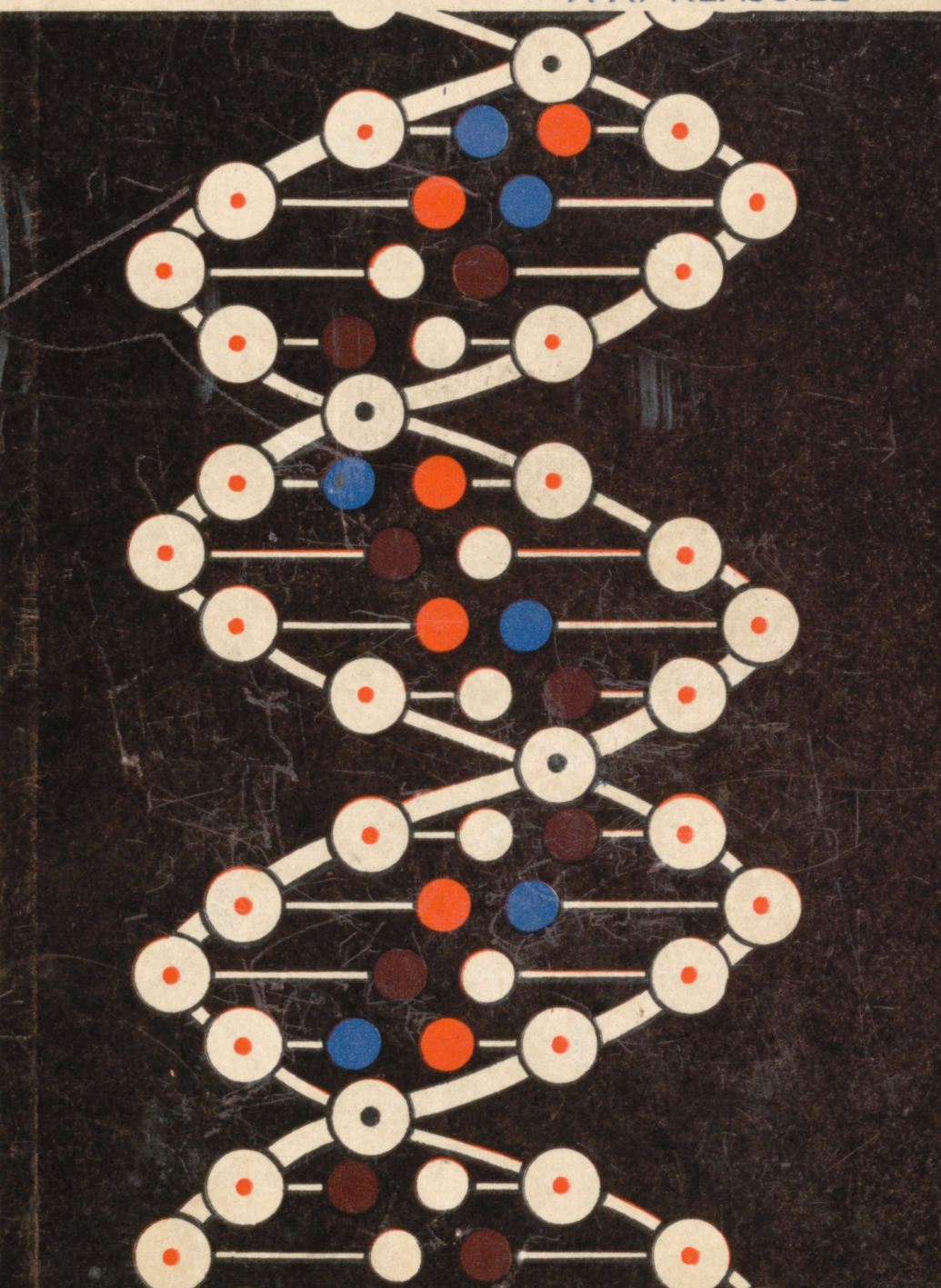
# ÜLDBIOLOOGIA

X-XI KLASSILE



A-33046

# ÜLDBIOLOOGIA

## Õpik X – XI klassile

6. trükk

«VALGUS» · TALLINN 1973

57
Ü 50

Originaali tiitel:

Ю. И. Полянский, А. Д. Браун, М. М. Верзилин, А. С. Данилевский, Л. Н. Жинкин, В. М. Корсунская, К. М. Суханова.
ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ
Учебник для IX и X классов
Под редакцией профессора Ю. А. Полянского
Утвержден Министерством просвещения СССР
Издание 4-е «Просвещение», Москва, 1973.

Kaane kujundanud D. Paalamäe

Vene keelest tõlkinud U. Margna (I—V ptk.), J. Kalam (VI—VII ptk.), T. Orav (VIII—XIV ptk.)

Õpiku on kirjutanud autorite kollektiiv, kus töö jaotus järgmiselt: pedagoogikakandidaat V. Korsunskajalt pärinevad peatükid «Bioloogia üldiseloomustus Darwini-eelsel perioodil», «Ch. Darwini õpetus orgaanilise maailma evolutsioonist», «Orgaanilise maailma evolutsiooni tõendid ja uurimismeetodid», «Orgaanilise maailma arenemine», «Inimese põlvnemine»; bioloogiadoktorite A. Brauni ja K. Suhhanova poolt on kirjutatud «Rakuõpetus»; A. Brauni poolt — «Elu tekkimine ja esialgne arenemine Maal»; prof. L. Žinkini poolt — «Organismide paljunemine ja individuaalne arenemine»; prof. J. Poljanski poolt — «Sissejuhatus» ja «Geneetika ja selektsiooni alused»; prof. A. Danilevskile kuulub peatükk «Organism ja keskkond»; NSVL PTA korrespondentliikmele N. Verzilinile — «Biosfäär ja inimene».

Raamatu üldtoimetaja oli prof. J. Poljanski.

2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
81529

6—6—1

## SISSEJUHATUS

Bioloogia aineks on elusorganismide ja elunähtuste igakülgne uurimine. Botaanikas õppisite tundma taimorganisme — nende ehitust, talitlust, mitmekesisust. Samas kursuses tutvusite ka mikroorganismidega, kes etendavad tähtsat osa looduse ja inimese elus. Zooloogia kursus oli pühendatud loomariigile. Hiljem õppisite tundma inimese keha ehitust ja funktsioone. Kõikide nende bioloogia harude põhialuste tundmine on vajalik meid ümbritseva looduse mõistmiseks. Nad on tähtsad ka inimese praktilises tegevuses, sest taimed ja loomad on põllumajandusliku tootmise objektid. Ilma teadmisteta anatoomiast ja füsioloogiast ei saa areneda arstiteadus, mille ülesandeks on kaitsta inimese tervist ja elu.

Kõik eespool loetletud bioloogia harud uurivad elusorganismide ehituse ja talitluse mitmekesisust. Kuitahes erilaadsed bioloogia poolt uuritavad objektid ja protsessid ka ei oleks, seob neid üks omadus, mis on ühine neile kõigile — elu. Selle poolest erinevad nad oluliselt eluta looduse kehadest — kivimitest, mineraalidest ja muust.

Kuid mis on siis elu? Mille poolest elus erineb elutust? Missugused on need kõige üldisemad ühised omadused, mis on omased kõikidele elusorganismidele?

Vastuse andmine nendele küsimustele ongi üks ülesandeid, millega tegeleb üldbioloogia — teadus, mis uurib elunähtuste põhilisi ja kõikidele organismidele ühiseid seaduspärasusi.

Elu on erakordselt keeruline ja kvalitatiivselt omapärane materiaalse maailma nähtus, millele tema suure mitmekesisuse tõttu ei saa anda lühikest ning samal ajal ammendavat määrangut, nii nagu see on võimalik mõnede elementaarsete matemaatiliste mõistete suhtes. Elu olemusest tuleb meil selles raamatus rääkida korduvalt.

Paljude sajandite vältel pole õpetlased suutnud lahendada «elu mõistatust» ning on jõuetuna jäänud peatuma selle ees. Bioloogia möödunud aegadele on iseloomulik, et elu olemust on

püütud mõista ja defineerida elu mittemateriaalseks tunnistamisest lähtudes. Paljud XVIII ja XIX sajandi teadlased olid arvamusel, et elunähtuste mitmekesisus tuleneb mingi ebamateriaalse, vaimse alge, ehk nagu nad nimetasid — «elujõu» olemasolust organismides. Nende arvates «elujõud» ongi see, mis määrab organismide kõik peamised omadused, eeskätt aga nende ehituse otstarbekohasuse ja nende kohastatuse olelustingimustega. Seda suunda hakati nimetama vitalismiks (*vis vitalis* — elujõud, lad. k.). Oma olemuselt viib vitalism lahtiütlemisele elu tunnetamisest, «elujõud» aga pole midagi muud kui jumalik alge. Ebamateriaalses alges — «elujõus» näevad vitalistid peamist kvalitatiivset erinevust elusa ja elutu vahel. Seega viib vitalism meid elu olemuse idealistlikule käsitusele.

Bioloogia edusammud XIX sajandil ning orgaanilise maailma ajaloolise arenemise seaduse avastamine Ch. Darwini poolt sundisid suurt osa biolooge loobuma vitalismist ning otsima bioloogia põhiprobleemidele lahendust elu materiaalsete aluste tunnetamise kaudu.

Selles raamatus on esitatud üldbioloogia tähtsamad saavutused elu põhiliste seaduste tunnetamisel.

Orgaaniline maailm ei püsi muutumatuna. Loomulike materiaalsete põhjuste tõttu on ta juba alates elu ilmumisest Maale pidevalt edasi arenenud ning see protsess jätkub ka praegu. Orgaanilise maailma ajaloolise arenemise (evolutsiooni) seaduste tunnetamine ongi üks üldbioloogia keskseid, põhilisi ülesandeid.

Hoolimata taime- ja loomariigi ning mikroorganismide tohutust mitmekesisusest iseloomustab neid kõiki nende ehituse ühtsus. See seisneb selles, et peaaegu kõikide organismide ehituse ja arenemise aluseks on bioloogiline struktuuri põhiühik — rakk. Organismide struktuuri ühtsus on üks tähtsamaid üldbioloogilisi seaduspärasusi, mis viitab orgaanilise maailma ühisele päritolule. Raku struktuuri ja talitluse uurimine on üldbioloogia tähtis ülesanne. Erilist huvi raku tundmaõppimisel pakub tema paljunemine, mis tagab elu materiaalse järjepidevuse.

Millisel viisil saab võimalikuks liigi tunnuste kordumine rakkude ja organismide eri põlvkondade pikas reas? Milles seisneb pärilikkusenähtuse mehhanism? Selle tähtsa probleemi lahendamisel on bioloogia edusammud viimasel aastakümnel olnud eriti suured. Teadlastel on õnnestunud avastada molekulaarne mehhanism, millel baseerub rakkude ja organismide võime reprodutseerida endasarnaseid. Seda bioloogia, keemia ja füüsika piirimail asuvat avastust võib oma tähtsuselt ühte ritta asetada füüsika kõige suuremate saavutustega aatomi struktuuri uurimisel.

Iga organism on tihedalt seotud teda ümbritseva keskkonnaga, millest väljaspool ta eksisteerida ei saa. Organismi ja keskkonna vahel toimub pidev aine- ja energiavahetus. Seejuures tuleb organismide juures ilmsiks hämmastav isereguleerimise võime. See

väljendub selles, et organism, kuni ta on elus, säilitab oma ehituse, keemilise koostise, füüsikalised omadused. Nii näiteks on hästi teada, et püsisoojaste loomade kehatemperatuur püsib alati muutumatuna, sõltumata sellest, millised muutused toimuvad ümbritseva keskkonna temperatuuris. Magevees elunevad amööbid säilitavad raku sees püsivatena nende protoplasmale iseloomulikud füüsikalised omadused, soolade koostise ning osmootse rõhu. See ainurakne organism reguleerib aine- ja energiavahetust üsnagi täiuslikult, säilitades oma tervikluse.

Küsimus üksikute rakkude ja terviklike organismide iseregulatsiooni mehhanismidest ongi üks üldbioloogia probleem.

Organismid ei eksisteeri looduses isoleeritult. Nad astuvad niihästi omavahel kui ka neid ümbritseva anorgaanilise keskkonnaga keerulistesse ja mitmekesistesse vahekordadesse. Organismid kuuluvad alati teatud kindlate looduslike komplekside koostisse, millest väljaspool nad ei saa eksisteerida. Niisugused looduslikud kompleksid on näiteks tiik, mets, niit jne. Iga selline kompleks ehk biotsönoos kujuneb välja teatud taime-, looma- ja mikroorganismide liikidest. Ka biotsönooside uurimisega tegeleb üldbioloogia (seda üldbioloogia haru nimetatakse ökoloogiaks).

Meie planeedi seda osa, mis on asustatud organismidega, kutsutakse biosfääriks. Viimasel on suur tähtsus Maa ilme kujundamisel, kivimite, atmosfääri ja hüdrosfääri moodustumisel. Piisab, kui märkida näiteks, et vaba hapniku olemasolu eest Maa õhkkestas võlgneme tervenisti tänu rohelistele taimedele, kes eritavad seda fotosünteesiprotsessi käigus. Vaba hapniku olemasolu teeb võimalikuks loomade ja taimede eksisteerimise. Kõik see kuulub samuti üldbioloogia valdkonda ning leiab käsitlemist käesolevas raamatus.

Bioloogiliste seaduste tunnetamine avab laiad perspektiivid elusa looduse juhtimiseks, tema muutmiseks inimese hüvanguks. Uute kultuurtaimesortide ning koduloomatõugude loomine baseerub täielikult organismide pärilikkuse ja muutlikkuse seadustel. Loodusrikkuste — metsade, niitude, jõgede kasutamine peab tuginema nende bioloogiliste seaduste tundmisele, mis määravad vahekorrad organismide ja eluta looduse vahel. Bioloogia näitab kätte teed uute kultuurbiotsönooside loomiseks.

Taimede ja loomade aklimatiseerimise küsimusi, aga samuti mere ning mageveekogude kalavarude suurendamise probleemi ei saa lahendada ilma bioloogia seadusi tundmata.

Ajastul, mil inimene on tungimas kosmosesse, kerkivad bioloogia ette uued ülesanded. Tulevastes kosmoselaevades tuleb luua sellised süsteemid, mis kindlustaksid kosmonautide toitumise, nende varustamise hapnikuga, jäätmete utilisatsiooni (ärakasutamise) jms. Bioloogid teevad käesoleval ajal visalt tööd, et need paeluvad probleemid lahendada.

Elu olemuse tunnetamine on väga tähtis arstiteaduses. On vaja tundma õppida inimese pärilikkust, sest eksisteerib terve rida pärilikke haigusi.

Üldbioloogia on tihedalt seotud teiste loodusteadustega. Viimastel aastatel on hakanud eriti tormiliselt arenema bioloogia, keemia ja füüsikaga piirnev teadusharu, mida nimetatakse molekulaarbioloogiaks. Selle ülesanne on uurida tähtsamaid elunähtusi (ainevahetus, pärilikkus, ärrituvus) rakku moodustavate molekulide tasemel. Bioloogiliste protsesside ja seaduspärasuste tunnetamise seisukohalt on suure tähtsusega ka füüsikaliste nähtuste uurimine rakkudes ja organismides (elektriliste potentsiaalide tekkimine, osmootilised nähtused jt.). Nende küsimustega tegeleb biofüüsika.

Meie ajal on bioloogia kiiresti arenev teadus, mille saavutused on erakordse tähtsusega inimkonna tulevikule. Mitte juhuslikult ei väida mõned teadlased, et me oleme astumas «bioloogiasajandisse», mis avab inimkonna ees võimaluse hakata juhtima põhilisi elunähtusi.

# 1. EVOLUTSIOONIÕPETUS

1. PEATÜKK

## BIOLOOGIA ÜLDISELOOMUSTUS DARWINI-EELSEL PERIOODIL

Meie planeedi orgaaniline maailm paistab silma elusolendite tohutu mitmekesisuse poolest. Ühtekokku loendatakse Maal ligi 1,5 miljonit looma- ning kuni 500 tuhat taimeliiki. Samal ajal on eri liikidesse kuuluvatel elusolenditel terve rida tähtsaid ühiseid tunnuseid. Nad kõik on aine- ja energiavahetuse kaudu seotud ümbritseva keskkonnaga, neid kõiki iseloomustab ärrituvus, võime kasvada ja paljuneda, nad koosnevad ühtedest ja samadest keemilistest elementidest ning nad kõik alustavad sugulisel paljunemisel oma arenemist ühestainsast rakust.

Kuidas aga seletada orgaanilise maailma ühtsuse korral liikide mitmekesisust ja elusolendite kohastatust elutingimustega? Vastuse sellele küsimusele annab evolutsiooniõpetus, mis selgitab orgaanilise maailma tekkimist ja arenemist.

Evolutsiooniõpetuseks nimetatakse õpetust elusa looduse ajaloolise arenemise pikaajalisest protsessist (*evolutio* — arenemine lad. k.).

Esimese teooria orgaanilise maailma evolutsiooni kohta esitas XIX sajandi algul prantsuse teadlane J. B. Lamarck. Evolutsiooniõpetust arendas XIX sajandi keskel edasi inglise teadlane Ch. Darwin. Sellest lähtudes jagatakse bioloogia ajalugu kahte perioodi: Darwini-eelne ja Darwini-järgne periood.

### 1. KIRJELDAVA BOTAANIKA JA ZOOLOOGIA ARENEMINE

**Keskaeg ja renessansiajastu.** Keskajal oli teaduse arenemine äärmiselt aeglane. Katsed looduslike objektidega olid keelatud, uurijad, kes nendega püüdsid tegelda, langesid tagakiusamise ohvriks. Sellest hoolimata hakkasid tasapisi kogunema andmed taimedest ja loomadest, samuti inimese anatoomia ja arstiteaduse valdkonnast.

XII—XIII sajandil tekkisid esimesed ülikoolid, mis said loodusteaduslike teadmiste arenemise keskusteks. XV—XVI sajandil kerkis aga juba tungiv vajadus loodusteaduslike teadmiste ja loodusvarade uurimise järele, sest kujunema hakkav kapitalistlik tööstus vajas toorainet, kasvavate linnade elanikkond aga toiduaineid.

Uute alade avastamise järel hakati Euroopasse sisse vedama senitundmatuid toidu-, ravim-, ilu-, vürtsi- ja muid taimi, samuti rikkalikke loomakollektsioone. Paljudes linnades hakati rajama botaanikaaedu, ehitati kasvuhooneid, muuseume. Kogunes tohutu hulk taimede ja loomade kirjeldamisele pühendatud materjale. Mikroskoobi leiutamine XVII sajandi algul viis mikroorganismide, organismide rakulise ehituse, spermatosoidide ja munarakkude avastamisele.

Suuri edusamme tegid sel ajal täppisteadused.

**Metafüüsilised ettekujutused loodusest.** Renessansiajastut, samuti ajajärku XVII—XVIII sajandini iseloomustab tol ajal välja kujunenud niinimetatud metafüüsilise maailmavaate valitsemine.

*Metafüüsilise maailmavaate olemus seisneb selles, et kogu loodust käsitatakse absoluutselt muutumatuna.* Muutumatud on planeedid ja nende liikumisteed, igavesti püsib muutumatuna Maa koos oma mandrite, jõgede, mägede, kliima, taime- ja loomaliikidega. Kõiki loodusnähtusi peeti just nagu tardunuiks, neid uuriti üksteisest isoleeritult, ilma omavahelisi seoseid nägemata.

Metafüüsilisele maailmavaatele oli iseloomulik ka väide, et looduses valitseb igipõline otstarbekohasus.

Väljenduse «igipõline otstarbekohasus» all mõisteti organismi või organi vastavust sellele eesmärgile, mille tema jaoks juba päris algusest peale, s. o. maailma loomisel olevat püstitanud «looja».

Ettekujutusi kogu looduse muutumatusest ja igipõlisest otstarbekohasusest toetasid valitsevad ringkonnad ja kirik.

**Carl Linné ja tema tööd.** XVII ja XVIII sajandil jätkus botaanika ja zooloogia arenemine kirjeldavas suunas. Tekkis tungiv vajadus kogutud konkreetsete teadmiste viimiseks ühtsesse süsteemi. Esimesed katsed kujunesid lihtsalt liikide tähestikuliseks loetlemiseks, mis mingit süsteemi aga anda ei suutnud. Algasid otsingud taimede ja loomade selliste tunnuste leidmiseks, mille järgi neid, sõltuvalt ehituse keerukuse astmest, oleks saanud rühmadeks jaotada.

Õie üksikute organite tähtsust, sugulise paljunemisprotsessi olemust ning organismi arenemist tol ajal veel uuritud ei olnud, mistõttu peamised tunnused valiti välja juhuslikult. Niiviisi saadud rühmitused osutusid kunstlikeks: tarvitses vaid ühe tunnuse asemel valida teine ning kogu süsteem muutus.

Taime- ja loomaliikide jaoks ühtseid, kõikide teadlaste poolt üldiselt kasutatavaid nimesid ei olnud. Liiginimetused kujutasid endast kohmakat tunnuste loetelu. Harilikku kibuvitsa nimetati näiteks «harilikuks roosade lõhnavate õitega metsroosiks».

Taimeriigi parima kunstliku süsteemi looja oli kuulus rootsi teadlane Carl Linné (1707—1778). Linné võttis klassifitseerimise aluseks organismidevahelise sarnasuse või erinevuse, pidades kõige väiksemaks klassifikatsiooni üksuseks liiki.

Liigiks nimetas Linné ehituselt sarnaste ning viljakat järglaskonda andvate isendite kogumit.

Jagades täielikult metafüüsilisi ettekujutusi loodusest, pidas Linné iga liiki omaette loomisakti tulemuseks, muutumatuks ja püsivaks ning eitas liikidevaheliste sugulussidemete olemasolu.

Elusas looduses nägi ta valitsevat igipõlist otstarbekohasust, mis andis tunnistust «looja arukusest». Oma elu lõpul jõudis Linné arusaamisele, et ühed liigid võivad tekkida teistest ristamise teel või muutuste toimel ümbritsevas keskkonnas.

Linné uurimused taime- ja loomasüstemaatika valdkonnas oli tähtis etapp bioloogia arengus. Ta koostas üldise tunnustuse võitnud süsteemi taimede ja loomade klassifitseerimiseks. Võttes klassifikatsiooni ühikuks liigi, ühendas Linné sarnased liigid perekondadesse, sarnased perekonnad seltsidesse, need aga klassidesse. (Võrrelge neid tänapäeval kehtivate süstemaatiliste ühikutega. Milles on erinevus?) Seejuures kasutas Linné tema eelkäijate poolt soovitatud kahesõnaliste ladinakeelsete nimetuste printsiipi. Näiteks aas-seahernes — *Lathyrus pratensis*, mets-seahernes — *Lathyrus silvestris;* halljänes — *Lepus europaeus*, valgejänes — *Lepus timidus*. Perekonna nimetus on ühine kõikidel antud perekonda kuuluvatel liikidel ning see esineb esimese sõnana ainult vastava perekonna liikide nimetustes. Konkreetseid liike tähistavad nimetused, s. t. nimekombinatsioonides teisel kohal asuvad sõnad võivad seevastu erinevates perekondades korduda. Kahesõnaliste nimetuste printsiip on ökonoomne, kuna nõuab erinimetusi ainult perekondade jaoks. Seetõttu on see printsiip süstemaatikas säilinud praeguse ajani.

Kogu looduse jaotas Linné kolmeks riigiks: taime-, looma- ja mineraalide riigiks. Taimeriigi rühmitas ta 24 klassiks, võttes jaotuse aluseks 1—2 tunnust, näiteks tolmukate arvu, pikkuse või kokkukasvamise iseloomu. Seetõttu sattusid paljud üksteisest süstemaatiliselt kaugelseisvad taimed ühte ja samasse, paljud sugulasliigid aga erinevatesse klassidesse. Nii näiteks olid porgand ja sõstrad paigutatud viietolmukaliste klassi, sest neil mõlemal on 5 tolmukat. Tegelikult kuuluvad need taimed aga eri sugukondadesse: porgand — sarikaliste sugukonda, sõstrad — kivirikuliste sugukonda.

Loomariigi jaotas Linné vereringesüsteemi ehituse alusel järgmiselt:

| | |
|---|---|
| 1. Neljajalgsed<br>2. Linnud | Esimene aste<br>Süda kahe vatsakesega<br>Veri punane ja soe |
| 3. Roomajad<br>4. Kalad | Teine aste<br>Süda ühe vatsakesega<br>Veri punane ja külm |
| 5. Putukad<br>6. Ussid | Kolmas aste<br>Vere asemel külm valge vedelik |

Imetajate, lindude ja kalade klassid määras Linné õigesti, kuid roomajate klassi ühendas ta niihästi roomajad kui ka kahepaiksed, kes tegelikult kuuluvad erinevatesse klassidesse. Usside klassi sattusid peaaegu kõik selgrootud. Loomade klassifitseerimine ühe tunnuse järgi tõi kaasa vigu. Linné paigutas ühte seltsi laisiku, sipelgaõgija ja elevandi, pidades neid ühendavaks tunnuseks lõikehammaste puudumist, kuid ta ei teadnud, et elevandi võhad õigupoolest ongi paar hiigelsuureks kasvanud ülemisi lõikehambaid. Tegelikult kuulub elevant londiliste seltsi, laisik ja sipelgaõgija aga napihambuliste seltsi. Sarnasuse põhjal noka ehituses sattusid ühte seltsi kana ja jaanalind, kuid kõiki tunnuseid arvesse võttes kuuluvad nad erinevatesse seltsidesse: jaanalind — jaanalinnuliste, kana aga kanaliste seltsi.

Inimese ja ahvi paigutas Linné nende ehituse sarnasuse alusel täiesti õigesti ühte ja samasse seltsi, kuigi üksnes mõtteidki inimese sarnanemisest loomadega loeti tol ajal kuritegelikeks.

Linné mõistis tema poolt ettepandud süsteemi kunstlikkust ja pidas seda seepärast ajutiseks. Tema püüdlus oli luua loomulik süsteem, mis oleks peegeldanud looduses tegelikult eksisteerivaid süstemaatilisi rühmi taime- ja loomariigis. Kuid nagu enamik tolle ajastu teadlasi, nii lootis ka Linné loomuliku süsteemi abil lahti mõtestada plaani, mille järgi looduse oli loonud looja. Sellised ettekujutused olid oma olemuselt väärad, kuid sellest hoolimata sundisid nad teadlasi siiski otsima loomulikku süsteemi.

*Linné tööde tähtsus seisneb selles, et ta lõi lihtsa süsteemi taimede ja loomade klassifitseerimiseks, võttis kasutusele selge ning mugava kahesõnaliste nimetuste printsiibi (binaarse nomenklatuuri), kirjeldas umbes 1200 perekonda ning enam kui 8000 taimeliiki. Ta tegi reformi botaanilises terminoloogias, määrates kindlaks ligi 1000 terminit, millest paljusid ta soovitas kasutusele võtta esmakordselt.*

Linné ja tema järelkäijad tegid ära tohutu töö, uurides läbi ja süstematiseerides kogu selle laialipillatud faktilise materjali,

mille olid kokku kogunud neile eelnenud teadlaste põlvkonnad. Nii pandi teaduslik alus looduse edasiseks uurimiseks.

**Varased evolutsioonilised vaated.** XVIII sajandi lõpuks olid ühiskondlik-poliitilised vaated tublisti muutunud, eriti Prantsusmaal. Revolutsiooniliste ideede kasv, Prantsuse revolutsioon, kapitalistlike tootmissuhete arenemine, teaduslikud avastused — kõik see õõnestas vanu, metafüüsilisi kujutlusi looduse ja ühiskonna muutumatuse kohta. Rea õpetlaste teostes võis juba kohata arvamusi, et kaasaegsed taime- ja loomaliigid põlvnevad kaugetest esivanematest. Prantsusmaal oli nende ideede väljendajaks Georges Louis Buffon, Inglismaal — Erasmus Darwin (Charles Darwini vanaisa). Kuid need olid vaid üksikud mõtted või faktide kirjeldused, mis juhtisid tähelepanu liikide omavahelisele sugulusele. Alles XIX sajandi algul esitas silmapaistev prantsuse teadlane Jean Baptiste Lamarck esimese evolutsiooniteooria.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Iseloomustage metafüüsilist maailmavaadet. 2. Tooge näiteid ühte perekonda kuuluvate taimeliikide kohta. 3. Märkige vihikusse, milliseid süstemaatilisi kategooriaid kasutatakse taimede ja loomade klassifitseerimiseks kaasajal. 4. Mis tähtsus on Linné töödel bioloogia arengus?

## 2. ESIMENE TEOORIA ORGAANILISE MAAILMA EVOLUTSIOONI KOHTA

Erinevalt enamikust XVIII sajandi looduseuurijaist, kes tegelesid taime- ja loomaliikide kirjeldamise ning klassifitseerimisega, püstitas Lamarck (1744—1829) endale eesmärgi luua evolutsiooniteooria. Selle esitas ta oma teoses «Zooloogia filosoofia» (1809).

**Liikide muutuvus.** Lamarck eitas metafüüsilisi ideid liikide püsivusest ja muutumatusest. Ta väitis, et liigid muutuvad, kuid teevad seda äärmiselt aeglaselt, mistõttu kogu protsess jääb pideval vaatlemisel märkamatuks. See tees kõrvaldas kaalukaima argumendi, mida liikide püsivuse pooldajad oma vaadete kaitseks siiani olid esitanud: nähtavate muutuste puudumine taime- ja loomaliikide juures viimase 5—6 tuhande aasta kestel.

Tegelemine süstemaatikaga viis Lamarcki järeldusele, et liikide vahel puuduvad teravad piirid ja et liigid on omavahel seotud mittemärgatavate vaheastmete ja üleminekutega. Seetõttu on sageli raske piiritleda mõningaid päeva- ja ööliblikate, kärbeste ja siklaste või näiteks tarnade, piimalillede, kanarbikkude ja teiste taimede liike.

Kõige selle tagajärjel näis elus loodus Lamarckile pidevalt muutuvate isendite katkematu reana, mille inimene ainult oma

ettekujutuses liikideks jaotab. Seega hakkas Lamarck, kuigi ta julgelt lükkas ümber idee liikide püsivusest, ekslikult eitama liikide looduses esinemise fakti iseennast: liikide muutumatuse eitamine sulas tema kujutluses ühte nende reaalsuse eitamisega. Hiljem jõudis Lamarck siiski liigi õigele käsitusele: liigid on looduses tegelikult olemas, kuid nad ei ole igavesed, vaid eksisteerivad reaalselt ainult teatava ajavahemiku jooksul, s. t. nad on suhteliselt püsivad.

Klassifitseerides organisme ning paigutades neid süsteemi nende ehituse tüsilikkuse suurenemise järjekorras, jõudis Lamarck teaduse ajaloos esmakordselt tähtsale evolutsioonilisele järeldusele: *orgaanilise maailma arenemine kõige lihtsamatelt eluvormidelt kõige kõrgematele on toimunud loodusseaduste järgi.* Lamarck oli esimene, kes orgaanilise maailma ühtse päritolu märkimiseks kasutas termineid «sugulus» ja «sugulussidemed».

**Evolutsiooniprotsessi liikumapanevad jõud.** Tunnistades liikide muutuvust, püstitas Lamarck küsimuse: missugused on evolutsiooniprotsessi liikumapanevad jõud?

Oma tööde põhjal taime- ja loomasüstemaatika valdkonnas jõudis Lamarck järeldusele, et organismid on vaja paigutada süsteemi nii, nagu astmed trepis, mis kujutab elusa looduse arenemise ajaloolist teed madalaltorganiseeritud eluvormidelt kõrgeltorganiseeritutele. Loomariigi jaotas Lamarck oma süsteemis selgroogseteks ja selgrootuteks ning rühmitas nad 14 klassi. Need klassid paigutas ta kuuele astmele: kõige alumisele infusoorid ja polüübid, kõige kõrgemale linnud ja imetajad. Iga järgmist kõrgemat astet iseloomustab põhiliste organsüsteemide — närvi- ja vereringesüsteemi tüsilikkuse astme suurenemine. Samasugune organisatsiooni tüsistumisele vastav astmeline rida eksisteerib ka taimeriigis.

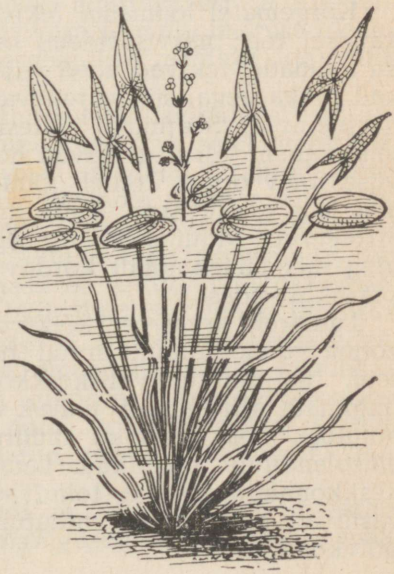
Elusolendite organisatsiooni järkjärgulist tüsistumist evolutsiooniprotsessi käigus nimetas Lamarck gradatsiooniks. Lamarcki poolt püstitatud gradatsiooni printsiip peegeldab õigesti elusa looduse ajaloolise arenemise teed lihtsalt keerulisele, madalamalt kõrgemale. See oli Lamarcki kui teadlase suur panus bioloogias.

Kuid Lamarck ei suutnud anda materialistlikku seletust gradatsiooni põhjustele. Tema kujutluste kohaselt on kõikidele elusolenditele omane selgelt väljendunud sisemine tung oma organisatsiooni täiustamisele, tung progressile kui kõrgeimale eesmärgile, mis neisse juba igipõliselt on salvestatud. Elusa looduse ajalooline arenemine lihtsalt keerulisele e. gradatsioon kujutab Lamarcki käsituses organismide sisemise, progressile pürgiva tungi tulemust: gradatsioon on kõigutamatu loodusseadus, mis on püstitatud looja enese poolt.

Seega oli evolutsiooniprotsessi liikumapanev jõud Lamarcki arvates organismide sisemine tung progressile. Teiseks evolutsiooniprotsessi liikumapanevaks jõuks pidas Lamarck väliskeskkonna mõju organismidele, mille tõttu looduses täheldatakse hulgaliselt kõrvalekaldeid gradatsioonist. Niiviisi tekivad *erinevad liigid* organisatsiooni *ühe ja sama astme* piirides, liigid, mis on kohastunud teatud konkreetsete elutingimustega neid ümbritsevas keskkonnas.

Väliskeskkond (soojus, valgus, niiskus jne.) avaldab taimedele ja alamatele loomadele otsest toimet. Lamarck tõi selle illustreerimiseks järgmisi näiteid. Kui kevad on väga kuiv, siis niidutaimed kasvavad halvasti; vahelduvate soojade ja vihmaste päevadega kevad kutsub aga esile samade taimede lopsaka kasvu. Taimede sattumisel looduslikest tingimustest aedadesse muutuvad nad tugevasti: ühtedel kaovad okkad ja ogad, teistel muutub varre kuju.

Lamarcki näiteid võib täiendada veel järgmistega. Kõõluslehel (joon. 1) esineb kolme tüüpi lehti: veesisesed lehed on pikad ja peened, ilma rootsuta; veest välja ulatuvad lehed seevastu pikarootsulised ning kujult nooljad, ainult veepinnani ulatuvad lehed on ovaalse kujuga lameda plaadi taolised ujulehed. Joonistel 2 ja 3 on kujutatud kaks ümaralehise kelluka eksemplari: üks neist pärineb niidult, teine on üles kasvanud metsas. Võrrelge neid ja märkige, milles seisneb erinevus.



JOON. 1. Kõõlusleht: veesisesed lehed — kitsad, lindikujulised; veepinnal ujuvad lehed — ovaalsed, lameda plaadi kujulised; veest välja ulatuvad lehed — pikavarrelised, noolekujulised.

JOON. 2. Ümaralehine kellukas varjulisest metsast.

JOON. 3. Ümaralehine kellukas niidult.

Kõrgematel loomadel tekivad kohastumised Lamarcki arvates kaudsel teel, närvisüsteemi osavõtul. Väliskeskkond muutub — ka loomadel tekivad uued vajadused. Kui uued tingimused toimivad pikka aega, siis kujunevad loomadel välja nendele vastavad harjumused. Seejuures ühtesid organeid harjutatakse rohkem, teisi vähem või nad jäävad hoopis tegevuseta. Intensiivselt tegevuses olev organ areneb jõudsamini, muutub tugevamaks, organ aga, mis pikka aega leiab ainult vähest kasutamist, aegamööda atrofeerub. Muutused, mis organism on elu jooksul omandanud ning mis järjekindlalt korduvad paljudes põlvkondades, antakse pärilikult edasi.

Lamarck arvas, et kõik organismid omandavad väliskeskkonna toimel ainult antud tingimuste suhtes kasulikke tunnuseid. Iga muutus väliskeskkonnas kutsub organismide juures tingimata esile ainult a d e k v a a t s e i d muutusi, s. t. selliseid muutusi, mis vastavad muutunud tingimustele ja on seetõttu elusolenditele kasulikud. Lamarck oli seisukohal, et kui uued keskkonnatingimused toimivad pikka aega, siis antakse neile vastavad adekvaatsed muutused pärilikult edasi järgnevatele põlvkondadele.

JOON. 4. Veelindude jalad.

Organismide võimet otstarbekohaselt vastata väliskeskkonna mõjutustele pidas Lamarck kaasasündinud, neile igipõliselt omaseks omaduseks.

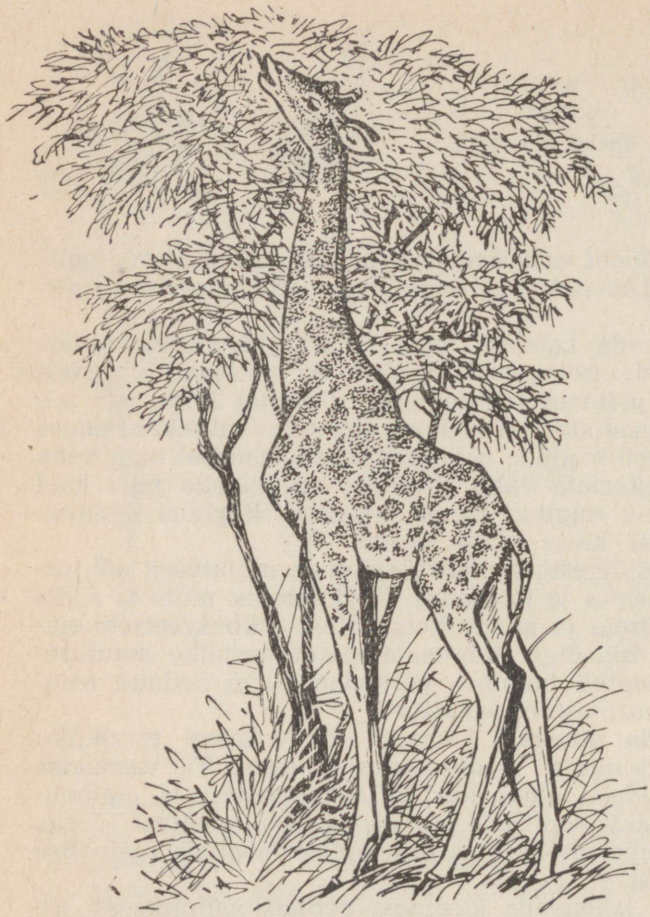
Toome näite, mida Lamarck oma teooria tõestuseks esitas: veelindude jalgadele iseloomulik ujulest on tekkinud varvaste vahel oleva naha pidevast venitamisest ujumisel (joon. 4); jalgade puudumine madudel on nende organite mittekasutamise tagajärg, mis tuleneb madude harjumusest roomamisel oma keha ilma jäsemeid kasutamata välja sirutada; kaelkirjaku pikk kael ja pikad eesjalad on tingitud looma alatisest ülespoole küünitamisest, et puulehti kätte saada (joon. 5).

Lamarck märkas õigesti, et väliskeskkonna mõjutused põhjustavad muutusi taimedes ja loomades. Kuid seletus, mille ta andis liikide mitmekesisusele ja nende kohastatusele konkreetsete tingimuste suhtes, ei ole õige: tingimata ainult kasulike muutuste ilmumine ja omandatud tunnuste pärandamine ei leidnud teadlaste edaspidises uurimistöös kinnitust.

**Lamarcki teooria hinnang.** Lamarck lõi esimese tervikliku teooria liikide tekkimisest loodusseaduste alusel. Ta vastandas revolutsioonilised ideed elusa looduse muutuvusest ja ajaloolisest arenemisest reaktsioonilisele püsivuse ja muutumatuse ideele. Lamarckil oli õige ettekujutus orgaanilise maailma ajaloolise arenemise üldpildist.

Selleks aga, et lahendada küsimust evolutsiooniprotsessi liikumapanevatest jõududest, ei jätkunud teadusel veel materjale; neid ei suutnud anda ka Prantsusmaa madalal arengutasemel olev põllumajandus. Ja küsimuse evolutsiooni liikumapanevatest jõududest Lamarck lahendaski valesti. Tema väide, et otsustava tähtsusega tegur on organismide sisemine tung progressile, mis neile nagu looduse enese poolt kaasa on antud, viib paratamatult mingite kõrgemate, üleloomulike jõudude, looja tunnistamisele. Tees organismide kaasasündinud võimest muutuda adekvaatselt keskkonna muutustega ja omandada ainult kasulikke tunnuseid on seotud ettekujutusega igipõlisest otstarbekohasusest (lk. 8). Seega ei olnud Lamarcki poolt esitatud väited evolutsiooniteooria tõestamiseks põhjendatud, mistõttu teooria ei leidnud kaasaegsete poolt tunnustamist.

Niisiis ei suutnud XVIII sajandi ja XIX sajandi algaastate teadus anda seletust selle kohta, missugused on orgaanilise maa-



JOON. 5. Kaelkirjak.

ilma arenemise liikumapanevad jõud. Teaduse ees seisid küsimused: 1) kuidas seletada liikide mitmekesisust? 2) kuidas seletada organismide kohastumist ümbritseva keskkonna tingimustega? 3) miks muutub elusolendite organisatsioon evolutsiooniprotsessi käigus keerulisemaks?

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Mida pidas Lamarck evolutsiooniprotsessi liikumapanevateks jõududeks? 2. Kuidas seletas Lamarck liikide mitmekesisust ja elusolendite kohastumist ümbritseva keskkonna tingimustega? 3. Missugune on Lamarcki arvates evolutsiooniprotsessi üldine suund? 4. Milline hinnang tuleb anda Lamarcki teooriale?

## 3. ESIMESED VENE EVOLUTSIONISTID

**XVIII sajandi vene teadlased.** Juba XVIII sajandil hakkasid mõned vene õpetlased ja filosoofid arendama evolutsioonilisi ettekujutusi loodusest.

M. Lomonossov (1711—1765) pidas maailma aluseks mateeriat ning selle omadust liikuda ja areneda. Hoolimata tol ajal valitsenud metafüüsilistest vaadetest (lk. 8) käsitas ta elusat ja eluta loodust kui ühtset arenevat tervikut. Loodusnähtuste vaheliste seoste ja looduses esinevate muutuste tõestamiseks juhtis Lomonossov tähelepanu turba, kivisöe ja nafta orgaanilisele päritolule ning Maad varem asustanud taimede ja loomade kivististele ja jäljenditele.

Ka A. Radištšev (1749—1802) lükkas ümber metafüüsilised ettekujutused loodusest, käsitades nii elusat kui eluta loodust ühtse, ühise päritoluga tervikuna, mis areneb edasi ilma mistahes üleloomulike jõudude vahelesegamiseta. Kõige keerulisemaid nähtusi, sealhulgas inimese teadvust, kõnet, mõtlemist ja võimet ühiskondlikuks eluks pidas ta looduse järkjärgulise arenemise tulemuseks lihtsalt keerulisele. Radištšev nimetas inimest «üheüsaliseks sugulaseks kõigele maa peal elavale», kriipsutas alla organismide muutuvust sõltuvalt väliskeskkonna mõjutustest. Radištšev viitas taimede ja loomade aklimatiseerumise faktidele kui tõendile nende muudetavuse kohta.

Afanassi Kaverznev (XVIII sajandi lõpp — XIX sajandi algus; täpsed aastaarvud teadmata) väitis teoses «Loomade ümbersünnist», et liigid on looduses tõepoolest olemas, kuid nad on muutuvad. Liikide muutlikkuse faktoreiks on muutused ümbritsevas keskkonnas: toidus, kliimas, temperatuuris, niiskuses, reljeefis jms. Ta väitis, et liigid põlvnevad üksteisest ja on omavahel suguluses. Oma arutluste kinnituseks tõi Kaverznev näiteid inimese praktikast loomatõugude aretamise alal.

**XIX sajandi vene evolutsionistid.** Võrreldes XVIII sajandiga oli evolutsiooniliste vaadete pooldajate arv märgatavalt kasvanud. Evolutsiooniidee toetuseks astusid välja mitmed filosoofid ja kirjanikud, eriti revolutsiooniliste demokraatide seast.

Zooloog K. Rulje (1814—1858) kritiseeris teravalt metafüüsilisi ideid liikide muutumatusest ja püsivusest, samuti tol ajal valitsenud kirjeldavat suunda zooloogias. 10—15 aastat enne seda, kui ilmus Ch. Darwini teos «Liikide tekkimine», kirjutas ta veenvalt looduse ajaloolisest arenemisest, väljendades ideid, mis olid sarnased Lamarcki vaadetega. Ta väitis, et elusas ja eluta looduses on kõik vastastikustes suhetes. Iga organism, alludes ümbritsevate tingimuste toimele, muutub ja kutsub omakorda esile muutuse väliskeskkonnas. Keskkonna muutumisel organismid kas kohastuvad sellega või hukkuvad. Kuid erinevalt Lamarckist märkas Rulje fakte, mis viitasid ühtede liikide välja-

tõrjumisele teiste poolt ning liikide väljasuremisele toidu pärast peetava võitluse tulemusel. Seega seostas ta liikide tekkimise olelusvõitlusega. Hinnates kõrgelt Lamarcki evolutsiooniõpetust, ei tunnistanud Rulje tema teesi organismide sisemisest tungist progressile (lk. 13), pidades seda ekslikuks.

Evolutsiooni tõestamiseks kasutas Rulje peamiselt väljasurnud loomade jäänuste uurimisel saadud tulemusi, võrdlevaid andmeid kaasaegsete loomade ehitusest ja nende lootelisest arenemisest ning andmeid põllumajanduse praktikast, pidades viimast «teaduste teaduseks».

A. Herzen (1812—1870) kirjutas oma töödes «Diletantism teaduses» ja «Kirjad looduse uurimisest» vajadusest uurida organismide põlvnemist ja omavahelisi sugulussidemeid ning vaadelda loomade ehitust lahutamatus seoses nende füsioloogiliste iseärasustega. Ta oli seisukohal, et ka psüühiliste talitluste uurimisel tuleb silmas pidada arengulist aspekti, vaadeldes nende järkjärgulist kujunemist alates organismide kõige alamatest hõimkondadest ja klassidest kuni kõige kõrgemateni, kaasa arvatud inimene. Looduseuurija peamiseks ülesandeks pidas Herzen orgaanilise maailma mitmekesisuse ja ühtsuse põhjuste kindlakstegemist ning tema põlvnemise väljaselgitamist.

V. I. Lenin hindas Herzeni vaateid looduse arenemisele materialistlikeks.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Jutustage K. Rulje evolutsioonilistest vaadetest. 2. Mis on ühist Rulje ja Lamarcki vaadetes? 3. Mille poolest erineb Lamarcki poolt antud seletus liikide tekkimise kohta Rulje omast?

2. PEATÜKK

## CHARLES DARWINI ÕPETUS ORGAANILISE MAAILMA EVOLUTSIOONIST

Charles Darwini peateos kannab pealkirja «Liikide tekkimine loodusliku valiku teel ehk eelisrasside säilimine olelusvõitluses» (1859). Selles nimetuses peegeldub peamine Darwini poolt vaadeldud probleem — liik kui ajalooline nähtus; iga liik tekib, areneb ja eksisteerib seni, kuni püsivad muutumatutena elutingimused; kui need muutuvad, siis liik kas sureb aegamööda välja või muutub ka ise, andes alguse uutele liikidele.

Mis siis on liik? Liigi kaasaegse määrangu aluseks on selle darvinlik käsitus.

*Liik on kogum isendeid, mis asustavad looduses teatud kindlat territooriumi (areaali) ning mida iseloomustab väliste ja sise-*

*miste tunnuste ning füsioloogiliste funktsioonide pärilik sarnasus, võime ristuda ja anda järglasi ning kohastatus teatud kindlate elutingimustega.*

Charles Darwini õpetus orgaanilise maailma evolutsioonist selgitab kolm peamist, üksteisega vastastikku seotud tegurit: muutlikkus, pärilikkus ja valik. Muutlikkus annab lähtematerjali evolutsiooniprotsessi toimumiseks — selleks on organismide individuaalsed pärilikud muutused. Päriliku muutlikkuse alusel kujunevad valiku käigus aga välja liigid, mis on kohastunud mitmesuguste teatud kindlate elutingimustega. See viibki liikide mitmekesisusele.

Charles Darwin alustas uuringuid vaatlustega koduloomatõugude ja kultuurtaimesortide kujunemisest, alles seejärel hakkas vaatlema liike nende looduslikus seisundis. Ta oli arvamusel, et niisuguse lähenemisviisi korral on tema ideed paremini mõistetavad, sest praktikutele oli hästi teada, kuidas uusi loomatõuge ja taimesorte saada.

Darwini õpetus andis ränga hoobi metafüüsilistele kujutlustele liikide püsivusest ja muutumatusest ning nende loomisest jumala poolt. Tema õpetus sai aluseks, millel hakkas edasi arenema teadus orgaanilise maailma evolutsioonist, aga samuti kõik teised bioloogia harud.

## 4. AJALOOLISED EELDUSED CHARLES DARWINI ÕPETUSE TEKKIMISEKS

**Ühiskondlik-majanduslikud eeltingimused.** XIX sajandi esimesel poolel oli Inglismaa kõige eesrindlikum kapitalistlik maa maailmas, kus niihästi tööstus kui ka põllumajandus olid jõudnud kõrgele arenemistasemele. Maa koondus väikeomanike laostumise arvel suurmaaomanike kätte. Tööstuse vajadus loomse tooraine ja toiduainete järele soodustas loomakasvatuse arenemist. Inglise karjakasvatajad saavutasid erakordset edu uute lamba-, sea-, veise-, kana- jt. loomatõugude aretamisel. Suurmaaomanikud, kel oli selleks niihästi aega kui ka raha, aretasid oma sportlike huvide rahuldamiseks hulgaliselt mitmesuguseid jahikoerte, traavi- ja ratsahobuste ning tuvitõuge. Oli saadud ka uusi teravilja-, ilutaimede, juurvilja- ja marjakultuuride ning teiste taimede sorte. Looma- ja taimekasvatajate praktika näitas veenvalt, et koduloomatõud ja kultuurtaimesordid on muutuvad ning luuakse inimese, mitte jumala poolt.

**Teaduse edusammud.** Teaduse edusammud XVIII sajandi lõpul ja XIX algul Engelsi piltliku väljenduse järgi «murdsid läbi» metafüüsilistest vaadetest loodusele. Astronoomias ilmusid hüpoteesid päikesesüsteemi tekkimisest gaasitaolisest udukogust. Geoloogid avastasid settekihtide järjestikulise kujunemise —

järelikult on maakoor läbi teinud ajaloolise arenemise. Keemias sai selgeks, et elus ja eluta loodus koosnevad ühtedest ja samadest keemilistest elementidest. Füüsikud avastasid energia muundumise seaduse.

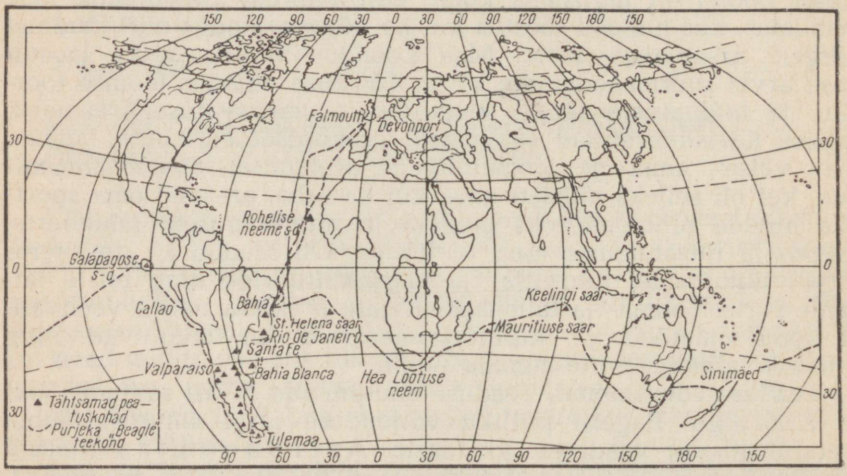
Bioloogias püsis sel ajal endiselt juhtival kohal süstemaatika. Märgatavalt olid rikastunud teadusalased teadmised looma- ja taimeliikidest. Süstemaatikud tulid järeldusele, et looduses eksisteerivad loomulikud organismide rühmitused. Süsteemi hakati käsitama kui loomulike rühmituste omavahelise sarnasuse astme peegeldust, kui alamate süstemaatiliste rühmituste allumist kõrgematele. Niisuguste süsteemide koostamine viis paratamatult mõttele, et süstemaatilised rühmad on omavahel suguluses.

Võrdleva uurimismeetodi tõttu võitis morfoloogias ja anatoomias suure tunnustuse idee ühtse plaani olemasolust niihästi paljude loomade üldises kehaehituses kui ka nende üksikorganite ehituses.

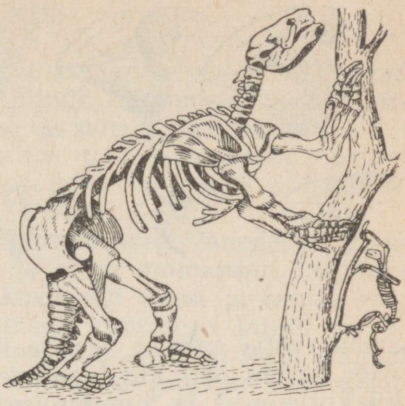
Võrdlev-embrüoloogilistest uurimistöödest selgus, et selgroogsete loodete varajased arengustaadiumid on omavahel hämmastavalt sarnased. Veel enam — tehti kindlaks, et sama sarnasus ilmneb isegi erinevatesse hõimkondadesse kuuluvate loomade loodete arenemises.

Raku avastamine ja rakuteooria loomine zooloog T. Schwanni poolt (1838—1839) andsid kaaluka tõendi kogu elusa ühtsusest: looma- ja taimerakk osutusid ehituselt sarnaseiks.

Liikide muutuvuse kohta andis eredaid fakte paleontoloogia. Tehti kindlaks, et Maal on alamad organismid üksteise järel asendunud kõrgematega: kaugetel, ammu möödunud aegadel




JOON. 6. Ch. Darwini ümbermaailmareisi kaart.



JOON. 7. Väljasurnud (vasakul) ja tänapäeval elava (paremal) laisiku skeletid.

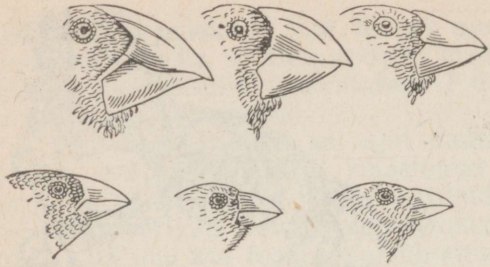
asustasid Maad hoopis teistsugused, praegustega mittesarnanevad looma- ja taimeliigid.

Kõik need avastused ei olnud kuidagi sobitatavad õpetusega orgaanilise maailma muutumatusest ja selle loomisest jumala poolt.

Teaduse edusammud, uute loomatõugude ja taimesortide aretamine, kaugete maade ekspeditsioonide materjalid — kõik see valmistas ette pinda, millel võis hakata kujunema õpetus liikide tekkimisest. Oli vaja geniaalset teadlast, kes kõik kogutud eripalgelised faktid teatud kindla idee valguses üldistaks ja läbi töötaks, looks harmoonilise arutluste süsteemi ning esitaks veenvaid tõendeid. Selleks teadlaseks oli Charles Darwin.

**Charles Darwin** (1809—1882). Lapsepõlves tegeles Charles Darwin agaralt kollektsioneerimisega, huvitus keemiaalastest katsetest, tegi innuga vaatlusi lindude ja putukate kohta. Üliõpilasaastail tutvus ta põhjalikult teadusliku kirjandusega ja omandas väliuurimistööde metoodika, õppis koostama kollektsioone ja herbaariume. Aastatel 1831—1836 sooritas Darwin purjekal «Beagle» ümbermaailmareisi (joon. 6). Ta uuris külastatud maade geoloogilist ehitust, floorat ja faunat, kogus tohutu hulga mitmesuguseid kollektsioone ning saatis need Inglismaale.

Uurides Lõuna-Ameerikas väljasurnud loomade jäänuseid, tuli Darwin mõttele, et kaasaegseid liike ei ole loonud mitte jumal, vaid nad on järk-järgult arenenud Maad varem asustanud liikidest (joon. 7). Galápagose arhipelaagi külastades leidis Darwin, et selle saarterühma igal saarel eluneb oma vindiliik (joon. 8). Ta oletas, et nende kõikide esivanem on olnud üksainus ameerika päritoluga liik, mis kunagi oli nendele saartele hajutatult elama asunud. Austraalias huvitasid Darwinit kukkurloomad ja ainupilulised imetajad, kes maakera teistes paikades olid juba



JOON. 8. Galápagose vindid. Erinevused noka kujus.

ammu välja surnud. Austraalia eraldus omaette mandriks juba väga ammu (siis kui Maal veel ei olnud kõrgemaid imetajaid); kukkurloomad ja ainupilulised imetajad arenesid siin sõltumata imetajate evolutsioonist teistel mandritel.

Oma reisi ajal tegi Darwin esimesed märkmed liikide tekkimise kohta. Ta pöördus Inglismaale tagasi palava sooviga see probleem lahendada. Järgmised 20 aastat töötas ta visalt evolutsiooniteooria loomise ja põhjendamise kallal. Oma oskuses märgata ja analüüsida fakte, leida nende vahel seoseid ja neid üldistada oli Darwin tõeliselt geniaalne.

