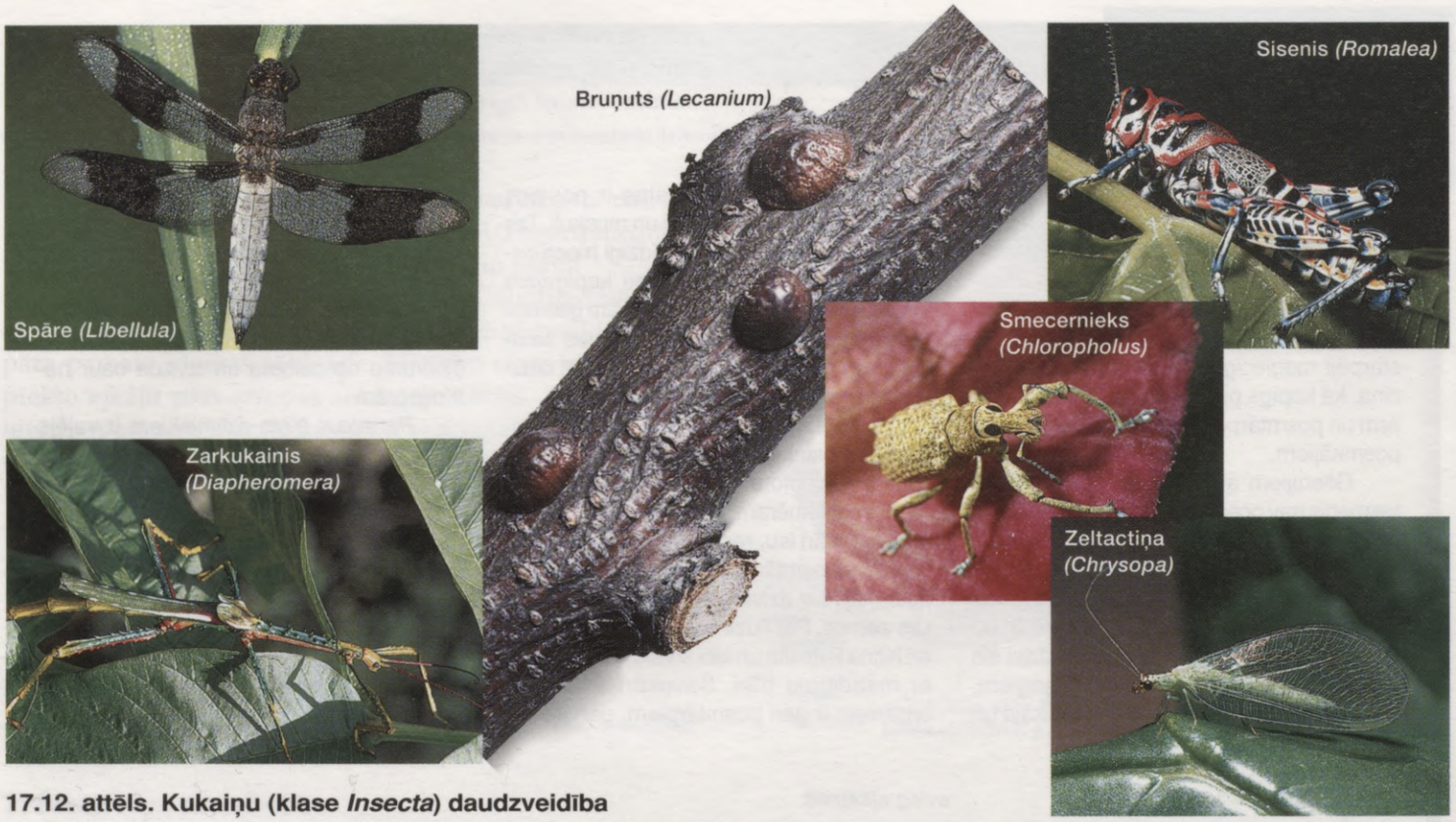


A

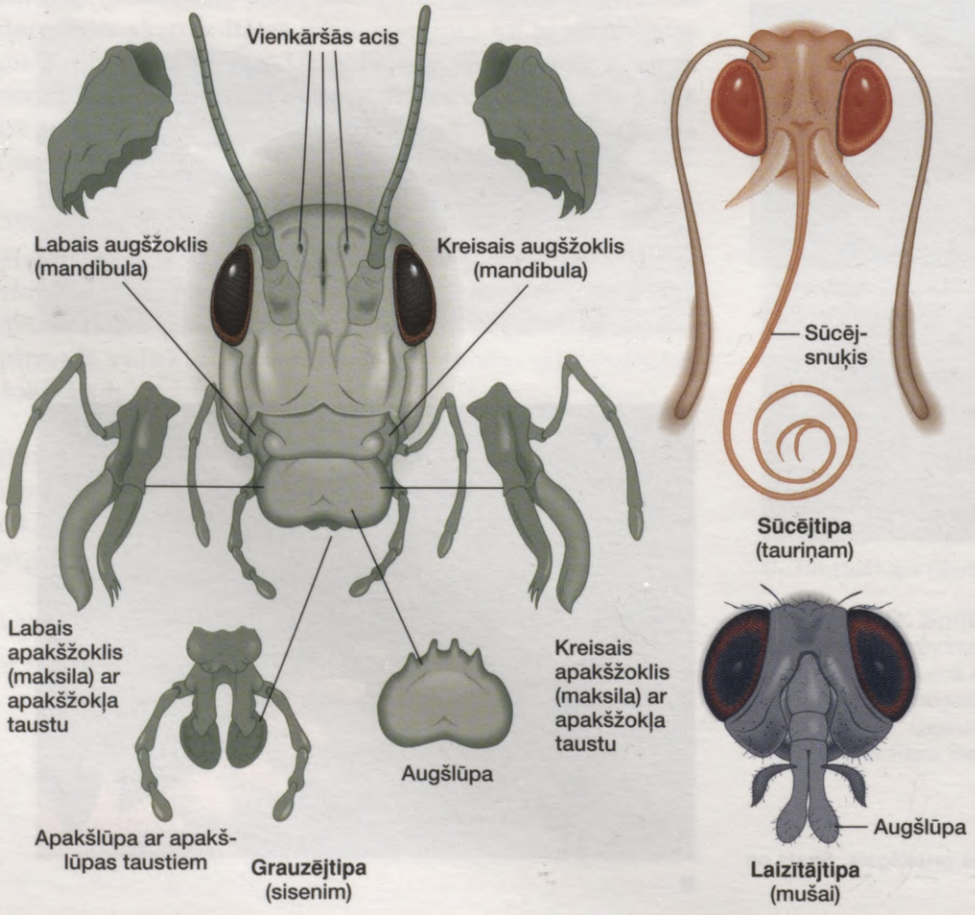


B

17.C. attēls. Onihoforu tips
A. *Peripatus* sp. **B.** *Macroperipatus torquatus* priekšgals. Skats no apakšas, lai varētu redzēt ekstremitātes.



17.12. attēls. Kukaiņu (klase *Insecta*) daudzveidība





Zeltainītis (*Lycaena*)



Muša (*Musca*)

17.13. attēls. Kukaiņu mutes orgāni

Vairākumam kukaiņu ir spārni

Kukaiņu (klase *Insecta*; 900 000 sugu) sugu ir vairāk nekā visu pārējo dzīvnieku sugu. Dažas no tām parādītas 17.12. attēlā. Kukaiņi ir pielāgojušies dzīvei uz sauszemes, tomēr daļa sugu sekundāri ieguvušas pielāgojumus dzīvei ūdenī. Kukaiņa ķermenis sastāv no galvas, krūtīm un vēdera. Uz galvas ir maņu orgāni un mutes orgāni (17.13. att.). Pie krūtīm piestiprināti trīs kāju un divi spārnu pāri. Vēdera nodalījumā atrodas lielākā daļa iekšējo orgānu. Spārni palielina kukaiņa izdzīvošanas spējas, sekmējot aizbēgšanu no ienaidnieka, barības meklēšanu, vairošanos un sugas izplatīšanos. Kukaiņu eksoskelets ir vieglāks un satur mazāk hitīna nekā citu posmkāju eksoskelets.

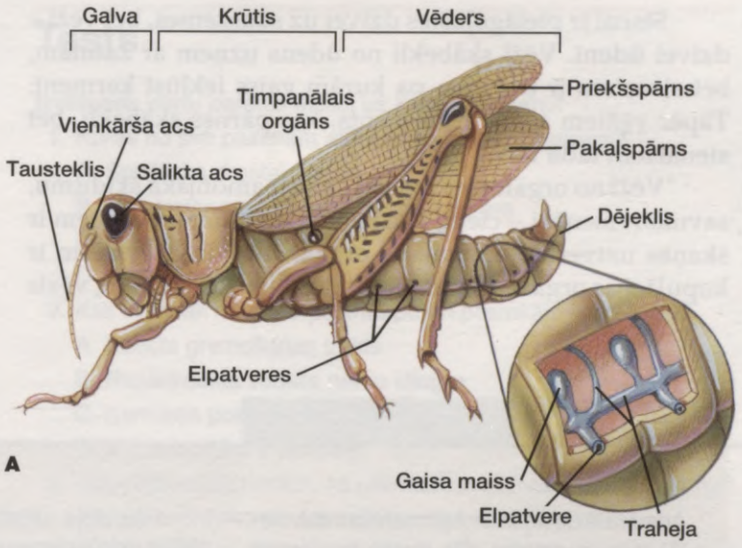
Siseņu (17.14. att.) pakaļkājas ir piemērotas lēkšanai. Viņiem ir arī divi spārnu pāri. Priekšspārni ir cieti, sīksti un, salocīti uz muguras, aizsargā platos un plānos pakaļspārnus. Ķermeņa sānos uz pirmā vēdera posma ir lieli timpanālie orgāni, kas uztver skaņu svārstības. Vēdera pakaļgalā mātītei ir divi izaugumu pāri, kas veido dējekli. Ar to mātīte augsnē iedēj oliņas.

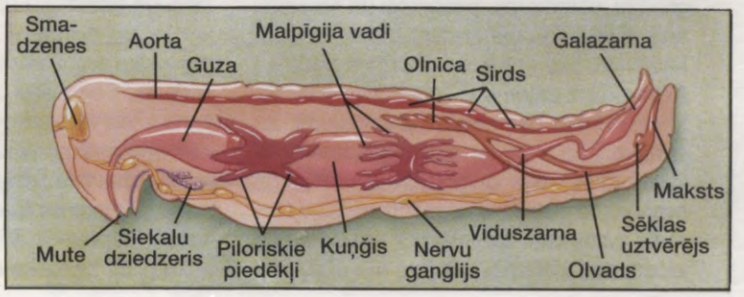
Gremošanas sistēma ir pielāgota augu barības sagremošanai. Mutē barību mehāniski sasmalcina mutes orgāni. To šķeļ arī siekalu dziedzeru izdalītie fermenti. Barība uzkrājas guzā, bet no tās nonāk gremošanas kuņģī, kur tiek pilnīgi sasmalcināta. Barības sagremošana beidzas viduszarnā. Tās sākumā ir izspīlējumi – **piloriskie piedēkļi**, no kuriem barības vielas uzsūcas hemocelā. Izvadsistēmu veido **Malpīgija vadi**, kas iesniedzas hemocelā, savāc vielmaiņas procesā radušos slāpekļa savienojumus, koncentrē tos un izvada caur gremošanas traktu. Cietas, kristāliskas urīnskābes veidošanās ļauj ekonomiski izmantot uzņemto ūdeni.

Elpošanas sistēma sākas ar elpatverēm jeb stigmām, kas atrodas ķermeņa sānos. Caur tām gaiss iekļūst sīkās caurulītēs – trahejās (17.14. att. A). Trahejas daudzreiz zarojas un beidzas ar gala šūnu. No tās atiet radiāli izaugumi (traheolas), kuros notiek gāzu apmaiņa ar audiem un šūnām. Gaisa kustība caur sarežģīto traheju sistēmu nav pasīva. To veicina traheju paplašinājumi – gaisa maisi – elpatveru tuvumā. Gaiss ieplūst caur četrām priekšējām elpatverēm, bet izplūst caur sešām pakaļējām elpatverēm. Elpošana ar trahejām ierobežo kukaiņu lielumu (vairums kukaiņu nav garāki par 60 mm), jo trahejas ir sīkas un trauslas un lielāka ķermeņa masa tās varētu sagraut.

Asinsrites sistēmas centrālais orgāns ir cauruļveida sirds, kas atrodas zem eksoskeleta vēdera augšdaļā. Tā dzen hemolimfu hemocelā, kur tā cirkulē un pēc tam atkal atgriežas sirdī. Hemolimfa ir bezkrāsaina – tai nav skābekli saistoša fermenta, jo gāzu apmaiņu nodrošina trahejas.

Vairošanās sistēma ir piemērota dzīvei uz sauszemes. Tēviņam ir kopulācijas orgāns, ar kuru var ievadīt spermu mātītes sēklas uztvērējā. Iekšējā apaugļošanās pasargā no izžūšanas gan dzimumšūnas, gan zigotas. Mātīte ar dējekli apaugļotās olas iedēj zemē.





17.14. attēls. Siseņa *Romalea* mātīte

A. Lēcējkājas un spārni palīdz pārvietoties, bet timpanālie orgāni uztver skaņu radītās gaisa svārstības. **B.** Siseņiem ir specializēta gremošanas sistēma. Malpīgija vadi izdala cietu, kristālisku urīnskābi. Tēviņš ar kopulācijas orgānu spermu ievada mātītes sēklas uztvērējā.

Siseņiem raksturīga **nepilnīga metamorfoze** jeb attīstība ar nepilnīgu pārvēršanos. Siseņa kāpurs jeb nimfa ir līdzīgs pieaugušam īpatnim un tikai nedaudz atšķiras pēc formas un lieluma. Citiem kukaiņiem, piemēram, tauriņiem, raksturīga **pilnīga metamorfoze** jeb attīstība ar pilnīgu pārvēršanos. Šajā gadījumā notiek ievērojamas dzīvnieka izskata un uzbūves izmaiņas. No olas izšķiļas tārpveida kāpurs, kuram ir grauzējtipa mutes orgāni. Vēlāk viņš izveido **kūniņu**. Šajā stadijā notiek vislielākās pārmaiņas, un pēc kāda laika izkūņojas pieaudzis īpatnis. Šāds dzīves cikls ļauj kāpuriem un pieaugušajiem īpatņiem pārtikt no dažādas barības.

Kukaiņiem ir arī visdažādākie uzvedības pielāgojumi. Īpaši sarežģīta sociālā uzvedība ir bitēm, skudrām, termītiem un citiem sabiedriskajiem kukaiņiem. Kukaiņi ir ārkārtīgi plaša un nozīmīga dzīvnieku grupa. Viņus pēta īpaša bioloģijas nozare – entomoloģija.

Siseņi ir pielāgojušies dzīvei uz sauszemes, bet vēži – dzīvei ūdenī. Vēži skābekli no ūdens uzņem ar žaunām, bet siseņiem ir trahejas, pa kurām gaiss iekļūst ķermenī. Tāpēc vēžiem asinīs ir ferments, kas pārnes skābekli, bet sienāžiem tāda nav.

Vēži no organisma izvada šķidru amonjaka šķīdumu, savukārt sienāži – cietu, kristālisku urīnskābi. Siseņiem ir skaņas uztveroši timpanālie orgāni, un viņu tēviņiem ir kopulācijas orgāns, bet mātītei – dējeklis. Lai peldētu, vēzis izmanto vēdera muskuļus un asti, kas veidota no telsona un vēdera peldkājām. Savukārt sienāži lec un lido, izmantojot lēcējkājas un spārnus.

Traheātiem ir nezarotas ekstremitātes. Pie traheātiem pieder simtkāji, tūkstoškāji un kukaiņi. Dzīvei uz sauszemes pielāgojušos kukaiņu sugu ir vairāk nekā visu pārējo dzīvnieku sugu.

Pārskats

Apmēram deviņdesmit procentiem dzīvnieku sugu ir celoms. Šīs sugas pieder pie gliemju, posmtārpu, posmkāju un hordaiņu tipa. (Hordaiņi, pie kuriem pieder mugurkaulnieki, tiks aplūkoti nākamajā nodaļā.) Acīmredzot celoms ir izveidojies dzīvniekiem, kuriem bija noteikti pielāgojumi. Iespējams, ka vieni no nozīmīgākajiem pielāgojumiem bija divpusējā simetrija un organisma uzbūves sarežģīšanās. Vairumam celomisko dzīvnieku ir asinsrites un elpošanas sistēma, kas ļauj būt aktīviem.

Pēc dīgļa attīstības celomiskos dzīvniekus iedala pirmmutniekos (gliemji, posmtārpi un posmkāji) un otrmutniekos (adatādaiņi un hordaiņi). Vismaz dažiem šo dzīvnieku grupu pārstāvjiem ir posmojuma iezīmes. Posmtārpu un posmkāju posmojums ir labi redzams arī no ārpuses. Savukārt mugurkaulniekiem par posmojumu liecina daudzie līdzīgie mugurkaula skriemeļi. Vai celoms izveidojās pirms posmojuma? Iespējams. Vēlāk sadalītais celoms sāka pildīt hidroskeleta funkcijas un tārps varēja vieglāk ierakties augsnē. Citiem vārdiem sakot, segmentēta celoma izveide dzīvniekiem bez ekstremitātēm radīja ievērojamas priekšrocības. Vēlāk attīstījušās kustīgās ekstremitātes posmkājiem (piemēram, kukaiņiem) un mugurkaulniekiem (piemēram, vardēm, ķirzakām, zirgiem) radīja priekšrocības, pārvietojoties pa sauszemi.

Dzīvniekiem, kuri dzīvo uz sauszemes, nepieciešami arī vairošanās pielāgojumi, kas ļautu apaugļoties neatkarīgi no ūdens klātbūtnes.

Kopsavilkums

17.1. Celoms

Posmtārpi, posmkāji un gliemji ir celomiski dzīvnieki un pirmmutnieki. Pieaugušiem īpatņiem ir divpusēja simetrija, cauruļveida ķermeņa uzbūve un no trim dīgļlapām attīstījušies orgāni.

Celoms rada daudzas priekšrocības. Gremošanas sistēma un ķermenis var kustēties neatkarīgi, tāpēc iekšējie orgāni var kļūt daudz sarežģītāki. Celoma šķidrums piedalās elpošanā, asinsritē, izvadīšanā un var darboties kā hidroskelets.

Celomiskos dzīvniekus iedala divās grupās. Pirmmutniekiem blastosporas vietā attīstās mute, bet otrmutniekiem tur veidojas anālā atvere. Turklāt šīm divām grupām atšķiras drostalošanās process un celoma izveide.

17.2. Trīsdaļīgs ķermenis

Gliemju ķermeni parasti veido iekšējo orgānu maiss, mantija un kāja. Daudziem no viņiem ir arī galva un rīvīte. Nervu sistēmu veido vairāki gangliji, kurus savieno nervu stiegras. Gliemjiem ir reducēts celoms un vaļēja asinsrites sistēma. Daudzi gliemeži ir pielāgojušies dzīvei uz sauszemes, galvkāji – aktīvai dzīvei jūrās, bet gliemenes – sēdošai dzīvei seklos ūdeņos.

Gliemenes barojas filtrējot. Ūdens ieplūst un izplūst caur sifoniem, un barības daļiņas izfiltrē žaunu lapiņas. Nervu sistēmas pamatā ir trīs lieli gangliji.

Plēsīgajiem galvkājiem ir notikusi cefalizācija un ir izveidojusies slēgta asinsrites sistēma. Viņi pārvietojas, izmantojot reaktīvo principu.

17.3. Posmojuma attīstība

Posmtārpiem ir izteikts ķermeņa posmojums. Viņiem ir labi attīstīts celoms, kuru sadala septas, slēgta asinsrites sistēma, nepārtraukta vēdera nervu stiegra un daudzi nefrīdiju pāri. Daudzsartārpiem, kas dzīvo jūrās, ir parapodijas. Daudzi no viņiem ir plēsēji ar labi attīstītu galvas nodalījumu, bet citi ar galvas taustiem barību izfiltrē no ūdens. Sliekām, kas pieder pie mazsartārpu klases, gāzu apmaiņa notiek ar visu ķermeņa virsmu. Pie šī tipa pieder arī dēles.

17.4. Ekstremitāšu locītavu attīstība

Posmkāji ir daudzveidīgākā un daudzskaitlīgākā dzīvnieku grupa. Viņu izplatību lielā mērā veicinājis kustīgais eksoskelets, ķermeņa daļu specializācija un ekstremitātes ar locītavām. Nozīmīga ir arī augstā cefalizācijas pakāpe, elpošanas orgānu daudzveidība un metamorfozes samazinātā iekšsugas konkurence.

Posmkāju iedala četros apakštipos. Trilobītu apakštipam pieder pirms 200 miljoniem gadu izmiruši dzīvnieki. Helicerātiem (zobenastes,

zirnekļi, skorpioni un ērces) ir heliceras, pedipalpi un četri ejkāju pāri, kas piestiprināti pie galvkrūtīm.

Vēžiem (vēžiem, omāriem, garnelēm, airkājvēžiem un sprogkājvēžiem), kas pieder pie žaunaiņu apakštipa, ir galva ar saliktām acīm, antenām, antenulām, mandibulām un maksillām. Pie krūtīm un vēdera viņiem ir piestiprinātas divzarotas ekstremitātes. Vēžiem ir daudzas tipiskas iezīmes – vaļēja asinsrites sistēma, elpošana ar žaunām un nepārtraukta vēdera nervu stiegra.

Traheātiem (simtkājiem, tūkstoškājiem un kukaiņiem) pie krūtīm un vēdera ir nezarotas ekstremitātes. Uz galvas viņiem ir viens taustekļu, viens mandibulu un divi maksillu pāri. Traheāti, kas mīt uz sauszemes, elpo ar trahejām.

Pie kukaiņu klases pieder ļoti daudz sugu, piemēram, tauriņi, divspārņi, plēvspārņi un vaboles. Kā piemēru var aplūkot siseņa anatomisko uzbūvi un viņa pielāgojumus dzīvei uz sauszemes. Tāpat kā citiem kukaiņiem, arī siseņiem ir spārni un trīs pāri kāju, kas piestiprinātas pie krūtīm. Skaņu svārstību uztveršanai siseņiem kalpo timpanālie orgāni. Gremošanas sistēma ir pielāgojusies augu barības sagremošanai. Izvadsistēmu veido Malpīgija vadi, kas izvada cietu urīnskābi. Siseņiem raksturīga arī elpošana ar trahejām, iekšēja apaugļošanās un nepilnīga metamorfoze.

Pārbaudiet sevi

1. Uzskaitiet un raksturojiet vairākas celoma priekšrocības! 312. lpp.
2. Raksturojiet trīs galvenās atšķirības starp pirmmutniekiem un otrmutniekiem! Nosauciet, kādi dzīvnieku tipi pieder pie katras no šīm grupām! 312.–313. lpp.
3. Nosauciet vismaz trīs katra tipa pārstāvjus, kas aplūkoti šajā nodaļā! 313. lpp.
4. Kādas ir gliemeņu, galvkāju un gliemežu galvenās īpašības un atšķirības! 314.–317. lpp.
5. Salīdziniet gliemenes, kalmāra un gliemeža uzbūvi! Raksturojiet, kādi pielāgojumi attiecīgajam dzīvesveidam viņiem ir izveidojušies! 315.–317. lpp.
6. Kādas ir trīs nozīmīgāko klašu posmtārpu galvenās īpašības un atšķirības? 314.–317. lpp.
7. Salīdziniet nereīdas un sliekas anatomisko uzbūvi! Raksturojiet, kādi pielāgojumi attiecīgajam dzīvesveidam šiem dzīvniekiem ir izveidojušies! 318.–320. lpp.
8. Kādas ir triju nozīmīgāko apakštipu posmkāju galvenās īpašības un atšķirības? 321.–327. lpp.
9. Raksturojiet kukaiņu nozīmīgākās īpatnības, kā piemēru izmantojot siseni! 327.–328. lpp.
10. Salīdziniet vēža un siseņa anatomisko uzbūvi! Raksturojiet, kādi pielāgojumi attiecīgajam dzīvesveidam ir izveidojušies šiem dzīvniekiem! 328. lpp.

Tests

Izvēlieties vienu pareizo atbildi uz katru jautājumu!

1. Kuras no šīm pazīmēm attiecas uz pirmmutniekiem?
   A. Spirāliska drostalošanās
   B. No blastoporas izveidojas anālā atvere
   C. Šizoceloms
   D. Posmtārpi, posmkāji un gliemji
2. Kas vislabāk raksturo posmtārpu un posmkāju radniecību?
   A. Attīstīts gremošanas trakts
   B. Nepārtraukta vēdera nervu stiegra
   C. Ķermeņa posmojums
   D. Visas atbildes ir pareizas
3. Kas visprecīzāk norāda, ka gliemeži un vēži nav tuvu radniecīgi?
   A. Gliemeži dzīvo uz sauszemes, bet vēži – ūdenī
   B. Gliemežiem ir plata kāja, bet vēžiem – ekstremitātes ar locītavām
   C. Gliemeži ir hermafrodīti, bet vēži – šķirtdzimumu
   D. Gliemeži ir kukaiņi, bet vēži – zivis
4. Kurš vārdu pāris ir neatbilstošs?
   A. Gliemenes – žaunas
   B. Vēzis – žaunas
   C. Sisenis – plaušu maisi
   D. Daudzsartārpi – parapodijas
5. Kurš no apgalvojumi nav pareizs?
   A. Zirnekļi ir plēsēji un pieder pie posmkāju tipa
   B. Gliemenes barojas filtrējot un pieder pie gliemju tipa
   C. Sliekas ir maitēdājas un pieder pie posmkāju tipa
   D. Kalmāri ir plēsēji un pieder pie gliemju tipa
6. Kuriem dzīvniekiem ir īpašs barošanās orgāns – rīvīte?
   A. Gliemjiem
   B. Posmtārpiem
   C. Posmkājiem
   D. Visas atbildes ir pareizas
7. Kurš vārdu pāris neatbilst patiesībai?
   A. Vēzis – ejkājas
   B. Gliemene – ķīļveida kāja
   C. Sisenis – spārni
   D. Slieka – daudz sariņu
8. Kuri vārdi neatbilst?
   A. Gliemji – šizoceloms
   B. Kukaiņi – hemocels
   C. Vēži – ar septām sadalīts celoms
   D. Neirīda – celoms
9. Kas no minētā ir gliemeža pielāgojumi dzīvei uz sauszemes?
   A. Mantijas izmantošana elpošanai žaunu vietā
   B. Cefalizācija, veidojoties antenām un acīm
   C. Ķīļveida kāja, lai pārvietotos lienot
   D. Iekšējo orgānu sagriešanās, anālajai atverei novietojoties virs galvas

10. Kuri no šiem terminiem raksturo posmtārpus, posmkājus un/vai gliemjus?

Termini

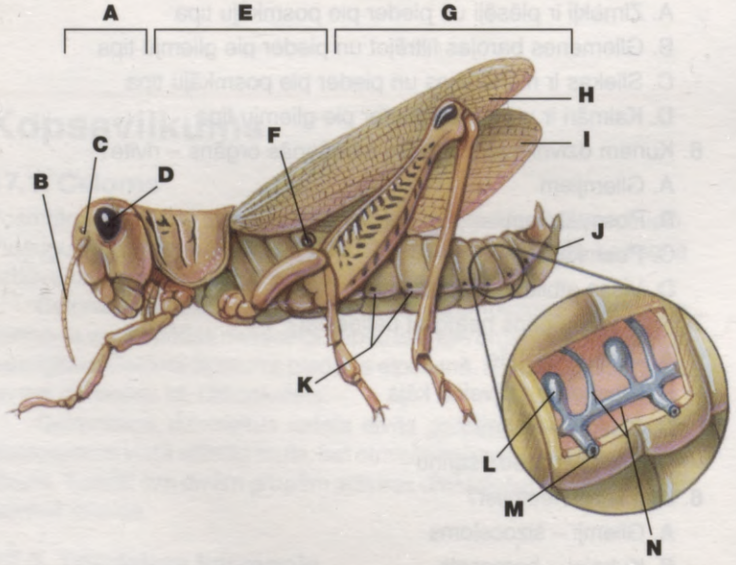
A. Orgānu attīstības līmenis
B. Posmojums
C. Celoms
D. Cefalizācija – vismaz dažiem pārstāvjiem
E. Divpusēja simetrija
F. Pilnīgi izveidots gremošanas trakts
G. Ekstremitātes ar locītavām
H. Trīsdaļīga ķermeņa uzbūve

11. Kuri no šiem terminiem raksturo gliemenes un/vai sliekas?

Termini

A. Posmtārpi
B. Gliemji
C. Trīs gangliji
D. Žaunas
E. Slēgta asinsrites sistēma
F. Sariņi
G. Vaļēja asinsrites sistēma
H. Ķīļveida kāja
I. Hidroskelets
J. Nepārtraukta vēdera nervu stiegra

12. Uzrakstiet siseņa ķermeņa daļu nosaukumus!



Papildjautājumi

1. *Posmojums veicina ķermeņa daļu specializāciju.*
   Apstipriniet šo apgalvojumu, salīdzinot sliekas un siseņa ārējo uzbūvi!
2. *Dzīvniekiem ir pielāgojumi, kas saistīti ar barības uzņemšanas veidu.*
   Apstipriniet šo apgalvojumu, izmantojot vienu pārstāvi no katra šajā nodaļā aplūkotā tipa!
3. *Kukaiņi ir ļoti labi pielāgojušies dzīvei uz sauszemes.*
   Aplūkojiet siseņa pielāgojumus dzīvei uz sauszemes!

Multimediju izmantošana

Tēmu par zemākajiem mugurkaulniekiem jums palīdzēs apgūt šādi multimediji.

Interneta izmantošana

Šo nodaļu jums palīdzēs apgūt Maderas mājas lapa

http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader

(izvēlieties bioloģiju)

Jēdzienu izpratne

Celoms 312. lpp.
Daudzsartārpi 319. lpp.
Dēles 320. lpp.
Desmitkājvēži 323. lpp.
Drostalošanās 312. lpp.
Eksoskelets 321. lpp.
Galvkāji 316. lpp.
Galvkrūtis 322. lpp.
Gliemenes 315. lpp.
Gliemeži 317. lpp.
Gliemji 314. lpp.
Helicerāti 322. lpp.
Hemocels 323. lpp.
Hitīns 321. lpp.
Kukaiņi 327. lpp.
Malpīgija vadi 327. lpp.
Mantija 314. lpp.
Metamorfoze 321. lpp.
Mugurkaulnieki 316. lpp.
Nefrīdijs 318. lpp.
Novilkšanās 321. lpp.
Otrmutnieki 312. lpp.
Pirmmutnieki 312. lpp.
Posmkāji 321. lpp.
Posmojums 312. lpp.
Posmtārpi 318. lpp.
Sariņi 318. lpp.
Simtkāji 324. lpp.
Spirāliskā drostalošanās 312. lpp.
Traheāti 324. lpp.
Trahejas 321. lpp.
Tūkstoškāji 324. lpp.
Vēži 323. lpp.
Žaunaiņi 323. lpp.

Atrodiet definīcijai atbilstošu jēdzienu!

A. _____ – kukaiņu elpvadi, kas atrodas starp elpatverēm un traheolām.
B. _____ – kukaiņu cauruļveida izvadorgāni.
C. _____ – šūnu dalīšanās dzīvā organisma attīstības sākumā. Noris, nepalielinoties šūnu kopējai masai.
D. _____ – dažu dzīvnieku, piemēram, kukaiņu izskata un ķermeņa uzbūves izmaiņas, kas notiek attīstības gaitā.
E. _____ – Ķermeņa ārējā apvalka periodiska nomaiņa.
F. _____ – aizsargājošs ārējais skelets, piemēram, posmkājiem.
G. _____ – vienādas ķermeņa daļas, piemēram, sliekai.
H. _____ – katra posma pāra izvadcauruļītes, kas organismam nevajadzīgās vielas izvada caur nefrīdijporām, piemēram, sliekām.
I. _____ – izturīga, elastīga, organisko slāpekli saturoša viela, no kuras veidots posmkāju ārējais skelets.

Dzīvnieki
Otrmutnieki

18. NODAĻA

Nodaļas saturs

18.1. Vēlreiz par staraino simetriju

- Otrmutniekiem primārās mutes (blastopora) rajonā izveidojas anālā atvere, kā arī celoma aizmetnis no entodermālās viduszarnas. 332. lpp.
- Adatādaiņi, piemēram, jūraszvaigznes, un hordaiņi, piemēram, mugurkaulnieki, ir tuvu radniecīgi pushordaiņiem, piemēram, balanoglosiem. 332.–334. lpp.
- Adatādaiņi ir staraini simetriski dzīvnieki. Viņu kustības nodrošina ambulakrālā jeb ūdenskanālu sistēma. 334. lpp.

18.2. Hordaiņu pazīmju veidošanās

- Daži hordaiņu tipa pārstāvji, piemēram, lancetnieki, ir bezmugurkaulnieki. Tomēr arī viņiem ir trīs hordaiņiem raksturīgās pazīmes: muguras stiegra jeb notohorda, doba muguras nervu caurule, kā arī rīkles žaunu spraugas. 335. lpp.

18.3. Mugurkaulnieku uzbūves īpatnības

- Mugurkaulniekiem notohordu ir nomainījis mugurkauls. Vairumam ir attīstīts galvas reģions un endoskelets; ir pāra ekstremitātes. 337. lpp.
- Nēģi un miksīnas ir bezžokļaiņi, bet skrimšļzivis (haizivis un rajas) un kaulzivis (starspurzivis un daivspurzivis) ir žokļaiņi. Vairums mūsdienās dzīvojošo zivju ir starspurzivis, piemēram, foreles, asari. 337. lpp.
- Abinieki, piemēram, vardes un salamandras, kuri visplašāk bija izplatīti karbona periodā, ir cēlušies no daivspuru zivīm. 340. lpp.

18.4. Amniotu olas attīstība

- Mūsdienu rāpuļi, piemēram, čūskas, ķirzakas un bruņurupuči, ir sen attīstījušies no abiniekiem. 342. lpp.
- Rāpuļu olas ir klātas ar čaumalu; tajās ir vairāki ārējie apvalki. Tas dod iespēju vairoties uz sauszemes. 342. lpp.

18.5. Spārnu un spalvu attīstība

- Putniem ir spalvas un skeleta pielāgojumi, kas ļauj lidot. 347. lpp.

18.6. Zīdītāji ir siltasiņu dzīvnieki

- Zīdītāji attīstījās no rāpuļiem laikā, kad uz Zemes dzīvoja dinozauri. 347. lpp.
- Zīdītāji ir mugurkaulnieki, kuriem ir apmatojums un piena dziedzeri. 347. lpp.
- Zīdītājus klasificē pēc to atšķirīgajiem vairošanās veidiem – kloākaiņi dēj olas, somaiņiem ir īpaša soma, kur mazulis turpina attīstību pēc piedzimšanas, placentāļiem līdz dzimšanai mazulis attīstās mātes dzemdē. 347. lpp.



Nīlzirgi *(Hippopotamus amphibius)* rotaļājas.

Cilvēks ir mugurkaulnieks, kas pieder pie hordaiņu tipa. Šajā tipā tiek iekļauti arī daži bezmugurkaulnieki. Tas liecina par to, ka hordaiņu tuvākie radinieki ir adatādaiņi. Viņi ir neposmoti, jūrā mītoši dzīvnieki bez galvas un smadzenēm. Pie adatādaiņu tipa pieder jūraszvaigznes, jūraseži, čūskastes un jūraslilijas – dzīvnieki, kas pieaugot kļūst staraini simetriski.

Ūdenī mītoši mugurkaulnieki ir zivis. Skaita ziņā tās veido vislielāko hordaiņu grupu. Tomēr hordaiņu tipā sauszemes dzīvnieku klašu ir vairāk nekā jebkurā citā tipā. Pirmie mugurkaulnieki, kas sekmīgi spēja vairoties uz sauszemes, bija rāpuļi. Viņi, tāpat kā putni, dēj ar čaulu klātas olas. Olā embrijs atrodas ūdens vidē. Zīdītāji placentāļi, arī cilvēks, ir dzīvdzemdētāji, tomēr arī viņu mazuļu embrionālā attīstība notiek šķidrā vidē. Pēc daudzu rāpuļu, piemēram, dinozauru izmiršanas lielākie un labāk attīstītie sauszemes dzīvnieki ir putni un zīdītāji. Attēlā redzamie nīlzirgi ir zīdītāji, kas pieder pie pārnadžu kārtas. Dienas lielāko daļu viņi pavada ūdenī, jo karstajā saulē āda ātri zaudē mitrumu.