Kõik Darwini tööd, mis ilmusid pärast «Liikide tekkimist», arendasid ja süvendasid liikide tekkimise kui peaprobleemi eri külgi. Raamatus «Taimede ja loomade muutumine kodustatud olukorras» oli tohutu faktilise materjali varal näidatud, milliste seaduspärasuste alusel on toimunud koduloomatõugude ja kultuurtaimesortide evolutsioon; teoses «Inimese põlvnemine ja suguline valik» kasutas Darwin evolutsiooniteooriat inimese põlvnemise seletamiseks, raamatus «Emotsioonide väljendamisest inimesel ja loomadel» oli aga toodud täiendavaid tõendeid inimese põlvnemise kohta loomadest. Peale nende on Darwin kirjutanud veel terve rea kapitaalseid töid botaanika, zooloogia ja geoloogia valdkonnast, milles detailselt on käsitletud evolutsiooniteooria üksikküsimusi.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Missugustes ajaloolistes tingimustes tekkis Darwini õpetus? 2. Järgige kaardil Ch. Darwini ümbermaailmareisi marsruuti purjekal «Beagle». 3. Mis on liik?

## 5. MUUTLIKKUS JA PÄRILIKKUS

Et selgitada küsimust, millised liikumapanevad jõud viivad evolutsiooniprotsessi käigus uute liikide tekkimisele, asus Darwin kõigepealt uurima muutlikkuse ja pärilikkuse nähtusi.

**Muutlikkus.** Muutlikkuseks nimetatakse protsessi, mis viib erinevuste tekkimisele samasse liiki kuuluvate isendite vahel.

Tingituna muutlikkusest on erinevusi isegi lähedases suguluses olevate isendite vahel. Ühe ja sama loomapaari järglaste seas või taimede hulgas, mis on kasvanud ühest ja samast viljast pärit seemnetest, ei esine kunagi üksteisega täiesti sarnaseid isendeid. Üht ja sama tõugu lambakarjas eristab vilunud karjus kergesti iga üksikut looma vaevu märgatavate iseärasuste järgi tema keha mõõtmetes, jalgade pikkuses, pea kujus, villa värvuses, villakiudude pikkuses ja tiheduses, hääles, harjumustes jne.

Toome mõningaid näiteid muutlikkusest, mida igaühel on kerge ka iseseisvalt vaadelda. Kase või mõne teise puuliigi lehed näivad ühesugustena, kuid asetades ükskõik millised kaks ühelt ja samalt puult võetud lehte teineteisega kõrvuti, märkame kohe väikesi erinevusi nende ehituses. Keelõite arv korvõieliste sugukonda kuuluva kuldvitsa õisikus kõigub viiest kaheksani. Ülasel (tulikaliste sugukonnast) on kroonlehti tavaliselt 6, kuid mõnikord esineb ka 7 ja 8 kroonlehega õisi. Muutlik on «sarvede» harulisus põderpõrnikal, tundlate pikkus siklasel jms. Musta sulestikuga hakkide parves esineb mõnikord üksikuid heledaid ja isegi valgeid eksemplare.

**Muutlikkuse vormid ja põhjused.** Darwin eristas kahte põhilist muutlikkuse vormi: määratletud (grupiviisilist) ja määratlemata (individuaalset) muutlikkust.

Loomade ja taimede määratletud (grupiviisiliseks) muutlikkuseks nimetas Darwin massiliselt esinevat muutlikkust, mille puhul antud tõu, sordi või liigi kõik isendid teatud kindla põhjuse mõjul muutuvad ühes suunas ja ühteviisi.

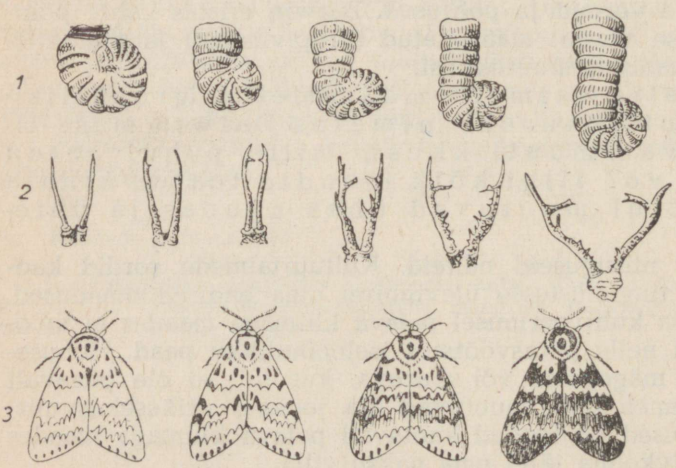
Darwin tõi niisuguseid näiteid. Kultuurtaimede sordid kaotavad uutesse tingimustesse üleviimisel oma endised omadused. Valge peakapsa kultiveerimisel palava kliimaga maades ei moodustu taimedel neile parasvöötmes iseloomulikku pead. Hobusetõud, veetuna mägedesse või saartele, kus toit ei ole piisavalt toitev ega mitmekesine, muutuvad aja jooksul väikesekasvulisteks. Põhjapoolsed lambatõud kaotavad palava kliimaga maades juba mõne põlvkonna järel oma paksu villa.

Määratlemata (individuaalseks) muutlikkuseks nimetas Darwin lõputult mitmekesiste

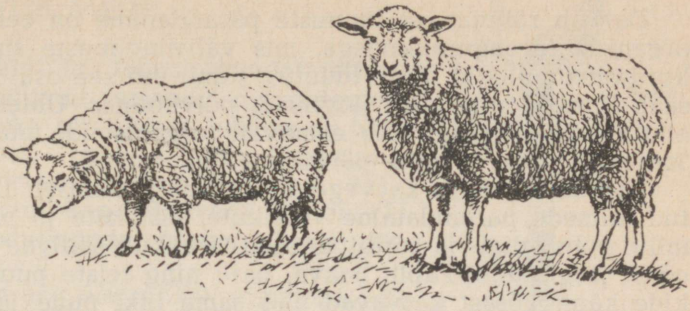
pisierinevuste ilmumist üksikisendite juures ühe ja sama sordi, tõu või liigi piires. Näiteks märkis ta, et lehviksabatuvil varieerub tüürsulgede arv sabas 14-st 42-ni. Ühe ja sama tuvitõu isendid erinevad üksteisest väga tugevasti noka kuju, varbaid katvate sarvkilbiste arvu ja muude tunnuste poolest. Täienduseks Darwini poolt esitatuile võib tuua veel teisigi näiteid (joon. 9). Meenutage muutlikkuse näiteid leheküljelt 23 ning öelge, kas neid tuleb lugeda määratletud või määratlemata muutlikkuse hulka. Darwin juhtis tähelepanu reale faktidele, mis näitavad, et mõnikord võib taimede ja loomade individuaalne määratlemata muutlikkus olla väga järsk. Nii sündis 1791. aastal Ameerika Ühendriikides täiesti normaalsetel lammastel erakordselt lühikeste jalgadega tall (joon. 10).

Tuleb ette juhtumeid, kus karusmarjapõõsa ühe ja sama oksa küljes valmib üheaegselt kollaseid ja punaseid marju. Kartulil on osal mugulasilmadel värvus mõnikord muutunud. Viinapuu ja mõnede viljapuuliikide kohta on teada fakte järskudest muutustest üksikute pungade ehituses.

Darwin tegi kindlaks, et organismi ühe osa muutumine tingib tihti muutusi ka tema teistes osades. Sellist nähtust nimetatakse korrelatiivseks muutlikkuseks. Darwin tõi terve rea huvitavaid fakte. Pikkade jäsemetega loomadel on peaaegu alati pikenenud ka kael. Tiheda karvkatteta koertel esineb sageli alaarenenud hambaid. Pikanokalistel tuvidel on jalad pikad, lühinokalistel — lühikesed; sulgedega kaetud jalgadega tuvidel on varbad ühendatud varvastevahelise nahkkilega.




JOON. 9. Määratlemata muutlikkus: 1 — juurjalgsed; 2 — siberi metskitse sarved; 3 — okkaliblika tiivamuster.



JOON. 10. Normaalse pikkusega jalgadega ankooni lammas koos oma lühijalgse tallega.

Taimedest võib korrelatiivset muutlikkust täheldada näiteks söögipeedi juures. Selle eri sortidel on juure, leherootsude ja lehe alumise külje värvus omavahel tihedas kooskõlas: heledamate juurtega sortidel on ka lehed vähem pigmenteerunud ja ümberpöördult. Püüdes saavutada muutusi ühes tunnuses, saab inimene tahtmatult muutusi ka teistes, eelmisega seotud tunnustes. Sedalaadi faktide põhjused jäid Darwinile teadmatuks ja need selgitati teaduse poolt alles palju hiljem.

Koduloomade ja kultuurtaimede muutlikkuse peapõhjuseks pidas Darwin uute, nende lähtevormide olelustingimustest erinevate elutingimuste mõju. Inimene muudab neid tingimusi pidevalt ja seetõttu on koduloomade ning kultuurtaimede muutlikkus ka märgatavalt suurem kui metsikutel liikidel. Darwin arvas, et muutlikkust soodustab ka mitmesuguste tõugude ja sortide vastastikune ristamine.

Looduslikes tingimustes põhjustavad organismide muutlikkust samad tegurid, mis kutsuvad muutusi esile koduloomade ja kultuurtaimede juures.

Muutlikkus esineb mitte üksnes sugulisel, vaid ka vegetatiivsel paljunemisel. Darwin tõi palju näiteid pungade muutlikkuse kohta vegetatiivselt paljunevatel taimedel.

Kogu selle ulatusliku ja mitmekülgse materjali alusel tegi Darwin järgmise järelduse: muutlikkus on organismide kõikehaarav ja üldine omadus.

**Pärilikkus.** Pärilikkuseks nimetatakse kõikide organismide üldist omadust säilitada ja järglastele edasi anda eellaste ehituse tunnuseid ning arenemise iseärasusi.

Igaüks teab, et tammetõrust kasvab tamm, et kuldnokamunadest kooruvad kuldnokapojad. Kultuurtaime teatud kindla sordi seemnest kasvavad üles sellesama sordi taimed. Loomad annavad järglastele edasi oma tõu omadused.

Darwin rõhutas, et tunnuste pärandamine on eelkõige seotud organismide sugurakkudega, mis välistingimuste suhtes on erakordselt tundlikud. Kuid muutus, juhul kui see osutub pärilikuks, saab ilmsiks tulla alles järgmises põlvkonnas. Ühtede ja samade elutingimuste mõju võib erinevate organismide puhul avalduda isemoodi, sest nende pärilikkus on erinev.

Pärilikkus säilib ka vegetatiivsel paljunemisel. Laialt on tuntud taimede paljundamine võrsikute, pistokste ja mugulate abil, mille puhul liigi- ja sorditunnused täielikult säilivad ning antakse edasi järglastele. Papli, haava, paju ning teiste puu- ja põõsaliikide kännuvõsast kasvavad üles sama liiki puud ja põõsad.

Seega on nii muutlikkus kui ka pärilikkus organismide üldised omadused.

**Pärilik ja mittepärilik muutlikkus.** Darwin tegi vahet päriliku ja mittepäriliku muutlikkuse vahel.

Pärilikuks muutlikkuseks luges ta määratlemata individuaalset muutlikkust, mille puhul ainult üks kord ilmunud muutused säilivad järgnevates põlvkondades. Darwin asus seisukohal, et tunnuste pärandumist tuleb vaadelda kui reeglit, selle puudumist aga kui erandit.

Mittepärilikuks muutlikkuseks pidas Darwin määratletud (grupiviisilist) muutlikkust, mille puhul isenditel tekkinud muutused järgnevates põlvkondades ei säili.

*Darwini arvamuse kohaselt omab evolutsiooniprotsessis tähtsust ainult pärilik, individuaalne muutlikkus.*

Darwin juhtis tähelepanu sellele, et seadused, mis juhivad pärilikkust, on veel tundmata. Ta näitas õigesti, millist osa evolutsiooniprotsessis etendab pärilik ja individuaalne muutlikkus, äratades sellega teadlaste huvi nimetatud nähtuse vastu. Darwin rõhutas korduvalt, et päriliku muutlikkuse probleemi on vaja põhjalikult uurida. Hiljem sai see probleem geneetika uurimisobjektiks.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Rääkige muutlikkuse vormidest; tooge näiteid. 2. Jälgige mõnel toataimel lehtede või õite kuju, suuruse ja värvuse muutlikkust. 3. Jälgige ekskursioonil olles, kooliaias töötades või jalutuskäikudel loodusesse muutlikkust taimedel ja putukatel. Tehke ülesvõtteid, koostage herbaariume ja kollektsioone. 4. Tõestage, et muutlikkus on organismide üldine omadus.

## 6. KUNSTLIK VALIK

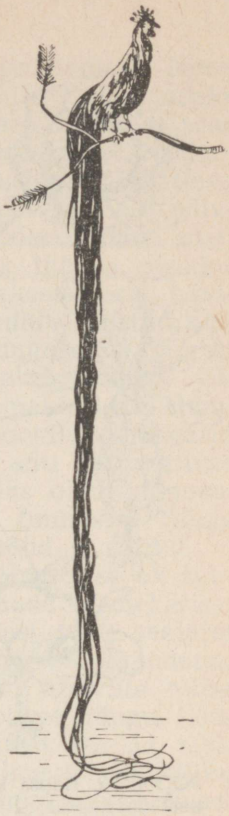
**Taimesortide ja loomatõugude mitmekesisus.** Möödunud sajandi neljakümnendateks aastateks oli tuntud juba suur hulk veise- (piima-, liha-, piima-lihaveise-), hobuse- (raskeveo- ja ratsahobuse-), sea-, koera-, aga samuti kana- (tahvel I ja joon. 11) ja teiste kodulindude tõuge. Tunti üle 150 tuvitõu.

Nisusortide arv ületas 300, viinapuusorte tunti ligi 1000, karusmarjasorte — üle 300.

Ühte ja samasse liiki kuuluvad loomatõud või taimesordid erinevad üksteisest sageli niivõrd tugevasti, et neid võib kergesti pidada erinevateks liikideks. Iga tõug või iga sort vastab oma tunnustelt alati inimese huvidele või tujudele, mis teda ajendasid neid aretama.

Teadlased, kes pooldasid õpetust liikide püsivusest ja muutumatusest, arvasid, et iga inimese poolt kasutusele võetud tõug ja sort põlvneb omaette metsikust liigist.

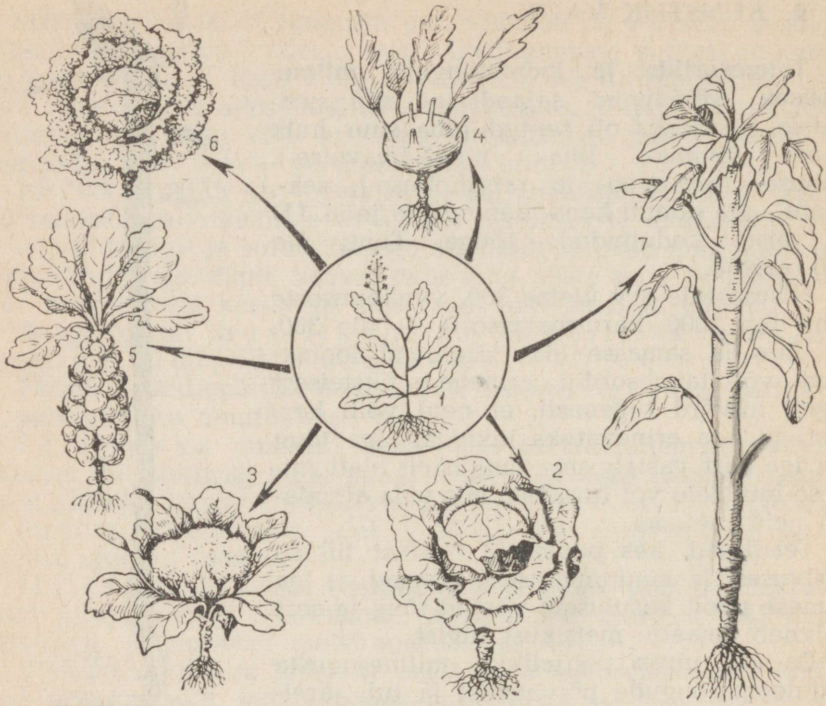
Darwin uuris põhjalikult mitmesuguste koduloomatõugude põlvnemist ja tuli järeldusele, et nii koduloomatõugude kui ka kultuurtaimesortide mitmekesisuse on loonud inimene ise, muutes erinevates suundades ühtainsat või ainult mõnda metsikut lähteliiki.



JOON. 11. Jokahama kukk.

**Kodutuvitõugude põlvnemine.** Vaatamata erinevuste suurele mitmekesisusele on kõigil tuvitõugudel (tahvel II) rida väga tähtsaid ühiseid iseärasusi. Kodutuvid on seltsingulise elulaadiga linnud, nad pesitsevad hoonetes, mitte kunagi aga puu otsas, paaritusperioodil käituvad kõik tõud ühteviisi. Tõud ristuvad omavahel kergesti, andes elujõulisi ja paljunemisvõimelisi järglasi. Erinevate kodutuvitõugude ristamisel sai Darwin järglaskonna, mis oma sinihalli värvuse poolest oli hämmastavalt sarnane metsiku kaljutuviga. Sellest tegi Darwin järelduse, et kõik kodutuvitõud põlvnevad ühestainsast liigist — metsikust kaljutuvist, kes pesitseb Vahemere, Inglismaa ja Norra ranniku kaldajärsakuil.

Mitte vähem põhjaliku uurimistööga tegi Darwin kindlaks, et kõik kanatõud põlvnevad bankiva kanast — metsikust kanaliigist, kes elutseb Indias, Tseilonil ja Sunda saartel. Veisetõud on saanud alguse XVII sajandil hävitatud metsikust liigist — tarvast, seatõud — metsseast.




JOON. 12. Kapsa kultuurvormid ja nende metsik esivanem: 1 — metsik üheaastane kapsas; 2 — peakapsas; 3 — lillkapsas; 4 — nuikapsas; 5 — rooskapsas; 6 — savoia kapsas; 7— söödakapsas.

Kapsasortide esivanem on olnud metsik kapsaliik, mis veel praegugi esineb Euroopa lääneranniku (joon. 12).

**Uute tõugude ja sortide aretamine.** Kas piisab ainult muutlikkusest ja pärilikkusest, et seletada koduloomatõugude ja kultuurtaimesortide hämmastavat mitmekesisust ning nende vastavust eesmärgile, millest lähtudes inimene neid aretab?

Sellele küsimusele vastuse leidmiseks pöördub Darwin põllumajandusalaste raamatute ja ajakirjade, põllumajandusnäituste aruannete, vanade kataloogide ja hinnakirjade poole, uurib hobusekasvatajate, tuviaretajate ja aednike kogemusi, otsib viiteid tõugude ja sortide kohta ajaloolistest ürikutest. Ja ta teeb kindlaks, et tõud ja sordid on pidevalt teisendunud, muutudes tunnustelt järk-järgult üha täiuslikumateks ja mitmekesisemateks. Inimene saavutas sellised tulemused kunstliku valiku abil, mida ta on teinud juba ammustest aegadest alates.

Kunstlik valik toimub järgmiselt. Inimene märkas karja hulgas, põllul, peenral jne. üksikut looma või taime, mis teiste seast

paistis välja mingi kas või tühisegi erinevuse poolest. Need isendid hakkasid teda huvitama, ta valis nad välja tõuloomadeks või seemnetaimedeks ning hakkas neid ristama. Järglaste seas tegi ta uuesti valikut, valides välja eksemplarid, mis olid vanematelt viimaste juures silmapaistnud majandusliku tähtsusega tunnuse pärandanud. Niisugune valik toimus põlvkonnast põlvkonda, kusjuures soojätkajaiks jäeti igast põlvkonnast alati ainult need isendid, mille juures antud pärilik tunnus avaldus kõige selgemini. Seevastu kõik mittesobivad eksemplarid hävitati või siis kasutati majapidamises küll ära, kuid ei lastud neil paljuneda. Selle tulemusel valikule allutatud tunnus järk-järgult tugevnes ja süvenes. Mitmesuguste omadustega tõuloomade või seemnetaimede vastastikusel ristamisel saadi omakorda niisuguseid loomi ja taimi, mis vastavalt aretaja soovile ühendasid endas juba mitmeid uusi tunnuseid. Samal ajal anti korrelatiivse muutlikkuse (lk. 24) tõttu koos valiku objektiks olnud tunnustega ühtlasi edasi ka teised, nendega seotud tunnused. Kõige selle tulemusel kujunesidki lõpuks välja uued tõud ja sordid.

Valikule eelnes mõnikord ristamine. Selle eesmärgiks oli suurendada järglaste seas muutlikkust ja sel teel saada mitmekesisemat lähtematerjali kunstlikuks valikuks. Viimast tehti seejärel pikema aja vältel. Sel viisil on näiteks saadud inglise parandatud omadustega seatõud. Vene hobusetõu — orlovi traavlite esiisa saadi järgmiselt: algul ristati araabia ratsahobuse tõugu täkk taani raskeveohobusega, seejärel sellest ristlusest saadud täkk aga hollandi traavihobusega. Edasi jätkus aretustöö kunstliku valiku abil, mille tulemusel lõpuks saadigi maailmakuulus hobusetõug — orlovi traavel.

Darwin eristas kahte kunstliku valiku vormi: ebateadlikku valikut ja metoodilist valikut.

**Ebateadlik valik.** Paljude aastatuhandete vältel on inimene teinud valikut s t i i h i l i s e l t, ebateadlikult, ilma et tal seejuures oleks olnud ettekujutust valiku lõpptagajärgedest. Muistsed põlluharijad kogusid metsikutelt kõrrelistelt külviks ikka peamiselt jämedamaid teri. Saagi koristamisel aga läksid haprad ja mittevalminud viljapead kaduma, samuti läksid kaduma ka ülearu peened terad. Alles jäid omadustelt kõige paremad viljapead ja neist saadud terad.

**Metoodiline valik.** Kunstlikku valikut hakati plaanipäraselt, m e t o o d i l i s e j ä r j e k i n d l u s e g a, s. t. juba varem ette kavandatud suunas rakendama alles XVIII sajandi lõpul. Darwin märgib, et mõne viimase aasta jooksul on aretatud rida uusi kodulinnutõuge, mis märgatavalt ületavad endisi kaalu ja liha kvaliteedi, munevuse ja teiste majanduslike näitajate poolest. Tõu tunnused hakkasid vastama varem püstitatud nõuetele. Nii näiteks tärkas aretajate seas huvi hispaania kuke harja asendi vastu — ja 5—6 aasta pärast olid kõik seda tõugu linnud juba

püstiste harjadega. Või teine näide: omal ajal peaaegu ei tuntud lokutiga kanatõuge, kuni ühel põllumajandusnäitusel üht niisugust tõugu ootamatult ja suure eduga demonstreeriti — ning mõne aasta pärast olid juba kõik näitusele väljapandud kanad eranditult lokutiga.

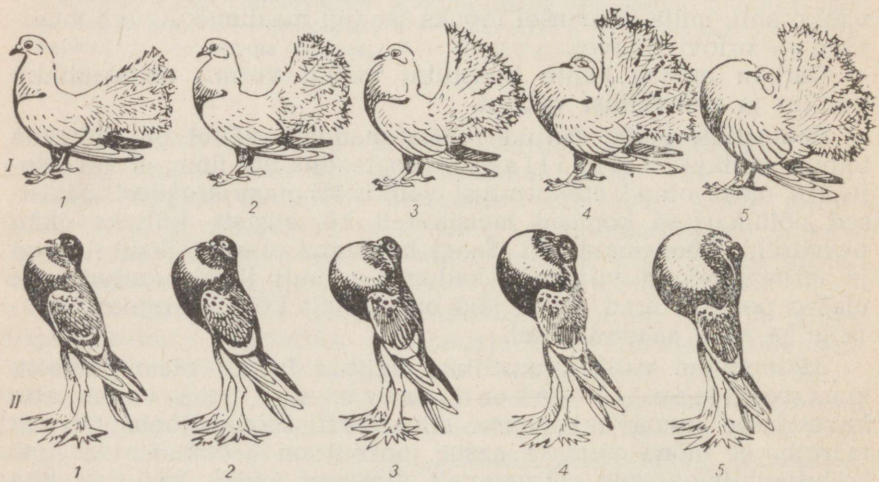
Taimesortide suhtes on täheldatud samasugust pilti. Nii juhtis Darwin tähelepanu sellele, et karusmarjade mõõtmed on pidevalt muutunud üha suuremaks ja et arvukate ilutaimesortide juures on kahekümne või kolmekümne aasta jooksul aset leidnud hämmastavad muutused.

Pärast seda, kui tõug on lõplikult välja kujunenud, piirdub inimene edaspidi vaid nende isendite väljapraakimisega, mis antud tõu standardist kõrvale kalduvad.

Darwini arvates kulgeb kunstlik valik kõige edukamalt suurtes majandites: suurema isenditehulga puhul on rohkem ka pärilikku materjali ja järelikult tekib ka rohkem võimalusi valikuks ja väljapraakimiseks.

**Valiku loov tähtsus.** Uued tõud ja sordid luuakse valiku teel, kusjuures valiku käigus areneb ja muundub just see organ või see tunnus, mida inimene eriti soovib arendada (joon. 13).

«Vaadake,» kirjutas Darwin, «kui mitmekesised on kapsa lehed ja kui hämmastavalt ühesugused on ta õied; kui mitmekesised on aedkannikese õied ja kui ühesugused lehed; kui teravalt erinevad suuruse, värvuse, kuju ja karvasuse poolest karusmarjasordid ja kui väike on nende õite erinevus.» Taolisi fakte




JOON. 13. Iseloomulike tõutunnuste järkjärguline kasvamine kahel tuvitõul umbes kolme sajandi jooksul:
I — lehviksabatuvi: 1 — 1678; 2 — 1765; 3 — 1895; 4 — 1898; 5 — 1936; II — pugutuvi: 1 — 1676; 2 — 1765; 3 — 1858; 4 — 1887; 5 — 1895.

võib seletada ainult sellega, et inimene on igal üksikjuhul valikut teinud ainult teatud kindlas suunas: kas lehtede, õite, viljade või mõne muu tunnuse järgi.

Siit järeldub, et tõud ja sordid, mis on saanud alguse ühistest metsikutest esivanematest, arenesid inimese tegevuse toimel edasi erinevates suundades, vastavalt aretajate erinevatele maitsetele, huvidele ja majanduslikkudele eesmärkidele. Selle tulemusel hakkasid nad järk-järgult üha rohkem ja rohkem erinema niihästi üksteisest kui ka sellest esialgsest metsikust liigist, millest nad põlvnesid.

Protsessi, kus esialgu vaevaltmärgatavad erinevused niihästi tõugude omavahelistes tunnustes kui ka tõugude ja nende ühiste esivanemate vahelistes tunnustes järk-järgult suurenevad, nimetas Darwin tunnuste lahknemiseks ehk divergentsiks.

Darwin tõi niisuguse näite. Kunagi mingil kaugel ajaloolisel ajal tundis teatud hõim vajadust tugevate raskeveohobuste, mingi teine hõim aga, vastupidi, kergete ja kiirete hobuste järele. Kumbki hõim hakkas aretama ainult teda huvitavaid hobuseid, tunnustelt vahepealsete hobuste aretamine aga soikus täielikult ning viimased hakkasid järk-järgult ära kaduma. Sajandeid kestnud aretuse tulemusel kujunes mõlemal hõimul lõpuks välja oma, temale vajalik, selgete tunnustega hobusetõug. Mõlemad tõud on tunnuste lahknemise tulemuseks. Darwin väitis, et inimesed on püüdnud tõugu valiku teel alati kõige selgemalt väljendunud tunnusteni viia, mistõttu vahepealsed vormid aegamööda hääbuvad.

Niisiis ei ole valiku puhul tegemist ainult kõlbmatute loomade lihtsa väljapraakimisega ja inimese huvidele vastavate isendite säilitamisega. Kunstliku valiku käigus kujunevad tunnuste järkjärgulise kuhjumise teel uued tõud ja sordid. Kunstlik valik on peamine tegur, peamine liikumapanev jõud, mis tagab uute tõugude ja sortide tekkimise. Õpetus kunstlikust valikust kujunes teoreetiliseks üldistuseks inimese sajanditepikkusele praktikale loomatõugude ja taimesortide loomise alal ja on kaasaegse selektsioonitöö üks tähtsamaid aluseid.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Millistele kunstliku valiku vormidele juhtis Darwin tähelepanu ja mille poolest nad erinevad? 2. Kuidas seletada loomatõugude ja taimesortide mitmekesisust? Mis on tunnuste divergents? 3. Kumb muutlikkuse vormidest — kas määratletud või määratlemata — annab lähtematerjali kunstlikuks valikuks? 4. Uurige välja, millised on peamised loomatõud ja taimesordid lähemas kolhoosis või sovhoosis. Selgitage välja sealsete loomade ja taimede tõu- ja sordiomadused. 5. Uurige, millist tõu- ja sordiparandustööd teeb sama kolhoos või sovhoos.

Ülesanded 4 ja 5 vormistage kirjalikult, täiendades neid fotode ja kollektsioonidega.

## 7. OLELUSVÕITLUS

Olles kindlaks teinud, et koduloomatõugude ja kultuurtaimesortide evolutsiooni peamine tegur on kunstlik valik, asus Darwin lahendama põhiülesannet — välja selgitama liikide evolutsiooni peamist liikumapanevat jõudu looduslikes tingimustes.

Darwin oli arvamusel, et nii nagu inimeste huvidele vastavate loomatõugude ja taimesortide mitmekesisust, nii ei saa ka metsikute liikide mitmekesisust ja organismide kohastumist elutingimustega seletada ainult päriliku muutlikkusega.

Ta püstitas küsimuse: kas ei esine valikuprotsess ka looduses?

**Paljunemise intensiivsus.** Darwin juhtis tähelepanu kiirusele, millega organismid paljunevad.

Loomade viljakus on paljudel juhtudel tohutu. Ühel inimesel parasiteeriva solkmeliigi isend võib ööpäevas produtseerida ligi 200 000 muna. Kudev tursk võib korraga heita kuni 10 miljonit marjatera. Rändrott annab aastas 5 pesakonda, igaühes keskmiselt 8 poega, kes juba kolme kuu pärast saavutavad suguküpsuse ja võivad ise hakata andma järglasi.

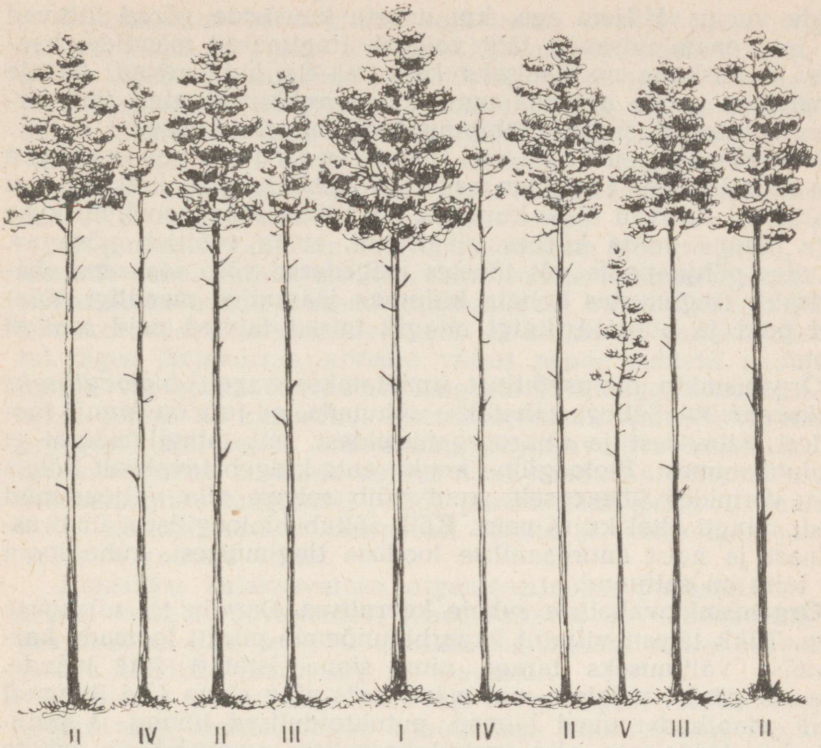
Taimed moodustavad tohutu arvu seemneid. Juba Linné arvutas välja, et ühest magunataimest võib saada kuni 32 tuhat seemet. Kuradikäpa ühes viljas on Darwini arvestuste kohaselt mitte vähem kui 186 300 seemet.

**Olelusvõitlus ja selle vormid.** Looduses tekib organisme palju kordi rohkem kui neid võib üheaegselt antud territooriumil eksisteerida. Selle tulemusel hakkavad organismid üksteisega konkureerima — nende vahel toimub olelusvõitlus. «Pean hoiatama,» kirjutas Darwin olelusvõitluse kohta, «et kasutan seda väljendust laias ja metafoorses tähenduses, lülitades siia alla ühe olendi sõltuvuse teisest, aga mis veelgi tähtsam — mõeldes selle all mitte ainult ühe isendi elu, vaid ka tema edukust endale järelpõlve kindlustamisel.» Ainult mõnel juhul väljendub olelusvõitlus otsese heitlusena, näiteks siis, kui kaks kiskjat purelevad saagi pärast või kui kiskja võitleb oma ohvriga.

Darwin eristas kolme olelusvõitluse vormi: liigisisene olelusvõitlus, liikidevaheline olelusvõitlus ja võitlus anorgaanilises looduses valitsevate ebasoodsate tingimustega.

Liigisisene olelusvõitlus toimub ühe ja sama liigi isendite vahel. Näiteks konkurents huntide vahel toidu pärast, mändide vahel valguse pärast. See olelusvõitluse vorm on kõige pingelisem, sest ühe ja sama liigi isendid vajavad üht ja sama toitu ning neid ähvardavad ühed ja samad ohud.

Selgelt avaldub liigisisene konkurents üheealises okasmetsas (joon. 14). Kõige kõrgemad, laiavõralised puud püüavad kinni põhilise osa metsale langevatest päikesekiirtest. Nad moodustavad hulgaliselt käbisid. Nende võimas juurestik ammutab pinnasest suurtes hulkades vett koos selles lahustunud mineraalsoola-




JOON. 14. Männid samaealises metsaistandikus. Arvud tähistavad mahasurutuse astet.

dega, tekitades sellega kahju nõrgematele naabritele. Võitjaks jäänud puud suruvad maha teiste puude kasvu ja arenemise kuni nende täieliku kängumise ja ärakuivamiseni.

Liikidevahelist olelusvõitlust täheldatakse erinevatesse liikidesse kuuluvate isendite vahel. Tavaliselt kulgeb liikidevaheline konkurents teravamalt siis, kui liigid kuuluvad samasse perekonda ja on omavahel sarnased mitte ainult ehituselt, vaid ka vajadustelt. Darwin viitab tervele reale niisugustele faktidele. Hoburästa kiire paljunemine mõnedes Šotimaa piirkondades tõi enesega kaasa teise rästaliigi — laulurästa arvukuse vähenemise. Austraalias on Euroopast sisse toodud tavaline astlaga mesilane välja tõrjumas kohalikku väikest mesilaseliiki, kellel astel puudub.

Pöördume uuesti tagasi vaatluste juurde metsas, kus võib näha, kuidas üks liik tõrjub välja teise. Kuusetõusmed, mis metsalagendikel kasvades külmakahjustuste tõttu hukkuksid, arenevad hästi männi, kase, haava ja teiste valgust armastavate puu-

liikide varjus. Hiljem aga, kui noorte kuuskede võrad liituvad ega lase enam piisavalt läbi valgust, tingimused mändide, haabade ja kaskede normaalseks kasvamiseks halvenevad. Nende tõusmed ei suuda areneda puudeks ja hukkuvad ning järk-järgult saavutavad endises lehtpuusalus ülekaalu kuused.

Võitlust anorgaanilises looduses esinevate ebasoodsate tingimustega täheldatakse kõikjal, kus organismid satuvad liigse kuumuse või külma, kuivuse või niiskuse kätte. Taime kohta kõrbes räägitakse, et ta «võitleb põuaga». Liikudes põhja poole või tõustes mägedesse võib sealsetes ebasoodsates tingimustes kohata kiduraks jäänud ja maadligi hoidvaid puid ja põõsaid, kuigi mingid teised taimed neid seal ei ahista.

Organismide olelusvõitlust nimetatakse sageli *bioloogiliseks konkurentsiks.* Sellega tahetakse rõhutada, et jutt on ainult loomadest, taimedest ja mikroorganismidest, mis mingil määral ei puuduta inimest. Bioloogiline konkurents kulgeb tavaliselt kõigis tema vormides üheaegselt, kuid võib selgelt olla väljendunud ainult mingil ühel kujul neist. Kõik sõltub bioloogilisest ümbruskonnast ja neist anorgaanilise looduse tingimustest, kuhu loom või taim on sattunud.

**Organismidevaheliste suhete keerulisus.** Darwin tõi niisuguse näite. Tükk täiesti viljatut kanarbikunõmme piirati loomade karjatamise vältimiseks taraga ning sinna istutati šoti mände. 25 aasta pärast mühises seal männimets ning sinna olid ilmunud uued «elanikud»: uued taimed, putuktoidulised linnud ja putukad, kes üksteisega olid seotud keeruliste omavaheliste suhete kaudu.

Liike seovad kõige keerulisemad seosteahelad. Oma reisi ajal pani Darwin tähele, et kõikides Paraguaist põhja ja lõuna poole jäävates piirkondades oli hulgaliselt metsistunud koduloomi (veiseid, hobuseid ja koeri), Paraguais endas neid aga ei olnud. Selgus, et Paraguais oli tohutult levinud teatud kärbseliik, mis muneb oma munad vastsündinud imetajate nabasse ja mistõttu viimased hukkuvad. Kui Paraguais oleks putuktoiduliste lindude arv vähenenud, siis oleks selle tulemusel suurenenud neid kärbseid hävitavate putukate arvukus. Kärbeste hulga vähenemisega oleks aga alanud loomade metsistumine. Viimased, takistamatult paljunedes, oleksid hävitanud taimkatte, mis omakorda oleks mõjutanud putukate ja järelikult ka putuktoiduliste lindude arvukust jne.

Elusolendite vahel valitsevad keerulised suhted väljenduvad ka üksteise vastastikuses abistamises näiteks ühiseluliste putukate (herilased, mesilased, sipelgad, termiidid) juures või metshobuste karjas. Hädaohu korral aetakse varsad keskele, nende ümber asetuvad ringina märad, pead sissepoole, täkud aga kaitsevad kogu ringi.

Metsas, kus bioloogiline konkurents avaldub eriti selgesti, hakkab silma ka puude üheskoos kasvamisest tulenev kasu. Võrreldes lagedate kohtadega kujuneb siin välja hoopis teine soojus- ja niiskusrežiim: temperatuuri kõikumised ei ole nii järsud, suhteline niiskus on kõrgem. Neis tingimustes, ülemise puuderinde varjulise katte all tekib soodne keskkond valguse suhtes vähenõudlike varjuarmastavate põõsaste, rohttaimede, sammalde, pinnasevetikate kasvamiseks ning arenemiseks.

**Organismidevaheliste suhete kasutamine inimese poolt.** Organismide vahel valitsevate keeruliste suhete tundmaõppimine teeb võimalikuks nende ärakasutamise inimese huvides. Nii jälgitakse külvikordade kindlaksmääramisel, et kultuurid vahelduksid põllul õiges järjekorras, arvesse võttes nende suhteid mullatingimuste, veerežiimi, kahjurite, haiguste ja muuga. Sedasama peetakse silmas ka kunstlikul metsaistutamisel. Näiteks kasutatakse praegusel ajal sageli mükoriisat põhjustavate seeneliikide hüüfide sisseviimist muldadesse, kus need puuduvad. Mükoriisa tekib seeneniidistiku tungimisel puude (tamm, kask, pöök jt.) juurtesse ja ta kujutab endast omapärast seente ja kõrgemate taimede vahelise kooselu vormi.

Kunstliku kalakasvatuse organiseerimisel puhastatakse veekogud esmalt röövkaladest (haug, ahven) ja väheväärtuslikust prügikalast, alles seejärel lastakse sinna sisse suure produktiivsusega kalaliike (karp, siig jt.) maimud.

Inimesel ja loomadel esinevate mitmesuguste nakkushaiguste raviks ning ärahoidmiseks kasutatakse nüüdsel ajal antibiootikume ja fütontsiide. Need mõlemad kujutavad endast erilisi taimede poolt produtseeritavaid aineid, mis on võimelised pärssima nende taimede suhtes kahjulike mikroorganismide elutegevust. Antibiootikume produtseerivad paljud alamad seened, fütontsiide — paljud õistaimed. Mõlemal juhul kujutab see endast kohastumist võitluses teiste liikidega.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Kuidas tõlgendas Darwin mõistet «olelusvõitlus»? 2. Millised vastastikused suhted eksisteerivad samasse liiki, millised erinevatesse liikidesse kuuluvate organismide vahel? Millised suhted valitsevad organismide ja anorgaanilise looduse vahel? 3. Milline olelusvõitluse vorm on kõige teravam ja mispärast? 4. Ekskursioonil ja jalutuskäigul metsa katsuge leida puid, mille kasv ja arenemine on teiste puude poolt maha surutud. Märkige ära, millistele tulemustele on olelusvõitlus erineval määral maha surutud puude juures viinud. Tehke ülesvõtteid, visandeid.

## 8. LOODUSLIK VALIK — ORGAANILISE MAAILMA EVOLUTSIOONI LIIKUMAPANEV JÕUD

**Loodusliku valiku olemus.** Missugustel organismidel on rohkem eeldusi väljuda võitjana olelusvõitlusest?

Kõiki organisme iseloomustab individuaalne pärilik muutlikkus. Mistahes metsiku organismipaari järeltulijad ei ole oma pärilike iseärasuste poolest kunagi ühesugused. Individuaalsed kõrvalekalded võivad antud keskkonnatingimuste suhtes olla kas ebaolulised, kahjulikud või kasulikud.

E b a o l u l i s e d muutused ei mõjuta isendite ellujäämist, nende viljakust ega liigi saatust tervikuna.

K a h j u l i k u d muutused alandavad isendite viljakust ning kahandavad nende eeldusi ellu jääda. Kahjulike muutuste ilmumine vähendab isendite arvukust, liikide areaal aheneb, liigid ise aga järk-järgult hääbuvad ning surevad lõpuks hoopis välja.

K a s u l i k u d muutused suurendavad isendite ellujäämise tõenäosust. Isenditel, kel niisuguste muutuste tõttu on teistega võrreldes kas või kõige tühisemgi eelis, on «rohkem šansse alles jääda ja oma sugu jätkata».

Muutused sellistena ise uut liiki ei loo, nad on vaid materjaliks evolutsiooni toimumisel, lülitudes sellesse loodusliku valiku kaudu. Niisiis annab *muutlikkus materjali evolutsiooniprotsessi toimumiseks, pärilikkus kinnistab selle, valik aga jätab alles need, kes on elutingimustega kohastunud.*

L o o d u s l i k u k s v a l i k u k s ehk kõige paremini kohastunute ellujäämiseks nimetas Darwin «kasulike individuaalsete erinevuste või muutuste säilimist ja kahjulike hävimist». Isendeid, kelle juures ilmneb kas või tühine, kuid teatud keskkonnatingimuste suhtes kasulik muutus, jääb loodusliku valiku protsessis põlvkonnast põlvkonda ellu märksa rohkem kui teisi, niisugust muutust mitteomavaid liigikaaslasi. Neist jääb igas põlvkonnas maha rohkearvuline ja elujõuline järglaskond. Vastupidi, samade tingimuste suhtes kahjulike muutustega isendid annavad üha vähem ja vähem ning üha nõrgemaid järglasi, mis lõppkokkuvõttes viib liigi väljasuremisele.

Darwin hoiatas, et loodusliku valiku puhul ei ole tegemist «teadliku valikuga muutusele allunud loomade poolt» ega ka «mingi toimiva alge või jumalusega». Väljavaliva teguri osa etendavad siin keskkonnatingimused ning väljendust «looduslik valik» kasutas Darwin lühiduse huvides metafoorses tähenduses, et märkida ära loodusseaduste toime tagajärge.

Looduslikule valikule alluvad metsikute organismide inimesele täiesti tabamatud iseärasused. Iga kõige tühisemgi, kuid kasulik pärilik muutus kandub loodusliku valiku teel järgnevatesse põlvkondadesse edasi, tugevneb seal ja kinnistub. Darwin kirjutas, et «looduslik valik jälgib, piltlikult väljendades, päev-

päeva ja tund-tunni kõrval kõige pisemaidki muutusi üle kogu maailma, heites kõrvale ebasoodsad, säilitades ja liites soodsad, töötades kuulmatult ja nähtamatult, kus ja kunas aga iganes selleks avaneb võimalus, iga orgaanilise olendi täiustamiseks ja tema kohastamiseks niihästi orgaaniliste kui anorgaaniliste elutingimustega».

Sellest järeldub, et looduslik valik toimub liigile kasulike pärilike muutuste alalhoidmise ja süvendamise kaudu, luues u u s i, täiuslikumaid, teistest paremini keskkonnaga kohastunud ning arvukamalt järglasi andvaid organisme. Olelusvõitluses hukkuvad kohastunud organismid mittekohastunutest märksa harvemini.

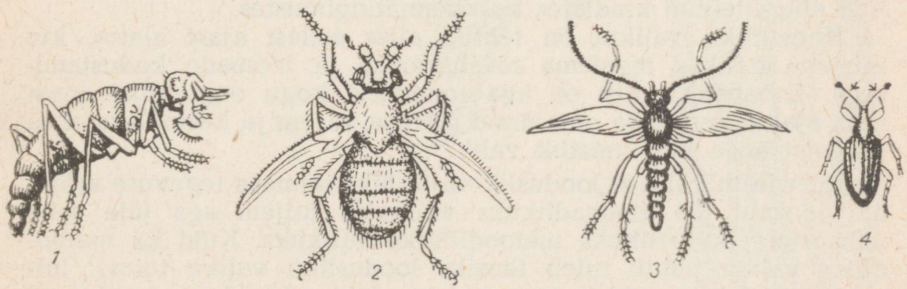
Looduslik valik toimub äärmiselt aeglaselt. «Me ei märka nende aeglaselt toimivate muutuste kulgemist enne, kui aja käsi ei ole tähistanud sajandite möödumist . . .». Eriti kriipsutas Darwin alla, et loodusliku valiku mõjuvõim laieneb kõikidele organismidele, olenemata nende soost ja vanusest.

*Darwin pidas looduslikku valikut evolutsiooniprotsessi peamiseks liikumapanevaks jõuks.*

Looduslik valik kulgeb edukamalt liigi massilise esinemise ja tema areaali laienemise korral, mil isendite arv, koos sellega aga ka määratlemata pärilike muutuste hulk mitmekordselt suureneb. Sellistes tingimustes valiku võimalused laienevad.

**Näiteid loodusliku valiku toime kohta.** Darwin selgitas loodusliku valiku toimet näidetega. Hunt peab jahti mitmesugustele loomadele, võites ühtesid neist jõuga, teisi kavalusega ja kolmandaid oma jalgade väledusega. Oletagem nüüd, et kõige välejalgsemate ohvrite, näiteks põtrade arvukus mingil põhjusel tugevasti suurenes, teiste loomade hulk aga märgatavalt vähenes, ja seda just sel aastaajal, mil hundid tunnevad eriti suurt toidupuudust. Sellistes tingimustes satuvad eelistatud olukorda kõige väledamad ja kõige osavamad hundid.

Väikestel ookeanisaartel, kus sageli esineb tugevaid tuuli, leidis Darwin ainult tiivutuid või siis pikatiivalisi putukaid. Seal-




JOON. 15. Tiivutud ja mandunud tiibadega putukad Kerguéleni saartelt: 1 ja 2 — kärbsed; 3 — liblikas; 4 — mardikas.

setes tingimustes võisid ellu jääda ja paljuneda ainult need putukad, kelle tiivad olid pikad ja kes suutsid võidelda tuulega, või siis jällegi need, kes üldse ei tõusnud maapinnalt lendu, vaid varjasid end taimede vahel (joon. 15); normaalsete tiibadega isendid kandusid tuulega ookeanile, kus nad hukkusid.

Ascensioni saarel, mis on igalt poolt tuultele avatud, ei kasvanud mitte ainsatki puud. Sedasama täheldati ka Kerguéleni saartel, kus peaaegu kõik taimed väänlesid mööda maad, kõige kõrgem neist aga ulatus vaevu ühe meetri kõrguseni. Paljud taimed sellel saarel moodustasid tihedaid mättakujulisi padjandeid. Kõrgekasvulised või nõrga juurdumisega taimed olid sajanditepikkuse valiku toimel siin kõik hävinud.

**Kunstliku ja loodusliku valiku toime võrdlus.** Mõlemad protsessid on omavahel s a r n a s e d selle poolest, et nii ühe kui teise aluseks on p ä r i l i k m u u t l i k k u s. Viimane sünnitab tunnuste pärilikke muutusi, s. t. annab materjali valiku toimumiseks. Kunstliku ja loodusliku valiku tulemusel tekivad u u e d v o r m i d: kunstliku valiku korral — tõud ja sordid, looduslikul valikul — liigid.

Kuid mõlema protsessi vahel on ka o l u l i s i e r i n e v u s i. Need seisnevad järgnevas.

Kunstliku valiku korral teeb inimene valikut üksnes tema huvi alla sattunud tunnuste osas, juhtides valiku toimet temale endale kasulikus suunas. Seejuures võivad valiku objektiks olevad tunnused organismi enda jaoks isegi kahjulikeks osutuda. Näiteks ei saaks meie parimad sea- ja veisetõud ilma inimese pideva hoolitsuseta looduses üldse eksisteerida.

Loodusliku valiku korral on valivaks teguriks ümbritseva keskkonna tingimused. Välja valitakse iga eluliselt tähtis tunnus. Seetõttu on loodusliku valiku toime üksikorganismi ning antud liigi kui terviku suhtes alati kasulik.

Kunstliku valiku tulemusel tekkivad loomatõud ja taimesordid vastavad neid aretanud inimese vajadustele ja eesmärkidele. Loodusliku valiku tulemusel tekivad aga liigid, mis on kohastunud eluga teatud kindlates keskkonnatingimustes.

Kunstlikku valikut on tehtud alles sellest ajast alates, kui inimene hakkas tegelema maaharimise ja loomade kodustamisega. Looduslik valik on aga toimunud kogu orgaanilise maailma ajaloo kestel; ta on alanud märksa varem ja kestnud märksa pikemat aega kui kunstlik valik.

Darwin märkis, et looduslik valik läks inimese tegevuse mõjul aja jooksul üle ebateadlikuks valikuks, hiljem aga (üle selle vaheastme) kunstlikuks metoodiliseks valikuks. Kuid ka metoodilise valiku puhul tuleb ilmsiks loodusliku valiku toime: inimene eelistab terveid ja tugevaid isendeid, nõrgad aga hukkuvad sagedamini juba ise. Looduslik ja kunstlik valik on üksteisega orgaaniliselt seotud.

**Küsimusi ja ülesandeid**

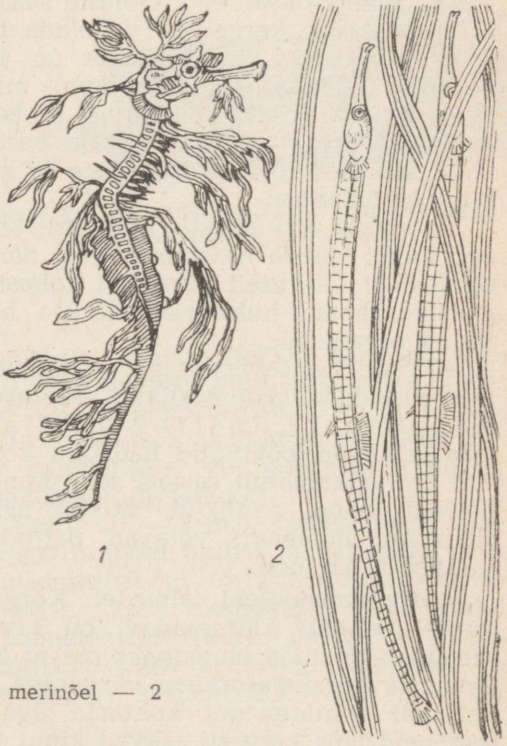
1. Missugust protsessi nimetatakse looduslikuks valikuks? 2. Missugune muutlikkuse vorm annab lähtematerjali looduslikuks valikuks? 3. Mispärast pidas Ch. Darwin looduslikku valikut evolutsiooni peamiseks liikumapanevaks jõuks? 4. Näidake, milles seisneb sarnasus kunstliku ja loodusliku valiku vahel ning mille poolest nad teineteisest erinevad?

## 9. ORGANISMIDE KOHASTUMINE JA SELLE SUHTELISUS

XIX sajandil laekus uurimistöödest üha uusi andmeid loomade ja taimede kohastumise kohta ümbritseva keskkonna tingimustega; küsimus orgaanilise maailma sellise täiuslikkuse põhjustest jäi aga endiselt lahtiseks. Darwin seletas kohastumise tekkimist orgaanilises maailmas loodusliku valikuga.

Tutvume kõigepealt mõnede faktidega, mis annavad tunnistust loomade ja taimede kohastumisest keskkonnaga.

**Näiteid kohastumise kohta loomariigis.** Loomariigis on laialt levinud mitmesugused kaitsevärvused. Kokkuvõtlikult võib neid




JOON. 16. Merihobuke — 1 ja merinõel — 2 merevetikate rägastikus.

liigitada kolme rühma: varjevärvus, hoiatusvärvus ja maskeerumisvärvus.

Varjevärvus muudab organismi teda ümbritseva looduse taustal vähem märgatavaks. Taimedel elunevad lutikad, kärbsed, ritsikad ja teised putukad on sageli rohelise värvusega. Kaug-Põhja faunale (jääkaru, valgejänes, rabakana) on iseloomulik valge värvus. Kõrbeloomade (maod, sisalikud, antiloobid, lõvid) värvuses domineerivad kollased toonid.

Hoiatusvärvus teeb organismi oma eredate ja kirjude värvitoonide, vöötide ning laikudega, vastupidiselt varjevärvusele, hästi märgatavaks (tahvel III). Hoiatusvärvus esineb mürgistel, kõrvetavatel või nõelavatel putukatel: kimalastel, herilastel, mesilastel, villimardikatel. Tavaliselt kaasnevad ereda hoiatusvärvusega veel teised, efektiivsemad kaitsevahendid: karvad, okkad, astlad, ärritavad või teravalt lõhnavad vedelikud. Hoiatusvärvuste rühma kuulub ka ähvardusvärvus.

Maskeerumise eelduseks on kuju ja värvuse sarnasus mingi esemega: lehega, oksaraoga, kiviga jne. (tahvel IV ja joon. 16). Vaksikuröövikud sirutavad end hädaohu korral täies pikkuses välja ning tarduvad oksal liikumatult paigale, meenutades väikest oksaraagu. Öölaste seas on liblikaid, keda liikumatus asendis on kerge ära vahetada tükikese mädanenud puuga. Üheks maskeerumise vormiks on ka mimikri (tahvel V). Mimikri all mõistetakse kahe või mitme loomaliigi omavahelist sarnasust värvuses, kehakujus ja isegi käitumises ning harjumustes. Näiteks on kimalase- ja herilasetaolised astlata kärbsed väga sarnased tõeliste kimalaste ja herilastega — astlaga varustatud putukatega.

Ei maksa aga arvata, et kaitsevärvus tingimata ja alati suudab loomi kaitsta hävitamise eest nende vaenlaste poolt. Oluline on see, et värvuselt paremini kohastunud organismid või organismiderühmad hukkuvad märksa harvemini kui vähemkohastunud organismid.

Kõrvuti kaitsevärvusega on loomadel välja kujunenud palju niisuguseid kohastumuslikke iseärasusi, mis on seotud nende harjumuste, instinktide ja käitumisega. Nii näiteks laskuvad põldvutid hädaohu korral kiiresti põllule ja jäävad seal liikumatult seisma seni, kuni oht on möödunud. Kõrbes poevad maod, sisalikud, sitikad palavuse eest peitu liivasse. Hädaohu momendil võtavad paljud loomad ähvardava poosi (tahvel V ja joon. 17).

**Kohastumisnäiteid taimedel.** Kõrgetel puudel, mille võra on tuultele vabalt kättesaadav, on tavaliselt lenduvad viljad ja seemned. Lindude elupaigaks olevat alusmetsa ja võsastikku iseloomustavad silmatorkava värvusega, söödava viljalihaga viljad. Paljudel rohttaimedel kohtame aga külgehaakuvaid vilju ja seemneid, mis kergesti jäävad kinni loomade karvadesse.

JOON. 17. Ähvarduspoosid loomadel: 1 — ämblik; 2—3 — kalmumardikas; 4 — kõrvukas ümarpeasisalik; 5 — kaelussisalik; 6 — prillmadu.

Palju erilaadseid mooduseid on taimedel välja kujunenud isetolmlemise vältimiseks ja risttolmlemise kindlustamiseks. Ühekojalistel taimedel valmivad isas- ja emasõied erineval ajal (kurgid). Kahesuguliste õitega taimi kaitseb isetolmlemise eest tolmukate ja emakate erinev valmimisaeg või iseärasused nende ehituses ja vastastikuses asetuses (nurmenukk).

Toome veel näiteid. Kevadlillede — ülase, kanakoolme, sinilille, kuldtähe jt. õrnad võrsed taluvad nullist madalamaid temperatuure kõrge suhkrukontsentratsiooni tõttu nende rakumahlas. Puude ja põõsaste (paju, kask, kadakas) väga väike kasvukiirus, madal kasv, peenelehisus, juurte pindmine asetus tundras, polaarfloora erakordselt kiire arenemine kevadel ja suvel — kõik see kujutab endast kohastumist eluks igikeltsa tingimustes.

**Organismide viljakus kui kohastumus liigi säilitamiseks.** Eespool tutvusite organismide intensiivse paljunemisega (lk. 32) kui olelusvõitluse ja loodusliku valiku eeldusega. Kuid organismide võimet jätta endast järele rohkearvuline järglaskond tuleb käsitada ka kui tähtsat kohastumuslikku iseärasust liigi säilitamiseks. Selle tõestuseks on fakt, et kõige arvukama järglaskonna annavad just need liigid, mille juures täheldatakse järglaste massilist hävimist, näiteks parasiitussid, paljud kalaliigid jne. Suure sigivuse poolest paistavad silma ka väikesemõõtmelised ja nõrgajõulised loomad — mitmesugused hiirelaadsed närilised, samuti paljud putukaliigid. Järglaste eest hoolitsemise instinktiga liikidel on järglaskond seevastu väikesearvuline. Mitmesugustel ogalikuliikidel näiteks koeb emaskala isaskala poolt ehitatud pessa kõigest 120—150 marjatera; pärast marja viljastamist jääb isaskala pesa valvama ning hoiab ja kaitseb seega nii kudu kui ka kooruvaid maime.

Paljud umbrohuliigid produtseerivad seemneid määratult suuremates kogustes kui kultuurtaimed — see on kohastumuslik tunnus.

**Kohastumuste mitmekesisus.** Taime- ja loomaliigid ei ole kohastunud mitte ainult anorgaanilise keskkonna tingimustega, vaid ka üksteisega. Näiteks moodustavad lehtmetsa rohurinde kevadel valguslembesed (lõokannus, ülane, kopsurohi, kanakoole), suvel aga varjulembesed taimed (maajalg, maikelluke, koldnõges). Varakevadel õitsvate taimede tolmeldajateks on peamiselt mesilased, kimalased ja liblikad; suvel õitsvaid taimi tolmeldavad tavaliselt kärbsed. Rohkearvulised putuktoidulised linnud (peoleo, puukoristaja jt.), kes pesitsevad lehtmetsas, toituvad peamiselt puude kahjuritest.

Organismidel võivad ühes ja samas elukeskkonnas välja kujuneda erinevad kohastumuslikud iseärasused. Nii ei ole näiteks värviliste seltsi kuuluva vesipapi jalad varustatud ujulestadega, kuigi ta hangib endale toitu vee alt. Sukeldumisel kasutab see lind tiibade abi, vee all püsimiseks klammerdub ta jalgadega põhjas leiduvate kivide külge. Või teine näide: mutt ja pimehiir uuristavad mõlemad maa-aluseid urge ning käike, kuid esimene kasutab selleks jäsemeid, teine aga teeb maa-alused käigud valmis pea ning tugevate lõikehammaste abil. Hüljes ujub loibade abil, delfiin aga kasutab selleks sabauime.

**Kohastumuste tekkimine organismidel.** Darwini poolt antud seletus keeruliste ja eripalgeliste kohastumuste tekkimise kohta organismidel erines põhimõtteliselt sama küsimuse käsitusest Lamarcki poolt. Mõlema teadlase vaated läksid järsult lahku ka evolutsiooni peamiste liikumapanevate jõudude määratlemises.

Darwini teooriast lähtudes võib näiteks varjevärvuse tekkimisele anda täiesti loogilise materialistliku seletuse. Vaadel-

gem näiteks, kuidas on tekkinud rohelistest lehtedest toituvate röövikute keha roheline värvus. Nende esivanemad võisid värvuselt olla teistsugused ja ka mitte toituda lehtedest. Oletame nüüd, et mingite asjaolude tõttu olid viimased sunnitud üle minema roheliste lehtede söömisele. Kerge on endale ette kujutada, mis sellele järgnes: suur hulk röövikuid langes otsekohe lindudele saagiks, sest lehtede rohelisel foonil olid nad kergesti märgatavad. Ei hukkunud aga kaugeltki mitte kõik röövikud. Mistahes organismi järglaskonna seas alati esinevate pärilike muutuste tõttu võis ka antud röövikute seas ette tulla selliseid, kus muutus oli seotud röövikute keha värvusega, tehes osa neist rohelistel lehtedel vähem silmatorkavaks. Just see osa röövikuist võiski hukkumisest pääseda, ellu jääda ning järglasi anda. Järgnevates põlvkondades roheliste lehtede foonil vähem silmahakkavate röövikute eelistatuma ellujäämise protsess jätkus. Selle tulemusel hakkas röövikute roheline värvus aja jooksul loodusliku valiku tõttu üha rohkem ja rohkem vastama üldtaustale.

Ka mimikri tekkimist saab seletada üksnes loodusliku valikuga. Organismid, kelle kehakujus, värvuses või käitumises tuli tavalisega võrreldes ilmsiks kas või tühiseidki, nende sarnasust hästikaitstud organismidega suurendavaid kõrvalekaldumisi, sattusid eelistatud olukorda; neil oli rohkem eeldusi ellu jääda ja arvukalt järglasi anda. Hukkumise protsent oli niisuguste organismide seas madalam kui nendel, kel selliseid kasulikke muutusi ei esinenud. Kasulik muutus põlvkonnast põlvkonda tugevnes ja täiustus, tunnused, mis muutsid organismi sarnaseks hästikaitstud loomadega, järk-järgult süvenesid. Taoliselt seletub ka mitmesuguste teiste teatud kindlatele keskkonnatingimustele vastavate kohastumuste tekkimine loomadel ja taimedel.

Evolutsiooni liikumapanev jõud on looduslik valik.

Lamarcki teooria osutus täiesti abituks seletama orgaanilises maailmas valitsevat otstarbekohasust, näiteks mitmesuguste kaitsevärvuse vormide tekkimist taimedel ja loomadel. Võimatu on näiteks oletada, et loomad «harjutasid» oma värvust ja kehakuju muutma ja et vastav kohastumuslik iseärasus tekkis neil harjutamise teel. Ka ei saa Lamarcki järgi seletada fakte, mis annavad tunnistust organismide vastastikusest kohastumisest üksteisega.

Nii näiteks jääb selle teooria järgi täiesti seletamatuks, millest tuleneb töömesilaste iminoka täpne vastavus nende poolt tolmeldatavate taimeliikide õie ehitusele. Töömesilased ei ole paljunemisvõimelised, järglasi produtseeriv mesilasema aga ei saa oma iminokka harjutada, sest tema ise korjel ei käi.

Meenutagem siinkohal veel kord evolutsiooni liikumapanevaid jõudusid nii, nagu neid kujutas ette Lamarck (lk. 12):

1) «looduse tung progressile», mis viib orgaanilise maailma arenemisele lihtsatelt vormidelt keerulistele, ja 2) väliskeskkonna muundav toime (taimede ja alamate loomade juures vahetu, kõrgemate loomade juures aga kaudne, realiseerudes närvisüsteemi kaudu).

Lamarcki käsitus gradatsioonist kui elusolendite organisatsiooni järkjärgulisest tüsistumisest vastavalt «kõigutamatutele» seadustele viib sisuliselt jumala olemasolu tunnistamisele. Tema teooria organismide otsesest kohastumisest väliskeskkonna tingimustega ainult adekvaatsete muutuste tekkimise teel ning sel viisil omandatud tunnuste tingimatust pärandamisest on loogiliseks jätkuks väärettekujutusele, nagu eksisteeriks looduses igipõline otstarbekohasus. *Omandatud tunnuste pärandamine ei ole leidnud eksperimentaalset kinnitust.*

Et oleks lõplikult selge, milles seisneb põhimine erinevus Lamarcki ja Darwini käsitustes evolutsiooni mehhanismist, toome ära nende endi sõnadega edasi antud seletused ühe ja sama näite kohta.

Pikkade jalgade ja kaela tekkimine kaelkirjakul Lamarcki järgi.

«On teada, et see imetajatest kõige kõrgekasvulisem loom elutseb Aafrika sisealadel, kus peaaegu alati valitseb kuivus ning puudub lopsakas taimestik. See sunnib kaelkirjakut toituma puude lehtedest ning pidevalt end pingutama, et nendeni küünitada. Kuna selline harjumus on kõikidele antud liigi esindajatele olnud omane juba ammust aega, siis on see viinud selleni, et kaelkirjaku eesjalad muutusid pikemaks kui tagajalad, tema kael aga pikenes seevõrra, et loomal piisab kuue meetri (umbes kahekümne jala) kõrguselt lehtede kättesaamiseks üksnes pea tõstmisest ega olegi enam vaja end tagumistele jalgadele püsti ajada... Iga muutus aga, mille organ tema harjumusliku ning selle muutuse esilekutsumiseks piisava kasutamise tulemusel on omandanud, säilib edaspidi paljunemise teel. Ainsaks tingimuseks on, et kõne all olev muutus peab esinema mõlemal isendil, kes oma liigi reprodutseerimisest üheskoos osa võtavad. Sel juhul antakse muutus järglastele edasi ja see läheb üle kõikidele järgnevate põlvkondade indiviididele. Viimased alluvad nendesamade tingimuste toimele, mis nende vanemadki, kuid järglased ei pea seda muutust enam omandama samal teel, mil viisil ta tegelikult loodud sai.»

Darwini järgi

«Kaelkirjak on oma kõrge kasvu, väga pika kaela, eesjalgade, pea ja keele poolest suurepäraselt kohastunud lehtede rebimisele puude ülemistelt okstelt... kõige kõrgemad isendid, kelle kasv oli teistest tolli või paari võrra suurem, võisid põuaperioodidel sageli ellu jääda, hulkudes toidu otsimisel ringi mööda

kogu maad... Sellel tühisel kasvu ja muutlikkuse seadustest tuleneval erinevusel isendite mõõtmetes ei ole enamiku liikide juures mingisugust tähtsust. Teisiti oli aga lugu kujunema hakkava kaelkirjakuga, sest kui arvesse võtta tema tõenäolist eluviisi, siis isendid, kellel mingi üks või mitu erinevat kehaosa osutusid tavalisest pikemaks, pididki ainsana teiste seast ellu jääma. Paljunemisel pidid neist järele jääma järglased, kelle kehaehituses kordusid vanematele omased iseärasused, või siis need, kes kaldusid muutuma edasi samas suunas. Seevastu isendid, kes nende tunnuste poolest olid organiseeritud vähemsoodsalt, pidid kõige kergemini sattuma hukkumise ohtu.

... looduslik valik kaitseb ja ühes sellega eraldab välja kõik paremini organiseeritud isendid, andes neile täieliku võimaluse ristuda ja paljuneda; samal ajal ta soodustab kõikide halvemini organiseeritud isendite hävimist.»

Teooria organismide otsesest kohastumisest väliskeskkonna tingimustega adekvaatsete muutuste tekkimise ja nende päriliku edasikandumise kaudu leiab pooldajaid ka praegusel ajal, kuigi nende arv on väga väike. Selle teooria idealistlikku olemust on võimalik avada üksnes Darwini evolutsiooniõpetuse sügava omandamise alusel.

**Organismide kohastumise suhtelisus.** Darwini õpetus looduslikust valikust mitte ainult ei seletanud, kuidas võis orgaanilises maailmas tekkida kohastumine, vaid ka tõestas, et viimane on alati suhtelise iseloomuga. See tähendab, et otstarbekohasus ei ole orgaanilise maailma kõikehaarav omadus. Kõrvuti kasulike tunnustega esineb loomadel ja taimedel ka kasutuid ja isegi kahjulikke tunnuseid.

Mõned näited kasututest ja otstarbetutest organitest loomadel: tikkelluud hobusel, mandunud tagajäsemed vaalal, mandunud kolmas silmalaug (pilkkile) ahvidel ja inimesel, pimesoole ussripik inimesel.

Iga kohastumus aitab organismidel ellu jääda ainult nendes tingimustes, milles nimetatud kohastumus loodusliku valiku toimel välja kujunes. Kuid ka neis tingimustes on kohastumine suhteline. Eredal päikesepaistelisel talvepäeval reedab valge sulestikuga rabakana asukoha tema tume vari lumel. Valgejänes jääb küll märkamatuks lumises metsas, muutub aga hästi nähtavaks metsa tumedal foonil, kui ta metsaservast välja jookseb.

Loomade instinktide jälgimisel tehtud tähelepanekud annavad samuti rea tõendeid nende kohatise ebaotstarbekohasuse kohta. Ööliblikatel on suur tung tule peale kokku lennata, hoolimata sellest, et nad seejuures ise hukkuvad. Neid kisub tule poole instinkt: nad korjavad nektarit peamiselt heledatelt, öösel hästi nähtavatelt õitelt. Ka kõige paremale kaitstusele ei saa organismid kaugeltki mitte alati kindlad olla. Lambad võivad ilma vähi-

magi ohuta ära süüa karakurdi — Kesk-Aasia ämbliku, kelle hammustus on paljudele loomadele mürgine.

Organi kitsas spetsialiseerumine võib saada organismi hukkumise põhjuseks. Nii näiteks ei suuda suurepärase lendajana tuntud piirpääsuke lendu tõusta tasaselt pinnalt, sest ta tiivad on pikad, jalad aga väga lühikesed. Lendu saab ta tõusta ainult mingilt väljaulatuvalt servalt, kust ta end nagu trampliinilt ära tõukab.

Taimede kohastumused, mis takistavad nende söömist loomade poolt, on samuti suhtelise iseloomuga. Kui kari on näljane, sööb ta ära ka ogadega kaitstud taimed. Organismide sümbiootilistest vahekordadest tulenev vastastikune kasu on samuti suhteline. Real juhtudel võib näiteks samblike juures täheldada, et seeneniidid on lammutamas nendega kooselus olevaid vetikaid.

**Eksperimentaalseid tõendeid loodusliku valiku toimumise kohta.** Darwini-järgsel perioodil on tehtud rida eksperimente, mis kinnitavad loodusliku valiku esinemist looduses. Näiteks lasti ühes katses teatud arv kalu (gambuusiaid) eri toonides värvitud põhjaga basseinidesse. Selles basseinis, kus kalad olid paremini märgatavad, hävitasid linnud neist 70%, seal aga, kus kalade värvus sobis basseinipõhjaga paremini — kõigest 43%.

Teisel juhul pandi tähele, et värvuliste seltsi kuuluv käblik suhtus kaitsevärvuse tõttu peaaegu märkamatuks jäänud vaksiku röövikutesse täiesti ükskõikselt, kuid asus neid otsekohe nokkima, kui röövikud end liigutasid.

Eksperimentaalselt on tõestatud, et kui putukad asuvad foonil, mis vastab nende värvusele, siis langevad nad lindudele saagiks harvemini. Näiteks pruunil rohul, kuhu oli kinni seotud 20 kollast, 20 rohelist ja 20 pruuni palvetajat (liik putukaid), sõid linnud ära 11 rohelist, 12 kollast ning ainult 4 pruuni eksemplari.

Katsetega on kindlaks tehtud ka hoiatusvärvuse suur tähtsus loodusliku valiku protsessis. Metsaservale paigutatud laudadele asetati lindude peibutamiseks laiali kahesajasse erinevasse liiki kuuluvaid putukaid. Katse jooksul külastasid linnud laudu umbes 2000 korda, kuid nad ei nokkinud sealt ära mitte kõik putukad, vaid ainult need, kellel hoiatusvärvus puudus.

Niisamuti tehti kindlaks, et enamik linde püüab kiletiivalisi putukaid nende siseorganite ebameeldiva maitse tõttu vältida. Haarates korra noka vahele herilase, ei puuduta lind pärast seda enam mõnda aega (kolm kuni kuus kuud) ka herilasetaolisi kärbseid. Hiljem hakkab ta neid uuesti sööma, kuid sattudes taas herilasele, ei puuduta ta jälle kaua aega ka kärbseid.

On tehtud katseid ka «kunstliku mimikriga». Linnud sõid meelsasti maitsetu värvaine karmiiniga värvitud jahumardika vastseid. Tarvitses neist aga ainult osa värvida värvainega, millele oli lisa-

tud kiniini või mõnda teist ebameeldiva maitsega ainet, kui linnud pärast nendele sattumist otsekohe lakkasid üldse värvitud vastseid nokkimast. Sama katset korrati veel teises variandis, maalides vastsete kehale mitmesuguseid kujundeid; nüüd hakkasid linnud nokkima ainult neid usse, kelle kehale maalitud kujunditega ei kaasnenud ebameeldivat maitset. Seega kujunes lindudel välja tingitud refleks hoiatavatele eredatele signaalidele või kujunditele.

Eksperimentaalseid uuringuid loodusliku valiku kohta on teinud ka botaanikud. Nii uuriti mimikrit kultuurtaimede külvides kasvavate umbrohtude juures. Selgus, et umbrohtudel on rida bioloogilisi iseärasusi, mille tekkimist ja arenemist saab seletada üksnes kohastumisena inimkultuuri poolt loodud tingimustega. Näiteks on linapõldusid risustaval linatudral (ristõieliste sugukonnast) ja suurel nälgheinal (nelgiliste sugukonnast) seemned nii suuruselt kui kaalult väga sarnased linaseemnetega. Sama võib öelda ka rukkipõldudel umbrohuna esineva tiivutu robirohu (mailaseliste sugukonnast) kohta. Umbrohtude seemned valmivad tavaliselt üheaegselt kultuurtaimede seemnetega. Tuulamisel on mõlemaid seemneid raske üksteisest eraldada. Inimene koristas põllult saagi koos umbrohtudega, rehepeksmisel jäid saagi hulka ka umbrohtude seemned, kevadel külvas ta need aga koos sordiseemnega uuesti mulda. Seega inimene ise, ilma et ta seda oleks teadnud või tahtnud, aitas kaasa mitmesuguste umbrohutaimede seemnete looduslikule valikule nende sarnasuse suurenemise suunas kultuurtaimede seemnetega.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Missuguseid kaitsevärvuse vorme te tunnete? Tooge näiteid. 2. Tooge näiteid kohastumuste kohta taimedel. 3. Kuidas seletas organismide kohastumist keskkonnaga Darwin, kuidas Lamarck? Mille poolest nende vaated selles küsimuses erinevad? 4. Tooge lisaks õpikus tooduile veel teisi näiteid kohastumise suhtelisuse kohta taimedel ja loomadel. Kuidas seletada kohastumuste suhtelist iseloomu? 5. Vaadelge kooli elavnurga taimi ja loomi ning näidake, milles seisneb nende kohastumine nende loodusliku elukeskkonna tingimustega. 6. Kuidas vastavalt Darwini teooriale seletada hoiatusvärvuse tekkimist putukatel? 7. Kuidas vastavalt Darwini õpetusele looduslikust valikust seletada: 1) peitlitaolise noka tekkimist rähnil; 2) aroomi kujunemist metsikul roosil; 3) haagikeste olemasolu ruskme viljadel; 4) vaksikuröövikku sarnasust kuivanud oksaraoga? 8. Kas järgmised küsimused on formuleeritud õigesti: 1) Milleks on kibuvitsal silmatorkavad õied? 2) Mis otstarbel liblikad lendavad õielt õiele? Põhjendage oma vastust. Esitage need küsimused omapoolses redaktsioonis. 9. Korrake: 1) Milles seisneb kunstliku ja loodusliku valiku olemus? 2) Mis on liik?

## 10. UUTE LIIKIDE TEKKIMINE

Erinevatesse liikidesse kuuluvad taimed ja loomad erinevad üksteisest ehituse, mõõtmete, nõudluste ja teiste tunnuste poolest.

Juba ammust aega on inimest hämmastanud orgaanilise maailma mitmekesisus. Kuidas see on tekkinud? Õpetus looduslikust valikust selgitas, kuidas tekivad *uued liigid looduses*. Darwin lähtus koduloomatõugude kohta kogutud faktidest. Alguses oli loomatõugude mitmekesisus märksa väiksem, kui see on praegusel ajal. Hiljem aga, vastavalt erinevatele vajadustele ja eesmärkidele, hakkasid inimesed tegema kunstlikku valikut üha erinevamates suundades. Selle tulemusel tõud *divergeerusid*, s. t. nad *hakkasid oma tunnuste poolest lahku minema* niihästi üksteisest kui ka neile kõigile ühisest esivanematõust (lk. 30).

**Divergents looduslikes tingimustes.** Divergents toimub pidevalt ka looduses, tema liikumapanevaks jõuks on looduslik valik. Mida rohkem mingi liigi järglased üksteisest erinevad, seda kergemini võivad nad elamiseks ja arenemiseks uusi, senisest arvukamaid ja mitmekesisemaid alasid vallutada, seda kergemini hakkavad nad paljunema. Oletame näiteks, et mingi neljajalgne kiskja jõudis arvukuselt nende piirideni, mida elunemine antud piirkonnas maksimaalselt võimaldas saavutada, kusjuures paikkonna füüsikalised tingimused on jäänud endisteks. Kerkib küsimus: kas see kiskja saab paljuneda edasi? Paljunemine on võimalik, kui tema järglased haaravad enda valdusse kohad, mis seni olid asustatud teiste loomade poolt. See võib toimuda aga ainult seoses üleminekuga teisele toidule või elamaasumisega uutesse elutingimustesse (puude otsa, vette jne.). Mida mitmekülgsemad on selle kiskja järglased oma tunnustelt, seda ulatuslikumalt nad levivad.

Darwin toob järgmise näite. Kui mingile maatükile külvata ainult üht liiki, sellega sarnanevale maatükile aga mitmesse eri liiki või perekonda kuuluvaid heintaimi, siis teisel juhul tuleb üldine saak suurem.

Ühel looduslikul maatükil suurusega veidi üle 1 $m^2$ leidis Darwin esindajaid 20 erinevast taimeliigist, mis kuulusid 18 eri perekonda ja 8 eri sugukonda. Sedalaadi faktid on kinnituseks Darwini poolt esitatud väitele, et «kõige suurem elu kuhjumine esineb ehituse kõige suurema mitmekesisuse korral».

Üht ja sama liiki taimede vahel, arvesse võttes nende ühesuguseid vajadusi pinnase, niiskuse, valguse jne. suhtes, on bioloogiline konkurents kõige teravam. Looduslikul valikul säilivad eelkõige need vormid, mille erinevus üksteisest on kõige suurem. Mida märgatavamaks muutuvad erinevused eri vormide kohastumuslike tunnuste vahel, seda rohkem lähevad üksteisest lahku ka vormid ise.

Loodusliku valiku tõttu on evolutsiooniprotsessil divergentne iseloom. Ühest lähtevormist saab alguse terve vormide «plejaad», otsekui ühe ühise juure eri harud. Kuid mitte kõik neist ei arene edasi. Põlvkondade lõputult pikas reas toimuva loodusliku valiku toimel ühed vormid säilivad, teised surevad välja; üheaegselt divergentsiprotsessiga toimub ka väljasuremisprotsess ning mõlemad protsessid on omavahel tihedalt seotud. Üksteisest kõige rohkem lahkuminevatel vormidel on võimalused loodusliku valiku protsessist võitjana välja tulla kõige suuremad. Nad konkureerivad omavahel vähem kui vahepealsed ja algvormid; viimaste arvukus muutub aja jooksul järjest väiksemaks, nad tõrjutakse teiste poolt järkjärgult üha rohkem ja rohkem kõrvale ning surevad lõpuks hoopis välja.

**Teisend — vaheaste liigi tekkimisel.** Darwini kujutluste kohaselt algab uute liikide tekkimise protsess looduses liigi lagunemisest liigisisesteks rühmadeks, milliseid ta nimetas teisenditeks.

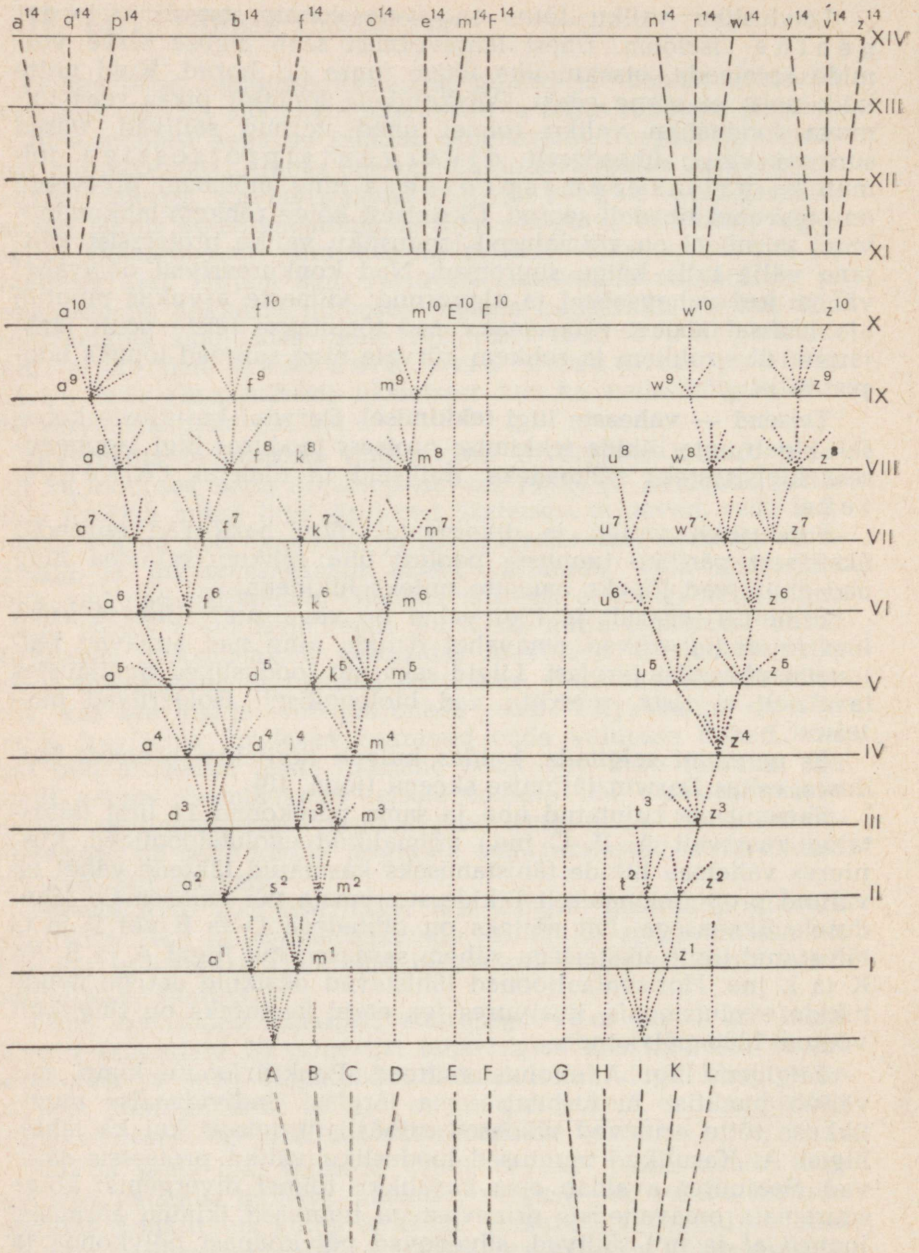
Loodusliku valiku ja divergentsi tõttu hakkavad teisendid üksteisest pärilike tunnuste poolest üha rohkem erinema ning nad muutuvad lõpuks omaette uuteks liikideks.

Erinevus teisendi ja liigi vahel on väga suur. Ühe ja sama liigi teisendid võivad omavahel ristuda ning nad annavad paljunemisvõimelisi järglasi. Liigid seevastu looduslikes tingimustes tavaliselt ei ristu, mistõttu nad bioloogiliselt isoleeruvad üksteisest.

Et paremini selgitada, kuidas kulgeb liigitekke protsess looduses, esitas Darwin järgmise skeemi (joon. 18).

Skeemil on kujutatud ühe ja sama perekonna 11 liigi (tähistatud vastavalt A, B, C jne.) võimalikud evolutsiooniteed, kusjuures vahemaa liikide tähistamiseks kasutatud tähtede vahel on valitud proportsionaalselt liikide suuremale või väiksemale lähedusele üksteisega. Nii näiteks on tähtedega D ja E või F ja G tähistatud liigid üksteisega vähem sarnased kui liigid A ja B või K ja L jne. Horisontaaljooned tähistavad üksikuid etappe nende liikide evolutsioonis, kusjuures iga etapi kestuseks on tinglikult võetud 1000 põlvkonda.

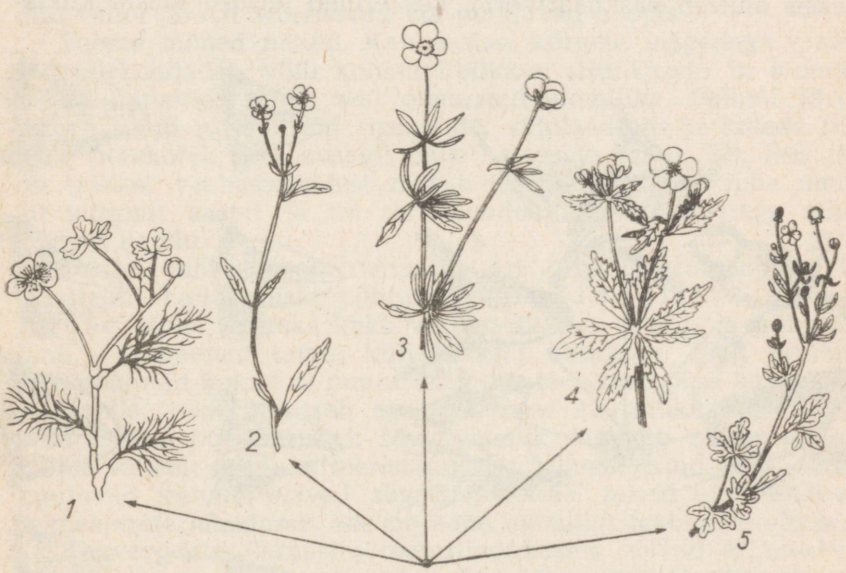
Jälgigem liigi A evolutsiooniteed. Punktiirjoonte kimp, mis väljub punktist A, kujutab tema järglasi. Individuaalse muutlikkuse tõttu erinevad viimased niihästi üksteisest kui ka lähteliigist A. Kasulikud muutused loodusliku valiku protsessis säilivad. Seejuures avaldab oma kasulikku toimet divergents: kõige suuremate omavaheliste erinevustega tunnused (kimbu äärmised jooned $a^1$ ja $m^1$) säilivad, süvenevad põlvkonnast põlvkonda ja lähevad üksteisest üha rohkem ja rohkem lahku. Teatud aja möödudes hakkavad süstemaatikud $a^1$ ja $m^1$ tunnistama juba omaette teisenditeks.




JOON. 18. Divergentsi skeem.

Oletame, et esimese etapi — esimese aastatuhande jooksul tekkisid liigist A kaks selgeilmelist teisendit $a^1$ ja $m^1$. Tingimuste mõjul, mis põhjustasid muutusi juba nende lähteliigi A juures, jätkub mainitud teisendite muutumine ka edaspidi. Võib juhtuda, et kümnendaks etapiks on nad juba seevõrra erinevad üksteisest ja lähteliigist A, et neid tuleb hakata pidama kaheks omaette liigiks: $a^{10}$ ja $m^{10}$. Osa teisendeid sureb välja ja võimalik, et peale $a^{10}$ ja $m^{10}$ jõuab kümnenda etapini veel ainult $f^{10}$, moodustades kolmanda liigi. Viimasel etapil näeme juba 8 uut liiki, mis kõik on saanud alguse liigist A: $a^{14}$, $q^{14}$, $p^{14}$, $b^{14}$, $f^{14}$, $o^{14}$, $e^{14}$ ja $m^{14}$. Liigid $a^{14}$, $q^{14}$ ja $p^{14}$ seisavad üksteisele lähemal kui teistele liikidele ja moodustavad seetõttu omaette perekonna, kuna ülejäänud liikidest moodustub veel kaks perekonda (selgitage seda skeemi abil). Liigi I evolutsioon kulgeb samasugusel viisil. Jälgige seda skeemil.

Ülejäänud liikide saatus on aga teistsugune. Kui jätta esialgu kõrvale liik F, siis neist ainult E, seejuures peaaegu muutumatuna, jõuab kümnenda etapini, seejärel sureb aga ka tema välja. Omaette tähelepanu väärib liik $F^{14}$. Võrreldes oma esivanemliigiga F, mis ise oli omadustelt vahepealne algliikide A ja I suhtes, on ta peaaegu muutumatuna säilinud kuni meie ajani. Nii-




JOON. 19. Divergents tulikate perekonnas: 1 — särjesilm (veetaim); 2 — sootulikas (esineb niiskel pinnasel jõgede kaldail, heinamaadel); 3 — kuldtulikas (kasvab heinamaadel, aedades, teeservadel); 4 — metstulikas (kasvab metsas, võsastikes, parkides); 5 — mürktulikas (esineb väga niisketes kohtades).



TRU Raamatukogu

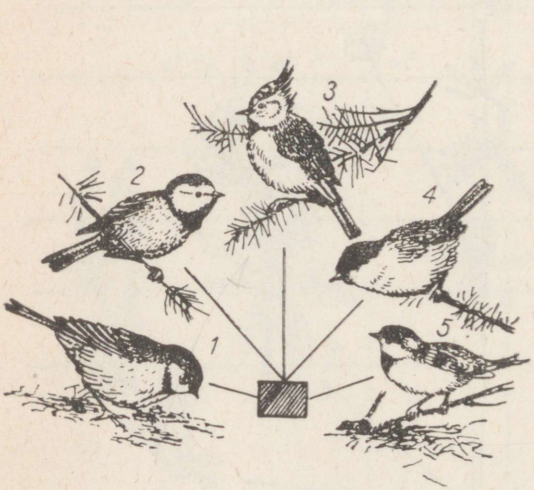
sugune nähtus võib esineda, kui keskkonnatingimused pikema aja jooksul üldse ei muutu või muutuvad väga vähe.

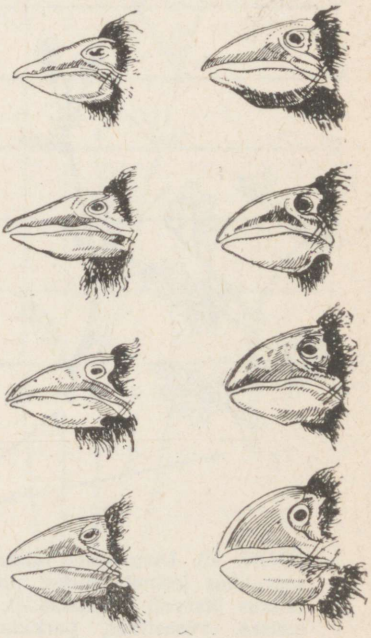
Darwin rõhutas, et mitte alati ei jää looduses peale üksteisest kõige enam lahku läinud teisendid. Ka vahepealsed ning esivanemvormid võivad säilida ja järglasi anda. Üks liik võib oma arenemises teisest ette minna; kahest äärmisest teisendist areneb mõnikord edasi ainult üks, kuid võib ka nii juhtuda, et edasi ei arene mitte kaks, vaid kolm äärmist vormi. Kõik sõltub sellest, millisteks kujunevad vahekorrad organismide eneste ning organismide ja ümbritseva keskkonna vahel.

**Näiteid liikide tekkimise kohta.** Toome mõned näited liikide tekkimise kohta, kasutades seejuures mõistet a l a m l i i k, mis on teaduses kasutusele võetud «teisendi» asemel.

Laia levikuga liigid, nagu näiteks karu, valgejänes, rebane, orav, esinevad Atlandi ookeanist kuni Vaikse ookeanini ja neil on arvukalt alamliike. NSV Liidu keskvööndis esineb üle 20 tulikaliigi, mis kõik on põlvnenud ühest esivanemliigist. Tema järglased on enda valdusse haaranud mitmesugused elupaigad — stepid, metsad, põllud — ning divergentsi tõttu järk-järgult eraldunud üksteisest esialgu alamliikideks, seejärel liikideks (joon. 19). Tutvuge ka teiste näidetega (joon. 20 ja 21).

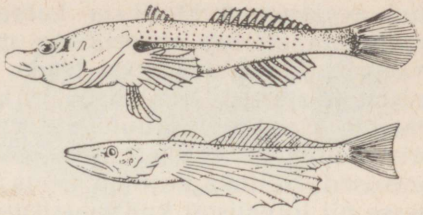
L i i k i d e t e k k i m i n e j ä t k u b ka praegusel ajal. Kaukaasias elutseb pasknäärivorm, kes erineb teistest musta kukla-



Joon. 20. Divergents tihaste perekonnas: 1 — rasvatihane; 2 — sinitihane; 3 — tutt-tihane; 4 — sootihane; 5 — musttihane.

Joon. 21. Noka kuju muutumine rootsiitsitaja alamliikidel.



JOON. 22. Baikali kalad (esinevad ainult selles järves).

sulestiku poolest. Iseseisvaks liigiks ei saa teda veel pidada, esialgu on tegemist veel pasknääri alamliigiga. Ameerikas esineb 27 lauluvarblase alamliiki. Paljud neist erinevad üksteisest vähe, kuid mõnedel on erinevused järsud. Aja jooksul võivad vahepealsed vormid välja surra ja äärmised alamliigid saavad noorteks iseseisvateks liikideks, kaotades võime üksteisega ristuda.

**Isoleerituse tähtsus.** Liigi levik laiaulatuslikul territooriumil soodustab looduslikku valikut ja divergentsi. Eriti soodsad eeldused divergeerumiseks on siis, kui liik on levinud looduslikult üksteisest eraldatud aladel. Sellistel juhtudel on organismide sissetungimine ühest paikkonnast teise tugevasti raskendatud, mistõttu võimalused ristumiseks eri rühmadesse kuuluvate isendite vahel järsult vähenevad või puuduvad hoopis.

Toome mõned näited. Kaukaasias, kõrgete mägedega eraldatud piirkondades, võib kohata liblikate, sisalikkude jt. loomade täiesti omaette, ainult seal elunevaid alamliike. Baikali järves esineb palju niisuguseid ripsusside, vähilaadsete ja kalade liike ning perekondi, kes kusagil mujal ei esine (joon. 22). See järv on teistest veebasseinidest mäeahelikega eraldatud juba umbes 20 miljonit aastat ja tal on ühendus Põhja-Jäämerega ainult jõgede kaudu.

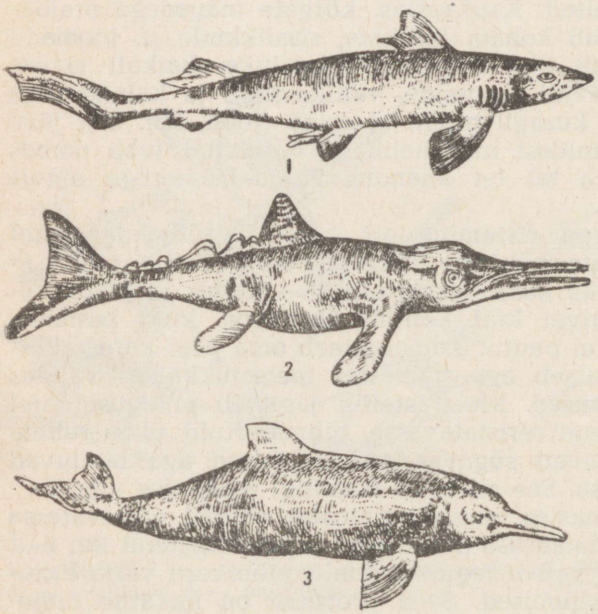
Teistel juhtudel on ristumine eri organismirühmade vahel takistatud bioloogiliste põhjuste — *bioloogilise isoleerituse* tõttu. Näiteks kaks varblaseliiki — kodu- ja põldvarblane — esinevad talvel küll kõikjal üheskoos, kuid pesitsusperioodil nad kokku ei puutu: esimene teeb oma pesa katuseräästaste alla, teine pesitseb aga väikestes metsatukkades, valides pesapaigaks puuõõnsused. Muströstaliik jaguneb praegusel ajal kahte väliselt veel mitteeristatavasse rühma. Kuid ühte rühma kuuluvad isendid elavad sügavas metsas, teised aga hoiduvad inimelamute lähedusse. See on kahe alamliigi tekkimise algus.

**Konvergents.** Sarnastes olelustingimustes võivad erinevatesse süstemaatilistesse rühmadesse kuuluvatel loomadel, juhul kui nad alluvad ühe ja sama valiva teguri toimele, mõnikord välja kujuneda sarnased kohastumused. Seda protsessi on hakatud nimetama *konvergentsiks* ehk kohastumuslikuks sarnastumiseks. Nii näiteks on urgude ning käikude uuristamiseks kohastu-

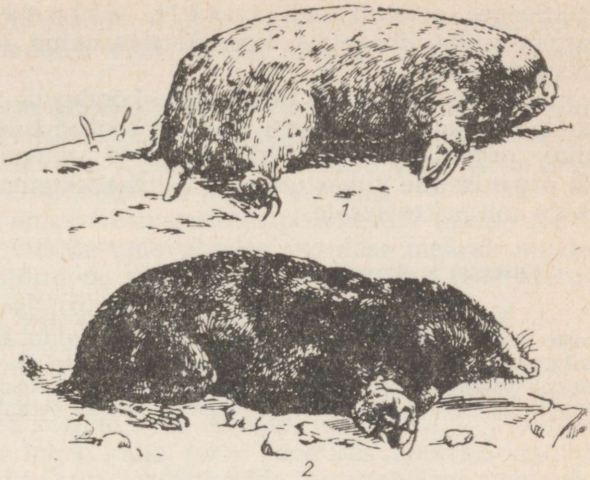
nud eesjäsemed mutil ja kaerasoril omavahel väga sarnased, hoolimata sellest, et esimene neist kuulub imetajate, teine — putukate klassi. Hästi on teada, kui tugevasti sarnanevad kehakujult üksteisega vaalalised ja kalad või kui sarnased on erinevatesse klassidesse kuuluvate veeloomade jäsemed. (Tooge veel teisi näiteid.) Konvergentsed võivad olla ka füsioloogilised iseärasused. Näiteks kujutab rasva ladestumine nahaalustesse kudedesse nii loivalistel kui vaalalistel (kaks eri seltsi) veekeskkonnas toimunud loodusliku valiku tulemust: see vähendab soojuskadusid.

Konvergents üksteisest kaugete süstemaatiliste rühmade (hõimkonnad, klassid) piires on seletatav üksnes sarnaste olelustingimuste mõjuga loodusliku valiku käigule (joon. 23). Seevastu võrdlemisi lähedases suguluses olevate loomade juures mõjub konvergentsile veel nende põlvnemise ühtsus, mis nagu kergendab sarnaste pärilike muutuste teket. Just seetõttu täheldataksegi konvergentsi sagedamini ühe ja sama klassi piirides (joon. 24).

**Liikide mitmekesisus.** Darwini õpetus orgaanilise maailma evolutsioonist annab seletuse liikide mitmekesisusele, näidates, et see on loodusliku valiku ning sellega seotud tunnuste divergentsi paratamatu tagajärg.




JOON. 23. Konvergents vees elavatel selgroogsetel:
1 — hai; 2 — ihtüosaurus; 3 — delfiin.




JOON. 24. Konvergents maa-aluseid kaeviseid uuristavatel imetajatel: 1 — kukkurmutt; 2 — harilik mutt.

Evolutsiooniprotsessi käigus muutusid liigid järk-järgult keerulisemaks, kogu orgaaniline maailm tõusis järjest kõrgemale arenemisastmele. Kuid sellest hoolimata näeme looduses kõikjal üheaegselt koos eksisteerivat taimi ja loomi, kes oma organisatsiooni keerulisuse poolest asuvad erinevatel tasemetel.

Miks ei ole looduslik valik siis «tõstnud» kõiki madalalt organiseeritud organismide rühmi kõige kõrgemale organisatsiooni astmele?

Vastavalt Darwini evolutsiooniteooriale annab looduslik valik eelise alati ainult nendele muutustele, mis osutuvad isenditele (või liigile) nende olelustingimustes kasulikeks. «Tuleb aga küsida,» kirjutas Darwin, «millist kasu, niipalju kui me oleme võimelised selle üle otsustama, oleks kõrgemast organisatsioonist võinud saada infusoor, paeluss või isegi vihmauss?»

Loodusliku valiku käigus kohastus iga taime- ja loomarühm ainult oma olelustingimustega ja seetõttu ei saanudki nad kõik tõusta ühele ja samale organisatsiooniastmele. Kui need tingimused ei nõudnud ehituse suuremat tüsistumist, siis selle tüsisuse aste ka tegelikult ei suurenenud, sest, Darwini sõnade järgi, «väga lihtsates elutingimustes ei oleks kõrge organisatsioon organismile mingisugust teenet osutanud». India ookeanis elutseb enam-vähem püsivates tingimustes rühm peajalgseid molluskeid (nautilused), kes sadade aastatuhandete vältel peaaegu üldse ei ole muutunud. Sama võib öelda ka kaasaegsete vihtuimeliste kalade kohta.

Seega seletub ehituselt erineva keerukusega organismide üheaegne kooseksisteerimine loodusliku valiku ja divergentsiga.

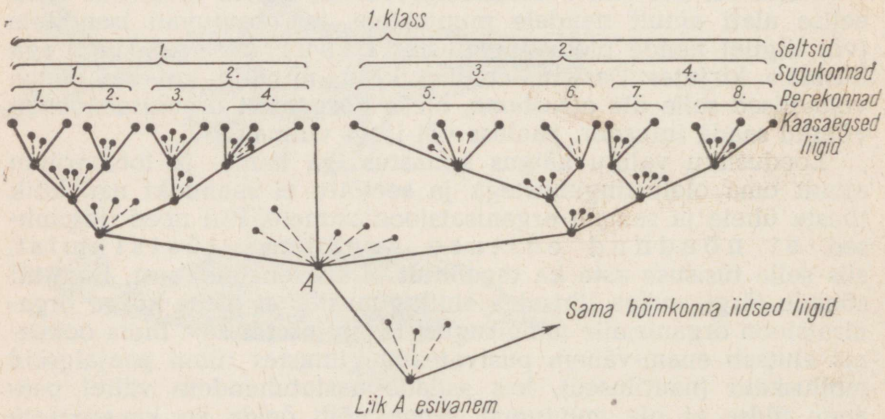
**Loodusliku valiku tagajärjed.** Looduslik valik on viinud kolmele tähtsale, üksteisega tihedalt seotud tulemusele: 1) elusolendite organisatsiooni järkjärgulisele tõusule ja tüsistumisele; 2) organismide kohastumisele väliskeskkonna tingimustega; 3) liikide mitmekesisusele.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Joonistage Darwini skeem liikide tekkimise illustreerimiseks ja seletage, kuidas liigitekkeprotsess toimub looduses. 2. Tooge näiteid uute liikide tekkimise kohta kaasajal. 3. Mis on konvergents? Seletage, miks seda nähtust esineb sagedamini ühe ja sama klassi piires. 4. Kuidas seletada erineva keerukuse astmega organismide üheaegset kooseksisteerimist looduses?

## 11. TAIMEDE JA LOOMADE KAASAEGNE SÜSTEEM KUI EVOLUTSIOONI PEEGELDUS

**Süstemaatilised rühmad.** Kaasajal kasutavad süstemaatikud organismide rühmitamisel järgmisi süstemaatilisi põhikategooriaid: hõimkond, klass, selts, sugukond, perekond, liik. Suuremahuliste süstemaatiliste rühmade jaoks lisatakse juurde veel vahepealsed kategooriad — nendeks on alamklassid, alamseltsid, alamsugukonnad jne. Süstemaatiliste kategooriate arvukus on tingitud liikide erakordsest mitmekesisusest ning teadlaste püüdest luua selline taime- ja loomariigi süsteem, mis peegeldaks sugulussidemeid ühtede või teiste organismirühmade vahel.




JOON. 25. Süstemaatiliste rühmade evolutsioon.

Meenutage Darwini skeemi tunnuste divergentsi selgitamiseks (lk. 50). Seda veidi muutes võib skeemi esitada järgmisel kujul (joon. 25).

Nüüd näitab skeem ilmekalt mitte ainult uute liikide, vaid ka kõrgemate süstemaatiliste rühmade (seltsid, sugukonnad, perekonnad) tekkimist. Jätkake skeemi laiendamist kuni hõimkondade kujunemiseni välja, viimased kaasa arvatud.

Skeem peegeldab ühisest esivanemast põlvnevate liikide järkjärgulist lahknemist. Liikide omavahelise suguluse määrab nende ühine päritolu ja seetõttu on süstemaatiline rühmitus real juhtudel ühtlasi ka loomulik rühmitus.

**Kaasaegse klassifikatsiooni printsiibid.** Kunstliku süsteemi ehitamisel lähtuti üksikutest meelevaldselt valitud tunnustest (meenutage Linné taimede klassifikatsiooni). Darwini-eelsed katsed süsteemi loomiseks ei saanud olla edukad, sest tol ajal püüdsid looduseuurijad selles leida looja poolt looduses maksmapandud korra peegeldust, mitte aga organismide omavahelist sugulust.

Praegusel ajal peetakse taimede ja loomade klassifitseerimisel silmas neid tunnuseid, mis annavad tunnistust liikide sugulusest niihästi praegu elavate kui ka väljasurnud organismidega. Kohastumusliku iseloomuga tunnused võivad olla üksteisega küll väga sarnased, kuid ei pruugi seejuures veel rääkida ühisest päritolust — nad võivad olla ka konvergentsi tagajärjeks. Nii on delfiin ja hai väliselt sarnased, kuid päritolult üksteisest kauged, mistõttu nad on paigutatud selgroogsete erinevatesse klassidesse.

Looma või taime asukoha kindlaksmääramisel süsteemis võetakse arvesse tema ehituse kõiki tunnuseid erinevates vanuseastmetes, aga samuti peetakse silmas ka fossiilsete esivanemate juures avastatud tunnuseid.

Kaasaegses süsteemis on liigid rühmadesse jaotatud nende põlvnemisest tulenevate seoste alusel, s. t. seoste alusel, mis peegeldavad evolutsiooni käiku iseennast. Seetõttu kaasaegne süsteem, erinevalt Darwini-eelsest kunstlikust süsteemist, näitab sugulust, mis suurema või väiksema selgusega ilmsiks tulles valitseb ühte perekonda ühendatud liikide, ühte sugukonda ühendatud perekondade jne. vahel. Sellest hoolimata on see süsteem veel kaugel loomulikust süsteemist, sest terve rea taime- ja loomarühmade põlvnemist ei ole veel suudetud välja selgitada.

**Liigi reaalsus.** Faktid liigi lagunemise kohta alamliikideks on suurepäraseks tõestuseks liikide mittepüsivuse ja muutuvuse kohta.

Kuid kui liigid on liikuvad ja muutuvad, kas nad siis looduses tegelikult üldse eksisteerivad?

Linné pidas liike tõeliselt eksisteerivaiks, kuid arvas, et nad on püsivad, muutumatud ning loodud igaüks eraldi, s. t. ta eitas

liikide ajaloolist arenemist (lk. 9). Lamarck tõestas, et elus loodus on läbi teinud pika ajaloolise arenemise, kuid pidas liiki abstraktseks mõisteks, mis on klassifitseerimisel üksnes mugavuse pärast kasutusele võetud (lk. 12). Alles oma elu lõpul avaldas ta arvamust, et liigid on reaalsed.

Seega on selle küsimuse kohta esitatud kaks teineteist välistavat teesi:

1) liigid on olemas, kuid arenemist ei toimu (Linné);
2) arenemine toimub, kuid liike ei ole olemas (Lamarck).

Darwin ühendas idee orgaanilise maailma evolutsioonist teesiga liikide tegelikust, reaalsest eksisteerimisest looduses, tehes mööndused, et liigid eksisteerivad looduses ajutiselt. Liigi sellist käsitlust kinnitavad tulemused, mis on saadud fossiilsete, Maad varem asustanud, kuid nüüd väljasurnud liikide jäänuste uurimisel.

**Populatsioonid.** Sõltuvalt mikrokliimast, toiduobjektide ja vaenlaste olemasolust ning iseloomust, pinnasest jne. on liigid territooriumil (areaalis) levinud ebaühtlaselt, lüngiti, otsekui laikudena — populatsioonidena.

Populatsiooniks nimetatakse ühte ja samasse liiki kuuluvate isendite looduslikku rühmitust, mis asustab teatud kitsama piirkonna selle liigi üldises areaalis.

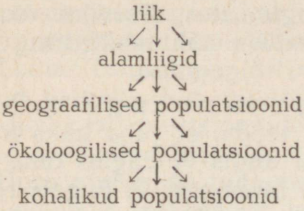
Iga liigi esindajad metsas, niidul, veekogus moodustavad omaette kohaliku populatsiooni.

Enamik liike jaguneb sadadeks ja tuhandeteks kohalikeks populatsioonideks, kuid on ka liike, mis koosnevad ühestainsast kohalikust populatsioonist. Kogum kohalikke populatsioone, mis on omavahel seotud elutingimuste poolest ühelaadsete aladega liigi areaalis, moodustab ökoloogilise populatsiooni. Kui liik esineb nii kuuse- kui männimetsas, siis loetakse, et tal on kaks ökoloogilist populatsiooni: kuusemetsa ja männimetsa populatsioonid. Lõpuks, populatsioone, mis liigi areaali üldises ulatuses on ära määratud teatud geograafiliste piiridega, nimetatakse geograafilisteks populatsioonideks.

Populatsioonide mõõtmed ja ulatus võivad järsult muutuda. Massilise paljunemise aastatel moodustavad paljude hiirelaadsete näriliste, kahjurputukate, umbrohtude ja tõvestavate mikroobide liigid gigantseid populatsioone. Pika eluea ja suhteliselt madala viljakusega taime- ja loomaliikidel on populatsioonide suurus püsivam.

Kogum geograafilisi populatsioone, mille liikmeid iseloomustab püsivate tunnuste olemasolu, areaal ning võime ristuda ja anda paljunemisvõimelisi järglasi, moodustavad alamliigi.

Öeldut selgitab järgmine skeem:




Muutlikkuse tõttu ei ole ühte ja samasse populatsiooni kuuluvad isendid ega isendite rühmad täiesti ühesugused. Populatsiooni mõjutavad pidevalt mitmesugused muutused ja seetõttu ta on loodusliku valiku toime areeniks: liigi kujunemise protsessid saavad alguse populatsioonide piires. Selles mõttes võib öelda, et liigid elavad populatsioonidena.

Darwini loodusliku valiku teooria valguses on liik erilise kvaliteediga kordumatu etapp orgaanilise maailma arenemises.

Liik kujutab endast möödunud geoloogilistel ajastutel toimunud evolutsiooni tagajärge. Ühtlasi on liik, kui ta ei ole välja surnud, orgaanilise maailma evolutsiooni kaasaegne etapp, milles võib veenduda, kui uurida kaasajal toimuvat liigitekke protsessi. *Järelikult on liigil kõik võimalused edasiseks evolutsiooniks tulevikus, sest evolutsioon algab populatsioonides — liigi enda piirides.*

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Defineerige liiki ja alamliiki. Kujutage graafiliselt liigi struktuuri. 2. Mida te teate populatsioonidest? 3. Näidake, milles seisnevad erinevused Linné, Lamarcki ja Darwini käsitlustes liigist.

## 12. DARWINI TEOORIA TÄHTSUS

**Marksismi-leninismi rajajate hinnang darvinismile.** Darwin oma loodusliku valiku teooriaga kinnitas elusa looduse ajaloolist käsitust. Ta lahendas hiilgavalt küsimuse liikide mitmekesisusest ja orgaanilisest otstarbekohasusest ning selgitas põhjused, mis tingisid orgaanilise maailma arenemise lihtsatelt vormidelt keerulistele, alamatelt kõrgematele. Darwin tõestas, et kõik need enne teda lahendamatuiks peetud looduse mõistatused kujutavad endast loodusliku valiku ja sellega seotud tunnuste divergentsi paratamatut tagajärge.

Darwin avastas otstarbekohasuse suhtelise iseloomu, tõestades mitte ainult kasulike ja neutraalsete, vaid isegi kahjulike tunnuste olemasolu organismidel, ning näidates, et iga kohastumus on kasulik ainult antud keskkonnatingimustes. Darwini teooria andis materialistliku seletuse elusa looduse nähtustele ning lükkas ühtlasi ümber ka nende idealistliku tõlgenduse.

Sellepärast saigi darvinism kõrge hinnangu osaliseks marksismi-leninismi rajajate poolt. On teada, et juba kaks nädalat pärast «Liikide tekkimise» ilmumist andis F. Engels oma kirjas K. Marxile selle kohta vaimustatud hinnangu. F. Engels rõhutas, et Darwin oma teooriaga purustas idealistlikud kujutlused orgaanilisest maailmast. Ta tõstis eriti esile seda suurt edu, mida Darwin saavutas oma grandioosse katsega tõestada looduse ajaloolist arenemist. Seetõttu on Darwini teooria kõrvuti energia muundumise tõestamise ja raku avastamisega XIX sajandi teaduse üks suurimaid saavutusi.

Marx ja Engels juhtisid korduvalt tähelepanu Darwini teooria tohutule tähtsusele teaduse edasiarendamisel ja materialistliku maailmavaate tõestamisel. K. Marx rõhutas, et Darwini teosega «Liikide tekkimine» on antud surmahoop teleoloogiale loodusteaduses (s. t. ebateaduslikule, religioossele seletusele, mille kohaselt otstarbekohasus loodusnähtustes peegeldab nende vastavust varem püstitatud eesmärkidele). «Liikide tekkimise» tähtsuse kohta kirjutas Marx: «... see raamat on meie vaadete loodusteaduslik-ajalooliseks aluseks.»

F. Engels ja V. I. Lenin võrdlesid Darwini poolt tehtud panust loodusteadusesse Marxi teenetega ühiskonnateadustes. Nii nagu Darwin avastas elusa looduse arenemise seadused, nii avastas Marx ühiskonna arenemise seadused.

*V. I. Lenin märkis, et Darwin oli esimene, kes asetas bioloogia täiesti teaduslikule pinnale,* tehes lõpu vaadetele, et loomaja taimeliigid ei ole omavahel millegagi seotud, on juhuslikud, jumala poolt loodud ja muutumatud.

**Darvinismi mõju bioloogia arengule.** Darvinism üldistab fakte bioloogia mitmesugustest harudest, kuid samal ajal sai bioloogia darvinismi tõttu ka ise oma arenemises uue suuna.

Darwini-eelsel perioodil olid loodusteadused peamiselt kirjeldava iseloomuga. Darwini teooria näitas, et elusloodus nähtuste tundmaõppimisel on vaja leida nende põhjuslikud seosed ning kasutada uurimistöödes ajaloolist meetodit.

Darvinismi alusel toimusid ümberkorraldused kõigis bioloogiaharudes. Nii hakati võrdlevas anatoomias ja võrdlevas embrüoloogias otsima sugulussidemeid loomade ja taimede teatud süstemaatiliste rühmade vahel; organite ja kudede uurimist hakati seostama küsimusega nende talitlusest.

Taime- ja loomasüstemaatika omandas evolutsioonilise iseloomu: loomulik süsteem peegeldab liikide arenemist.

Paleontoloogia, mis oli kuni Darwinini staatilise iseloomuga, kus ainus eesmärk oli faktide kogumine, kirjeldamine ning süstematiseerimine, muutus ajalooliseks teaduseks. Andes tohutult materjali orgaanilise maailma mineviku kohta, asub ta nüüd välja selgitama tema arenemise konkreetseid teid.