18.1. Vēlreiz par staraino simetriju

Šajā nodaļā tiks aplūkots **adatādaiņu** (*Echinodermata;* 6000 sugu) un **hordaiņu** (*Chordata*) tips, kas pieder pie **otrmutniekiem** (*Deuterostomia;* gr. *deuteros* – otrējais un *stoma* – mute). Tas ir dzīvnieku apakšnodalījums, kura pārstāvjiem attīstības gaitā kā pirmā atvere no primārās mutes (blastopora) veidojusies anālā atvere (ānuss), bet kā otrā – mute. Dīgļa pirmās šūnas dalīšanās jeb **drostalošanās** otrmutniekiem ir radiāla – meitšūnas novietojas veco šūnu vietā. Šajā stadijā šūnas nav diferencētas – no katras var attīstīties vesels organisms. Turklāt otrmutniekiem raksturīga enteroceliska celoma veidošanās – nodalīšanās no entodermālās viduszarnas, veidojot celoma aizmetni (sk. 17.1. att.).

Kaut gan pieaudzis adatādainis ir staraini simetrisks, viņa kāpurs, brīvi peldot, barojas ar planktonu un ir divpusēji simetrisks. Metamorfozes ceļā izveidojas staraini simetrisks pieaudzis dzīvnieks.

Adatādaiņus klāj adatas

Adatādaiņiem (*Echinodermata;* gr. *echinos* – adatains un *derma* – āda) ir **endoskelets** (iekšējais skelets), kas sastāv no adatveida kaļķa plātnītēm. No tām paceļas dzelkšņi, adatas un citādi izaugumi, kas devuši tipa nosaukumu. Pie jūraslilliju (*Crinoidea*; 600 sugu) klases pieder sēdošās kātainās jūraslilijas un kustīgās bezkātainās jūraslilijas. Jūraslilliju zarotās rokas, kas tiek izmantotas, lai no ūdens izfiltrētu barību, padara viņas līdzīgas ziedam. Holotūrijām jeb jūrasgurķiem (*Holothuroidea* klase; 1500 sugu) ir garš, ādains ķermenis, kas atgādina gurķi. Vienīgi ap muti jūrasgurķiem ir taustekļu vainags.

Jūraseži (*Echinoidea* klase; 950 sugu) ar adatām pārvietojas, aizsargājas un ierokas gruntī. Viņiem ir lodveida, nedaudz saplacināts un neasām adatām klāts ķermenis. Jūrasežiem var novērot piecstarainu zīmējumu. To veido nelielu, porainu plātnīšu rindas. Čūskastēm (*Ophiuroidea*

KLASIFIKĀCIJA

Valsts. Dzīvnieki (*Animalia*)

Daudzšūnu organismi ar labi attīstītiem audiem; parasti kustīgi; heterotrofi, barību ierij gremošanas dobumā; šūnas ir diploīdas. Pie pirmmutniekiem pieder gliemju, posmtārpu un posmkāju tipi. Pie otrmutniekiem pieder adatādaiņu, pushordaiņu un hordaiņu tipi.

Bezmugurkaulnieki*

Tips. Sūkļi (*Porifera*)

Tips. Zarndobumaiņi (*Cnidaria*), piemēram, scifomedūzas, aktīnijas, koraļļi

Tips. Ktenofori (*Ctenophora*)

Tips. Plakantārpi (*Plathelminthes*), piemēram, planārijas, sūcējtārpi, lenteņi

Tips. Nemertīntārpi (*Nemertini*)

Tips. Veltņtārpi (*Nemathelminthes*)

Tips. Virpotāji (*Rotifera*)

Tips. Gliemji (*Mollusca*), piemēram, hitoni, gliemeži, gliemenes, kalmāri un astoņkāji

Tips. Posmtārpi (*Annelida*), piemēram, sliekas, dēles

Tips. Onihofori (*Onychophora*)

Tips. Posmkāji (*Arthropoda*), piemēram, zirnekļi, skorpioni, vēži, krabji, garneles, simtkāji, tūkstoškāji, kukaiņi

Tips. Adatādaiņi (*Echinodermata*), piemēram, jūraslilijas, jūraszvaigznes, čūskastes, jūraseži, jūrasgurķi

Tips. Pushordaiņi (*Hemichordata*)

Tips. Hordaiņi (*Chordata*)

Apakštips. Tunikāti (*Urochordata*)

Apakštips. Bezgalvaskausaiņi (*Cephalochordata*), piemēram, lancetnieks

Mugurkaulnieki*

Apakštips. Mugurkaulnieki (*Vertebrata*)

Nodalījums. Bezžokļaiņi (*Agnatha*), piemēram, nēģi, miksīnas

Nodalījums. Žokļaiņi (*Gnathostomata*)

Klase. Skrimšļzivis (*Chondrichthyes*), piemēram, haizivis, rajas

Klase. Kaulzivis (*Osteichthyes*), piemēram, siļķes, laši, mencas, zuši, plekstes

Klase. Abinieki (*Amphibia*), piemēram, vardes, krupji, salamandras

Klase. Rāpuļi (*Reptilia*), piemēram, čūskas, ķirzakas, bruņurupuči

Klase. Putni (*Aves*), piemēram, papagaiļi, pingvīni, strausi

Klase. Zīdītāji (*Mammalia*), piemēram, kaķi, suņi, zirgi, žurkas, cilvēki

* Šāds nosacīts iedalījums norāda uz dzīvnieku tipu atšķirību vai radniecību.

klase; 2000 sugu) ķermenis sastāv no centrālā diska un gariem, kustīgiem stariem. Balstoties uz šiem stariem, viņas var ātri pārvietoties.

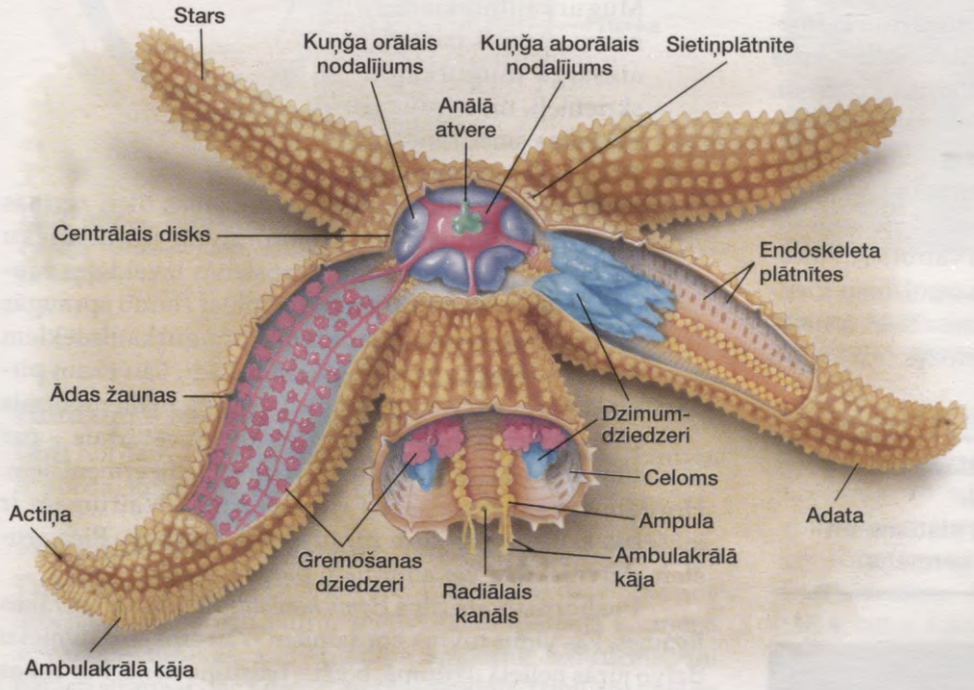
Jūraszvaigznēm (*Asteroidea* klase; 1500 sugu) ir nedaudz saplacināts ķermenis. Tam ir centrālais disks un pieci vai vairāki spēcīgi stari jeb rokas.

Jūraszvaigznēm ir stari

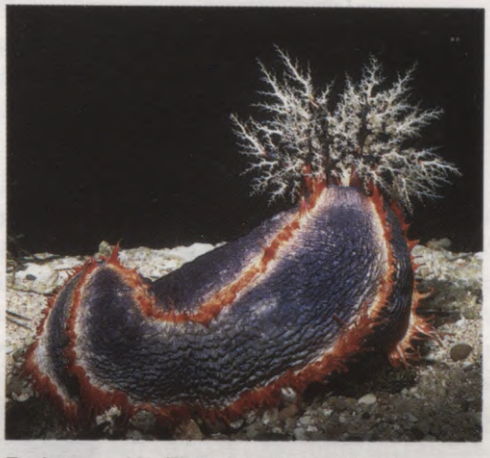
Jūraszvaigznes parasti sastopamas klinšainu krastu tuvumā, kur pārtiek no dažādām gliemenēm. Piecstarainajam ķermenim ir uz leju vērsta orālā puse, kur atrodas mute, un uz augšu vērsta aborālā puse, kur atrodas anālā atvere (18.1. att.). No ķermeņa sienas ir izvirzīti dažādi izaugumi: 1) endoskeleta plāksnīšu adatas aizsardzībai; 2) līdzīgi knaiblēm savienotas adatas – pedicelārijas, kas ķermeni atbrīvo no sīkām daļiņām; 3) ādas žaunas – īsi ķermeņa izaugumi ar plānām sienām, kas kalpo elpošanai. Orālajā pusē katrai rokai ir rieva, kurai piestiprināti nelieli, muskuļoti izaugumi – **ambulakrālās kājas**.

Barojoties jūraszvaigzne uzrāpjas uz gliemenes un piestiprinās ar ambulakrālajām kājām katrā čaulas pusē. Ar spēku čaula tiek atvērta. Ir nepieciešama pavisam neliela sprauga, lai jūraszvaigzne caur muti izvirzītu kuņģa orālo nodalījumu un tas saskartos ar gliemenes mīksto ķermeni. Kuņģis izdala fermentus, un sākas sagremošana, neraugoties uz to, ka gliemene čaulu mēģina aizvērt. Vēlāk daļēji sagremotā barība nonāk kuņģa aborālajā nodalījumā, kur gremošanu turpina gremošanas dziedzeru izdalītie fermenti. Gremošanas sistēma noslēdzas ar īsu galazarnu.

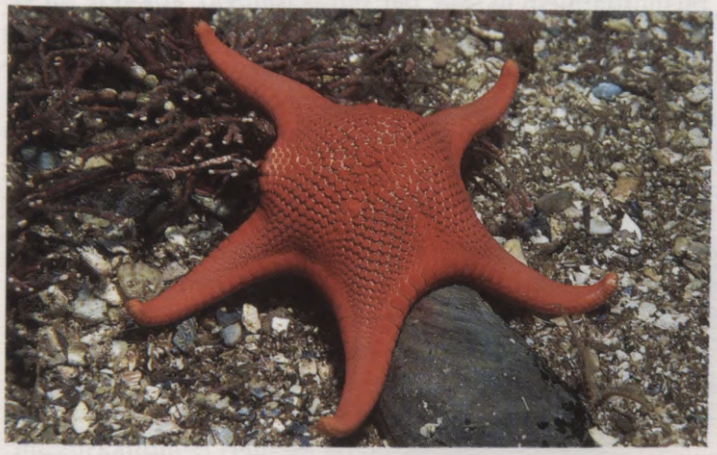
Katrā jūraszvaigznes rokā ir labi attīstīts celoms ar gremošanas dziedzeru pāri un dzimumdziedzeriem (vīrišķiem vai sievišķiem). Ar ārvidi tos savieno nelielas atveres



18.1. attēls. Adatādaiņi
A. Jūraszvaigznes anatomiskā uzbūve un biotops. Tāpat kā citiem adatādaiņiem, arī jūraszvaigznēm ir ambulakrālā jeb ūdenskanālu sistēma, kas attēlā redzama gaiši dzeltenā krāsā. **B.** Jūrasgurķis. **C.** Jūrasezis.



B. Jūrasgurķis *(Pseudocolochirus)*



A. Jūraszvaigzne *(Mediastar)*



C. Jūrasezis *(Strongylocentrotus)*

aborālajā pusē. Nervu sistēmu veido orālais nervu gredzens, no kura uz katru roku atzarojas radiālie nervi. Katras rokas galā ir gaismjutīga actiņa. Jūraszvaigznēm ir koordinēta, bet lēna atbildes reakcija uz kairinājumu.

Kustības nodrošina **ambulakrālā** jeb **ūdenskanālu sistēma**. Ūdens sistēmā ieplūst caur sietiņplātnīti jeb madreporplātnīti ķermeņa aborālajā pusē. No tās pa akmenskanālu ūdens ieplūst orālajā gredzenkanālā, kas apņem muti, bet no tā – radiālajos kanālos katrā rokā. Radiālajiem kanāliem ir atzari, kuru galā atrodas ambulakrālā kāja. Katram atzaram ir neliela ampula. Tai saraujoties, ūdens tiek dzīts kājās; tās izstiepjas. Kājām ir piesūcekņi, ar kuriem piestiprinās substrātam. Kājām izstiepjoties un saraujoties, jūraszvaigzne lēnām kustas uz priekšu.

Adatādaiņu elpošanas, izvadīšanas un asinsrites sistēma ir visai primitīva. To funkcijas lielākoties veic celomiskais šķidrums un ūdenskanālu sistēma. Piemēram, gāzu apmaiņa notiek caur ādas žaunām un ambulakrālajām kājām. Vielmaiņas galaprodukti difundē no celomiskā šķidruma caur ķermeņa sienu. Celomu izklāj ar skropstiņām klāts epitēlijs, kura skropstiņu kustības nodrošina celomiskā šķidruma plūsmu.

Jūraszvaigznes vairojas gan bezdzimumiski, gan dzimumiski. Dažas jūraszvaigznes spēj sadalīties vairākās daļās. No katras daļas izaug jauns dzīvnieks. Zvejnieki, kas, mēģinādami iznīcināt jūraszvaigznes, viņas sagriež gabalos un pārmet pār kuģa bortu, tikai palīdz viņām vairoties. Vairojoties dzimumiski, jūraszvaigznes spermu un olšūnas vienlaikus izvada ūdenī, kur notiek apaugļošanās. Tālāk attīstās divpusēji simetrisks kāpurs, kas, metamorfozes ceļā augot, kļūst par staraini simetrisku dzīvnieku.

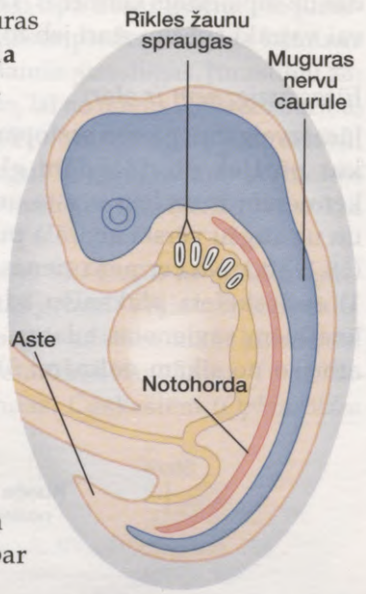
Neraugoties uz staraino simetriju, adatādaiņiem ir labi attīstīts celoms un iekšējie orgāni. Adatādaiņiem ir īpatnēja ūdenskanālu sistēma un skeleta adatas, kas ir izvirzītas ārpus ķermeņa.



18.2. attēls. Pushordaiņi
Attēlā redzamajam *Glossobalanus* var redzēt snuķi, apkakli, rīkles rajonu un vidukli.

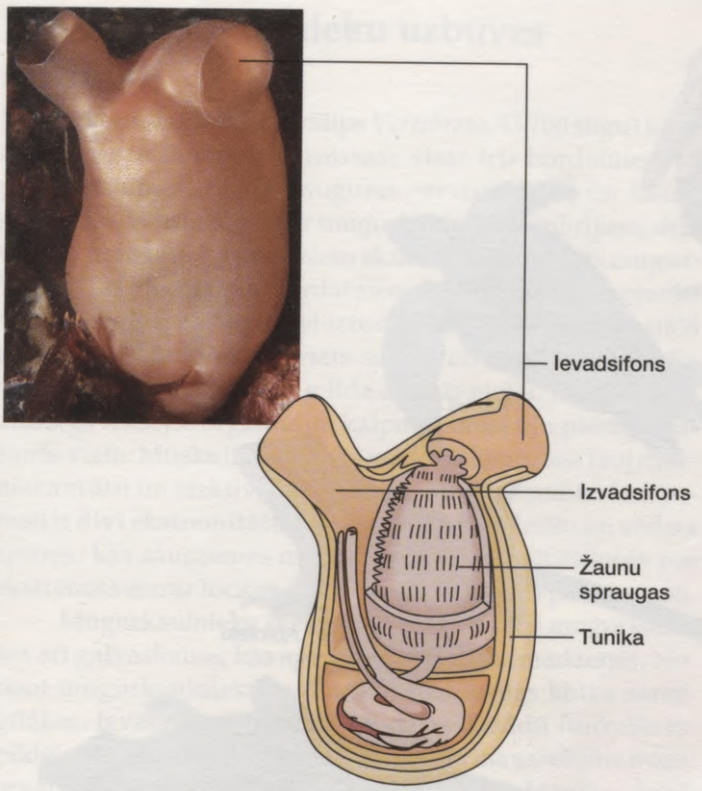
18.2. Hordaiņu pazīmju veidošanās

Dzīvniekiem, kas pieder pie **hordaiņu** (*Chordata*; 45 000 sugu) tipa, vismaz vienā dzīves stadijā ir kāda no trim turpmāk aprakstītajām pazīmēm.

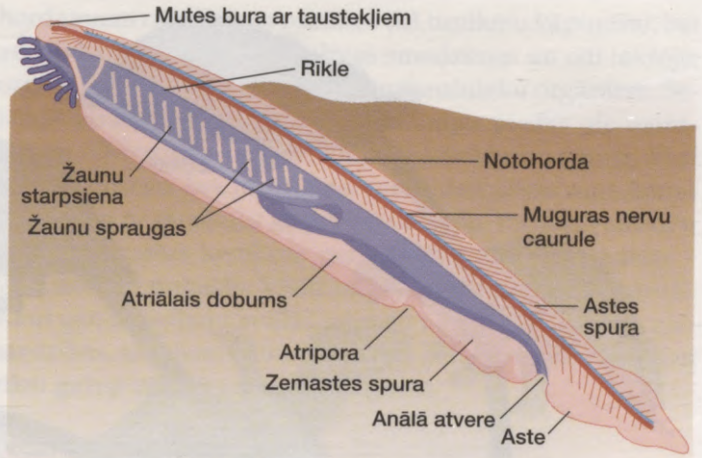


1. Ķermeni balstoša muguras stiegra jeb **notohorda** (hordas aizmetnis; gr. *notos* – mugura un *chorde* – stiegra), kas atrodas nedaudz zem nervu stiegras. Mugurkaulniekiem attīstības gaitā hordu aizstāj mugurkauls.
2. Doba **muguras nervu caurule**, kuru aizpilda šķidrums. Mugurkaulniekiem nervu cauruli parasti aizsargā mugurkaula skriemeļi, un to sauc par muguras smadzenēm.
3. **Rīkles žaunu spraugas**. Vairumam mugurkaulnieku tās novērojamas tikai agrīnās attīstības stadijās. Ascīdijām, zivīm un abinieku kāpuriem žaunu spraugu starpsienās izveidojas **žaunas**. Ūdens caur muti un rīkli ieplūst žaunu spraugās un apskalo žaunas. Sauszemes mugurkaulniekiem žaunu spraugas pārveidojušās dažādi. Cilvēkam pirmais pāris pārveidojies par dzirdes kanāliem, otrais pāris – par mandelēm, bet trešais un ceturtais – par tīmusu jeb aizkrūtes dziedzeri un epitēlijķermenīšiem. Hordaiņiem raksturīgas arī citas pazīmes. Vairumam ir iekšējais skelets, pie kura piestiprinās muskuļi. Pieaugušiem dzīvniekiem vai embrijam parasti ir aste.

Pushordaiņiem (tips *Hemichordata;* 90 sugu) ir vairākas iezīmes, kas viņus tuvina hordaiņiem. Vairums šo dzīvnieku dzīvo jūrās nelielā dziļumā, bieži – paisuma zonā, kur rokas dūņās. Viņu ķermenim ir trīs nodalījumi – **snuķis** (dažiem pushordaiņiem to sauc par *galvas vairogu*), **apkakle** un **viduklis** (18.2. att.). Cauri apkaklei un viduklim stiepjas nervu stiegra, kas atgādina hordaiņu nervu cauruli. Rīklē, kas atrodas zem apkakles, ir žaunu sprauga. Bet pats interesantākais ir tas, ka **pushordaiņu kāpurs atgādina adatādaiņu kāpuru**. Tātad ir iespējams, ka adatādaiņiem un pushordaiņiem, kā arī pushordaiņiem un hordaiņiem ir bijis kopējs sencis.



18.3. attēls. Tunikāts *(Halocynthia)*
Vienīgā hordaiņu pazīme, kas ir pieaugušam dzīvniekam, – žaunu spraugas.





18.4. attēls. Lancetnieks *(Branchiostoma)*
Lancetnieki barojas filtrējot. Ūdens ieplūst caur muti, plūst caur žaunu spraugām un izplūst caur atriporu.

Hordaiņi – bezmugurkaulnieki

Daži hordaiņu tipa pārstāvji ir bezmugurkaulnieki, kuriem ir horda, ko attīstības gaitā neaizstāj mugurkauls.

Tunikātiem ir žaunu spraugas

Tunikāti (apakštips *Urochordata*; 1250 sugu) dzīvo okeāna dibenā. Savu vārdu viņi ir ieguvuši no īpatnējā ķermeņa apvalka – tunikas, kas atgādina apmetni. Iztraucēti viņi parasti strauji izšļāc ūdeni caur izvadsifonu. Tunikātu kāpurs ir divpusēji simetrisks, un viņam piemīt trīs raksturīgākās hordaiņu pazīmes. Metamorfozes ceļā attīstās sēdošs dzīvnieks ar mutes sifonu un kloākas sifonu (18.3. att.).

Rīkli izklāj skropstiņas, kuru kustības rada ūdens plūsmu caur rīkli un daudzām **žaunu spraugām**. Žaunu spraugas ir vienīgā hordaiņu iezīme, kas ir pieaugušiem tunikātiem. Īpaši rīkles dziedzeri izdala gļotas; tajās ielipušās sīkās barības daļiņas tiek apēstas.

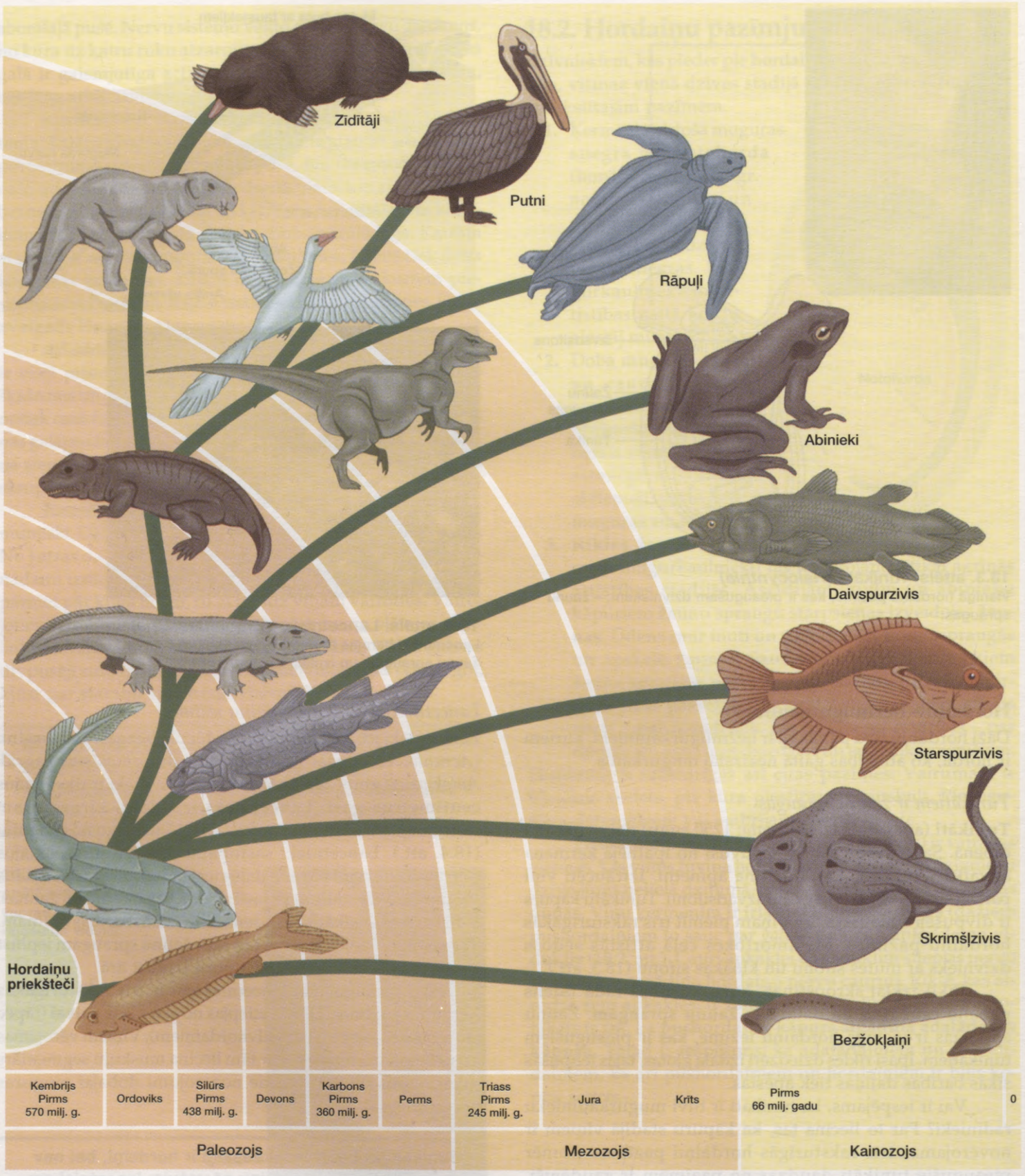
Vai ir iespējams, ka tunikāti ir tuvi mugurkaulnieku radinieki? Par to liecina tas, ka kāpuru stadijā viņiem ir novērojamas trīs raksturīgās hordaiņu pazīmes. Tomēr pieaugušie tunikāti daudzas no pazīmēm ir zaudējuši. Iespējams, ka no tunikātiem evolūcijas gaitā ir attīstījušies zivīm līdzīgi mugurkaulnieki. Tomēr ir vairāk ticams, ka mugurkaulnieki cēlušies no bezgalvaskausaiņiem.

Lancetniekiem ir trīs hordaiņu iezīmes

Lancetnieki jeb galvhordaiņi pieder pie **bezgalvaskausaiņu** (*Acrania*; 23 sugas) apakštipa un *Branchiostoma* (agrāk *Amphioxus*) ģints. Šie jūrās mītošie dzīvnieki ir tikai dažus centimetrus gari. Lancetnieki ir līdzīgi ķirurģiskam instrumentam – lancetei, no kā arī ieguvuši savu nosaukumu (18.4. att.). Lancetnieki sastopami daudzu jūru seklajos ūdeņos. Dzīvi viņi pavada daļēji ierakušies piekrastes smiltīs vai dūņās. Virs smiltīm parasti atrodas tikai mute un žaunas. Viņi barojas ar sīkām, no ūdens izfiltrētām barības daļiņām. Tās no mutes nokļūst rīklē, tad caur žaunu spraugām ieplūst atriālajā dobumā un caur atriporu izplūst ārā.

Arī pieaugušiem lancetniekiem ir trīs raksturīgākās hordaiņu pazīmes. Horda stiepjas no astes līdz galvai (tāpēc lancetniekus sauc arī par galvhordaiņiem). Viņiem vērojamas arī posmojuma iezīmes. Par tām liecina muskuļu segmentārs sakārtojums un periodiskie nozarojumi dobajai muguras nervu stiegrai.

Tunikāti un bezgalvaskausaiņi ir hordaiņi, bet nav mugurkaulnieki. Hordaiņu pārstāvim lancetniekam trīs tipiskākās hordaiņu pazīmes saglabājas, arī lielam esot.



18.5. attēls. Hordaiņu evolūcijas koks
Ģeohronoloģiskā skala parāda, kad ir parādījušies mūsdienu mugurkaulnieku priekšteči.

18.3. Mugurkaulnieku uzbūves īpatnības

Mugurkaulniekiem (apakštips *Vertebrata*; 43 700 sugu) kādā no dzīves posmiem ir vērojamas visas trīs hordaiņiem tipiskās pazīmes (horda, muguras nervu caurule un žaunu spraugas). Horda parasti ir mugurkaulnieku embrijiem; drīz vien to nomaina no daudziem skriemeļiem veidots **mugurkauls**. Tas liecina, ka hordaiņiem raksturīgs posmojums. Mugurkauls ir elastīga, bet izturīga iekšējā skeleta centrālā ass. Mugurkaulnieku skelets sastāv no dzīviem skrimšļa vai kaula audiem, kas aug līdz ar dzīvnieku. Mugurkauls aizsargā iekšējos orgānus un kalpo kā muskuļu piestiprināšanās vieta. Muskuļi un skelets veido sistēmu, kas ļauj dzīvniekam ātri un efektīvi pārvietoties. Mugurkaulniekiem parasti ir **divi ekstremitāšu pāri**. Zivīm ir pāra krūšu un vēdera spuras, kas sauszemes mugurkaulniekiem attīstījušās par ekstremitātēm ar locītavām, ļaujot pārvietoties pa sauszemi.

Mugurkaulnieku skeleta asi veido ne tikai mugurkauls, bet arī galvaskauss, kas aptver un aizsargā smadzenes. Norisot mugurkaulnieku evolūcijai, smadzenes kļuva sarežģītākas, izveidojās specializētas daļas dažādu funkciju izpildei. Augsto cefalizācijas pakāpi pastiprina sarežģītie maņu orgāni, piemēram, acis ir attīstījušās no smadzenēm. Ausis sākotnēji bija ūdens mugurkaulnieku līdzsvara orgāni, bet sauszemes mugurkaulnieki ar tām uztver skaņas.

Mugurkaulniekiem ir attīstīts gremošanas trakts un liels celoms. Asinsrites sistēma ir slēgta (asinis plūst tikai pa asinsvadiem). Mugurkaulnieki efektīvi spēj iegūt skābekli gan no ūdens, gan no gaisa. Labi attīstīti ir izvadorgāni – nieres, kas vajadzības gadījumā regulē arī ūdens daudzumu organismā. Mugurkaulnieki parasti ir šķirtdzimumu – vairojas lielākoties dzimumiski.

18.5. attēlā redzama mugurkaulnieku evolūcija no senā hordaiņu priekšteča. Pie mugurkaulniekiem pieder zivis, abinieki, rāpuļi, putni un zīdītāji.

Mugurkaulniekiem raksturīgākās pazīmes

- **Augošs endoskelets**
- **Slēgta asinsrites sistēma**
- **Pāra ekstremitātes**
- **Efektīva elpošana un izvadīšana**
- **Augsta cefalizācijas pakāpe**

Tātad mugurkaulnieki ir pielāgojušies aktīvam dzīvesveidam.

Zivis ir mugurkaulnieki, kas dzīvo ūdenī un elpo ar žaunām. Viņām parasti ir spuras, bet āda klāta ar **zvīņām**. Pirmie mugurkaulnieki bija zivīm līdzīgi dzīvnieki. Iespējams, ka viņi izskatījās līdzīgi mūsdienu nēģa kāpuram un nedaudz atgādināja lancetnieku. Viņiem bija ne tikai trīs hordaiņiem raksturīgās pazīmes (kā tunikātu kāpuram), bet arī divkameru sirds, trīsdaļīgas smadzenes un citi iekšējie orgāni, kas ir līdzīgi pārējo mugurkaulnieku orgāniem. Senākās atrastās mugurkaulnieku fosilijas pieder pie **vairodžiem** (*Ostracodermi*), kuriem nebija žokļu un spuru. Viņi barojās filtrējot, bet, iespējams, varēja dzīt ūdeni caur žaunu spraugām ar muskuļu kustību palīdzību. Pirmās vairodžu fosilijas atrastas kembrija perioda nogulās, bet pēdējās – vēlā devona nogulās. Visticamāk, ka tad viņi arī izmiruši. Kaut gan mūsdienu bezžokļaiņiem nav nekādas ārējas aizsardzības, senajiem vairodžiem bija lielas bruņas, kas sedza tikai galvu vai arī galvu un ķermeni.

Nēģi un miksīnas

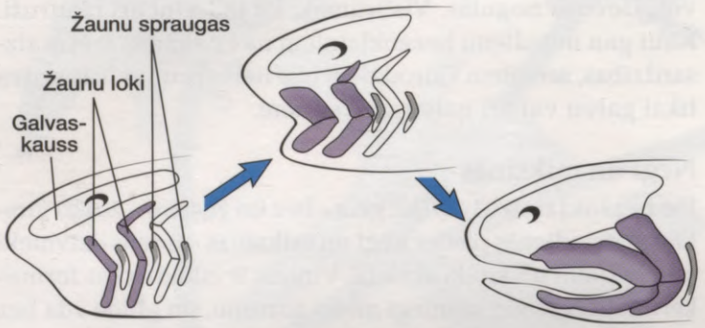
Pie **bezžokļaiņu** (*Agnatha*; gr. *a* – bez un *gnathos* – žokļi) virsklases mūsdienās pieder **nēģi** un **miksīnas** – ūdens dzīvnieki bez žokļiem un kaula skeleta. Viņiem ir cilindriskas formas ķermenis, kas var sasniegt metra garumu, un gluda āda bez zvīņām (18.6. att.). Miksīnas ir parazīti un maitēdāji, kas caur muti izsūc citu dzīvu vai jau mirušu mugurkaulnieku mīkstos audus. Savukārt daudzi nēģi barojas filtrējot tāpat kā viņu senie priekšteči. Parazītiskajiem nēģiem ir apaļa, muskuļota mute, ar ko viņi var piestiprināties zivij un izsūkt barības vielas no tās organisma. Parazītiskie jūrasnēģi pēc tam, kad tika padziļināts kanāls, kas savieno Sentlorensa upi ar Lielajiem ezeriem (ASV), nokļuva šajos ezeros. Tādēļ 20. gadsimta 50. gadu sākumā strauji palielinājās jūrasnēģu populācija, bet samazinājās foreļu populācija.



18.6. attēls. Nēģis *(Petromyzon)*
Ar zobiņiem klātā mutes piltuve ir piespiesta pie akvārija stikla. Nēģi pieder pie bezžokļaiņu virsklases. Viņiem ir garš, noapaļots ķermenis, ādai nav zvīņu.

Žokļu attīstība

Visi turpmāk aplūkotie dzīvnieki pieder pie **žokļaiņu** (*Gnathostomata;* gr. *gnathos* – žokļi un *lat. stoma* – mute) virsklases. Viņiem visiem ir žokļi – galvas kauli, kuros iestiprināti zobi. Pastāv uzskats, ka žokļi izveidojušies no pirmā žaunu loku pāra, bet otrais žaunu loku pāris ir pārveidojies par žokļus balstošiem kauliem.



Labi izpētītas ir **bruņuzivju** fosilijas, kas saglabājušās no devona perioda. Bruņuzivīm bija spēcīgi žokļi, viņu ķermeni klāja cietas kaula bruņas. Tāpat kā mūsdienu zivīm, viņām bija pāra krūšu un vēdera spuras (18.7. att.). Pāra spuras uzlabo līdzsvaru un palielina kustīgumu, kas plēsīgām zivīm ir ļoti svarīgi.

Mūsdienās ir divas zivju klases – skrimšļzivis un kaulzivis.

Haizivis pieder pie skrimšļzivju klases

Pazīstamākās **skrimšļzivju** (*Chondrichthyes;* 850 sugu) klases pārstāves ir haizivis un rajas. Viņu skelets ir no skrimšļa. Rīkles abās pusēs ir piecas līdz septiņas žaunu spraugas bez žaunu vākiem. Ķermeni klāj **plakoīdās** (zobveida) **zvīņas**, kas sastāv no plāksnītes un atpakaļvērsta dzelkņa. Šo zvīņu dēļ haizivs āda šķiet līdzīga smilšpapīram. Haizivs draudīgie zobi arī ir plakoīdās zvīņas, tikai lielākas un nedaudz pārveidotas. Piemēram, baltajai haizivij mutē var būt 3000 zobu, kas sakārtoti sešās līdz divdesmit rindās. Tikai pirmo divu rindu zobi tiek izmantoti barojoties. Pārējo rindu zobi pakāpeniski aug, lai vēlāk nomainītu nodilušos.

Haizivīm un rajām laupījumu palīdz pamanīt trīs labi attīstītas maņas. Viņas spēj uztvert elektriskā lauka svārstības, ko izraisa dzīvnieku muskuļu kustības. Tuvumā peldošu zivju vai citu dzīvnieku izraisītās ūdens spiediena pārmaiņas palīdz sajust sānu līnija – ar maņu šūnām izklāti kanāli ķermeņa abās pusēs. Skrimšļzivīm ir arī ļoti laba oža. Par tās nozīmi liecina spēcīgi attīstītas smadzeņu daļas, kas saistītas ar šo maņu. Haizivs var sajust vienu asins pilienu 115 litros ūdens.