Loomafüsioloogia, eriti aga inimese füsioloogia, olid kaua aega olnud paigaks, kus põhiliste eluprotsesside tõlgendamisel lähtuti idealistlikest positsioonidest. Darwini õpetuse alusel algas siin nüüd loomade eluavalduste, inimese ja loomade kõrgema närvitalitluse ajaloolise pidevuse võrdlev uurimine.

Loomade ja taimede levikut maakeral hakati vaatlema seostatuna mandrite ajaloo ja orgaanilise maailma ajaloolise arenemisega.

XX sajandi algul algas loodusliku valiku toime eksperimentaalne uurimine; kiiresti hakkas arenema geneetika (teadus pärilikkusest ja muutlikkusest), ökoloogia (teadus organismide ja neid ümbritseva keskkonna vahelistest suhetest) ja teised uued bioloogiaharud.

Darwini õpetus valikust sai kaasaegse teadusliku tõu- ja sordiaretuse üheks tähtsamaks aluseks.

**Darwini ideed Venemaal.** Möödunud sajandi kuuekümnendatel aastatel, kui tööstuse arengutempo järsult kiirenes, omandas loodusteaduslike teadmiste levik erakordse tähtsuse. Juba ammu enne Darwinit väljendasid mõned vene teadlased evolutsioonilisi vaateid, mis leidsid poolehoidu ning toetust progressiivselt mõtlevate kaasaegsete poolt. Just seepärast tervitatigi Venemaal darvinismi kui midagi ammuoodatut. Juba esimestel aastatel pärast «Liikide tekkimise» ilmumist (London, 1859) avaldati tolleaegseis vene ajakirjades rida andekaid kirjutisi, kus esitati ning kommenteeriti Darwini õpetust. Kõrgemates õppeasutustes loetavaid zooloogia- ja botaanikakursusi hakati liberaalse professorkonna poolt darvinismi vaimus ümber korraldama. Esimene tõlge Ch. Darwini kapitaalsest teosest «Liikide tekkimine» ilmus Venemaal 1864. aastal.

Juhtivat osa bioloogia edasiarendamises darvinismi alustel etendasid vene teadlased vennad V. ja A. Kovalevskid, K. Timirjazev, I. Metšnikov, I. Pavlov, I. Mitšurin, N. Vavilov, A. Severtsov ja paljud teised, kes oma uurimistöödes lähtusid Darwini ideedest.

Kogu K. Timirjazevi (1843—1920) teaduslik tegevus möödus darvinismi kirgliku teenimise tähe all. Talle kuulub suurepäraselt kirjutatud teos Darwini õpetuse kohta — «Charles Darwin ja tema õpetus», millest hiljem on ilmunud mitu kordustrükki; selle raamatu baasil on üles kasvanud mitu vene intelligentsi põlvkonda.

Oma erialaks valis K. Timirjazev taimefüsioloogia, mis tol ajal oli veel noor bioloogiaharu. Timirjazev viis füsioloogiasse

sisse ajaloolise, darvinliku meetodi. Taimede kõiki elulisi iseärasusi käsitas ta Darwini loodusliku valiku teooriast lähtudes.

K. Timirjazevi uurimisobjektiks oli fotosüntees — orgaanilise aine loomise ja päikeseenergia akumuleerimise protsess rohelises taimes. Ta tegi eksperimentaalselt kindlaks, et roheline leht on kohastunud päikeseenergia neelamiseks ja akumuleerimiseks, s. t. fotosünteesiprotsessiks. Järelikult kujutab lehe roheline värvus endast loodusliku valiku protsessil tekkinud kasulikku tunnust. Uurides taimefüsioloogia valdkonda kuuluvaid küsimusi, juhtis K. Timirjazev tähelepanu vajadusele uurida pärilikke muutusi, et õppida juhtima organismide arenemist ning uute tõugude ja sortide saamist.

Timirjazev kaitses kirglikult darvinismi rea õpetlaste katsete eest seda moonutada või selle tähtsust vähendada. Ühed püüdsid kogu evolutsiooniprotsessi taandada ainult muutuste tekkimisele, teised tunnistasid ainsa evolutsioonitegurina pärilikkust, kolmandad eitasid loodusliku valiku loovat tähtsust jne. Üheaegselt sellega tuli K. Timirjazevil puruks lüüa ka darvinismi võhiklik kriitika reaktsiooniliselt mõtlevate teadlaste poolt, kes eitasid looduse ajaloolise arenemise ideed ning avalikult toetasid religiooni.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Miks sai Ch. Darwini õpetus orgaanilise maailma evolutsioonist kõrge hinnangu osaliseks marksismi-leninismi rajajate poolt? 2. Missugust mõju avaldas Ch. Darwini õpetus bioloogia arengule? 3. Mis tähtsus on Ch. Darwini õpetusel materialistliku maailmavaate kasvatamisel?

3. PEATÜKK

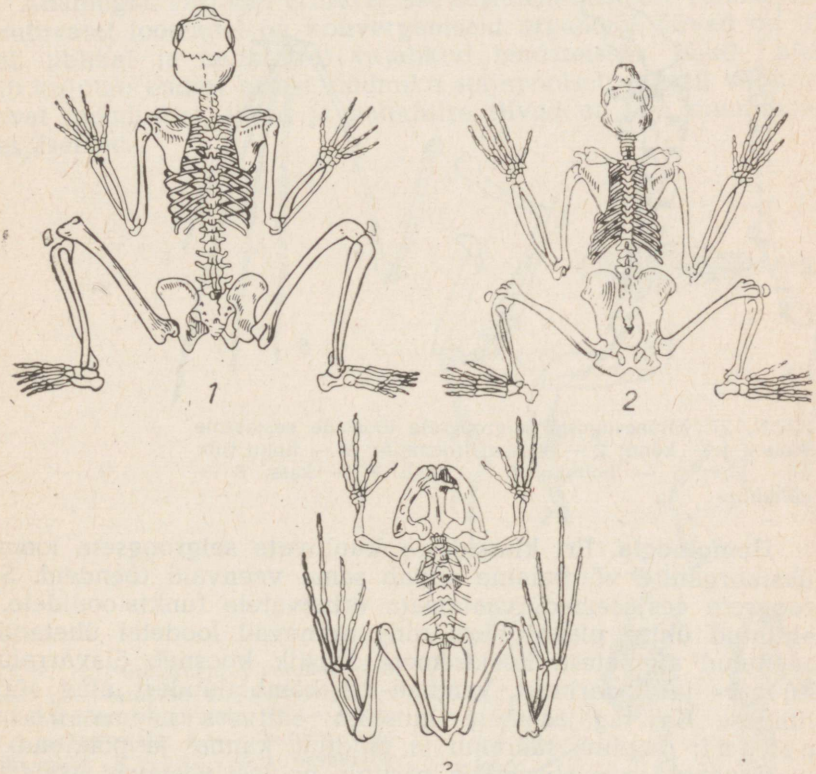
## ORGAANILISE MAAILMA EVOLUTSIOONI TÕENDID

Ch. Darwin kasutas evolutsiooni tõestamiseks faktilisi andmeid, mida bioloogias juba XIX sajandi teiseks pooleks oli hulgaliselt kogunenud. Bioloogia edasiarendamisel evolutsiooni kinnitavate faktide laekumine jätkus ning kõik see kokku moodustab tohutu ulatusega materjali, mis mitte ainult tõestab evolutsiooni kui niisugust, vaid lubab ka otsustada selle üle, kuidas evolutsiooniprotsess tegelikult toimus. Iga bioloogiaharu kasutab evolutsiooni seaduspärasuste uurimisel oma uurimismeetodit. Näiteks teeb anatoomia ühised jooned erinevatesse süstemaatilistesse rühmadesse kuuluvate kaasaegsete organismide ehituses kindlaks nende omavahelise võrdlemise teel. Embrüoloogia teeb praegu elavate organismide sarnasuse kindlaks sel teel, et ta võrdleb nende individuaalset arenemist alates munast või spoorist kuni täiskasvanuks saamiseni. Paleontoloogia uurib

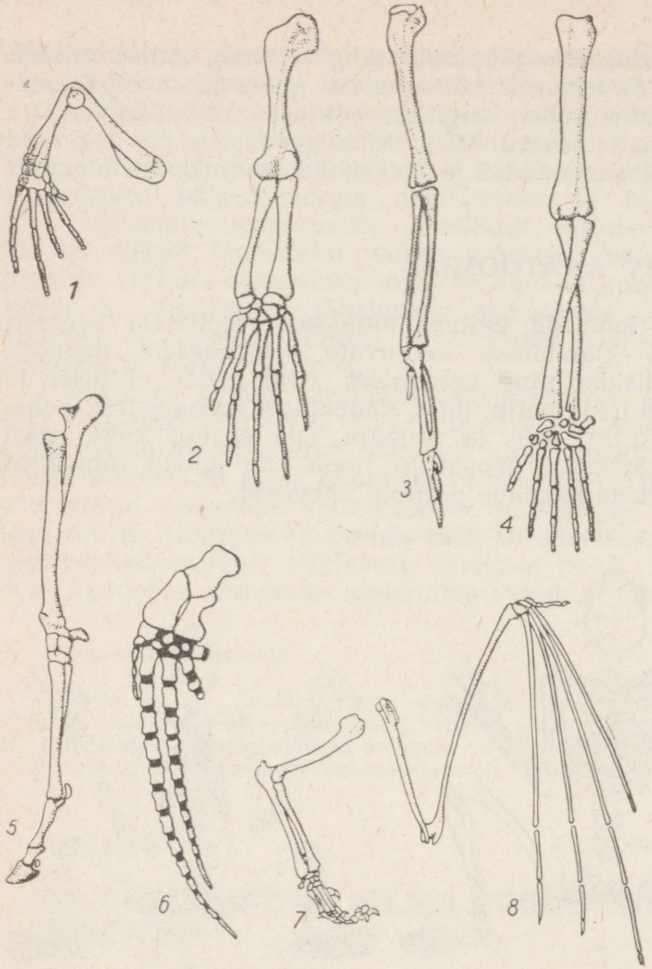
väljasurnud organismide jäänuseid ning selgitab, milles seisneb nende organismide sarnasus või erinevus kaasaegsete organismidega. Biogeograafia püüab selgitada põhjusi, mis määravad ära taimede ja loomade leviku Maal. Missugused siis on peamised evolutsiooni uurimismeetodid ja ühtlasi ka evolutsiooni tõendid?

## 13. VÕRDLEV ANATOOMIA

**Selgroogsete loomade ehituse üldplaan.** Hoolimata suurtest erinevustest eri klassidesse kuuluvate selgroogsete loomade välisilmes, eluviisides ning käitumises, võib nende ehituses ja organite asetuses leida palju ühist. Kahekülgse sümmeetria, kehaõõne, selgroo, kolju, pea- ja seljaaju, aga samuti kahe paari jäsemete jt. iseärasuste olemasolu (joon. 26) annab tunnistust kõikide selgroogsete loomade päritolu ühtsusest.




JOON. 26. Ehituse üldplaan selgroogsetel: 1 — inimene; 2 — šimpans; 3 — konn.




JOON. 27. Mitmesuguste selgroogsete loomade eesjäseme skelett: 1 — konn; 2 — varaan (roomaja); 3 — linnu tiib; 4 — ahv; 5 — hobune; 6 — vaal; 7 — kass; 8 — nahkhiir.

**Homoloogia.** Eri klassidesse kuuluvate selgroogsete loomade üksikorganite võrdlemine annab sama veenvaid tõendeid. Selgroogsete eesjäsemed, vaatamata erinevatele funktsioonidele, on ehitatud ühtse plaani järgi ning arenevad loodetel ühetaoliselt asetunud algmetest. Eesjäsemete luustik koosneb õlavarreluust, küünar- ja kodarluust, randme- ja kämblaluudest ning sõrmelülidest. Ka tagajäsemete luustiku ehituses näeme ühtset plaani: reieluu, sääreluu ja pindluu, kanna- ja pöialuud.

Organeid, mis ehituse ja päritolu poolest vastavad üksteisele, nimetatakse homoloogilisteks.

Vaadelge joonist 27 ja näidake, millised luud on homoloogilised; märkige ära erinevused, mis on seotud divergentsiga ja kohastumusega erinevate elutingimustega ja mis järelikult on seotud ka erinevate funktsioonide täitmisega.

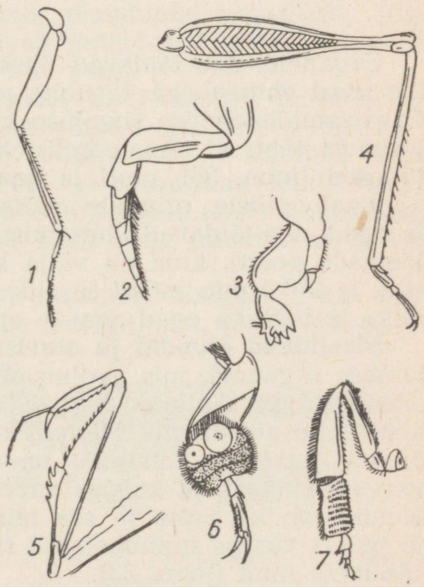
Jäsemeluude täielikku vastavust üksteisega, hoolimata mõningatest erinevustest kujus, mõõtmetes ja arvus, saab seletada üksnes nende ühtse päritoluga.

Homoloogiat esineb ka mitmesuguste putukate jäsemetes. Näidake homoloogilised osad joonisel 28.

Homoloogilisi elundeid täheldatakse ka t a i m e d e l (joon. 29). Nii on põldherne köitraod, kukerpuu ja kaktuse astlad tegelikult moondunud lehed. Valge vesiroosi õielehed on homoloogilised tolmukatele, mis evolutsiooniprotsessi käigus on kaotanud võime moodustada õietolmu. Vesiroosi õies võib vaadelda õielehtede järkjärgulist üleminekut tolmukateks.

Kuutõverohu, sõnajala, maikellukese juurikad, kartuli mugulad, mis kõik kujutavad endast maa-aluseid võrseid — on varre homoloogid. Varre homoloogiks on ka sibula kand.

**Analoogia.** Paljudel erinevatesse süstemaatilistesse rühmadesse kuuluvatel loomadel on konvergentseid organeid. Tiivad on linnul, liblikal ja nahkhiirel vajalikud lendamiseks. Kuid liblika tiib kujutab endast erilist rindmiku seljapoolselt küljelt väljaarenevat moodustist, linnu ja nahkhiire tiivad on aga muundunud eesjäsemed.



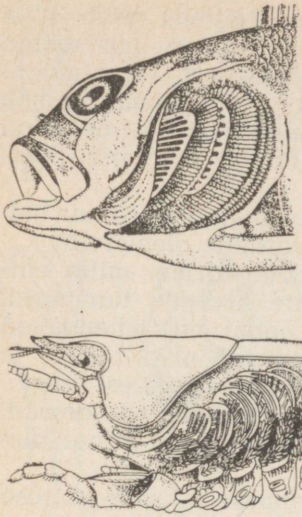

JOON. 28. Mitmesuguste putukate jäsemed: 1 — tarakani eesjooksujalg; 2 — ujurmardika tagaujujalg; 3 — kaerasori eeskaevejalg; 4 — rohutirtsu tagahüppejalg; 5 — palvetaja eeshaardejalg; 6 — isase ujurmardika eesjalg; 7 — mesilase tagajalg.

JOON. 29. Homoloogia taimedel: 1 — põldherne köitraod — lehtede homoloogid; 2 — kukerpuu astlad — lehtede homoloogid; 3 — kuutõverohu juurikas — varre homoloog.

Organeid, mis täidavad ühesugust funktsiooni, kuid millel ei ole ühist ehitust ega päritolu, nimetatakse analoogilisteks. Organismidevahelise suguluse kindlakstegemisel ei ole neil mingisugust tähtsust. Analoogilisteks organiteks on kala ja jõevähi lõpused (joon. 30), muti ja kaerasori jäsemed (joon. 31).

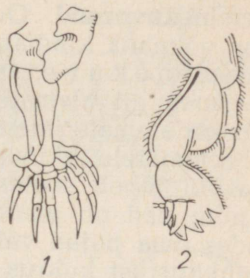
Analoogiliste organite näiteks taimedel võivad olla astlad ja ogad, mis täidavad ühesugust funktsiooni (väldivad ärasöömist loomade poolt), kuid on välja kujunenud erinevalt. Nii on kaktuse ja kukerpuu astlad tegelikult moondunud lehed, roosi, kibuvitsa ja vaarika ogad aga — epidermise moodustised.

**Mandunud elundid ja atavismid.** Mandunud elunditeks nimetatakse organeid, mis evolutsiooniprotsessi käigus on minetanud oma esialgse tähtsuse liigi säilitamise seisukohalt ning asuvad hääbumise staadiumis. Näiteks on jalutul vaskussil säilinud mandunud õlavööde. Lindudel on eesjäsemes säilinud ainult teine varvas, esimene ja kolmas varvas on aga mandunud. Mandunud elundid on ka veise ja sea teine ja viies varvas, hobuse teine ja neljas varvas (niinimetatud tikkelluud), vaala vaagna ja tagajäsemete luud (joon. 32).



JOON. 30. Kala ja jõevähi lõpused. Lõpusekaas ja osa vähi pearindmiku kilbist on eemaldatud.

JOON. 31. Kaevejäsemed: 1 — mutil; 2 — kaerasoril.

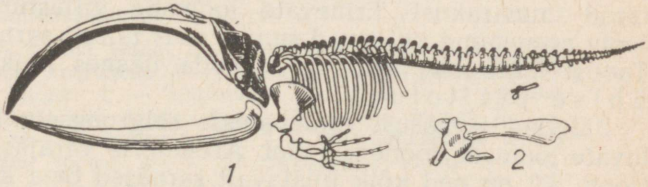



Mandunud organite olemasolu saab seletada ainult järgmiselt: kaugetel esivanematel olid need organid normaalselt arenenud ja funktsioneerisid; evolutsiooniprotsessi käigus nad hiljem aga järk-järgult kaotasid oma esialgse bioloogilise tähtsuse, taandarenesid ja säilisid meie ajani vaid jäänuste kujul.

Mandunud organitel on suur tähtsus orgaanilise maailma ajaloolise arenemise tõestamisel. Ükski Darwini vastastest ei teinud katsetki viidata oma vastuväidetes mandunud organitele: liiga absurdne oleks olnud väide, et need otstarbetud ja kasutud organid on loodud «aruka kõrgema jõu» poolt.

Mandunud elundeid täheldatakse ka taimedel. Kevadel on vahtra pungasoomuste otstel näha väikesi lehekesi — need on mandunud pärislehed. Orasheina, maikellukese ja sõnajala juurikatel on kerge eristada soomuseid — mandunud lehti. Härjasilma, astrite, peiulillede, päevalille ja paljude teiste korvõieliste õisiku äärmistes õites on luubiga hästi näha puudulikult arenenud tolmukaid ja emakaid.

Orgaanilise maailma ajaloolist arenemist kinnitavad ka a t a v i s m i n ä h u d (*atavus* — esiisa, lad. k.), s. t. kaugetele esiva-




JOON. 32. Vaala skelett — 1; mandunud vaagnaluud — 2.

nematele iseloomulike tunnuste ilmumine. Näitena võib tuua mõnikord lehma udaral esineva kolmanda nisapaari, mis näitab lehma põlvnemist suurema nisade arvuga loomadest. Teine näide: mõnikord sünnivad varsad sebrataoliselt vöödilistena; esineb juhuseid, kus kõrvil hobusel on seljal must vööt — need on kodustatud hobuse metsikutele esivanematele iseloomuliku värvuse taasesinemise nähud.

**Üleminekuvormid.** Organismide võrdlev-anatoomilise uurimisega on võimalik kindlaks teha üleminekuvormide olemasolu.

Üleminekuvormideks nimetatakse vorme, mille ehituses esineb nii alamate kui ka kõrgemate klasside tunnuseid. Näiteks on alamate imetajate ehituses rida jooni, mis lähendavad neid roomajatele. Ainupiluliste seltsi kuuluval nokkloomal ja sipelgasiilil lõpeb soolestik erinevalt teistest imetajatest kloaagiga, ning nad on analoogiliselt roomajatega munejad loomad, haududes oma pojad välja kas pesas (nokkloom) või kõhul olevas nahkkurrust kukrus (sipelgasiil).

**Rakuline ehitus.** Taimede, loomade ja inimese rakulise ehituse avastamine andis ühe kaalukamaist tõendeist orgaanilise maailma ühtsuse kohta. Kõik elusorganismid, kuitahes kaugel nad süstemaatilises mõttes üksteisest ka ei asuks, koosnevad rakkudest. Nii taime- kui loomaraku koostisse kuuluvad tuum ja tsütoplasma, aga samuti paljud ühised organoidid.

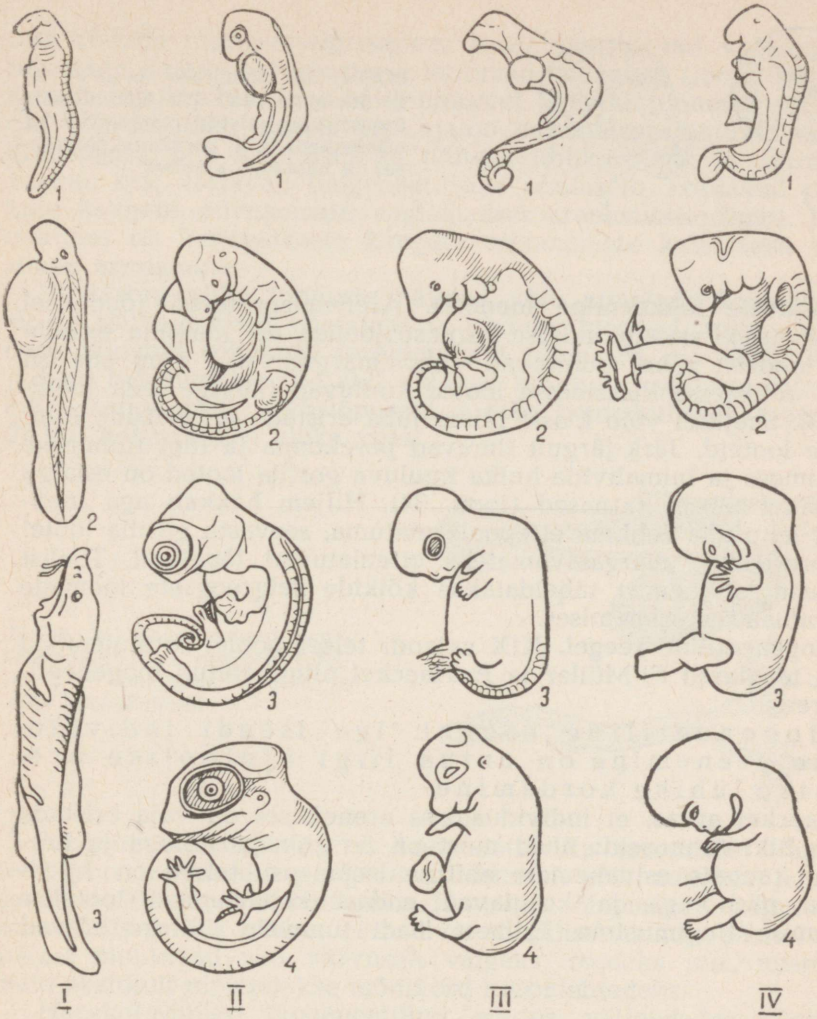
**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Näidake joon. 27, millised osad selgroogsete loomade jäsemetes on homoloogilised. 2. Kasutades kollektsioone või elusaid eksemplare, uurige mitmesuguste putukate (ujuri, rohutirtsu jt.) jäsemete ehitust. Näidake, millised osad on homoloogilised. 3. Nimetage, millised järgmistest organitest on homoloogilised, millised analoogilised: kala, vähi, tondihobu (üks kiililiike) vastsete lõpused; linnu, nahkhiire, mardika tiib; muti, konna, kaerasori eesjäsemed. 4. Missuguseid võrdlev-anatoomilisi andmeid pidas Darwin kõige kaalukamateks? Mispärast? 5. Koostage kollektsioone, mis illustreeriksid homoloogilisi, analoogilisi ja mandunud organeid taimedel (ülesanne on mõeldud täitmiseks pikema aja jooksul, mis on vajalik materjali kogumiseks).

## 14. EMBRÜOLOOGIA

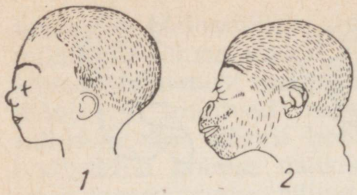
**Loodete sarnasus.** Kõik hulkraksed organismid arenevad viljastatud munarakust. Erinevate loomade viljastumisprotsess ning loote arenemine kulgevad suures osas täiesti sarnaselt üksteisega. Taolisi fakte on võimalik seletada üksnes kõikide elusolendite ühise päritoluga.

Jälgime sarnasust erinevatesse selgroogsete klassidesse kuuluvate loomade loodete vahel. Arenemise varajasematel etappidel (joon. 33) on nad kõik üllatavalt sarnased oma kehakontuuridelt, neil võib eristada saba ja jäsemete algmeid; pea kuju on ühesugune; neelu külgedel on näha lõpuskotid.




JOON. 33. Mitmesuguste selgroogsete loomade loodete võrdlemine erinevatel arenemisstaadiumidel:

I — kala: 1 — raikala loode; 2 — tuurakala maim teisel päeval pärast marjaterast koorumist; 3 — sama maim 28. päeval; II — sisalik; III — küülik: 1 — 10-päevane loode; 2 — 11-päevane loode; 3 — 15-päevane loode; 4 — 17-päevane loode; IV — inimene: 1 — 18—20-päevane loode; 2 — 27—30-päevane loode; 3 — 35-päevane loode; 4 — 52—54-päevane loode.




JOON. 34. Inimloote pea — 1; gorilla loote pea — 2. Kõrvuti sarnasusega on selgesti märgatavad ka erinevused, eriti karvkatte paigutuses ja näoosade ehituses.

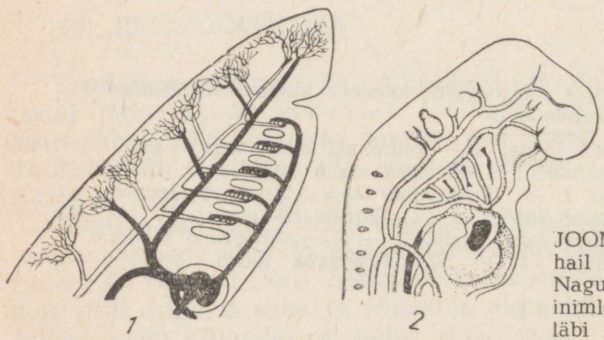
**Tunnuste lahknemine loodetel.** Arenemisprotsessi jõudmisel hilisematesse staadiumidesse sarnasusjooned eri klasside esindajate loodete vahel muutuvad vähemmärgatavaiks ning siis on näha, millistesse klassidesse looted kuuluvad (jälgige seda joonisel 33). Seejärel võib klassi piires juba eristada eri seltside esindajate looteid. Järk-järgult ilmuvad perekonna ja liigi tunnused.

Inimese ja inimahvide hulka kuuluva gorilla looted on esialgu omavahel täiesti sarnased (joon. 34). Hiljem hakkab aga inimlootel laup üha rohkem ettepoole ulatuma, seevastu gorilla lootel muutuvad üha märgatavamateks etteulatuvad lõualuud. Taolist tunnuste lahknemist täheldatakse kõikide selgroogsete loomade individuaalses arenemises.

**Biogeneetiline reegel.** XIX sajandi teisel poolel formuleerisid saksa teadlased F. Müller ja E. Haeckel niinimetatud biogeneetilise reegli.

Biogeneetiline reegel: iga isendi individuaalne arenemine on antud liigi ajaloolise arenemise lühike kordamine.

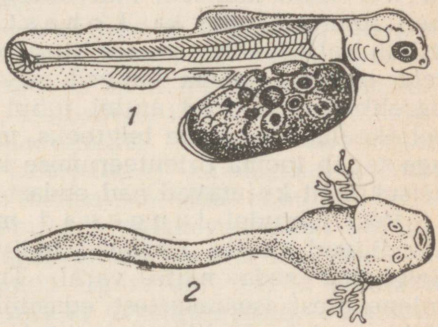
Haeckel arvas, et individuaalses arenemises on vaja eristada kahte liiki tunnuseid: ühed neist on ürgse päritoluga ja kordavad kaugete esivanemate ehituse iseärasusi, teised on hilisema päritoluga ja kujutavad endast kohastumusi lootelise arenemise tingimustele. Esimest laadi tunnuste näiteks võivad




JOON. 35. Vereringesüsteem hail — 1 ja inimlootel — 2. Nagu kalal, nii lähevad ka inimlootel lõpusepilude vahelt läbi lõpusearterid.

olla kõikide maismaaselgroogsete loodetel esinevad veresooned, mis nagu kalade lõpusearterid lähtuvad südamest (joon. 35), aga samuti lõpusepilud ja saba inimlootel. Nende tunnuste olemasolu võib seletada üksnes liigi ajaloo kordamisega individuaalses arenemises. Siia kuuluvad ka näiteks liblikaröövik ja mardikavastne, kes, vastavalt biogeneetilisele seadusele, kordavad putukate kaugete esivanemate vaglalaadset arenemisstaadiumi. Konnakulles on kahepaiksete kaugete esivanemate kalalaadse staadiumi kordamine.

Kohastumuslike tunnuste näitena võib nimetada kaitsefunktsiooni täitvaid kesti imetajate ja lindude loodetel, toitainevarudega täidetud rebukotti forellimaimul (joon. 36, 1), niidikujulisi jätkeid hai munal, mille abil viimane kinnitub veealuste taimede külge, iminappasid, välislõpuseid ja saba konnakullesel (joon. 36, 2) kui kohastumusi eluks vees.




JOON. 36. Kohastumused looteseisundile: 1 — rebukott forellil; 2 — iminapad, lõpused ja saba konnakullesel.

Biogeneetiline seadus on kohandatav ka taimedele. Vahtra, leedripuu ja vaarika pungade arenemisel võib märgata pungasoomuste üleminekut lehtedeks. Hortensia õiepungade tupplehed on rohelised, mis näitab, et nad on tüüpiliselt lehtse päritoluga; pärast muutuvad nad värvuselt valgeks, roosaks jne., mistõttu neid ekslikult nimetatakse mõnikord kroonlehtedeks.

Haeckel-Mülleri biogeneetiline seadus, väljendades sügavat seost organismide individuaalse ja ajaloolise arenemise vahel, oli suure tähtsusega organismidevaheliste sugulussidemete väljaselgitamisel.

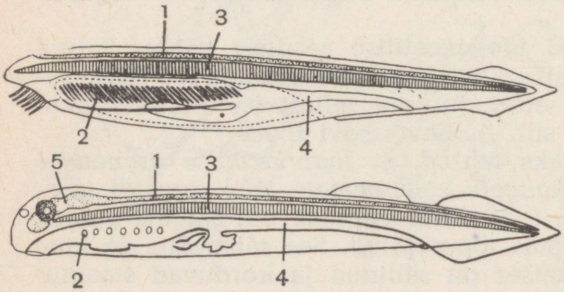
**Kaasaegsed seisukohad biogeneetilise seaduse kohta.** Paljud teadlased on biogeneetilist seadust edasi arendanud ja täpsustanud, mistõttu kaasaegsed ettekujutused sellest on oluliselt muutunud. Eriline tähtsus oli siin A. Severtsovi töödel.

Uurimistega on kindlaks tehtud, et *individuaalse arenemise käigus ei korrata mitte kaugete esivanemate täiskasvanud isendite, vaid nende loodete tunnuseid.* Näiteks on imetaja lootel, nii nagu kalalootelgi, olemas lõpusepilud. See tähendab, et imetaja individuaalses arenemises on säilinud ja korduvad staadiu-

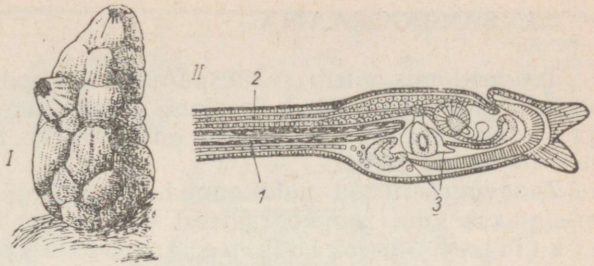
mid, mis on ühised kalade loote, mitte aga täiskasvanud kalade lõpusaparaadi ehitusega. Veel üks näide. Vene teadlase-darvinisti A. Kovalevski uurimistega tehti kindlaks, et süstikkala ja meritupe (liik mereloomi keelikloomade hõimkonna mantelloomade alamhõimkonnast) vastsed on omavahel väga sarnased: nad mõlemad on ujumisvõimelised, neil on seljakeelik, närvitoru jne. Süstikkala säilitab need tunnused ka täiskasvanuna, ainult tema liikuvus väheneb (joon. 37). Täiskasvanud meritupp on aga liikumisvõime täielikult kaotanud ja kinnitunud merepõhjas asuvale substraadile; ühes sellega on tal kadunud ka seljakeelik ja närvitoru (joon. 38). Järelikult kordab süstikkala oma individuaalses arenemises staadiume, mis on ühised meritupe vastse, mitte aga täiskasvanud meritupe omadega.

Haeckelil oli õigus, kui ta väitis, et organismide individuaalses arenemises leiab aset ürgse päritoluga tunnuste kordamine. Kuid mõnedel individuaalse arenemise staadiumidel võib neil tunnustel olla ka kohastumuslik iseloom. Näiteks viitab seljakeeliku ja närvitoru olemasolu meritupe vastsel sellele, et selle looma kauged esivanemad olid liikuva eluviisiga. Järelikult korduvad antud juhul ürgsed tunnused vastsel. Kuid seljakeelik on kehale telgtoeks, meeleelunditega seotud närvitoru aga tagab looma orienteerumise keskkonnas, s. t. vastse enda elu seisukohalt kujutavad nad endast kohastumuslikke tunnuseid.

Real juhtudel langevad mõned esivanemate poolt läbitud staadiumid nende järglaste individuaalsest arenemisest välja. Selgitame seda näite varal. Tingituna jäsemete puudumisest tulenevatest iseärasustest edasiliikumisel suurenes mao selgroolülide, roiete ja lihassegmentide arv evolutsiooniprotsessis mitmekordselt, võrreldes samade ehituselementide arvuga nende sisalikulaadsetel esivanematel. Kui nüüd individuaalse arenemise käigus ajalooline arenemine korduks täielikult, siis peaks mao lootel, sõltuvalt arenemisstaadiumist, selgroolülide, roiete ja lihassegmentide arv järk-järgult kasvama. Tegelikult on neid aga kohe algusest peale niisama palju kui täiskasvanud madudelgi. Seega täheldatakse siin rea staadiumide väljalangemist.




JOON. 37. Süstikkala (ülal), kalaloode (all): 1 — närvitoru; 2 — lõpusepilud; 3 — seljakeelik; 4 — sooltoru; 5 — peaaju.




JOON. 38. Meritupp: I — täiskasvanud eksemplar; II — vastne: 1 — seljakeelik; 2 — närvitoru; 3 — lõpusepilud.

Individuaalse arenemise käigus ei esine ainult mõnede tunnuste väljalangemist; siin tekib organitel ka niisuguseid muutusi, mida esivanemate loodetel ei esinenud.

Uued tunnused tekivad lootelise arenemise erinevatel staadiumidel. Kuid suured muutused keha ehituses, mis jäävad püsima ka täiskasvanud loomadel ja eristavad neid teistesse süstemaatilistesse rühmadesse kuuluvatest loomadest, ilmuvad kõige sagedamini varajasematel staadiumidel. Näiteks on konna (päriskonnaliste seltsi kuuluv kahepaikne) kalalaadsel vastsel väga lühike kere. Triitoni (sabakonnaliste seltsi kuuluv kahepaikne) vastne on samas staadiumis aga pikaksvenitunud kujuga, mis säilib neil loomadel ka täiskasvanuks saades. On teada, et mõlemad mainitud seltsid on saanud alguse ühtedest ja samadest ühistest esivanematest ja alles hiljem divergeerunud. Järelikult pidi selgroolülide arvu vähenemine, mis evolutsiooniprotsessi käigus viis päriskonnaliste tekkimisele, nende esivanemate juures ilmuma arenemise varajases staadiumis, kui selgroog alles hakkab moodustuma. Täpselt samuti seletub suur erinevus selgroolülide algmete pikkuses ja arvus ka madude ja sisalike loodetel, kuigi mõlemad põlvnevad ühistest esivanematest.

Kui uued tunnused on pärilikud, ei riku lootelise arenemise käiku ning osutuvad organismile kasulikeks selle täiskasvanuks saamisel, siis nad loodusliku valiku tulemusel säilivad ka järglaskonnas. Seega pannakse organismide individuaalse arenemise käigus alus uutele teedele nende ajaloolises arenemises.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Missuguseid tunnuseid eristasid organismide individuaalses arenemises Müller ja Haeckel? 2. Tooge näiteid ürgsete tunnuste kohta loomadel. Miks te loete neid tunnuseid ürgseteks? 3. Milliseid parandusi ja täiendusi on teadlaste poolt tehtud biogeneetilises seaduses? 4. Kuidas seletada selliseid fakte: 1) angerjas elab jõgedes, kuid kudemiseks suundub merre; 2) lõhe koeb jõgedes, kuid ise elab meres? 5. Koostage kollektsioone, mis illustreeriksid biogeneetilise seaduse kehtivust taimede juures (ülesanne on mõeldud täitmiseks pikema aja jooksul).

## 15. BIOGEOGRAAFIA

Teadust, mis uurib seaduspärasusi taimede ja loomade kaasaegses jaotumises ning levikus Maal, nimetatakse biogeograafiaks. See teadusharu annab terve rea evolutsiooniõpetust toetavaid fakte.

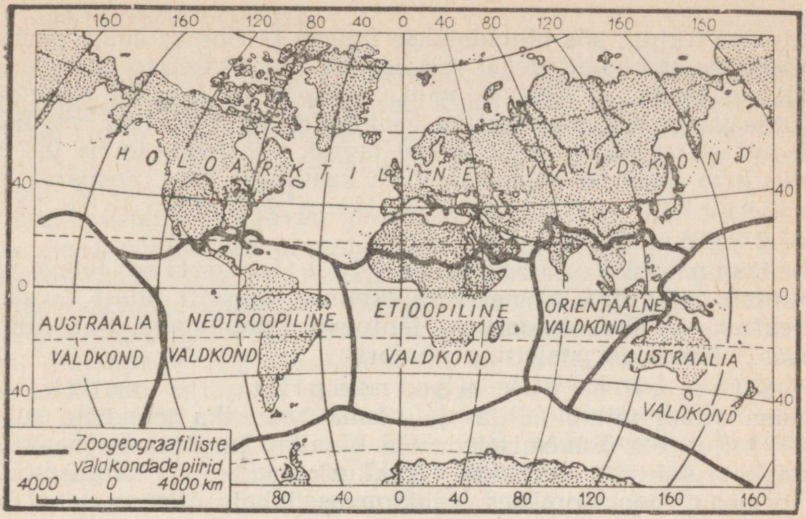
**Zoogeograafilised valdkonnad.** Maismaaloomade leviku järgi eristatakse kuut zoogeograafilist valdkonda. Nendeks on: palearktiline, nearktiline, neotroopiline, etioopiline, orientaalne ja austraalia valdkond. Kaks esimest ühendatakse sageli üheks holoarktiliseks valdkonnaks.

Iga mainitud zoogeograafilise valdkonna fauna haarab kõiki hõimkondi ja klasse. Kui aga valdkondi võrrelda väiksemate süstemaatiliste rühmade — seltside, sugukondade, perekondade ja liikide tasemel, siis tulevad ilmsiks olulised erinevused eri valdkondade faunas. Vaatleme mõningaid näiteid. Kaks põhjapoolkera valdkonda — palearktiline ja nearktiline — ei ole geograafiliselt omavahel ühendatud, kuid nende fauna koostis on väga sarnane. Nii ühes kui teises valdkonnas esinevad põdrad, ilvesed, hundid, rebased, karud, koprad, saarmad jt. täiesti ühesugused või väga lähedased liigid. Ameerika piisonile vastab sugulasliik euroopa piison, siberi hirvele maralile — ameerika hirv vapiti.

Palearktiline valdkond, mis geograafiliselt moodustab ühe terviku orientaalse ja etioopilise valdkonnaga, erineb viimastest järsult oma fauna poolest. Palearktilises valdkonnas ei ole etioopilisele valdkonnale tüüpilist gorillat, šimpansi, kaelkirjakut, leemureid. Ei ole seal ka pärdikuid, elevante, soomusloomi, ninasarvikuid — liike, mis on esindatud nii etioopilises kui ka orientaalses valdkonnas, kuigi viimased on üksteisest meredega lahutatud.

Nearktiline ja neotroopiline valdkond haaravad enda alla kaks Panama maakitsusega ühendatud mandrit (vaadake kaardil), kuid nende fauna koostises on suuri erinevusi. Neotroopilises valdkonnas elutsevad napihambuliste seltsi kuuluvad vöölased, laisikud ja sipelgaõgijad, laianinalised ahvid, kukkurrotid, taapirid ja laamad, nandud, koolibrid jt. linnud, mida ei esine nearktilises valdkonnas.

Kõige omapärasema loomariigiga on aga austraalia valdkond. Peaaegu kõik selle valdkonna imetajad (välja arvatud sisseveetud) kuuluvad kukkurloomade (alamimetajate) alamklassi. Siin on säilinud ainupiluliste hulka kuuluvad nokkloom ja sipelgasiil (lk. 22), keda kusagil mujal enam ei kohta. Ka linnud hämmastavad oma iselaadsusega: emu ja kaasuarid, kiivi, lüürasaba ja paljud teised austraalia valdkonna asukad erinevad teiste valdkondade lindudest oma ereda sulestiku ja omapäraste harju-




JOON. 39. Zoogeograafiliste valdkondade kaart.

muste poolest. Uus-Meremaal esineb sisalikuga väliselt väga sarnane hateeria — ammu välja surnud kärsspealiste alamseltsi esindaja. Hateerial säilib seljakeelik ka täiskasvanuna.

**Floristilised valdkonnad.** Sarnase faunaga valdkondades täheldatakse sarnasust ka flooras. Vastupidi — valdkonnad, mis märgatavalt erinevad fauna koostiselt, erinevad üksteisest ka floora poolest. Nii on palearktilise ja nearktilise valdkondade floorad omavahel sarnased; Euroopa ja Ameerika vahtra-, saare-, männi- ja kuuseliigid on väga lähedases suguluses.

Austraalia valdkonna floora, nii nagu faunagi, on eriti omapärane. Hästi iseloomustab seda Lääne-Austraalia igihaljaste metsade koostis: eukalüptid, lehetaoliselt laienenud leherootsudega akaatsiad; ürgsete paljasseemnetaimede hulka kuuluvad ning palmide või puukujuliste sõnajalgadega sarnanevad palmlehikud. Rohtla- ja poolkõrbealadel: liblikõieliste, mürdiliste ja teistesse sugukondadesse kuuluvate põõsaste tihedad tihnikud.

**Eri valdkondade fauna ja floora sarnasuse ja erinevuse põhjused.** Eri valdkondade fauna ja floora kaasaegset koostist võib seletada, kui käsitada seda ajaloolise protsessi tulemusena. Iga liik on kunagi välja kujunenud mingis kindlas valdkonnas ja sellest tsentrumist hiljem edasi levinud, kuni sellele panid piiri takistused: kõrged mäed, ulatuslikud kõrbealad, mered, jõed jne. Fauna ja floora edaspidine areng looduslike takistustega eraldatud maismaa-aladel ja valdkondades jätkus isoleeritult, teistest eraldi. Kui niisugune eraldatus

kujunes hiljuti, siis täheldatakse faunas ja flooras suurt sarnasust võrreldes valdkondadega, mis isoleerusid üksteisest juba ammu. Nii on teada, et Beringi väin, mis praegu lahutab teineteisest Euraasia ja Põhja-Ameerika mandreid, on tekkinud võrdlemisi hiljuti — umbes 1 miljon aastat tagasi, mil nende fauna ja floora olid juba jõudnud omandada oma kaasaegse ilme. Seepärast ongi palearktilise ja nearktilise valdkondade fauna väga sarnane.

Sarnasus orientaalse ja etioopilise fauna vahel seletub asjaoluga, et need valdkonnad asustati ühest ja samast tsentrist — Kesk-Aasiast — lähtunud tulnukatega ajal, mil toimus jäämasside pealetung põhjast.

Suur erinevus neotroopilise ja nearktilise fauna vahel viitab Põhja- ja Lõuna-Ameerika mandrite suhteliselt hiljutisele ühinemisele, mida kinnitab ka Panama maakitsuse maakoorekihtide uurimine. Kukkurloomade ja napihambuliste olemasolu neotroopilises valdkonnas lubab oletada, et Lõuna-Ameerika ja Austraalia mandrid olid kunagi omavahel seotud.

Austraalia fauna omapära seletub selle mandri väga ammuse eraldumisega, mille tulemusel Austraalia loomariik arenes pikka aega täiesti isoleeritult teiste mandrite faunast. Tänu sellele on siin säilinud väga ürgsed loomarühmad, mis teistes valdkondades on täiuslikumate rühmade poolt juba ammu välja tõrjutud.

**Saarte fauna ja floora.** Galápagose saartel leidis Darwin kohalikke ehk nagu neid nimetatakse — endeemilisi sisaliku-, kilpkonna-, linnu- (lk. 21), teo- ja putukaliike, aga samuti ainult neil saartel esinevaid taimeliike. Kuid kõik need liigid olid lähedased Lõuna-Ameerikas esinevatele liikidele. Galápagose saared eraldusid Lõuna-Ameerikast üsna varajasel perioodil. Saarte ja mandri liigid divergeerusid erinevates suundades, mis viiski endeemiliste liikide ja isegi perekondade (näiteks lindude seas) tekkimisele.

Analoogiliselt saarte faunale on väga omapärane ka suletud veebasseinide fauna. Kõige eredamaks näiteks selle kohta on Baikali järv, kus rohkem kui kolm neljandikku kõigist loomaliikidest on endeemilised (lk. 53).

Seega võib loomade ja taimede kaasaegset geograafilist jaotumist mõista ja seletada üksnes evolutsioonilisest seisukohast lähtudes.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Milles seisneb Austraalia valdkonna fauna omapära? Mis on selle omapära põhjuseks? 2. Kuidas seletada palearktilise ja nearktilise valdkonna fauna ja floora sarnasust? 3. Millist osa etendavad liikide tekkimisel looduslikud takistused? Tooge selle kohta näiteid. 4. Korrake lõiku «Uute liikide tekkimine».

## 16. PALEONTOLOOGIA

Paleontoloogiaks nimetatakse teadust fossiilsetest organismidest. Suurem osa liikidest, kuhu need organismid kuulusid, on välja surnud. Sellest hoolimata võimaldab kogutud paleontoloogiline materjal taastada taime- ja loomaliikide evolutsiooni üldise käigu.

**Väljakaevamistel leitavad jäänused.** Maakoore kihtides võis säilida ainult tühine osa organismidest või nende jäänustest, sest selleks on vaja terve rea soodsate tingimuste kokkulangemist. Eelkõige peavad organismide jäänused asuma neid hästi säilitavas keskkonnas, näiteks jõeliivas, mudas, turbas, kuhu ei pääse juurde õhuhapnik. Pehmed kehaosad tavaliselt lagunevad jälgi jätmata. Kõvad osad, lagunedes aeglasemalt, võivad asenduda nendesse imbunud mineraalsoolade lahustest eraldunud räniooksiidiga. Taolistel juhtudel tekivad kivistised. Mõnikord jääb kivimisse antud organismi kujule vastav tühimik, mis aja jooksul täitub muda või liivaga ning muutub kõvaks. Nii tekib otsekui selle organismi kivistunud valatis. Teistel juhtudel organismid aeglaselt söestuvad, jättes endast kivimile otsekui trükitõmmise. Liivas, ilma õhu ja vee juurdepääsuta, võivad loomade ning inimeste laibad püsida lagunemata tuhandeid aastaid, kusjuures neil säilivad niihästi nahk kui ka ärakuivanud lihased.

Maakoore kihtides on säilinud ja kuni meie ajani püsinud väljasurnud loomade kehaosade ning taimede jäljendeid, enam või vähem täielikke luu- või kitiinskelette, lõualuid, hambaid, sarvi, soomuseid, lubikodasid, kilprüüsid, jalajälgi, õietolmu terasid. On teada terveid luujäänuste «kalmistuid» — vaikivaid tunnistajaid kunagistest episoodidest ammu välja surnud loomade omavahelises võitluses.

Õhukesed läbipaistvad õhikud, mida saadakse settekivimite mikroskoopilistel uuringutel, on andnud võimaluse avastada bakterite jäänuseid. Raua ning mangaani settemaagid, boksiidid, fosforiidid, mere ning mageveekogude savikad põhjasetted sisaldavad massiliselt baktereid.

Väljakaevamistel leitavate jäänuste alusel taastavad paleontoloogid organismide väliskuju ja ehituse sellisena, nagu see oli nende organismide eluajal.

**Aegkonnad ja ajastud.** Teadlased jaotavad Maa ja sellel valitseva elu ajaloo teatud kindlateks ajavahemikkudeks — aegkondadeks, viimased aga omakorda ajastuteks. Aegkondade ja ajastute vahetus toimus suurte muutuste tõttu orgaanilises maailmas. Nende kestus tehakse kindlaks radioaktiivsete elementide laguproduktide hulga kindlaksmääramise alusel, lähtudes sellest, et mainitud protsess toimub mistahes tingimustes püsiva kiirusega. Näiteks on teadlased välja arvutanud, et iga 100 miljoni aasta jooksul jääb ühest kilogrammist uraanist järele

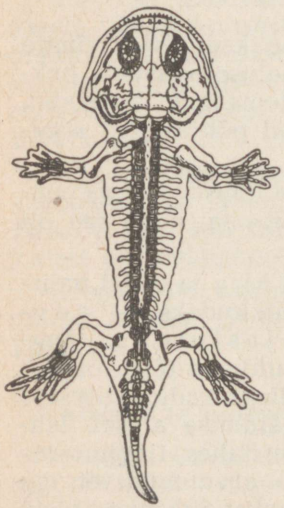
985 g, kusjuures tekib 13 g pliid ja 2 g heeliumi. Täpsete keemiliste analüüside abil tehakse kindlaks, millistes hulkades pliid ja heeliumi võetud proovis esineb. Seejärel arvutatakse välja, kui palju aega on kulunud nende tekkimiseks, s. t. milline on kivimi geoloogiline vanus.

Maa ajaloos eristatakse järgmisi aegkondi: kainosoikum — uus-aegkond, mesosoikum — kesk-aegkond, paleosoikum — vana-aegkond, proterosoikum — aguaegkond ja arhaikum — ürg-aegkond. Aegkondade nimetused on tuletatud kreekakeelsetest sõnadest. Ajastutele on nimed enamasti antud maakohtade järgi, kus esmakordselt avastati nendele ajastutele iseloomulike organismide jäänuseid.

Geokronoloogiline tabel on toodud lk. 106—107.

**Fauna ja floora vahetumine Maal.** Iga valdkonna fauna ja floora arenemise järjepidevust on palju kordi rikkunud mäetekkeprotsessid, mere pealetungid ja uuesti tagasitõmbumised. Oletame, et meri ujutas üle teatud maismaa-ala, seejärel aga taandus, jättes endast taas järele maismaa. Selle ala fauna ja floora ei saa nüüd enam koosneda liikidest, mis oleksid endist maismaad asustanud liikide vahetuteks järglasteks.

Erinevatele geoloogilistele ajajärkudele vastavatest maakihtidest leitud jäänuste võrdlemine annab veenvaid tõendeid orgaanilise maailma muutumise kohta ajas. Kõige ürgsemates kihtides leidub vaid selgrootute hõimkondade, hilisemates kihtides aga juba keelikloomade hõimkonna esindajate jäänuseid. Hiljem ilmusid Maale selgroogsete klassid. Nooremad geoloogilised kihid sisaldavad kaasaegsetega väga sarnastesse liikidesse kuulunud loomade ja taimede jäänuseid. Mida suurem on aga vas-



JOON. 40. Stegokefaali skelett.

1 JOON. 41. Arheopterüks: 1 — jäljend; 2 — rekonstruktsioon.

tava maakoorekihi vanus, seda rohkem on tol ajal elanud organismid, otsustades neist säilinud jäänuste järgi, erinenud praegustest. Kõige ürgsemates kihtides leitakse aga jäänuseid niisugustest loomadest ja taimedest, millel pole kaasajal eksisteerivatega absoluutselt mitte mingisugust sarnasust.

Paleontoloogilised andmed annavad tõhusat informatsiooni erinevate süstemaatiliste rühmade omavahelistest seostest ja järgnevusest üksteisele. Ühtedel juhtudel on see võimaldanud kindlaks teha üleminekuvormid, teistel juhtudel — fülogeneetilised read.

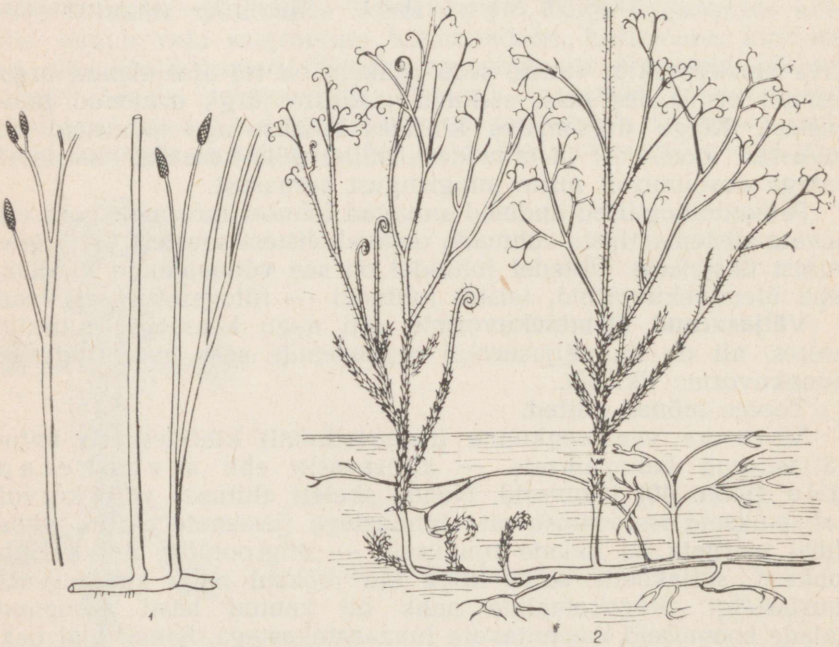
**Väljasurnud üleminekuvormid.** Nii nagu kaasaegsete liikide juures, nii on ka väljasurnud organismide seas avastatud üleminekuvorme (lk. 68).

Toome mõned näited.

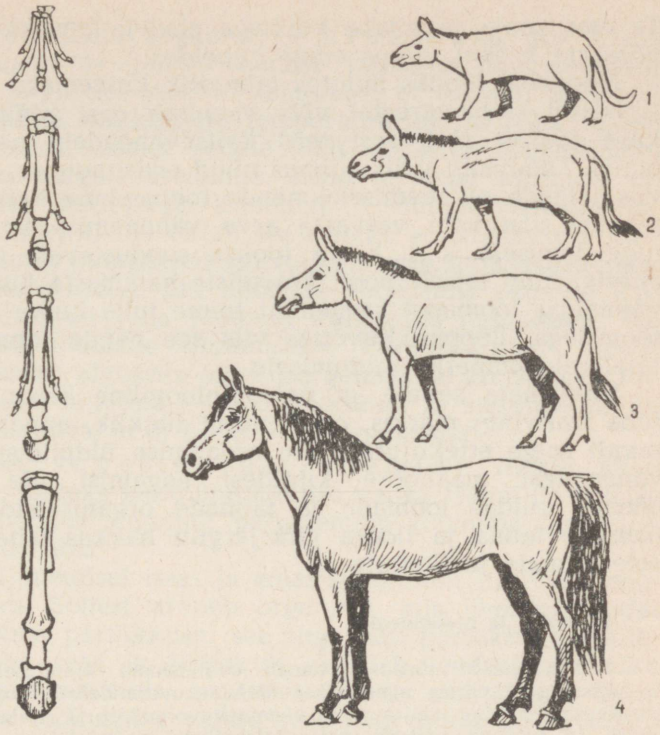
Maakoore vana-aegkonna (paleosoikumi) kihtidest on leitud väljasurnud kahepaiksete — katispeaste ehk stegokefaalide (joon. 40) jäänuseid. Nende skeleti ehituses võib kõrvuti kahepaikseid iseloomustavate tunnustega (jäsemete ehitus, välisilme) märgata ka kalade tunnuseid — selgroolülid olid kaksiklohkseid, seljakeelik säilis kogu elu jooksul nagu kaasaegsetel tuurlastelgi. Stegokefaalide nahk oli kaetud hästi arenenud, kalade soomuseid meenutavate luunaastukestega. Samal ajal hakkas hilisematel stegokefaalidel juba arenema selgroo kaelapiirkond — roomajate tunnus.

Evolutsioonilisest seisukohast pakub suurt huvi arheopterüksi (ürglinnu) leid mesosoikumi juura ajastusse kuuluvatest kiltkiviladem etest (joon. 41). Sel kaarnasuurusel loomal olid linnu tunnused, kuid ta säilitas veel teatud jooni ka roomajatest. Lindude tunnused: tagajäsemed jooksmega, keha oli kaetud sulgedega, üldine kehaehitus ja välisilme oli tüüpiliselt linnulik. Roomajate tunnused: saba oli pikk ja koosnes arvukatest sabalülidest, vaagnaluud olid liikuvas ühenduses selgrooga, lõualuud olid varustatud hammastega. Arheopterüks ei saanud olla hea lendaja, sest tema rinnaluu oli kiiluta ja nõrgalt arenenud, selgroog aga oli painduv ning arvukate sabalülide olemasolu tõttu ülemääraselt pikenenud.

Siluri ajastul (vt. geokronoloogiline tabel. lk. 106—107) ilmusid Maale, sellele järgnenud devoni ajastul aga said laia leviku osaliseks psilofüüdid (joon. 42). Need olid väikesed, piki merede kaldaid kasvavad roht- ja puittaimed. Neil oli haruline, harjastega kaetud vars, mille maa-alune osa meenutas risoididega varustatud juurikat. Juuri veel ei olnud. Vars oli juba diferentseerunud kudedeks: olid olemas juhtkoed, kattekoed ja tugi-



JOON. 42. Psilofüüdid: 1 — riinia — lihtsa ehitusega psilofüüt; 2 — asteroksülon — keerulisema ehitusega psilofüüt.




JOON. 43. Hobuse evolutsioon: 1 — eohippus; 2 — merühippus; 3 — hipparion; 4 — kaasaegne hobune.

koed; epidermis oli õhulõhedega, mis tagasid gaasivahetuse ja vee aurumise. Psilofüüdid põlvnesid rohelistest vetikatest ja olid vahevormideks üleminekul alamatelt eostaimedelt — vetikatelt — kõrgematele eostaimedele — koldadele, osjadele ja sõnajalgadele. Ühtlasi olid psilofüüdid üleminekuvormideks vee- ja maismaataimede vahel.

**Fülogeneetilised read.** Liikide jada, mis koosneb järjestikku üleminevatest ning üksteist väljavahetavatest liikidest, nimetatakse fülogeneetiliseks reaks. Paleontoloogidel on õnnestunud taastada mõnede kabjaliste, kiskjaliste, vaalaliste, üksikute molluskite jt. loomade fülogeneetilised read.

Vene teadlane V. Kovalevski taastas paleontoloogiliste leidude alusel hobuse ajaloo (joon. 43). Hobuse kõige vanem esivanem (paleogeeni algus) — eohippus oli kasvult ainult rebase suurune, tal olid neljavarbased ees- ja kolmevarbased tagajäsemed ning rohusööjatele tüüpilised kühmulised hambad.

Ta elas sooja ja niiske kliimaga aladel, lopsaka kõrge rohu ja põõsaste keskel, liikus edasi hüpeldes.

Neogeeni lõpuks muutus taimestik kuivemaks ja karedamaks; lagedatel stepiavarustel võis vaenlase eest pääsu leida üksnes kiire jooksu abil, sest teisi kaitsevahendeid neil loomadel ei olnud. Looduslik valik toimus nüüd edasi suunas, mis ühelt poolt viis jalgade pikenemisele, nende toetuspinna kahanemisele maapinnani ulatuvate varvaste arvu vähenemise teel ning selgroo tugevnemisele, s. t. kiiret jooksu soodustavate tunnuste arenemisele, ning teiselt poolt kurruliste hammaste kujunemisele, mis võimaldas loomadel kergemini toime tulla kuiva ja kareda rohu söömisega. Lõppkokkuvõttes viis see nende loomade organismi täielikule ümberkorraldumisele.

Vaatamata sellele, et paleontoloogiline kroonika, nagu seda juba Darwingi märkis, on tohutult lünklik, annab see siiski piisavalt selge ettekujutuse elu arenemise üldpildist Maal. Minnes vanematest maakoore kihtidest aegamisi üle noorematesse, näeme, kuidas loomade ja taimede organisatsioon järk-järgult tüsistus, fauna ja floora järk-järgult hakkas lähenema kaasaegsele faunale ja floorale.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Missuguseid tõendeid annab evolutsiooni kinnituseks paleontoloogia? 2. Missuguseid vorme nimetatakse üleminekuvormideks? Tooge näiteid kaasajal eksisteerivaist ning väljasurnud üleminekuvormidest. 3. Külastage koduloomuuseumi ja tutvuge sealsete paleontoloogiliste materjalidega. 4. Korrake lõiku «Taimede ja loomade kaasaegne süsteem kui evolutsiooni peegeldus» (lk. 56).

4. PEATÜKK

# ORGAANILISE MAAILMA ARENEMINE

Erinevates teadusharudes kogutud andmed täiendavad üksteist ja võimaldavad jälgida tähtsamaid etappe orgaanilise maailma arenemises.

Missugune siis oli orgaaniline maailm kaugetel geoloogilistel aegkondadel ja ajastutel? Millistes suundades toimus tema arenemine, kuni ta ükskord omandas kaasaegse ilme?

## 17. MERI — ELU ARENEMISE ALGKESKKOND

**Elu arenemise algetapid Maal.** Maa koos päikesesüsteemi teiste planeetidega tekkis arvatavasti 5—7 miljardit aastat tagasi. Esimeste sadade miljonite aastate jooksul pärast tekkimist puudusid Maal eluks vajalikud tingimused.

Esimene geoloogiline aegkond — arhaikum, mis kestis 900 miljonit aastat, ei jätnud endast peaaegu mingisuguseid orgaanilise elu jälgi. See seletub asjaoluga, et tol ajal tekkinud maakoore settekihid on kõrgete temperatuuride ja rõhu toimel tugevasti muutunud, lisaks sellele olid ürgsetel organismidel kõvad kehaosad nõrgalt arenenud. Kuid et neist kihtidest on leitud orgaanilise päritoluga kivimeid — lubjakivimoodustisi, marmorit ja süsiaineid, siis viitab see sellele, et arhaikumis elusolendid — bakterid, ainuraksed sinivetikad ning hulkraksed vetikad — juba eksisteerisid. Elu koondus vette, mis vetikate elutegevuse tulemusel oli juba jõudnud küllastuda hapnikuga. See lõigi tingimused loomade ilmumiseks. Proterosoikumi (kestis 2000 miljonit aastat) alguseks oli elusorganismide arenemises toimunud kolm suurt muutust — olid tekkinud: 1) suguline paljunemine; 2) fotosüntees, ja 3) hulkraksed organismid.

Arvatakse, et suguline paljunemine tekkis kahe ühesuguse raku, näiteks kahe üherakulise vetika isendi ühinemise kujul. Hiljem hakkas suguline paljunemine toimuma spetsiaalsete sugurakkude abil.

Sugulisel paljunemisel isas- ja emas-sugurakud liituvad, moodustades sügoodi. Sellest areneb organism, mis ühendab endas nii isa kui ka ema pärilikkuse; see tugevdab pärilikku muutlikkust järglaskonna seas ja järelikult avardab loodusliku valiku toimet. Uus paljunemisviis, osutudes liikide säilitamisel kasulikuks, kinnistus loodusliku valiku teel ning nüüd on ta domineerivaks paljunemismooduseks nii looma- kui ka taimeriigis.

Fotosünteesi tekkimisega algas elu ühise tüve jagunemine kaheks — taimedeks ja loomadeks. Evolutsiooni kõige varasematel etappidel toimus organismide divergents toitumisviiside järgi.

Esmased organismid võisid eksisteerida ürgookeanis külluses leidunud orgaaniliste ainete lagundamise arvel. Mõned esmased organismid said eluks vajalikku energiat keemilistel reaktsioonidel vabaneva energia arvelt. Ka meie ajal eksisteerib baktereid, mis näiteks kasutavad lämmastiku, väävli või raua hapendamisel vabanevat energiat.

Organismid, mis olid omandanud võime sünteesida klorofülli, said võimaluse hakata süsinikuvarusid kasutama süsihappegaasi kujul ning seda ümber töötama orgaaniliseks aineks päikeseenergia arvel. Atmosfääri ilmus vaba hapnik.

Muutused atmosfääri koostises ning toidu — roheliste taimede — olemasolu lõid eeldused loomade arenemiseks.

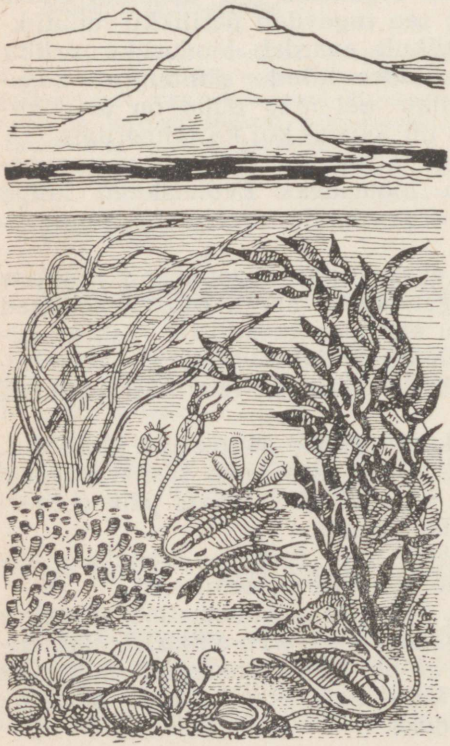
Kõige lihtsamate taimede ja loomade esivanemateks peetakse rühma ürgseid ainurakseid organisme — viburlasi. Bakteritest ja sinivetikatest seevastu ei ole välja arenenud ühtki uut hõimkonda ning mõlemad on kuni meie ajani jäänud omaette, teistest eraldi seisvateks rühmadeks.

Paljude teadlaste arvamuse kohaselt olid hulkraksete organismide eelkäijateks ainuraksete viburlaste koloniaalvormid. Ka käesoleval ajal eksisteerib kolooniatena elavaid viburlasi.

Hulkrakne ehitus tõi enesega kaasa elusorganismide organisatsiooni edasise tüsistumise — kudede, organite ja nende funktsioonide diferentseerumise.

Proterosoikumi-aegsete loomade jäänuseid on leitud harva ja suhteliselt vähe, kuid nendegi põhjal võib otsustada, kui lõpmatult pika arengutee oli orgaaniline maailm selleks ajaks juba läbinud. Sellest aegkonnast pärinevate loomajäänuste seast on leitud esindajaid kõikidest selgrootute hõimkondadest, kaasa arvatud sellised kõrgelt arenenud hõimkonnad nagu okasnahksed ja lülijalgsed. Oletatakse, et proterosoikumi lõpul ilmusid esimesed primitiivsed keelikloomad — koljutute keelikloomade alamhõimkonda kuuluvad organismid, kelle ainus esindaja kaasaegses faunas on süstikkala.

Tähtis etapp oli kahekülgse kehasümmeetriaga loomade tekkimine, mis viis keha diferentseerumisele eesmiseks ja tagumiseks otsaks, samuti kõhu- ja seljapooleks. Eesmine ots sai kohaks, kus hakkasid arenema meeleelundid, närvisõlmed, hiljem aga —



JOON. 44. Elu kambriumi ajastu meres. Maismaa kujutab endast asustamata kaljusid ja liivaalasid.

JOON. 45. Elu siluri ajastu mere põhjas. Keskel — peajalgsed limused; põhjas vasakul — trilobiidid; põhjas paremal — käsijalgsed; veidi kõrgemal — ürgvähid ja meriliiliad; ülal — korallid.

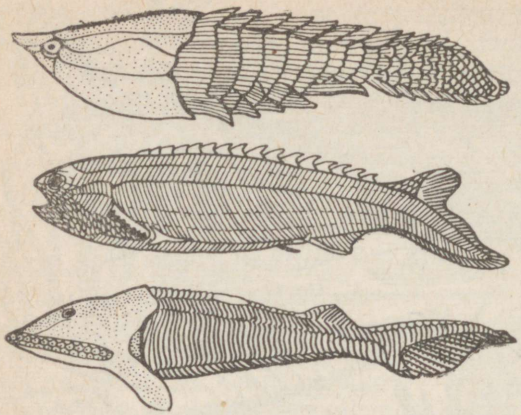
peaaju; seljapool hakkas täitma kaitsefunktsiooni, kõhupool — kindlustama toidu haaramist. Enamik hulkrakseid loomi on kahekülgse sümmeetriaga.

Maismaa jäi proterosoikumis taimede ja loomade poolt veel asustamata, kuid bakterid ja ainuraksed vetikad võisid niisketes kohtades eksisteerida, võttes osa mulla kujundamisest.

**Paleosoikum.** Alates k a m b r i u m i ajastust iseloomustab seda aegkonda suur vormide mitmekesisus (joon. 44). Lisaks bakteritele ja ainuraksetele vetikatele olid laialt levinud ka suured hulkraksed vetikad.

Hulkraksete organismide tekkimine kujutab evolutsioonilises mõttes suurt sammu edasi, sest nende toitumis- ja paljunemisviisid olid märksa täiuslikumad kui üherakulistel vetikatel. Rakise liigendumine harunemise ja mitmesuguste lehti, varsi ning juuri meenutavate väljakasvude moodustumise teel suurendas hulkraksete vetikate kokkupuutepinda väliskeskkonnaga, kust nad toitaineid ja vett ammutasid.

Kambriumi ja s i l u r i ajastute faunast annab ettekujutuse väljakaevamistel leitud jäänuste koostis: nende hulgas on leitud kõikide kaasaegsete hõimkondade — ainuraksete, ainuõõssete, käsnade, usside (kolm hõimkonda), okasnahksete, limuste (joon. 45), lülijalgsete ja keelikloomade esindajaid.



JOON. 46. Kolm fossiilsete kilpkalade esindajat — esimesed jäänused selgroogsetest.

Siluri ajastu meredes olid rikkalikult esindatud käsijalgsed — paigalise eluviisiga väikesed (kuni 10 cm pikad) kahepoolse kojaga loomad; kaasaegses faunas on neid alles jäänud umbes 200 liiki. Mudasel põhjal roomasid või päris põhja lähedal ujusid ringi lülijalgsete esindajad — trilobiidid. Viimased jäid kauaks ajaks kõige kõrgemalt organiseeritud loomadeks, kusjuures suurimate liikide pikkus ulatus 75 cm-ni.

Siluri ajastu maakihtidest on leitud lõugadeta selgroogsete — kilpkalade jäänuseid. Need olid väikesed, sisemise kõhrskeleti ning tugeva välimise kilprüüga loomad (joon. 46). Kaasaegsed sõõrsuud — silmud ja pihklased — on kilpkalade kauged järeltulijad.

Paleosoikumi fauna esindajate ehitus oli niivõrd keerukas, et see lubab oletada nende esivanemate eksisteerimist juba proterosoikumis, kuigi viimastest ei ole meie ajani säilinud midagi. Edasise evolutsiooniprotsessi käigus toimus peamiselt loomariigi hõimkondade divergents ja esialgsete madalalt organiseeritud ning primitiivsete vormide asendumine kõrgemalt organiseeritutega.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Tutvuge geokronoloogilise tabeli (lk. 106—107) järgi aegkondade ja ajastute kestusega (ei ole vaja pähe õppida). Pöörake tähelepanu muutustele taimeja loomariigis arhaikumis, proterosoikumis, aga samuti paleosoikumi, kambriumi ja siluri ajastutel. 2. Millised suured muutused toimusid orgaanilises maailmas tema arenemise kõige varasematel etappidel? 3. Millistel tingimustel võis alata loomade arenemine? 4. Korrake materjali loodusliku valiku (lk. 36—39) ja divergentsi (lk. 48—49) kohta.

## 18. MAISMAAORGANISMIDE ARENEMINE PALEOSOIKUMIS

**Taimede väljumine maismaale.** Siluri ajastu lõpul toimunud tormiliste mäetekkeprotsesside tagajärjel suur osa seni veega kaetud maismaa-aladest vabanes vee alt. Paljud kuivamaa tingimustesse sattunud vetikaliigid hukkusid. Teatud osal rohelistest hulkraksetest vetikatest aga tekkisid muutused, millel oli lai kohastumuslik tähtsus uues elukeskkonnas. Uuele arenemisteele astunud taimedeks olid teile juba tuntud psilofüüdid.

Võrreldes roheliste hulkraksete vetikatega olid psilofüüdid läbi teinud suured muutused. Neil olid tekkinud erinevaid funktsioone täitvad koed: kaitsekude (õhulõhedega epiderm), kude, mis neelas pinnasest vett koos selles lahustunud mineraalsooladega, tugikude, mis tagas keha püstloodis asendi ruumis. Mõnedel psilofüütidel olid maapealsed osad kaetud soomusetaoliste, väikesi roodudeta lehti meenutavate jätketega. Varre harunemine jätkus maa all, kus tal arenesid juuretaolised moodustised.

Võimalus maismaa asustamiseks psilofüütidega oli ette valmistatud juba bakterite ja üherakuliste vetikate elutegevusega, mille tulemusel oli tekkinud esimene mullakiht.

Alates d e v o n i ajastu keskpaigast hakkab psilofüütide arvukus järk-järgult kahanema ning selle ajastu lõpuks on nad juba täielikult kadunud. Neist said alguse kõrgemal organisatsioonitasemel seisvad taimerühmad: kollad, osjad ja sõnajalad.

**Karboni ajastu metsad.** Järsk evolutsiooniline tõus maismaataimestiku arengus toimus umbes 350 miljonit aastat tagasi, k a r b o n i ajastu alguses, mil kliima oli muutunud soojaks ja niiskeks ning õhk täitunud intensiivse vulkaanilise tegevuse tagajärjel tekkinud süsihappegaasiga. Esmakordselt ilmusid Maale tohutu ulatusega, sõnajalgtaimedest koosnevad metsad, kus kasvasid 15—30 meetrini kõrguvad hiigelsõnajalad, puukujulised osjad ja kollad. Alusmetsa moodustasid sõnajalgtaimedest rohttaimed, puud ise olid mähkunud liaanidesse; viimased kuulusid samuti sõnajalgade hulka.

Võrreldes psilofüütidega oli sõnajalgtaimedel palju eeliseid: neil oli hästi arenenud juurestik ning juhtkoed, hästi olid arenenud ka lehed. Kuid paljunemise poolest jäid sõnajalgtaimed ikka veel seotuks veega — viimane oli vajalik sugurakkude edasiliikumiseks viljastumisprotsessil.

Lopsakas taimestik muutis tugevasti atmosfääri koostist, rikastades seda hapnikuga. Sel oli suur tähtsus maismaaloomade arenemiseks. Karboni ajastu taimestik soodustas viljakate muldade kujunemist, rikastades neid huumusega. See aga lõi soodsad tingimused ka maismaataimestiku enda edasiseks arenemiseks.

JOON. 47. Karboni ajastu metsad. Vasakul — kaks võimsa tüvega hiigelkolda (lepidodendronid); esiplaanil — sõnajalg; keskel ja paremal — osjad.

Karboni ajastu metsadest on moodustunud praegused kivisöemaardlad — maapõuevara, millel on meie jaoks erakordne tähtsus.

**Ürgsed seemnetaimed.** Karboni ajastu metsades kasvasid ka seemnesõnajalad — kõige ürgsemad paljasseemnetaimed, millel spooridega täidetud eospesade asemel moodustusid seemned. Seemnesõnajalgade olemasolu tollel ajastul viitab selgesti paljasseemnetaimede põlvnemisele eostaimedest.

Esimeste seemnetaimede tekkimine oli tohutu progressiivse tähtsusega fakt, mis määras ära taimede kogu edasise evolutsiooni. Oma paljunemisviisi iseärasuste tõttu sattusid seemnetaimed märksa eelistatumasse olukorda kui seda olid sõnajalgtaimed. Seemnetaimedel ei ole viljastumisprotsessi toimumiseks vaja veekeskkonna olemasolu, nende idu asub seemnes ja on seetõttu kaitstud ebasoodsate mõjutuste eest, seemnes on suured varud idu arenemiseks vajalikke toitaineid. Sõnajalgtaimedel seevastu on vesi viljastumiseks tingimata vajalik; nende eosed kujutavad endast kõigest ühtainsat, väga piiratud toitainevarudega rakku: eosest tärkav taimealge vajab arenemiseks niisket pinnast.

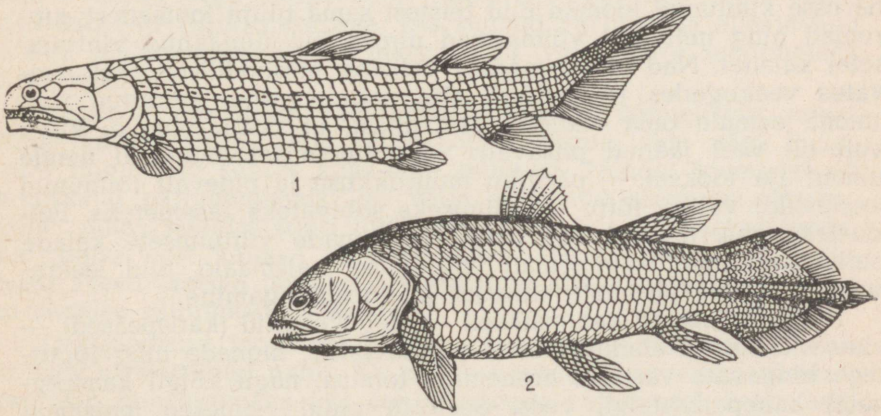
Karboni ajastu lõpul algas jälle intensiivne mägede moodustumine, mis järgmisel, p e r m i ajastul, hõlmas kogu maakera.

Paljudes kohtades meri taganes. Selle tulemusel asendus niiske kliima peaaegu kõikjal kuiva kliimaga. Uutes tingimustes hakkasid puukujulised sõnajalgtaimed kiiresti välja surema; ainult niisketes ja varjulistes kohtades suutsid väiksemad vormid püsima jääda. Surid välja ka seemnesõnajalad. Kuid kõrgemini organiseeritud paljasseemnetaimed osutusid elujõulisteks — paljunemine seemnete abil võimaldas neil levida ka kuivematele aladele. Paljasseemnetaimede lopsakas arenemine ja laiaulatuslik levik jätkus peaaegu mesosoikumi lõpuni.

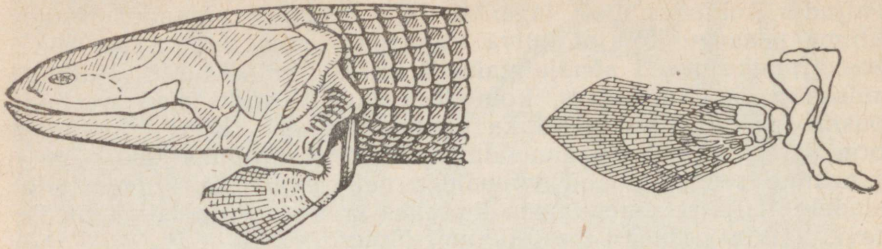
**Selgroogsete väljumine maismaale.** Maismaataimede ilmumine ja arenemine lõi peamised eeldused loomade väljumiseks maismaale ning nende edasiarenemiseks uutes, muutunud koostisega atmosfääri ja toiduvarude tingimustes.

Et mõista, kuidas toimus loomade väljumine maismaale, tuleb peatuda erakordse evolutsioonilise tähtsusega muutustel, mis devoni ajastul leidsid aset kalade juures. Esimene suurem ümberkorraldus viimaste organisatsioonis oli seotud lõugadega rüükalade ilmumisega, kelle eellasteks arvatakse olevat üht rühma kilpkalu. Lõugadega rüükaladel oli sisemine kõhrskelett ja liikuvad luulised lõuad, nad olid varustatud paariliste uimedega ja kaetud luulise rüüga. Rüükalade hulgas oli suuri, mitme meetri pikkusi röövloomi. Lõugade tekkimine oli tähtis etapp selgroogsete loomade üldise organisatsiooni tõusu teel. Luuliste lõugadega varustatud loomad võisid aktiivsemalt jahti pidada ning kergemini jagu saada saagist. Sellega seoses täiustusid neil loodusliku valiku käigus ühtlasi ka närvisüsteem ja meeleelundid.

Devoni ajastul ilmus veel üks uus rühm kalu — vihtuimsed kalad (joon. 48, 1). Nad hingasid kahel viisil: lõpustega ja ühe




JOON. 48. Vihtuimsed kalad: 1 — tüüpiline fossiilne vorm; 2 — latimeeria — kaasaegne vihtuimne kala.



JOON. 49. Ürgne vihtuimne kala ja tema rinnauim.

või kahe seedetrakti kõhupoolsele küljele avaneva põie abil (kopsuhingamine).

Vihtuimsete kalade uimed ei olnud spetsialiseerunud ainult *üheainsa* funktsiooni täitmisele, nagu see oli näiteks lõugadega rüükalade juures, vaid nad võisid täita *mitut* funktsiooni: lisaks ujumisele olid nad loomale ka toeks roomamisel mööda maad. Vihtuimse kala uime skelett on homoloogiline selgroogsete loomade viievarbalise jäseme skeletiga (joon. 49).

Vihtuimsed kalad elutsesid mageveekogudes. Mesosoikumis siirdusid nad merre. 1938. aastal püüti India ookeanist Aafrika ranniku lähedalt vihtuimne kala — latimeeria. Latimeeria on ainus meie ajani säilinud vihtuimsete kalade rühma esindaja. Seda rühma peeti täielikult väljasurnuks (joon. 48, 2).

Kõige primitiivsemateks maismaaselgroogseteks peetakse ürgseid kahepaikseid. On kindlaks tehtud, et viimased põlvnevad ühest vihtuimsete kalade rühmast. Kahepaiksete tekkimise protsessi võib ette kujutada järgmiselt. Mingisse vihtuimsete kalade harusse kuulunud loomad olid teistest sama tüüpi loomadest suuremad ning neil olid võimsamad uimed kui ülejäänud vihtuimsetel kaladel. Nad elasid madalaveelistes, perioodiliselt ärakuivavates veekogudes ja seetõttu olid nad aeg-ajalt sunnitud roomama eemale oma endisest asupaigast, et otsida lompe, kuhu vett oli veel jäänud piisavalt. Selle tulemusel muutusid nende uimed aja jooksul — päriliku muutlikkuse ja pidevalt toimunud loodusliku valiku tõttu — käimiseks sobivateks jäsemeteks. Eeldusteks, mis tagasid kahepaiksete loomade vihtuimsete kalade hulka kuulunud esivanemate väljumise maismaale, olid iseärasused viimaste jäsemete ehituses ja kopsuhingamine.

Kõige ürgsemad kahepaiksed — stegokefaalid (katispeased) — elutsesid soistel aladel. Nende paljunemine, munade ning lõpustega hingavate vastsete arenemine toimus, nagu kõigil kaasaegsetel kahepaiksetelgi, vees. Seetõttu pidid esimesed maismaal elutsevad loomad hoiduma veekogude lähedusse ega saanud elada maismaa sisealadel. Kahepaiksete ürgsed esivanemad eri-

nesid kaasaegsetest kahepaiksetest mõõtmete suure mitmekesisuse (pikkus mõnest sentimeetrist kuni 4 meetrini), aga samuti pead soomusrüüna katvate luukilbikeste ning ka kõhtu katvate väikeste kilbiste poolest.

Stegokefaalide ehituses olid ühendatud nii kalade ja kahepaiksete kui ka roomajate tunnused. Nad kujutasid endast üleminekuvormi (lk. 79). Karboni ajastu soe ja niiske kliima, tohutud metsad ja mädasood lõid erakordselt soodsad tingimused erinevate elupaikadega kohastunud ning *samal organisatsioonitasemel* asuvate kahepaiksete õitsenguks.

Karboni ajastul toimus maismaal mitmesuguste selgrootute — putukate, ämblike, skorpionide — intensiivne ja mitmekülgne arenemine.

Meredes ujus hulgaliselt kalu, eriti haisid. Korallid jätkasid oma lubiehitiste püstitamist; intensiivselt käis edasi juurjalgsete kodadest koosnevate kivimite moodustumine. Merepõhi oli täis käsijalgseid, limuseid, okasnahkseid; märgatavalt vähenes trilobiitide arvukus.

Varem eksisteerinud hõimkonnad ja klassid divergeerusid uuteks rühmadeks; surid ühed harud välja, algas teiste harude tõus ja õitseng. Looduslik valik «sobitas» elusolendeid mitmesuguste elupaikadega, olgugi et see toimus ainult ühe keskkonna piires; see nõrgendas konkurentsi toimet ja soodustas liikide säilimist.

Karboni ajastu lõpul ja eriti p e r m i ajastu algul muutus Maa kliima märksa kuivemaks. Uued tingimused olid kahepaiksete jaoks äärmiselt ebasoodsad: sõltus ju nende paljunemine eelkõige vee olemasolust, ilma milleta nende loode ei saanud areneda. Samal ajal olid kopsuhingamine ja vereringesüsteem veel ebatäiuslikud, paljas nahk ei suutnud aga kaitsta nende keha ärakuivamise eest. Kõige selle tulemusel suur osa suuri kahepaikseid suri välja; neist aga, kes suutsid varju leida allesjäänud soistel aladel, said alguse märgatavalt väiksemate mõõtmetega kahepaiksed.

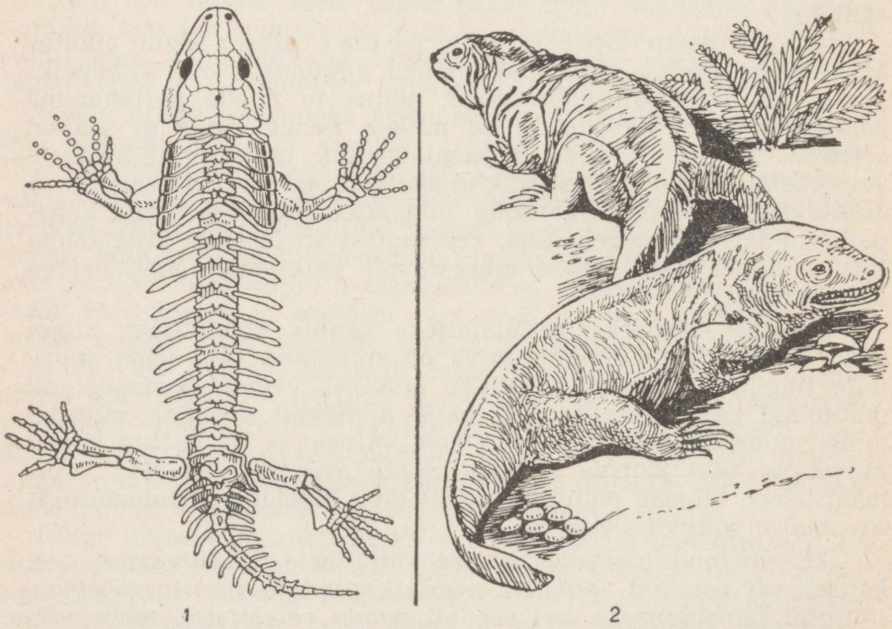
Maismaa edasiseks vallutamiseks osutus võimeliseks mingi rühm kahepaikseid, kelle juures oli toimunud rida väga suuri, uute tingimuste suhtes kasulikke muutusi. Nendel loomadel oli muutunud paljunemisviis: oli välja arenenud sisemine viljastamine; muna sisaldas suuri toitainete varusid ja oli kaetud loodet kuivamise eest kaitsva kestaga; loote arenemine toimus maismaal. Need tähtsad muutused tegid lõpu loomade paljunemise ja arenemise sõltuvusele veest.

Täiskasvanud loomadel arenes välja neid ärakuivamise eest kaitsev sarvestunud nahk. Ka nende kopsud ja vereringesüsteem osutusid täiuslikumaks kui see oli nende eelkäijatel, tehes võimalikuks selle loomarühma täieliku ülemineku elule maismaal. Niisiis oli tekkinud uus selgroogsete klass — roomajad.

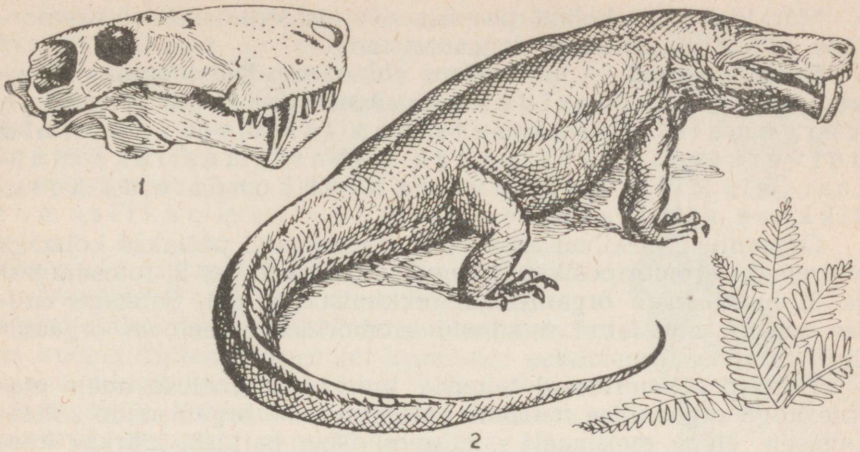
Ürgsete roomajate ilmumine oli uueks tähtsaks etapiks loomariigi arengus: madalalt organiseeritud kahepaiksetest olid tekkinud kõrgemalt organiseeritud roomajad. Ja kui paleosoikumi lõpul Maa kliima muutus kuumaks ning põuaseks, siis olid roomajad uues elukeskkonnas väljaspool konkurentsi. Nad olid peamiselt rohusööjad loomad, näiteks pareiasaurus. Mõned roomajad läksid üle rööveluviisile. Eriti huvitava rühma moodustasid loomahambulised roomajad, kelle jäänuseid on leitud NSV Liidus Severnaja Dvinaa kallastel. Neil on teatud sarnasus imetajatega kolju, selgroo ja jäsemete ehituse, aga samuti hammaste jaotumise osas silmahammasteks (kihvadeks), lõikehammasteks ja purihammasteks (joon. 51). Arvatakse, et loomahambuliste roomajate järglastest on saanud alguse esimesed imetajad. Loomahambulised roomajad olid üleminekuvormiks roomajate ja imetajate vahel.

Paleosoikumis jätkus ka vees elutsevate selgrootute edasine arenemine: tekkisid lõuatud ja kõhrkalad. Taimed ja loomad väljusid maismaale; ilmusid kõrgemad eostaimed ja paljasseemnetaimed, vihtuimsed kalad, kahepaiksed ja roomajad.

Orgaanilises maailmas toimusid sügavad muutused; erinevate geoloogiliste aegkondade ja ajastute floora ja fauna erinesid koostiselt, vahetades üksteist järgemisi välja.



JOON. 50. Primitiivne roomaja, kes säilitas sarnasuse kahepaiksetega: seimuuria (kotülosauruste rühmast): 1 — skelett; 2 — rekonstruktsioon.




JOON. 51. Loomahambuline sisalik inostrantseevia: 1 — kolju; 2 — rekonstruktsioon.

Nagu näete, annab tutvumine orgaanilise maailma arenemise tähtsamate etappidega kolmes esimeses aegkonnas — arhaikumis, proterosoikumis ja paleosoikumis — rikkalikult faktilist materjali, mille alusel võib otsustada evolutsiooni suundade üle.

Vaatleme seda küsimust lähemalt ja alles pärast seda läheme üle elusa looduse edasiste muutuste tundmaõppimisele mesosoikumis ja kainosoikumis.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Kuidas ja kunas sai teoks taimede väljumine maismaale? 2. Miks loetakse seemnesõnajalgade tekkimist tähtsaks sündmuseks, mis määras ära taimede edasise evolutsiooni? 3. Missugused muutused toimusid kalade arenemises devoni ajastul? Mis tähtsus neil oli selgroogsete evolutsioonis? 4. Kuidas ja kunas sai teoks loomade väljumine maismaale? 5. Missugused suured muutused tingisid roomajate klassi tekkimise? 6. Jälgige geokronoloogilise tabeli (lk. 106—107) järgi muutusi, mis toimusid taimeriigis paleosoikumi erinevatel ajastutel.

## 19. ORGAANILISE EVOLUTSIOONI PEASUUNAD

Charles Darwin tõestas, et orgaanilise maailma evolutsioon toimub katkematult ja et sellel protsessil on kohastumuslik iseloom. Protsess tervikuna viib elusolendite organisatsiooni üldisele tõusule, kuid samal ajal kogu protsess ise kulgeb divergentselt. Küsimust evolutsiooniprotsessi suundadest on põhjalikult käsitlenud väljapaistvad vene ja nõukogude teadlased A. Severtsov ja I. Šmalhausen.

Märkida tuleb kolme peamist evolutsiooni suunda: aromorfoos, idioadaptatsioon ja degeneratsioon.

**Esimene suund — aromorfoos ehk morfo-füsioloogiline progress.** Aromorfoosideks nimetatakse organisme kõrgemale organisatsioonitasemele tõstvaid universaalse tähtsusega kohastumuslikke muutusi, mis üleminekul uude keskkonda oma kasulikkuse säilitavad.

Orgaanilise maailma arenemise algetappidel peetakse kolmeks suuremaks aromorfoosiks: 1) sugulise paljunemise, 2) fotosünteesi ja 3) hulkraksete organismide tekkimist (lk. 83). Seletage, milles seisnes nimetatud muutuste aromorfoosne iseloom orgaanilise maailma arenemises.

Tähtsad aromorfoosid taimede juures panid aluse uuele etapile kogu orgaanilise maailma arenemises — organismide kohastumisele eluga maismaal, s. t. uues, üsna paljuski märksa keerulisemas ja laiemas keskkonnas kui seda oli veekeskkond. Piisab, kui meenutada, millised sügavad muutused, võrreldes vetikatega, olid toimunud psilofüütide ehituses ja talitlustes, et mõista nende aromorfooside tähtsust evolutsioonis. Hiljem oli taimeriigi arenemises suureks aromorfoosiks üleminek eostega paljunemiselt paljunemisele seemnetega.

Iga nimetatud aromorfoosi te võite seletada vastava materjali põhjal alapeatükist «Maismaaorganismide arenemine paleosoikumis».

Loomariigis tuleb märkida suuri aromorfoose lameussidel — kolme lootelehe ja kahekülgse sümmeetria arenemist, mis mõjutasid kogu loomade edasist evolutsiooni. Peale ektodermi ja entodermi tekkis neil kolmas looteleht — mesoderm. Loomade edasisel evolutsioonil arenesid sellest lootelehest sooletoru seinad, vereringesüsteem, lihased, sidekude, paljunemisorganid, selgroogsetel aga veel ka skelett. Keha kahekülgne sümmeetria viis keha jagunemisele eesmiseks ja tagumiseks otsaks, kõhu- ja seljapooleks. Funktsioonide jaotumine suurendas liikuvust, saagihaaramise võimet. Arvatakse, et juba ripsussidel oli võimalus väljuda maismaale — uude keskkonda. See fakt kriipsutab alla aromorfooside tähtsust.

Kahekülgne sümmeetria iseloomustab enamikku loomade süstemaatilistest rühmadest.

Tervet rida aromorfoose võib jälgida paleosoikumi-aegsete selgroogsete juures. Märgime neist lõugade tekkimist rüükaladel, kopsuhingamise tekkimist ning uimede ehitust vihtuimsetel kaladel. Hiljem olid selgroogsete arenemises suurteks aromorfoosideks sisemise viljastamise tekkimine ja loodet kuivamise eest kaitsvate kestade moodustumine munal, südame ja kopsude ehituse tüsistumine, naha sarvestumine. Need sügavad muutused viisid roomajate klassi tekkimisele.

Suured süstemaatilised rühmad — hõimkonnad, klassid ja mõned seltsid — on tekkinud aromorfooside teel.

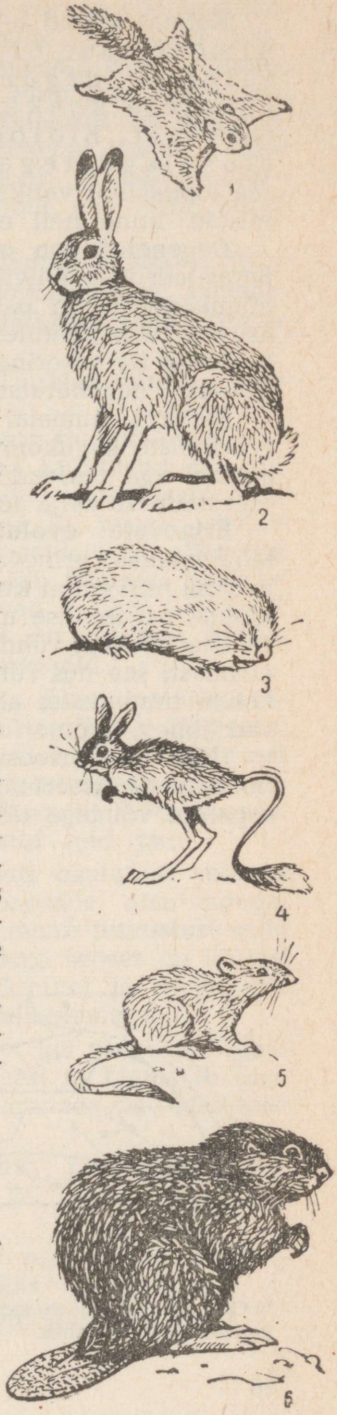
**Teine suund — idioadaptatsioon.** Idioadaptatsioonideks nimetatakse teatud kohalike keskkonnatingimuste suhtes kasulikke kohastumuslikke muutusi, mille tekkimine ei ole seotud organisatsioonitaseme üldise tõusuga.

Vaatleme seda küsimust kahepaiksete klassi ajaloo näite varal. Paleosoikumi kuiva ja kuuma kliimaga ajastutel kujunesid selle klassi mingil osal loodusliku valiku tagajärjel välja kohastumused teatud kindlate, piiratud ulatusega elupaikade suhtes. Mingit organisatsioonitaseme tõusu seejuures nende juures ei toimunud ning neil säilisid kõik kahepaiksete klassi tunnused. Kaasaegsed amfiibid — konnad, triitonid — on hästi kohastunud olelustingimustega väikestes veekogudes ja suure niiskusega maismaa-aladel.

Kaitsevärvus on samuti hea näide loomade kohastumise kohta teatud kindlate olelustingimustega, ilma et see oleks seotud organisatsiooni tõusuga (lk. 40).

Idioadaptatsioonide näiteks taimedel võivad olla õie väga erilaadsed ja peened kohastumused risttolmlemiseks tuule, putukate, lindude, imetajate (mõned nahkhiireliigid) kaasabil, viljade ja seemnete juures tekkinud kohastumused laialikülvamise soodustamiseks, lehtede kohastumused aurumise vähendamiseks jne.

Suurem osa seltse ning väiksemaid rühmitusi on tekkinud üksikkohastumuste arenemise teel ilma üldise organisatsiooni tõusuta (joon. 52).




JOON. 52. Idioadaptatsioonide näited: 1 — lendorav; 2 — halljänes; 3 — pimehiir; 4 — kõrbe hüpikhiir; 5 — suur liivahiir; 6 — kobras.

**Kolmas suund — degeneratsioon.** Degeneratsiooniks nimetatakse organisatsiooni lihtsustumist, mis tuleneb organismi üleminekust niisugustele suhetele keskkonnaga, mille puhul ta vabaneb teravast bioloogilisest konkurentsist teiste elusolenditega. Kuid see üleminek viib regressile ja terve rea loodusliku valiku kontrolli alt välja langenud organite kadumisele, kuna neil ei ole enam elulist tähtsust.

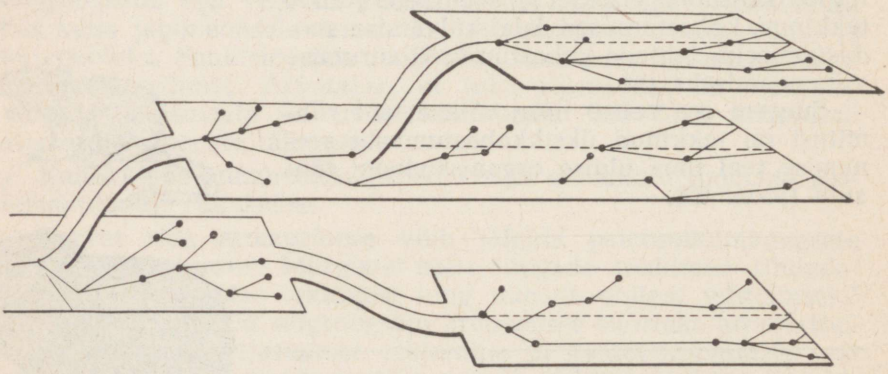
Degeneratsioon on tihti seotud üleminekuga paigalisele või parasiteerivale eluviisile. Täiskasvanud meritupp (keelikloomade hõimkonnast) on paigalise eluviisiga ja kinnitunud merepõhjas asuvale substraadile; ühes liikumisvõime kadumisega on tal kadunud ka vereringe- ja närvisüsteem ning seljakeelik (lk. 73). Eredaks degeneratsiooni näiteks on parasiitussid.

Ristikul, humalal ja teistel taimedel parasiteerival võrmil (võrmiliste sugukonnast) puudub peamine organ — leht, juurte asemel aga tekivad vartele iminapad, mille abil ta imeb peremeestaimest välja toitaineid.

**Erinevate evolutsioonisuundade vahekorrad.** Aromorfoose täheldatakse erinevate looma- ja taimerühmade evolutsioonil märksa harvemini kui idioadaptatsioone, kuid nad tähistavad uusi etappe orgaanilise maailma arenemises.

Uus kõrgem rühm tekib alati aromorfooside kaudu, kusjuures enamasti see uus rühm tungib ka uude elukeskkonda. Uue keskkonna tingimustes allub rühm uutele muutustele: ühed neist viivad jällegi aromorfoosidele, teised — idioadaptatsioonidele.

Uute aromorfooside eelduseks on keha üldine primitiivne (mittespetsialiseerunud) organisatsioon, mis tavaliselt on seotud organite võimega täita mitte üht, vaid paljusid funktsioone.



JOON. 53. Skeem aromorfooside, idioadaptatsioonide ja üldise degeneratsiooni vaheliste seoste kohta.

Üldise primitiivse organisatsiooni näiteks võivad olla taimede seas psilofüüdid, loomade seas stegokefaalid ja teised ülemineku vormid alamatelt kõrgematele süstemaatilistele rühmadele. Organite polüfunktsionaalsuse näitena võib tuua vihtuimse kala jäseme (lk. 90). Organite polüfunktsionaalsus on säilinud paljudel loomadel ka praegusel ajal. Nii täidavad jäsemed enamikul maismaa imetajatest kahte funktsiooni: 1) käimisfunktsiooni, mis on peamine, ja 2) ujumisfunktsiooni, mis antud juhul kujutab endast lisafunktsiooni.

*Iga aromorfoos avab võimalused idioadaptatsioonideks.* Viimased kindlustavad keskkonna täielikuma ärakasutamise, võimaldades selles elamiseks haarata erinevaid paikkondi ilma organisatsioonitaseme tõusuta.

*Juhtudel, mil organismide vastastikused suhted keskkonnaga lihtsustuvad, toimub üldine degeneratsioon.*

Vaadelge skeemi (joon. 53), mis illustreerib evolutsioonisuundade vahelisi suhteid. Horisontaaltasapinnad kujutavad skeemil erinevaid organisatsioonitasemeid. Mida kõrgem organisatsioonitase, seda kõrgemalasetsevana on kujutatud ka temale vastav tasapind. Tõusvad lindid tähistavad aromorfooside teed, allapoole nihutatud tasapinnani viiv lint aga väljendab regressi teed — degeneratsiooni teed. Jooned, mis ühendavad punkte üksikutel tasapindadel, näitavad evolutsiooniprotsessi divergentset kulgemist, mille tulemusel tekivad idioadaptatsioonid.

**Progress ja regress orgaanilises maailmas.** Elusa looduse arenemine esmastest organismidest alates on tervikuna kulgenud tõusujoones, alamalt kõrgemale, lihtsalt keerulisele, s. t. progressi suunas. Kuid kujutlus progressist orgaanilises maailmas ei tähenda seda, et ajalooline arenemine on toimunud ainult ühes suunas. Areng on toimunud keerulisi ja erilaadseid teid pidi.

Progress üldises organisatsioonis on alati osutunud seotuks regressiga — üksikute organite või kehaosade alaarenguga. Hobuse paleontoloogiline rida (lk. 81—82) annab tunnistust selle looma progressiivsest arenemisest, kuid sellega seoses on ühtlasi toimunud ka varvaste (välja arvatud keskmine) ja rangluude mandumine ning hammaste kitsas spetsialiseerumine.

«Peamine on siin see,» märkis Engels, «et iga progress orgaanilises maailmas on ühtlasi ka regressiks, sest ta kinnistab ühesuunalise arenemise ja välistab võimaluse areneda paljudes teistes suundades.»

Orgaanilises maailmas eristatakse kahte progressi tüüpi: morfo-füsioloogiline progress ja bioloogiline progress.

*Aromorfoos ongi morfo-füsioloogiliseks progressiks, degeneratsioon aga morfo-füsioloogiliseks regressiks.*

Mis on aga bioloogiline progress ja bioloogiline regress?

**Bioloogiline progress ja bioloogiline regress.** Aromorfooside, idioadaptatsioonide, aga samuti degeneratsioonil ilmnevate muutuste arenemine loob võimalused ellujäämuse suurenemiseks ning suremuse vähenemiseks populatsioonides. Kõrge ellujäämuse korral isendite arvukus populatsioonides kasvab, levikuareaal laieneb, uute liigisiseste rühmituste, aga lõppkokkuvõttes ka uute liikide tekkimise tempo kiireneb. See ongi bioloogiline progress.

*Seega mõistetakse bioloogilise progressi all protsessi, mis viib isendite arvukuse suurenemisele populatsioonides, areaali laienemisele, aga samuti liigisisese diferentseerumise tempo ja uute liikide kujunemise kiirenemisele.*

Heaks näiteks bioloogilise progressi kohta võib olla halljänese levik. Sada aastat tagasi oli tema levila põhjapiiriks Leningrad—Kaasani joon, idapiiriks aga Uraali jõgi. Praegu on see loom levinud põhja suunas Kesk-Karjalasse ja kaugemalegi, idas Omskini, lõunas kuni Põhja-Aafrika, Väike-Aasia, Krimmi, Taga-Kaukaasia ja Iraanini. Halljäneste seas käib intensiivne diferentseerumine: praegu tuntakse juba ligemale 20 alamliiki.

Heaks näiteks bioloogilise progressi kohta on nematoodid (ümarussid), mis asustavad praegu kogu Maa pinnase, mered ja ookeanid, mageveekogud; paljud neist ussidest on taimede, loomade ja inimese parasiitideks. Nii halljänes kui ka nematoodid teevad praegu läbi protsessi, mis on tüüpiline bioloogilisele progressile.

Bioloogiline progress võib esineda ka üldise degeneratsiooni korral. Nii toimub see näiteks paigalise või parasiteeriva eluviisiga loomade, aga samuti parasiittaimede juures. Paelussil ei ole soolestikku, väga nõrgalt on arenenud närvisüsteem, võime iseseisvalt edasi liikuda peaaegu puudub. Kuid paralleelselt organisatsiooni lihtsustumisega on sel loomal välja kujunenud iminapad, mille abil ta kinnitub oma peremehe sooltoru seinte külge; tema paljunemisorganid on hästi välja arenenud ning ta paistab silma tohutu sigivuse poolest.

Enamik kaasaegsetest looma- ja taimeliikidest on haaratud bioloogilise progressiga seotud protsessidest. Põllumajanduses ja meditsiinis on väga tähtis silmas pidada protsesse, mis on seotud nende või teiste taime- ja loomaliikide bioloogilise progressiga.

Looduses täheldatakse ka bioloogilisele progressile vastupidist protsessi — bioloogilist regressi.

*Bioloogilise regressi all mõistetakse protsessi, mis viib populatsioonides esinevate isendite arvukuse ja populatsioonide endi arvu langusele, areaali ahenemisele, liigisisese diferentseerumise tempo alanemisele ja liikide arvu vähenemisele.*

Bioloogiline regress võib saabuda siis, kui organismide ja väliskeskkonna vahelised suhted muutuvad organismidele eba-

soodsas suunas. Nende muutuste põhjuseks võivad olla muutused kliimas, mägede tekkimine, mere pealetung ja taandumine jt. Kõrvuti nendega võivad aga põhjusteks olla ka muutused liikide, perekondade ja teiste süstemaatiliste rühmituste omavahelistes suhetes. Geoloogilises minevikus on paljud rühmad sedavõrd tugevasti allunud bioloogilisele regressile, et see on viinud nende väljasuremisele. Välja on surnud trilobiidid, ürgvähid. Ürgsete kahepaiksete rohkearvulistest harudest evolutsioneerusid ainult need, mis viisid kahepaiksete ja roomajate kaasaegsete klasside tekkimisele. Taimede seast on ammu kadunud psilofüüdid, kalamiidid, sigillaariad, seemnesõnajalad.

Praegusel geoloogilisel ajajärgul on bioloogilise regressi staadiumis loomariigis näiteks käsijalgsed, kelle õitseaeg langes devoni ja karboni ajastutesse, taimeriigis aga osjad ja kollad, mille areng samuti saavutas maksimumi karboni ajastul. Bioloogiline regress on praegu toimumas tarakani, koduroti ja paljude väikestel ookeanisaartel elutsevate liikide seas.

Inimese ilmumisest alates tingivad bioloogilist regressi sageli muutused, mida ta oma tegevusega on põhjustanud Maa maastikus, rikkudes sellega pikaajalise evolutsiooni tulemusel välja kujunenud seoseid elusolendite ja keskkonna vahel. Seda näitab näiteks kopra, piisammuti, euroopa piisoni ja paljude teiste loomaliikide areaali ahenemine. Bioloogiline regress asetab liigi alati väljasuremise ohtu. Seepärast ongi vajalik, et looduskaitsealased abinõud mitte ainult ei pidurdaks bioloogilist regressi, vaid püüaksid seda ka likvideerida ja ennetada.

Olles tutvunud orgaanilise maailma evolutsiooni suundadega, vaatleme edasi evolutsiooni järgmisi etappe mesosoikumis ja kainosoikumis. Selle käigus te kohtate veel näiteid aromorfoosidest, idioadaptatsioonidest ja degeneratsioonist.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Nimetage peamised evolutsiooni suunad ja andke nende definitsioon. Selgitage näidetega. 2. Tooge näiteid aromorfooside kohta selgrootutel ja selgroogsetel loomadel. 3. Miks loetakse psilofüütide ehituse iseärasusi aromorfoosideks? 4. Mispärast võib taimede üleminekut eostega paljunemiselt paljunemisele seemnetega lugeda suureks aromorfoosiks? 5. Millised organismide iseärasused on eeldusteks aromorfooside tekkimisele ja arenemisele? 6. Uurige skeemi (joon. 53) ja seletage selle abil, millises vahekorras on omavahel evolutsiooni peasuunad. 7. Mis on morfo-füsioloogiline progress ja morfo-füsioloogiline regress? Tooge näiteid. 8. Kuidas toimub bioloogiline progress? Missugused protsessid iseloomustavad bioloogilist progressi, missugused bioloogilist regressi?

## 20. ORGAANILISE MAAILMA EDASINE KOHASTUMINE MAISMAAELUGA MESOSOIKUMIS

**Maismaa vallutamine paljasseemnetaimede poolt.** Triiase ajastul kujunes suuremal osal maakerast välja teravalt kontinentaalne kliima. Uutes tingimustes hakkasid jõudsalt arenema paljasseemnetaimed, mis kõrgemate eostaimedega võrreldes olid sattunud märksa eelistatumasse olukorda (lk. 88).

Paljasseemnetaimed olid üle läinud uuele viljastumisviisile. Nende sugurakud hakkasid arenema sisemistes kudedes. Isassugurakk liikus emas-suguraku juurde piki tolmutoru ilma vee osavõtuta. See oli erakordselt suure tähtsusega aromorfoos, millest suuresti sõltus maismaa edasine vallutamine taimede poolt. Seejuures paljasseemnetaimed, seemnete edasikandumise tõttu tuule ja vee abil, levisid erakordselt kiiresti. Mesosoikumit tervikuna iseloomustab paljasseemnetaimede ebatavaliselt lopsakas arenemine, mis lisaks triiase ajastule kestis ka juura ajastul ning jätkus kuni kriidi ajastu keskpaigani.

**Katteseemnetaimede võidukäik.** Hoolimata paljasseemnetaimede laiast levikust tõrjuti nad mõnesaja tuhande aasta jooksul välja neist hiljem tekkinud katteseemnetaimede rühma poolt. Praegu ei ole veel lõplikult kindlaks tehtud sellise järsu vahetuse põhjused. Väga võimalik, et see oli seotud mesosoikumi lõpul ja kainosoikumi algul toimunud mäetekkeprotsessidega ja muutustega kliimas ning maismaa ja mere jaotumises.

Katteseemnetaimede eellasteks olid ürgsed paljasseemnetaimed. Mesosoikumi lõpuks olid juba olemas ühe- ja kaheidulehelised taimed. Ei ole teada, millised olid kõige ürgsemad katteseemnetaimed, kuid oletatakse, et nad tekkisid troopilises vööndis mingil mandril, millest hiljem sai ookeani põhi. Õie ja puiduelementide primitiivse ehituse järgi otsustades on kõige vanemateks sugukondadeks tulikalised ja magnoolialised. Nende õies on suur hulk spiraalselt asetunud emakaid ja tolmukaid, õieosade arv on ebamäärane, juhtkimbud on puiduparenhüümis paigutunud ringina. Kõiki neid iseärasusi loetakse ürgseteks tunnusteks.

Katteseemnetaimedel toimus väga suur aromorfoos: õis arenes spetsiaalselt tolmlemiseks kohastunud organiks, muutudes laia ja universaalse tähtsusega kohastumuseks viljastamisprotsessi läbiviimiseks risttolmlemise teel.

Edasises evolutsiooni käigus tekkisid õies arvukad üksikkohastumused erineval viisil ja erinevate vahenditega tolmlemiseks — idioadaptatsioonid. Teistest katteseemnetaimede idioadaptatsioonidest võib nimetada kohastumusi viljade ja seemnete levitamiseks, samuti kohastumusi vee aurumise vähendamiseks lehtedest.

Paljasseemnetaimedega võrreldes omandasid katteseemnetaimed rea tähtsaid kohastumusi. Katteseemnetaimede seemnepungad on peidetud sigimikku, seemned arenevad vilja sisemuses ning on seetõttu paremini kaitstud kui ka paremini kindlustatud toitainetega; neil on eredad lõhnavad õied, mis meelitavad ligi putukaid; nende lehtedel ja juurtel on tohutu suur neelav pind.

Katteseemnetaimed vallutasid kiiresti kogu maismaa pinna ning tungisid ka veekeskkonda, arenedes seejuures erakordselt mitmekesistes vormides: puudena, põõsastena, mitme- ja üheaastaste rohttaimedena. Suurt osa katteseemnetaimede kiires levikus etendas nende vastupidavus mitmesuguste klimaatiliste ja mullastikutingimuste suhtes. Lehtede ja varte arenemine ning viimaste harunemine tagasid päikesekiirte parema kinnipüüdmise ja ärakasutamise.

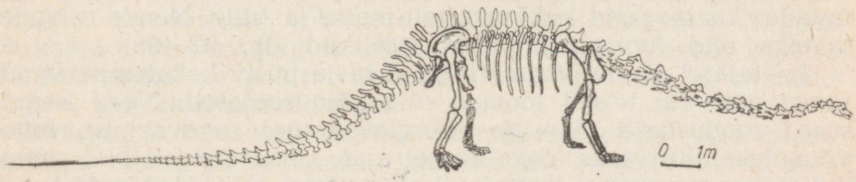
Katteseemnetaimede lopsakas arenemine oli üheaegselt seotud putukate-tolmeldajate kõrgemate vormide — liblikate, kimalaste, mesilaste, kärbeste jt. arenemisega.