Pašas lielākās haizivis nav plēsīgas – viņas barojas, barību filtrējot no ūdens. Milzu haizivis un vaļhaizivis apēd tonnām sīku vēžu. Daudzas haizivis ir ātri peldošas atklāto jūru plēsoņas. Baltā haizivs sasniedz apmēram 7 metru garumu. Viņa medī galvenokārt delfīnus, jūraslauvas un roņus. Cilvēkam šīs haizivis parasti neuzbrūk, ja vien nesajauc viņu ar ikdienišķo medījumu. Tīģerhaizivs sasniedz 6 metru garumu (savu nosaukumu ieguvusi tumšo svītru dēļ, kas klāj jaunas haizivs ķermeni). Neapšaubāmi šī ir viena no bīstamākajām haizivīm. Tīģerhaizivis mēdz aprīt visu, kas pagadās tās ceļā, – papīra ruļļus, kurpes, krāsu bundžas, benzīna kannas un, protams, neniecina arī cilvēku.

Rajām (sk. skrimšļzivis, 18.5. att.), kuras uzturas pie okeāna gultnes, krūšu spuras ir ievērojami palielinātas un atgādina spārnus. Lēni peldot virs jūras dibena, viņas medī nelielus dzīvniekus. Adatastes rajām, piemēram, *Dasyates* ģints pārstāvēm, astes spura ir pārveidojusies par indīgu dzelkni, kas kalpo aizsardzībai. Savukārt elektrorajas ir visai mazkustīgas un medījumu notver, iepriekš apdullinot to ar elektrisko strāvu. Elektrisko orgānu, kas atrodas pie krūšu spuru pamatnes, izlādes spriegums var sasniegt vairāk nekā 300 voltus. Zāģrajas tā nosauktas viņu zāģveida purna dēļ. Medījot zāģraja strauji iebrūk nelielu zivju barā un ar "zāģi" izdara sāniskus triecienus. Apdullinātās zivis viņa tūdaļ apēd.

Kaulzivis ir sugām visbagātākā mugurkaulnieku klase

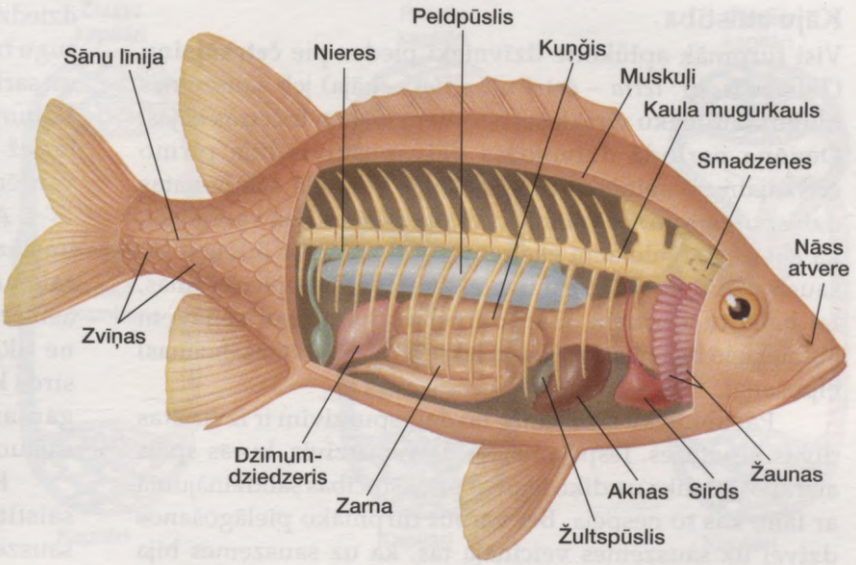
Kaulzivīm (klase *Osteichthyes;* 20 000 sugu) ir kaula skelets. Vairums kaulzivju apvienotas starspurzivju apakšklasē. Viņu vēdekļveida spuras balsta tievi kaula stari. Sugu skaita ziņā neliela ir daivspurzivju apakšklase. Tomēr senāk tai bijusi ļoti liela nozīme, jo devona periodā no daivspurzivīm ir cēlušies abinieku priekšteči.

Pie starspurzivīm pieder labi pazīstamas zivis

Starspurzivis ir pati daudzveidīgākā no mugurkaulnieku grupām. Daļa starspurzivju, piemēram, siļķes, barību filtrē, daļa zivju, piemēram, foreles, ēd gan augus, gan dzīvniekus, bet citas – piemēram, barakudas un piraņas, – ir izteiktas plēsējas. Zivs nosaukums (piemēram, zebras lielspurzivs, akmenszivs, jūraszirdziņš vai ežzivs) bieži vien liecina par tās izskatu.

Neraugoties uz lielo daudzveidību, kaulzivīm ir daudzas kopīgas iezīmes (18.7. att.). Viņām ir kaula skelets un ķermeni sedz **kaula zvīņas**. Žaunu spraugas neatveras tieši ārvidē, tās klāj **žaunu vāki**. Kaulzivīm ir **peldpūslis** – ar gāzi pildīts maisveida orgāns, kas palīdz zivij mainīt atrašanās dziļumu. Dažas zivis, piemēram, laši un zuši, daļu dzīves pavada saldūdenī, bet daļu – jūrās. Saldūdenī šo zivju nieres izvada ļoti atšķaidītu urīnu, bet žaunas aktīvi absorbē sāļus.





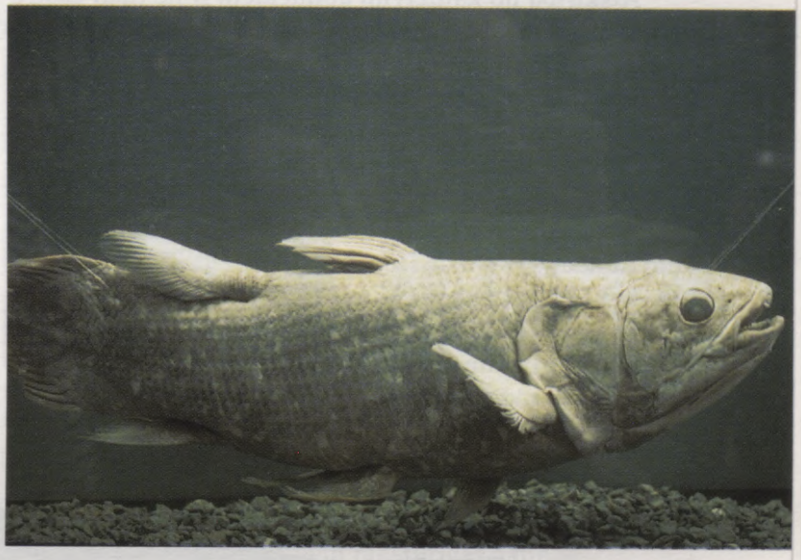
18.7. attēls. Starspurzivs *(Myripristis)*
Starspurzivs ārējā un iekšējā uzbūve

Pārošanās laikā daudzu sugu tēviņi pēc krāsas atšķiras no mātītēm, jo tā pretējā dzimuma īpatņiem vieglāk sameklēt citam citu. Bieži ikri tiek nērsti vecāku iepriekš sagatavotā ligzdā. Gandrīz visām kaulzivīm apaugļošanās un embrija attīstība notiek ārpus mātītes ķermeņa.

Daivspurzivis

Daivspurzivīm gaļīgās spuras balsta centrālie kauli. Pie šīs apakšklases mūsdienās pieder sešu sugu divējādi elpojošās zivis, kuras elpo gan ar žaunām, gan ar plaušām, kā arī viena celekantu kārtas suga ar izteikti gaļīgām spurām (18.8. att.). **Divējādi elpojošās** zivis mīt Āfrikā, Dienvidamerikā un Austrālijā stāvošās ūdenstilpēs, kas ik gadu izžūst. Savukārt **celekanti** sastopami okeāna dzīlēs. Tika atrastas no mezozoja ēras saglabājušās bārkšspurzivju celekantu fosilijas, tāpēc uzskatīja, ka celekanti sen jau izmiruši. Tomēr 1938. gadā pie Dienvidāfrikas krastiem ar tīklu tika izvilkts celekants. Kopš tā laika notverts jau vairāk nekā 200 šo zivju. Mitohondriju DNS salīdzinošās analīzes liecina, ka mūsdienu abinieku tuvākie radinieki tomēr ir divējādi elpojošās zivis, nevis celekanti.

Skrimšļzivīm un kaulzivīm raksturīgākās pazīmes
• Žokļi • Pāra ekstremitātes • Zvīņas



18.8. attēls. Bārkšspurzivs
Celekants *(Latimeria chalumnae)* ir dzīvs izraktenis – visi pārējie šīs grupas pārstāvji sen jau ir izmiruši.

Kāju attīstība

Visi turpmāk aplūkotie dzīvnieki pieder pie **četrkājaiņu** (*Tetrapoda;* gr. *tetra* – četri un *podos* – kāja) jeb sauszemes mugurkaulnieku virsklases – viņiem visiem ir četras kājas. Devona periodā dzīvojošās daivspurzivis bija pirmo četrkājaiņu – abinieku priekšteči. 18.9. attēlā salīdzinātas daivspurzivs un senā abinieka ekstremitātes. Šeit var redzēt, ka abiem dzīvniekiem ekstremitāšu uzbūve ir līdzīga. Uz sauszemes dzīvojošiem dzīvniekiem kājas ir nepieciešamas, lai balstītu ķermeni. Gan daivspurzivīm, gan senajiem abiniekiem bija plaušas, kā arī iekšējās nāsu atveres (hoānas) elpošanai.

Par abinieku izcelšanos no daivspurzivīm ir izvirzītas divas hipotēzes. Iespējams, ka daivspurzivis, kuras spēja aizrāpot no dīķa uz dīķi, ieguva priekšrocības salīdzinājumā ar tām, kas to nespēja. Bet varbūt turpmāko pielāgošanos dzīvei uz sauszemes veicināja tas, ka uz sauszemes bija daudz barības (augi un kukaiņi) un nebija plēsēju. Īpaši liela abinieku daudzveidība bija karbona periodā, kuru dēvē par abinieku laikmetu.

Abinieki

Atšķirībā no kaulzivīm abiniekiem ir ne tikai ekstremitātes un tās atbalstošās skeleta joslas, bet arī citas atšķirīgas pazīmes. Abiniekiem (klase *Amphibia;* 3900 sugu) ir mēle, kas kalpo medījuma satveršanai, acu plakstiņi, kas samitrina acis, ausis skaņas uztveršanai un balsene, kas rada skaņas. Abiniekiem smadzenes ir lielākas nekā zivīm, īpaši attīstīta ir **smadzeņu garoza**.

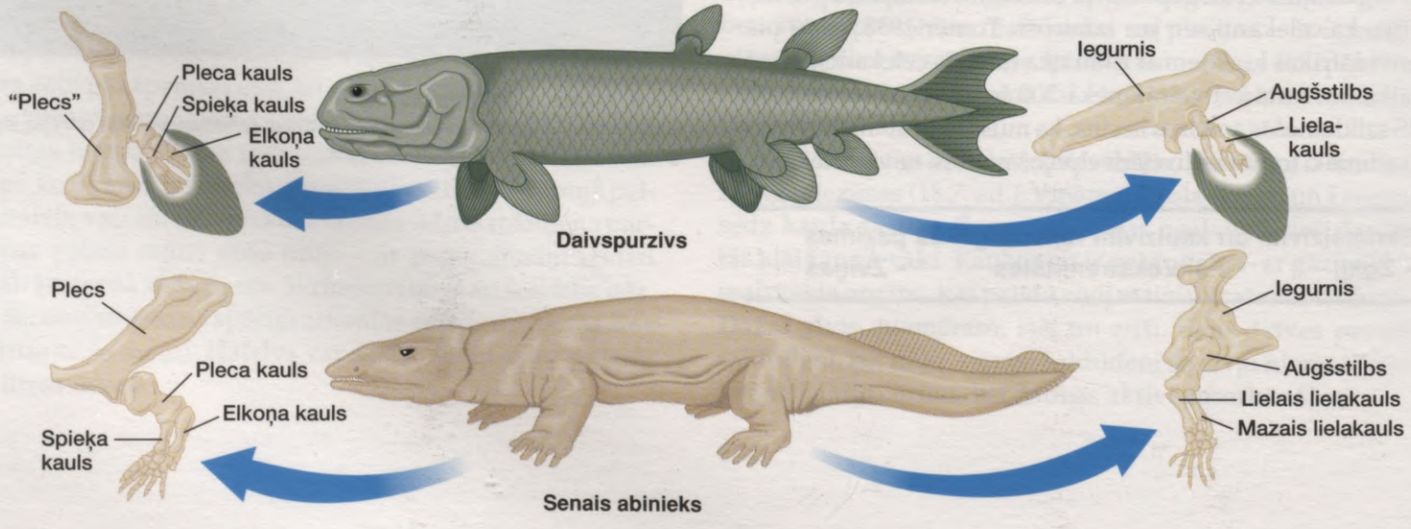
Abinieku gludo, bezzvīņaino ādu mitru palīdz saglabāt daudzie ādas gļotu dziedzeri. Caur ādu, iztvaikojot ūdenim, tiek regulēts ūdens daudzums organismā, ķermeņa temperatūra, kā arī veicināta elpošana. Lai plānā un mitrā āda neizžūtu, vairumam abinieku jāpaliek ūdens tuvumā. Ādas dziedzeri bieži izdala indīgas vielas, atbaidot plēsējus. Dažu sugu tropos dzīvojošo abinieku ķermenis ir spilgti dzeltenā un sarkanā krāsā. Ar savu izskatu viņi brīdina, ka ir indīgi. Kolumbijas indiāņi ar varžu ādas indīgajiem izdalījumiem iezież bultu galus. Tāpēc šīs vardes mēdz saukt par bultvardēm.

Abiniekiem ir **plaušas**, tomēr tās ir relatīvi mazas, un gāzu apmaiņa daļēji notiek arī caur poraino ādu. Zivīm raksturīgā viena asinsrites loka vietā abiniekiem ir divi asinsrites loki (18.10. att.). **Trīskameru sirds** dzen asinis ne tikai uz plaušām, bet arī pa visu organismu. Tomēr sirds kambarī ieplūst gan ar skābekli bagātas (arteriālās), gan ar skābekli nabadzīgas (venozās) asinis un daļēji sajaucas.

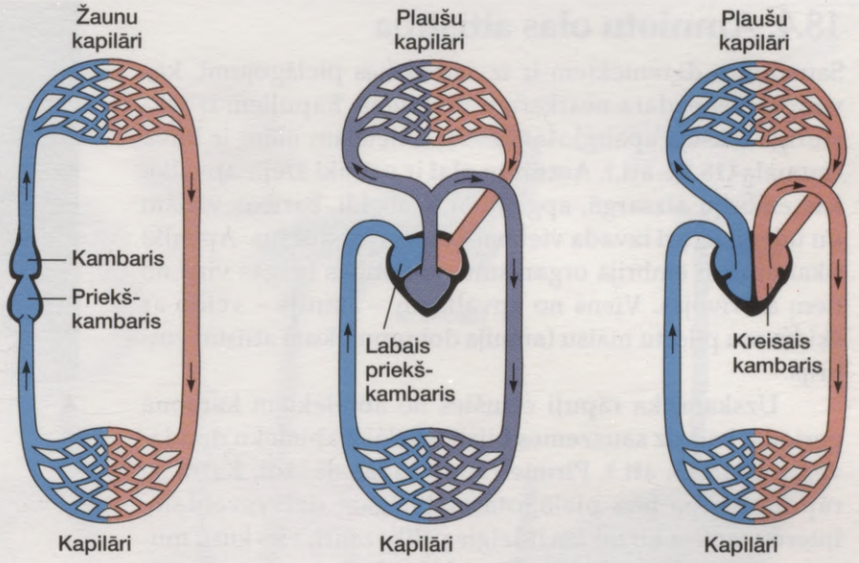
Kā liecina klases nosaukums "abinieki", abinieku dzīve saistīta ar divām vidēm. Vairums no viņiem dzīvo uz sauszemes, bet ūdenī atgriežas, lai vairotos. Gan olas jeb ikri, gan sperma tiek izvadīta ūdenī, kur notiek ārēja apaugļošanās. Parasti ikrus apņem tikai želejveida apvalks. Izšķīlušos abinieku kāpurus dēvē par kurkuļiem. Kurkuļiem ir žaunas. Viņi dzīvo un barojas ūdenī. Metamorfozes ceļā kurkuļi pārvēršas par pieaugušiem abiniekiem, kas elpo gaisu (18.11. att.). Tomēr dažu sugu abinieki spēj vairoties arī uz sauszemes.

Abinieki ir **aukstasiņu dzīvnieki** – viņu ķermeņa temperatūra ir atkarīga no vides temperatūras. Mērenajā joslā ziemas laikā abinieki kļūst mazaktīvi, viņiem strauji pazeminās vielmaiņa. Šādā sastinguma stāvoklī parastais krupis var izdzīvot pat –6 °C temperatūrā.

Pazīstamākie abinieki ir vardes, krupji, salamandras un tritoni. Salamandrām un tritoniem ir iegarens ķermenis ar garu asti un diviem kāju pāriem. Tā kā viņu kājas pie ķermeņa piestiprinātas taisnā leņķī, tiek uzskatīts, ka no mūsdienu abiniekiem salamandras un tritoni ir vistuvāk

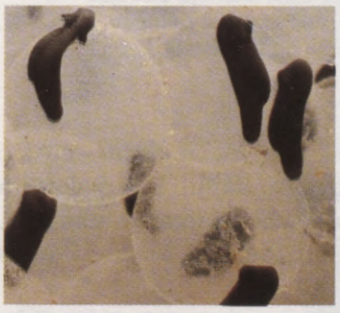


18.9. attēls. Daivspurzivs un senā abinieka salīdzinājums
Attēlā redzamas daivspurzivs un abinieka ekstremitāšu skeleta kopīgās iezīmes.



18.10. attēls. Mugurkaulnieku asinsrites sistēmas
A. Zivīm ir divkameru sirds un viens asinsrites loks. **B.** Abiniekiem ir divi asinsrites loki – viens iet caur plaušām, otrs – caur visu organismu. Tomēr trīskameru sirds pieļauj daļēju arteriālo un venozo asiņu sajaukšanos. **C.** Putniem un zīdītājiem četrkameru sirds neļauj sajaukties arteriālajām un venozajām asinīm. Venozās asinis plūst uz plaušām, bet arteriālās – uz visu organismu.

18.11. attēls. Vardes metamorfoze
Metamorfozes gaitā dzīvnieks nomaina ūdens vidi pret sauszemi.


A. Kurkuļi izšķiļas.


B. Kurkulis elpo ar ārējām žaunām.


D. Varde elpo ar plaušām. Aste ir izzudusi.


C. Parādās priekškājas un pakaļkājas.

radniecīgi fosilajiem abiniekiem. Viņi pārvietojas līdzīgi zivīm ar sāniskām S veida kustībām.



Gan salamandras, gan tritoni ir plēsoņas, kas pārtiek no sīkiem bezmugurkaulniekiem, piemēram, kukaiņiem, gliemežiem un tārpiem. Salamandrām raksturīga iekšēja apaugļošanās. Tēviņš izdala **spermatoforu** – ar gļotainu apvalku klātu spermatozoīdu piku. Spermatofora saturs nonāk mātītes **kloākā** (dobums, kurā atveras urīnvadi, olvadi un gremošanas trakts). Tad ūdenī vai uz sauszemes (atkarībā no sugas) tiek izdētas olas. Daži abinieki, piemēram, Ziemeļamerikas austrumos dzīvojošie Amerikas proteji, arī pieauguši paliek ūdenī un saglabā kurkuļiem raksturīgās žaunas.

Vardes un krupji pārstāv bezastes abinieku kārtu. Šiem dzīvniekiem galva plūdeni pāriet viduklī un pakaļkājas ir piemērotas lēkšanai. Gan viduklī, gan kājās ir daudz muskuļu. Vardēm ir gluda āda un garas kājas. Viņas dzīvo saldūdenī vai tā tuvumā. Savukārt krupjiem ir drukns ķermenis un kārpaina āda. Viņi dzīvo krēslainās, mitrās vietās, dažkārt pat ļoti tālu no ūdens.

Abiniekiem raksturīgākās pazīmes
- **Četras kājas**
- **Pieaugušiem īpatņiem parasti ir plaušas**
- **Attīstība metamorfozes ceļā**
- **Gluda un mitra āda**
- **Trīskameru sirds**

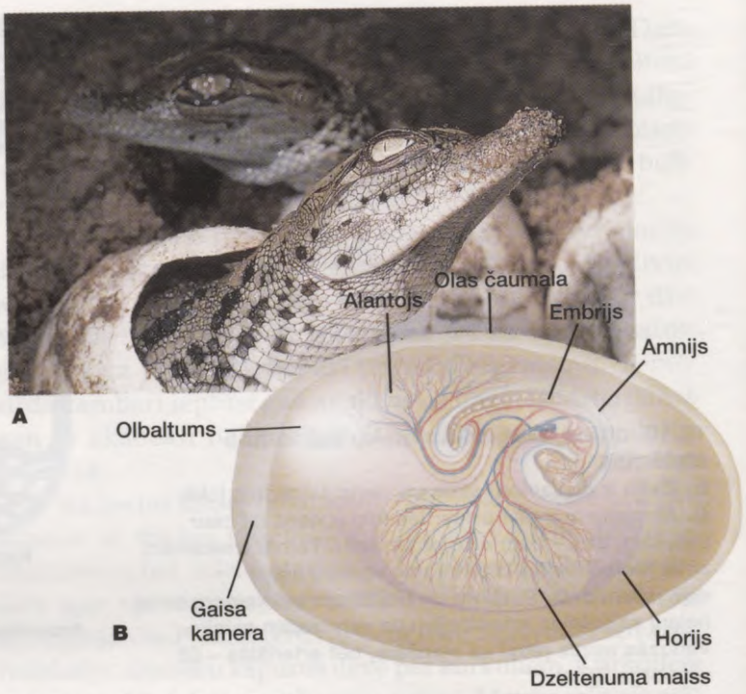
18.4. Amniotu olas attīstība

Sauszemes dzīvniekiem ir izveidojušies pielāgojumi, kas vairošanos padara neatkarīgu no ūdens. Rāpuļiem ir raksturīga iekšēja apaugļošanās. Viņu dētajām olām ir blīva čaumala (18.12. att.). **Amniotu olai** ir vairāki ārējie apvalki, kas embriju aizsargā, apgādā ar skābekli, barības vielām un ūdeni, kā arī izvada vielmaiņas galaproduktus. Apvalki tikai apņem embrija organismu. Attīstības beigās viņš no tiem atbrīvojas. Viens no apvalkiem – **amnijs** – veido ar šķidrumu pildītu maisu (amnija dobumu), kurā attīstās embrijs.

Uzskata, ka rāpuļi cēlušies no abiniekiem karbona periodā, kad uz sauszemes bija vislielākā abinieku daudzveidība (18.13. att.). Pirmie rāpuļi radās dažādi. Katra šo rāpuļu grupa bija pielāgota atšķirīgam dzīvesveidam. Interesi izraisa ķirzakām līdzīgie pelikozauri, virs kuru muguras slējās adatveida ādas bura. No pelikozauriem attīstījās **terapsīdi**, kas kļuva par zīdītāju priekštečiem. Savukārt citu grupu rāpuļi atgriezās ūdens vidē. Vieni no mezozoja ēras jūras rāpuļiem (ihtiozauri) atgādināja zivis, bet citiem rāpuļiem (pleziozauriem) bija garš kakls un lielas pleznveida kājas. Vairums izmirušo un daļa mūsdienu rāpuļu ir cēlušies no citas rāpuļu grupas – tekodontiem. Mezozoja ēras lidojošajiem rāpuļiem (pterozauriem) bija plats krūšu kauls ar ķīli, pie kura bija piestiprinājušies spēcīgie lidošanas muskuļi, kā arī kauli ar tukšu vidu. Šie kauli mazināja viņu masu. Spārnus veidoja četri gari pirkstu kauli, starp tiem bija lidplēve. Tomēr vispazīstamākā seno rāpuļu grupa bija dinozauri. Viņi bija ļoti dažādi izmēra un uzvedības ziņā. Tomēr īpaši ievērojami bija dažu sugu dinozauri sava milzīgā izmēra dēļ. Zālēdāji brahiozauri sasniedza apmēram 23 m garumu un 17 m augstumu. Tiranozauri bija plēsēji, kas, stāvot uz pakaļkājām, varēja izslieties 5 metru augstumā. Dzīvniekam paceļoties pakaļkājās, priekšējās ekstremitātes atbrīvojās medījuma satveršanai vai cīņai ar uzbrucēju. Stāvēšana uz divām kājām veicināja arī spārnu attīstību, un no dinozauriem attīstījās putni. Tātad var teikt, ka putni ir dzīvi dinozauri.

Dinozauriem un zīdītājiem līdzīgajiem rāpuļiem ekstremitātes bija zem ķermeņa, nevis tā sānos. Tas viņiem ļāva veiklāk un ātrāk pārvietoties. Amniotu ola un labāk attīstīts kustību aparāts bija veiksmīga dzīvnieku pielāgošanās dzīvei uz sauszemes.

Rāpuļi dominēja mezozoja ērā apmēram 170 miljonus gadu, bet tad lielākā daļa no viņiem izmira. Kas izraisīja šo masveida izmiršanu krīta periodā? Atbilde joprojām nav zināma, lai gan ir atklāts, ka šā laikmeta nogulumos ir daudz irīdija. Šis metāls uz zemes ir reti sastopams, bet parasti ir meteorītos. Liela meteorīta nokrišana būtu varējusi izraisīt milzīgu putekļu mākoņu pacelšanos, neļaujot uz zemes nonākt saules gaismai. Sākās daudzu augu un dzīvnieku bojāeja. Luiss un Valters Alvaresi, kā arī daži citi zinātnieki, kas vākuši šo hipotēzi atbalstošas liecības, uzskata, ka senie notikumi noritējuši tieši šādi.



18.12. attēls. Rāpuļa ola
A. Smailpurna krokodila mazulis šķiļas no olas. Olas čaumala ir blīva un elastīga – atšķirībā no trauslajām putnu olām. **B.** Olā embriju apņem dīgļapvalki. Horijs nodrošina gāzu apmaiņu, dzeltenuma maisā glabājas barības vielas, alantojā uzkrājas vielmaiņas galaprodukti, bet amnijs veido amnija dobumu, kurš pildīts ar šķidrumu un pasargā embriju no izžūšanas.

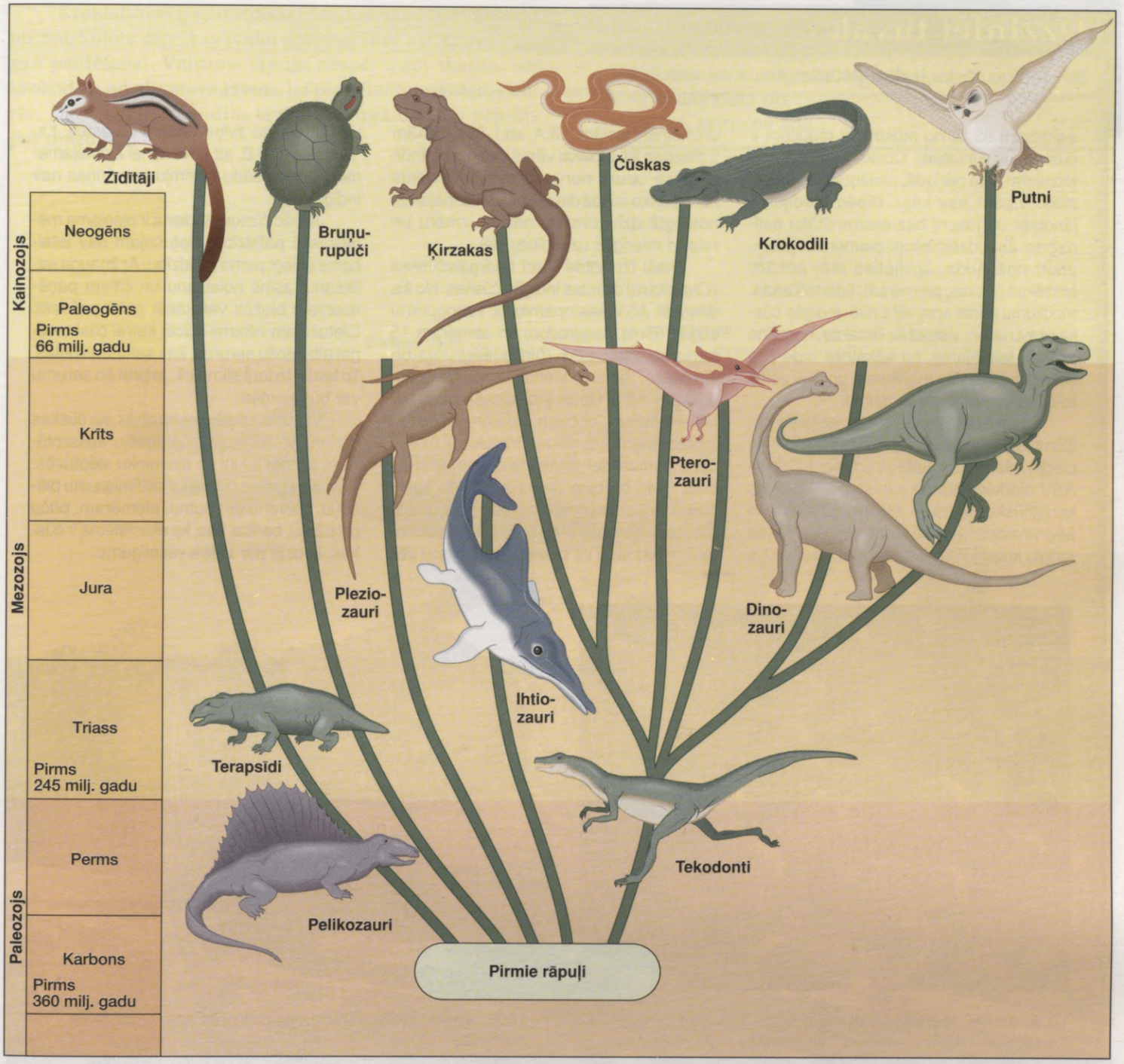
Rāpuļi

Vairums mūsdienu **rāpuļu** (klase *Reptilia*; lat. *reptile* – čūska; 6000 sugu) mīt tropos vai subtropos. Rāpuļi ir ķirzakas un čūskas, kas parasti dzīvo uz sauszemes vai ierakušās augsnē, kā arī bruņurupuči, krokodili un aligatori, kas lielākoties mīt ūdenī.

Rāpuļiem ir bieza, keratīnu saturoša, zvīņām klāta āda, kas ir ūdensnecaurlaidīga. Keratīns ir olbaltumviela, no kuras veidoti arī mati, nagi, spalvas un citi ragvielas veidojumi. Cietā āda pasargā no izžūšanas, bet rada nepieciešamību vairākas reizes gadā **"novilkties"** – mainīt ķermeņa apvalku. Rāpuļiem **plaušas** ir labāk attīstītas nekā abiniekiem. Elpošana notiek, krūškurvim saspiežoties un izplešoties. Krokodiliem ir četrkameru sirds. Arteriālās asinis ir pilnīgi nodalītas no venozajām asinīm. Citiem rāpuļiem ir trīskameru sirds, tomēr sirds kambarī ir nepilnīga šķērssiena. Labi attīstītās nieres izvada urīnskābi, tādēļ, lai izvadītu vielmaiņas galaproduktus no organisma, ir nepieciešams mazāks ūdens daudzums.

Tāpat kā abinieki, arī rāpuļi ir **aukstasiņu dzīvnieki**. Tas ļauj viņiem uz vienu ķermeņa masas vienību patērēt daudz mazāk barības, nekā izmanto putni un zīdītāji. Tomēr viņiem jāpielāgo sava uzvedība tā, lai ķermeņa temperatūru varētu paaugstināt, sildoties saulē.

Pasaulē mīt apmēram 6000 čūsku un ķirzaku sugu. Viņas galvenokārt ir sastopamas tropos un tuksnešos. Ķirzakām ir četras nagainas kājas, un pēc izskata viņas atgādina savus senos priekštečus. Ķirzakas ir plēsīgas, pārtiek no



18.13. attēls. Evolūcijas koks
Evolūcijas koks parāda saistību starp rāpuļiem (arī dinozauriem), putniem un zīdītājiem.

kukaiņiem un citiem sīkiem dzīvniekiem, arī citām ķirzakām. Galapagu salu jūrasiguānas lielu daļu dzīves pavada jūrā, kur barojas ar jūras salātiem un citiem ūdensaugiem. Savukārt hameleoni ir pielāgojušies dzīvei kokos. Viņiem ir gara, lipīga mēle, ar kuru no attāluma var notvert kukaiņus. Hameleoni spēj mainīt ādas krāsu, tā saplūstot ar vidi. Daudzām ķirzakām ir citi paņēmieni, kā izsargāties no plēsējiem. Austrālijas apkakles agāma ap kaklu var izsliet apmetņveida ādas apkakli, kas ļauj izskatīties lielākai un bīstamākai. Daudzas bezkāju ķirzakas, kas dzīvo augsnē, ir aklas un pēc izskata atgādina sliekas.

Čūskas ir cēlušās no ķirzakām. Viņas ir zaudējušas kājas, tā pielāgojoties dzīvei biezā augājā. Čūskas ir plēsoņas. Viņu žokļi ir brīvi piestiprināti galvaskausam, tāpēc čūska var aprīt laupījumu, piemēram, peli, kas pārsniedz viņas galvas izmērus. Čūska, izšaujot mēli, uztver dažādas gaisā esošās smaržu molekulas un nogādā tās Jakobsona orgānā, kur tās tiek analizētas. **Jakobsona orgāns** kalpo ožai un

Uzziniet tuvāk

Indīgo čūsku ir diezgan maz

Apmēram 95 % no mūsdienu rāpuļiem ir čūskas un ķirzakas. Čūskas cēlušās no ķirzakām krīta periodā, pielāgojoties dzīvei alās. Viņām nav kāju, tāpēc medījums jānotver un jāaprij bez ekstremitāšu palīdzības. Žņaudzējčūskas, piemēram, pitoni, upuri nožņaudz, apvijoties tam apkārt. Mazākas čūskas, piemēram, ūdenščūskas, medījumu nereti aprij vēl dzīvu. Indīgās čūskas savu upuri, visbiežāk ķirzakas, nogalina ar indi. Iespējams, ka sākotnēji inde bija līdzeklis, lai iegūtu medījumu, un tikai vēlāk to sāka izmantot aizsardzībai.

Lielākā daļa indīgo čūsku ietilpst divās dzimtās. Pie indesčūsku *(Elapidae)* dzimtas pieder, piemēram, kobras un koraļļčūskas. ASV dienvidu štatos ir sastopamas divas koraļļčūsku sugas – *Micrurus fulvius* un *Micruroides euryxanthus*. Viņām ir ļoti spilgts krāsojums ar sarkanām, dzeltenām un melnām joslām (18.A. att.). Šīm čūskām ir diezgan īsi, atpakaļ vērsti indeszobi. Inde paralizē upura nervu sistēmu. Cilvēkus koraļļčūska sakož diezgan reti – iespējams, noslēgtā dzīvesveida, nelielo izmēru un relatīvi mierīgās uzvedības dēļ.

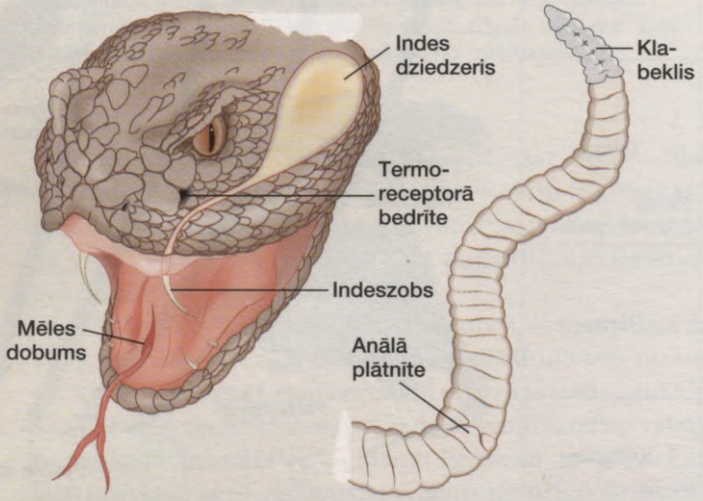
Plaši izplatītas ir arī bedrgalvčūskas *(Crotalidae)* dzimtas indīgās čūskas. No šīs dzimtas ASV sastopamas 2 vairogpurņu sugas (ģints *Agistrodon*) un apmēram 15 sugu klaburčūskas (ģintis *Sistrurus* un *Crotalus*). Šīs arī ir vienas no indīgākajām čūskām ASV. Upurī indi viņas ievada ar diviem lieliem, dobiem, adatām līdzīgiem indeszobiem, kas parasti ir piekļauti mutes dobumam un tiek izslieti tikai uzbrukšanas brīdī. Inde iznīcina upura sarkanās asins šūnas un izraisa lokālus audu bojājumus. Šīs čūskas viegli var pazīt pēc termoreceptorām bedrītēm uz purna, ovālām acu zīlītēm un vaļīgu zvīņu rindām uz astes, t.s. "klabekļa" (18.B. att.). Nevienai Ziemeļamerikas čūskai šādu pazīmju nav. Viņas nav indīgas.