Okaspuud ning eostaimed katteseemnetaimede levikuga täielikult ei kadunud. Nad arenesid divergentselt edasi, moodustades uusi liike. Okaspuude seas oli palju mände, jugapuid, sekvoiasid, ilmus kuusk. Eostaimedest esinesid väikesemõõtmelised osjad, kollad, sõnajalad.

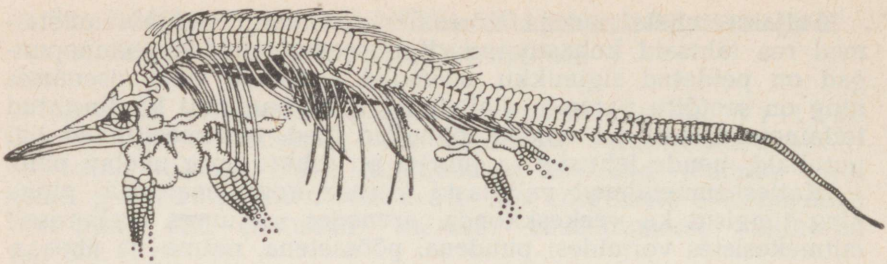
**Hiiglasuured roomajad.** Loomariigi arenemise kõige iseloomulikumaks jooneks mesosoikumis oli hiiglasuurte roomajate hämmastav õitseaeg ja sellele järgnev nende väga kiire väljasuremine. Juura ajastul saavutasid need loomad suure liigilise mitmekesisuse, kuid nende organisatsiooni tase ei tõusnud (idioadaptatsioonid).

Mesosoikumi maismaa-roomajatest olid kõige tähelepanuväärsemaiks ammu välja surnud liha- ja taimtoidulised hiidsisalikud — dinosaurused (tõlkes «kohutavad sisalikud»). Joonisel 54 on kujutatud ühe hiidsisaliku — diplodookuse luustik.

Mesosoikumi meredes elas suurel hulgal rööveluviisiga kalasisalikke — ihtüosauruseid (joon. 55) ja krokodille. Õhus lendlesid tiibsisalikud, ühed varblasesuurused, teistel aga tiibade — teisendunud eesjäsemete siruulatus 7—8 m. Arvatakse, et




JOON. 54. Diplodookuse skelett.



JOON. 55. Ihtüosauruse emaslooma skelett; kõhuõõnes on näha loote skelett.

hiiglasuured rohusööjad roomajad toitusid peamiselt paljasseemnetaimedest.

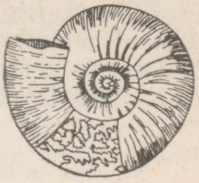
Nii nagu paljasseemnetaimed, nii surid ka hiiglasuured roomajad mesosoikumi teisel poolel väga kiiresti välja. Nende ootamatu kadumise põhjusi ei ole veel lõplikult välja selgitatud. Võimalik, et selle põhjustas kliima jahenemine, mis järgnes uute mäeahelikkude üleskerkimisele ja niiskete tuulte tee sulgemisele sisemaale, maapinna kerkimisest tingitud mere taganemine, mis viis taimtoiduliste roomajate toiduks olnud taimkatte hävimisele rannikuäärsetel madalikkudel jne.

Evolutsioonilisest seisukohast lähtudes kujutasid hiiglasuured roomajad endast umbset haru loomariigi arenemisteel: neist ei arenenud välja ühtki uut vormi. Oma kitsa spetsialiseerituse tõttu ei kannatanud nad välja konkurentsi vähem spetsialiseerunud, kuid edasisteks aromorfoosideks võimeliste roomajatega — imetajate ja lindude esivanematega.

**Esimesed imetajad.** Triiase ajastu ürgsete roomajate seas esines väikesemõõtmelisi vorme, kelle ehituses tekkisid ja arenesid välja edasise progressi seisukohalt erakordselt tähtsad iseärasused. Niisugusteks iseärasusteks olid vivipaarsus (elavate poegade sünnitamine), poegade toitmine emapiimaga, püsiv kehatemperatuur, hammaste diferentseerumine, koonu tekkimine kolju eesosa ahenemise teel. Kõik need kohastumuslikud muutused olid tähtsateks aromorfoosideks imetajate klassi tekkimisel.

Esimesed imetajad olid väikesed ja primitiivse ehitusega, meenutades kaasaegseid kukkurrotte, -mutte ja -siile. Nende esivanemateks olid loomahambulised sisalikud (lk. 92—93).

Imetajatel oli neljakambriline süda ja püsiv kehatemperatuur, samal ajal kui teised loomad olid kõigusoojased. Need iseärasused soodustasid aine- ja energiavahetuse tugevnemist, luues võimaluse aktiivseks eluks ka sel ajal, kui roomajad olid sunnitud jääma talveunne. Imetajatel oli ka teisi eeliseid. Nende loode arenes emaüsas, pärast sündimist toideti teda emapiimaga; nende



JOON. 56. Ammoniit — peajalgne limus tasapinnaliselt spiraali keerdunud lubikojaga; lubikoja pikkus mõnest sentimeetrist meetrini.

järeltulijaid hävis enne täiskasvanuks saamist märksa vähem kui seda esines teiste loomade juures; lisaks püsivale kehatemperatuurile kaitses neid külma eest ka karvkate.

Kaasaegsetel ainupilulistel — nokkloomal ja sipelgasiilil — on säilinud mõningaid jooni, mis lähendavad neid roomajatele.

**Esimesed linnud.** Mesosoikumi juura ajastul tekkisid hammastega linnud. Meenutage roomajate ja lindude tunnuseid ühel hammastega varustatud lindudest — arheopterüksil (lk. 79).

Arvatakse, et hammastega lindude esivanemaiks oli rühm paleosoikumi lõpul ja mesosoikumi algul elanud sisalikke, kes liikusid edasi tagajäsemetel kõndides ning olid kaetud soomustega. Oletatakse, et sellest sisalikurühmast sai alguse rühm ronivaid sisalikke, kellel soomused olid moondunud sulgedeks. Sulgkatte ja lennuks vajalike kohastumuste arenemine koos närvi- ja vereringesüsteemide organisatsiooni tõusuga olidki selleks suureks aromorfoosseks muutuseks, mis viis lindude tekkimisele.

Mesosoikumi lõpul ilmusid esimesed tõelised linnud. Püsiv kehatemperatuur ja neljakambriline süda kindlustasid aine- ja energiavahetuse intensiivse arenemise, instinkt hoolitseda oma järeltulijate eest suurendas ellujäämust; vähenes lindude, nagu imetajategi sõltuvus ümbritseva keskkonna temperatuurist.

Tiibsisalikud tõrjuti lindude poolt välja, sest viimastel oli rida tähtsaid eeliseid: tiivad olid kaetud sulgedega ning nende liikumapanemiseks olid olemas tugevad lihased, luud olid peened ja väga kerged, sest nad olid täidetud õhuga.

Loomade, eriti lindude ja imetajate arenemiseks vajalik söödabaas oli katteseemnetaimedega juba loodud.

Mesosoikumi meredes elutsesid mitmesugused limuste ja okasnahksete liigid, kuigi paljud neist surid mesosoikumi lõpuks välja. Hämmastava arengu osaliseks said juurjalgsed, kelle lubikodadest moodustusid tohutu ulatusega kriidilademed. Ürgsed kõhrkalad olid järk-järgult välja tõrjutud juba devoni ajastul tekkinud luukalade poolt: viimased ujusid kiiremini ja haarasid lõugade abil aktiivsemalt saaki.

Divergentsi tulemusel liigiline mitmekesisus iga suure süstemaatilise rühma piires kasvas lakkamatult. Näiteks ulatus peajalgsete limuste — ammoniitide (joon. 56) — perekondade arv mesosoikumi lõpuks 900-ni, samal ajal kui selle aegkonna alguses oli neid vaid 400 ümber.

Mõned liigid surid välja, asendudes uutega. Ja alati olid just vähem spetsialiseerunud rühmade esindajad nendeks vormideks, mis oma organisatsiooni suurema plastilisuse tõttu osutusid võimelisteks edasisteks aromorfoosideks.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Mille poolest erinevad üksteisest paljasseemnetaimede, sammalde ja sõnajalgade paljunemisviisid? Miks oli paljasseemnetaimede viljastumisviis suureks aromorfoosiks? 2. Missugused aromorfoosid tingisid katteseemnetaimede tekkimise? 3. Missugustele idioadaptatsioonidele tuleb juhtida tähelepanu eri liiki katteseemnetaimede tekkimise protsessil? 4. Kuidas tekkisid esimesed imetajad? Linnud? Kes olid imetajate, kes lindude esivanemateks? 5. Jälgige geokronoloogilise tabeli järgi muutusi orgaanilises maailmas mesosoikumi eri ajastutel.

## 21. ORGAANILINE MAAILM KAINOSOIKUMIS

**Katteseemnetaimede valitsemine.** Kainosoikum on kestnud umbes 60—70 miljonit aastat. Tema esimene ajastu — paleogeen — kestis umbes 41 miljonit aastat, teine — neogeen — 24—24,5 miljonit aastat, ja kolmas — antropogeen — on kestnud 1,5—2 miljonit aastat ning jätkub praegugi. Selle aegkonna vältel on kontinendid ja sügavad mered välja kujunenud nende kaasaegsel kujul.

Paleogeenis asustasid katteseemnetaimed mandrid, mäed ja kõrbed ning haarasid enda alla ka mageveekogud. Soe kliima soodustas troopilise taimestiku arenemist. Igihaljad metsad kasvasid isegi kaugel põhjas. Teravmägedelt on leitud pöökpuu, pärna ja sooküpressi jäänuseid, Gröönimaalt — sekvoia jäänuseid. Laialt on levinud subtroopiline floora.

Paleogeeni teisel poolel algasid tormilised mäetekkeprotsessid. Seal, kus enne olid laiunud soojad mered, kerkisid nüüd Kaukasuse, Krimmi, Alpi, Karpaadi, Pürenee, Apenniini ja Himaalaja mäestikud. Kõrged mäeahelikud lahutasid meie maa troopilistest ja subtroopilistest aladest. Saabuva jahenemisega, kui jõed hakkasid talviti kinni külmuma, sattusid eelistatud olukorda suvehaljad taimed: vaher, pärn, lepp, pappel, tamm jt. Igihaljad metsad asendusid enamasti suvehaljastest puudest koosnevate metsadega. Siberi, Mongoolia ja Põhja-Ameerika tohututel avarustel hakkasid laiuma rohtlad, mis olid kõrvale tõrjunud metsad. Erinevates kohalikes tingimustes toimus vormide kiire idioadaptatsioon.

Neogeeni lõpul ja antropogeeni algul pühkisid Skandinaavia mägedelt allalaskunud jääliustikud oma teel maapinnalt ära kogu elava. Liustike jalameil suutsid alles jääda ainult kääbustaimed, millest sai alguse arktiline floora.

Ainult NSV Liidu mäemassiivide mõnes eraldatud nurgakeses — Kaukaasia Musta mere rannikul, Krimmi lõunarannikul, Talõšis, Kaspia mere kallastel ja Ussuuri krais — säilisid otsekui troopilise ja subtroopilise taimestiku looduskaitsealad. Mägede jalameil, kuhu jääliustikud ei küündinud, võisid säilida ainult külma suhtes kõige vastupidavamad okas- ning lehtpuuliigid. Viimased moodustasidki floora põhituumiku meie maal pärast jää ärasulamist.

Antropogeenis toimub kaasaegse taimeriigi lõplik väljakujunemine.

**Selgrootute arenemine.** Laia leviku osaliseks limustest said kõhtjalgsed ja karbid. Nende õitseaeg jätkub ka praegu: koda oli suurepäraseks kaitseks teiste organismide vastu. Massiliselt hakkasid arenema lülijalgsed loomad, eriti putukad. Putukaliikide mitmekesisus (liikide arv umbes 800 000—1 000 000) annab tunnistust nende laiast levikust Maal mitmesugustes keskkondades ning nende valitsevast seisundist selgrootute seas.

Putukate klassi arenemises toimus rida suuri aromorfoose. Eriti tähtsat osa etendas trahheesüsteemi, samuti närimissuiste väljaarenemine. Trahheesüsteem tõstis järsult hapendusprotsesside aktiivsust putuka kehas, tagades koos tiibade arenemisega mitte ainult putukate väljumise maismaale (lk. 91), vaid ka nende laia leviku. Närimissuised kui laia tähtsusega kohastumus tegid võimalikuks putukate toitumise niihästi pehmetest kui ka tiheda konsistentsiga taimsetest ja loomsetest kudedest. Teistest aromorfoosidest võib nimetada hästi liigendunud jäsemeid, tugevat kitiinkesta ja kesknärvisüsteemi, keeruliste haistmis- ja kompimisreflekside väljakujunemist, aga samuti võimet rohkearvuliste tingitud reflekside kujunemiseks.

Tungides erinevatesse keskkondadesse, omandasid putukad hulgaliselt üksikkohastumusi — idioadaptatsioone, mis soodustasid teatud konkreetse elukeskkonna paremat hõivamist. (Tooge selle kohta näiteid.)

**Lindude ja imetajate valitsemisaeg.** Linnud ja imetajad hõivasid valitseva positsiooni loomariigis. Püsiv kehatemperatuur võimaldas neil ellu jääda jääaja tingimustes ning tungida edasi külma kliimaga maadesse. Mõlema rühma edukale arenemisele aitas kaasa asjaolu, et kumbki neist hõivas põhiliselt omaette keskkonna: imetajad — maismaa, linnud aga — õhu; veekeskkonnas tegutsesid linnud ja imetajad üheskoos.

Loomade evolutsioonil kaladest lindude ja imetajateni toimus kesknärvisüsteemi, eriti peaaju ehituse pidev tüsistumine ning tema funktsioonide intensiivsuse järjekindel tõus. Aju ehituse muutumine keerulisemaks oli lahutamatult seotud kõrgema närvitalitluse ning tingitud reflekside süsteemi arenemisega, loomade käitumise üha suurema tüsistumisega nende kohastumisel eluks teatud kindlates, teravalt piiritletud välistingimustes (näiteks

**Geokronoloogiline tabel***

| Aegkonnad | | Ajastud ja nende kestus miljonites aastates | Looma- ja taimeriik |
|---|---|---|---|
| Kestus miljonites aastates | Vanus miljonites aastates | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Kainosoikum (uusaegkond) 60—70 | 60—70 | Antropogeen 1,5—2 | Inimese ilmumine ja arenemine. Looma- ja taimeriik omandavad kaasaegse ilme |
| | | Neogeen 24 | Imetajate ja lindude ülemvõim. Sabaga leemurite, pikakannaliste, hiljem — parapiteekuste ja drüopiteekuste ilmumine. Putukate tormiline arenemine. |
| | | Paleogeen 41 | Jätkub suurte roomajate väljasuremine. Paljud peajalgsete limuste rühmad kaovad. Katteseemnetaimede ülemvõim |
| Mesosoikum (keskaegkond) 173 | 240±10 | Kriit 70 | Kõrgemate imetajate ja tõeliste lindude ilmumine, kuigi ka hammastega linnud on veel levinud. Luukalade domineerimine. Sõnajalg- ja paljasseemnetaimede arvukuse järsk vähenemine. Katteseemnetaimede ilmumine ja levimine |
| | | Juura 58 | Roomajate ülemvõim. Ürglinnu ilmumine. Peajalgsete limuste õitseaeg. Paljasseemnetaimede ülemvõim |
| | | Triias 45 | Roomajate õitseaja algus. Esimeste imetajate ilmumine. Paljasseemnetaimede intensiivne arenemine |
| Paleosoikum (vanaaegkond) 330 | arvatavasti 570 | Perm 45 | Roomajate kiire arenemine. Loomahambuliste roomajate tekkimine. Trilobiitide väljasuremine. Karboni ajastu metsade kadumine. Floora koostises rohkesti paljasseemnetaimi |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| | | Karbon 55—75 | Kahepaiksete õitseaeg. Esimeste roomajate tekkimine. Lendavate putukate, ämblikkude, skorpionide ilmumine. Trilobiitide arvukuse märgatav vähenemine.<br>Sõnajalgtaimede õitseaeg. Seemnesõnajalgade ilmumine |
| | | Devon 50—70 | Kilpkalade õitseaeg. Vihtuimsete kalade ilmumine. Stegokefaalide ilmumine. Esimesed luukalad.<br>Kõrgemate eostaimede levimine maismaal |
| | | Silur 30 | Korallide, käsijalgsete, trilobiitide lopsakas arenemine. Lõuatute selgroogsete — kilpkalade ilmumine.<br>Taimede väljumine maismaale — psilofüüdid. Sinivetikate arvukuse vähenemine, rohevetikate arvukuse suurenemine meredes |
| | | Ordoviitsium 60<br>Kambrium 70 | Mere-selgrootute õitseaeg; trilobiitide ja vetikate ulatuslik levimine |
| Proterosoikum (aguaegkond) 2000 | 2600±100 | | Orgaanilisi jäänuseid harva ja suhteliselt vähe, kuid nende seas selgrootute kõikide hõimkondade esindajad.<br>Koljutute alamhõimkonda kuuluvate esmaste keelikloomade ilmumine |
| Arhaikum (ürgaegkond) 900 | arvatavasti 3500 | | Elu jälgi praktiliselt ei ole. Orgaanilise päritoluga kivimid viitavad bakterite, üherakuliste (ka paljurakuliste) rohevetikate eksisteerimisele. |

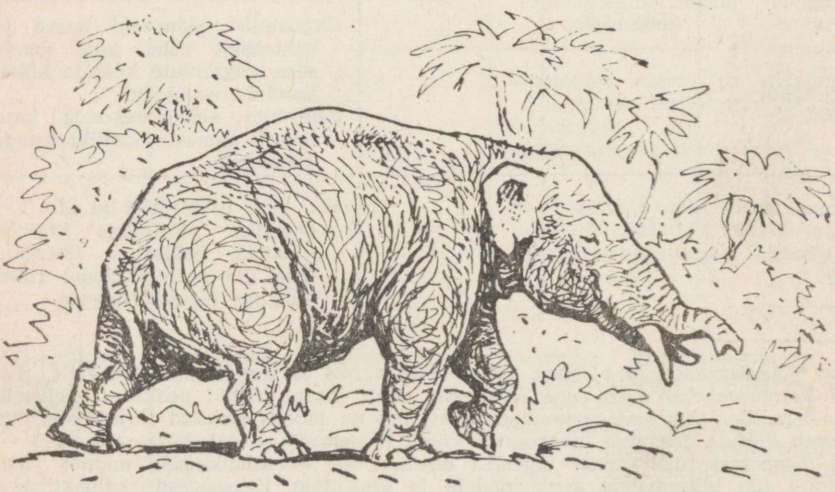
* Aegkondade ja ajastute kestus ning vanus on antud vastavalt 1964. aastal Rahvusvahelise Geoloogia Kongressi poolt vastu võetud geokronoloogilisele skaalale. Geoloogilised aegkonnad ja ajastud on tabelis esitatud järjestuses, mis vastab kihtide asetusele maakoores: kõige hilisemad — ülal, kõige vanemad — all. Seepärast tuleb tabeli lugemist alustada alt — arhaikumist, minnes järkjärgult üle hilisematele aegkondadele ja ajastutele. Kaasaegsed radioaktiivsed meetodid võimaldavad arhaikumi ja proterosoikumi vanuse kindlaks määrata täpsusega ±50—100 miljonit aastat.

eluks metsas, stepis, kõrbes jne.). See andis neile eelised olelusvõitlusest võitjana väljatulemiseks kõige erinevamates elukeskkondades.

Samasuguse iseloomuga oli ka selgroogsete vereringe evolutsioon kaladest imetajateni. Südame ehituse muutumine keerulisemaks tagas lindude ja imetajate elundite üha parema varustamise suure hulga hapnikurikka verega. Seetõttu hakkas nende aine- ja energiavahetus ning kogu elutegevus kulgema märksa intensiivsemalt kui teistel selgroogsetel. See soodustas eripalgeliste suhete kujunemist keskkonnaga, kesknärvisüsteemi ja meeleelundite arenemist.

Kõige kõrgemini arenenud selgroogseteks on imetajad. Hämmastava kiirusega tekkisid neil kohastumused eluks mitmesuguste elukeskkondade kõige erinevamates tingimustes — idioadaptatsioonid. Imetajate arenemise suur kiirus ei seletu ainult sellega, et nende esivanemad ei olnud kitsalt spetsialiseerunud organismid ning paistsid silma suure plastilisuse poolest, vaid on tingitud ka kainosoikumi looduslike tingimuste tohutust mitmekesisusest.

Seoses õistaimede lopsaka arenemisega said imetajad uue ja oma koostiselt väga mitmekesise söödabaasi. Sellest ajast peale algabki imetajate tormiline arenemine. Õistaimed etendasid suurt osa ka lindude ja putukate arenemises. Loomad omakorda avaldasid erakordselt tähtsat mõju õistaimede arenemisele. Piisab, kui meenutada taimede mitmesuguseid kohastumusi viljade ja seemnete levitamiseks lindude ja imetajate abil.



JOON. 57. Mastodon.

Imetajate seast eraldusid rühmad, kellest said alguse kaasaegsed närilised, putuktoidulised, käsitiivalised, vaalalised, sõralised, kiskjalised, primaadid jt. Kõige suuremateks imetajateks olid mõõkhambuline tiiger, viie meetri kõrgune sarvetu ninasarvik, aga ka mastodon (joon. 57) ja dinoteerium, kaasaegsete elevantide sugulased. Jääajal elasid Maal pika tiheda karvaga kaetud mammutid, koopakarud ja koopalõvid.

**Primaatide ja inimese ilmumine.** Paleogeeni ja neogeeni metsades elasid väikesed sabaga leemurid ja pikakannalised. Ligikaudu kolmkümmend miljonit aastat tagasi ilmusid metsadesse parapiteekused (*para* — kõrval, juures; *pitekos* — ahv, kr. k.), umbes kassisuurused loomad, kes elasid puudel ja toitusid taimedest ning putukatest. Nende hambad ja lõualuud olid samasuguse ehitusega nagu inimahvidelgi.

Parapiteekusest põlvnevad kaasaegsed gibonid ja orangutangid ning veel üks haru — väljasurnud ürgahvid drüopiteekused (puuahvid). Viimased andsid kolm haru, mis viisid šimpansi, gorilla ja inimese tekkimisele.

Antropogeenis omandab loomariik kaasaegse näo, ilmub inimene, kes aegamööda hõivab looduses valitseva koha.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Millega seletada katteseemnetaimede valitsevat seisundit kainosoikumi taimeriigis? 2. Millega seletada imetajate valitsevat seisundit kainosoikumi loomariigis? 3. Missugustele aromorfoosidele tuleb juhtida tähelepanu putukate klassi arenemisel? 4. Jälgige geokronoloogilise tabeli järgi orgaanilise maailma arenemist alates elu algetappidest kuni antropogeenini.

5. PEATÜKK

## INIMESE PÕLVNEMINE

Küsimus inimese põlvnemisest on inimesi alati elavalt huvitanud. Erinevatel kultuuri ja ühiskondliku arenemise astmetel on inimkond sellele andnud erinevad vastused. Muistsetes legendides esimeste inimeste tekkimise kohta peegeldusid tolle aja looduslikud ja sotsiaal-majanduslikud tingimused. Soojade lõunamaade elanike muistendite järgi tekkis inimene niiskest mullast päikesesoojuse toimel; ühed põhjarahvad on oma esivanemateks pidanud põtra, karu; need aga, kelle eksisteerimise lätteks oli kalapüük, arvasid, et inimsugu on oma alguse saanud kalast.

Religiooni ilmumise ja levikuga tekkis õpetus inimese loomisest jumala poolt ja sellest, et inimene koosneb kahest algest — kehast ja hingest. Maa peal on inimene ainult ajutiseks külaliseks ja seepärast peab ta endas arendama kannatlikkust, vagurust,

ükskõiksust maiste rõõmude vastu tulevase hauataguse elu nimel. Ei ole raske näha, kellele selline moraal on kasulik: see on suunatud sotsiaalse ebavõrdsuse õigustamisele ja klassiteadlikkuse nüristamisele.

Teaduse arenemisega hakkas kogunema fakte sarnasuse kohta inimese ja loomade ehituses. XVII sajandi algul saabus maadeuurijatelt esimene teade inimahvide ning nende sarnasuse kohta inimesega. C. Linné otsis oma loomariigi süsteemis kaua kohta inimese paigutamiseks ning asetas ta lõpuks primaatide rühma, ühte poolahvide ja ahvidega. Juba üksnes inimese sarnasus loomadega, veel enam aga nende lähedus zooloogilises süsteemis viisid mõttele, et inimene ja loomad võivad olla ka ühise päritoluga. J. B. Lamarck oli esimene, kes kirjutas, et inimene põlvneb ahvitaolistest eelkäijatest, kes puude otsas ronimiselt olid üle läinud kõndimisele maapinnal. Uus edasiliikumise moodus viis aja jooksul selleni, et nende keha omandas püstise asendi, käed vabanesid käimisefunktsioonist ning jalapöid muutus sobivaks kahel jalal kõndimiseks. Karjaviisiline elulaad soodustas kõne arenemist.

Pärast Ch. Darwini raamatu «Liikide tekkimine» ilmumist 1859. aastal hakkasid mõned teadlased-evolutsionistid Lääne-Euroopas ja Venemaal õpetust orgaanilise maailma evolutsioonist laiendama ka inimesele. See kutsus esile raevukaid kallaletunge evolutsiooniprintsiibi vaenlaste ja religioosselt häälestatud inimeste poolt. 1871. aastal ilmus trükist Ch. Darwini teos «Inimese põlvnemine», milles veenvalt on tõestatud, et inimene kujutab endast viimast, kõrgeltorganiseeritud lüli elusolendite arenemise ahelas ning et tal on inimahvidega ühised kauged esivanemad.

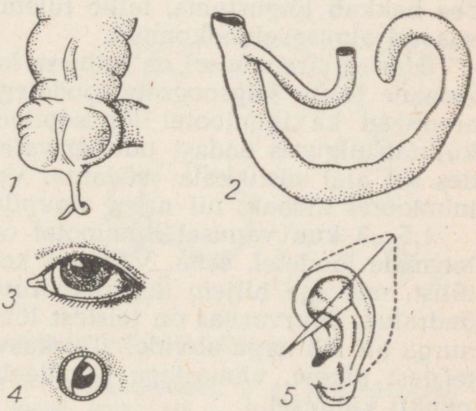
Inimese evolutsiooni liikumapanevaks jõuks pidas Darwin looduslikku valikut, mis arendas välja vertikaalse kõnnaku ning vabastas käed. Darwin oli arvamusel, et suurt tähtsust inimese evolutsioonil etendas meie esivanemate närvisüsteemi kõrge arenemisaste, nende ühiskondlik elulaad ning töö. Kuid Darwin ei suutnud välja selgitada, milline nendest faktoritest etendas juhtivat osa ahvi kujunemisel inimeseks, ahvikarja muutumisel inimühiskonnaks.

Selle probleemi lahendas F. Engels oma teoses «Töö osa ahvi kujunemisel inimeseks». Teos ilmus trükist 1896. aastal, oli aga valmis kirjutatud märksa varem — varsti pärast seda, kui oli ilmunud Ch. Darwini raamat «Inimese põlvnemine». Engelsi teose ilmumise ajal oli teadusel veel suhteliselt vähe andmeid inimese fossiilsete esivanemate kohta. Hiljem andsid ürginimese luujäänuste ning tööriistade rohkearvulised leiud hiilgava kinnituse Engelsi teooria õigsusele.

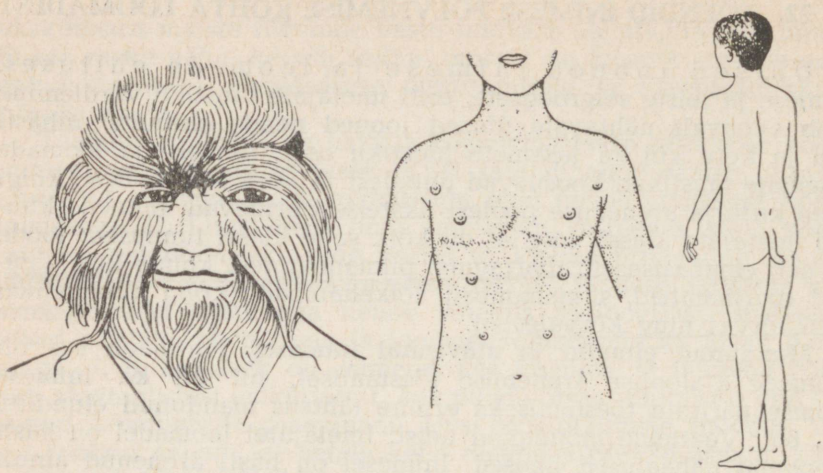
## 22. TÕENDID INIMESE PÕLVNEMISE KOHTA LOOMADEST

Ühised jooned inimese ja loomade ehituses. Inimese ja teiste selgroogsete, eriti imetajate luustike võrdlemine toob veenvalt nähtavale ühised jooned nende ehituses niihästi pea ja kere kui ka jäsemete luustiku osas. Inimese ja loomade jäsemete luustikud koosnevad ühtedest ja samadest luudest, kuigi need kuju ja arenemise poolest üksteisest erinevad. Inimene kuulub imetajate klassi, sest tal on kõik selle klassi tunnused: loode areneb emakasiseselt, diafragma, piimanäärmed, kolme liiki hambad (purihambad, silmahambad, lõikehambad), kolm kuulmeluud keskkõrvas ning kõrvalestad.

**Mandunud elundid ja atavismid inimesel.** Nii nagu see oli loomade ajaloolise arenemise tõestamisel, nii on ka inimese loomse päritolu tõestamiseks eriline tähtsus mandunud elunditel (lk. 66). Vaatleme mõningaid neist. Imetajatel loomadel on hästi arenenud nahaalused lihased. Inimesel on hästi arenenud ainult näo nahaalune muskulatuur, kaelal aga on nahaalune lihas säilinud mandununa. Inimese kõrvalihaste seas on selliseid, mis talle pole vajalikud, küll aga etendavad märgatavat osa loomade juures kõrvade pööramisel helide suunas. Inimese nahk on kaetud lühikeste hõredate karvadega — see on kõik, mis on järele jäänud meie ahvitaoliste esivanemate tihedast karvkattest. Mandunud sabaluude jäänusteks inimese luustikus on neljast (harvem viiest) alaarenenud ja omavahel kokkukasvanud selgroolülist koosnev õndraluu. Inimesele tarbetuks on muutunud pimesoole ussripik, mis paljude imetajate juures etendab tähtsat osa toidu seedimisel. Peaaegu mitte mingisugust osa ei etenda inimese juures enam tagapurihambad (nn. tarkusehambad), mis sageli on alaarenenud või koguni puuduvad. Silma sisenurgas on inimesel mandunud kujul säilinud kolmas laug e. pilkkile; lin-




JOON. 58. Inimese mandunud elundid. Pimesool ussripikuga: 1 — inimesel; 2 — kabjalisel. Kolmas silmalaug ehk pilkkile: 3 — inimesel; 4 — linnul. Kõrvalest: 5 — inimesel; punktiiriga — ahvil.



JOON. 59. Atavism inimesel. Karvane inimene. Paljunisasus inimesel. Sabaga poiss.

dudel, roomajatel ja mõnedel teistel loomadel (kaladel, kahepaiksetel) on see hästi arenenud. Vaadelge neid mandunud elundeid joonisel 58. Ühtekokku on inimesel üle üheksakümne mandunud elundi.

Esineb juhtumeid, kus inimesed sünnivad atavismidega. Nii teatakse inimesi, kes on sündinud sabaga või kaetuna tiheda karvkattega. Esineb inimesi, kellel on rohkem kui kaks rinnanibu (joon. 59).

Kõiki neid fakte võib seletada üksnes inimese põlvnemisega loomadest.

**Sarnasus inimese ja loomade loote arenemises.** Nagu kõigil loomadel, nii algab ka inimese arenemine viljastatud munarakust. See hakkab lõigustuma, mille tulemusel moodustuvad koed ning saavad alguse elundkonnad.

Edasisel arenemisel on inimese loode paljude tunnuste poolest sarnane teiste selgroogsete loodetega. Nii nagu kalaloodetel, nii arenevad ka inimlootel lõpusepilud (joon. 60). Inimloote süda kujutab alguses endast pulseerivate seintega torukest, meenutades sel ajal süstikkala «südant». Varases arenemisstaadiumis on inimlootel kloaak, nii nagu ainupilulistel loomadelgi.

1,5—3 kuu vanusel inimlootel on nagu teistelgi selgroogsete loomade loodetel, saba. Viimane koosneb kuni kümnest selgroolülist, mis aga hiljem degenereeruvad, jättes endast järele vaid õndraluu. Suurvarvas on teistest lühem ja asetunud nende suhtes nurga all, nii nagu ahvidel. Täiskasvanud inimesel on suurvarvas teistest pikem, viimastega paralleelne ja kujutab endast toetuspunkti käimisel.

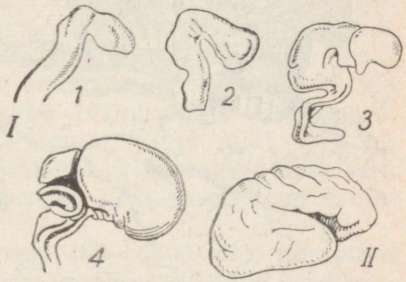
Ühekuise inimloote peaaju koosneb viiest üksikosast — lineaarselt üksteise järele asetunud ajupõiekestest, meenutades ehituselt silmu peaaju. Aegamisi lähenevad suured poolkerad teistele osadele ning neile ilmuvad aju pinda suurendavad kurrud ja käärud (joon. 61). Kuid ka seitsmekuisel lootel meenutab peaaju veel paaviani oma. Eriti sarnased on omavahel ahvi ja inimese looted. Arenemise algstaadiumidel on neid peaaegu võimatu eristada.

**Inimene ja inimahvid.** Inimahvid — orangutangid, gorillad, šimpansid ning neile lähedased gibonid (joon. 62) seisavad kehaehituse ja füsioloogiliste iseärasuste poolest inimesele lähemal kui teised loomad. Orangutangid ja gibonid elavad Kagu-Aasias, gorillad ja šimpansid — Lääne-Aafrika troopilistes piirkondades.

Inimahvid meenutavad välimuselt üsna tugevasti inimest: nad väljendavad mitmesuguseid emotsioone, nagu rõõmu, raevu, kurbust, hellitavad õrnalt oma poegi, hoolitsevad nende eest, karistavad sõnakuulmatuse pärast. Neil on hea mälu, hästi arenenud kõrgem närvitalitlus.

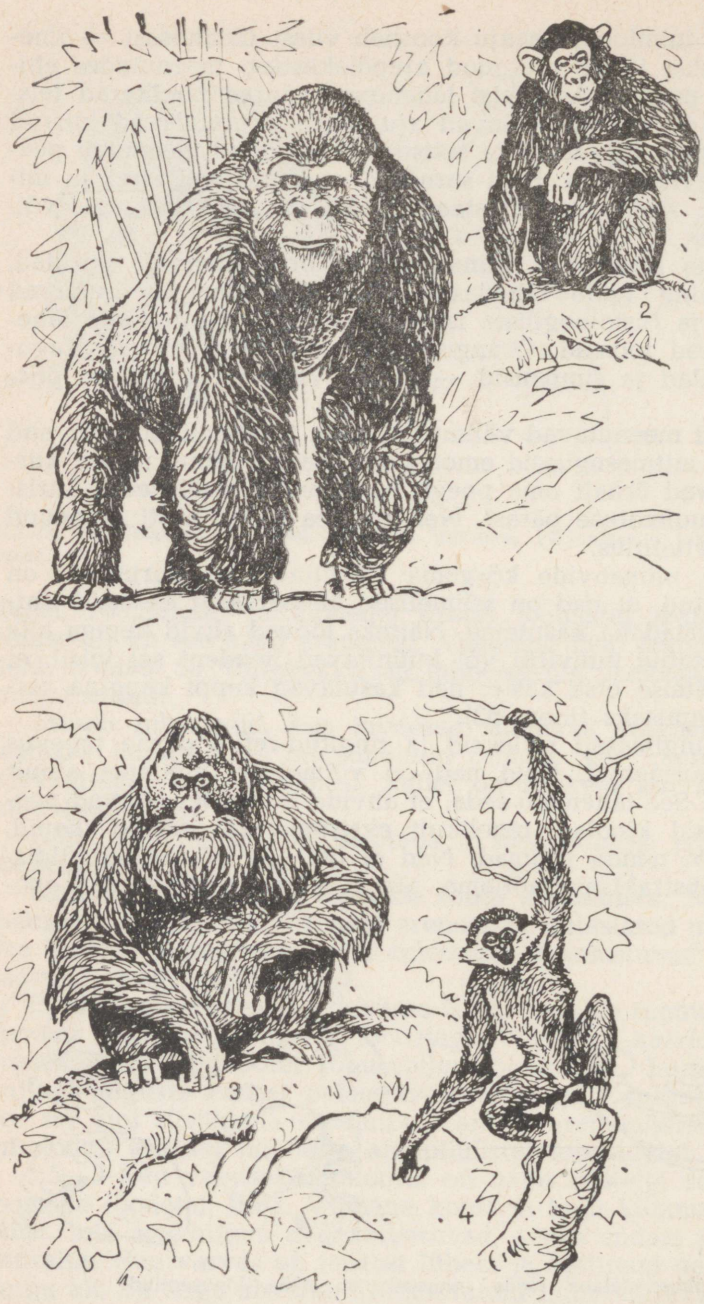
Katsetega inimahvide kõrgema närvitalitluse uurimisel on kindlaks tehtud, et nad on võimelised käepäraseid esemeid lihtsamate tööriistadena kasutama. Näiteks löövad ahvid kepiga alla kõrgele riputatud puuvilju või küünitavad nendeni sel viisil, et asetavad üksteise otsa kaste; nad kasutavad keppi kangina raskuste kergitamiseks (joon. 63).

Ahvide tingimatud refleksid ja tingitud-reflektoorne tegevus on kõrgelt arenenud. Kuid nad on võimelised mõtlema ainult konkreetselt. See tähendab seda, et ahvide teadvuses leiavad peegeldamist vaid kindlad, tegelikult eksisteerivad esemed (kepid, apelsinid) või nende rühmad. Nad ei ole aga võimelised üldistama ning abstraktselt mõtlema, ainult esemete mõistetega opereerides.




JOON. 60. Kolmenädalane loode inimesel; on näha lõpusepilud.

JOON. 61. Inimloote peaaju — I: 1 — kolmenädalasel; 2 — neljanädalasel; 3 — viienädalasel; 4 — kolmekuisel lootel. Imiku aju — II.




JOON. 62. Inimahvid: 1 — gorilla; 2 — šimpans; 3 — orangutang; 4 — gibon.

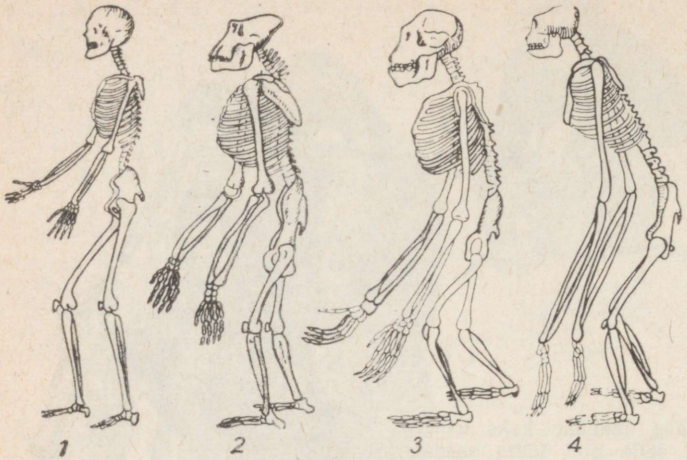
JOON. 63. Šimpans ühendab kaks bambuskeppi, et siis selle abil kätte saada puuri lakke riputatud banaani.

Inimahvidel ei ole saba; nad võivad käia tagajäsemetel, kuid toetuvad seejuures kätele. Nagu inimesel, nii on ka neil varvastel ja sõrmedel küüned, mitte küünised; neil on 12—13 paari roideid, 5—6 ristluulüli, lõikehammaste, silmahammaste ja purihammaste arv on niisamasugune kui inimesel.

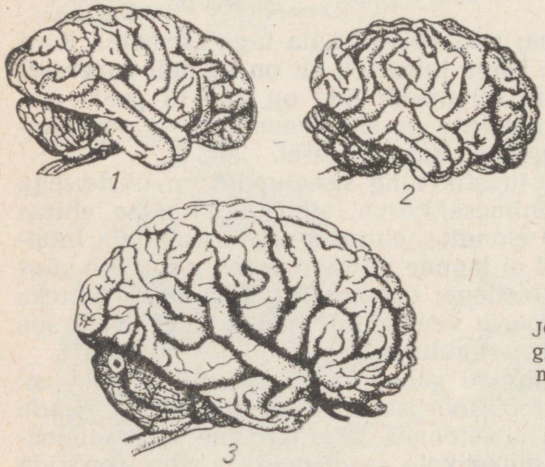
Inimahvide ja inimese luustik ning siseelundid on üksteisega hämmastavalt sarnased. Inimese kõrva, silmade ja naha ehitus on väga sarnane nende elundite ehitusega inimahvidel. Inimahvide punased verelibled ei lagune inimese veres, nagu see sünnib alamate ahvide verelibledega; on ühiseid parasiite — näiteks täi parasiteerib peale inimeste veel ainult inimahvidel. Kõik see tõestab nende vaieldamatut sugulust.

Kuid inimese ja inimahvide vahel on ka tohutuid erinevusi. Inimese elu aluseks on töö, tööriistade valmistamine ja nende kasutamine. Inimene elab ühiskonnas ja allub selle arenemisseadustele, s. t. sotsiaal-majanduslikele seadustele. Inimesel on rida ainult talle omaseid anatoomilisi ja füsioloogilisi iseärasusi. Ainult inimene on suuteline käima sirgelt kahel jalal ja kogu tema keha on kohastunud püstikäimiseks. Näidake joonisel 64, milles seisnevad inimese ja ahvi luustiku sarnasused ning erinevused.

Inimese peaaju ruumala on umbes 1400—1600 $cm^3$, inimahvil aga — 600 $cm^3$. Inimese peaaju suurte poolkerade pind on keskmiselt 1250 $cm^2$, inimahvil on see umbes 3,5 korda väiksem. Inimese peaajul on tugevasti arenenud kurrud ja käärud; eriti arenenud on lauba- ja oimusagarad (joon. 65), kus asuvad peamised kõrgema vaimse tegevuse keskused.




JOON. 64. Skeletid: 1 — inimesel; 2 — gorillal; 3 — orangutangil; 4 — gibonil.




JOON. 65. Aju: 1 — orangutangil; 2 — šimpansil; 3 — inimesel.

Artikuleeritud kõne valdamine andis inimesele parimad võimalused liigikaaslastega suhtlemiseks, elu- ja töökogemuste talletamiseks ning nende edasiandmiseks järeltulevatele põlvkondadele. Inimene on võimeline abstraktselt mõtlema, teadust ja kunsti arendama.

Tähtis on märkida, et kõik need morfoloogilised erinevused on loodetel ja varajases lapseeas väljendunud vähem teravalt kui täiskasvanud inimesel ja inimahvidel.

Iga inimahviliik on inimesele ühtede tunnuste poolest lähedasem, teiste poolest aga kaugem kui teised inimahvid. Nii näiteks

on gorilla inimesele teistest lähedasem oma üldiste kehaproportsioonide, käelaba, jalapöia ja vaagna ehituse ning mõnede teiste iseärasuste poolest. Šimpans, rohkem kui gorilla, sarnaneb inimesega oma kolju ehituse ja jäsemete mõõtmete poolest. Orangutangil on nii nagu inimeselgi 12 paari roideid. Gibon sarnaneb inimesega tasandunud kujuga kolju ehituse, lameda rinnakorvi ja mõnede teiste tunnuste poolest. Nagu sellest näha, ei ole võimalik öelda, milline neist inimahvidest seisab inimesele lähemal kui teised. Ükski neist ei ole inimese otsene esivanem.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Missugused teaduslikud andmed tõestavad inimese põlvnemist loomadest? 2. Missuguseid tõendeid inimese põlvnemise kohta loomadest pidas Darwin kõige tähtsamateks? Mispärast? 3. Näidake, milles seisneb sarnasus inimese ja inimahvide vahel. 4. Näidake, mille poolest erineb inimese ehitus inimahvide ehitusest. 5. Milles seisneb inimese ja inimahvide kõrgema närvitalitluse erinevus? Kuidas seda erinevust seletada?

## 23. TÖÖ OSA AHVI KUJUNEMISEL INIMESEKS

**Töö lõi inimese.** Inimese keha on suurepäraselt kohastunud tööks, samuti püstikäimiseks. Kuid ühtlasi torkab silma, et ka püstine kõnnak ise on erakordselt hästi kohastunud tööoperatsioonide läbiviimiseks. Inimene on ühiskonna liige ja allub ühiskonna arenemise seadustele. Inimühiskonna iseloomulikuks tunnuseks on tema liikmete töö. Kõik inimkonna materiaalse ja vaimse kultuuri saavutused kujutavad endast paljude ja paljude põlvkondade töö tulemust.

Kui loomad loodust ja tema ande ainult kasutavad, siis inimene muudab loodust töö abil. Tööriistade valmistamine ja nende kasutamine ning inimühiskonnas väljakujunenud tootmissuhted — need kokku moodustavad täiesti uue faktori, mida ei saa olla loomade keskel.

Töö algab tööriistade valmistamisest. Engelsi sõnade järgi «töö on igasuguse inimelu esimene põhitingimus ja sealjuures niisugusel määral, et me teatavas mõttes peame ütlema, et ta on loonud inimese enese».

**Esimene samm ahvist inimese poole.** Kõige vanemate ürginimeste e. ahvinimeste esivanemateks olid juba paleogeenis elanud kõrgelt arenenud inimahvid. Viimased elasid puu otsas, olid koondunud karjadesse ning toitusid viljadest, lehtedest, putukatest ja väikestest lindudest. Edasi liikusid nad puude oksi mööda ronides, kasutades selleks nii ees- kui ka tagajäsemeid.

Kliima jahenemisel metsade hulk maakera põhja- ja lõunalaiustel vähenes ning nad muutusid hõredamaks. Ekvatoriaalvöötmes aga, vastupidi, sademete hulk suurenes ja metsataimestiku

lopsakas arenemine jätkus. Siin säilisid inimahvid kuni meie ajani, kusjuures nende kohastumused džunglieluks loodusliku valiku toimel pidevalt täiustusid.

Hoopis teistsuguseks kujunes ahvide arenemine Aafrika põhja- ja lõunalaiustel. Metsade kadumisel ei suutnud loomad kohastuda eluga lagedal maapinnal, nad hakkasid järk-järgult hääbuma ja surid lõpuks välja. Vaid vähestel neist õnnestus kohastuda uute tingimustega ning üle minna elule lahtisel maastikul. Seal tuli neil pidada halastamatut olelusvõitlust teiste loomadega, kes neile aladele juba varem olid elama asunud. Ühtedel neist loomadest olid võimsad kihvad ja teravad küünised, teised jooksid kiiresti, kolmandad paistsid silma oma tugeva jõu poolest. Ahvidel neid omadusi ei olnud, kuid see-eest oli nende aju maht keha üldmõõtmetega võrreldes märgatavalt suurem kui teistel loomadel. Juba siis, kui ahvid veel elasid puu otsas, paistsid nad silma oma hästiarenenud võime poolest orienteeruda ümbritsevates tingimustes. Neil oli suurepärane kuulmine ning tänu ettepoole nihutatud ja lähedalasetsevatele silmadele — ruumiline e. stereoskoopiline nägemine. Puu otsas elades kujunes ahvidel käte ja jalgade vahel välja funktsioonide jaotus, mis on säilinud ka kaasaegsetel inimahvidel, näiteks šimpansil. Ühelt puult teisele edasiliikumisel kasutasid ahvid käsi teisiti kui jalgu; keha raskus toetus peamiselt jalgadele, käte abil aga haarasid ja hoidsid nad kinni okstest. Kätega haarati ka esemeid ning ehitati endale pesa.

Orienteeritud tegevuse kõrge arenemisaste ning funktsioonide jaotumine ees- ja tagajäsemete vahel olid olulisteks eeldusteks, mis tagasid ahvide edasise morfo-füsioloogilise progressi nende üleminekul uude keskkonda — kauge ja avara horisondiga lahtisele metsatule maastikule. Neis tingimustes muutus püstikäimine aja jooksul bioloogiliselt täiesti hädavajalikuks. Maapinnale elama asunud inimahvide organisatsioonis toimus rida suuri muutusi. Eriti tähtis neist oli püstise kõnnaku tekkimine. Vertikaalne asend viis paljudele muutustele ahvide kehaehituses. Suurenesid kehakaal ja -mõõtmed, selgroog omandas S-kujulise kõveruse ja muutus seetõttu nõtkemaks; tekkis võlvja kujuga vetruv jalapõid; vaagen laienes, ristluu muutus tugevamaks; lõuaaparaat muutus vähem massiivseks jne.

Püstikäimine ei kujunenud välja ühekorraga. See oli üsnagi pikaajaline protsess, mis oletatavasti kestis miljoneid aastaid.

Tähelepanuväärseks muutuseks oli ka käe vabanemine käimise funktsioonist. Otsustavaks sammuks ahvi kujunemisel inimeseks oli aga F. Engelsi ja varem ka juba Ch. Darwini arvamuse kohaselt üleminek püstikäimisele.

Nende muutuste tekkimist ei ole võimalik seletada üksnes loodusliku valikuga. On ju kõik püstikäivad ahvid aegade jooksul välja surnud ning püsima jäänud on neist ainult see haru,

mis viis inimese kujunemisele. Mitte ühelgi kaasaegsetest inimahvidest ei ole püstikäimine peamine maapinnal edasiliikumise viis.

Meie ahvitaoliste esivanemate juures toimunud muutused ei olnud lihtsalt bioloogilisteks aromorfoosideks, nagu see oli teiste loomade juures. Nendele muundustele allus ainult see inimahvide haru, mis viis inimese kujunemisele. Järelikult on selle haru poolt läbi tehtud muutusi õigem nimetada antropomorfoosideks, sest neid esile kutsunud faktorid olid spetsiifilised ainult inimese evolutsioonile.

Millised siis olid need tegurid, mis viisid antropomorfooside tekkimisele?

F. Engels märkis, et tegurid, mis tingisid ahvi kujunemise inimeseks, olid ühiskondliku elulaadi arenemine, käe muutumine tööriistu tootvaks organiks ning artikuleeritud kõne tekkimine.

**Käsi — töö organ ja produkt.** Püstikäimise tõttu vabanesid meie ahvitaoliste esivanemate käed vajadusest toetada keha maapinnal edasiliikumisel ning omandasid võime sooritada ringliigutusi. Tekkis võimalus hakata vaenlaste tõrjumiseks loopima kive ja oksi, rebida puuokstelt vilju, välja kaevata taimede maa-aluseid söödavaid osi, kasutada tööriistu. Kõik see andis inimese ahvitaolistele esivanematele hulgaliselt eeliseid teiste loomade ees, muutes nad viimaste jaoks hirmuäratavateks olenditeks. Käest sai täiesti ainulaadne kaitse ja rünnaku organ, mis mitmesuguste esemete vahendusel toimis efektiivselt ka suurema vahemaa tagant.

Inimese kujunemisele viinud protsessi alguses oli käsi alles nõrgalt arenenud ja võis sooritada vaid kõige lihtsamaid toiminguid. Isendid, kelle ülajäsemete juures ilmnes kaitse ja ründe seisukohalt kasulikke, aga samuti tööoperatsioonide sooritamist soodustavaid muutusi, sattusid eelistatud olukorda ning nad osutusid loodusliku valiku protsessis, mis ikka veel omas suurt tähtsust, teistest elujõulisemateks. Kuid kulus veel sadu tuhandeid aastaid, enne kui ahvi käsi muutus inimese käeks. Seda silmas pidades F. Engels kirjutaski, et käsi ei ole mitte ainult töö organ, vaid ka töö produkt.

Erinevus inimese ja inimahvi käe vahel on tohutu suur: mitte ükski ahv ei suuda oma käega valmistada ka kõige primitiivsemat kivinuga. Kulus väga palju aega, enne kui meie ahvitaolised esivanemad suutsid neid ümbritsenud loodusliku keskkonna esemete kui tööriistade kasutamiselt üle minna nende valmistamisele.

**Ühiskondliku elulaadi arenemine meie ahvitaoliste esivanemate juures.** Töö sai alguse kõige lihtsamate kivist väljatahutud noa- või kirvetaoliste riistade valmistamisest. Kuna aga ahvid elasid karjadena, siis oli töö oma iseloomult kohe algusest peale ühiskondlik. F. Engels märkis, et oleks väär otsida ini-

mese — selle looduses kõige ühiskondlikuma olendi esivanemaid mitteühiskondliku eluviisiga loomade seast.

Inimese ahvitaoliste esivanemate kari arenes inimühiskonnaks erilise faktori toimel. Selleks faktoriks oli töö, mis tihedalt oli seotud käe muutumisega töö organiks.

Töö soodustas ühiskonna liikmete liitumist. Ühiskonna vanemad liikmed õpetasid nooremaid otsima sobivaid looduslikke materjale ja neist tööriistu valmistama, samuti õpetasid nad neile jahipidamise ja tule alalhoidmise võtteid. Kollektiivselt kaitsti end metsloomade vastu, kollektiivselt käidi ka jahil ja kasvatati lapsi. Mida rohkem arenes edasi tööprotsess, seda selgemaks sai üksteise vastastikuse toetamise ja abistamise kasulikkus.

Looduse tunnetamisega seotud ning vanematelt järglastele põlvest põlve edasiantavad elukogemused muutusid aegamööda üha täiuslikemaks. Ühiskondlik eluviis pakkus avaraid võimalusi üksikisendite omavaheliseks suhtlemiseks helide, žestide ja miimika abil.

**Artikuleeritud kõne tekkimine.** Ühiskondliku töö tingimustes tekkis eluline vajadus kõneorgani järele. Ahvide vähearenenud kõri ja suuaparaat tegid läbi rea muutusi, mille tulemusel arenes välja võime artikuleeritud kõneks. Tekkis teine signaalsüsteem, mille all I. Pavlov mõistis sõnu ja nende kasutamist signaalidena. Teine signaalsüsteem on spetsiifiline, ainult inimesele omane signaalsüsteem, mis peegeldab kvalitatiivset erinevust inimese ja loomade kõrgema närvitalitluse vahel.

Sõnade kasutamine võimaldab eemalduda reaalselt eksisteerivatest esemetest ning hakata opereerima abstraktsete mõistetega, sõnad teevad võimalikuks nähtuste üldistamise. Teiste sõnadega, sõna on see, tänu millele üldse on võimalik inimese kõrgem mõtlemine. Sõna on kõige tähtsam inimestevahelise suhtlemise, vanemate põlvkondade kogemuste edasiandmise ja inimese kasvatamise vahend.

Kõne tekkimine tugevdas meie esivanemate omavahelist suhtlemist ühises tööprotsessis ning aitas omakorda kaasa ka ühiskondlike suhete arenemisele. Seega toimus meie esivanemate evolutsioon üheaegselt nii sotsiaalsete kui ka bioloogiliste tegurite toimel. Kuid looduslik valik minetas aegamööda oma juhtiva tähtsuse inimese evolutsioonis.

**Mitmekülgse toidu ja tule tähtsus.** Maapinnal leidsid meie esivanemad palju mitmekesisemat taimtoitu võrreldes sellega, millest neil tuli toituda elamisel puu otsas. Arheoloogide poolt leitud ürgsed jahipidamis- ja kalapüügiriistad annavad tunnistust sellest, et meie esivanemad hakkasid juba varajastel arengustaadiumidel kasutama lihatoitu. Hiljem järgnenud loomade kodustamine kindlustas juba pidevad toiduainete varud ning andis ka uue tähtsa toiduaine — piima.

Töödeldud ja tulel valmistatud ning seeläbi pehmendatud toit vähendas mälumisaparaadi koormust. Kiiruluu hari, millele ahvidel kinnituvad võimsad mälumislihased, muutus kasutuks ja aegamööda kadus. Kolju muutus siledaks. Ülemineku tõttu taimtoidult segatoidule sooltoru lühenes.

Tule kasutamine aitas meie esivanematel end kaitsta külma eest, peletada eemale metsloomi, aga samuti asustada uusi alasid maakeral. Kõik see tagas meie esivanematele eelistatud seisundi looduses.

**Sotsiaalsete seaduspärasuste tekkimine.** Arheoloogilised väljakaevamised näitavad, et juba esimesed, veel kujunemisstaadiumis olnud inimesed olid ühiskondliku eluviisiga. Kollektiivne jahilkäimine, kaitse organiseerimine metsloomade vastu, eriti aga üheskoos läbiviidud tööoperatsioonid lähendasid inimesi üksteisele. Üha keerulisemaks muutuvad tööprotsessid, uued operatsioonid ja materjalid tööriistade ja tarbeesemete valmistamiseks, häälikuline signalisatsioon, žestid ja miimika — kõik see aitas kaasa peaaju ja meeleelundite arenemisele.

Peaaju, mõtlemise ja teadvuse arenemine stimuleerisid omakorda töö ja kõne täiustumist. Tööalaste kogemuste edasiandmine sugupõlvest sugupõlve muutus üha kergemaks ja täielikumaks. Ainult ühiskond sai olla selleks kohaks, kus võisid välja areneda inimesele omased kõrgema mõtlemise vormid.

Nii alustasid inimese ahvitaolised esivanemad, tänu tööle, erilist teed oma edasises arengus — inimese arenemisteed. Arenemine sellel teel toimus uute seaduste — K. Marxi ja F. Engelsi poolt avastatud inimühiskonna seaduste alusel. Inimeste vahel arenesid välja uued — sotsiaalsed suhted; nende töö muutus mitmekesisemaks.

Inimesed ei tegelnud enam mitte ainult taimede korjamise, jahipidamise ja kalapüügiga, vaid ka maaharimise ja loomakasvatusega. Tekkisid tarbeesemete valmistamisega seotud tööharud: ketramine, kangakudumine, pottsepatöö, metallide töötlemine jne. Hakkasid arenema kaubandus, kunst, religioon, teadus. Suguharudest moodustusid rahvused ja riigid.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Jutustage tegureist, mis põhjustasid ahvi kujunemise inimeseks. 2. Kas kaasaegsest inimahvist võib kujuneda inimene? 3. Kuidas te saate aru F. Engelsi sõnadest: «Seega on käsi ka töö produkt ja mitte üksnes töö organ»?