Ja pēc čūskas kodiena ir pieejama medicīniskā palīdzība, cietušajam nav ieteicams sniegt pirmo palīdzību. Ar žņauga uzlikšanu, asins nolaišanu un citiem paņēmieniem biežāk var kaitēt nekā palīdzēt. Cietušajam vēlams injicēt katrai čūsku sugai atbilstošu serumu, kas satur antivielas. To labāk izdarīt slimnīcā, jo pret šo serumu var būt alerģija.

Vairums cilvēku neapzinās, ka čūskas ir vieni no lielākajiem grauzēju apkarotājiem, jo spēj iekļūt šo dzīvnieku slēptuvēs. Savukārt pašas čūskas ir nozīmīga citu plēsoņu, galvenokārt putnu, piemēram, pūču un stārķu, barība. Tas, ka ekosistēmā ir čūskas, liecina par vides veselīgumu.



18.A. attēls. Koraļļčūska *(Micrurus fulvius)*
Koraļļčūska pieder pie indesčūsku dzimtas – pie vienas no lielākajām indīgo čūsku dzimtām.



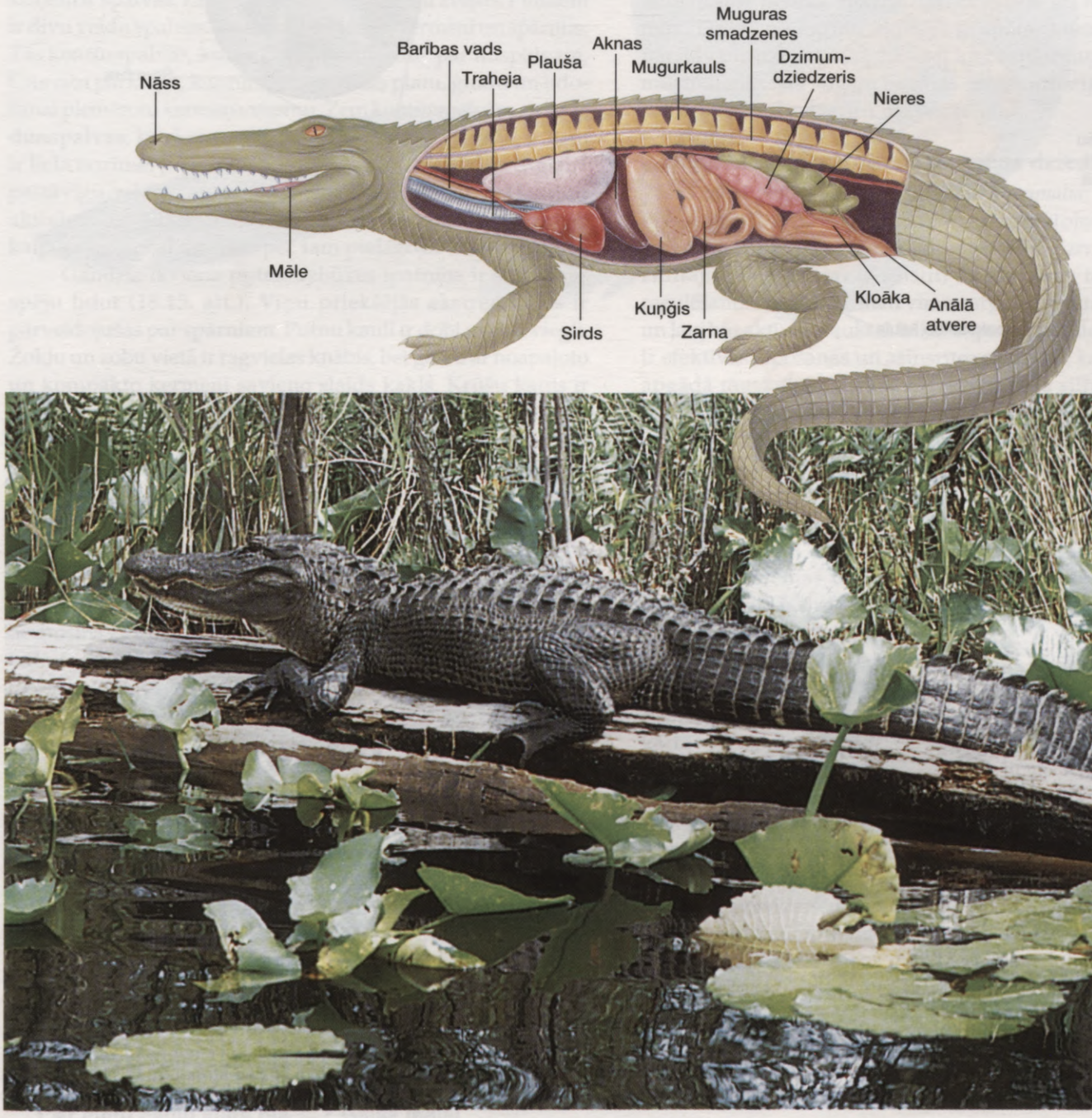
18.B. attēls. Bedrgalvčūsku dzimtas raksturīgākās pazīmes
Otra lielākā indīgo čūsku dzimta ir bedrgalvčūsku dzimta. Tās, piemēram, klaburčūskas, var pazīt pēc attēlā redzamajām pazīmēm.

atrodas mutes dobuma pamatnē. Lielākā daļa čūsku nav indīgas. Indīgajām čūskām, piemēram, klaburčūskai, koraļļčūskai, odzei un kobrai, ir indeszobi, ar ko pārkost upura ādu un ievadīt indi.

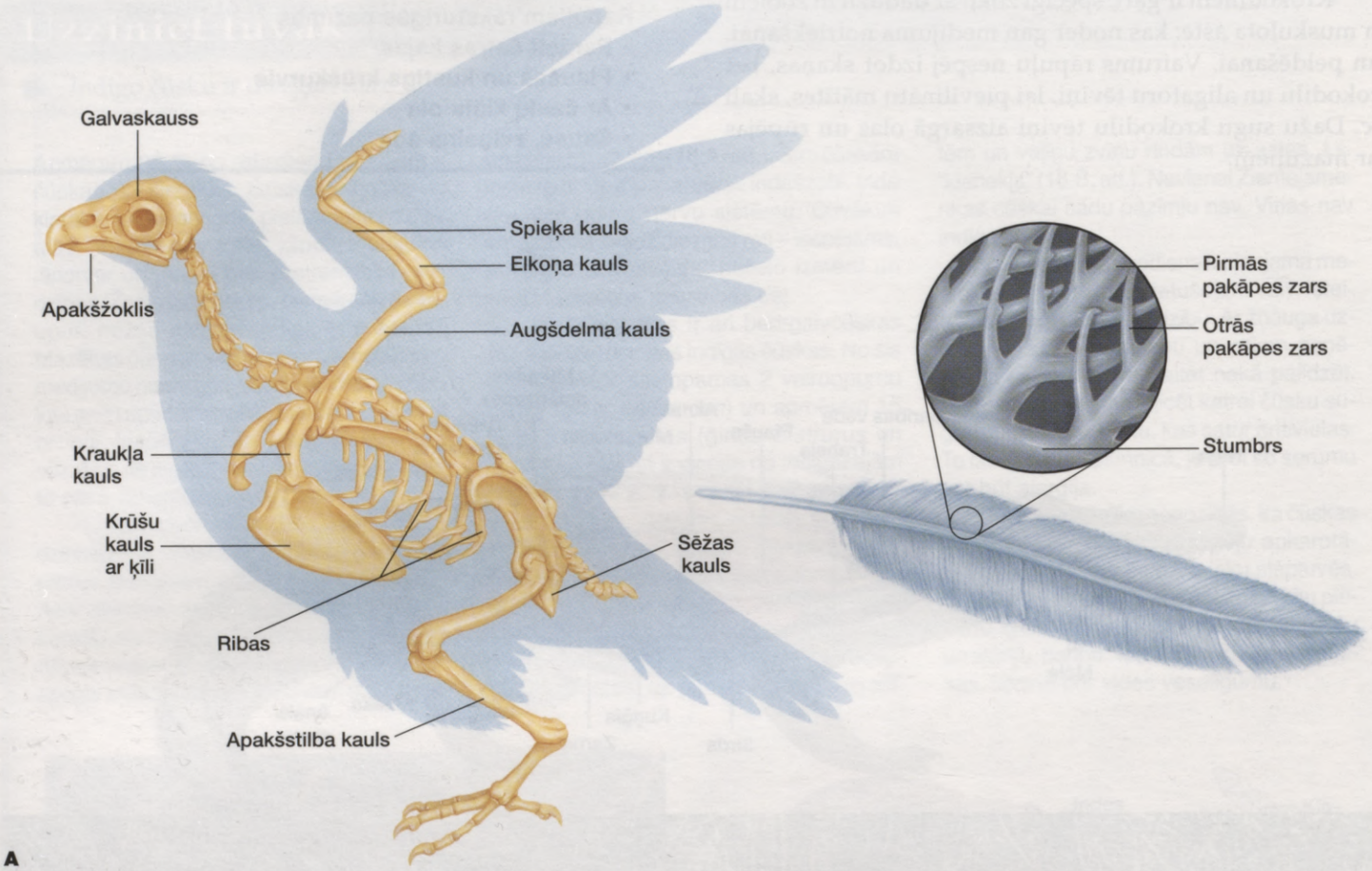
Bruņurupučiem ir cietas bruņas, ar kurām saaug ribas un mugurkaula krūšu skriemeļi. Viņiem nav zobu, bet žokļi ir klāti ar ragvielu, kas veido asas malas. Vairums bruņurupuču lielāko daļu dzīves pavada ūdenī. Jūrasbruņurupuči okeānu atstāj, tikai lai izdētu olas. Kājas ir platas un līdzīgas pleznām. Savukārt sauszemes bruņurupučiem kājas ir spēcīgas un piemērotas iešanai. Arī krokodili un aligatori dzīvo galvenokārt ūdenī, barojoties ar zivīm, bruņurupučiem un sauszemes dzīvniekiem, kas pienākuši pietiekami tuvu ūdenim (18.14. att.).

Krokodiliem ir gari, spēcīgi žokļi ar daudziem zobiem un muskuļota aste, kas noder gan medījuma notriekšanai, gan peldēšanai. Vairums rāpuļu nespēj izdot skaņas, bet krokodilu un aligatoru tēviņi, lai pievilinātu mātītes, skaļi rēc. Dažu sugu krokodilu tēviņi aizsargā olas un rūpējas par mazuļiem.

Rāpuļiem raksturīgās pazīmes
- **Parasti četras kājas**
- **Plaušas un kustīgs krūškurvis**
- **Ar čaulu klāta ola**
- **Sausa, zvīņaina āda**



18.14. attēls. Misisipi aligators *(Alligator mississippiensis)*



A



Spārni pacelti



Spārni nolaisti

B. Baltgalvas ērglis *(Haliacetus leucocephalus)*

18.15. attēls. Putna uzbūve

A. Putniem ir liels krūšu kauls ar ķīli, pie kura piestiprināti lidošanas muskuļi. Putnu kauli ir izturīgi, bet ļoti viegli, jo tiem ir dobs vidus. Spalvas veido dobs stumbrs, no kura atzarojas pirmās un otrās pakāpes zari, kas pārklājas, veidojot režģim līdzīgu struktūru. **B.** No mūsdienu mugurkaulniekiem lidot, kustinot spārnus, spēj tikai putni un sikspārņi. Vēzējot spārnus, putni rada gaisa plūsmu, kas viņus ceļ uz augšu.

18.5. Spārnu un spalvu attīstība

Mūsdienu putniem nav zobu un ir tikai rudimentāra aste, kā arī saglabājušās daudzas citas rāpuļu iezīmes, piemēram, ķermeņa forma, zvīņas uz kājām, nagi uz kāju pirkstiem un ragvielas knābis. Arī putni dēj amniotiskas olas, tikai čaula tām ir cieta, nevis ādaina kā rāpuļiem. Par to, kurš bijis tiešais putnu priekštecis, vēl diskutē, lai gan daudzi zinātnieki uzskata, ka tuvākie putnu radinieki bijuši divkājainie dinozauri.

Putniem ir apspalvojums

Putni (klase *Aves*; 9000 sugu) ir vienīgie mūsdienu dzīvnieki, kuriem ir **spalvas**, kas ir pārveidojušās rāpuļu zvīņas. Putniem ir divu veidu spalvas. **Kontūrspalvas** klāj ķermeni un spārnus. Tās kontūrspalvas, kuras klāj spārnus, sauc par lidspalvām. Cita citu pārklājot, kontūrspalvas veido platu, gludu un lidošanai piemērotu ķermeņa virsmu. Zem kontūrspalvām atrodas **dūnspalvas**, kas ķermeni pasargā no siltuma zuduma. Tam ir liela nozīme, jo putni ir **siltasiņu dzīvnieki** – viņi saglabā pastāvīgu, relatīvi augstu ķermeņa temperatūru, kas ļauj būt aktīviem arī aukstā laikā. Iespējams, ka spalvas sākotnēji kalpoja izolācijai un tikai pēc tam pielāgojās lidošanai.

Gandrīz ikviena putna uzbūves īpatnība ir saistīta ar spēju lidot (18.15. att.). Viņu priekšējās ekstremitātes ir pārveidojušās par **spārniem**. Putnu kauli ir dobi un ļoti viegli. Žokļu un zobu vietā ir ragvielas knābis, bet galvu ar noapaļoto un kompakto ķermeni savieno slaids kakls. Krūšu kauls ir liels, ar izteiktu krūšu ķīli, pie kura piestiprināti spēcīgie lidošanas muskuļi. Šo muskuļu apgāde ar skābekli ir ļoti efektīva. Caur plaušām gan ieelpojot, gan izelpojot plūst ar skābekli bagāts gaiss, jo putniem ir gaisa maisi. Turklāt putniem ir divi asinsrites loki un **četrkameru sirds**, kas pilnīgi norobežo arteriālās asinis no venozajām asinīm.

Lai lidotu, ir nepieciešami labi attīstīti maņu orgāni un nervu sistēma. Putniem ir ļoti asa redze, bet nervu sistēma nodrošina zibenīgu muskuļu atbildes reakciju uz kairinājumu. Lidojot putni barību var meklēt plašā apkārtnē, kā arī dažādos biotopos. Putniem raksturīga ļoti sarežģīta uzvedība, piemēram, rūpes par mazuļiem, līdz tie kļūst pieauguši. To nodrošina attīstītā nervu sistēma un sarežģītā hormonālā regulācija.

Putnus klasificē galvenokārt pēc knābja un kāju uzbūves, daļēji arī pēc dzīves vides un uzvedības. Atsevišķās kārtās tiek iedalīti plēsīgie putni ar līku knābi un asiem nagiem, bridējputni ar garu, slaidu knābi un garām kājām, dzeņi ar asu kaltveida knābi un tveršanai piemērotām kājām, ūdensputni ar platu knābi un pleznveida kājām, pingvīni ar airveida spārniem un zvirbuļveidīgie putni ar kājām, kas piemērotas sēdēšanai zaros.

Putniem raksturīgās pazīmes

- **Apspalvojums**
- **Ar cietu čaulu klāta ola**
- **Četrkameru sirds**
- **Parasti lidošanai piemēroti spārni**
- **Gaisa maisi**
- **Siltasiņu dzīvnieki**

18.6. Zīdītāji ir siltasiņu dzīvnieki

Zīdītāji ir cēlušies no terapsīdiem – zīdītājiem līdzīgiem rāpuļiem mezozoja ērā. Zīdītājiem galvaskauss aizsargā relatīvi lielākas (attiecībā pret ķermeni) smadzenes nekā rāpuļiem, bet žoklī ir iestiprināti dažādas formas zobi, piemēram, priekšzobi un dzerokļi. Zīdītāju mugurkaulā ir dažādas formas skriemeļi. Mugurkaula vidējā daļa ir izliekta, tā uzlabojot pārvietošanos pa sauszemi. Īstie zīdītāji parādījās juras periodā, apmēram tajā pašā laikā, kad pirmie dinozauri. Pirmie zīdītāji bija mazi, apmēram peles lieluma dzīvnieki. Visu dinozauru uzplaukuma laiku (165 miljonus gadu) zīdītāji bija neliela, maznozīmīga grupa un mainījās visai maz. Dažas no agrīno zīdītāju grupām, kuras mūsdienās pārstāv pirmzīdītāji (kloākaiņi) un bezplacentāļi (somaiņi), mūsu dienās nav sugām bagātas. Vēlāk attīstījās placentāļi, kas aizņēma dinozauru dzīves telpu.

Zīdītājiem ir apmatojums un piena dziedzeri

Pašas raksturīgākās **zīdītāju** (klase *Mammalia;* lat. *mamma* – krūts, pups; 4500 sugu) iezīmes ir apmatojums un piena dziedzeri. Tāpat kā putni, zīdītāji ir siltasiņu dzīvnieki. Daudzi zīdītāju pielāgojumi ir saistīti ar ķermeņa temperatūras regulēšanu. Piemēram, **mati** viņus sargā no siltuma zudumiem un ļauj būt aktīviem aukstā laikā. Tāpat kā putniem, zīdītājiem ir efektīvas elpošanas un asinsrites sistēmas, kas ar skābekli apgādā muskuļus, kuru kontrakcijas rada siltumu. Viņiem ir divi asinsrites loki un **četrkameru sirds**.

Piena dziedzeri ļauj barot (zīdīt) mazuļus ar barības vielām bagātu šķidrumu – pienu. Zīdīšana arī rada kontaktu starp māti un mazuli. Tas stimulē māti rūpēties par mazuli, kamēr viņš ir bezpalīdzīgs. Lielākajai daļai zīdītāju mazuļi dzimst diezgan attīstīti. Viņi attīstās jau mātes dzemdē (dzimumsistēmas orgāns). Attīstoties mātes organismā, mazulis atrodas drošībā. Zīdītājus iedala grupās, ņemot vērā atšķirīgos vairošanās veidus.

Zīdītāji, kas dēj olas

Pie **pirmzīdītāju** *(Prototheria)* apakšklases pieder tikai viena kārta – **kloākaiņi** *(Monotremata)*. Šiem zīdītājiem ir kloāka. Viņi dēj ar cietu čaulu klātas olas. Mūsdienās šo grupu pārstāv pīļknābis (18.16. att. A) un dažu sugu ehidnas, kas sastopamas Austrālijā. Pīļknābja mātīte olas dēj speciāli izraktā alā. Tur viņa olas izperē un pēc izšķilšanās baro mazuļus ar pienu, ko tie nolaiza no īpašiem ādas laukumiņiem. Piens izplūst no piena dziedzeriem, kas atrodas gan uz mātītes, gan tēviņa vēdera. Ehidnai pirms olu dēšanas uz vēdera izveidojas ādas soma, kurā atveras piena dziedzeri. Olas tiek ievietotas šajā somā un tur izperētas. Pēc izšķilšanās mazuļi somā pavada apmēram 53 dienas. Vēl kādu laiku viņi uzturas alā, kur māte tos apmeklē un zīda.



A. Pīļknābis *(Ornithorhynchus anatinus)*



B. Koala *(Phascolarctos)*

18.16. attēls. Zīdītāji
A. Pīļknābis ir kloākainis, kurš dēj ar čaulu klātas olas. **B.** Koala ir somainis, kura mazulis dzimst neattīstīts un attīstību turpina somā uz mātes vēdera. **C.** Baltastes briedis ir placentālis, kura mazulis attīstās mātes dzemdē.

Zīdītāji, kam ir soma

Somaiņu *(Marsupialia)* attīstība sākas mātītes ķermenī, bet mazuļi piedzimst ļoti neattīstīti. Tāpēc jaundzimušais ielien somā uz mātes vēdera. Piestiprinājies pie zīdekļa, mazulis turpina attīstīties. Nereti mazuļu ir vairāk nekā zīdekļu. Tad pie zīdekļa tiek tikai pirmie.

Mūsdienās somaiņi sastopami galvenokārt Austrālijā. Tikai nedaudzas sugas, piemēram, oposumi, sastopamas Amerikā. Austrālijā somaiņi vairākus miljonus gadu attīstījās bez placentāļu konkurences – tie šeit parādījās tikai nesen. Vairāk pazīstamie somainie zālēdāji ir koalas (18.16. att. B), kas dzīvo kokos un ēd to lapas, un ķenguri, kas ēd zāli. Tasmānijas vilksomainis, kurš, visticamāk, ir izmiris, bija apmēram suņa lieluma plēsējs.

Zīdītāji, kuriem ir placenta

Placentāļi attīstības gaitā ir saistīti ar **placentu** – orgānu, kas savieno mātes un embrija asinsrites sistēmas. Augošajam mazulim ar mātes asinīm tiek piegādātas barības vielas un aiznesti prom vielmaiņas galaprodukti. Lai gan embrijs barības vielas saņem no mātes, viņa tomēr attīstības laikā var brīvi pārvietoties. Mazulis piedzimst jau relatīvi attīstīts.

Placentāļiem raksturīgs aktīvs dzīvesveids. Viņiem ir labi attīstītas maņas. Ļoti lielas ir smadzenes, it īpaši to priekšējā daļa – smadzeņu puslodes. Tās ir krokotas un pārsniedz visu citu smadzeņu daļu izmērus. Tomēr, mazulim piedzimstot, viņa smadzenes vēl nav pilnīgi attīstījušās, tāpēc zināms laiks ir jāpavada vecāku aprūpē.

Placentāļi dzīvo visos kontinentos, izņemot Antarktīdu. Vairums zīdītāju mīt uz sauszemes, bet daži, piemēram, vaļi, delfīni, roņi, jūraslauvas un lamantīni, ir pielāgojušies dzīvei ūdenī. Savukārt sikspārņi ir ieguvuši spēju lidot. Placentāļus iedala galvenokārt pēc pārvietošanās veida un barības iegūšanas paņēmieniem. Turpmāk aprakstītas nozīmīgākās zīdītāju kārtas.

Kārta. Sikspārņi (925 sugas). Šiem naktsdzīvniekiem raksturīga ādaina lidplēve starp kāju pirkstiem (izņemot priekškāju pirmo pirkstu) un asti. Daudzu sugu sikspārņiem raksturīga eholokācija, kas palīdz medīt kukaiņus. Tomēr starp sikspārņiem ir arī zivjēdāji, varžēdāji un augēdāji.

Kārta. Primāti (180 sugu). Pazīstamākie šīs kārtas pārstāvji ir lemūri, mērkaķi, giboni, šimpanzes, gorillas, arī cilvēks. Tipiskākie primātu pārstāvji ir kokos dzīvojošie augļēdāji, tomēr dažas sugas, līdzīgi cilvēkam, dzīvo uz zemes. Primātiem ir kustīga galva, piecpirkstainas ekstremitātes ar nagiem. Pirmais pirksts (īkšķis) parasti ir vērsts perpendikulāri pārējiem pirkstiem, nodrošinot tvērējfunkciju. Vairumam, it īpaši cilvēkam, ir labi attīstītas smadzenes.

Kārta. Grauzēji (1760 sugu). Lielākā zīdītāju kārta. Tās raksturīgākie pārstāvji ir peles, žurkas, vāveres, bebri un dzeloņcūkas. Grauzējiem ir pastāvīgi augoši priekšzobi. Parasti viņi pārtiek no sēklām, bet daži grauzēji ir visēdāji vai pārtiek galvenokārt no kukaiņiem.



C. Baltastes briedis *(Odocoileus virginianus)*

Kārta. Vaļi (80 sugu). Kārtu pārstāv vaļi un delfīni. Šo dzīvnieku āda ir kaila, bez apmatojuma. Zilais valis ir lielākais jebkad uz Zemes dzīvojušais zīdītājs. Plātņvaļiem raksturīga barības (planktona) izfiltrēšana no ūdens. Savukārt zobvaļi galvenokārt barojas ar zivīm un galvkājiem.

Kārta. Plēsēji (240 sugu). Raksturīgākie pārstāvji ir suņi, kaķi, lāči, jenoti un skunksi. Visiem šiem dzīvniekiem ir skriešanai piemērotas kājas un lieliska oža. Viņi ir gaļēdāji ar spēcīgiem konusveida ilkņiem.

Kārta. Roņi (30 sugu). Pazīstamākie pārstāvji ir lauvroņi jeb jūraslauvas, roņi un valzirgi. Ekstremitātes pārveidojušās par airveida peldpleznām. Roņi ir radniecīgi plēsējiem.

Kārta. Snuķaiņi (2 sugas). Pārstāvji ir divu sugu ziloņi, kas ir lielākie sauszemes zīdītāji. Saaugot augšlūpai ar degunu, izveidojies garš snuķis.

Kārta. Nepārnadži (17 sugu). Apvieno zirgus, zebras, tapīrus un degunradžus.

Kārta. Pārnadži (185 sugas). Raksturīgākie pārstāvji ir cūkas, vērši, brieži, nīlzirgi un žirafes. Gan nepārnadžus, gan pārnadžus mēdz saukt par nagainajiem dzīvniekiem. Viņiem raksturīgas garas, skriešanai piemērotas kājas. Abu šo kārtu pārstāvji ir zālēdāji, tāpēc viņiem ir lieli dzerokļi.

Kārta. Zaķi (65 sugas). Šīs kārtas pārstāvji – zaķi, truši un pīkstētāji – ir zālēdāji, kuri ļoti līdzīgi grauzējiem. Arī viņiem ir lieli, nepārtraukti augoši priekšzobi un pakaļkājas, kas garākas par priekškājām.

Placentāļiem raksturīgās pazīmes

- **Apmatojums**
- **Labi attīstītas smadzenes**
- **Piena dziedzeri**
- **Iekšēja attīstība**
- **Dažādi zobi**
- **Mazuļu aizsardzība**
- **Siltasiņu dzīvnieki**

Pārskats

Kas nosaka dzīvo organismu izdzīvošanas panākumus? Gandrīz pēc visiem kritērijiem mugurkaulnieki ir zaudētāji. Viņi ir eikarioti, kuri pieder pie vienas domēnas, bet prokarioti pieder pie otras domēnas. Prokariotu ir daudz vairāk, un iespējams, ka dažādu prokariotu ir vairāk nekā visi citi dzīvie organismi kopā. Tā neredzamā pasaule ir daudz lielāka nekā tā, ko mēs spējam saskatīt. Prokarioti ir pielāgojušies pārstrādāt dažādus enerģijas veidus un spēj dzīvot visdažādākajās vidēs.

Ja nebūtu visdažādāko kukaiņu, ūdenī dzīvojošo sugu būtu daudz vairāk nekā sauszemes dzīvnieku sugu. Zīdītāji ir labi pielāgojušies dzīvei uz Zemes, kur ieņem nozīmīgu vietu. Tomēr sugu skaita ziņā (4500 sugu) viņu ir nesalīdzināmi mazāk, piemēram, salīdzinājumā ar jūrās dzīvojošajiem gliemjiem (110 000 sugu). Arī uz sauszemes salīdzinājumā ar kukaiņiem viņu sugu skaits ir ievērojami mazāks, jo nelieliem organismiem ir priekšrocības. Lieliem dzīvniekiem, piemēram, govīm, ir nepieciešama zāle, tātad vairāk vai mazāk vienveidīgas ganības. Savukārt mazie kukaiņi ieņem ļoti dažādus biotopus un barojas ar dažādu barību, piemēram, saknēm, stumbriem, lapām, ziediem, putekšņiem un sēklām.

Mugurkaulnieki ir lielāki par citiem dzīvniekiem. Zilais valis var svērt 150 tonnas un sasniegt 30 metru garumu. Tomēr arī sekvojas var sasniegt 100 m augstumu, bet dažu sugu eikalipti – pat 140 metru augstumu. Augiem ir daudz efektīvāka vielmaiņa. Viņi paši saražo sev barības vielas un no glikozes iegūst citas nepieciešamās vielas. Lai ekosistēma spētu eksistēt, nepieciešami tikai augi un reducenti.

Uzskata, ka mugurkaulnieku smadzeņu lielums un sarežģītība ir kritērijs, kas nosaka mugurkaulnieku pārākumu par citām dzīvajām būtnēm. Šī pazīme ir saistīta ar citām pazīmēm, kas palīdz mugurkaulniekiem izdzīvot. Kāpēc daudzas sugas ir uz izmiršanas robežas? Kā jau stāstīts 113. lappusē, dzīvnieki ir lieli, viņiem ir diezgan ilgs dzīves cikls, viņi tikai pēc zināma laika sasniedz dzimumbriedumu, arī pēcnācēju ir maz. Dzīvnieki daudz enerģijas patērē, rūpējoties par pēcnācējiem, it sevišķi, ja normālais dzīves cikls ir izjaukts. Kopumā jāsecina, ka mugurkaulnieki ir daudz vairāk apdraudēti par citiem dzīvajiem organismiem, it sevišķi pašreizējās ekoloģiskās krīzes apstākļos – krīzes, kuru izraisījis mugurkaulnieks ar visattīstītākajām smadzenēm – *Homo sapiens*.

Kopsavilkums

18.1. Vēlreiz par staraino simetriju

Otrmutniekiem no blastopora izveidojusies anālā atvere, raksturīga radiālā drostalošanās, kā arī celoma aizmetņa veidošanās no entodermālās viduszarnas. Otrmutnieki ir adatādaiņi un hordaiņi.

Adatādaiņi, piemēram, jūraszvaigznes, jūraseži, jūrasgurķi un jūraslilijas, ir staraini simetriski dzīvnieki (bet ne kāpura stadijā) ar kaļķa plātnīšu veidotu iekšējo skeletu. Pie plātnītēm ir dažādi izaugumi un adatas. Tipiskākajam no adatādaiņu pārstāvjiem – jūraszvaigznei – ir ādas žaunas, orālais nervu gredzens, no kura atiet radiālie nervi, kā arī ūdenskanālu sistēma, kas nodrošina pārvietošanos. Katrā jūraszvaigznes rokā atrodas nervu zari, gremošanas un vairošanās orgāni.

Pushordaiņu uzbūve liecina, ka hordaiņi ir radniecīgi adatādaiņiem. Viņu kāpuri atgādina adatādaiņus, un viņiem ir divas raksturīgās hordaiņu pazīmes – doba muguras nervu caurule un žaunu spraugas.

18.2. Hordaiņu pazīmju veidošanās

Hordaiņiem (tunikātiem, lancetniekiem, mugurkaulniekiem) vismaz kādā no attīstības stadijām ir notohorda, doba muguras nervu caurule un rīkles žaunu spraugas. Ir aste.

Tunikāti un lancetnieki ir vienīgie hordaiņu tipa bezmugurkaulnieki. Pieaugušiem tunikātiem nav raksturīgo hordaiņu pazīmju, izņemot žaunu spraugas, kas ir kāpuriem. Savukārt lancetnieki ir vienīgie hordaiņi, kuriem šīs pazīmes saglabājas visu dzīves laiku.

18.3. Mugurkaulnieku uzbūves īpatnības

Mugurkaulnieki ietilpst hordaiņu tipā. Embrionālās attīstības laikā viņiem raksturīgas trīs galvenās hordaiņu pazīmes. Pieaugušiem mugurkaulniekiem notohordu nomainījis mugurkauls. Viņiem ir augsta cefalizācijas pakāpe, iekšējais skelets, pāra ekstremitātes un labi attīstītas iekšējo orgānu sistēmas.

Pirmajiem mugurkaulniekiem nebija žokļu un pāra ekstremitāšu. Mūsdienās viņus pārstāv nēģi un miksīnas. Senās kaulzivis, kurām bija žokļi un pāra ekstremitātes, devona periodā sadalījās divās grupās: arī mūsdienās dzīvojošajās skrimšļzivīs (rajas un haizivis) un kaulzivīs. Kaulzivis tālāk sadalījās starspurzivīs un daivspurzivīs. Vēlāk starspurzivis kļuva par visdaudzveidīgāko mugurkaulnieku grupu. Daivspurzivis, no kurām attīstījās abinieki, mūsdienās pārstāv divējādi elpojošās zivis un celekants.

Senie abinieki bija četrkājaiņi. Viņi strauji attīstījās karbona periodā. Mūsdienu raksturīgākie pārstāvji ir vardes un salamandras; pieauguši dzīvo uz sauszemes, bet metamorfozi iziet ūdenī.

18.4. Amniotu olas attīstība

Rāpuļi (mūsdienās čūskas, ķirzakas, bruņurupuči un krokodili) uz sauszemes dēj ar čaumalu klātas olas.

Viena no seno rāpuļu grupām attīstījās no senajiem abiniekiem. No tās savukārt mezozoja ērā nodalījās dinozauri un putni. No citas rāpuļu grupas attīstījās zīdītāji.

18.5. Spārnu un spalvu attīstība

Putniem ir spalvas. Apspalvojums palīdz uzturēt pastāvīgu ķermeņa temperatūru. Lidošanai putniem ir arī citi pielāgojumi: dobi kauli, kompakta ķermeņa forma, spēcīgi attīstīts krūšu kauls ar ķīli un attīstīti maņu orgāni.

18.6. Zīdītāji ir siltasiņu dzīvnieki

Dinozauru ziedu laikos zīdītāji bija neliela un nenozīmīga dzīvnieku grupa. Krīta perioda beigās dinozauri izmira un zīdītāji kļuva par dominējošajiem organismiem uz Zemes.

Zīdītāji ir mugurkaulnieki, kuru ķermeni klāj apmatojums. Viņiem ir piena dziedzeri; viņiem saglabājas pastāvīga ķermeņa temperatūra. Zīdītāji rūpējas par mazuļiem. Kloākaiņi dēj olas, bet somaiņiem mazuļi pēc piedzimšanas attīstību turpina mātes somā. Savukārt placentāļiem, kuru starp zīdītājiem ir visvairāk, mazulis attīstās mātes dzemdē.

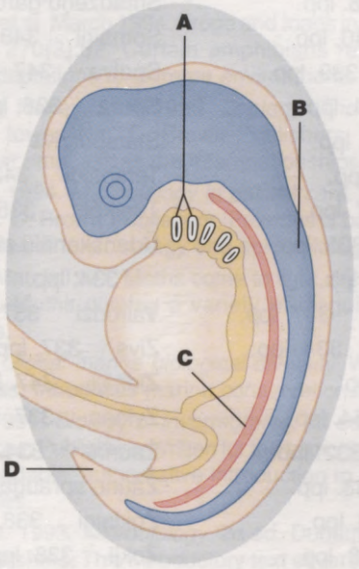
Pārbaudiet sevi

1. Kādas ir galvenās otrmutnieku pazīmes? 332. lpp.
2. Kādas ir galvenās adatādaiņu pazīmes? Izskaidrojiet, kā darbojas jūraszvaigžņu ūdenskanālu sistēma! 332.–334. lpp.
3. Kādas ir trīs galvenās hordaiņu pazīmes, kuras parādās vismaz kādā no attīstības stadijām? Kas kopīgs pushordaiņiem, adatādaiņiem un hordaiņiem? 334. lpp.
4. Raksturojiet divas hordaiņu bezmugurkaulnieku grupas! Izskaidrojiet, kāpēc tunikātus var uzskatīt par mugurkaulnieku senčiem! 335. lpp.
5. Kādi ķermeņa nodalījumi ir mugurkaulniekiem? Kādas atšķirīgas pazīmes ir mugurkaulniekiem? 337. lpp.
6. Raksturojiet bezžokļaiņus, arī izmirušos vairodžus! 337. lpp.
7. Kādas priekšrocības radās, attīstoties žokļiem? Aprakstiet izmirušās bruņuzivis, kā arī mūsdienās dzīvojošās skrimšļzivis un kaulzivis! No kurām zivīm cēlušies abinieki? 338.–340. lpp.
8. Kādas priekšrocības ieguva četrkājaiņi? Raksturojiet galvenās abinieku pazīmes! Kādi pielāgojumi ļāva abiniekiem pāriet dzīvot uz sauszemes? Kāpēc šai klasei dots nosaukums "abinieki" *(Amphibia)*? 340.–341. lpp.
9. Kādas priekšrocības ir amniotu olai? Kā rāpuļi ir pielāgojušies dzīvei uz sauszemes? 342. lpp.
10. Uzzīmējiet shematisku filoģenētisko koku, kur norādiet, kā ir notikusi rāpuļu, putnu un zīdītāju evolūcija! Iezīmējiet arī evolūcijas zarus, kas parāda dinozauru evolūciju! 343. lpp.
11. Kādas priekšrocības ir spārnu attīstībai? Kādi citi pielāgojumi nodrošina putniem spēju lidot? 347. lpp.
12. Kādas priekšrocības ir siltasiņu dzīvniekiem? Kādas trīs zīdītāju apakšklases jūs zināt? Raksturojiet tās! 347.–349. lpp.

Tests

Izvēlieties vienu pareizo atbildi uz katru jautājumu!

1. Kas no minētā neattiecas uz otrmutniekiem?
   A. No blastopora izveidojas anālā atvere
   B. Spirāliskā drostalošanās
   C. Enterocelisks celoms
   D. Adatādaiņi un hordaiņi
2. Kas adatādaiņiem ir ambulakrālās kājas?
   A. Galva
   B. Daļa no ūdenskanālu sistēmas
   C. Spermas uztvērējs
   D. Visas atbildes ir pareizas
3. Kuras no minētajām pazīmēm **nav** raksturīgas hordaiņiem?
   A. Ķermeni balstoša muguras stiegra jeb notohorda
   B. Muguras nervu stiegra
   C. Rīkles žaunu spraugas
   D. Mugurkauls
4. Kas raksturīgs pieaugušiem tunikātiem?
   A. Ir zaudējuši trīs raksturīgās hordaiņu pazīmes
   B. Kāpura stadijā līdzīgi pushordaiņiem
   C. Pēc izskata atgādina zivis
   D. Visas atbildes ir pareizas
5. Ar ko haizivis atšķiras no kaulzivīm?
   A. Kaulzivīm ir pāra spuras
   B. Kaulzivīm ir žaunu vāki
   C. Haizivīm ir kaula skelets
   D. Haizivis ir plēsoņas
6. No kā ir cēlušies abinieki?
   A. No skrimšļzivīm
   B. No bezžokļaiņiem
   C. No starspurzivīm
   D. No daivspurzivīm
7. Kura no minētajām pazīmēm **nav** raksturīga abiniekiem?
   A. Sausa āda, kas pasargā no izžūšanas
   B. Attīstība ar metamorfozi, pārejot dzīvot no ūdens vides uz sauszemi
   C. Mazas plaušas, tāpēc gāzu apmaiņa notiek arī citādi
   D. Vairošanās ūdenī
8. Ar ko salamandras atšķiras no čūskām?
   A. Čūsku senči atšķirībā no salamdrām bija tetrapodi
   B. Salamandras vairojas uz sauszemes, bet čūskas – ne
   C. Čūskas atšķirībā no salamandrām dēj ar čaumalu klātas olas
   D. Salamandras ir plēsoņas, bet čūskas – augēdājas
9. Kas bija raksturīgs dinozauriem?
   A. Dominēja mezozoja ērā
   B. Ir tuvu radniecīgi putniem
   C. Dēja ar čaumalu klātas olas
   D. Visas atbildes ir pareizas
10. Kurš no šiem apgalvojumiem ir pareizs?
    A. Visiem zīdītājiem mazulis attīstās mātes ķermenī
    B. Visiem zīdītājiem ir apmatojums un piena dziedzeri
    C. Visi zīdītāji dzīvo uz sauszemes
    D. Visas atbildes ir pareizas
11. Ko apzīmē katrs burts?



Papildjautājumi

1. *Pirmmutnieku un otrmutnieku evolūcija ir līdzīga.*
   Apstipriniet šo apgalvojumu, minot raksturīgākās posmkāju un hordaiņu pazīmes!
2. *Posmkāji un mugurkaulnieki ir vislabāk pielāgojušies dzīvei uz Zemes.*
   Kādas posmkāju un mugurkaulnieku pazīmes liecina, ka viņi ir pielāgojušies dzīvei uz Zemes?
3. *Rāpuļi ir pielāgojušies vairoties uz sauszemes.*
   Salīdziniet, kā dzīvei uz Zemes ir pielāgojušies rāpuļi un segsēkļi!

Multimediju izmantošana

Tēmu par otrmutniekiem palīdzēs apgūt šādi multimediji:

Interneta izmantošana

Šo nodaļu jums palīdzēs apgūt Maderas mājas lapa

http://www.mhhe.com/sciencemath/biology/mader
(izvēlieties bioloģiju)

Jēdzienu izpratne

Abinieki 340. lpp.
Adatādaiņi 332. lpp.
Ambulakrālās kājas 333. lpp.
Amniotu ola 342. lpp.
Aukstasiņu dzīvnieki 340. lpp.
Bezžokļaiņi 337. lpp.
Bruņuzivs 338. lpp.
Četrkājaiņi 340. lpp.
Daivspurzivs 339. lpp.
Hordainis 334. lpp.
Kaulzivs 338. lpp.
Kloāka 341. lpp.
Kloākaiņi 347. lpp.
Lancetnieks 335. lpp.
Miksīna 337. lpp.
Mugurkaulnieki 337. lpp.
Nervu caurule 334. lpp.
Nēģis 337. lpp.
Notohorda 334. lpp.
Otrmutnieks 332. lpp.
Peldpūslis 338. lpp.
Placenta 348. lpp.
Placentāļi 348. lpp.
Plaušas 340. lpp.
Pushordainis 334. lpp.
Putns 347. lpp.
Rāpulis 342. lpp.
Siltasiņu dzīvnieki 347. lpp.
Skrimšļzivs 338. lpp.
Smadzeņu garoza 340. lpp.
Somaiņi 348. lpp.
Spalva 347. lpp.
Spura 338. lpp.
Starspurzivs 338. lpp.
Terapsīdi 342. lpp.
Tunikāts 335. lpp.
Ūdenskanālu sistēma 334. lpp.
Vairodži 337. lpp.
Zivs 337. lpp.
Zīdītāji 347. lpp.
Zvīņas 337. lpp.
Žaunas 334. lpp.
Žaunu spraugas 334. lpp.
Žokļaiņi 338. lpp.
Žokļi 338. lpp.

Atrodiet definīcijām atbilstošos jēdzienus!

A. _____ – ola, kurai ir amnija apvalks, piemēram, rāpuļu un putnu.

B. _____ – dzīvnieki (putni un zīdītāji), kuriem ir no vides temperatūras neatkarīga, pastāvīga ķermeņa temperatūra.

C. _____ – oldējēji zīdītāji, piemēram, pīļknābis un ehidna.

D. _____ – zīdītāji, piemēram, ķenguri, kuru mazulis pēc piedzimšanas attīstību turpina mātes somā.

E. _____ – dzīvnieki, kuru ķermeņa temperatūra ir atkarīga no vides temperatūras.

F. _____ – dzīvnieku klase, kuru pārstāv sauszemes mugurkaulnieki, piemēram, vardes, krupji un salamandras, kas vairojas ūdens vidē.

G. _____ – dzīvnieku klase, kuru pārstāv sauszemes mugurkaulnieki, piemēram, čūskas, ķirzakas, bruņurupuči un krokodili, un kuru raksturīgākās pazīmes ir iekšēja apaugļošanās, zvīņaina āda un ar čaumalu klātas olas.

H. _____ – dzīvnieku klase, kuras pārstāvjiem ir apmatojums un piena dziedzeri.

I. _____ – dzīvnieku apakšklase, kuras pārstāvjiem ir placenta, kas nodrošina barības vielu, gāzu un atkritumvielu apmaiņu starp mātes un embrija asinīm.

J. _____ – dzīvnieku tips, kuru pārstāv jūras dzīvnieki, piemēram, jūraszvaigznes un jūraseži, kam raksturīgas pazīmes ir starainā simetrija un ambulakrālā jeb ūdenskanālu sistēma.

Ieteicamā papildliteratūra III daļai

Anderson, D. M. August 1994. Red tides. *Scientific American* 271(2):62. Red tide algal blooms release toxins into oceans, killing whales and fish, and causing illness to humans.

Brusca, R. C., and Brusca, G. J. 1990. *Invertebrates.* Sunderland, Mass.: Sinauer Associates. Discusses invertebrate zoology using the *Bauplan* concept of body design, development, evolution, and phylogenetics.

Carmichael, W. January 1994. The toxins of cyanobacteria. *Scientific American* 270(1):78. Cyanobacteria can be hazardous or beneficial, depending on the approach taken.

Castro, P., and Huber, M. 1997. *Marine Biology.* 2d ed. St. Louis: Mosby-Year Book, Inc. This introductory text is designed to provide a stimulating overview of marine biology.

Cowen, R. 1995. *History of life.* 2d ed. Boston: Blackwell Scientific Publications. A readable account for the undergraduate of the history of life based on the fossil record.

Duellman, W. E. July 1992. Reproductive strategies of frogs. *Scientific American* 267(1):80. Frogs have managed to colonize niches throughout the terrestrial environment.

Dusenbery, D. B. 1996. *Life at small scale: The behavior of microbes.* New York: Scientific American Library. This easy to read, well-illustrated text describes how microbes respond to the physical demands of their environment.

Eigen, M. July 1993. Viral quasispecies. *Scientific American* 269(1):42. A more dynamic view of viral populations holds clues to understanding and defeating them.

Goulding, M. March 1993. Flooded forests of the Amazon. *Scientific American* 266(3):114. Unique adaptations allow creatures to thrive in aquatic ecosystems of the rain forest.

Hickman, C. J., et al. 1993. *Integrated principles of zoology.* 9th ed. St. Louis: Mosby-Year Book, Inc. This introductory text provides the basics for understanding the animal kingdom.

Hotez, P. J., and Pritchard, D. I. June 1995. Hookworm infection. *Scientific American* 272(6):68. Discusses how the biology of parasites offers clues to possible vaccines and also for new treatment for heart disease and immune disorders.

Kantor, F. S. September 1994. Disarming Lyme disease. *Scientific American* 271(3):34. Discusses the progress being made in understanding and treating Lyme disease.

Kardong, K. V. 1995. *Vertebrates: Comparative anatomy, function, evolution.* Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers. An understanding of function and evolution is integrated with discussion of vertebrate morphology.

Kellert, S. R. 1996. *The value of life: Biological diversity and human society.* Washington D. C.: Island Press/Shearwater Books. The importance of biological diversity to the well-being of humanity is explored.

Kent, G. 1992. *Comparative anatomy of the vertebrates.* 7th ed. St. Louis: Mosby-Year Book, Inc. The basics of vertebrate comparative structure and function from an evolutionary perspective.

Le Guenne, B. October 1995. Emerging viruses. *Scientific American* 273(4):56. Article discusses viral disease outbreaks, particularly the deadly hemorrhagic fever viruses.

Levin, H. L. 1994. *The earth through time.* 4th ed. Philadelphia: Saunders College Publishing. Provides an in-depth study of evolutionary and geological eras and events.

Losick, R., and Kaiser, D. February 1997. Why and how bacteria communicate. *Scientific American* 276(2):68. Bacteria can send and receive chemical messages, and can organize into complex structures.

Margulis, L., et al. 1994. *The illustrated five kingdoms: A guide to the diversity of life on earth.* New York: HarperCollins College Publishers. Presents a catalog of the world's living diversity.

Mauseth, J. 1995. *Botany: An introduction to plant biology.* 2d ed. Philadelphia: Saunders College Publishing. The text emphasizes evolution and diversity in botany, as well as general principles of plant physiology and anatomy.

McClanahan, L., et al. March 1994. Frogs and toads in deserts. *Scientific American* 270(3):82. Certain amphibians reveal diverse and unusual adaptations to extreme environments.

Miller, S. A., and Harley, J. P. 1996. *Zoology: The animal kingdom.* Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers. This introductory zoology text emphasizes the interrelationships of life-forms.

Morello, J., et al. 1994. *Microbiology in patient care.* 5th ed. Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers. Provides a basic knowledge of the principles of microbiology and epidemiology.

Murawski, D. A. March 1997. Moths come to light. *National Geographic* 191(3):40. Moths display a variety of disguises and survival techniques.

Norse, E. 1993. *Global marine biological diversity.* Washington D. C.: Island Press. Introduces marine conservation.

Pechenik, J. A. 1991. *Biology of invertebrates.* 2d ed. Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers. Written for the beginning college student, this is a readable, authoritative introduction to the biology of the invertebrates.

Prescott, L., et al. 1993. *Microbiology.* 2d ed. Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers. This introductory text covers all major areas of microbiology.

Raven, P., et al. 1992. *Biology of plants.* 5th ed. New York: Worth Publishers. This book introduces viruses, bacteria, photosynthetic protoctists, fungi, and plants.

Rinderer, T. E., et al. December 1993. Africanized bees in the U. S. *Scientific American* 269(6):84. Africanized honeybees have reached the United States from points south.

Romoser, W. S., and Stoffolano, J. G., Jr. 1994. *The science of entomology.* 3d ed. Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers. Introduces entomology from both a basic and applied perspective.

Schmidt, G. D., and Roberts, L. S. 1996. *Foundations of parasitology.* 5th ed. Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers. Designed for upper-division parasitology classes, this text emphasizes the major parasites of humans and animals.

Schopf, J. W. 1992. *Major events in the history of life.* Boston: Jones and Bartlett Publishers. Summarizes crucial events shaping the earth's development and evolution over time.

Stern, K. 1994. 6th ed. *Introductory plant biology.* Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers. Presents basic botany in a clear, informative manner.

Sumich, J. L. 1996. *An introduction to the biology of marine life.* 6th ed. Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers. This introductory marine biology text covers taxonomy, evolution, ecology, behavior, and physiology of selected groups of marine organisms.

Talaro, K., and Talaro, A. 1993. *Foundations in microbiology.* Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publishers. Surveys general topics for students entering health careers.

PIELIKUMS

A Atbildes

1. nodaļa

Tests
1. D. **2.** B. **3.** B. **4** D. **5.** D. **6.** D. **7.** D. **8.** B. **9.** Dzīvībai ir sava vēsture, un ir iespējams katra indivīda vēsturi aptuveni iezīmēt. **10.** Divos dažādos kontinentos var būt līdzīga vide, tādēļ neradnieciski organismi var būt līdzīgi pielāgoti tai. **11.** Visiem mugurkaulniekiem ir kopējs sencis, tāpēc tiem ir rīkles žaunu spraugas. **12.** Ģenētiskā diferenciācija rada specializāciju un līdz ar to arī evolūciju.

Jēdzienu izpratne
A. Bioģeogrāfija. **B.** Paleontoloģija. **C.** Rudimentāra struktūra. **D.** Adaptācija. **E.** Iegūto pazīmju iedzimšana. **F.** Homologa struktūra. **G.** Dabiskā izlase. **H.** Evolūcija. **I.** Katastrofu teorija. **J.** Pielāgotība.

2. nodaļa

Tests
1. C. **2.** C. **3.** C. **4.** C. **5.** D. **6.** B. **7.** D. **8.** D. **9.** C. **10.** B. **11.** B. **12.A.** Pie katra apļa pierakstiet "populācija" un pie katras bultas – "gēnu plūsma". **12.B.** Nosvītrojiet piecas vidējās bultas tā, lai paliek divi apļi. Tikai katras sugas populācijā notiek gēnu plūsma. **13.A.** Sk. 2.8. attēlu (30. lpp.). **13.B.** Sk. 2.7. attēlu (30. lpp.). **13.C.** Sk. 2.6. attēlu (29. lpp.).
Ģenētikas papilduzdevumi
1. 16 %. **2.** 81 %. **3.** Recesīvā alēle – 0,2, dominantā alēle – 0,8, recesīvs homozigots – 0,04, dominants homozigots – 0,64, heterozigots – 0,32.

Jēdzienu izpratne
A. Stabilizējošā izlase. **B.** Pēcpopulācijas izolējošais mehānims. **C.** Gēnu dreifs. **D.** Adaptīvā radiācija. **E.** Populācija. **F.** Sugas. **G.** Hārdija–Veinberga likums. **H.** Pārtrauktā izlase. **I.** Sugu veidošanās. **J.** Gēnu plūsma.

3. nodaļa

Tests
1. D. **2.** C. **3.** B. **4.** C. **5.** B. **6.** B. **7.** B. **8.** A. **9.** A. **10.** D. **11.** C. **12.A.** Kembrija ēras sākums. **12.B.** Daudzšūnainība. **12.C.** Eikariotisku šūnu izcelšanās. **12.D.** Skābekli oksidējoša atmosfēra. **12.E.** Vecākās zināmās fosilijas. **12.F.** Zemes veidošanās.

Jēdzienu izpratne
A. Proteinoīds. **B.** Protošūna. **C.** Liposoma. **D.** Autotrofs. **E.** Vidusokeāniskā grēda. **F.** Pārtrauktais līdzsvars. **G.** Ozona apvalks. **H.** Mikrolodīte. **I.** Ķīmiskā evolūcija. **J.** Attīstības līnija.

4. nodaļa

Tests
1. A. **2.** B. **3.** D. **4.** D. **5.** D. **6.** C. **7.** B. **8.** C. **9.** B. **10.** C. **11.A.** Hordaiņi. **11.B.** Mugurkaulnieki. **11.C.** Klase. **11.D.** Kārta. **11.E.** Antropoīds. **11.F.** Hominoīds. **11.G.** Hominīds. **11.H.** Gēns. **11.I.** *Homo sapiens*.

Jēdzienu izpratne
A. Antropoīds. **B.** *Homo habilis*. **C.** Kromaņonietis. **D.** Neandertālietis. **E.** *Homo erectus*. **F.** Zīdītājs. **G.** Hominoīds.

5. nodaļa

Tests
1. B. **2.** C. **3.** A. **4.** D. **5.** C. **6.** C. **7.** C. **8.** B. **9.** D. **10.** B.

Jēdzienu izpratne
A. Dzimumizlase. **B.** Feromons. **C.** Kopējā vairošanās efektivitāte. **D.** Iegaumēšana. **E.** Uzvedības stimulēšana. **F.** Uzvedība. **G.** Mācīšanās. **H.** Sazināšanās. **I.** Altruisms. **J.** Hierarhija.

6. nodaļa

Tests
1. D. **2.** C. **3.** D. **4.** B. **5.** B. **6.** D. **7.** C. **8.** D. **9.** C. **10.** A.

Jēdzienu izpratne
A. Demokrātiskais pārejas periods. **B.** Populācija. **C.** Eksponenciālā augšana. **D.** Vides ekoloģiskā kapacitāte. **E.** Biotiskais potenciāls. **F.** Aizstājošā vairošanās. **G.** Vecuma struktūras diagramma. **H.** K tipa izlase. **I.** Vides pretestība. **J.** Līdzsvarotā pasaule.

7. nodaļa

Tests
1. B. **2.** D. **3.** C. **4.** D. **5.** B. **6.** D. **7.** C. **8.** D. **9.** C. **10.** A. **11.** D. **12.A.** Populāciju blīvumi. **12.B.** Vides gradients. Sabiedrībās ir sugas, kurām ir pastiprināta izturība pret vides faktoriem (sk. 7.2. attēlu 125. lpp.).

Jēdzienu izpratne
A. Biocenoze. **B.** Biotops. **C.** Ekoloģiskā sukcesija. **D.** Plēsonība. **E.** Koevolūcija. **F.** Simbioze. **G.** Ekoloģiskā niša. **H.** Mutuālisms. **I.** Parazītisms. **J.** Komensālisms.

8. nodaļa

Tests
1. B. **2.** A. **3.** C. **4.** C. **5.** B. **6.** D. **7.** D. **8.** C. **9.** C. **10.** A. **11.** B. **12.A.** Otrās pakāpes plēsoņas. **12.B.** Pirmās pakāpes plēsoņas. **12.C.** Augēdāji. **12.D.** Producenti. Skaitļi norāda biomasu, kāda ir katra līmeņa organismiem.

Jēdzienu izpratne
A. Ekosistēma. **B.** Bioģeoķīmiskais cikls. **C.** Barošanās tīkls. **D.** Trofiskais līmenis. **E.** Producents. **F.** Detrīts. **G.** Slāpekļa fiksācija.

9. nodaļa

Tests
1. B. **2.** D. **3.** A. **4.** C. **5.** D. **6.** D. **7.** A. **8.** C. **9.** A. **10.** A. **11.** D. **12.A.** 4 + abiem rādītājiem. **12.B.** 3 + abiem rādītājiem. **12.C.** 2 + abiem rādītājiem. **12.D.** 1 + abiem rādītājiem.

Jēdzienu izpratne
A. Estuārs. **B.** Planktons. **C.** Bioma. **D.** Bentāle. **E.** Pelagiāle. **F.** Taiga. **G.** Epifīts. **H.** Savanna. **I.** Biosfēra. **J.** Ūdens vertikālā sajaukšanās pavasarī.

10. nodaļa

Tests
1. A. **2.** D. **3.** C. **4.** B. **5.** B. **6.** C. **7.** D. **8.** C. **9.** A. **10.** C.

Jēdzienu izpratne
A. Fotoķīmiskais smogs. **B.** Ozons. **C.** Skābie lieti. **D.** Bioloģiskā uzkrāšanās. **E.** Siltumnīcas efekts.

11. nodaļa

Tests
1. A. **2.** C. **3.** D. **4.** A. **5.** C. **6.** A. **7.** D. **8.** B. **9.** B. **10.** D. **11.A.** Koks. **11.B.** Mugurkauls; amniota ola un iekšēja apaugļošanās. **11.C.** Zari; viņiem ir kopējas iegūtas pazīmes (sk. 11.A. attēlu 221. lpp.).

Jēdzienu izpratne
A. Taksonomija. **B.** Filoģenētiskais koks. **C.** Filoģenēze. **D.** Taksons. **E.** Kladisti. **F.** Sistemātika. **G.** Homoloģija. **H.** Paralēlā evolūcija. **I.** Primitīva pazīme. **J.** Sistemātika.

12. nodaļa

Tests
1. C. **2.** C. **3.** B. **4.** C. **5.** A un C. **6.** C. **7.** C. **8.** C. **9.** B. **10.** D. **11.A.** Piestiprināšanās. **11.B.** Bakteriālā hromosoma. **11.C.** Iespiešanās. **11.D.** Integrēšanās. **11.E.** Profāgs. **11.F.** Nobriešana. **11.G.** Atbrīvošana (sk. 11.3. attēlu 229. lpp.).

Jēdzienu izpratne
A. Lizogēnais cikls. **B.** Vīruss. **C.** Lītiskais cikls. **D.** Saprotrofs. **E.** Ciānbaktērija. **F.** Arheji.

13. nodaļa

Tests
1. B. **2.** B. **3.** D. **4.** B. **5.** B. **6.** D. **7.** C. **8.** D. **9.** B. **10. A.** Dzimumvairošanās. **10.B.** Izogametu pārošanās. **10.C.** Zigota (2n). **10.D.** Zigospora (2n). **10.E.** Bezdzimumvairošanās. **10.F.** Zoosporas (n). **10.G.** Kodols. **10.H.** Hloroplasts. **10.I.** Pirenoīds. **10.J.** Cietes graudiņš. **10.K.** Vica. **10.L.** Acs laukums. **10.M.** Gametu veidošanās (sk. 13.1. attēlu 240. lpp.). **11.** Bezdzimumvairošanās; neveidojas gametas, nenotiek ģenētiskā rekombinācija, piedalās viens īpatnis. Dzimumvairošanās; veidojas gametas, notiek ģenētiskā rekombinācija, piedalās divi īpatņi.

Jēdzienu izpratne
A. Aļģe. **B.** Spora. **C.** Māņkājiņa. **D.** Eiglēna. **F.** Planktons. **F.** Bruņvicainis. **G.** Tripanosoma. **H.** Zooplanktons. **I.** Sakņkājis. **J.** Konjugācija.

14. nodaļa

Tests
1. B. **2.** C. **3.** B. **4.** A. **5.** C. **6.** A. **7.** D. **8.** D. **9.** D. **10.** D. **11.A.** Mejoze. **11.B.** Bazīdijsporas. **11.C.** Dikariotisks micēlijs. **11.D.** Augļķermenis bazidiokarps). **11.E.** Stobriņš. **11.F.** Lapiņa. **11.H.** Dikariotisks (n + n). **11.I.** Diploīds (2n). **11.J.** Zigota (sk. 14.6. attēlu 264. lpp.).

Jēdzienu izpratne
A. Sporangijs. **B.** Bazīdija. **C.** Hifa. **D.** Micēlijs. **E.** Sēne. **F.** Konīdijspora. **G.** Augļķermenis. **H.** Ķērpis. **I.** Mikoriza.

15. nodaļa

Tests
1. D. **2.** C. **3.** C. **4.** C. **5.** D. **6.** B. **7.** B. **8.** B. **9.** D. **10.A.** Sporofīts (2n). **10.B.** Mejoze. **10.C.** Gametofīts (n). **10.D.** Apaugļošanās (sk. 15.B. attēlu 287. lpp.).

Jēdzienu izpratne
A. Saprofīts. **B.** Viendīgļlapis. **C.** Divdīgļlapis. **D.** Gametofīts. **E.** Puteksnis. **F.** Skujkoki. **G.** Lakstaugs. **H.** Rizoīds. **I.** Lūksne jeb floēma. **J.** Koksne jeb ksilēma.

16. nodaļa

Tests
1. D. **2.** C. **3.** D. **4.** D. **5.** B. **6.** D. **7.** A. **8.A.** Zarnas dobums. **8.B.** Taustekļi. **8.C.** Mute. **8.D.** Mezogleja. **9.A.** Zarndobumaiņi. **9.B.** Veltņtārpi. **9.C.** Zarndobumaiņi. **9.D.** Veltņtārpi. **10.A.** Plakantārpi. **10.B.** Planārija. **10.C.** Sūklis. **10.D.** Hidra.

Jēdzienu izpratne
A. Gremošanas dobums. **B.** Celoms. **C.** Paragastrālais dobums. **D.** Divpusējā simetrija. **E.** Cauruļveida ķermeņa modelis. **F.** Hermafrodīts.

17. nodaļa

Tests
1. B. **2.** D. **3.** B. **4.** C. **5.** C. **6.** A. **7.** D. **8.** C. **9.** A. **10.A.** Visi trīs. **10.B.** Posmtārpi, posmkāji. **10.C.–10.F.** Visi trīs. **10.G.** Posmkāji. **10.H.** Gliemji. **11.A.** Sliekas. **11.B.–11.D.** Gliemenes. **11.E.–11.F.** Sliekas. **11.G.–11.H.** Gliemenes. **11.I.–11.J.** Sliekas. **12.A.** Galva. **12.B.** Antena. **12.C.** Vienkāršā acs. **12.D.** Saliktā acs. **12.E.** Krūtis. **12.F.** Timpanālais orgāns. **12.G.** Vēders. **12.H.** Priekšspārni. **12.I.** Pakaļspārni. **12.J.** Dējeklis. **12.K.** Elpatveres. **12.L.** Gaisa maiss. **12.M.** Elpatvere. **12.N.** Traheja (sk. 17.14. attēlu A 327. lpp.).

Jēdzienu izpratne
A. Traheja. **B.** Malpīgija vadi. **C.** Drostalošanās. **D.** Metamorfoze. **E.** Novilkšanās. **F.** Eksoskelets. **G.** Posmojums. **H.** Hefrīdijs. **I.** Hitīns.

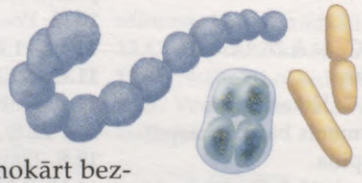
18. nodaļa

Tests
1. B. **2.** B. **3.** D. **4.** A. **5.** B. **6.** D. **7.** A. **8.** C. **9.** D. **10.** B. **11.A.** Rīkles žaunu spraugas. **11.B.** Mugurējā dobā nervu stiegra. **11.C.** Notohorda. **11.D.** Aste (sk. attēlu 334. lpp.).

Jēdzienu izpratne
A. Amniotu ola. **B.** Siltasiņu dzīvnieki. **C.** Kloākaiņi. **D.** Somaiņi. **E.** Aukstasiņu dzīvnieki. **F.** Abinieki. **G.** Rāpuļi. **H.** Zīdītāji. **I.** Placentāļi zīdītāji. **J.** Adatādaiņi.

PIELIKUMS

B Piecas valstis klasifikācijas sistēmā



Valsts. Monēri (*Monera*)

Prokarioti, vienšūnas organismi; heterotrofi, kas absorbē, autotrofi, kas hemosintezē vai fotosintezē; galvenokārt bezdzimumvairošanās daloties, bet ģenētiskās informācijas apmaiņa notiek konjugācijas, transformācijas ceļā; kustīgie pārvietojas ar vicām.

Grupas:

Aquificales – īpaši termofilas baktērijas. *Aquifex, Hydrogenobacter.*

Thermotogales – īpaši termofilas baktērijas; šūnas parasti ietver maksts (toga). *Thermotoga, Thermosipho.*

Zaļās bezsēra baktērijas – galvenokārt fotosintezējošas baktērijas; dažas termofilas. *Chloroflexus, Herpetosiphon, Thermomicrobium.*

Deinococci – baktērijas, kurām ir netipisks peptoglikāna šūnapvalks; daļa ir grampozitīvas, daļa – gramnegatīvas termofilas. *Deinococcus, Thermus.*

Purpurbaktērijas – gramnegatīvas baktērijas; daļa – fototrofas, daļa – hemotrofas. *Nitrobacter, Escherichia, Salmonella, Shigella, Enterobacter, Pseudomonas, Rhizobium, Legionella, Rhodobacter.*

Grampozitīvas baktērijas – endosporas veidojošas baktērijas, laktoskābes baktērijas, anaerobi un aerobi koki, mikoplazmas, pavedienveida aktinomicētes. *Staphylococcus, Clostridium, Bacillus, Mycoplasma, Mycobacterium, Streptomyces, Actinomyces.*

Ciānbaktērijas – fototrofas un skābekli veidojošas baktērijas. *Nostoc, Anabaena, Oscillatoria.*

Hlamīdijas – šūnapvalkā nav peptidoglikāna; obligāti iekššūnu parazīti. *Chlamydia.*

Planctomycetes – gramnegatīvas baktērijas, kas dalās pumpurojoties. *Planctomyces.*

Bakteroīdi un to radinieki – gramnegatīvas baktērijas; daļa – fermentatīvi anaerobas; daļa – elpojošas aerobas. *Bacteroides, Fusobacterium, Cytophaga, Flavobacterium.*

Zaļās sēra baktērijas – fototrofas. *Chlorobium.*

Spirohetes – gramnegatīvas izliektas vai spirālveida baktērijas. *Spirochaeta, Borrelia, Treponema, Leptospira.*



Valsts. Protisti (*Protista*)

Eikariotiski vienšūnas mikroorganismi un to daudzšūnu pēcteči; bezdzimumvairošanās un dzimumvairošanās; vicas un skropstiņas ar 9+2 mikrocaurulītēm. Aļģes ar kodolu, vienšūņi, gļotsēnes un aļģes.

Nodalījums. Zaļaļģes (*Chlorophyta*) – galvenokārt saldūdeņos, vienšūnas koloniālas un daudzšūnu aļģes; satur hlorofilu a un b, ciete uzkrājas hloroplastos. Ir šūnapvalks, daļai ir vicas. *Chlamydomonas, Spirogyra, Oedogonim, Ulva.* 7000 sugu.

Nodalījums. Brūnaļģes (*Phaeophyta*) – gandrīz visas sastopamas jūrās, parasti daudzšūnu; daudz klinšainās piekrastēs; satur hlorofilu a un c. *Fucus, Laminaria, Nereocystis, Sargassum.* 1500 sugu.

Nodalījums. Zeltainās aļģes (*Chrysophyta*) – jūras un saldūdens aļģes, galvenokārt vienšūnas; satur hlorofilu a un c. Daļai šūnapvalkā ir silīcijs. 11 000 sugu.

Nodalījums. Bruņvicaiņi (*Dinoflagella*) – sastopamas galvenokārt jūrās, vienšūnas; satur hlorofilu a un c. Ieskauj aizsargājošas celulozes plātnītes. Divas nevienāda garuma vicas atrodas šķērsrievās. Daudzas ir simbiotiskas. 1000 sugu.

Nodalījums. Eiglēnaļģes (*Euglenophyta*) – galvenokārt saldūdeņos, vienšūnas; parasti satur hlorofilu a un b; nav šūnapvalka; divas vicas. 1000 sugu.

Nodalījums. Sārtaļģes (*Rhodophyta*) – galvenokārt jūrās, daudzšūnu; satur hlorofilu a un fikobilīnu, tāpat kā ciānbaktērijas. 4000 sugu.

Tips. Sakņkāji (*Sarcodina*) – saldūdeņos un jūrās dzīvojoši vienšūņi, barojas heterotrofi, pārvietojas ar māņkājiņām, nav šūnapvalku, bet jūrās dzīvojošiem ir čaula; bezdzimumvairošanās. *Amoeba proteus, Entamoeba histolytica.* 40 000 sugu.

Tips. Skropstaiņu (*Ciliophora*) – saldūdens vienšūņi, kas barojas heterotrofi; pārvietojas ar skropstiņām; nav šūnapvalka, bet ir elastīga pelikula; bezdzimumvairošanās un sarežģīta dzimumvairošanās – konjugācija. *Paramecium, Stentor, Vorticella.* 8000 sugu.

Tips. Zoovicaiņi (*Zoomastigophora*) – heterotrofi saldūdens vai parazītiski vieņšūņi, kas barojas absorbējot; pārvietojas ar vicām. Bezdzimumvairošanās. *Giardia, Trichomonas, Trypanosoma.*

Tips. Sporaiņi (*Sporozoa*) – heterotrofi vienšūņi, kas barību absorbē; nekustīgi – sporas veidojoši dzīvnieku parazīti; sarežģīti dzīves cikli. *Plasmodium, Pneumocystis, Toxoplasma.* 3600 sugu.

Nodalījums. Gļotsēnes (*Gymnomycota*) – atsevišķas amēbveida šūnas vai daudzkodolu masa; heterotrofa barošanās; nekustīgas sporas ar izturīgu šūnapvalku un kustīgas šūnas ar elastīgu šūnapvalku. 560 sugu.

Tips. Aļģsēnes (*Oomycota*) – pavedienveida šūnas ar celulozes šūnapvalku; saprofīti vai parazīti, kas barojas heterotrofi; bezdzimumvairošanās laikā veidojas zoosporas; dzimumvairošanās ir oogāmija. 580 sugu.

Valsts. Sēnes (*Fungi*)



Daudzšūnu eikarioti; heterotrofi organismi, kas absorbē; nav vicu; gan bezdzimumvairošanās, gan dzimumvairošanās ceļā veidojas nekustīgas sporas.

Nodalījums. Zigomicētes (*Zygomycota*) – hifās nav šķērssienu; bezdzimumvairošanās laikā veidojas sporangijsporas; dzimumvairošanās procesā iesaistās zigosporas ar biezu šūnapvalku. Pelējumsēnes (*Rhizopus*). 600 sugu.

Nodalījums. Askomicētes (*Ascomycota*) – hifām ir šķērssienas; dzimumvairošanās notiek ar konīdijsporām; dzimumvairošanās procesā iesaistās dikariotiskas hifas un notiek asku sporu veidošanās askos. Raugi (*Saccharomyces*), pelējumi (*Neurospora*), lāčpurni, cepurīšsēnes, trifeles; augu parazīti; miltrasa, melnie graudi. 30 000 sugu.

Nodalījums. Bazīdijsēnes (*Basidiomycota*) – hifām ir šķērssienas; bezdzimumvairošanās notiek ar konīdijsporām; dzimumvairošanās laikā veidojas ilgi pastāvošs dikariotisks micēlijs un bazīdijās veidojas bazīdijsporas.

Nodalījums. Nepilnīgi pazīstamās sēnes (*Deuteromycota*) – hifām ir šķērssienas; bezdzimumvairošanās notiek ar konīdijsporām; dzimumvairošanās process nav zināms. 25 000 sugu.

Valsts. Augi (*Plantae*)



Daudzšūnu eikarioti ar labi attīstītiem audiem; autotrofi fotosintezētāji; dzīves ciklā ir paaudžu maiņa. Līdzīgi zaļaļģēm, satur hlorofilu a un hlorofilu b, kā arī karotinoīdus; hloroplastos uzkrāj cieti; šūnapvalks satur celulozi.

Nodalījums. Aknu sūnas (*Hepatophyta*) – dažām ir lapas, dažām – laponis, kas ložņā pa substrātu. Dominantā paaudze ir gametofīts, bet sporofīts ir atkarīgs no tā; sastopamas galvenokārt mitrās un ēnainās vietās. 10 000 sugu.

Nodalījums. Lapu sūnas (*Bryophyta*) – ir stumbram, lapām un saknei līdzīgas struktūras; dominē gametofīts, bet sporofīts ir no tā atkarīgs; galvenokārt mitrās un ēnainās vietās. 12 000 sugu.

Nodalījums. Ragvācelītes (*Anthocerotophyta*) – lapoņaugi ar zaļu gametofītu; uz gametofīta virsmas ir fotosintezējošs sporofīts; gametofīts dominē, un sporofīts ir no tā atkarīgs. Galvenokārt mitrās un ēnainās vietās. 100 sugu.

Nodalījums. Psilofīti (*Psilotophyta*) – ir sakneņi un taisni, zaroti stumbri; nav sakņu un lapu; stumbra galotnē ir sporangiji; aug tropos un subtropos. Dažas sugas.

Nodalījums. Staipekņi (*Lycopodophyta*) – ir sakneņi un augšup vērsti zari, kā arī saknes; zvīņveida lapas; sporangiji veidojas galvenokārt galotnēs; sastopami galvenokārt tropu un subtropu joslā, kā arī mērenajā joslā līdz Arktikai. 1000 sugu.

Nodalījums. Kosas (*Equisetophyta*) – ir horizontāli pazemes sakneņi; posmaini stumbri un zvīņveida lapas; sporangiji veidojas galotnēs; sastopamas mitrās vietās. 30 sugu.

Nodalījums. Papardes (*Pteridophyta*) – labi attīstītas, dziļi izgrieztas lapas; sporas attīstās sporangijos; izplatītas mitrās, ēnainās vietās. 12 000 sugu.