## 24. PALEONTOLOOGILISED TÕENDID INIMESE PÕLVNEMISE KOHTA

**Inimese ja inimahvide ühised esivanemad.** Esimeste väikeste imetajate — putuktoiduliste (lk. 102) hulgast eraldus mesosoikumis rühm loomi, kellel ei olnud ei teravaid hambaid ega küüniseid, ei tiibu ega kapju. Nad elasid nii maapinnal kui ka puude otsas, toitudes viljadest ja putukatest. Sellest rühmast saidki alguse harud, mis viisid poolahvide, ahvide ja inimese tekkimisele.

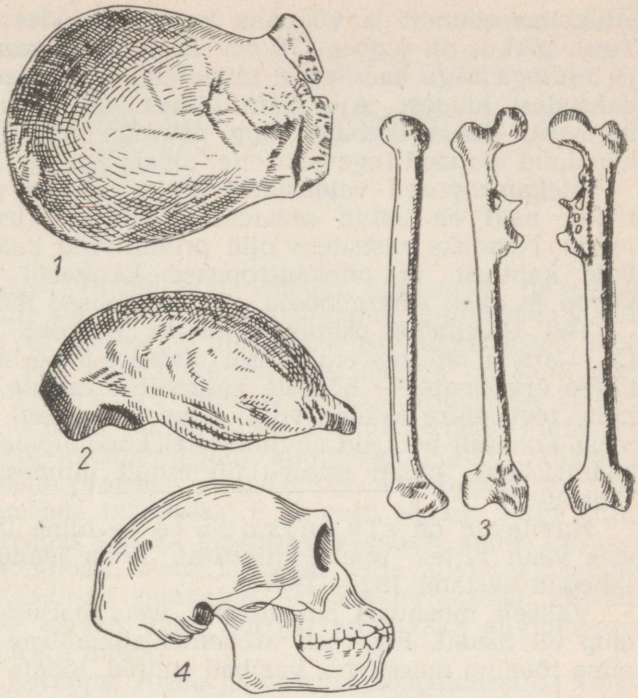
Kõige ürgsemaks kõrgematest ahvidest, kellest on alguse saanud inimese esivanemad, peetakse parapiteekusi. Need ürgsed, vähespetsialiseerunud eluviisiga ahvid divergeerusid kahte harru: üks viis kaasaegsete gibonite ja orangutangide, teine väljasurnud puuahvide — drüopiteekuste tekkimisele. Drüopiteekused omakorda divergeerusid edasi kolmes suunas: üks haru viis šimpansi, teine gorilla ja kolmas inimese tekkimisele. Inimene ja inimahvid on omavahel kõige lähemas suguluses, kuid nad kujutavad endast ühisest sugupuust lähtunud erinevaid harusid.

Teadlased arvavad, et inimkonna häll asus kusagil Kirde-Aafrikat, Lõuna-Aasiat ja Kagu-Euroopat hõlmaval maa-alal; sealt levisid inimesed aegamööda laiali üle kogu meie planeedi.

Millised siis olid need lähtevormid, millest said alguse kõige vanemad ürginimesed? Kuni käesoleva ajani ei ole niisuguseid vorme veel leitud, kuid teatud ettekujutuse neist annab rühm hästiuuritud Lõuna-Aafrika päritoluga fossiilseid ahve — australopiteekuseid (*australis* — lõunapoolne, lõuna-; lad. k.). See rühm elas Maal üheaegselt kõige vanemate ürginimestega, mistõttu neid ei saa lugeda inimeste otsesteks eelkäijateks.

Australopiteekused elasid kaljudega kaetud metsatul lauskmaal. Nad kõndisid kahel jalal, hoides end käimise ajal veidi ettepoole kummargile, tundsid lihatoitu; nende kolju maht oli umbes 650 $cm^3$ (tahvel VI).

Käesoleva sajandi kuuekümnendate aastate alguses tegi huvitava avastuse inglise teadlane Louis Leakey, kes Olduvai mäekurus Tanganjika põhjaosas (Ida-Aafrika) sattus mingi väljasurnud inimahvi koljukildude ning kämbla-, pöia-, sääre- ja rangluude leiule. Fossiilsed olendid, kellele need luud kuulusid, olid oma kämbla ja jalapöia ehituse poolest inimesele mõnevõrra lähedasemad kui australopiteekused, kuid nende aju maht oli väike ega ületanud 650 $cm^3$. Samast leiti veel teritunud kujuga veerkive ning kive, millest jäi mulje, nagu oleks neid kunstlikult töödeldud. Enamik nõukogude antropolooge on arvamusel, et neid olendeid tuleb samuti pidada australopiteekusteks. Morfoloogiliselt erinesid australopiteekused inimahvidest väga vähe. Peamine erinevus seisnes selles, et neil olid olemas esimesed teadvuse sugemed, mis ilmselt olid tekkinud seoses nende kohastumisega




JOON. 66. Pitekantropus. Koljukaas: 1 — pealtvaates; 2 — külgvaates; 3 — reieluud; 4 — restaureeritud kolju.

kasutada looduslikke esemeid tööriistadena. Viimane asjaolu valmistas ette üleminekut tööriistade valmistamisele.

Oletatakse, et kõige vanemate ürginimeste esivanemaks oli aafrika australopiteekustele lähedane liik kahel jalal kõndivaid inimahve, kellel päriliku muutlikkuse alusel kujunes loodusliku valiku protsessis välja võime sageli ja mitmesugusel viisil kasutada keppe, kive ja luid tööriistadena.

Inimese kujunemise protsessis tuleb eristada kolme staadiumi või faasi: 1) vanimad ürginimesed e. ahvinimesed; 2) ürginimesed ja 3) esimesed kaasaegsed inimesed.

**Ahvinimesed.** Üleminek fossiilsetelt inimahvidelt inimesele toimus üle terve rea vahepealsete tunnustega olendite — a h v i n i m e s t e, kes ühendasid endas jooni nii ahvidest kui ka inimesest. Arvatakse, et ahvinimesed ilmusid Maale antropogeeni alguses, s. t. umbes miljon aastat tagasi.

P i t e k a n t r o p u s tähendab tõlkes «ahvinimene» (joon. 66). Tema jäänuseid leiti esmakordselt hollandi arsti Dubois' poolt Jaava saarelt 1891. aastal. Pitekantropus käis kahel jalal, kergelt

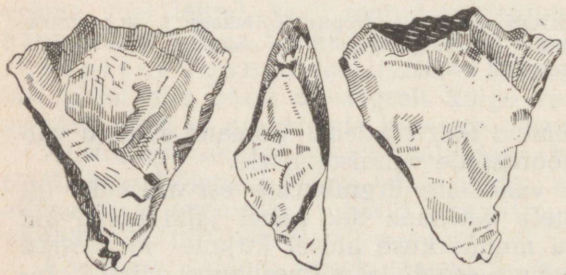
ettekummardunult ja võimalik ka, et toetudes seejuures nuiale. Tema pikkus oli umbes 170 cm; kolju oli niisamasuguse pikkuse ja laiusega nagu kaasaegsel inimeselgi, kuid madalam ja koosnes paksudest luudest. Aju maht ulatus 900 $cm^3$-ni. Koljukaas oli tugevasti libaja laubaga ning paksude silmaüliste mõigastega. Lõualuud ulatusid tugevasti ette, lõuats puudus.

Pitekantropused valmistasid kivist esimesi primitiivseid tööriistu; neid on leitud samadest kihtidest, kust pitekantropuse luidki. Nendeks riistadeks olid primitiivsed kaabitsad ja peitlid. Pole kahtlust, et pitekantropused kasutasid tööriistadena ka keppe ja oksi. Ahvinimesed olid võimelised mõtlema.

Töö tekkimine osutus võimsaks tõukeks aju arenemisele. Ch. Darwin omistas erakordset tähtsust meie eelkäijate — isegi kõige ürgsemate — kõrgele vaimsele arengule. Mõistuse arenemine tegi suure sammu edasi kõne tekkimisel. F. Engelsi arvamuse kohaselt tekkisid ahvinimestel kõne algmed artikuleerimata häälitsustena, millel esialgu oli ainult mitmesuguste signaalide tähendus.

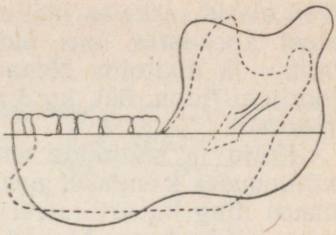
Huvitavad on s i n a n t r o p u s e — hiina inimese leiud, kes elas veidi hiljem pitekantropusest. Tema jäänused leiti Pekingi lähedalt aastatel 1927—1937.

Väliselt meenutas sinantropus üsna paljuski pitekantropust: laup oli madal, tugevasti arenenud silmaüliste mõigastega, alumine lõualuu massiivne, hambad suured, lõuats puudus.



JOON. 67. Sinantropuse kivist tööriist. Vaade eest, küljelt ja tagant.

Kuid sinantropused olid märksa rohkem arenenud kui pitekantropused. Nende aju maht oli 850—1220 $cm^3$; aju vasakpoolne osa, kus paiknevad parema kehapoole liikumiskeskused, oli mõnevõrra suurem aju parempoolsest osast. Järelikult oli sinantropustel parem käsi juba tugevamini arenenud kui vasak käsi. Sinantropused oskasid saada tuld ning seda alal hoida, nad riietusid arvatavasti loomanahkadesse. Väljakaevamistel leiti nende asukohast paks tuhakiht, söestunud oksi, kohmakaid kivist tööriistu ja palju mitmesugustele loomadele kuulunud toruluid, põletamise ja töötlemise jälgedega põdrasarvi, palju suurte loomade koljusid. Tööriistad tehti kivist, luust, sarvest (joon. 67).

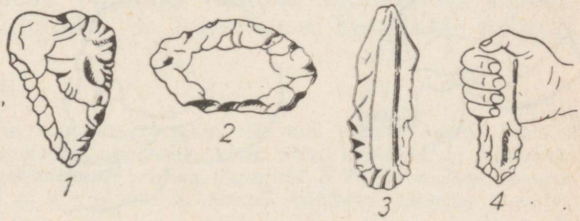


JOON. 68. Heidelbergi inimese alalõualuu. Võrdluseks on punktiiriga tähistatud kaasaegse inimese alalõualuu.

1907. aastal leiti Heidelbergi lähedal Saksamaal (praeguse SFV territooriumil) väga massiivne alalõualuu, millel lõuats küll puudus, kuid mis oli varustatud niisamasuguste hammastega nagu inimeselgi (joon. 68). Olend, kellele see lõualuu oli kuulunud, sai nimeks *heidelbergi* inimene. Pitekantropust ja sinantropust peetakse kaheks ahvinimeste alamperekonda (inimeste perekonna esimene alamperekond) kuuluvaks liigiks. Mõlemad liigid esindavad selle protsessi algstaadiumi, mis lõppkokkuvõttes viis ahvi kujunemisele inimeseks. F. Engelsi sõnade järgi kujutasid nii pitekantropus kui ka sinantropus endast «alles kujunemisjärgus olnud» inimesi. Neist arenesid välja inimesekssaamise protsessi teise staadiumi esindajad — neandertallased. Heidelbergi inimest aga loevad ühed uurijad kuuluvaks ahvinimeste, teised — ürginimeste hulka.

**Ürginimesed.** Euroopa, Aasia ja Aafrika koopaladestike kõige alumistest kihtidest on leitud hulgaliselt täiskasvanud ja lapseeas *neandertallaste* luid (Neanderi jõeoru järgi Saksamaal, kus 1856. aastal esmakordselt leiti seda tüüpi inimeste jäänuseid; praeguse SFV territooriumil). NSV Liidus on neandertallaste jäänuseid leitud Usbekistani lõunaosas ja Krimmi poolsaarel. Esimesed neandertallaste asundused kuuluvad ajajärku 400—550 tuhat aastat tagasi.

Neandertallased olid meist väiksema kasvuga, rässakad (mehed keskmiselt 155—158 cm pikad), kõndisid veidi küürutõmbunud asendis. Laup oli ikka veel madal, veidi libajas; kulmukaar oli tugevasti välja arenenud, alalõualuul lõuats puudus või oli ainult nõrgalt arenenud. Aju lähenes mahult inimese omale — umbes 1400 $cm^3$, kuid ajukäärusid oli vähem. Selgroo kõverus nimmepiirkonnas oli väiksem kui kaasaegsel inimesel.




JOON. 69. Ürginimese primitiivsed kivist tööriistad: 1 — teravaotsaline kivi; 2 — kaabits; 3 — peitel; 4 — kivipeitli kasutamisviis.

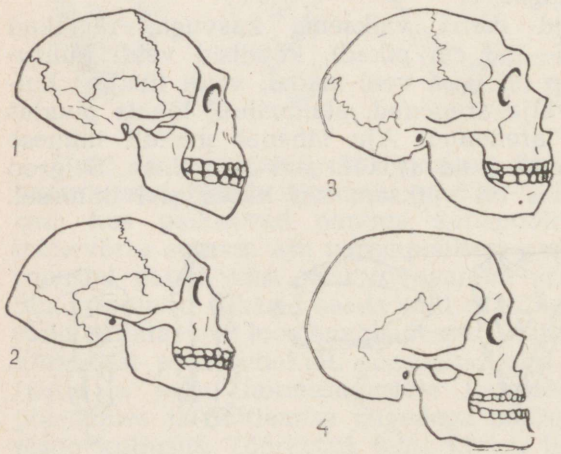
Nad elasid rasketes jääliustike pealetungi tingimustes, leides ulualust koobastes, kus pidevalt hoiti lõõmamas tuld. Nad sõid taime- ja lihatoitu. Neandertallased oskasid teha kivist ja luust tööriistu (joon. 69), kuid peale selle oli neil arvatavasti ka puust tööriistu.

Kolju ja näoluude ehituse järgi oletatakse, et omavahelises suhtlemises kasutasid neandertallased žeste, artikuleerimata häälitsusi ning ka artikuleeritud kõnet. Nad elasid rühmiti, 50—100 inimest üheskoos. Mehed pidasid jahti metsloomadele; naised ja lapsed korjasid söödavaid juuri ja vilju; vanemad ja kogenumad valmistasid tööriistu. Neandertallased riietusid loomanahkadesse ja kasutasid tuld. Neandertallasi loetakse ürginimeste alamperekonda (inimeste perekonna teine alamperekond) kuuluvateks liikideks. Nad olid esimeste kaasaegsete inimeste — kromanjoonlaste — esivanemateks.

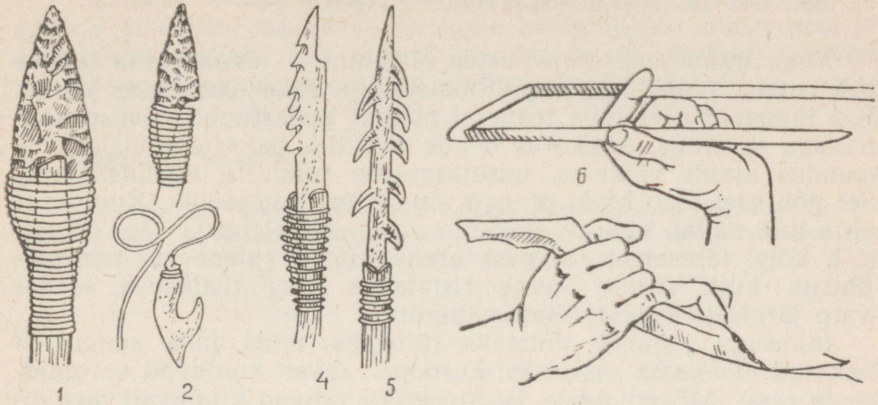
**Esimesed kaasaegsed inimesed.** On teada suur hulk luustike, koljude ja tööriistade leide, mis pärinevad esimestelt kaasaegsetelt inimestelt — k r o m a n j o o n l a s t e l t (esimese leiukoha nime järgi Crô-Magnoni lähedal Lõuna-Prantsusmaal). Viimased elasid meie planeedil 100—150 tuhat aastat tagasi. Kromanjoonlaste jäänuseid on leitud ka NSV Liidus (lõuna pool Voroneži, Doni paremal kaldal).

Kromanjoonlased olid kuni 180 cm pikad, nende laup oli kõrge ja sirge, kolju maht ulatus kuni 1600 $cm^3$-ni; silmaüline kulmukaar puudus. Hästiarenenud lõuats viitas artikuleeritud kõne kõrgele tasemele (joon. 70).

Kromanjoonlased elasid muldonnides, täismaalitud seintega koobastes. Tööriistad olid tehtud sarvest, luust ja ränikivist, nende valik oli suur ning nad oli kaunistatud nikerdustega.




JOON. 70. Fossiilsete inimeste koljud: 1 — pitekantropus; 2 — sinantropus; 3 — neandertallane; 4 — kromanjoonlane.




JOON. 71. Kromanjoonlase tööriistad: 1 — puust käepidemega otsik; 2 — luust konks; 3 — kivist otsik; 4 ja 5 — sarvest harpuunid; 6 — odaviskeriist.

Maalingud nende elamute seintel kujutasid jahiepisoode, rituaalseid tantse, inimesi ja jumalaid. Joonised olid tehtud ookri ja teiste muldvärvidega või olid lihtsalt sisse kraabitud. Kromanjoonlased riietusid loomanahkadest õmmeldud rõivastesse, mille kokkuõmblemiseks kasutati luu- ja räninõelu. Tööriistade ja tarbeesemete valmistamise ja töötlemise tehnika oli palju täiuslikum kui neandertallastel. Inimene oskas juba lihvida, puurida, tundis pottsepatööd (joon. 71). Ta kodustas loomi ja astus esimesi samme maaharimise alal. Kromanjoonlased elasid sugukondadena (tahvel VI).

Kromanjoonlased ja kaasaegsed inimesed moodustavad liigi *Homo sapiens* — mõistusega inimene, kes kuulub inimeste perekonna kolmandasse — inimeste alamperekonda.

Niiviisi muutusid meie esivanemad keeruliseks ja pikaajalises protsessis kaasaegseteks inimesteks. Juhtivaiks ja määravaiks said sotsiaalsed faktorid ja seadused. Selles seisnebki inimese evolutsiooni kvalitatiivne omapära, võrreldes loomade evolutsiooniga.

Pärilik muutlikkus ja looduslik valik toimivad inimestele ka praegu, kuid arenevate teadmiste ja sotsiaalsete ümberkorralduste alusel on inimene õppinud juhtima bioloogilisi seaduspärasusi, vältima kahjulikke ja tugevdama kasulikke nähtusi.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Tõestage, et inimese sugupuu kinnitab töö kui juhtiva teguri tähtsust tema põlvnemisel. 2. Miks kaotas looduslik valik ahvi kujunemisel inimeseks järk-järgult oma tähtsuse evolutsiooni juhtiva tegurina? 3. Mille poolest erinesid ürginimesed ahvinimestest? 4. Milles seisnes kromanjoonlaste erinevus neandertallastest?

## 25. INIMRASSIDE PÄRITOLU ÜHTSUS

Kogu inimkonna arenemistee oli ühine — evolutsioon toimus töö kaudu, ühiskonna organisatsiooni ja selle arenemise kaudu. Kui inimesed olid juba teataval määral kohastunud püstise kõnnakuga ja tööga, aeglustus nende füüsilise palge evolutsioon ja taandus ainult väikeste, teisejärguliste tunnuste evolutsioonile. Sel põhjusel elab Maal praegu ainult üks inimeseliik. Kuuluvust ühte liiki näitab kõikide inimeste peaaju, jalalaba ja käe ehituse, s. t. kõigi tähtsamate inimese arenemisteest tulenevate tunnuste ühtsus, kuid samuti kerge ristatavus ning ristlustest saadavate järglaste sigimisvõime säilimine.

Inimsugu jaguneb mitmeks rühmaks, mida juba ammu on hakatud nimetama rassideks. Euroopa rahvad kuuluvad europiidsesse rassi. Mõned Aasia ja Ameerika rahvad kuuluvad mongoliidsesse rassi (mongolid, burjaadid, hiinlased jt.). Enamik Aafrika rahvaid moodustab negriidse rassi. Kõik rassid seisavad ühel ja samal bioloogilisel tasemel. Erinevused nende vahel seisnevad naha, juuste ja silmade värvuses ja mõningates teistes iseärasustes. Need erinevused on kunagi tekkinud erinevates looduslikes tingimustes elanud inimrühmade juures. Näiteks tume nahapigmentatsioon võis olla kujunenud organismi kohastumusena kaitseks eredate päikesekiirte vastu Aafrika maades. Sotsiaalsete suhete arenemisega inimrasside eraldatus ja nendevahelised morfoloogilised erinevused segaabielude tagajärjel vähenevad.

Kodanlikes maades on levinud niinimetatud «rassiteooria». Selle olemus seisneb väites, et inimrassid ei ole omavahel võrdsed: ühed on «kõrgemad», teised — «alamad». Rassistid väidavad, et mõnede rahvaste majandusliku ja kultuurilise mahajäämuse põhjuseks on nende «rassibioloogiline mittetäisväärtuslikkus».

Rassistid ei tunnusta rasside ühtset päritolu. Nende arvamuse järgi on europiidne rass põlvnenud neandertallasest, mongoliidne rass — sinantropusest, negriidne rass aga saanud alguse australopiteekusest; seejuures on hästi teada, et neandertallased olid levinud kogu Vanas Maailmas.

Väärteooria rasside jagunemisest «kõrgemateks» ja «alamateks» on suunatud imperialistlike sõdade, koloniaalpoliitika ja rassilise diskrimineerimise õigustamisele. Saksa fašistid arvasid, et ainult sakslased kuuluvad «kõrgemasse» rassi, kõik ülejäänud rahvad aga «alamatesse», mittetäisväärtuslikesse rassidesse.

Mitte rassilised erinevused, vaid imperialistlike maade koloniaalpoliitika ning ühtede rahvaste rõhumine teiste poolt on põhjuseks, miks mõned rahvad on majanduslikult ja kultuuriliselt maha jäänud. Parimaks tõendiks selle kohta on kõikide rahvuste (neid on üle saja) majanduslik ja kultuuriline õitseng NSV Liidus pärast Suurt Sotsialistlikku Oktoobrirevolutsiooni.

Viimastel aastatel asetleidnud paljude Aasia, Aafrika ja Ladina-Ameerika maade vabanemine koloniaalsest sõltuvusest ja rõhumisest näitab, kui kiiresti nende maade rahvad lähevad edasi tsivilisatsiooni ja oma majanduse arendamise teel.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Missugused tõendid kõnelevad kõikide inimrasside kuulumisest ühte ja samasse liiki? 2. Mis on «rassiteooria» ja milles seisneb selle reaktsiooniline olemus?

# 2. RAKK JA ORGANISMIDE INDIVIDUAALNE ARENEMINE

6. PEATÜKK

## RAKUÕPETUS

Enamikul meie planeeti asustavatest elusorganismidest on rakuline ehitus ja nende individuaalne areng saab alguse ühest rakust. Seetõttu kujutab rakk endast kõikide praegu eksisteerivate taim- ja loomorganismide ehituse ja arengu põhiühikut. Ent kõrvuti nende organismidega tuntakse suurt rühma mitterakulisi oleseid. Nende ehitus on tunduvalt lihtsam. Käesoleval ajal on rakuõpetuse — tsütoloogia (*cytos* — rakk, *logos* — teadus, kr. k.) käsutuses erakordselt laialdane materjal rakkude ehituse ja funktsioonide ning nende keemilise koostise kohta. Käesoleva peatüki põhiline ülesanne on tutvustada kaasaegsete teadmistega rakust ja organismide mitterakulistest vormidest.

### 26. RAKU UURIMINE

**Raku uurimise ajalugu.** Enamik rakke on mikroskoopiliselt väikeste mõõtmetega ja ei ole palja silmaga vaadeldavad. Alles pärast mikroskoobi leiutamist oli võimalik näha rakku ja hakata teda uurima. Esimesed mikroskoobid ilmusid XVII sajandi alguses. Esimesena kasutas teaduslikus uurimistöös mikroskoopi inglise teadlane Robert Hooke (1665). Vaadeldes mikroskoobis õhukesi korgilõike, nägi ta arvukalt väikesemõõtmelisi kambreid. Neid üksteisest tihedate vaheseintega eraldatud kambreid nimetas Hooke rakkudeks, kasutades esimesena terminit «rakk».

Järgneval perioodil, mis haaras XVII sajandi teise poole, kogu XVIII sajandi ja XIX sajandi alguse, toimus mikroskoobi täiustamine ning kogunesid andmed loomade ja taimede rakkude kohta. XIX sajandi keskpaigaks oli mikroskoop juba tunduvalt täiustatud ning oli teada taimede ja loomade rakuline ehitus. Peamised andmed taimede rakulise ehituse kohta olid selleks ajaks juba kogutud ja üldistatud saksa botaaniku M. Schleideni poolt.

Kõik rakkude kohta saadud teadmised moodustasid aluse organismide rakulise ehituse teooria loomiseks, mille formuleeris 1838. a. saksa zooloog T. Schwann. Uurides loomade ja taimede rakke, avastas Schwann, et nad on ehituselt sarnased, ja tegi kindlaks, et rakk on kõigi loom- ja taimorganismide ühine elementaarne ehituslik üksus. Organismide rakulise ehituse teooria esitas Schwann oma klassikalises töös «Mikroskoopilised uurimused vastavusest loomade ja taimede ehituses ja kasvus».

Möödunud sajandi alguses avastas kuulus teadlane, Vene Teaduste Akadeemia akadeemik Karl Baer imetajate munaraku ja näitas, et kõik organismid alustavad oma eluteed ühestainsast rakust. See rakk kujutab endast viljastatud munarakku, mis jaguneb, moodustab uusi rakke, millest formeeruvad tulevase organismi koed ja organid.

Baeri avastus täiendas rakuteooriat ja näitas, et rakk ei ole mitte ainult ehituse, vaid ka kõigi organismide arenemise üksus.

Erakordselt oluliseks täienduseks rakuteooriale oli rakkude jagunemise avastamine. Peale raku jagunemise protsessi avastamist sai täiesti ilmseks, et uued rakud moodustuvad jagunemise teel juba olemasolevatest rakkudest ja ei teki iseeneslikult mitterakulisest ainest.

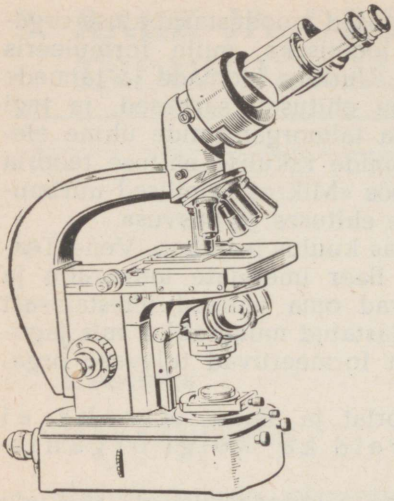
Organismide rakulise ehituse teooria sisaldab samuti kogu orgaanilise maailma tekke, ehituse ja arengu ühtsuse tähtsamad tõestusmaterjalid. F. Engels hindas kõrgelt rakuteooria loomist, asetades selle tähtsuselt kõrvuti energia jäävuse seadusega ja Ch. Darwini loodusliku valiku teooriaga.

Möödunud sajandi lõpuks täiustati mikroskoopi niivõrd, et sai võimalikuks raku ehituse detailide uurimine ja avastati selle põhilised struktuurikomponendid. Samaaegselt kogunesid teadmised nende funktsioonidest raku elutegevuses. Sellesse aega kuulub ka tsütoloogia sünd, mis kujutab endast käesoleval ajal ühte intensiivsemalt arenevatest bioloogilistest distsipliinidest.

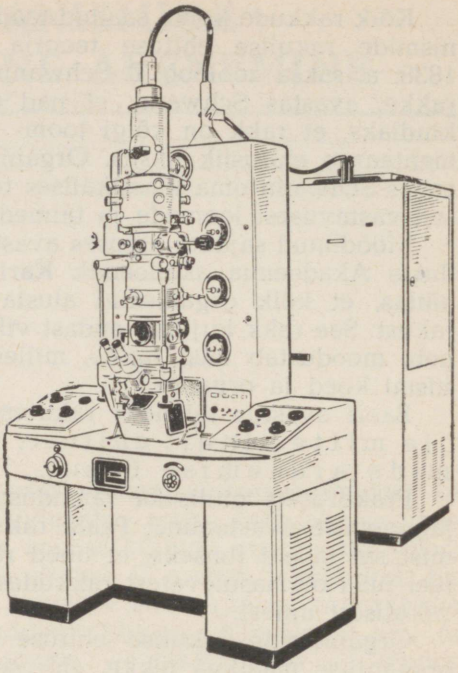
**Raku uurimise meetodid.** Kaasaja tsütoloogia käsutuses on palju ja sageli küllalt keerulisi uurimismeetodeid, mis võimaldavad kindlaks teha ja selgitada ka kõige erinevamate rakkude ja nende struktuurikomponentide ehituse ning talitluse peenimaid detaile. Erakordselt suur osa tsütoloogilistes uurimustes on endiselt valgusmikroskoobil (joon. 72), mis praegusel ajal kujutab endast keerulist, täiuslikku riista kuni 2500-kordse suurendusega. Kuid ka selline suurendus ei ole kaugeltki küllaldane selleks, et näha raku ehituse peeneid detaile, isegi siis, kui vaadelda spetsiaalsete värvainetega värvunud, 5—10μm[1] paksusi lõike.

---

[1] 0,001 mm — 1 mikromeeter (μm);
0,0001μm=1 ongström (Å).



JOON. 72. Kaasaegne valgusmikroskoop.



JOON. 73. Elektronmikroskoop.

Täiesti uus ajajärk raku ehituse uurimises algas pärast elektronmikroskoobi (joon. 73) leiutamist, mis suurendab kümneid ja sadu tuhandeid kordi[1]. Elektronmikroskoobis kasutatakse valguse asemel elektronide kimpu, valgusmikroskoobi klaasläätsed aga on asendatud elektromagnetiliste väljadega. Suure kiirusega lendavad elektronid kontsentreeritakse esialgu uuritavale objektile, seejärel suunatakse televiisoriekraani-sarnasele ekraanile, millel võib jälgida objekti suurendatud kujutist või seda fotografeerida. Elektronmikroskoop konstrueeriti 1933. aastal, kuid eriti laialdaselt hakati bioloogiliste objektide uurimiseks kasutama viimase 10—15 aasta jooksul.

Elektronmikroskoobis uurimiseks allutatakse rakud väga keerulisele töötlemisele. Rakkudest valmistatakse imeõhukesed lõigud, mille paksus on 100—500Å. Ainult sellised õhukesed lõigud kõlbavad elektronmikroskoopiliseks uurimiseks.

Viimasel ajal kasutatakse raku uurimiseks üha enam ja enam keemilisi meetodeid. Iseseisval keemia harul — biokeemial — on praegu rohkesti väga tundlikke meetodeid, mis lubavad täp-

[1] Käesoleval ajal Jaapanis toodetaval elektronmikroskoobil JEM-100B on suurendus ekraanil kuni 500 000×. *(Tõlk.)*

selt kindlaks teha mitte ainult keemiliste ainete hulka, vaid ka nende osa raku ja kogu organismi elutegevuses. On loodud keerulised aparaadid, tsentrifuugid, mis arendavad hiiglasuurt pöörlemiskiirust (mitukümmend tuhat pööret minutis). Selliste tsentrifuugide abil võib kergesti eraldada üksteisest raku koostisosi, kuna neil on erinev erikaal. See väärtuslik meetod annab võimaluse uurida eraldi raku iga osa omadusi.

Elusa raku, tema kõige peenema struktuuri ja talitluse uurimine on väga raske ülesanne ja ainult tsütoloogide, biokeemikute, füsioloogide, geneetikute ja biofüüsikute jõupingutuste ja hiiglasliku töö ühendamine andis võimaluse detailselt uurida tema struktuuri elemente ja kindlaks teha nende osatähtsuse.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Millal ja kelle poolt formuleeriti organismide rakulise ehituse teooria? Kuidas hindas seda teooriat F. Engels? 2. Milliseid aparaate kasutatakse käesoleval ajal rakkude ehituse ja talitluse uurimiseks?

## 27. RAKU EHITUS

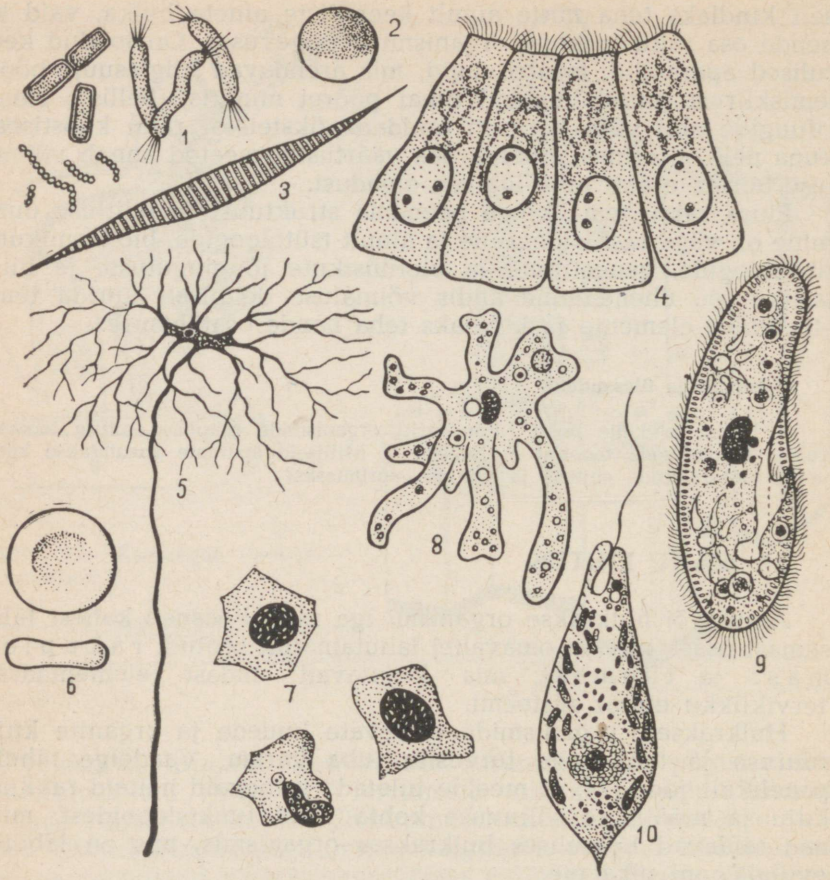
Ainu- või hulkrakse organismi iga rakk koosneb kahest tähtsamast osast, mis on omavahel lahutamatult seotud: r a k u p l a s m a s t ja t u u m a s t, mis kujutavad endast elementaarset terviklikku elusat süsteemi.

Hulkraksete organismide erinevate kudede ja organite kuju, suuruse ja talitlusega tutvusite juba varem. Vaadelge tähelepanelikult joon. 74, et meelde tuletada erinevaid näiteid rakkude kuju ja mõõtmete sõltuvuse kohta neist funktsioonidest, mida nad täidavad keerulises hulkrakses organismis, mis on läbinud evolutsiooni pika tee.

Taimede ja loomade rakkude peamised organoidid, mis avastati ja kirjeldati üksikasjaliselt valgusmikroskoobi abil, on teile samuti juba tuttavad. Vaadelge joon. 75 valgusmikroskoobi andmetel kujutatud rakkude ehituse skeemi, nimetage tähtsamad organoidid ning võrrelge taimsete ja loomsete rakkude ehitust.

Kuid isegi valgusmikroskoobi suurim suurendus osutus mittekülladaseks, et näha ja uurida rakuplasma organoidide peenstruktuure ja tuuma ehituse detaile. See ülesanne täideti alles elektronmikroskoobi abil ning tahvlil VII on toodud raku ehituse skeem, mis on loodud, tuginedes elektronmikroskoopilistele uurimustele. Raku ehituse peenstruktuuri (täpsemalt ultrapeenstruktuuri) vaatlemist selle skeemi järgi alustame rakuplasmast ja selle organoididest.

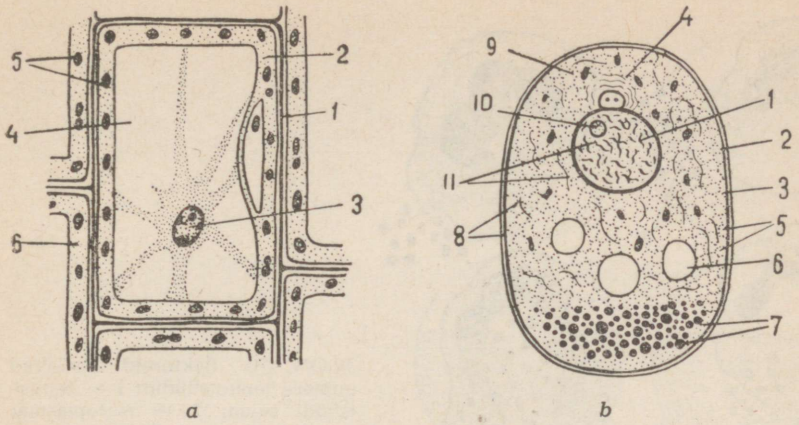
**Rakumembraan.** Valgusmikroskoobi abil on võimalik näha ainult taimerakkude ja ainuraksete küllaltki paksu kesta, kuid ei õnnestu vaadelda enamiku rakkude kesta hulkraksetel loomadel.




JOON. 74. Rakkude kuju erinevused sõltuvalt nende funktsioonist: 1 — bakterid: kokid, soolekepike, keha otstes viburitega varustatud spirillid; 2 — konna munarakk; 3 — lihasrakk; 4 — epiteelrakud; 5 — silma võrkkesta paljude jätketega närvirakk; 6 — inimese vere punalible (erütrotsüüt); 7 — inimese vere valgelibled (leukotsüüdid e. lümfotsüüdid); 8 — amööb; 9 — kingloom; 10 — roheline silmviburlane.

Elektronmikroskoopilised uurimised võimaldasid kindlaks teha, et iga taime ja looma, bakteri ja ainurakse rakul on väga õhuke väliskate, mida nimetatakse rakumembraaniks (*membrana* — õhuke nahk, kelme, kile, lad. k.). Need kestad, mis on tavaliselt näha valgusmikroskoobis, eeskätt taimerakkude paksud kestad, mis koosnevad enamikul taimedel tselluloosist, kujutavad endast ainult täiendavaid moodustisi rakumembraani pealispinnal.

Rakumembraani paksus on umbes 75Å ja nii õhuke kile ei saa loomulikult olla nähtav valgusmikroskoobis. Kuid vaatamata



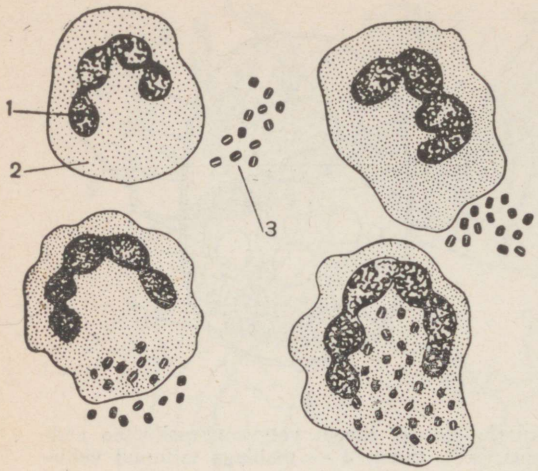

JOON. 75. Taime- *(a)* ja loomaraku *(b)* ehituse skeem valgusmikroskoopia andmetel. *a:* 1 — kest; 2 — tsütoplasma; 3 — tuum; 4 — mahlaga täitunud vakuoolid; 5 — plastiidid; 6 — naaberraku tsütoplasma. *b*: 1 — tuum; 2 — tsütoplasma; 3 — raku välismembraan; 4 — rakutsenter; 5 — mitokondrid; 6 — vakuool; 7 — sisaldised; 8 — plastiidid; 9 — Golgi aparaat; 10 — tuumake; 11 — kromatiin.

sellele koosneb rakumembraan kolmest kihist. Elektronmikrofotol (tahvel VIII) on näha kahe naaberraku membraanid ja kummaski membraanis kolm kihti: kaks tumedat kihti, neist üks asetseb väliskeskkonnaga piirneval välispinnal, teine aga on suunatud vastu raku tsütoplasmat, ning kolmas, hele kiht paikneb keskel, kahe tumeda vahel. Membraani mõlemad tumedad kihid koosnevad valkude molekulidest, keskmine, hele kiht — rasvade molekulidest.

Rakumembraani läbistavad paljud peened avad — poorid, mille kaudu võivad väliskeskkonnast raku sisemusse tungida ainult ioonid, vesi ja paljude teiste ainete väga väikesemõõtmelised molekulid rakku ümbritsevast väliskeskkonnast. Nende pooride kaudu võivad rakust välja tungida mitmesugused ained.

Kuid läbi rakumembraani väikeste pooride ei saa rakku tungida väliskeskkonnast tahkete ainete küllalt suured osakesed, näiteks mitmemikroniliste mõõtmetega toiduosakesed, samuti orgaaniliste ainete, näiteks valkude suured molekulid. Suhteliselt suurte kõvade osakeste tungimine rakku toimub fagotsütoosi (*phagos* — õgiv, *cytos* — rakk, kr. k.) teel, mille skeem on toodud joon. 76. Siin on näha, et toidu või mingi teise aine osake läheneb esialgu rakumembraanile. Seejärel moodustab membraan sellise osakesega kokkupuute kohal raku sisemusse suunatud sopistuse. Sopistus süveneb pidevalt ja temasse sattunud osake satub raku sisemusse, tema tsütoplasmasse.

Ainuraksetel loomadel (näiteks infusoorid, amööb) täidab fagotsütoos toitumise ülesannet ja kõik kõvad toiduosakesed satuvad

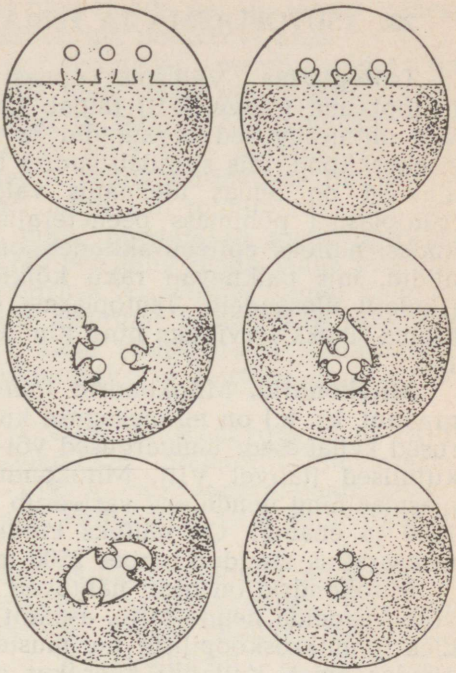



JOON. 76. Baktereid neelavad inimese leukotsüüdid: 1 — leukotsüüdi tuum; 2 — tsütoplasma; 3 — bakterid (kokid).

nende raku sisemusse just sel teel. Hulkraksetel loomadel ja inimesel täidavad fagotsütoosi funktsioone ainult spetsialiseerunud rakud, näiteks valged verelibled, mis neelavad organismi sattunud baktereid, tolmu ja teisi tahkeid osakesi. Neile, fagotsütoosivõimelistele rakkudele, kuulub organismi kaitsefunktsiooni täitmine organismi sattunud mitmesuguste kõrvaliste osakeste, näiteks patogeensete bakterite vastu. Fagotsütoosist võtab rakumembraan aktiivselt osa; *fagotsütoosivõime on üks tema tähtsamaid funktsioone.*

Läbi rakumembraani satuvad rakku ka lahustunud kujul mitmesuguseid aineid sisaldavad vedeliku tilgad. Vedelike neeldumisprotsess väikeste tilkade näol tuletab meelde joomist ja sellepärast nimetati see pinotsütoosiks (*pinein* — jooma, *cytos* — rakk, kr. k.). Pinotsütoosi skeem on toodud joon. 77, kus on näha, et raku poolt vedeliku neelamine sarnaneb fagotsütoosiga: esialgu läheneb vedeliku tilk rakumembraanile, mis moodustab selles kohas arvukalt peeneid voldikesi. Seejärel moodustub sopistus sinna langeva vedeliku tilgaga. Sopistus süveneb pidevalt ja eraldub lõpuks täielikult välispinnast ning vedeliku tilk osutub rakuplasmas olevaks. *Pinotsütoos on veel üks raku välismembraani tähtis funktsioon, mis on omane kõikide loomade ja taimede rakkudele.*

*Läbi raku välismembraani toimub pidev ainevahetus raku ja väliskeskkonna vahel:* pooride kaudu reguleerib membraan ioonide ja väikeste molekulide liikumist raku sisemusse ja rakust välja, läbi membraani tungivad rakku ka suuremad, tahked ja vees lahustunud ained. Kuid peale nende tähtsate ülesannete täidab rakumembraan ka palju teisi mitte vähem tähtsaid bioloogilisi ülesandeid. Ta eraldab tsütoplasmat ja kõiki raku organoide väliskeskkonnast, sealjuures taastab kergesti ja kiirelt oma



JOON. 77. Pinotsütoosi skeem. On näha, et ümbritsevast keskkonnast haaratakse vedeliku tilgakesi raku välismembraani poolt ja surutakse tsütoplasmasse.

terviklikkuse pärast väiksemaid vigastusi. Rakkude ühinemine hulkraksete organismide mitmesugusteks kudedeks toimub samuti rakumembraani kaudu, mis moodustab arvukalt kurde ja sopistusi, suurendades rakkudevaheliste ühenduste vastupidavust. Need on hästi nähtavad mikrofotol (tahvel VIII).

Enamik hulkraksete loomade rakkudest, näiteks erütrotsüüdid, maksa, neerude jt. elundite epiteeli rakud omavad ainult ühe rakumembraani, mis kujutab endast nende ainsat väliskatet. Kuid teistel rakkudel, näiteks närvirakkude jätketel, koosneb väliskate mitmest üksteisele liibuvast membraanist, moodustades vastupidava rakukesta, mis on tavaliselt nähtav valgusmikroskoobis. Taimerakkude iseloomulikuks jooneks, nagu juba eespool märgitud, on paks rakukest, mis koosneb tselluloosist, erilisest orgaanilisest ainest pektiinist või teistest ainetest. See kest asetseb rakumembraani peal, moodustub membraani aktiivse tegevuse tulemusena ja kujutab endast taimerakkude vastupidavat väliskatet.

**Küsimusi ja ülesandeid**

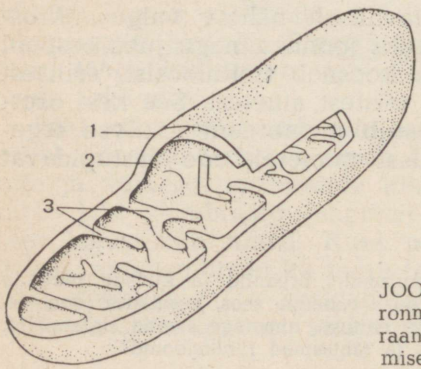
1. Jutustage, missugune on eri organismide, organite ja kudede rakkude kuju ja suurus ning rakkude kuju ja talitluse vaheline seos, kasutades joon. 74.
2. Võrrelge taimede ja loomade rakkude ehitust, nimetage nende organoidid.
3. Missugune on raku membraani ehitus ja tähtsamad funktsioonid?

## 28. TSÜTOPLASMA JA TEMA ORGANOIDID

**Tsütoplasma.** Väliskeskkonnast rakumembraaniga eraldatud tsütoplasma (tahvel VII) täidab kogu rakku ning temas paiknevad mitmesugused organoidid ja tuum. See on poolvedel raku sisekeskkond, mis sisaldab suurel hulgal vett, kuid orgaanilistest ainetest on temas ülekaalus valgud. Elektronmikrofotodel on tsütoplasma põhimass peeneteralise struktuuriga. Paljudes rakkudes, näiteks epiteelirakkudes, on tsütoplasmas näha ülipeened niidid, mis paiknevad raku kõikides osades ja täidavad toese (skeleti) ülesandeid. Tsütoplasma seob kõik raku organoidid ja tuuma üheks tervikuks ning kindlustab nende vastastikuse koostöö.

**Mitokondrid.** Mitokondrid (*mitos* — niit, *chondrion* — tera, graanul, kr. k.) on mitmesuguse kujuga umbes 0,2 kuni 7μm suurused kehakesed: ümmargused või ovaalsed, kepikeste- või niidikujulised (tahvel VII). Mitokondrid paiknevad rakkude tsütoplasmas ning nende arv varieerub erinevates rakkudes 2—3 kuni 1000 ja enamgi. On näiteks kindlaks tehtud, et imetajate ühes maksarakus sisaldub umbes 2500 mitokondrit.

Mitokondrid on hästi nähtavad valgusmikroskoobis, mille abil võib vaadelda nende kuju, asendit rakus ja loetleda nende arvu. Elektronmikroskoopiliste uurimustega on avastatud, et iga mitokonder omab küllaltki keerukat ehitust. Joon. 78, mis kujutab mitokondri ehituse skeemi, ja samuti elektronmikrofotol (tahvel IX) on näha, et selle organoidi väliskest koosneb kahest membraanist: välimisest ja sisemisest. Välimine membraan on sile, ta ei moodusta mingeid kurde ega väljasopistusi. Sisemine membraan aga moodustab arvukalt kurde, mis suunduvad mitokondri siseõõnde. Sisemise membraani kurde nimetatakse harjadeks. Suuremal osal rakkudest paiknevad mitokondrite siseõõnes harjad ristsuunas. Mõned harjad võivad hargneda, mis on näha ka joon. 78. Tavaliselt on ühes mitokondris palju harjasid ja




JOON. 78. Mitokondri ehituse skeem elektronmikroskoopia andmetel: 1 — väline membraan; 2 — sisemine membraan; 3 — sisemise membraani harjad.

nad on üksteisele väga lähedal ning nende vahele jäävat vähest ruumi täidab peeneteralise struktuuriga poolvedel aine.

Mitokondrite välimistel ja sisemistel membraanidel on samasugune kolmekihiline ehitus nagu raku välismembraanilgi. Nende koostisse kuuluvad valgud ja rasvad. Mitokondrite välimistel ja sisemistel membraanidel ning eriti harjadel paikneb suur hulk mitmesuguseid fermente. Mitokondriaalsete fermentide hulka kuuluvad eeskätt sellised, mille abil toimub rakkude hingamine ja erilise aine süntees, mida nimetatakse adenosiintrifosforhappeks ehk lühendatult ATP. See aine omab suuri energiavarusid, mis vabanevad mitokondrites fermentide toimel kulgeva pideva ATP lagundamise käigus. Energiat kasutatakse rakkudes mitmesuguste ainete sünteesiks, keha temperatuuri säilitamiseks vajaliku soojuse saamiseks, liikumiseks ja teisteks elutegevuse väljendusteks.

ATP sünteesitakse kõikide rakkude mitokondrites ja ta kujutab endast universaalset energiaallikat. Selletõttu nimetatakse mitokondreid piltlikult raku «jõu-» või «energiajaamadeks»; nad on iga taime- või loomaraku vältimatult vajalikud organoidid.

**Plastiidid.** Plastiidid on taimerakkude organoidid ning plastiidide olemasolu eristab taimerakke loomarakkudest. Plastiidid paiknevad tsütoplasmas. Eristatakse kolme põhilist plastiidide tüüpi: 1) rohelised plastiidid — kloroplastid; 2) punast, oranži jm. värvi — kromoplastid ja 3) värvitud plastiidid — leukoplastid.

Kloroplastid esinevad taimelehtede ja teiste roheliste osade rakkudes. Kloroplastidele iseloomulik roheline värvus on tingitud erilisest, neis leiduvast rohelisest pigmendist — klorofüllist. Klorofülli abil on rohelised taimed võimelised kasutama päikesevalguse energiat ja selle arvel sünteesima orgaanilisi aineid anorgaanilistest ainetest. Orgaaniliste ainete sünteesimise protsessi anorgaanilistest ainetest nimetatakse fotosünteesiks. See toimub ainult kloroplastides.

Kromoplastid põhjustavad kõige mitmekesisemaid õiekroonide, viljade, juurviljade ja lehtede värvusi: kollasest ja oranžist kuni punase värvuse erinevate varjunditeni.

Leukoplastid paiknevad taimede värvitute osade rakkudes: vartes, juurtes, mugulates.

Kõik need plastiidide tüübid on üksteisega tihedalt seotud võimaluse kaudu muutuda teineteiseks. Viljade küpsemisel või lehtede sügisese värvimuutuse ajal muutuvad kloroplastid kromoplastideks, leukoplastid võivad kergesti muutuda kloroplastideks, näiteks kartulimugulate roheliseks värvumisel.

Kõik kolm plastiidide tüüpi on hästi näha valgusmikroskoobis, kuna nende mõõtmed võrduvad tavaliselt mõne mikroniga. Näiteks kloroplastide mõõtmed on tavaliselt 4—6 μm.

Plastiidide peenstruktuur tehti kindlaks elektronmikroskoobi abil. Vaatleme üksikasjalisemalt kloroplastide ehitust. Suuremal osal taimede kloroplastidel on kahe membraaniga tsütoplasmast eraldatud ketta kuju (tahvel XI). Kloroplasti välimisel ja sisemisel membraanil on niisamasugune ehitus nagu rakumembraanil ning mõlema membraani koostisse kuulub kolm kihti.

Mikrofotol on näha, et kloroplasti sisemuses esineb suur hulk pigmenditerasid. Iga pigmenditera kujutab endast üksteise peale laotud õhukeste lamellide kogumit. Ristlõikes näivad nad ümmargustena, ühe pigmenditera diameeter on umbes 1μm. Ühe pigmenditera koostisse kuulub umbes 10 lamelli ning ühes kloroplastis sisaldub mitukümmend pigmenditera, mis on omavahel ühendatud õhukeste vaheliistakutega. Roheline pigment — klorofüll — esineb ainult pigmenditerades, teistes kloroplasti osades teda ei ole ning fotosüntees toimub just nimelt nendes.

**Lüsosoomid.** Lüsosoomid on väikesed ümarad kehakesed, mida võib kohata kõikides raku osades (tahvel XI, 2). Ühe lüsosoomi diameeter on umbes 1 μm. Tsütoplasmast on lüsosoomid eraldatud tiheda membraaniga. Nende sisemusse on koondunud fermendid, mis on võimelised lagundama kõiki rakku sattuvaid toitaineid. Toitainete lagundamist fermentide abil nimetatakse l ü ü s i k s, millest tuleneb ka organoidi nimetus — «lüsosoom». Ühes rakus võib olla palju lüsosoome, näiteks mitukümmend ning lüsosoomide kogumit võib piltlikult nimetada raku «seedesüsteemiks». Lüsosoome on leitud paljudest loomarakkudest ja viimasel ajal ka taimerakkudest.

**Endoplasmaatiline võrgustik.** See organoid avastati alles rakkude elektronmikroskoopilise uurimisega. Endoplasmaatiline võrgustik kujutab endast keerulist kanalite ja nende kuni 500Å ja suuremate laiendite süsteemi (tahvel X), mis on omavahel ühendatud ja moodustavad komplitseeritud, hargneva, kogu tsütoplasmat läbistava võrgustiku.

Endoplasmaatilise võrgustiku kanalid ja laiendid on piiratud membraanidega, millel on samasugune ehitus nagu raku välismembraanilgi, s. t. nad on kolmekihilised.

Eristatakse kahte endoplasmaatilise võrgustiku tüüpi: krobelist ja siledat. Esimest tüüpi membraanidel asetseb hulgaliselt väikseid ümaraid kehakesi — ribosoome (tahvel XII), mis annavadki kanalitele ja laienditele krobelise välimuse. Teist tüüpi, s. o. sileda endoplasmaatilise võrgustiku membraanide pinnal ei ole ribosoome.

Selle organoidi funktsioonidest on teada järgmist: krobeline endoplasmaatiline võrgustik võtab aktiivselt osa valkude sünteesist. Sileda endoplasmaatilise võrgustiku membraanidel toimub rasvade ja polüsahhariidide süntees. Need sünteesiproduktid kogunevad endoplasmaatilise võrgustiku kanalitesse ja laienditesse ning seejärel transporditakse erinevate raku organoidide

juurde, kus neid tarvitatakse. Peale selle, endoplasmaatilise võrgustiku arvukatesse kanalitesse ja laienditesse satub ümbritsevast keskkonnast pidevalt mitmesuguseid aineid, mis transporditakse erinevatesse raku osadesse. Neisse satub ka aineid, mis rakust välja juhitakse.

Järelikult, *endoplasmaatiline võrgustik — see on raku organoid, mis võtab aktiivselt osa mitte ainult valkude, polüsahhariidide ja rasvade sünteesist, vaid ka raku mitmesuguste ainete transportimisest ja kogumisest.*

Endoplasmaatiline võrgustik esineb kõigis looma- ja taimerakkudes, selle organoidi üldine levik annab veel kord tunnistust tema olulistest funktsioonidest, mida praegu intensiivselt uuritakse.

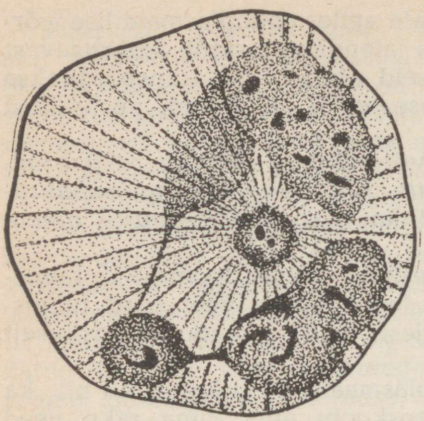
**Ribosoomid.** Nii nagu endoplasmaatiline võrgustik, nii ka ribosoomid avastati elektronmikroskoobi abil, kuna raku need organoidid on erakordselt väikesemõõtmelised. Ribosoomid on ümara kuju ja 150—200 Å diameetriga kehakesed. Elektronmikrofotol on näha, et rakus on ribosoome väga palju (tahvel XII, 1) ja et enamik neist asetseb endoplasmaatilise võrgustiku membraanidel. Peale selle paikneb palju ribosoome vabalt tsütoplasmas ja raku tuumas.

Ribosoomide koostisse kuuluvad valk ja ribonukleiinhape (RNA).