Nodalījums. Skujkoki (*Pinophyta*) – kokaugi ar resnu stumbru un adatveida vai zvīņveida mūžzaļām lapām (daži ir krūmi); vairošanās orgāni ir vīrišķie (putekšņu) un sievišķie (sēklu) čiekuri; plaši izplatīti. Skujkoki: priedes, ciedri, cipreses; kadiķi, egles. 550 sugu.

Nodalījums. Cikadejas (*Cycadophyta*) – resns, koksnains stumbrs; lielas lapas, kas atgādina palmu lapas; masīvi sievišķie un vīrišķie čiekuri; aug galvenokārt tropos un subtropos. 100 sugu.

Nodalījums. Ginki (*Ginkgophyta*) – kokaugi ar gariem sānzariem; maigas, vēdekļveida lapas; mikrosporangiji ir čiekuros; kailās olšūnas ir grupās; parkos un dārzos; tikai viena mūsdienu suga.

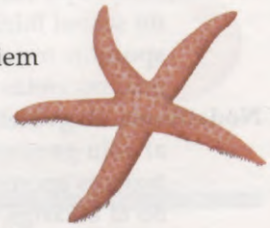
Nodalījums. Gneti (*Gnetophyta*) – koki un liānas ar lielām, ādainām lapām; sastopami mitros, tropiskos apgabalos. Efedras ir ļoti zaroti krūmi ar mazām, zvīņveida lapām; velvīcijām ir masīvs, koksnains, diskveida stumbrs ar lentveida lapām; aug tuksnešos. 70 sugu.

Nodalījums. Ziedaugi (*Magnoliophyta*) – koki, krūmi un lakstaugi; vairumam ir platas lapas; lakstaugi ir viengadīgi un daudzgadīgi; vairošanās orgāni ir ziedā; putekšņus pārnēsā kukaiņi; ir divkāršā apaugļošanās; sēklas ir auglī; plaši izplatīti; daļa aug ūdenī.

Klase. Viendīgļlapji (*Liliopsida*) – zieda daļas ir trīs vai skaitā, kas dalās ar trīs; lapām paralēls dzīslojums; viena dīgļlapa. Graudzāles, lilijas, ananasi. 65 000 sugu.

Klase. Divdīgļlapji (*Magnoliopsida*) – zieda daļas ir četras vai piecas, vai skaitā, kas dalās ar šiem skaitļiem; lapām ir tīklveida dzīslojums; divas dīgļlapas. Vairums ziedošu lakstaugu, krūmi, koki. 170 000 sugu.

Valsts. Dzīvnieki (*Animalia*)



Daudzšūnu organismi ar labi attīstītiem audiem; parasti – kustīgi; heterotrofa barošanās; barību sagremo galvenokārt gremošanas dobumā; diploidāls dzīves cikls.

Tips. Sūkļi (*Porifera*) – daudzšūnu organismi, kuriem ir daudzas poras, kas uzņem ūdeni. Tas vēlāk tiek izvadīts laukā pa vienu atveri. Iekšējais skelets ir no adatām (spīkulām); gremošana notiek apkakles šūnās (hoanocītos); raksturīga reģenerācija; dzīvo galvenokārt jūrās. 5000 sugu.

Tips. Zarndobumaiņi (*Cnidaria*) – radiāli simetriski dzīvnieki, kuri sastāv no divām šūnu kārtām; gremošanas dobumam ir tikai viena atvere; ir dzeļšūnas; raksturīga reģenerācija; visi ir ūdensdzīvnieki; vairums sastopami jūrā. 9000 sugu.

Klase. Kubiskās medūzas (*Cubozoa*) – kvadrātveida medūzas ar indīgu dzēlienu.

Klase. Koraļļi (*Anthozoa*) – polipi, kam nav medūzas paaudzes.

Klase. Hidrozoji (*Hydrozoa*) – polips ir dominantā paaudze; bieži – koloniāli dzīvnieki, kas attīstās ar paaudžu maiņu.

Klase. Scifozoji (*Scyphozoa*) – dominanta ir medūzas forma.

Tips. Ktenofori (*Ctenophora*) – brīvi peldoši; bieži – gandrīz lodveida dzīvnieki; caurspīdīgi, dažkārt bioluminiscenti; radiāli simetriski ar diviem gariem taustekļiem. 90 sugu.

Tips. Plakantārpi (*Plathelminthes*) – bilateriāli simetriski dzīvnieki ar trijiem šūnu slāņiem; gremošanas dobumam ir tikai viena atvere; izvadorgāni ir mirgojošās šūnas; sarežģīta, hermafrodītiska vairošanās sistēma; iespējama reģenerācija. 13 000 sugu.

Klase. Skropstiņtārpi (*Turbellaria*) – plēsīgi skropstiņtārpi ar acīm.

Klase. Sūcējtārpi (*Trematoda*) – parazīti ar mutes un vēdera piesūcekņiem; ir gremošanas dobums.

Klase. Lenteņi (*Cestoda*) – parazīti, kuriem ir piesūcekņi un āķi; ķermenim ir posmi (proglotīdi); nav gremošanas sistēmas.

Tips. Nemertīntārpi (*Nemertini*) – parasti jūras tārpi ar filtrēšanas aparātu; nav celoma; sarežģīta gremošanas sistēma. 650 sugu.

Tips. Veltņtārpi (*Nemathelminthes*) – neposmoti tārpi ar labi attīstītām mutes daļām; pseidoceloms un cauruļveida ķermenis; brīvi dzīvojoši un parazītiski tārpi. 50 000 sugu.

Tips. Virpotāji (*Rotifera*) – mikroskopiski dzīvnieki ar pseidocelomu un tārpveida vai apaļu ķermeni; uz galvas skropstiņu gredzens, kas griežas uz riņķi. 2000 sugu.

Tips. Gliemji (*Mollusca*) – ķermenim ir pēda un mantija; bieži ir arī rīvīte (radula) un čaula; celoms ir reducēts. 110 000 sugu.

Klase. Bruņgliemeži (*Polyplacophora*) – ķermenis saplacināts muguras-vēdera virzienā; čaula sastāv no astoņām muguras plātnēm; grauž jūras augus.

Klase. Gliemenes (*Bivalvia*) – ķermenis ir ieslēgts divdaļīgā čaulā; nav galvas un rīvītes; ķīļveida kāja; filtrētāji, kas dzīvo jūrā un saldūdenī.

Klase. Galvkāji (*Cephalopoda*) – dzīvnieki, kuriem virs galvas ir taustekļi; čaula var būt reducēta vai vispār nebūt; slēgta asinsrites sistēma; labi attīstītas galvas smadzenes un nervu sistēma; aktīvi jūras plēsoņas.

Klase. Vēderkāji (*Gastropoda*) – ja ir čaula, tā ir konusveida; ķermeņa simetriju nosaka čaulas vijumi; pie galvas ir taustekļi; grauž augus un dzīvo jūrā, saldūdeņos un uz sauszemes.

Tips. Posmtārpi (*Annelida*) – posmaini tārpi ar garu, cilindrisku, mīkstu ķermeni; celomam ir iekšējas šķērssienas; nervu sistēmai ir galvas smadzenes un vēdera nervu ķēdīte; slēgta asinsrite. 12 000 sugu.

Klase. Daudzsartārpi (*Polychaeta*) – jūras tārpi ar labi attīstītām galvas smadzenēm; parapodijas ar sariņu pušķiem.

Klase. Mazsartārpi (*Oligochaeta*) – mazi sariņi un nav parapodiju; augsnē dzīvojošajiem tārpiem nevar izšķirt galvu.

Klase. Dēles (*Hirudinea*) – ektoparazīti un atkritumu ēdāji; ar priekšējo un aizmugurējo piesūcekni; nav parapodiju un sariņu.

Tips. Onihofori (*Onychophora*) – spīdīgi zaļi, zili brūni, oranži vai balti tārpi, kuriem ir no 14 līdz 40 pāriem dobu, neposmotu kāju; hidrostatisks skelets. Ir gan posmtārpu, gan posmkāju pazīmes. Vairāk vai mazāk cilindriskajam ķermenim ir ārēja segmentācija. No celoma ir pāri palikuši tikai dzimumvadi un sīki maisveida nefrīdiji. Vaļējā asinsrites sistēma nepārnēsā skābekli, un traheju sistēma ir atšķirīga no kukaiņu traheju sistēmas. 70 sugu.

Tips. Posmkāji (*Arthropoda*) – hitīna apvalks un posmainas kājas, kas veic specifiskas funkcijas; labi attīstīta centrālā nervu sistēma ar galvas smadzenēm un pāra vēdera nervu ķēdītēm; reducēts celoms; hemocels. 1 miljons sugu.

Apakštips. Trilobīti (*Trilobitomorpha*) – ķermenim ir trīs daļas – galva, krūtis un vēders; daudzas divzarainas kājas; izmiruši.

Apakštips. Helicerāti (*Chelicerata*) – ir heliceras, pedipalpas un četri ejkāju pāri, kas piestiprināti pie galvkrūtīm; nav antenu, mandibulu un maksilu.

Apakštips. Žaunaiņi (*Brachiata*). Klase. Vēži (*Crustacea*) – saliktas acis un pieci pāri ejkāju; uz galvas ir antenas, antenulas, mandibulas un maksilas; pie krūtīm un vēdera ir divzarotas kājas.

Apakštips. Traheāti (*Tracheata vai Uniramia*) – vienzarainas kājas; viens pāris antenu un mandibulu, viens vai divi pāri maksilu; ir trahejas.

Tips. Adatādaiņi (*Echinodermata*) – radiāli simetriski jūras dzīvnieki; endoskeletu veido plātnes, kurās ir adatas; ir ambulakrālās kājas. 6000 sugu.

Klase. Jūraslilijas (*Crinoidea*) – filtrētāji ar spalvām līdzīgiem taustekļiem. 600 sugu.

Klase. Jūraszvaigznes (*Asteroidea*) – no centrālā diska atiet pieci stari; pārvietojas ar ambulakrālajām kājām. 1500 sugu.

Klase. Čūskastes (*Ophiuroidea*) – no centrālā diska atiet slaidi, gari, ļoti kustīgi un parasti – adataini stari. 2000 sugu.

Klase. Jūraseži (*Echinoidea*) – nav staru; adatas izmanto kustībām, aizsardzībai un tāpēc, lai ieraktos. 950 sugu.

Klase. Jūrasgurķi (*Holothuroidea*) – dzīvnieki ar garu, ādainu ķermeni, kam pie mutes ir taustekļi. 1500 sugu.

Tips. Pushordaiņi (*Hemichordata*) – ķermenim ir snuķis, apkakle un viduklis; rīklē ir žaunu spraugas; apkaklē un viduklī ir nervu stiegra. 90 sugu.

Tips. Hordaiņi (*Chordata*) – rīkles žaunu spraugas; doba muguras nervu caurule; nothorda; aste. 45 000 sugu.

Apakštips. Tunikāti (*Urochordata*) – kāpuri ir brīvi peldoši; viņiem ir trīs hordaiņu pazīmes; pieaugušie dzīvnieki ir filtrētāji ar daudzām žaunu spraugām. 1250 sugu.

Apakštips. Bezgalvaskausaiņi (*Cephalochordata*) – jūras dzīvnieki ar zivīm līdzīgu ķermeni un trīs hordaiņu pazīmēm pieaugušiem dzīvniekiem. 23 sugas.

Apakštips. Mugurkaulnieki (*Vertebrata*) – notohordu aizstāj mugurkauls, kas aizsargā nervu cauruli; ir galvaskauss, kas aizsargā galvas smadzenes; pāra kājas. 43 700 sugu.

Nodalījums. Bezžokļaiņi (*Agnatha*) – jūras un saldūdens dzīvnieki, kuriem nav žokļu un pāra kāju; skrimšļa skelets; notohorda. 63 sugas.

Nodalījums. Žokļaiņi (*Gnathostomata*) – žokļi ar zobiem, pāra kājas. 25 000 sugu.

Klase. Skrimšļzivis (*Chondrichthyes*) – jūras zivis ar skrimšļa skeletu, kam nav žaunu vāku un peldpūšļa; astes spura parasti asimetriska. 850 sugu.

Klase. Kaulzivis (*Osteichthyes*) – jūras vai saldūdens zivis ar kaula skeletu, peldpūsli vai plaušām; astes spura parasti simetriska. Starspurzivis un daivspurzivis. 20 000 sugu.

Klase. Abinieki (*Amphibia*) – četrkāji, kuriem āda nav zvīņaina; attīstās ar metamorfozi; trīskameru sirds; aukstasiņu dzīvnieki. Astainie, bezastainie un bezkāju abinieki. 3900 sugu.

Klase. Rāpuļi (*Reptilia*) – četrkāji ar zvīņainu ādu; aukstasiņu dzīvnieki. Zvīņrāpuļi, bruņurupuči, krokodili. 6000 sugu.

Klase. Putni (*Aves*) – ir divas kājas un spārnu pāris; klāti ar spalvām; divi asinsrites loki; siltasiņu dzīvnieki. Peldputni un neognati. 9000 sugu.

Klase. Zīdītāji (*Mammalia*) – četrkāji, kuru ķermeni sedz mati; ir piena dziedzeri; divi asinsrites loki; siltasiņu dzīvnieki; diferencēti zobi. Kloākaiņi, somaiņi un placentāļi. 4500 sugu.

Vārdnīca

A

Abinieks (gr. *amphibios* – dzīvojošs gan uz sauszemes, gan ūdenī) – sauszemes mugurkaulnieku klases pārstāvis. Pie šīs klases pieder vardes, krupji, tritoni un salamandras. Vairošanās periodā šie dzīvnieki joprojām ir saistīti ar ūdeni. 340. lpp.

Adaptācija (pielāgošanās) (lat. *ad* – pret un *aptus* – noderīgs) – organisma uzbūves, funkciju vai uzvedības pārmaiņas, kas ir noderīgas konkrētā vidē. 13. lpp.

Adaptīvā radiācija – daudzu sugu rašanās evolūcijas procesā no kopīga senča. 35. lpp.

Adatādaiņi (gr. *echinos* – adatains un *derma* – āda) – bezmugurkaulnieku tips, pie kura pieder jūraseži, jūraszvaigznes un jūrasgurķi. 332. lpp.

Aizvietojošā vairošanās – vairošanās, kad katrs populācijas pārstāvis atstāj aiz sevis tikai vienu pēcnācēju. 118. lpp.

Alopātiskā sugu izcelšanās (gr. *allo* – dažāds un *patri* – tēvzeme) – jaunu sugu veidošanās ģeogrāfiski nošķirtās populācijās. 34. lpp.

Altruisms (lat. *alter* – citiem) – uzvedības forma, sociālā mijiedarbība, kura var samazināt tajā iesaistītā pārstāvja piemērotību. 96. lpp.

Aļģe (lat. *alga* – jūraszāle) – augiem līdzīgs organisms, kurā notiek fotosintēze un kurš dzīvo ūdenī un pieder pie protistu valsts. 242. lpp.

Amēba – vienšūnis, kas pārvietojas un ieskauj barību, izmantojot māņkājiņas (pseidopodijas); tas veic amēbveida kustības. 248. lpp.

Amniotu ola – ola, kurai ir amnijs, kā tas ir vērojams rāpuļu, putnu un dažu zīdītāju attīstībā. 342. lpp.

Analoga struktūra – struktūra, kas ir atšķirīga pēc uzbūves un izcelšanās, nav radniecīga, bet tomēr veic līdzīgas funkcijas. 215. lpp.

Androgēns (gr. *andros* – vīrišķs un lat. *genitus* – veidojošs) – vīrišķais dzimumhormons. Androgēns ir testosterons. 215. lpp.

Anterīdiji (gr. *anthos* – zieds un *idion* – sīks) – vīrišķie augu vairošanās orgāni, kuros veidojas vīrišķās dzimumšūnas ar vicām. Tie ir augiem, kuriem nav vadaudu, un arī dažiem augiem, kuriem ir vadaudi. 274. lpp.

Antibiotika – viela, kas spēj nonāvēt infekcijas izraisītājus mikroorganismus vai aizkavēt to augšanu. To iegūst no mikroorganismiem vai arī mākslīgi. 235. lpp.

Antropoīdi (gr. *anthropos* – cilvēks un *eides* – līdzīgs) – primātu grupa, pie kuras pieder pērtiķi un cilvēki. 69. lpp.

Apkaklvicaiņi (gr. *dinos* – virpuļojošs un lat. *flagello* – rīkste) – vienšūnas aļģes ar divām vicām; viena ir pātagveidīga un otra atrodas starp divām celulozes aizsargplāksnēm, kuras periodiski izdala jūras ūdenī indīgas vielas. 246. lpp.

Ārējais skelets (eksoskelets) (gr. *ex* – ārpus un *skeleton* – izkaltis ķermenis) – aizsargskelets, kas klāj, piemēram, posmkājus. 321. lpp.

Arheji (*Arcaea*) – viena no trim dzīvības formām, kas spēj eksistēt ekstremālos apstākļos; prokariotiskas šūnas, kurām ir unikālas ģenētiskās, bioķīmiskās un fizioloģiskās īpašības. 220., 237. lpp.

Asimetrija – tāda organisma uzbūve, kurai nav noteiktas simetrijas. 294. lpp.

Asks (aski) (gr. *askos* – soma, maiss) – asku sēnes pirkstveida maisiņš, kurā notiek kodolu saplūšana, mejoze un asku sporu veidošanās dzimumvairošanās laikā. 263. lpp.

Atbalstošā vide – tāda vide, kurā var dzīvot bezgalīgi ilgi, jo visas cilvēku ekonomiskās vajadzības spēj nodrošināt vide. 119. lpp.

Atjaunojamie enerģijas resursi – enerģijas resursi, kas var eksistēt nosacīti bezgalīgi, jo tie diezgan strauji atjaunojas dabisko procesu rezultātā. Piemēri ir saules enerģija, krītoša ūdens enerģija, ģeotermiskā enerģija. 191. lpp.

Augēdājs – primārais patērētājs (konsuments) barības ķēdē; dzīvnieks, kas pārtiek no augiem. 147. lpp.

Augi (*Plantae*) – valsts, kurā ir daudzšūnu eikarioti, kas paši sev veido barības vielas. 220., 272. lpp.

Auglenīca (lat. *pistillum* – nūjiņveida piesta) – zieda daļa, kas sastāv no vienas vai vairākām augļlapām. 286. lpp.

Augļlapa (gr. *karpos* – auglis) – ziedauga zieda auglenīcas sastāvdaļa, kurai ir trīs daļas: drīksna, irbulis un sēklotne. 147. lpp.

Auksīns (gr. *auximos* – augšanu veicinošs) – augu hormons, kas regulē augšanu, īpaši šūnu izstiepšanos. To sauc arī par indoletiķskābi. 55. lpp.

Australopiteks (lat. *australis* – dienvidu, *pithecus* – pērtiķi un *ramus* – zars) – *Australopithecus* ģints pārstāvis. Tā ir ģints, kurā ietilpst hominīdi – pirmās cilvēkveidīgās būtnes. 73. lpp.

Autotrofs (gr. *autos* – pats un *trophe* – barība) – organisms, kas spēj veidot organiskās vielas no neorganiskām vielām. 45. lpp.

B

Baktērija – viena no dzīvības formām; prokaristiska šūna, kas atšķiras no arhejiem ar savām unikālajām ģenētiskajām, bioķīmiskajām un fizioloģiskajām īpašībām. 220. lpp.

Bakteriofāgs (gr. *bacterion* – nūja un *phagein* – ēst) – vīruss, kas inficē baktērijas. 228. lpp.

Barošanās tīkls – barošanās attiecības, kuru pamatā ir autotrofi organismi (producenti) un kurās iesaistās virkne heterotrofu organismu (konsumentu) un visbeidzot augstākās pakāpes plēsoņas. 151. lpp.

Bazīdija (bazīdijas) (gr. *basis* – novietots uz pjedestāla) – bazīdijsēnes vālīšveida struktūra, kurā notiek kodolu saplūšana, mejoze un bazīdijsporu veidošanās dzimumvairošanās laikā. 265. lpp.

Bentoss (gr. *benthos* – dziļums) – okeāna (arī citu ūdenstilpju) dibenā mītošie organismi. 274. lpp.

Binārā (divkāršā) nomenklatūra – divu vārdu piešķiršana katram organismam, no kuriem pirmais norāda sugas nosaukumu, bet otrais – ģints nosaukumu. Latīniski ir otrādi – pirmais norāda sugas nosaukumu, bet otrais – ģints nosaukumu. 210. lpp.

Bioģeogrāfija (gr. *bios* – dzīve, *geo* – zeme un *grapho* – rakstīšana) – mācība par dzīvo organismu ģeogrāfisko izplatību. 8. lpp.

Bioģeoķīmiskie cikli – elementu, piemēram, oglekļa un slāpekļa, nepārtraukts riņķojums vidē un dzīvajās sistēmās. 152. lpp.

Bioloģiskā uzkrāšanās – process, kurā vielas kļūst aizvien koncentrētākas, nonākot barības ķēdes augstākā – trofiskā līmenī. 198. lpp.

Bioms – liela sauszemes platība, kurai raksturīgi noteikti klimatiskie apstākļi un augu veidi. 167. lpp.

Biosfēra (gr. *bios* – dzīve un lat. *sphera* – lode, sfēra) – gaiss, sauszeme un ūdens pie Zemes virsmas, kur sastopami dzīvie organismi. 102., 146., 162. lpp.

Biotiskais potenciāls – maksimālais populācijas palielināšanās ātrums ideālos apstākļos. 105. lpp.

C

Cefalizācija (gr. *kephale* – galva) – izveidojusies izteikta galva, kurā ir smadzenes – koncentrēti nervi un sajūtu receptori. 302. lpp.
Celoms (gr. *koiloma* – dobums) – ķermeņa dobums, kas atrodas starp gremošanas traktu un ķermeņa sienu; to izklāj mezoderma. 294., 312. lpp.
Ciānbaktērijas (gr. *kyanos* – zils un *bacterion* – nūjiņa) – fotosintezējošas baktērijas, kas satur hlorofilu un izdala skābekli; agrāk tās sauca par zilaļģēm. 235. lpp.
Cikadeja – sēklaugs ar palmai līdzīgām lapām un lieliem čiekuriem. Sastopams tropos un subtropos. 284. lpp.
Cista – organismu, parasti vienšūņu, pielāgojums, lai izdzīvotu nelabvēlīgos apstākļos. Miera stadija; iecistējušos dzīvnieku apņem blīvs apvalks. 305. lpp.

Č

Čiekurs – no zvīņām veidota struktūra, kurā ir sporangiji. Ziedputekšņu čiekuros ir mikrosporangiji, bet sēklu čiekuros – megasporangiji. 282. lpp.

D

Dabiskā vide – vieta, kurā organisms spēj izdzīvot un vairoties. 102., 127. lpp.
Denitrifikācija – nitrātu vai nitrītu pārvēršana par slāpekli saturošu gāzi augsnes baktēriju ietekmē. 156. lpp.
Detrifikācija – augu un dzīvnieku atlieku pārstrāde, ko veic dzīvi organismi. 151. lpp.
Detrītēdāji – organismi, kas barojas ar augu un dzīvnieku atliekām. Parasti tās nav sēnes un baktērijas, bet gan citi organismi. 147. lpp.
Detrīts (gr. *diaphragma* – šķērssiena) – organiskās vielas, kas rodas, sadaloties augu un dzīvnieku audiem. 147. lpp.
Divdīgļlapis (gr. *dis* – divi un *cotyleon* – cilindrveida dobums) – ziedaugs, kam raksturīgas divas dīgļlapas, lapas ar tīklveida dzīslojumu, cilindriski sakārtoti vadaudu kūlīši, četras vai piecas zieda daļas un mietsakne. 286. lpp.
Divpusējā simetrija – organisma uzbūve, kurai raksturīgas divas savstarpēji atbilstošas puses. 294. lpp.
Drīksna – ziedaugu auglenīcas daļa, pie kuras pielīp un dīgst ziedputekšņi, lai varētu notikt apaugļošanās. 286. lpp.
Drostalošanās – dzīvnieku attīstības sākuma stadija, kuras laikā notiek šūnu dalīšanās, bez citoplazmas palielināšanās. 312. lpp.
Dzīvnieks – dzīvnieku valsts pārstāvis. Kustīgs daudzšūnu eikariots ar diferencētiem audiem, kam raksturīga heterotrofa barošanās un barības sagremošana. 220. lpp.

E

Eiglēna – kustīgs saldūdens vienšūnis, kas pārvietojas ar vicas palīdzību; parasti tajā ir hloroplasts, tāpēc vienlaikus vienšūnim ir gan auga, gan dzīvnieka īpašības. 146. lpp.
Eitrofs – ūdens ekosistēma, kurai raksturīgs straujš vielu riņķojums, augsta fitoplanktona produktivitāte un relatīvi nedaudz sugu. 178. lpp.
Ekoloģija (gr. *oikos* – māja un *logos* – mācība) – mācība par organismu savstarpējo mijiedarbību un mijiedarbību ar fizikālo un ķīmisko vidi. 102. lpp.
Ekoloģiskā piramīda – grafisks katra barošanās ķēdes tropiskā līmeņa (sākot ar producentiem un beidzot ar konsumentiem) atspoguļojums, kas raksturo biomasu, organismu skaitu vai enerģiju tajā. 151. lpp.
Ekoloģiskā niša – organisma dzīvesvieta ekosistēmā, kur tas mijiedarbojas ar citiem organismiem. 127. lpp.
Ekoloģiskā sukcesija – pārmaiņas, kas rodas pēc traucējumiem ekosistēmā; primārā sukcesija vērojama rajonos, kur nav augsnes, bet sekundārā sukcesija – rajonos, kur jau ir izveidojusies augsne. 138. lpp.
Ekosistēma (gr. *oikos* – māja un *systema* – noteikts sakārtojums) – dzīvie organismi kopā ar abiotisko vidi, kurā tie mīt; tai raksturīga enerģijas plūsma un neorganisko vielu riņķojums. 102., 146. lpp.
Eksponenciālā augšana – populācijas lieluma vai blīvuma palielināšanās, ja barības resursi ir neierobežoti. 105. lpp.
Endospora (gr. *endon* – iekš un *spora* – sēkla) – noapaļota baktērija, kurai ap plazmatisko membrānu ir izveidojies biezs šūnapvalks, kas palīdz izturēt nelabvēlīgus vides apstākļus. 133. lpp.
Epifīts (gr. *epi* – virs un *phyton* – augs) – augs, kas aug uz citiem augiem un līdz ar to labāk izmanto saules gaismu barības vielu veidošanai. 172. lpp.
Estuārs – plata upes grīva, kurā sajaucas saldūdens ar sālsūdeni. 180. lpp.

F

Feromons (gr. *phero* – nest un *monos* – viens) – organisma izdalīta viela, kas nosaka cita tās pašas sugas pārstāvja reakciju. 94. lpp.
Filētiskais graduālisms (gr. *phyle* – cilts, ģints) – evolūcijas modelis, kas izskaidro jaunu sugu rašanos ar pakāpenisku pārmaiņu rašanos nezarotās radniecīgās līnijās. 61. lpp.
Filoģenētiskais koks – diagramma, kas parāda kopīgos senčus un radniecīgas līnijas. 214. lpp.
Filoģenēze – kādas organismu grupas attīstības vēsture. 212. lpp.
Fitoplanktons (gr. *phyton* – augs un *planktos* – ceļojums) – planktona daļa, ko veido organismi, kuros notiek fotosintēze un skābekļa rašanās; ir barības avots ūdens ekosistēmās. 179., 242. lpp.
Fosfora cikls – bioģeoķīmiskais cikls, kura laikā fosfors no augsnes nonāk dzīvajos organismos un atpakaļ augsnē. 156. lpp.
Fotoķīmiskais smogs – gaisa piesārņojums, kurā ir slāpekļa oksīdi un ogļūdeņraži, kas veido ozonu un peroksilacetilnitrātu (gr. *photos* – gaisma un *chemo* – vielu). 195. lpp.

G

Galvkrūtis (gr. *kephale* – galva un *thorax* – krūšu aizsegs) – kopā saplūdusi galva un krūtis, kas raksturīgs vēžiem un daļai zirnekļu. 322. lpp.
Gametofīts (gr. *phyton* – augs) – augu dzīves cikla haploidālā paaudze, uz kuras attīstās veidojumi, kuros rodas gametas; tām saplūstot, rodas zigota. 273. lpp.
Gastrovaskulārais dobums (gr. *gastros* – kuņģis un lat. *vasculum* – vadi) – akls gremošanas dobums, kas veic arī transporta funkcijas dzīvniekiem, kuriem nav asinsrites sistēmas. 298. lpp.
Genofonds – visu populācijā mītošo indivīdu visu gēnu kopums. 23. lpp.
Gēnu dreifs – genotipu biežuma vai alēļu biežuma pārmaiņas populācijā, kas rodas nejaušības rezultātā. Tam ir liela nozīme nelielās populācijās un tad, ja vairojas tikai nedaudzi indivīdi. 26. lpp.
Gēnu plūsma – gēnu apmaiņa starp divām populācijām to krustošanās rezultātā. 26. lpp.
Ginks – sens kailsēklis; liels divmāju koks ar plašu zarojumu un vēdekļveida lapām. Vīrišķajam augam ir putekšņu čiekuri, bet uz sievišķā attīstās ar sulīgu sēklsedzi klātas sēklas. 284. lpp.
Gliemis (molusks) – gliemju tipa pārstāvis; viņam ir kāja, mantija un iekšējie orgāni. 314. lpp.
Gnetofīti – kailsēkļu grupa, pie kuras pieder gnetāles (*Gnetum*) – koki ar vijīgiem stumbriem un lielām, ādainām lapām, efedras (*Ephedra*) – spēcīgi zaroti krūmi un velvičijas (*Welwitschia*) ar masīvu, koksnainu diskveida stumbru un lentveida lapām. 285. lpp.

Ģ

Ģints – virssugas taksons, kas apvieno evolūcijas gaitā izveidojušās tuvu radniecīgās sugas. Divkāršajā sugas latīņu nosaukumā to norāda pirmais vārds. 213. lpp.

H

Hārdija–Veinberga likums – likums, kas apgalvo, ka alēļu biežums populācijā saglabājas nemainīgs un nenotiek evolucionāras pārmaiņas, ja ir spēkā daži noteikumi, piemēram, nejauša pārošanās. 24. lpp.

Hemosintēze (gr. *chemo* – attiecināms uz vielām, *syn* – kopā un *thesis* – sakārtojums) – barības vielu veidošanas process, kurā tiek izmantots atmosfēras oglekļa dioksīds un enerģija, kas tiek iegūta, oksidējot dabā esošās neorganiskās vielas. 234. lpp.

Hermafrodīts – dzīvnieks, kuram ir gan sievišķie, gan vīrišķie dzimumorgāni. 303. lpp.

Heterotrofs (gr. *hetero* – dažāds, atšķirīgs un *trophe* – barība) – organisms, kas nespēj sintezēt organiskās vielas no neorganiskajām, tāpēc tam ir jāuzņem gatavas barības vielas. 45. lpp.

Hidroloģiskais cikls – savstarpēji saistīta nepārtraukta ūdens cirkulācija no okeāna uz atmosfēru, uz zemi un atkal atpakaļ okeānā. 153. lpp.

Hidrosfēra – ar ūdeni klātā zemeslodes virsma. 164. lpp.

Hierarhija – grupā pastāvošie sociālie rangi, kuri nodrošina augstāk stāvošo rangu indivīdiem labākus resursus nekā zemākstāvošajiem. 91. lpp.

Hifa (gr. *hyphe* – tīkls) – sēņu veģetatīvā ķermeņa pavediens. 258. lpp.

Hitīns (gr. *chiton* – apvalks) – izturīgs un elastīgs slāpekli saturošs polisaharīds, kas atrodams posmkāju ārējā skeletā. 321. lpp.

Hlorfluorogleklis – organiska viela, kas satur oglekļa, hlora un fluora atomus. Tas spēj līdzīgi freonam noārdīt ozona aizsargekrānu, atmosfēras augšējā daļā atbrīvojot hlora atomus. 196. lpp.

Hominīds – hominīdu dzimtas pārstāvis; pie šīs dzimtas pieder cilvēks un tā tiešie senči, par kuriem liecina tikai fosilās atliekas. 71. lpp.

Hominoīds (lat. *homo* – cilvēks un gr. *eides* – līdzīgs) – virsklases pārstāvis; pie šīs virsklases pieder cilvēks un lielie pērtiķi. 69. lpp.

Homo erectus (lat. *homo* – cilvēks un *erectus* – taisns) – hominīds, kas bija sastopams 1,9 – 0,5 miljonus gadu atpakaļ; tas bija pirmais radījums, kura stāja un kustības bija līdzīgas mūsdienu cilvēkam. 76. lpp.

Homo habilis (lat. *homo* – cilvēks un *habilis* – prasmīgais) – hominīds, kas dzīvoja aptuveni pirms 2 miljoniem gadu. Iespējams, ka tas ir mūsdienu cilvēka tiešs priekštecis. 75. lpp.

Homologās struktūras (gr. *homologos* – saskaņots, atbilstošs) – struktūras, kuras dažādiem organismiem ir līdzīgas tāpēc, ka tie evolūcijas gaitā ir cēlušies no kopēja senča. 16., 215. lpp.

Homoloģisks (gr. *homologos* – saskaņots, atbilstošs) – uzbūves līdzība, ko izskaidro izcelšanās no kopēja senča. 215. lpp.

I

Iegūtā īpašība – uzbūves, uzvedības vai fizioloģiska pazīme, kas raksturīga kādai radniecīgai organismu grupai, bet nav sastopama vairākām senču paaudzēm. 214. lpp.

Iegūto īpašību iedzimšana – lamarkistu uzskats, ka dzīves laikā iegūtās pazīmes var pāriet pēcnācējiem. 6. lpp.

Iemācīšanās – relatīvi ilgstošas pārmaiņas dzīvnieka uzvedībā, kas rodas prakses un pieredzes rezultātā. 88. lpp.

Ierobežojošais faktors – resurss vai vides faktors, kas ierobežo kāda organisma daudzumu vai izplatību. 60. lpp.

Imprintings ("pēdu atstāšana") – dzīvnieku iemācīšanās agrā vecumā, kas vēlāk lielā mērā ietekmē viņu seksuālo uzvedību. 89. lpp.

Izcelšanās – rašanās evolūcijas gaitā no kopēja senča. 60. lpp.

Izmiršana (gr. *isos* – vienāds un *topos* – vieta) – sugas vai kādas citas sistemātiskas vienības pilnīga izzušana. 60. lpp.

K

Kailsēklis (gr. *gymnos* – kails un *sperma* – sēkla) – kokaugs, kura sēklas nav ieskautas augļi un parasti attīstās čiekuros, piemēram, skujkokiem. 282. lpp.

Katastrofisms (gr. *katastrophe* – posts, nelaime) – Georga Kuviera teorija par to, ka ir notikušas katastrofas, kurām sekojuši izdzīvojušo sugu izplatīšanās un to pārmainīšanās laika gaitā. 6. lpp.

Kladistika – sistemātikas virziens, kas nosaka radniecības pakāpi, analizējot primitīvās un atvasinātās pazīmes un konstruējot kladogrammas. 218. lpp.

Kladogramma – zarota diagramma, kas attēlo radniecību starp sugām, vadoties pēc to kopīgajām atvasinātajām pazīmēm. 218. lpp.

Klasifikācija – kategoriju rinda, kurā sugas tiek grupētas, vadoties no to radniecības ar citām sugām. 212. lpp.

Klimaksa biocenoze – ekoloģijas jēdziens, kas raksturo sabiedrību, kuras attīstība ir beigusies. 139. lpp.

Klimats – laikapstākļi noteiktā apgabalā, ieskaitot vidējo temperatūru un diennakts vai gada nokrišņu daudzumu. 162. lpp.

Koevolūcija – divu sugu kopīga evolūcija, kur viena suga izdara selektīvu spiedienu uz citu sugu. 135. lpp.

Kokaugs – augs, kam ir koksne; parasti – mūžzaļi koki (kailsēkļi) vai ziedaugi (segsēkļi). Augi, kuriem nav koksnes, ir lakstaugi. 285. lpp.

Komensālisms – simbiotiskas starpsugu attiecības, no kurām viena suga iegūst labumu, bet otrai sugai nav ne labuma, ne ļaunuma. 136., 235. lpp.

Komunikācija – viena organisma ietekme uz otra organisma uzvedību. 94. lpp.

Konīdijspora – spora, ko dzimumvairošanās laikā veido asku sēne vai bazīdijsēne (gr. *konis* – putekļi un *spora* – sēkla). 262. lpp.

Konjugācija (lat. *conjugalis* – atteikties no precībām) – ģenētiskā materiāla nodošana no vienas šūnas citai. 233., 244. lpp.

Konsuments (patērētājs) – organisms, kas barošanās ķēdē barojas ar kādu citu organismu; primārais konsuments ēd augus, bet sekundārais konsuments ēd dzīvniekus. 147. lpp.

Kontinentu dreifs – kontinentu pārvietošanās citam attiecībā pret citu pār Zemes virsmu. 56. lpp.

Konverģenta evolūcija – uzbūves līdzību rašanās tālu radniecīgās grupās, pielāgojoties noteiktiem vides apstākļiem. 215. lpp.

Kopīgs sencis – sencis, kas ir kopīgs vismaz divām iepriekšējām paaudzēm. 212. lpp.

Kovalentā saite (lat. *co* – kopā un *valens* – spēks) – ķīmiskā saite, ko starp atomiem veido kopējs elektronu pāris. 78. lpp.

Kromanjonietis – kopējs nosaukums pirmajiem mūsdienu cilvēkiem, kuru fosilās atliekas ir atrastas. 78. lpp.

Ksilēma (gr. *xylon* – koks un lat. *em* – iekš) – auga vadaudi, kas transportē ūdeni un izšķīdušos minerālus augšup pa augu. Tā satur vadaudu elementus un traheīdas. 306. lpp.

Kutikula – vaska kārtiņa, kas pārklāj auga epidermu un pasargā augu no ūdens zuduma un slimības izraisošiem organismiem. 272. lpp.

Ķ

Ķērpis – organisms, kas rodas simbiotisku attiecību rezultātā starp sēni un aļģi, kuru sēne apgādā ar neorganiskajām vielām un ūdeni, bet aļģe piegādā organiskās barības vielas. 236., 267. lpp.

Ķīmiskā evolūcija – ķīmisko vielu uzbūves pārveidošanās, kā rezultātā varēja rasties pirmās šūnas. 43. lpp.

L

Lakstaugs (lat. *herba* – veģetācija, augs) – augs, kuram nav koksnes. 285. lpp.

Lancetnieks – hordainis ar lancetei līdzīgu formu, kuram nav mugurkaula. Pieaugušam lancetniekam ir trīs hordaiņu pazīmes – doba muguras nervu ķēdīte, notohorda un rīkles žaunu spraugas. 335. lpp.

Liposoma (gr. *lipos* – tauki un *soma* – ķermenis) – šķidrumā veidojusies fosfolipīdu pilīte. 44. lpp.

Lītiskais cikls (gr. *lyo* – atbrīvot) – viens no bakteriofāgu dzīves cikliem, kura laikā vīruss iekļūst baktērijā, pārņem to un pēc tam sadala. 288. lpp.

Lizogēnais cikls (gr. *lyo* – atbrīvot un *genitus* – veidošana) – bakteriofāga dzīves cikls, kura laikā vīruss iekļaujas baktērijas DNS sastāvā; vēlāk tas sāk līdzsko ciklu, kā rezultātā baktērija tiek noārdīta. 229. lpp.

M

Maisveida ķermeņa uzbūve – organisma uzbūve, kurai ir gremošanas dobums ar vienu atveri, piemēram, zarndobumainim vai plakantārpam. 302. lpp.

Māņkājiņas (pseidopodijas) – amēbveida vienšūņu citoplazmas izaugumi, ko izmanto barības satveršanai un ieskaušanai (gr. *pseudes* – viltus un *podos* – kāja). 248. lpp.

Maskēšanās – metodes, ar kuru palīdzību organisms paslēpjas no uzbrucējiem, saplūstot ar apkārtējo fonu. 132. lpp.

Masveida izmiršana – liela sugu skaita masveida izzušana dažu miljonu gadu vai īsākā laikā. 58. lpp.

Megaspora – spora, kas veidojas sēklaugu megasporocītā; no četrām sporām tikai viena attīstās par megagametofītu (dīgļsomu). 282. lpp.

Metamorfoze (gr. *meta* – starp un lat. *morphe* – forma, veids) – dažiem dzīvniekiem, piemēram, kukaiņiem raksturīga formas un lieluma maiņa attīstības laikā. 321. lpp.

Mezogleja (gr. *mesos* – vidus un *gloios* – lipīgs) – recekļveida kārta starp zarndobumaiņu ektodermu un entodermu. 298. lpp.

Micēlijs (gr. *mycelium* – sēnes pavedieni) – cieši savīti hifu pavedieni, kas veido sēnes veģetatīvo ķermeni. 258. lpp.

Mikoriza (gr. *mykes* – sēne un *rhyzon* – saknei) – simbiotiskas attiecības starp sēņu hifām un augu saknēm. Sēne ļauj augam uzsūkt vairāk minerālvielu jonu un iegūst no auga ogļhidrātus. 268. lpp.

Mimikrija – vienas sugas organisma pavirša līdzība ar citas sugas pārstāvi; tas palīdz izvairīties no uzbrucējiem. 133. lpp.

Monēri – valsts, pie kuras pieder baktērijas, kā arī ciānbaktērijas. 220. lpp.

Muguras nervu stiegra – daudziem dzīvniekiem raksturīga nervu audu saite, kas uztver sajūtas un nodrošina kustību koordināciju. 334. lpp.

Mugurkaulnieks – dzīvnieks, kam ir no kauliem veidots mugurkauls. 316. lpp.

Mutuālisms – simbiotiskas starpsugu attiecības, no kurām abas sugas iegūst priekšrocības augšanas un vairošanās norisē. 136. lpp.

Mūžīgais sasalums – mūžīgi sasalusi zeme, kā tas ir, piemēram, tundrā, arktiskajos rajonos. 169. lpp.

N

Neandertālietis – hominīds ar spēcīgu miesas būvi, kas dzīvoja Eiropā un Vidējos Austrumos pēdējā leduslaikmetā, bija labs mednieks un dzīvoja sabiedrībā. 78. lpp.

Neatjaunojamie enerģijas resursi – resursi, kuri ir noteiktā ierobežotā daudzumā un spēj atjaunoties tikai vairāku miljonu vai miljardu gadu laikā fizikālu vai ķīmisku procesu rezultātā. Pie tiem pieder akmeņogles un minerāli, piemēram, varš un alumīnijs. 191. lpp.

Nervu tīkls – zarndobumaiņiem raksturīga difūza nervu sistēma, kas sastāv no atsevišķām savstarpēji saistītām nervu šūnām. 298. lpp.

Nesējkapacitāte – lielākais noteiktas sugas indivīdu skaits, ko spēj uzturēt noteiktā vide. 107. lpp.

Nitrifikācija – process, kurā amonjaka un organisko vielu sastāvā esošo slāpekli baktērijas oksidē par nitrātiem un nitrītiem. 438. lpp.

Noārdīšana – process, kurā organiskās vielas baktēriju vai sēņu darbības rezultātā tiek sadalītas vienkāršākās vielās. 147. lpp.

Noārdītāji – organismi (parasti – baktērijas un sēnes), kas sadala organiskās vielas par neorganiskajām vielām, lai tās no jauna var iekļauties vielu riņķojumā. 147., 234. lpp.

Nogulsnēšanās (lat. *sedimentum* – nogulsnes) – process, kurā vielas daļiņas veido nogulsnes. 46. lpp.

Notekūdeņu attīrīšana – jebkurš process, kurā organiskās vielas un baktērijas tiek attīrītas no notekūdeņiem. 197. lpp.

Notohorda (gr. *notos* – mugura un *chorde* – stiegra) – skrimslim līdzīga stiegra, kas kādā dzīves cikla posmā ir attīstīta visiem hordaiņiem; mugurkaulniekiem to aizstāj mugurkauls. 334. lpp.

Novilkšanās – periodiska ārējā skeleta maiņa, kas raksturīga posmkājiem. 321. lpp.

Nukleoīds (lat. *nucleus* – kodols un gr. *eides* – līdzīgs) – baktērijas šūnas daļa, kurā atrodas iedzimtības materiāls. 232 lpp.

Nulles populācijas pieaugums – populācijas lieluma nemainīšanās. 118. lpp.

O

Oglekļa cikls – bioķīmiskais cikls, kura laikā ogleklis no atmosfēras nonāk dzīvajos organismos un no tiem – atpakaļ atmosfērā. 154. lpp.

Okeāna grēda – okeāna gultnes kalnu grēdas, kur notiek okeāniskās Zemes garozas veidošanās; tā izplatās uz visām pusēm. 57. lpp.

Otrmutnieki (gr. *deuteros* – sekundārs un lat. *stoma* – mute) – dzīvnieki, kuriem embrionālās attīstības laikā, gastrulas sieniņai plīstot, veidojas sekundārā mute, bet primārās mutes rajonā veidojas ānuss. 312., 332. lpp.

Ozona caurums – sezonāla ozona ekrāna samazināšanās stratosfēras apakšējos slāņos Ziemeļpolā un Dienvidpolā. 196. lpp.

Ozona ekrāns – aizsargkārta atmosfēras augšējā slānī, kas ir radusies no skābekļa un aizsargā Zemi no ultravioletā starojuma. 49. lpp.

Ozons – gāze, kuras ķīmiskā formula ir O_3. Tā atmosfēras augšējā slānī veido aizsargkārtu (ozona ekrānu) pret pārmērīgu ultravioleto starojumu. Ozons ir arī fotoķīmiskā smoga sastāvdaļa atmosfēras zemākajos slāņos. 196. lpp.

P

Paleontoloģija (gr. *palaios* – sens, vecs un *ontos* – kas ir eksistējis un *logy* – mācība) – zinātnes nozare, kas pēta fosilijas, lai izzinātu dzīvības vēsturi. 6., 47. lpp.

Paparde – sporaugs, kura sporofītam ir lielas, plūksnainas lapas, bet gametofīts ir sirdsveida protallijs. 280. lpp.

Paralēlā evolūcija – uzbūves līdzība saistītās grupās, kas nav izskaidrojama ar izcelšanos no kopēja senča. 215. lpp.

Parazītisms – simbiotiskas attiecības, kurās viena suga (parazīts) iegūst priekšrocības augšanas un vairošanās ziņā, kaitējot otrai sugai (saimniekam). 134. lpp.

Parazīts – organisms, kas iegūst barības vielas no otra organisma (saimnieka), uz kura vai kurā tas dzīvo. 134. lpp.

Pārtrauktā izlase – dabiskā izlase, kuras rezultātā saglabājas galēji fenotipi, bet vidējās pazīmes (fenotipi) izzūd, radot vairākas atšķirīgas formas. 30. lpp.

Pārtrauktais līdzsvars – apgalvo, ka strauju pārmaiņu periodiem, kuru laikā notiek sugu veidošanās, seko gari miera periodi. 61. lpp.

Pelaģiskā daļa (gr. *pelagos* – jūra) – jūras atklātā ūdens daļa. 182. lpp.

Peroksiacilnitrāts – viela, kas ir fotoķīmiskajā smogā. 195. lpp.

Piemērotība – organisma spēja izdzīvot un vairoties savā dzīves vidē. 10., 28. lpp.

Piesārņojums – viela, kas ir nonākusi vidē un atstāj nevēlamu iespaidu uz dzīvajiem organismiem. 192. lpp.

Pirmmutnieki (gr. *protos* – pirmais un lat. *stoma* – mute) – celomisko dzīvnieku grupa, kuriem pirmā embrionālā atvere (blastopora) kļūst par muti. 312. lpp.

Placenta – orgāns, kas veidojas zīdītāju embrionālās attīstības laikā no horija un dzemdes sienas un nodrošina embrijam, kā arī vēlāk – auglim barības vielu piegādi un atkritumvielu aizvadīšanu; izdala hormonus, kas regulē grūtniecību. 348. lpp.

Placentāļi – zīdītāju apakšklase, kurai pēcnācēju attīstības laikā raksturīga placenta. 348. lpp.

Plakantārps – bezmugurkaulnieks, kas pieder pie plakantārpu tipa; viņam ir plakans ķermenis un trīs dīgļlapas, bet nav sekundārā ķermeņa dobuma – celoma. Planārijas ir brīvi dzīvojoši plakantārpi, bet trematodes un lenteņi ir parazīti. 302. lpp.

Planktons (gr. *planktos* – ceļojošs) – saldūdens vai jūras iemītnieki, kuri atrodas ūdenī tuvu tā virsmai. 179., 242. lpp.

Plātņu tektonika (gr. *tektos* – šķidrs, kausēts, spējīgs peldēt) – mācība par Zemes virsmas izturēšanos – Zemes plātņu pārbīdīšanos un kontinentu dreifu. 57. lpp.

Plaušas – sauszemes iemītnieku elpošanas orgāns, kuram ir mitra, gāzu maiņai piemērota virsma. 340. lpp.

Plēsējs – plēsēju kārtas dzīvnieks; patērētājs barības ķēdē, kas ēd citus dzīvniekus. 147. lpp.

Plēsonība – mijiedarbība, kuras rezultātā viens organisms (plēsoņa) izmanto otru (upuri) sev par barību. 130. lpp.

Plēsoņa – organisms, kas ir plēsīgs. 130. lpp.

Poikilotermi organismi – organismi, kuru ķermeņa temperatūra ir atkarīga no apkārtējās vides temperatūras. 340. lpp.
Populācija – vienas sugas organismu grupa, kas aizņem noteiktu teritoriju un kam ir kopīgs genofonds. 22., 102. lpp.
Populācijas blīvums – sugas indivīdu skaits noteiktā laukuma vai tilpuma vienībā. 103. lpp.
Populācijas lielums – indivīdu skaits, kas piedalās populācijas genofonda veidošanā. 104. lpp.
Populācijas sadalījums – sugas indivīdu izvietojums noteiktā laukuma vai tilpuma vienībā. 385. lpp.
Posmkājis (gr. *arthron* – savienojums, locītava un *podos* – pēda) – bezmugurkaulnieks ar posmainām kājām. Pieder pie posmkāju tipa, kurā ietilpst vēži, kukaiņi un zirnekļi. 321. lpp.
Posmtārps (lat. *annelus* – gredzeni) – bezmugurkaulnieks, kas pieder pie posmtārpu tipa, kurā ir dzīvnieki ar posmainu ķermeni, piemēram, daudzsartārpi, sliekas un dēles. 318. lpp.
Primārā produktivitāte – to raksturo ātrums, ar kādu autotrofi organismi ekosistēmā veido barības vielas; kopproduktivitāti raksturo kopējais organisko vielu radīšanas ātrums, bet tīro produktivitāti – kopējā produktivitāte mīnus aerobās elpošanas ātrums. 148. lpp.
Primāts (lat. *primus* – pirmais) – dzīvnieks, kas pieder pie primātu kārtas. Tie ir zīdītāji, pie kuriem pieder puspērtiķi, pērtiķi un cilvēks. 66. lpp.
Primitīva īpašība – uzbūves, fizioloģiska vai uzvedības pazīme, kas ir raksturīga kopējam sencim un visiem grupas pārstāvjiem. 214. lpp.
Producents – organisms, kas atrodas barības ķēdes sākumā un pats veido barības vielas, piemēram, zaļie sauszemes augi un ūdens aļģes. 147. lpp.
Proteinoīds – abiotiskā ceļā polimerizētas aminoskābes; iespējams, ka tās tā veidojās evolūcijas pirmsākumos. 44. lpp.
Protošūna (gr. *protos* – pirmais) – šūnas priekštecis, kas radies no šūnām līdzīgām, sīkām lodītēm. 44. lpp.
Pseidoceloms – ķermeņa dobums, kas atrodas starp gremošanas traktu un ķermeņa sienu, ko nepilnīgi izklāj mezoderma. 307. lpp.
Puspērtiķi (lat. *pro* – pirms un *simia* – pērtiķi) – primātu grupa, pie kuras pieder lemūri un tupaji; tie ir līdzīgi pirmajiem primātiem. 67. lpp.
Putekšnīca – ziedaugu putekšņlapu daļa, kas izkaisa ziedputekšņus. 286. lpp.
Putekšņlapa – zieda daļa, kas sastāv no putekšņlapas kātiņa un putekšnīcas, kur atrodas putekšņmaciņi ar ziedputekšņiem. 286. lpp.

R

Rāpulis (lat. *reptile* – čūska) – sauszemes mugurkaulnieku rāpuļu klases pārstāvis, kam raksturīga sausa āda, iekšēja apaugļošanās, olas ar ādainu apvalku; pie tiem pieder čūskas, ķirzakas, bruņurupuči un krokodili. 342. lpp.
Resursu sadalījums – resursu, piemēram, barības un dzīvesvietas, sadalījums starp sugām, kas pēc starpsugu cīņas palielina nišu skaitu. 128. lpp.
Retrovīruss (lat. *retro* – atpakaļējs un *virus* – inde) – RNS vīruss, kas satur enzīmu reverso transkriptāzi, kura veic RNS/DNS transkripciju; pie retrovīrusiem pieder arī onkogēni un HIV vīrusi. 230. lpp.
Rizoīds (gr. *rhyzon* – par sakni) – saknei līdzīgs izaugums, kas nostiprina augu un absorbē ūdeni un minerālus no augsnes. 274. lpp.
Rudimentārs orgāns (lat. *vestigium* – pēda, pēdu nospiedums) – orgāns, kas senčiem ir kalpojis noteiktu funkciju veikšanai, bet tagad organismā ir reducēts un nepilda iepriekšējās funkcijas. 16. lpp.

S

Sabiedrība – 1) noteiktā vidē eksistējoša populāciju kopa, kurā populācijas iedarbojas cita uz citu. 102., 124. lpp.; 2) grupa, kurā sugu pārstāvji savā starpā sadarbojas; tiem raksturīga gan seksuāla uzvedība, gan rūpes par pēcnācējiem. 94. lpp.
Saimnieks – organisms, kas parazītu nodrošina ar barību un patvērumu. 134 lpp.
Saistības grupa (saistītie gēni) – dažādu gēnu alēles, kas ir lokalizētas vienā hromosomā un iedzimst kopā. 103. lpp.
Sakne – augu pazemes orgāns, kas nostiprina augu augsnē, absorbē ūdeni un minerālus un uzkrāj fotosintēzes produktus. 276. lpp.
Saknenis (gr. *rhiza* – sakne) – saknei līdzīgs pazemes stumbrs. 278. lpp.
Saprotrofs (gr. *sapros* – sapuvis, bojāts un *trophe* – barība) – organisms, kas izdala gremošanas sulas un absorbē tā iegūtās barības vielas caur plazmatisko membrānu. 234., 253. lpp.
Savanna – Āfrikas pļavu sauszemes bioms, kuram raksturīgi reti koki un ilgstošs sausuma periods. 174. lpp.
Sēdošs dzīvnieks – tāds dzīvnieks, kas vienmēr ir piestiprināts substrātam un līdz ar to nepārvietojas no vienas vietas uz citu. 294. lpp.
Sēdošs filtrētājs – dzīvnieks, kas nepārvietojas un barību iegūst, filtrējot ūdeni. 297. lpp.
Segmentācija – ķermeņa daļu atkārtošanās, piemēram, sliekai. 318. lpp.
Sēkla – nobriedis sēklaizmetnis, kurā ir dīglis un barības vielas aizsargapvalks ap to. 282. lpp.
Sēklotne (lat. *ovaris* – olu glabātājs) – ziedaugu auglenīcas paplašinātā apakšējā daļa, kurā attīstās par augli. 286. lpp.
Sēnes (*Fungi*) – dzīvo organismu valsts, kurai pieder daudzšūnu saprofītiski eikarioti, kas veido sporas; tiem nevienā dzīves cikla stadijā nav vicu. Sēnes sastāv no pavedieniem – hifām, kas veido micēliju. 214., 258. lpp.
Siltumnīcas efekts – no Zemes atstarotā siltuma atstarošanās atpakaļvirzienā, ko rada atmosfēras piesārņojuma gāzes, piemēram, oglekļa dioksīds, metāns, slāpekļa oksīdi, ūdens tvaiki un ozons. 92. lpp.
Simbioze – attiecības, kas rodas, divām sugām dzīvojot kopā; šādas attiecības var būt abpusēji labvēlīgas, neitrālas vai neizdevīgas vienam, bet neizdevīgas vai neitrālas otram. 134. lpp.
Sistemātika (gr. *systema* – sakārtojums pēc kārtas) – mācība par organismu daudzveidību, kas nosaka filoģenētisko radniecību un klasificē organismus. 214. lpp.
Skābie nokrišņi – rūpniecības radīts piesārņojums ar sulfātiem vai nitrātiem, kas lietus vai sniega veidā atgriežas uz zemes. 192. lpp.
Skujkoki (lat. *conus* – čiekurs un *fero* – nest) – viena no četrām sēklaugu grupām; koki, kuriem ir čiekuri, piemēram, priedes, ciedru priedes un egles. 282. lpp.
Slāpekļa cikls – nepārtraukts slāpekļa riņķojums gaisā, augsnē, ūdenī un dzīvajos organismos uz Zemes. 155. lpp.
Slāpekļa fiksācija – process, kurā baktēriju ietekmē atmosfēras slāpeklis tiek saistīts amonjakā vai nitrātos. 156., 234. lpp.
Sociobioloģija – evolūcijas bioloģisko principu lietošana dzīvnieku sociālās uzvedības pētīšanai. 94. lpp.
Somainis (gr. *marsupium* – kroka) – zīdītājs, kas nēsā nenobriedušu mazuli somā jeb ādas krokā, piemēram, ķengurs vai oposums. 348. lpp.
Spīkula (lat. *spicula* – šķēps, žebērklis) – sūkļu skeleta struktūra, kas sastāv no kalcija karbonāta vai silikāta. 297. lpp.
Spora – bezdzimumvairošanās struktūra, kas ir izturīga pret nelabvēlīgiem vides apstākļiem; to veido haploīdā paaudze. 243., 259. lpp.
Sporainis – sporas veidojošs vienšūnis, kas ir tipisks parazīts un nespēj pārvietoties. 251. lpp.
Sporofīts (gr. *phyton* – augs) – diploīdā paaudze augu dzīves ciklā; mejozē rodas haploīdas sporas, no kurām attīstās haploidālā paaudze. 273. lpp.
Spura – ūdensdzīvnieku vēdekļveida izaugums, kas palīdz virzīties uz priekšu un noturēt ķermeni līdzsvarā. 338. lpp.
Stabilizējošā izlase – dabiskās izlases rezultāts, kad galējie fenotipi izzūd, bet saglabājas vidējie fenotipi. 30. lpp.
Starainā (radiālā) simetrija – organisma uzbūve, kurā līdzīgas sastāvdaļas ir sakārtotas ap centrālo asi. 294. lpp.
Suga (lat. *species* – veids) – taksonomijas pamatkategorija; tās pārstāvjiem ir līdzīga uzbūve, un tie var sekmīgi eksistēt tikai kopā cits ar citu. 32., 213. lpp.
Sūklis – bezmugurkaulnieks, kas pieder pie sūkļu tipa; dzīvnieks, kura ķermeņa iekšējo sienu veido apkakles šūnas un kurš filtrē caur porām ūdeni. 296. lpp.

T

Taiga – skujkoku mežu bioms, kas plašā joslā plešas Ziemeļeirāzijā un Ziemeļamerikā. 270. lpp.

Taksonomija (gr. *tasso* – sakārtot, klasificēt un *nomos* – lietojums, likums) – bioloģijas nozare, kas identificē, apraksta un nosauc organismus. 211. lpp.

Taksons (gr. *tasso* – sarindot, klasificēt) – organismu grupa, kas veido kādu klasifikācijas kategoriju. 212. lpp.

Teritorialitāte – dzīvnieku uzvedība, kam raksturīga noteiktas teritorijas iezīmēšana vai aizsargāšana no citiem sugas pārstāvjiem; šo teritoriju parasti izmanto, lai barotos, pārotos un rūpētos par pēcnācējiem. 92. lpp.

Termiskā inversija (gr. *therme* – karstums, lat. *in* – pret vai pāri un *verto* – griezt) – temperatūras apgriešana, kas notiek, apmainot pie zemes esošo auksto gaisu un tā piesārņojumu ar silto gaisu, kas ir virs tā. 195. lpp.

Traheja (lat. *trachia* – gaisa vads) – četrkājaino mugurkaulnieku gaisa vads, kas atrodas starp balseni un bronhiem; arī kukaiņu gaisa vadi, kas atrodas starp elpatverēm un traheolām. 321. lpp.

Tripanosoma – parazītiskas zoovicaiņu ģints pārstāvis, kas var izraisīt smagas cilvēka un mājlopu slimības, ieskaitot miega slimību. 250. lpp.

Trofiskais līmenis – barošanās līmenis, kas raksturīgs vienai vai vairākām populācijām barības ķēdē. 151. lpp.

U

Ūdens nesējslānis (lat. *aqua* – ūdens un *fero* – nest) – ūdeni saturošs slānis klintī, no kura ūdens nonāk avotos un strautos. 153., 197. lpp.

Upuris – organisms, kas nodrošina ar barību plēsoņu. 130. lpp.

Uzvedība – pamanāmas saskaņotas atbildes reakcijas uz apkārtējās vides iedarbību. 86. lpp.

V

Vairošanās izolācijas mehānisms – anatomiskas vai uzvedības atšķirības starp divām sugām, kas traucē tām pāroties vai arī vairoties pēc pārošanās. 32., 33. lpp.

Vakcīna (lat. *vaccinus* – no govs) – antigēns, kas, ievadīts organismā, veicina imunitātes veidošanos, bet neizraisa saslimšanu. 231. lpp.

Vaskulārais augs (lat. *vasculum* – trauks) – organisms, kas pieder pie augu valsts un kurā ir vadaudi, piemēram, papardes, kailsēkļi un segsēkļi. 276. lpp.

Vecuma struktūras diagramma – katras vecuma grupas indivīdu skaits populācijā. 109. lpp.

Veltņtārps – veltņtārpu tipa pārstāvis ar cilindrisku ķermeņa formu, pseidocelomu un pilnīgu gremošanas sistēmu; daļa brīvi dzīvo augsnē un ūdenī, bet daudzi ir parazīti. 307. lpp.

Vēži – posmkāju tipa apakštips. Tiem ir ciets ārējais skelets. Pie galvas parasti ir saliktas acis un pieci pāri kāju; visām krūšu un vēdera kājām augšdaļā ir žaunas. 323. lpp.

Vica (lat. *flagello* – rīkste) – garš, tievs izaugums, kas dažām baktērijām, vienšūņiem un spermatozoīdiem ļauj kustēties. 232. lpp.

Vides pretestība (rezistence) – visu vides ierobežojošo faktoru kopums, kas aizkavē populācijas skaita pieaugumu noteiktā reģionā. 105. lpp.

Viendīgļlapis – viendīgļlapju klases ziedaugs, kam dīglī ir viena dīgļlapa, paralēls vai lokveida lapu dzīslojums, izkaisīti vadaudu kūlīši un zieda daļu skaits dalās ar trīs. 286. lpp.

Vienšūnis (gr. *protos* – pirmais un *zoon* – dzīvnieks) – heterotrofs vienšūnas organisms. 248. lpp.

Vienšūņi – valsts, pie kuras pieder vienšūnas dzīvnieki, aļģes, gļotsēnes un ūdens sēnes. 220. lpp.

Viroīds – infekciozs faktors, kas sastāv no sīka RNS pavediena, ko daļēji replicējuši saimnieka šūnas enzīmi. 230. lpp.

Vīruss (lat. *virus* – inde) – obligāti iekššūnu parazīti, kas sastāv no ārējās kapsulas un iekšējās nukleīnskābju serdes. 226. lpp.

Virzošā izlase – dabiskās izlases veids, kad izdzīvo galējie fenotipi. Parasti tā notiek mainīgā vidē. 28. lpp.

Z

Zarndobumainis – bezmugurkaulnieks, kas pieder pie zarndobumaiņu tipa. Tas ir polips vai medūza ar starainu simetriju un sastāv no divām šūnu kārtām. 298. lpp.

Ziedputekšņi (lat. *pollen* – sīki putekļi) – sēklaugu mikrogametofīts. 282. lpp.

Zigospora – biezsienaina miera stadijas šūna, kas veidojusies sēņu dzimumvairošanās procesā. 260. lpp.

Zivs – mugurkaulnieku tipa dzīvnieks, kas dzīvo saldūdenī vai jūrā. Tai ir saplacināts, ar zvīņām klāts ķermenis, parasti ar spurām; elpo ar žaunām. Ir skrimšļzivis un kaulzivis. 337. lpp.

Zooplanktons (gr. *zoon* – dzīvnieks un *planktos* – ceļojošs) – planktona daļa, kas sastāv no vienšūņiem un citiem mikroskopiskiem dzīvniekiem. 179., 248. lpp.

Zoovicainis (gr. *zoon* – dzīvnieks un lat. *flagello* – vica) – vienšūnis, kas pārvietojas ar vicas palīdzību. 250. lpp.

Ž

Žaunas – elpošanas orgāni, kas ir raksturīgi vairumam ūdensdzīvnieku; rīkles izaugumi virzienā uz āru. 334. lpp.

Rādītājs

A

abinieki 52, 336, 340, 341
abisālais līdzenums 182
abisāle 182
acis 303, 316, 317, 321, 322, 323, 324, 326, 327
  saliktas 321, 322, 323, 327
  vienkāršas 321, 324, 326, 327
actiņa 333
āda 341, 345
adaptācija 13
ādas žaunas 333
adata 333
adatādaiņi 312, 313, 332–334
adenovīruss 226
agars 247
AIDS 251
aklā zarna 316
akmeņogles 277
aknas 315, 316, 317, 339, 345
aknu sūnas 273, 274, 276
aktīnija (*Apitasia*) 299
alantojs 342
alēle 23, 24
aligators, Misisipi (*Alligator missisippiensis*) 345
alnis, Ziemeļamerikas (*Alces americana*) 170
Altmens Sidnejs 44
altruisms 96, 97
Alvarezs Luijs 58, 342
Alvarezs Valters 58, 342
aļģes 242–247, 267, 268
  brūnaļģes (*Phaeophyta*) 245
  bruņvicaiņi (*Dinoflagella*) 246
  eiglēnaļģes (*Euglenophyta*) 246, 247
  kramaļģes (*Chrysophyta*) 246
  sārtaļģes (*Rhodophyta*) 247
  zaļaļģes (*Chlorophyta*) 242–245
aļģsēnes 253, 254, 260
ambulakrālā kāja 333
ambulakrālā sistēma, sk. ūdens-kanālu sistēma
amēba 248, 249
  dizentērijas (*Entamoeba histolytica*) 249
  mainīgā (*Amoeba proteus*) 248, 249
amebocīts 296, 297
amnijs 342
amnioti 342
ampula 333
anālā atvere 249, 307, 312, 313, 315, 316, 317, 319, 323, 325, 333, 335, 345
anālā plātnīte 344
angiospermi, sk. segsēkļi
antena 323, 324
anterīdijs 274, 275, 276, 281
antibiotikas 231
antipodi 288
antropoīdi 69
aorta 315, 327
apakšlūpa 326
apakšstilba kauls 346
apakšžoklis 326, 346
apaugļošanās 242, 244, 273, 275, 276, 281, 282, 283, 285, 287, 288, 299
apkakle 334
apmatojums 349
appute 288
apputeksnēšanās 282, 283, 289
aprites ātrums 155, 157
āpsis, Amerikas (*Taxidea taxus*) 123
apspalvojums 347
ara, zildzeltenā (*Ara ararauna*) 173
arhegonijs 274, 275, 276, 281, 283, 287
arheji 49, 237
arktiskā tundra 167, 169
Arnolds Stīvens 86
artērija 323
asimetrija 294
asinis 341, 342
  arteriālas 341
  sajauktas 341
  venozas 341
asinsrites loki 341
asinsrites sistēma 314, 316, 323, 337
  slēgta 316, 337
  vaļēja 314, 323
asinsvads 319
askokarps, sk. augļķermenis
asks 262, 263
askusēnes (*Ascomycota*) 262–263
askusporas 262, 263
aste 334, 335
astes spura 335
atmosfēra 43, 146, 162,191, 192, 193, 194, 196
atriālais dobums 335
atripora 335
attīstītās valstis 117, 118, 119
atvārsnīte 276
atvilcējmuskulis 315
audu attīstības līmenis 294, 295
augēdāji 147, 148, 151
augi 271–292
  bez vadaudiem 273–276
  daudzgadīgi 285
  vaskulārie 276–289
  viengadīgi 285
auglenīca 283, 286, 288
auglis 286, 288, 289
augļķermenis 263, 264, 265
augļlapa 286
augsnes erozija 200
augsnes tipi 168
augšdelma kauls 346
augšlūpa 326
augšstilbs 340
augšžoklis 326
augu valsts (*Plantae*) 220, 221
aukstasiņu dzīvnieki 340
aurēlija (*Aurelia*) 299
australopiteks 72, 73, 74
Australopithecus afarensis (Lūsija) 72
autotrofs 45, 147, 148, 150, 272, 294

B

baktērijas 227, 231–237
  autotrofās 234
  ciānbaktērijas 155, 235
  denitrificējošās 155
  gramnegatīvas 235
  grampozitīvas 235
  hemosintezējošās 234
  heterotrofās 234
  lodveida 235
  nitrificējošās 155, 234
  nūjiņveida 235
  slāpekli fiksējošās 155
  spirillas 235
bakteriofāgi 228, 229
barības vads 315, 317, 319, 345
bārkšspurzivs 339
barošanās ķēdes 150, 151
barošanās tīkli 150–151
  detrīta tipa 150–151
  ganību tipa 150–151
barotājpolipi 301
batiāle 182
batipelagiāle 182
bazālais ķermenītis 232
bazīdija 264, 265
bazīdijsēnes (*Basidiomycota*) 264–265
bazīdijsporas 264, 265
bedrgalvčūska, rietumu (*Crotalus atrox*) 10
bedrgalvčūskas 344
Beits H. 133
bentāle 179, 182, 183
Bertholds Pīters 86
bezgalvaskausaiņi 335
bezmugurkaulnieki 51, 294
bezzobe (*Anodonta*) 315
bezžokļaiņi 336, 337
Bīlers Brūss 90
binārā sistēma 210
biocenoze 102, 124, 125, 127, 138, 139, 140, 146
biocenozes stabilitāte 140
bioģeogrāfija 8, 9
bioģeogrāfiskie reģioni 11
bioģeoķīmiskie cikli 152–158
  gāzveida 152
  nosēdumu 152
bioloģiskā daudzveidība 191, 201, 202, 203
bioloģiskā uzkrāšanās 198
bioloģiskais pulkstenis 93, 95
bioma 166, 167, 169–184
  sauszemes 169–176
  ūdens 177–184
biosfēra 102, 146, 161–184, 191
biosintēze 229
biotiskais potenciāls 105, 107
biotops 102, 127
bizons, Amerikas (*Bison bison*) 175
blastomērs 312
blastopora 312, 313
blastostils 301
blastula 301
Bordžijs Džeralds 90
Borrelia burgdorfei 134
botulisms 233
briedis, baltastes (*Odocoileus virginianus*) 349
briofīti 272, 273, 275, 287
brūnaļģes 245, 302
brūnaļģes (*Phaeophyta*) 245
bruņnesis, milzu (*Glyptodon*) 8

bruņuts (*Lecanium*) 326
bruņvicaiņi (*Dinoflagella*) 246
bruņzivis 338

C

cefalizācija 302, 304, 305, 316, 337
Cehs Tomass 44
celekants 339
celoms 294, 306, 312, 313, 314, 319
centrālais disks 333
cepurīte 264
cerkārijs 304
cērme 307
ciānbaktērijas 155
cikadeja (*Encephalartos humilis*) 284
cikadejas (*Cycadophyta*) 282, 284
cilvēkpērtiķi 69, 70
cista 307
citoplazma 244, 248, 249
citronhaizivs (*Negaprion brevirostris*) 199

Č

čaparals 174
čaula 314, 315, 317, 325, 345, 347
čaumala 342
četrkājaiņi 340–349
čiekurs 282, 283, 284, 287
čūskas 10, 86, 343, 344
bedrgalvčūska, rietumu (*Crotalus atrox*) 10
bedrgalvčūskas 344
Thamnophis elegans 86
čūskaste 332

D

dabas aizsardzības bioloģija 203
daiva 281
daivspurzivis 336, 339, 340
Darvins Čārlzs 4, 7, 8, 9, 106
Darvins Erasms 5
dēdēšana 7
definitīvais saimnieks 305
dējeklis 327
dēle, medicīnas (*Hirudo medicinalis*) 320
demogrāfiskais pārejas periods 117
denitrificējošās baktērijas 155, 156
denitrifikācija 155, 156
desmitkājvēži 323
destruktori 147, 149, 157
detritofāgi 147, 148, 149
detrīts 147, 149,157
dibinātāja efekts 27
dīglis 273, 282, 283, 287, 288
dīgļlapa 294, 295, 298, 302, 308
dīgstobrs 283, 288
dīgsts 282
dikarions 259, 264, 265
dinozauri 54, 342
diploīds 242, 244, 273, 275, 281, 283, 287
divdīgļlapji 213, 286
divējādi elpojošās zivis 339
diverģence 61
divkāršā apaugļošanās 289
divkāršošanās laiks 117
divpusēja (bilaterālā) simetrija 294, 298, 302, 303
DNS 17, 25, 44, 45, 71, 226, 227, 229, 230, 232, 233, 237
DNS–DNS hibridizācija 215
drīksna 286, 288
drostalošanās 312, 313, 332
radiālā 312, 313
spirāliskā 312, 313
dūnspalvas 347
dzegužkurpīte (*Cypripedium reginae*) 271
dzelkņi 300
dzelksnīši 300
dzelonis 322
dzeltenuma maiss 342
dzeltenumdziedzeris 303
dzeļkapsula 298, 300
dzeļpavediens 300
dzeļšūna 298, 300
dziedzeris 315, 316, 317, 323, 324, 327, 333, 339, 344, 345, 347, 349
antenālais 323
dzimumdziedzeris 315, 316, 333, 339, 345
gļotu 317
gremošanas 333
hermafrodītiskais 317
indes 324, 344
piena 347, 349
sānu 323
siekalu 317, 327
dziedzeršūna 298, 300
dziļūdens zona 182, 183
dzimumatvere 303
dzimumizlase 90, 92
dzimumšūna 294
dzīves cikls 252, 275, 281, 283, 287, 288, 289
papardes 281
priedes 283
protistu 252
salīdzinājums 287
sūnas 275
ziedaugu 288, 289
dzīvie izrakteņi 60
dzīvnieku valsts (*Animalia*) 220, 221

E

eiforbija (*Euphorbia*) 215
eiglēna (*Euglena*) 247
eiglēnaļģes (*Euglenophyta*) 246, 247
eikarioti 50, 220, 221, 233, 242, 258
eitrofikācija 156, 178, 197
ejkāja 322, 323, 324
ekoloģija 102
ekoloģiskā niša 127, 129
ekoloģiskā specializēšanās 128
ekoloģiskā sukcesija 138, 139
ekoloģiskā valence 125
ekoloģiskās piramīdas 151, 152
apgriestās 151
biomasas 151
enerģijas 152
lieluma 151
ekosistēma 102, 146, 147, 149, 194, 203
ekosistēmas biotiskie komponenti 146, 147
eksoskelets 321, 327
eksponenciālā augšana 105, 106, 107, 110, 117, 118
ekstremitātes 337, 339, 345
ektoderma 294, 298, 306
Eldredžs Nails 61
elefantiāze 308
elkoņa kauls 340, 346
elpatvere 327
elpošanas orgāni 321
elpošanas sistēma 323, 327
embrijs 342
embrioloģija 16
endosimbioze 246
endosimbiozes teorija 50
endoskelets 332, 333, 337
endosperma 288
endospora 233
enerģijas plūsma 148–149, 150
enerģijas resursi 191
enterocelomisks 313
enteroceloms 312
entoderma 294, 298, 306
epifīti 172, 279
epilimnions 178
epipelagiāle 182, 183
epitēlija muskuļšūna 300
ērce 134
briežu (*Ixodes dammini*) 134
suņu (*Ixodes ricimus*) 134
ērglis, baltgalvas (*Haliacetus leucocephalus*) 346
ērgļpaparde (*Pteridium aquilinum*) 280
estuāri 149, 180
evolūcija 5, 17, 24, 45, 66, 68, 72, 215
dzīvnieku 66
mozaīkveida 72
paralēlā 215
primātu 68
evolūcijas koks 295, 336, 343
dzīvnieku valsts 295
hordaiņu 336
ezers 149, 178
eitrofs 178
oligotrofs 178

F

fagocitoze 248
fāgs 229
fenogramma 218
fenotips 22, 23, 24
feromoni 94
filētiskais graduālisms 61
filoģenētiskais koks 214, 216, 217
filoģenēze 212, 214, 217, 218
finna 305
fitoplanktons 147, 152, 179, 183, 242, 248
fizālija (*Physalia*) 299
floēma 276
Fokss Sidnejs 44, 45
forele, varavīksnes (*Salmo gairdneri*) 177
fosfora aprite 156–157, 158
fosilais kurināmais 191, 277
fosilijas 6, 7, 14, 46, 47, 216
fotoreceptors 247, 321
fotosintēze 49, 234, 235, 237, 272, 274, 278, 279, 282
fototrofi 147
Frišs Karls 95
fukuss (*Fucus*) 245

G

gaisa cirkulācija 162–163
gaisa kamera 342
gaisa maisi 327, 347
galazarna 315, 327, 333
galva 327
galvaskauss 338, 346
galvkāji 316
galvkrūtis 322, 323
gameta 242, 244, 273, 294
gametangijs 260, 273, 275
gametofīts 244, 272, 273, 274, 275, 276, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 285, 287
ganglijs 315, 317, 319, 327
Gauze G. 128, 130
Gauzes princips, sk. konkurentās izslēgšanas princips
Geldzecers Helmonts 59
genofonds 23, 24, 25
genotips 22, 30
gēnu dreifs 26
gēnu plūsma 26, 32
gepards (*Acinonyx jubatus*) 175
Giljers M. 96
gimnospermi, sk. kailsēkļi
ginki (*Ginkgophyta*) 282, 284
ginks, divdaivu (*Ginkgo biloba*) 284
gliemene 317
gliemji 312, 313, 314–317, 325
Glisons H. 125
gļotsēnes 253, 254
gnetofīti (*Gnetophyta*) 282, 284, 285
gnu (*Conochaetes sp.*) 175
Golds Stefens Dž. 61
Golfa straume 164
Gondvana 56, 59
Grams Hanss Kristians 235
grauzēji 348
Gredvels Dž. 112
gredzens 264, 281
gremošanas dobums 298, 299, 300
gripas vīruss 227
guano 164
guza 317, 319, 327

Ģ

ģeoloģiskā laika skala 48, 278

H

Habijs Dž. 25
haizivis 199, 338
halofili 238
Hamiltons Viljams 96
haploīds 242, 244, 273, 275, 281, 283, 287
Hārdija–Veinberga vienādojums 23, 24
Hārdijs G. 23
Hausfaters, Glens 91
Heilmens Džeks 88
Hekelis Ernsts 102, 220
Helbigs Andreass 86
helicera 322
helicerāti 321, 322
hemocels 324, 327
hemolimfa 324, 327
hemosintēze 234
hemosintezējošās baktērijas 149
hemotrofi 147
Henings Vilijs 218
Henslovs Džons 7
hermafrodīts 303, 304, 317, 319, 320
Hess Ekherts 89
heterogametas 243
heterotrofi 45, 147, 148, 150, 246, 253, 254, 258, 294, 296
Hetons Džeimss 7
hidra 300, 301
hidromedūza 301
hidrosfēra 146, 162, 164, 192, 193
hidroskelets 306, 312
hidrotermālie avoti 183
hierarhija 91, 111
hifa 258, 259, 260, 262, 267, 268
  daudzšūnu (septu) 259
  vienšūnas (bezseptas) 259, 260
hipolimnions 178
hitīns 321
hitons (*Tonicella*) 314
HIV 228
hlamidomona (*Chlamydomona*) 242, 243
hlorofils 242, 243, 246, 247
hloroplasts 242, 243, 244, 246, 247
hoanocīts 296
holozoiski vienšūņi 248, 252
hominīdi 71, 72
hominoīdi 69, 71
Homo erectus 76, 79
Homo habilis 75, 76, 79
Homo sapiens 77, 78
homonīds (*Australopitecus africanus*) 65
hordaiņi 312, 313, 332, 334, 335, 336
horijs 342
hromosoma 233
Humbolta (Peru) straume 164
humuss 146, 168

I

iegaumēšana 89
iegurnis 340
iegūto pazīmju iedzimšana 6
iekšējais skelets 316
iekšējie orgāni 314, 315, 316, 317
ievadpora 297
ievadsifons 315, 335
imigrācijas koeficients 126
impala (*Aepyceros melampus*) 214
inbrīdings 26
indeszobs 344
indrs, cekulainais (*Propithecus verreauxi*) 173
industrializācija 190, 191, 192
integuments 282, 283, 288
irbulis 286, 288
Ivanovskis Dimitrijs 226
izdzīvotība 108
izlase 10, 13, 22, 25, 28, 29, 30, 35
  dabiskā 10, 13 , 22, 25, 30, 35
  mākslīgā 13
  pārtrauktā 28, 30
  stabilizējošā 28, 30
  virzošā 28, 29, 30
izmiršana 58, 59
izogametas 242, 243, 244
izogāmija 243
izvadpora 297, 303, 307, 323
izvadsifons 315, 335
izzušanas koeficients 126

J

Jakobsona orgāns 343
jātnieciņš (*Cratichneumon*) 112
jostiņa 319
jūrasezis (*Strongylocentrotus*) 333
jūraseži 332, 333
jūrasgurķi 332, 333
jūrasgurķis (*Pseudocochirus*) 333
jūraslilija 332
jūraszāles, sk. brūnaļģes
jūraszīles 129
  lielās (*Balanus balanoides*) 129
  mazās (*Chthamalus stellatus*) 129
jūraszvaigzne (*Pisaster ochracheous*) 141
jūraszvaigznes (*Mediastar*) 333, 334

K

K tipa izlase 114
kailsēkļi 53, 272, 282–285
  cikadejas (*Cycadophyta*) 282, 284
  ginki (*Ginkgofita*) 282, 284
  gnetofīti (*Gnetophyta*) 282, 284, 285
  skujkoki (*Pinophyta*) 282, 283, 285
kailžaungliemezis, jūras (*Aplysia*) 87
kailžaungliemeži (*Flabellina*) 314
Kairns–Smits Grahams 44
kāja 314, 315, 317, 325
kalmārs (*Logio*) 316, 317
kalnu zona 166
kambaris 341
kāpelētājputns, zaļais (*Phoeniculus purpurens*) 97
kāpelētājvarde (*Dendrobates reticulatus*) 173
kapsīda 226, 227, 228, 229, 230
kapsula 232
kāpurmuša (*Cyzenis albicans*) 112, 113
karapakss 322, 323
karpa (*Cyprinus carpio*) 177
Karrs Džeralds 36
Kasners Dž. 116
kāši 305
katastrofisms 6
kātiņš 264, 286, 288
kaulene (*Lithobius*) 324
kaulzivis 338, 339
kauslapa 286
kaussēne agrene (*Sarcoscypha*) 262
Kivjē Žoržs 6
klabeklis 344
kladogramma 218
kladogrammas veidošana 219
kladoģenēze 214
klasifikācija 209–224, 272, 296, 313, 332
klaunzivs (*Premnas biaculeztus*) 136
Klementss F. 125, 139
Kletons–Broks T. 92, 96
klimaksa biocenoze 139
klimats 162–163, 165, 166, 167 192,193
kloāka 307, 341, 345
kloākaiņi 347
koala (*Phascolarctos*) 348
kodoliņš 247, 248
kodols 243, 244, 247, 248, 258, 262, 264, 288, 300
koevolūcija 135
kohorta 108, 109
koijots (*Canis latrans*) 123
kolonija 242, 300, 301
komensālisms 127, 135, 136, 137, 234
Konels Dž. 129
konīdijsporas 263, 267
konjugācija 233, 244
konkurence 91, 92, 110, 127, 128, 129, 140, 141
  starpsugu 128, 129
  tēviņu 91, 92
konkurentās izslēgšanas princips 128
konsumenti 147, 157
kontinentālā nogāze 182
kontinentālais šelfs 182
kontinentu dreifs 56
kontūrspalvas 347
konverģence 215
kopējais sencis 212
kopulācijas orgāns 303, 317
kopulācijas soma 303
koraļļčūska (*Micrurus fulvius*) 344
koraļļi 299
kosas (*Equisetophyta*) 278, 279
kramaļģe (*Campylodiscus hibernicus*) 241
kramaļģes (*Chrysophyta*) 246
kraukļa kauls 346
kromaņonietis 78, 79
krūmāji 166, 174
krupis, zeltainais (*Bufo periglenses*) 209
krūškurvis 342, 345
krūšu kauls 346
krūtis 327
ktenofors 298
kuģītis (*Nautilus*) 314
kukaiņi 327
kūniņa 327
kunģis 315, 317, 319, 323, 327, 333, 339, 345
kutikula 272, 307
ķauķi, melngalvas (*Sylvia atricapilla*) 86
ķenguržurka (*Dipodomys spectabilis*) 176
ķermeņa dobums 308
ķērpji 237, 267, 268
  krevu 267, 268
  krūmu (*Cladonia*) 267
  lapu (*Xanthoparmelia*) 267
ķīmiskā evolūcija 43
ķīmiskās pārmaiņas 194

L

lāčpurns (*Morchella*) 262
Laima slimība 134
lakstaugi 285
Lamarks Žans Batists 6
laminārija (*Laminaria*) 245
lancetnieks (*Branchiostoma*) 335
lapas 279, 282
lapeņputns (*Ptilonorhynchus violaceus*) 87
lapiņa 264
laponis 274
lapotne 172
lapu sūnas 273, 274, 275, 276
latents 229
Laurāzija 56
lēca 321
Leklerks Žoržs Luijs (grāfs Bifons) 5
lenteņi 305
Levontins R. 25
līdaka (*Esox lucius*) 179
līdzsvarota pasaule 119
līdzsvars 126
lielakauls 340
Ligons Deivids 97
Ligons Sandra 97
Līkija Mērija 72
Līkijs Luijs 72
limitējošie faktori 103
Linnejs Kārlis 5, 210, 211
liposoma 44
lītiskais cikls 228, 229
litorāle 179, 181, 182
litosfēra 146, 162, 192, 192

lizogēnais cikls 229
loģiskā augšana, sk. sigmoidālā augšana
Lorencs Konrāds 89
ložņzalktis, pelēkais (*Elaphe obsoleta*) 25
lūsis, Kanādas (*Lynx canadensis*) 131

M

mācīšanās 88
mainība 22, 31
maizes pelējums, melnais (*Rhizopus stolonifer*) 261
Makarturs R. 126, 141
makroevolūcija 60
makromolekulas 44
makronuklejs 249, 250
maksila 324, 326
maksts 327
makšķerniekzivs, Amerikas (*Lophius americanus*) 132
malārija 29, 31
Malpīgija vadi 327
Maltuss Tomass 10
mandibula 324, 326
mangrovju dumbrāji 180
mantija 146, 314, 315, 316, 317
manukodija (*Manucodia keraudrenit*) 96
māņkājiņas 248
maršancija (*Marchantia*) 274
maskēšanās 132, 133
mati 347
mazattīstītās valstis 117, 118, 119
mazsartārpi 319
medusbite (*Apis mellifera*) 95
medūza 298, 299, 301
megafili 280
megagametofīta attīstība 289
megagametofīts 276, 282, 283, 287, 288
megaspora 282, 283, 287, 288
megasporangijs 282, 283, 287, 288
megasporocīts 283, 288
mejoze 242, 244, 253, 254, 259, 260, 261, 264, 273, 275, 281, 283, 287, 288, 294
mēle 345
mēles dobums 344
melnā atraitne (*Latrodectus*) 322
melnie graudi (*Claviceps purpurea*) 266
melnplauka, kukurūzas (*Ustilago*) 265
melnzeme 168
Mērlers Pīters 89
metalimnions 178
metamorfoze 321, 327, 332, 334, 341
  nepilnīga 327
  pilnīga 327
metanoģenēze 238
mezentērijs 306
mezgls 279
mezoderma 294, 298, 306, 312
mezogleja 298, 299, 300
mezopelagiāle 182
mezosfēra 146
mezosoma 232
meži 149, 166, 167, 168, 170–173
  mērenie mūžzaļie 166
  mērenie platlapju 166, 167
  mitrie tropiskie 149
  platlapju 149, 171
  skujkoku 167, 170
mežu samazināšanās 200
micēlijs 258, 259, 260, 261, 264
migrācijas nemiers 86
mikoriza 268
  ektomikoriza 268
  endomikoriza 268
mikroevolūcija 24, 60
mikrofils 279
mikrogametofīta attīstība 289
mikrogametofīts 276, 282, 283, 287, 288
mikrolodītes 44
mikronuklejs 249, 250
mikrospora 282, 283, 286, 287, 288
mikrosporangijs 283, 284, 286, 287, 288
mikrosporocīts 283, 288
miksīnas 337
Millers F. 133
Millers Stenlijs 43
milzskorpions, Kenijas (*Pandinus*) 322
mīmikrija 133
  Beitsa 133
  Millera 133
mirgojošās liesmas šūna 303
mītila (*Mytilus edulis*) 180
mitohondrijs 248
mitoze 288
mitrie tropiskie meži 149, 166, 172
molekulārais pulkstenis 71, 215
Mollers Enderss 90
monēri (*Monera*) 220, 221
monokarions 264
muguras nervu caurule 334
muguras nervu stiegra 335
muguras stiegra, sk. notohorda
mugurkaulnieki 52, 316, 337
mugurkauls 337, 339, 345, 347
muskulatūra 302
muskuļi 319, 339
muskuļšķiedras 300
muskuļu slānis 307
musoni 165
muša (*Musca*) 326
mušmire, zaļā (*Amanita phaloides*) 266
mutācijas 22, 25, 28, 228, 233, 243
  gēnu 22, 25
  hromosomu 22
mute 299, 300, 303, 307, 312, 313, 315, 319, 323, 325, 327, 335
mutes orgāni 322, 326 , 327
  grauzējtipa 326, 327
  laizītājtipa 326
  sūcējtipa 326
mutes rieva 249
mutuālisms 127, 135, 136, 137, 234, 258, 299
mūžīgais sasalums 169

N

nāss 339, 345
neandertālietis 78
nefrīdijs 319
nēģi 337
nemertīntārpi 302
nepārnadži 349
nepilnīgi pazīstamās sēnes (*Deuteromycota*) 267
neritiskā zona 182, 183
nervu ganglijs 327
nervu mezgls 302
nervu pinums 300
nervu sistēma 316, 321
nervu stiegra 303, 307, 319, 323
nervu šūna 300
nervu tīkls 298
nieres 315, 316, 339, 342, 345
nīlzirgi (*Hippopotamus amphibius*) 331
nimfa 322, 327
nitrificējošās baktērijas 155, 156
nitrifikācija 155, 156
nogulsnēšanās 47
nogulumi 7
nogulumieži 7
nokrišņi 166
notekūdeņi 197, 198
notohorda 334, 335
novilkšanās 321, 342

O

obēlija 301
ocelots (*Felis pardalis*) 173
ods, malārija (*Anopheles*) 29
oglekļa aprite 154
ogļhidrātu granulas 247
okeāna straumes 164
okeāni 182
ola 305, 342, 345, 347
olbaltums 342
olnīca 303, 319, 327
olšūna 245, 273, 275, 281, 282, 287, 288, 294, 297, 298, 299, 301
olvads 327
omatīdija 321
oogāmija 243, 244
oogāms 273
Oparins Aleksandrs 43, 44, 45
opuncija (*Opuntia*) 215
orgānu attīstības līmenis 294, 295, 302
orikss (*Oryx gazella*) 214
ortogons 302
otrmutnieki 312, 313, 325
ozolpaparde (*Dryopteris*) 281
ozona apvalks 49
ozona caurums 196
ozona slānis 146, 196
ozons 195, 196

P

paaudžu maiņa 273
paleontoloģija 6, 47
pamežs 172
Pangeja 56, 59, 282
papardes (*Pteridophyta*) 278, 280
paradīzes putns (*Paradisaea raggiana*) 90
paragastrālais dobums 297
parastais kalots (*Calotes calotes*) 173
parazītisms 110, 127, 134, 135, 136, 137, 234
parazīts 134, 228, 248, 258, 265, 302, 304, 305, 307, 308, 320, 322, 337
pārnadži 349
pārošanās 26
  asortatīvā 26
  nerandomizētā 26
pārtrauktais līdzsvars 61
pasāti 163
pasaules uzskats 5
Pastērs Luijs 226, 231
paviāns (*Papio anubis*) 91
pazīme 213, 214
  atvasināta 214
  primitīva 214
pazīmju novirzes 128
pedālais ganglijs 317
pedipalps 322
Peins R. 140
pelagiāle 179, 182
peldpūslis 339
pelējumsēnes (*Penicillium*) 267
pellikula 247, 249, 250
Penneta režģis 23
peptidoglikēns 232
Pērls R. 106
peroksiacetilnitrāts 195
piekraste 180
piekrastes brīzes 165
pielāgošanās 2, 10, 97
piesārņojums 158
piesārņotāji 191, 197, 198
  gaisa 191
ūdens 197, 198
piesūceknis 305, 316
pigmentšūnas 321
pīle, meža (*Anas platyrhynchos*) 212
piloriskie piedēkļi 323, 327
piltuve 316
pīļknābis (*Ornithorhynchus anatinus*) 347, 348
pioniersugas 138
pirenoīds 242, 244, 246, 247
pirmmutnieki 312, 313, 325
pirmzīdītāji 347
placenta 348
placentāļi 348
plakantārpi 301, 302, 303, 306, 308
planārija 302, 305
planktons 179, 242
planula 299, 301
plātņu tektonika 57
Platons 5
plaušas 340, 341, 342, 345
plaušgliemezis 317

plaušu kapilāri 341
plaušu lapiņas 322
plazmatiskā membrāna 232, 237, 248
plazmīda 232
plazmodijs, malārijas (*Plasmodium vivax*) 29, 251
plazmodijveida gļotsēnes 260
pleca kauls 340
plecs 340
plēsēji 349
plēsonība 110, 127, 130, 131, 140, 141
plēsoņa 130, 147, 148, 151, 152
plīvurs 281
plūdmaiņas zona 181
pludmale 181
podzolētā augsne 168
polārie ledāji 166
polips 298, 299, 301
populācija 22, 102
populācija, cilvēku 190, 191
populācijas blīvums 103, 110, 130
populācijas lielums 104, 111, 114, 117
populācijas pieauguma koeficients (r) 104
portugāļu kuģītis, sk. fizālija 299
posmkāji 312, 313, 321
posmojums 312
posmtārpi 312, 313
prērija 174, 175, 149
  garzāles 174
  īszāles 174
priekškambaris 341
primārais ķermeņa dobums 295, 306, 307
primāti 66, 67, 348
probentāle 179
producenti 147, 151, 157
produktivitāte 148, 149, 150
  primārā 148, 149, 150
  sekundārā 148, 149
profāgs 229
proglotīds 305
prokarioti 220, 221, 233
protallijs 281
protenoīdi 44
protisti 241–256, 260
protonēma 274, 275
protošūna 44, 45
protozoji 248, 249, 250
  sakņkāji 248, 249
  skropstaiņi 248, 249, 250
  sporaiņi 248
  vairošanās 248
  zoovicaiņi 248, 250
pseidoceloms 295, 306
psiloti (*Psilotophyta*) 278
pudeles kakla efekts 27
pumpurošanās 229, 259, 299, 301
pushordaiņi 334
puspērtiķi 67
pustuksneši 166
putekšnīca 286, 288
putekšņi 282, 283, 285, 286, 287, 288
putekšņlapa 286, 288
putekšņmaciņš 288
putni 336, 343, 347

R

R tipa izlase 114
rabdoms 321
radiālais kanāls 333
radzene 321
raganu riņķis 264
raggliemezis (*Nucella lapillus*) 180
ragvācelītes 273
raibenis (*Anartia amalthea linnaeus*) 173
rāpuļi 53, 336, 342–345
raugs, maizes (*Saccharomyces cerevisiae*) 263
redzes nervs 321
reģenerācija 297
Reiaps Deivids 58
Reijs Džons 210, 212
reproduktīvā izolācija 32, 33, 34
reproduktīvais potenciāls, sk. biotiskais potenciāls
retrovīrusa vairošanās 230
retrovīruss 230
reversā transkriptāze 45
rezerves barības vielas 282, 283
ribas 346
ribosoma 232
riests 90
rīkle 249, 303, 307, 319, 335
rīkles žaunu spraugas 334
rīnijas (*Rhynia*) 278
rīvīte 314, 317
rizoīds 274, 275, 278, 261, 281
rizoms, sk. saknenis
RNS 44, 45, 227, 228, 229, 230, 237, 266
roņi 349
rūsa, kviešu (*Puccinia*) 265

S

saimnieks 134
sakne 276, 281
saknenis 278, 279, 280, 281
sakņkāji 248, 249
saldlūpe, plankumainā (*Plectorhincus chaetodontoides*) 137
salu bioģeogrāfija 126
sānu līnija 339
saprofīti 248
saprotrofi 234, 253, 254, 258
sariņš 319
sarkanzeme 168
sārtaļģes (*Rhodophyta*) 247, 260
sastats 279
savannas 166, 174, 175
sazināšanās 94, 95
  ar skaņām 94
  taktilā 95
  vizuālā 95
sedimentācija sk. nogulsnēšanās
sēdoši organismi 297
Sedžviks Adams 7
segmenti 295
segsēkļi 53, 272, 285, 289
sēkla 276, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289
sēklaizmetnis 282, 283, 285, 286, 288
sēklaizmetņa apvalks 282, 283, 288
sēklapvalks 282, 283, 288
sēklas izsviedējkanāls 307
sēklas maisiņš 319
sēklas pūslītis 307
sēklas uztvērējs 319, 327
sēklas veidošanās 289
sēklaugi 276, 282, 287
sēklinieks 303, 307, 323
sēklotne 286, 288
sēklvada atvere 323
sēklvads 303, 307, 319, 323
selaginellas (*Selaginella*) 279
sēnes (*Fungi*) 220, 221, 257–270
  askusēnes (*Ascomycota*) 262–263
  bazīdijsēnes (*Basidiomycota*) 264–265
  nepilnīgi pazīstamās (*Deuteromycota*) 267
  zigomicētes (*Zygomycota*) 260
sēņotne, sk. micēlijs
Sepkoskis Džons 58
septa 319
sēžas kauls 346
sfagni (*Sphagnum*) 276
sienāzis (*Panacanthus cuspidatus*) 173
sietiņplātnīte 333
sigmoidālā augšana 106, 107, 110, 114
sikspārņi 348
siltasiņu dzīvnieki 347, 349
siltumnīcas efekts 158, 192, 193
simbiotiskas attiecības 127, 135, 136, 137, 234
simbioze 250, 258, 267
simetrija 294, 295, 298, 301, 302, 303, 308, 332, 334
  asimetrija 294
  divpusējā (bilaterālā) 294, 298, 302, 303
  starainā (radiālā) 294, 298, 301, 332, 334
simtkāji 324
sinergīdas 288
sirds 315, 317, 319, 323, 327, 339, 340, 342, 345, 347
sirds somiņa 314, 315, 323
sirpjveida anēmija 31
sisenis (*Romalea*) 326
skābais lietus 194, 196
skaitliskā fenētika 218
skarene, maura (*Poa annua*) 108
skarpaparde (*Osmunda regalis*) 280
Skiners B. 89
skolekss 305
skrējējdzeguze, Kalifornijas (*Geococcyx californianus*) 176
skrimšļzivis 336, 338, 339
skropstainis (*Didinium nasutum*) 130
skropstaiņi 248, 249, 250
skropstiņas 249, 303
skudras (*Pseudomyrmex ferruginea*) 136
skujkoki (*Pinophyta*) 282, 283, 285
slāpekli fiksējošās baktērijas 155, 156
slāpekļa aprite 147, 155–156, 158
slāpekļa fiksācija 156, 234
slēdzējmuskulis 315
slieka 319, 320
smadzenes 307, 323, 327, 339, 345, 349
smadzeņu ganglijs 302, 303, 317, 319
smecernieks (*Chlioropholus*) 326
smējējkaija (*Larus atricilla*) 88
smogs, fotoķīmiskais 195, 196
snuķaiņi 349
snuķis 334
sociālbioloģija 96, 97
somaiņi 348
sora 281
spalvas 347
spāre (*Libellula*) 326
spārni 283, 327, 346, 347
sperma 307
spermatofors 341
spermatozoīds 245, 273, 274, 275, 276, 278, 280, 281, 282, 283, 287, 288, 294, 297, 298, 299,301
spermijs, sk.spermatozoīds
spieķa kauls 340, 346
spīkula 297, 307
spirogīra (*Spirogyra*) 244
Splendings Duglass 89
spora 243, 244, 253, 254, 259, 261, 264, 265, 273, 274, 275, 276, 279, 280, 281, 287
sporaiņi 248
sporangifors 261
sporangijs 253, 261, 273, 274, 278, 279, 281, 287, 286
sporaugi 272, 276, 278
sporocists 304
sporofīli 282, 286
sporofīts 244, 274, 273, 275, 276, 280, 281, 282, 283, 287, 288
sporu vācelīte 275
sprīžmetis, bērzu (*Biston betularia*) 28
sprīžmetis, mazais salnas (*Operophtera brumata*) 110, 112, 113
spura 316, 335, 336, 339
staipekņi (*Lycopodophyta*) 274, 275, 278, 279
staltbriedis (*Cervus elpahus*) 92, 214
starainā (radiālā) simetrija 294, 298, 301, 332, 334
starpsaimnieks 305, 308
starpsugu konkurence 128, 129
stars 333
starspurzivis 336, 338, 339
Stenlijs Stīvens 61, 74
stentors (*Stentor*) 249, 250
stepes 166
sterilizācija 233
stigma 242, 247, 327
stilonihija (Stylonychia) 249
stobriņš 264

stolons 261
stratosfēra 146
strautene (*Plecoptera sp.*) 177
strobils 279
struktūras
  analogas 215
  homologas 16, 215
  rudimentārs 16
stublājs 279
stumbrs 276
sublitorāle 182
sūcējtārpi 304
suga 212, 213
sugu veidošanās 32–35
  adaptīvā radiācija 35, 36
  allopatriskā 34
  simpatriskā 34
sūklis 296, 297, 308
suns (*Canis familiaris*) 12
svešappute 289

Š

šitosomatoze 304
šizocelomisks 313
šizoceloms 312
šūnapvalks 232, 237, 243, 244, 245, 246, 258
šūnsula 232

T

T bakterofāgs 226
tabakas mozaīkas vīruss 227
tagmas 321
taiga 166, 170
taisnā zarna 317
taksonomija 210, 211
taksons 212
Talbots F. 125
tausteklis 299, 300, 302, 316, 317, 327, 335
teguments 304
telsons 322
teritoriālā struktūra 103
teritorialitāte 92, 111
termālā inversija 195
termodinamikas likumi 148
termoreceptorā bedrīte 344
termosfēra 146
tiflozols 319
tīklene 321
tilakoīds 237
timpanālais orgāns 327, 328
tintes maiss 316
tīrītājzivs (*Labroides dimidiatus*) 137
toksoplazma (*Toxoplasma gondii*) 251
traheāti 321, 324–328
traheja 321, 327, 345
transdukcija 233
transformācija 233
transkiptāze, reversā 230
trihinella 307
trihinelloze 307
trihocistas 249
tripanosoma (*Trypanosoma brucei*) 250
trofiskais līmenis 151
tropiskie meži 172–173
troposfēra 146, 193
tubastreja (*Tubastreja*) 299
tuksneši 149, 166, 176
tuksnešu veidošanās 200
tūkstoškājis (*Sigmoria*) 324
tundra 149, 166, 169
tunika 335
tunikāti (*Halocynthia*) 335
tupelītes (*Paramecium*) 128, 130, 249
tvērējtausteklis 316

U

ūdens aprite 153
ūdens vertikālā sajaukšanās 178–179
ūdensblusas (*Daphnia*) 25
ūdenskanālu sistēma 334
ūdensmērītājs (*Gerris sp.*) 179
ulva (*Ulva*) 244, 273
upuris 130
uzkrājējgranula 237
uztveres periods 89
uzvedība 86, 87
uzvedības evolūcija 90–92
uzvedības stimulēšana 88

V

vāciņš 275
vadaudi 276, 278, 279
vainaglapa 286
vairķermenis 274
vairķermeņu kurvītis 274
vairodži 337
vairošanās 221, 228, 242, 248, 250, 251, 252, 253, 254, 294, 297, 301, 303, 317, 319, 327
  bezdzimumvairošanās 242, 245, 246, 250, 259, 261, 263, 274, 297
  dzimumvairošanās 242, 244, 245, 246, 250, 259, 260, 261, 263, 265, 267, 274, 297
vairošanās efektivitāte, kopējā 96, 97
vakuola 247, 248, 249
  gremošanas 248, 249
  pulsējošā 247, 248, 249
valstis 220, 221
  augi (*Plantae*) 220, 221
  dzīvnieki (*Animalia*) 220, 221
  monēri (*Monera*) 220, 221
  sēnes (*Fungi*) 220, 221
  vienšūņi (*Protista*) 220, 221
vaļi 349
varavīksnene 321
Varlijs Dž. 112
vecumstruktūra 109, 118
vēdekļgliemenes (*Pecten*) 314
vēderkāja 323
vēders 322, 323, 327
Veinbergs V. 23
veltņtārpi 306, 307, 308
velvīčija (*Welwitschia mirabilis*) 284, 285
vica 232, 242, 243, 244, 246, 247, 250, 253, 297
vidējo traucējumu hipotēze 140
vides ekoloģiskā kapacitāte 107, 110, 111, 114
vides iznīcināšana 202, 203
vides pretestība 105
viduklis 334
vidusokeāniskā grēda 57
viduszarna 303, 312, 315, 327
vielu aprite 148–149, 158, 177
viendīgļlapji 213, 286
vienšūņi (*Protista*) 220, 221
vilks (*Canis lupus*) 12
Vilsons E. 126, 141
viļņojošā membrāna 250
vīngliemezis, dārza (*Cepaea hortensis*) 311
virpotāji 306
vīrusi 226–231
vīrusu infekcijas 230, 231
visēdāji 147
Vitakers R. 220
Volless Alfreds Rasels 10, 11, 13
volvokss (*Volvox*) 245

Z

zaķi 8, 131, 349
  Amerikas baltais (*Lepus americanus*) 131
  Patagonijas (*Dilichotis patagonium*) 8
zālāji 166, 174, 175
  prērija 174, 175
  savanna 166, 174, 175
  stepe 166, 174
zālēdāji 175, 342
zaļaļģes (*Chlorophyta*) 242–245
  ar viciņām 243
  daudzšūnu 244
  koloniālās 245
  pavedienveida 244
zari 279
zarkukainis (*Diapheromera*) 326
zarna 307, 317, 319, 339, 345
zarnas aizmetnis 312
zarnas dobums 306
zarndobumaiņi 298, 299, 302, 308
zarnu nūjiņa (*Escherichia coli*) 225, 234, 263
zebra, savannas (*Equus quagga*) 175
zeltactiņa (*Chrysopa*) 326
Zemes garoza 57, 146
zemeszubītes (*Geospiza*) 128
zemsedze 172
zīdītāji 55, 66, 336, 343, 347
ziedaugi 286
ziedgultne 286
ziemeļbriedis (*Rangifer tarandus*) 214
zigomicētes (*Zygomycota*) 260
zigospora 242, 260, 261
zigota 242, 243, 245, 246, 253, 259, 260, 261, 273, 275, 281, 282, 283, 287, 299, 301
zilenītis (*Lycaena*) 326
zīlīte, lielā (*Parus major*) 111
zilonis, Āfrikas (*Loxodonta africana*) 101
zivis 337
zoantārija, dzeltenā (*Parazoanthus garcilis*) 293
zobenaste (*Limulus*) 322
zobi 349
zooflagellāti, sk. zoovicaiņi
zooplanktons 147, 152, 179, 248, 299
zoospora 242, 243, 254
zoovicaiņi 248, 250
zvīņas 337, 338, 339
  kaula 338
  plakoīdas 338
zvirbuļstērste (*Zonotrichia leucophrys*) 89

Ž

žaunas 315, 316, 323, 325, 338, 339
žaunu kapilāri 341
žaunu loki 338
žaunu spraugas 335, 338
žaunu starpsiena 335
žaunu vāki 338, 339
žauņaiņi 321, 323, 324
žirafe (*Giraffa camelopardalis*) 175
žokļaiņi 338

Silvija S. Madera
BIOLOĢIJA
2. DAĻA

Redaktores: **A. Biteniece, I. Kindzule un M. Kusiņa**
Māksl. redaktore **A. Lubgāne**
Tehn. redaktore **I. Klotiņa**
Maketētājs **M. Karelis**
Korektore **K. Laicāne**

Apgāds Zvaigzne ABC, SIA,
K. Valdemāra ielā 105, Rīgā, LV-1013.
Red. nr. B-104.

A/s Preses nams
poligrāfijas grupa Jāņa sēta

OBLIGĀTAIS
EKSEMPLĀRS

7 | ~

LATVIJAS NACIONĀLĀ BIBLIOTĒKA
0301046447

2001-6
L40 II



Par grāmatas autori Silviju Maderu

Silvija Madera ir fizioloģijas zinātņu doktore. Pirms viņa sāka rakstīt mācību grāmatas, viņa strādāja par bioloģijas pasniedzēju. Viņa bija brīnišķīga pasniedzēja, kas savu darbā gūto pieredzi tagad izmanto grāmatu veidošanā. Silvija Madera sadarbojas ar izdevējiem jau 20 gadus un ir uzrakstījusi daudzas grāmatas par cilvēku, viņa anatomiju un fizioloģiju.

Šis ir S. Maderas grāmatas "Bioloģija" sestā izdevuma tulkojums latviešu valodā, kas sagatavots trīs grāmatās. Tās var izmantot skolēni vidusskolas bioloģijas profilkursa apguvei un augstskolu pirmo kursu studenti vispārīgās bioloģijas apguvei.

Pirmajā grāmatā ir aplūkota šūna, šūnas ķīmija, molekulārās bioloģijas pamati un ģenētika.

Otrā grāmata veltīta sistemātikas, evolūcijas un ekoloģijas jautājumiem.

Trešā grāmata raksturo augu, dzīvnieku un cilvēka uzbūvi un dzīvības norises.





ISBN 9984-17-794-7

9 789984 177946

ZVAIGZNE ABC