Ribosoome on avastatud kõikides hulkraksetes loomades ja taimedes, aga ka üherakulistes organismides. See näitab, et *ribosoomid on iga raku vajalikud organoidid, mis täidavad tähtsat bioloogilist funktsiooni: ribosoomides sünteesitakse valk.* Ribosoomid on just nimelt raku selleks organoidiks, kus toimub valgumolekulide süntees, s. t. nende loomine iga raku tsütoplasmas ja tuumas leiduvatest aminohapete molekulidest. Kuna ribosoomid täidavad valgusünteesi tähtsaimat funktsiooni, võib neid nimetada raku «montaažikonveieriteks.»

Ribosoomides sünteesitud valk kogutakse endoplasmaatilise võrgustiku kanalitesse ja laienditesse ning seejärel transporditakse raku nendesse organoididesse, kus neid vajatakse. Valkude põhimass sünteesitakse krobelise endoplasmaatilise võrgustiku membraanidele koondunud ribosoomides ning need kaks organoidi, nagu juba eespool märgitud, kujutavad rakus moodustuvate valkude sünteesi ja transpordi ühtset aparaati.

**Golgi aparaat.** Golgi aparaat on raku organoid, mida nimetatakse nii itaalia teadlase C. Golgi järgi, kes nägi seda esmakordselt närvirakkude tsütoplasmas (1898). Nüüd on Golgi aparaat avastatud kõigis taim- ja loomorganismides. Tema kuju ja mõõtmed on suuresti varieeruvad. Näiteks närvirakkudes on tal tuuma ümber paikneva keeruka võrgu kuju (tahvel XII, 2); taimerakkudes ja ainuraksetes esineb Golgi aparaat üksikute sirbi- või kepikesekujuliste kehakestena. Selle organoidi peenehitus on



JOON. 79. Rakutsenter. Keskel on tsentrosfäär kahe tsentriooliga ja väljuvate kiirtega. Tuum on suur ja koosneb kolmest üksteisega ühendatud osast.

ühesugune nii taim- kui loomorganismide rakkudes, vaatamata tema kuju mitmekesisusele. Golgi aparaati kuulub kolm põhilist struktuurikomponenti: 1) suured, gruppidena (5—8 kaupa) paiknevad laiendid; 2) keerukas, laienditest eemalduvate torukeste süsteem; 3) torukeste otstes asetsevad suured ja väikesed põiekesed. Kõik need elemendid moodustavad ühtse kompleksi ja on piiratud samasuguse ehitusega membraanidega nagu rakumembraan.

Golgi aparaat täidab palju tähtsaid bioloogilisi funktsioone: *selle juurde transporditakse endoplasmaatilise võrgustiku kanaleid mööda raku sünteetilise tegevuse produkte ja samuti väliskeskkonnast rakku sisenevaid mitmesuguseid aineid.* Need on eeskätt rakus sünteesitavad valgud, paljudes rakkudes toodetavad valgulise iseloomuga sekreedid, munarakkudes nende küpsemisel moodustuv rebu, polüsahhariidid ja rasvad. Kõik need ained kogunevad esialgu Golgi aparaadi elementides ja seejärel suunduvad tilkade või terade kujul tsütoplasmasse, kus nad kas tarvitatakse rakus endas tema elutegevuse protsessis või juhitakse temast välja ümbritsevasse keskkonda.

**Rakutsenter.** Rakutsenter koosneb kahest väga väikesest kehakesest, kumbki neist on mõõtmetelt alla 1 μm, ja erilisest, tihedast tsütoplasma osast (joon. 79). Rakutsentri kehakesi nimetatakse tsentriooliideks, tsütoplasma tihenenud osa, mille keskel nad paiknevad — tsentrosfääriks.

Elektronmikroskoopilised uurimused näitasid, et igal tsentrioolil on silindri kuju, mille sein koosneb üheksast paarist peenikestest torukestest.

Rakutsenter asetseb tavaliselt tuuma läheduses. Rakutsentri selline asend on eriti iseloomulik hulkraksete loomade rakkudele. Rakutsentrile kuulub tähtis osa raku pooldumisel.

**Spetsiaalsed organoidid.** Sellesse gruppi kuuluvad need organoidid, mis on seotud rakkude poolt täidetavate mingite spetsiaalsete funktsioonidega. Selliste organoidide näiteks võivad olla ripsmed ja viburid, mis täidavad ainuraksetel (infusooridel ja viburloomadel) liikumisfunktsioone. Ripsmetega on varustatud ka hulkraksete loomade paljud epiteelrakud, näiteks hingamisteede epiteel, kus ripsmed täidavad samuti liikumisfunktsioone, kõrvaldades organismi sattunud tolmuosakesi jm.

Loomade ja inimese lihaste rakkudes sisalduvad ülipeened kiud — müofibrillid, mille arvel toimub lihaste kokkutõmbumine. Ainuraksetel ja hulkraksete organismide paljudes, eriti epiteelirakkudes esinevad väga peened, rakusisese toese ülesandeid täitvad tuginiidid.

**Sisaldised.** Erinevalt organoididest kuuluvad sisaldised ajutiste rakustruktuuride hulka. Raku elutegevuse protsessis nad kord ilmuvad, kord kaovad. Sisaldised on hästi nähtavad valgusmikroskoobis tihedate terade, vedelate tilkade, vakuoolide ja kristallide kujul (joon. 75). Paljud neist sisaldistest kujutavad endast varutoitaineid, mida rakk pidevalt kasutab. Need on rasvatilgakesed, tärklise-, glükogeeni- ja ka valguterad. Mõnedes rakkudes varutakse toitaineid suurel hulgal. Nii on maksarakkudesse kogunenud palju glükogeeni, loomade ja inimese alusnaha rasvkoe rakkudes toimub rasva kogunemine. Valke ladestub palju mitmesuguste loomade munarakkudesse. Taimerakud on samuti rikkad varutoitainete poolest: neis võib leida polüsahhariide (tärklis jt.), rasvu ja valgulisi sisaldisi, mida on palju seemnetes ja mugulates. Näiteks koguneb kartulimugulate rakkudesse väga palju tärklist.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Jutustage mitokondrite ehitusest ja nende funktsioonidest rakkudes. 2. Missugune on kloroplastide ehitus? 3. Millistes raku organoidides toimub valgu süntees? Kus paiknevad need organoidid rakus ja missugune on nende ehitus? 4. Jutustage lühidalt Golgi aparaadi ehitusest ja funktsioonidest ning lüsosoomidest.

## 29. TUUM JA TEMA STRUKTUURI KOMPONENDID

Kõikide hulkraksete taimede ja loomade, samuti ainuraksete ja üherakuliste vetikate rakkude tingimatuks osaks on tuum. Enamikul rakkudel on üks tuum. Ent esineb ka rakke kahe, kolme ja isegi mitmekümne või sadade tuumadega. Selliseid rakke nimetatakse paljutuumalisteks ja neid esineb näiteks ainuraksete organismide hulgas ning ka selgroogsete loomade maksas ja luuüdis.

Tuuma kuju ja sageli ka mõõtmed sõltuvad raku kujust. Tavaliselt on kerakujuliste rakkude tuum ümmargune, piklikel rakkudel on aga tuum samuti piklik (joon. 74).

Eristatakse tuuma kahte seisundit: jagunev ja puhketuum. Me vaatleme puhketuumade ehituse ja talitluse iseärasusi.

Eristatakse tuumamembraani, tuumamahla ehk karüoplasmat (*karyon* — tuum, kr. k.), kromatiini ja tuumakesi (tahvel VII). Kromosoomid formeeruvad ainult jagunevates rakkudes, kuid mõnikord on nad nähtavad ka jagunemiste vaheajal.

**Tuumamembraan.** Tsütoplasmast on tuum eraldatud tuumamembraaniga, mis on hästi nähtav valgusmikroskoobis tuuma piirava kontuurina (joon. 75). Elektronmikrofotol (tahvel X) on hästi näha, et tuumamembraan koosneb kahest membraanist: välisest ja sisemisest. Mõlemal membraanil on tüüpiline kolmekihiline ehitus nagu rakumembraanil ja teiste organoidide membraanidelgi.

Tuumamembraan ei ole pidev: temas on arvukalt poore, mis on niivõrd väikesed, et on nähtavad ainult elektronmikroskoobi abil. Pooride diameeter on umbes 300—500 Å. Pooride kaudu toimub ainevahetus tsütoplasma ja tuuma vahel. Tuuma välimine membraan on tihedalt seotud endoplasmaatilise võrgustikuga.

Enamikus rakkudes lõhustub tuumamembraan tuuma jagunemise ajal.

**Tuumamahl (karüoplasma).** Tuumamahl on poolvedela konsistentsiga aine, mis on piiratud tuumamembraaniga ja täidab kogu tuumaõõne. Tuumamahlas asuvad tuumakesed ja kromatiin ning viimasel ajal on selles elektronmikroskoobi abil avastatud ka ribosoomid.

**Kromatiin.** Puhketuumades on kromatiin sageli nähtav üksikute väikesemõõtmeliste tombukestena või niitidena (joon. 75). Need kromatiinstruktuurid sisaldavad desoksüribonukleiinhapet (DNA) ja valku.

*Kromatiin on see materjal, millest raku jagunemisel moodustuvad kromosoomid.* Jagunevates tuumades on DNA koondunud kromosoomidesse. DNA on tuuma tähtsaim osa. Selles aines sisaldub pärilik informatsioon, mis antakse igal liigil edasi põlvkonnast põlvkonda.

**Tuumake.** Tuumake kujutab endast tuumamahlas paiknevat tihedat ümmargust keha (tahvel VII ja X). Erinevate rakkude tuumades, samuti ka ühe ja sama raku elutegevuse erinevatel momentidel võivad tuumakeste arv, nende kuju ja mõõtmed olla erinevad. Tuumas on sageli ainult 1—2 tuumakest, kuid neid võib olla 5—7 ja rohkem. Tuumakesed esinevad ainult puhketuumades; nad kaovad jagunemise ajal ja tütarrakkude tuumades moodustuvad uuesti.

Tuumakese koostisse kuuluvad RNA ja valgud. *Tuumakese tähtsaim funktsioon on see, et temas moodustuvad ribosoomid,* mis seejärel väljuvad tuumast tsütoplasmasse. See tähendab, et endoplasmaatilise võrgustiku membraanidel paiknevad ja vabalt

tsütoplasmas esinevad ribosoomid moodustuvad tuumakeses. Tuumakeses paiknevatel ribosoomidel toimub valkude süntees.

**Rakutuuma ja tsütoplasma koostöö.** Tsütoplasma ja rakutuum on tihedaimas vastastikuses koostöösl. Kui rakust eemaldada tuum, siis hukkub tsütoplasma vältimatult. Tuum omakorda ei saa eksisteerida ilma tsütoplasmata isegi lühikese ajavahemiku kestel. Raku eluks on vajalik rakutuuma, tsütoplasma ja kõigi selle organoidide kui ühtse terviku koostöö. Igasugune vigastus kutsub esile raku hukkumise. Rakus ei ole struktuurseid komponente, mis oleksid võimelised kestvalt iseseisvalt eksisteerima. Rakk on elementaarne terviklik elussüsteem.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Missugune on tuumamembraani ehitus? 2. Mis on tuumamahl ehk karüoplasma? 3. Missugune on tuumakese funktsioon ja koostis? 4. Millises tuuma-aines peitub pärilik informatsioon?

## 30. ÜHERAKULISED ORGANISMID

Erinevalt hulkraksete organismide rakkudest, mis moodustavad mitmesuguseid organeid ja kudesid, on üherakuliste organismide (ainuraksed, üherakulised vetikad, bakterid) ehituses palju omapäraseid jooni. Nende keha koosneb ainult ühest rakust. Peale selle kujutab iga üherakuline organism endast samaaegselt nii rakku, kui ka iseseisvalt eksisteerivat terviklikku organismi.

**Ainuraksed ja üherakulised vetikad.** Ainuraksed (amööbid, silmviburlased, ripsloomad jt.) ja samuti üherakulised vetikad (klamüdomoonas, klorella jt.) omavad tüüpilist raku ehitust: neil on tuumamembraaniga piiratud tuum, hästi on neil arenenud kõik hulkraksete organismide rakkudest tuntud organoidid. Paljud neisse kahte rühma kuuluvatest vormidest omavad hästiarenenud liikumisorganoide ripsmete ja viburite näol, omavad suuava, mille kaudu toit läheb raku sisemusse (tuletage meelde, kuidas toitub kingloom) ning teisi organoide, mis kindlustavad kõiki nende organismide elutegevuse protsesse. Kõik need kohastumised kindlustavad nende iseseisva eksisteerimise erinevates väliskeskkonna tingimustes.

**Bakterid.** Bakterirakke iseloomustavad eelkõige nende väikesed mõõtmed. Mõningate kerakujuliste bakterite diameeter ulatub ainult 0,2 μm (joon. 74). Liikumisorganoididdeks on paljudel bakteritel viburid.

Ehituse paljude iseärasuste poolest erinevad bakterirakud ainuraksete ja hulkraksete organismide rakkudest. Selliste iseärasuste hulka kuulub eeskätt tüüpilise tuuma puudumine. Bakterite tuumal puudub tuumamembraan. Tuumaelemendid, mis sisal-

davad DNA-d, paiknevad vahetult tsütoplasmas ja on sageli ebakorrapärase hargneva kujuga. Bakteritel ei ole avastatud endoplasmaatilist võrgustikku ning nende mitokondrid on ebatüüpilise ehitusega.

Kõik see annab tunnistust bakterirakkude tunduvalt lihtsamast ehitusest, võrreldes ainuraksete ja hulkraksete organismide rakkudega. Vaatamata suhteliselt lihtsale ehitusele on bakterid rakulisel organisatsioonitasemel olevad organismid. Nad esindavad nagu ainuraksed ja üherakulised vetikadki laialdast üherakuliste organismide rühma, mis eksisteerib iseseisvalt ja on kohastunud erinevate elukeskkondadega.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Missugused on ainuraksete ehituse põhilised iseärasused? 2. Missugused on bakterirakkude põhilised erinevused võrreldes teiste organismide rakkudega?

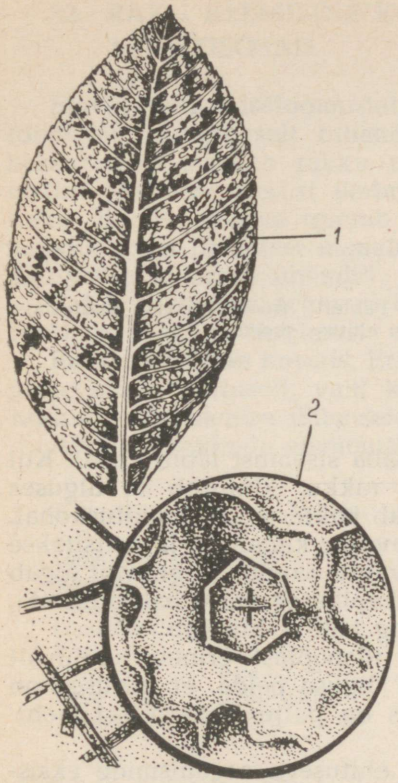
## 31. MITTERAKULISED ORGANISMID

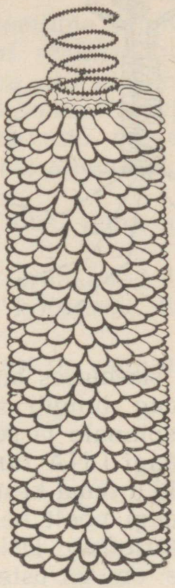
Rakkude peenehituse detailne uurimine näitas, et rakuteooria leidis hiilgavat kinnitust kõigi hulkraksete ja üherakuliste organismide ehituses. Ainult üks rühm elusolendeid jääb väljapoole rakuteooriat asuvaks, kuna sinna kuuluvad organismid ei oma rakulist ehitust ja esindavad seetõttu elusa mateeria eksisteerimise mitterakulist vormi.

**Viirused.** Mitterakulised organismid kannavad viiruste (*virus* — mürk, lad. k.) nime. Elektronmikroskoopiline uurimine näitas, et ehituse poolest erinevad viirused suuresti rakkudest.

Viirused avastas vene õpetlane D. I. Ivanovski 1892. aastal. Viirused on tunduvalt väiksemad kui bakterid. Gripiviiruse läbimõõt on näiteks 800 Å. Viirused on võimelised elama ja paljunema ainult taimede, loomade ja inimese rakkudes ning ei suuda iseseisvalt eksisteerida. Viirused põhjustavad mitmeid ohtlikke haigusi ja toovad kahju inimese tervisele ning rahvamajandusele. Viirused on selliste haiguste tekitajateks nagu gripp, leetrid, poliomüeliit, rõuged. Nad kutsuvad esile ka taimehaigusi (näiteks tubaka mosaiikhaigus). Haigete taimede lehed muutuvad kirjuks, kuna tubaka mosaiigiviirused lõhustavad kloroplaste ja lõhustunud kloroplastidega lehe osad muutuvad värvituks (joon. 80). Tuntakse samuti bakterirakkudes elutsevaid viiruseid. Selliseid viiruseid nimetatakse bakteriofaagideks ehk lihtsalt faagideks (*phagos* — õgija, kr. k.). Bakteriofaagid hävitavad täielikult bakterirakke ja sellepärast saab neid kasutada bakteriaalsete haiguste, nagu näiteks düsenteeria, kõhutüüfuse ja koolera raviks.

Detailselt on uuritud tubaka mosaiigiviiruse ja bakteriofaagide ehitust. Tubaka mosaiigiviirus (joon. 80) eksisteerib üksikute osakestena, millest igaüks on kepikesekujuline, ja kujutab



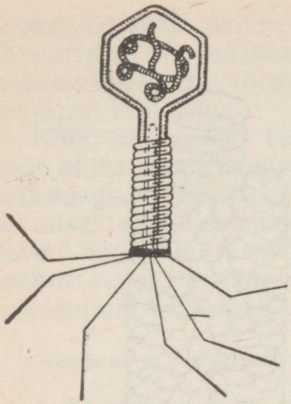
JOON. 80. Mosaiigiviirusest kahjustatud tubakaleht: 1 — mosaiikne lehevärvus; on näha viiruse poolt kahjustatud heledad leheosad; 2 — viiruse kristall leheraku keskel.

JOON. 81. Tubaka mosaiigiviiruse osakese ehituse skeem. On näha valgumolekulidest kest ja RNA, mis on spiraalikujuliselt keerdunud kesta sisemusse.

endast õõnsat silindrit (joon. 81 ja tahvel XIII). Silindri sein on moodustunud valgumolekulidest, kuid sisemuses, selle valgust kesta all paikneb spiraalikujuliselt keerdunud RNA ahel.

Viiruse osakeste pikkus ulatub 3000 Å ja seetõttu võib neid näha ainult elektronmikroskoobis. Viiruse osakesed elutsevad tubaka lehtede rakkudes ja moodustavad sageli kogumikke kuuekandiliste kristallide näol (joon. 80). Need kristallid on nähtavad valgusmikroskoobis.

Bakteriofaagi ehitusega tutvume bakterites elutsevate «soolekepikese» nime all tuntud vormide kaudu. Selline bakteriofaag (joon. 82) tuletab kuju poolest meelde konnakullest. Tema pikkus on umbes 2000 Å. Bakteriofaagi keha koosneb peast, sabast ja mitmest sabajätkest. Väljastpoolt on pea ja saba kaetud valkkes-



JOON. 82. Bakterit (soolekepikest) kahjustava bakteriofaagi ehituse skeem.

taga. Pea sisemuses on DNA ning saba sisemust läbib kanal. Kui bakteriofaag tungib soolekepikese rakku, kinnitub ta alguses selle välispinnale ja seejärel lahustab bakterikesta kinnituskohal. Bakteriofaagi DNA tungib sabas olevasse kanalisse ja pritsitakse bakterirakku tema kesta tekkinud avause kaudu. Järgnevalt algab bakteriofaagi poolt nakatatud soolekepikeses mitte bakteri enda, vaid bakteriofaagi DNA süntees ning bakter hukkub.

Selline on viiruste ehitus, mis tõepoolest erineb tunduvalt rakkude ehitusest. See annab meile õiguse öelda, et viirused on mitterakulised olesed. Nende ehitus on palju lihtsam raku ehitusest.

**Raku evolutsioon.** Mitterakulise ehitusega organismide eksisteerimine kinnitab seda, et rakud pole mitte alati olnud sellised, nagu neid näeme ja uurime praegu, vaid on läbinud pika evolutsioonilise arengutee. Tõenäoliselt ilmusid elu arenemise protsessi alguses mingid mitterakulised organismid, mille ehitus oli tunduvalt lihtsam kui meile praegu tuntud lihtsaimatel üherakulistel organismidel. Järgmisel arenguetapil ilmusid juba elusa mateeria rakulised vormid. Need olid tõenäoliselt mingid veel üsna algeliselt organiseerunud üherakulised vormid, mis järgmisel, veelgi kõrgemal evolutsiooni astmel andsid alguse hulkraksetele organismidele.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Miks loetakse viiruseid mitterakulisteks organismideks? Nimetage viiruste poolt põhjustatavaid taimede, loomade ja inimese haigusi. Jutustage viiruste ehituse põhilistest iseärasustest. 2. Missugust osa etendavad mitterakulised vormid — viirused ja üherakulised organismid raku evolutsiooniprobleemi lahendamisel?

## 32. RAKU KEEMILINE KOOSTIS. VESI. ANORGAANILISED KOOSTISOSAD

Elavat rakku iseloomustab aktiivne keemiline tegevus. Neis toimuvad samaaegselt tuhanded keemilised reaktsioonid. Väliskeskkonnast siseneb rakku pideva vooluna aineid ning katkematult juhitakse rakust ümbritsevasse keskkonda heiteprodukte. Raku ühtedes osades toimub ainete lagundamine, teistes osades moodustuvad lihtsatest madalmolekulaarsetest ainetest keerulised kõrgmolekulaarsed ühendid.

Raku keemiline tegevus on tema elu alus, tema arengu ja talitluse peamine tingimus.

**Raku keemiline koostis.** Erinevad rakud sarnanevad üksteisega mitte ainult ehituselt, vaid ka keemiliselt koostiselt. See viitab rakkude põlvnemise ühtsusele.

Andmed rakkude elementaarsest koostisest on esitatud tabelis.

Keemiliste elementide sisaldus rakus (protsentides)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Hapnik | 65—75 | Väävel | 0,15—0,20 |
| Süsinik | 15—18 | Fosfor | 0,20—1,00 |
| Vesinik | 8—10 | Kloor | 0,05—0,10 |
| Lämmastik | 1,5—3,0 | Magneesium | 0,02—0,03 |
| Kaalium | 0,15—0,4 | Naatrium | 0,02—0,03 |
| Kaltsium | 0,04—2,00 | Vask | 0,0002 |
| Raud | 0,01—0,015 | Jood | 0,0001 |
| Tsink | 0,0003 | Fluor | 0,0001 |

Nagu tabelist nähtub, kuulub rakkude koostisse palju erinevaid elemente. Mendelejevi perioodilisuse süsteemi 104 elemendist on rakkudes avastatud umbes 60. Tuleb rõhutada, et elus rakk koosneb nendestsamadest elementidest, mis eluta objektidki. See viitab elusa ja eluta looduse seosele ja ühtsusele.

Rakkude koostisse kuuluvad elemendid võib jagada kolme rühma. Esimesse rühma kuulub 4 elementi: hapnik, süsinik, vesinik ja lämmastik. Nende elementide sisaldus rakus on kõige suurem. Nende arvele tuleb peaaegu 98% kogu raku koostisest. Järgmise rühma moodustavad elemendid, mille sisaldust rakus mõõdetakse protsendi kümnendike ja sajandikega. Selliseid elemente on 8: kaalium, väävel, fosfor, kloor, magneesium, naatrium, kaltsium ja raud. Summaarselt moodustavad need umbes 1,9%. Kolmandasse rühma kuuluvad kõik ülejäänud elemendid. Neid sisaldub rakus äärmiselt väikestes kogustes (alla 0,01%). Sellepärast nimetatakse neid *mikroelementideks*.

Erinevusi atomaarsel tasemel orgaanilise ja anorgaanilise maailma keemilise koostise vahel ei ole. Erinevused ilmnevad kõrgemal — organisatsiooni molekulaarsel tasemel. Loomulikult ei ole mitte kõik rakus sisalduvad ühendid spetsiifilised elusale

loodusele. Sellised ained nagu vesi ja soolad on levinud ka väljaspool elusat. Kuid organismides ja nende elutegevuse produktides leiti juba ammu suur hulk süsiniku ühendeid, mis on iseloomulikud ainult organismidele. Sellepärast nimetataksegi neid ühendeid orgaanilisteks. Rakus avastatud põhiliste keemiliste ühendite sisaldus on toodud tabelis.

Keemiliste ühendite sisaldus rakus (protsentides)

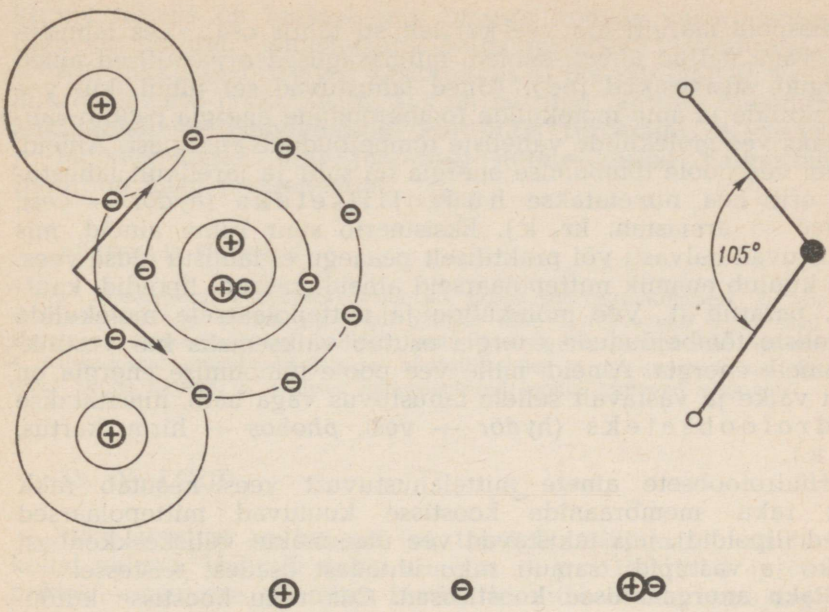
| | | | |
|---|---|---|---|
| Vesi | 70—85 | Nukleiinhapped | 1—2 |
| Valgud | 10—20 | ATP ja teised madalmolekulaarsed orgaanilised ained | 0,1—0,5 |
| Rasvad | 1—5 | | |
| Süsivesikud | 0,2—2,0 | Anorgaanilised ained | 1,0—1,5 |

**Vesi.** Tabelist on näha, et raku ainete seas on esikohal vesi. Veesisaldus on erinevates rakkudes kõikuv; tavaliselt moodustab see umbes 80% nende kaalust. Raku suur veesisaldus on tema elulise aktiivsuse vajalikuks tingimuseks. Mida rohkem on rakus vett, seda intensiivsem on raku elutegevus. Nii on inimese ja loomade loote kiiresti kasvavate rakkude veesisaldus umbes 95%. Täiskasvanud organismi rakkudes on vett kuni 80%, vanaduses langeb see aga 60%-ni. Kõrge aktiivsusega ajurakud sisaldavad umbes 85% vett, väheaktiivsete rasvkoerakkude veesisaldus aga ei ületa 40%. Vee kaotamise tagajärjel saabub surm varem, kui toidu puudumise tõttu. Kaalu kaotus vee arvel üle 20% on inimesele surmav.

Vee osa rakus on suur ja mitmekesine. Vesi määrab rakkude paljud füüsikalised omadused — nende mahu ja elastsuse. Väga oluline on vee kui lahusti osa. Paljud ained sisenevad rakku vesilahusena ning vesilahusena viiakse välja ka heitproduktid. Enamik rakus toimuvaid keemilisi reaktsioone võib aset leida ainult vesilahuses. Vesi võib otseselt võtta osa paljudest rakus toimuvatest keemilistest reaktsioonidest. Nii näiteks toimub valkude, rasvade, süsivesikute ja teiste ainete lõhustumine nende ainete ja vee vastastikuse keemilise toime tulemusena. Ja lõpuks, veel on oluline osa soojuse jaotumisel ja eraldumisel rakus.

Vee bioloogiliste omaduste mõistmiseks on vaja vaadelda mõningaid tema molekulisisese struktuuri iseärasusi.

Röntgenstruktuuranalüüsi andmetel asetsevad vee molekulis mõlemad vesiniku aatomid võrdsel kaugusel hapniku aatomist (0,99 Å), kuid mitte sellega ühel joonel, vaid moodustades nurga 105° (joon. 83). Tervikuna on vee molekul elektriliselt neutraalne, kuid molekuli sees on laeng jaotunud ebaühtlaselt: vesiniku aatomite pool on ülekaalus positiivne laeng; hapniku aatomi pool aga on tunduvalt suurem negatiivse laengu tihedus. Vee osake on seega polaarne, s. t. omab kahte poolust: positiivset ja negatiivset. Vee struktuuri selline omapära selgitab tema võimet




JOON. 83. Vee molekuli ehituse skeem.

tõmbuda erinevat laengut kandvate molekulide ja molekuli osade poole, mille tulemusena moodustuvad hüdraadid. Võimega moodustada hüdraate seletuvad vee kui suurepärase lahusti omadused.

Vee molekulide polaarsusega on seotud tema võime moodustada vesiniksidemeid. Vesinikside tekib vee molekuli prootoni tõmbumise tulemusena naabermolekuli hapniku aatomi vaba elektronpaari poole. Vedelas olekus vee molekulide vahelised sidemed kord tekivad, kord kaovad molekulide soojusliikumise tõttu. Jahtumisel, mil soojusliikumise energia jääb väiksemaks vesiniksidemete energiast, moodustuvad sidemed kõikide vee molekulide vahel. Tekib korrapärane, jääle iseloomulik kuuenurkne molekulaarne struktuur.

Vesiniksidemete moodustumine vee molekulide vahel mõjutab oluliselt mitmeid vee omadusi.

Vee suur erisoojus seletub vesiniksidemete lõhkumiseks vajaliku energia neeldumisega. See on oluline raku soojusregulatsioonil. Väliskeskkonna temperatuuri langemisel või tõusmisel eraldub või neeldub soojus vee molekulidevaheliste vesinikside-mete katkemise või taastekkimise tõttu. Sel viisil vähenevad temperatuuri kõikumised raku sisemuses, vaatamata teravatele temperatuuri muutustele väliskeskkonnas.

Eespool märgiti ära vee kui lahusti tähtis osa. Vees lahustuvad väga paljud ained: soolad, mitmesugused orgaanilised ained (valgud, süsivesikud jne.). Ained lahustuvad sel juhul, kui vee molekulide ja aine molekulide tõmbejõudude energia osutub suuremaks vee molekulide vaheliste tõmbejõudude energiast. Aineid, millel vee poole tõmbumise energia on suur ja järelikult lahustuvus eriti hea, nimetatakse hüdrofiilseteks (*hydōr* — vesi, *phileō* — armastan, kr. k.). Eksisteerib suur rühm aineid, mis lahustuvad halvasti või praktiliselt peaaegu ei lahustu üldse vees. Siia kuulub enamik mittepolaarseid aineid: rasvad, lipoidid, kautšuk, parafiin jt. Vee molekulide ja mittepolaarsete molekulide vaheliste tõmbejõudude energia osutub väiksemaks kui vesiniksidemete energia. Aineid, mille vee poole tõmbumise energia on eriti väike ja vastavalt sellele lahustuvus väga halb, nimetatakse hüdrofoobseteks (*hydōr* — vesi, *phobos* — hirm, kartus, kr. k.).

Hüdrofoobsete ainete mittelahustuvust vees kasutab rakk ära: raku membraanide koostisse kuuluvad mittepolaarsed ained (lipoidid), mis takistavad vee üleminekut väliskeskkonnast rakku ja vastupidi, samuti raku ühtedest osadest teistesse.

**Raku anorgaanilised koostisosad.** Osa raku koostisse kuuluvatest keemilistest elementidest võtab osa orgaaniliste ühendite moodustamisest, teine osa esineb anorgaaniliste ainete kujul. Süsinikust, vesinikust ja hapnikust koosnevad süsivesikud ja rasvad. Peale nende elementide kuulub kõikide valkude ja nukleiinhapete koostisse veel lämmastik. Paljud valgud sisaldavad väävlit. Nukleiinhapete koostisosaks on fosfor, hemoglobiini koostisse kuulub raud, klorofüllis sisaldub magneesium, kilpnäärme hormooni türoksiini molekuli koostises esineb joodi, $B_{12}$-vitamiini koostisse kuulub koobalt jne.

Suur osa raku anorgaanilistest ainetest esineb sooladena. Katioonidest on kõige tähtsamad: $K^+$, $Na^+$, $Ca^{2+}$ ja $Mg^{2+}$; aniioonidest: $HPO_4^{2-}$, $H_2PO_4^-$, $Cl^-$ ja $HCO_3^-$.

Raku katioonide ja anioonide sisaldus erineb alati tunduvalt nende sisaldusest raku elukeskkonnas. Nii on rakus küllaltki kõrge kaaliumi ja väga madal naatriumi sisaldus. Rakku ümbritsevas keskkonnas — vereplasmas, merevees — on vähe kaaliumi, kuid naatriumi kontsentratsioon on küllaltki kõrge. Lihaste rakkudes on kaaliumi sisaldus 30 korda suurem kui veres, aga naatriumi sisaldus 10 korda väiksem. Kuni rakk on elus, püsib see $K^+$ ja $Na^+$ kontsentratsioonide erinevus raku ja keskkonna vahel kindlalt. Pärast raku surma $K^+$ ja $Na^+$ sisalduse erinevus raku ja keskkonna vahel ühtlustub kiiresti.

Anorgaaniliste ioonide sisaldus rakus ja teda ümbritsevas keskkonnas on raku normaalseks funktsioneerimiseks olulise tähtsusega. Ioonide puudumisel kaotab rakk erutuvuse ja hukkub.

Mineraalaineid esineb rakus peale lahustunud oleku ka tahkel

kujul; näiteks on luukoe ning limuste kodade vastupidavus ja tugevus tingitud lahustumatu kaltsiumfosfaadi sisaldusest.

Kui rakku ümbritsevas keskkonnas ei ole piisavalt P, Fe, Mg, mikroelemente I, Co, Zn jt., siis on häiritud tähtsate ühendite — nukleiinhapete, hemoglobiini, klorofülli, türoksiini, $B_{12}$-vitamiini jt. moodustumine, ning ilmnevad mitmesugused haigusnähud, pidurdub kasv ja arenemine.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Missugused 4 elementi esinevad rakus suurimas koguses? 2. Mis on mikroelemendid ja milline on nende tähtsus raku elutegevuses? 3. Millised vee struktuuri iseärasused on olulised tema bioloogilise osatähtsuse mõistmisel? 4. Missuguseid aineid nimetatakse hüdrofiilseteks ja missuguseid hüdrofoobseteks? Tooge näiteid. 5. Millised anorgaanilised ioonid esinevad rakkudes?

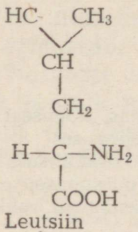
## 33. VALGUD

Raku ainetest on hulgalt (vt. tabel lk. 149) ja tähtsuselt esikohal valgud. Valkude teine nimetus — p r o t e i i n i d (*prōteios, prōtos* — esimene, peamine, kr. k.), kinnitab nende esmajärgulist tähtsust elusorganismides.

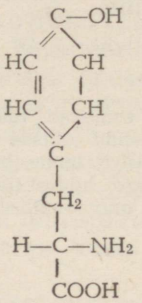
Erinevalt tavaliselt esinevatest orgaanilistest ainetest on valkudel rida olulisi erinevusi. Eelkõige on neil tohutu suur molekulkaal. Sellise orgaanilise aine nagu etüülpiirituse molekulkaal on 46, äädikhappel — 60, bensoolil — 78 jne. Ühe munavalgu molekulkaal on aga 36 000; ühe lihasevalgu molekulkaal küünib kuni 1 500 000. On selge, et võrreldes piirituse, bensooli ja paljude teiste orgaaniliste ühendite molekulidega on valgu molekul hiiglane. Tema koostises esinevad tuhanded aatomid. Selleks, et alla kriipsutada sellise molekuli hiiglaslikke mõõtmeid, nimetatakse seda tavaliselt makromolekuliks (*makros* — pikk, suur, kr. k.).

Orgaaniliste ühendite seas on valgud kõige keerukamad. Nad kuuluvad polümeerideks nimetatavate ühendite rühma. Iga polümeeri molekul kujutab endast pikka ahelat, milles palju kordi kordub üks ja seesama suhteliselt lihtne struktuur, mida nimetatakse monomeeriks. Kui tähistada monomeeri tähega A, siis võib polümeeri struktuuri kujutada järgmiselt: A—A—A—A—A—A. Looduses esineb peale valkude veel palju teisi polümeere, näiteks: tselluloos, tärklis, kautšuk, nukleiinhapped jt. Viimastel aastatel on keemikud loonud palju kunstlikke polümeere: polüetüleen, kapron, lavsaan jt. Enamik looduslikke ja kõik kunstlikud polümeerid on ehitatud ühesugustest monomeeridest ja nende struktuur on just selline, nagu eespool toodud skeemil. *Erinevalt tavalistest polümeeridest on valgud ehitatud struktuurilt küll sarnastest, kuid mitte päris ühesugustest monomeeridest.*

Valgu monomeerideks on aminohapped. Valgu polümeeride koostises on leitud 20 erinevat aminohapet. Igal aminohappel on eriline ehitus, omadused ja nimetus. Selleks, et mõista, milles seisneb sarnasus aminohapete vahel ja mille poolest nad üksteisest erinevad, toome järgnevalt leutsiini ja türosiini struktuurvalemid:

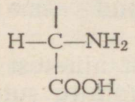


Leutsiin



Türosiin

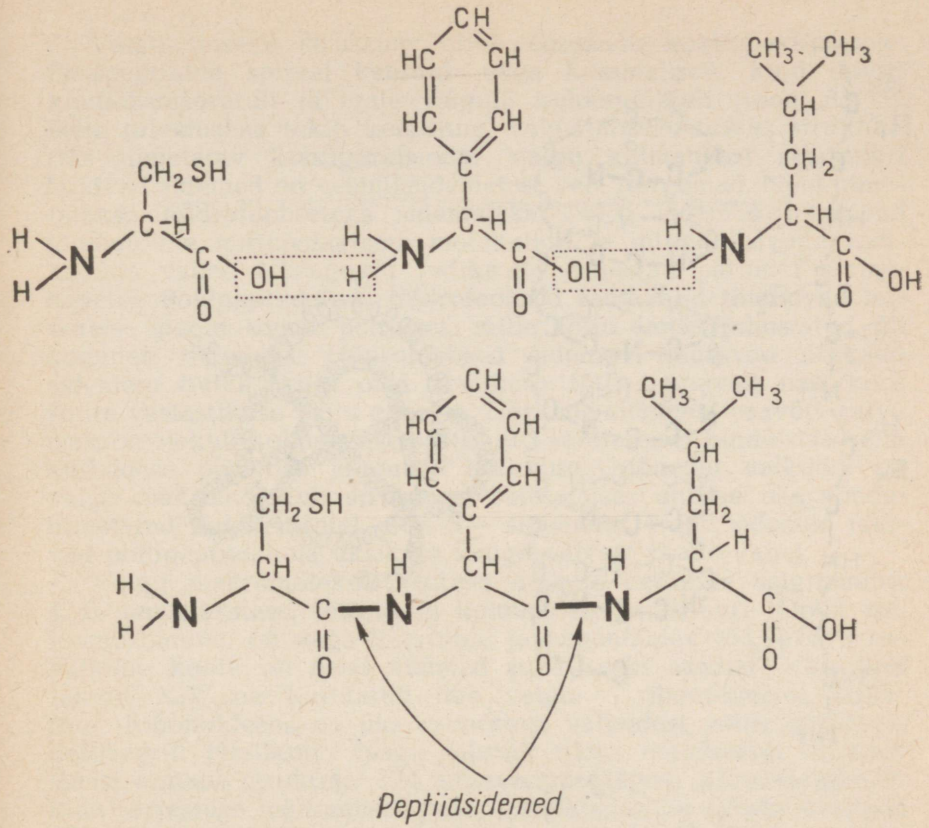
Nagu nähtub valemist, on igas aminohappes ühesugune rühmitus:




Sellesse kuulub aminorühm ($NH_2$) ja karboksüülrühm (COOH). Nende mõlema rühma esinemine aminohapetes annab neile amfoteersed omadused, kuna aminorühmale on omased aluselised (leeliselised), karboksüülrühmale happelised omadused. Amino- ja karboksüülrühma sisaldusega aminohapete vaheline sarnasus piirdubki. Molekuli ülejäänud osa on neil erinev ja seda nimetatakse radikaaliks.

Erinevate aminohapete radikaalid on kõige erinevamad; ühtedel — süsivesinike ahelad, teistel — benseenituum jne.

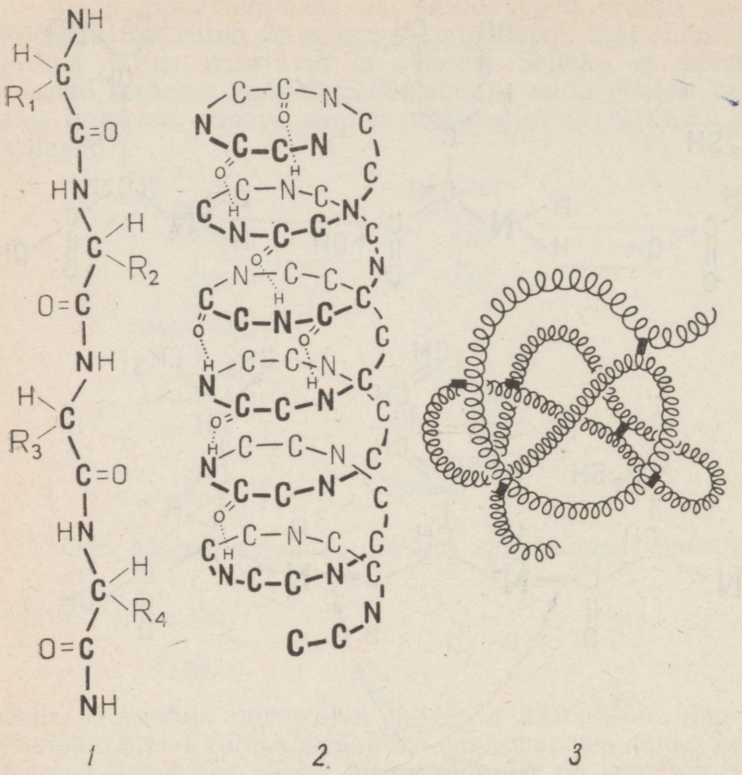
Valgulise polümeeri moodustumisel toimub aminohapete seostumine neile kõigile ühiste rühmade kaudu nii, nagu näidatud joonisel 84. Ühe aminohappe aminorühma ja teise aminohappe karboksüülrühma arvel eraldub vee molekul ning vabanevate valentside kaudu ühinevad aminohapete jäägid. Ühinenud aminohapete vahel tekib side NH—CO, mida nimetatakse peptiidsidemeks ja moodustunud ühendit peptiidiks. Kahest aminohappest moodustub dipeptiid (dimeer), kolmest aminohappest tekib samal viisil tripeptiid (trimeer), paljudest aminohapetest — polüpeptiid (polümeer). Looduslik valk kujutabki endast polüpeptiidi, s. t. mitmekümnest või sadadest aminohappe lülidest koosnevat ahelat. Valgud erinevad üksteisest nii aminohappeliselt koostiselt, aminohappeliste lülide




JOON. 84. Valgu molekuli fragmendi moodustumise skeem.

arvult kui ka aminohapete järjestuselt ahelas. Kui tähistada iga aminohapet tähega, saame 20 tähega tähestiku. Püüdke nüüd koostada neist tähtedest 100-, 200-, 300-tähelisi fraase. Iga selline fraas vastabki mingisuguselé kindlale valgule. Piisab, kui paigutada ümber üks täht, ning fraasi mõte muutub, saadakse uus fraas ja vastavalt sellele uus valgu isomeer. Kergesti võib endale ette kujutada, missugune tohutu arv variante sealjuures võib esineda. Ja tõesti, loomade ja taimede kudedes leiduvate erinevate valkude arv on erakordselt suur.

**Valgu molekuli ehitus.** Kui arvestada, et iga aminohappelise lüli suurus on ligikaudu 3 Å, on ilmne, et sadadest aminohappelistest lülidest koosnev valgu makromolekul peaks endast kujutama pikka niiti. Tegelikkuses aga on valgu makromolekulid kerakujulised gloobulid (*globulus* — kerake, lad. k.). Järelikult on natiivse (*nativus* — loomulik, lad. k.) valgu polüpeptiidahel mingil moel keerdunud, kuidagi kokku pakitud. Uurimused näi-




JOON. 85. Valgu molekuli erinevad organisatsioonitasemed.

tavad, et polüpeptiidahelate kokkupakkimisel ei ole midagi juhuslikku või kaootilist, igale valgule on omane kindlaksmääratud, alati ühesugune kokkupakkimise viis. Valgu makromolekuli keerulises struktuuris eristatakse mitmeid organisatsiooni tasemeid. Esimeseks, kõige lihtsamaks, on polüpeptiidniit ise, s. o. omavahel peptiidsidemetega ühendatud aminohappeliste lülide ahel (joon. 85, 1). Seda nimetatakse valgu *esmaseks struktuuriks;* temas on kõik sidemed kovalentsed, s. o. kõige püsivamad keemilised sidemed. Järgmiseks, kõrgemaks organisatsiooni tasemeks on *teisene struktuur*, kus valgu niit keerdub spiraalikujuliselt. Spiraali keerud asetsevad tihedalt ja naaberkeerdudel paiknevate aatomite ja aminohapete radikaalide vahel tekivad tõmbejõud. Iseäranis naaberkeerdudel paiknevate peptiidsidemete vahel moodustuvad vesiniksidemed (NH- ja CO-rühmade vahel). Arvukate vesiniksidemetega kokkuliidetud polüpeptiidne spiraal kujutab küllaltki püsivat struktuuri (joon. 85, 2).

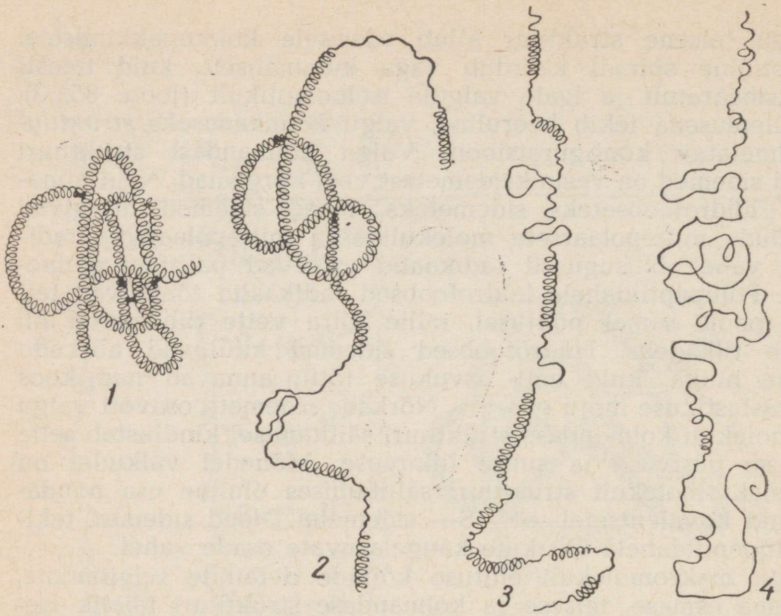
Valgu teisene struktuur allub edasisele kokkupakkimisele. Polüpeptiidne spiraal keerdub väga kummaliselt, kuid täiesti kindlaksmääratult ja igale valgule iseloomulikult (joon. 85, 3). Selle tulemusena tekib keeruline, valgu *kolmandaseks struktuuriks* nimetatav konfiguratsioon. Valgu kolmandast struktuuri hoidvad sidemed on vesiniksidemetest veel nõrgemad. Neid nimetatakse hüdrofoobseteks sidemeteks. Need sidemed märgivad tõmbejõude mittepolaarsete molekulide ja mittepolaarsete radikaalide vahel. Niisugused radikaalid esinevad paljudel aminohapetel. Polüpeptiidahela hüdrofoobsed radikaalid tõmbuvad teineteise poole samal põhjusel, mille tõttu vette pihustatud õli koguneb tilkadeks. Hüdrofoobsed sidemed kuuluvad nõrkade sidemete hulka, kuid oma arvukuse tõttu annavad nad koos suure vastastikuse mõju energia. Nõrkade sidemete osavõtt valgu makromolekuli kolmandase struktuuri säilitamisel kindlustab selle küllaldase püsivuse ja suure liikuvuse. Mõnedel valkudel on valgu makromolekuli struktuuri säilitamises oluline osa nõndanimetatud kovalentsetel —S—S— sidemetel. Need sidemed tekivad polüpeptiidahela üksikute kaugelasuvate osade vahel.

Valgu makromolekuli ehituse kõikide detailide selgitamine, s. o. tema esmase, teisese ja kolmandase struktuuri täielik iseloomustamine, on väga keeruline ja aeganõudev töö. Terve rea valkude kohta on need andmed juba siiski saadud. Värvilisel tahvlil XIV on kujutatud ühe valgu — ribonukleaasi struktuur. Ribonukleaas on üks esimestest valkudest, mille struktuur dešifreeriti täielikult[1]. Nagu tahvlilt näha, moodustub ribonukleaasi esmane struktuur 124 aminohappejäägist. Aminohappejääkide järjestuse määramisel polüpeptiidahelas on tavaks alustada $NH_2$-rühma sisaldavast aminohappest (ahela N-ots), viimaseks loetakse aminohape, mis on säilitanud karboksüülrühma (ahela C-ots). Sel viisil on ribonukleaasi järjekorras esimene aminohape lüsiin, teine — glutamiinhape jne. On küllaldane, kui kõrvaldada või ümber paigutada ahelas üks aminohape ja ribonukleaasi asemel tekib uus valk teiste omadustega.

Lihtsuse mõttes ei ole tahvlil näidatud, kuidas polüpeptiidahel keerdub spiraaliks ning kolmandane struktuur on kujutatud joonise tasapinnas. Pöörake tähelepanu sidemetele 26. ja 87., 66. ja 73., 56. ja 111. ning 40. ja 97. aminohappe vahel. Nendes kohtades moodustuvad polüpeptiidahelas üksteisest eemalasuvates osades tsüsteiini vahel —S—S— sidemed.

**Valgu denaturatsioon.** Mida kõrgem on valgu organisatsiooni tase, seda nõrgemad on teda koos hoidvad sidemed. Mitmesuguste füüsikaliste ja keemiliste faktorite (kõrge temperatuur, keemiliste

[1] Ribonukleaas sünteesiti 1969. a. Fermendi ahelat kasvatati ühe aminohappejäägi kaupa. Kui ahel oli sünteesitud, siis ta keerdus iseenesest gloobuliks ja omandas kõik natiivse fermendi omadused.




JOON. 86. Valgu denaturatsiooni skeem.

ühendite toime, kiirgusenergia jt.) mõjul nõrgad sidemed katkevad, valgu kolmandane ja teisene struktuur deformeeruvad, lagunevad ning tema omadused muutuvad. Valgu natiivse unikaalse struktuuri lõhustumist nimetatakse denaturatsiooniks. Valgu denaturatsiooni aste sõltub temale mõjuvate erinevate faktorite toime intensiivsusest: mida intensiivsem on toime, seda täielikum on denaturatsioon.

Nõrga toime korral võivad valgu muutused piirduda kolmandase struktuuri osalise lahtikeerdumisega. Tugevama toime korral võib makromolekul täielikult lahti keerduda ja säilib ainult esmane struktuur (joon. 86).

Erinevad valgud erinevad üksteisest suuresti denatureerumise poolest. Munavalgu denaturatsioon toimub näiteks 60—70 °C juures, aga lihaste kontraktsiooni valk denatureerub umbes 45 °C juures. Paljud valgud denatureeruvad keemiliste ainete tühiste kontsentratsioonide mõjul ning mõned isegi vaevaltmärgatava mehhaanilise toime tagajärjel.

Nagu näitavad uurimused, on denaturatsiooniprotsess pöörduv, s. o. denatureerunud valk võib uuesti muutuda natiivseks. Isegi täielikult lahtikeerdunud valgu makromolekul on võimeline taastama oma struktuuri. Siit järeldub, et *natiivse valgu makromolekuli ehituse kõik iseärasused määratakse tema esmase struktuuriga*, s. o. aminohappelise koostisega ja aminohapete järjestusega ahelas.

**Valkude osa rakus.** Valkude tähtsus elus on suur ja mitmetahuline. Esimesel kohal on valkude katalüütiline funktsioon. Keemilise reaktsiooni kiirus sõltub reageerivate ainete loomusest ja nende kontsentratsioonist. Rakkudes esinevate ainete keemiline aktiivsus on tavaliselt väike. Nende kontsentratsioonid rakkudes on suuremalt osalt tühised. Seega peaksid rakus toimuvad reaktsioonid kulgema väga aeglaselt. Sealjuures on teada, et keemilised reaktsioonid rakkudes toimuvad aga küllalt kiiresti. See sõltub katalüsaatorite olemasolust rakus. Raku kõik katalüsaatorid on valgud. Neid nimetatakse biokatalüsaatoriteks, sagedamini nimetatakse neid aga fermentideks. Fermentide katalüütiline aktiivsus on ebatavaliselt suur. Nii näiteks ferment katalaas, mis katalüüsib vesinikülihapendi lagunemisreaktsiooni, kiirendab seda reaktsiooni $10^{11}$ korda. Keemilise struktuuri poolest ei erine fermendid mitte millegagi fermentatiivseid funktsioone mitteomavatest valkudest: nii ühed kui teised on ehitatud tavalistest aminohapetest, nii ühtedel kui teistel on teisene ja kolmandane struktuur jne. Enamikel juhtudel fermendid katalüüsivad ainete muutumisi, mille molekulide mõõtmed võrreldes fermentide makromolekulidega on väga väikesed. Näiteks ferment katalaasi molekulkaal on umbes 100 000, aga vesinikülihapendi, mille lagunemist katalaas katalüüsib, molekulkaal on kõigest 34. Selline suhe fermendi ja tema substraadi (aine, millele ferment mõjub) mõõtmete vahel viib mõttele, et fermentide katalüütiline aktiivsus ei määrata ära mitte kogu molekuli, vaid fermendi molekuli mingi väikese osa poolt. Seda osa nimetatakse fermendi aktiivtsentriks. Nähtavasti kujutab aktiivtsenter endast fermendi kolmandases struktuuris kõrvuti asetsevates polüpeptiidahelates paiknevate rühmade mingit kombinatsiooni. Selline ettekujutus seletab hästi seda fakti, et ferment kaotab denaturatsioonil oma katalüütilise aktiivsuse. On ilmne, et kolmandase struktuuri rikkumisel polüpeptiidahelate vastastikune asend muutub, aktiivtsentri struktuur moondub ja fermendi aktiivsus kaob. Peaaegu igat keemilist reaktsiooni rakus katalüüsib temale spetsiifiline ferment. Aktiivtsentri struktuur ja substraadi struktuur vastavad teineteisele täielikult. Nad sobivad teineteisele selliselt, nagu võti sobib lukule. Fermendi aktiivtsentri struktuuri ja substraadi struktuuri ruumilise vastavuse tõttu võivad nad omavahel tihedalt ligineda, mis kindlustabki nendevahelise reaktsiooni võimaluse.

Peale signaalse ja katalüütilise funktsiooni on väga tähtis valkude liikumisfunktsioon. Kõiki liikumise liike, milleks rakud ja organismid on võimelised, — lihaste kokkutõmbumine kõrgematel loomadel, ripsmete liikumine ainuraksetel, liigutamisreaktsioonid taimedel (näiteks mimoosil) jt. — täidavad erilised kontraktsioonivalgud.

Valkudel on veel transportfunktsioon. Verevalk

hemoglobiin seob hapnikku ja kannab seda mööda kogu keha laiali.

Võõraloomuliste ainete või rakkude manustamisel organismi algab temas eriliste, antikehadeks nimetatavate valkude tootmine, mis seovad ja muudavad kahjutuks võõraloomulisi aineid. Sellisel juhul täidavad valgud kaitsefunktsiooni.

Oluline on ka valkude kui energiaallika osa mitmesuguste rakulise aktiivsuse vormide elluviimisel. Valgud lõhustuvad rakkudes kuni aminohapeteni. Osa aminohapetest kasutatakse valkude sünteesil, teine osa allutatakse täielikule lõhustumisele, mille käigus vabaneb energia. 1 g valgu lõhustumisel vabaneb 17,6 kJ (4,2 kcal).

Ja lõpuks esindavad valgud raku struktuurset materjali. Valgud võtavad osa raku väliskesta ja rakusiseste membraanide ehitusest. Kõrgematel organismidel on valkudest moodustunud veresooned, silma sarvkest, kõõlused, kõhred, juuksed.

*Nii on valkudel peale katalüütilise, liikumis-, transport-, kaitse- ja energeetilise funktsiooni veel struktuurne funktsioon*

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Mille poolest erinevad valgud kui polümeerid teistest polümeeridest, näiteks tärklisest või tselluloosist? 2. Mida nimetatakse valgu esmaseks, teiseseks ja kolmandaseks struktuuriks? Millised sidemed hoiavad koos neid struktuure? 3. Mida nimetatakse valgu denaturatsiooniks? 4. Millele tuginedes tullakse järeldusele, et kõik valgu struktuuri iseärasused määratakse ära tema esmase struktuuri poolt? 5. Mida nimetatakse fermendiks? 6. Mida nimetatakse fermendi aktiivtsentriks? 7. Iseloomustage valkude tähtsust elavas looduses.

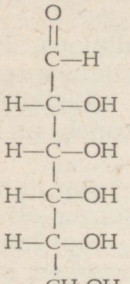
## 34. SÜSIVESIKUD

Loomarakkudes on süsivesikuid vähe — umbes 1% (kuivainest). Süsivesikute sisaldus on kõrgem maksa ja lihaste rakkudes (kuni 5%). Eriti rikkad on süsivesikute poolest taimerakud. Lehtedes, seemnetes, kartulimugulates jne. moodustavad süsivesikud peaaegu 90%.

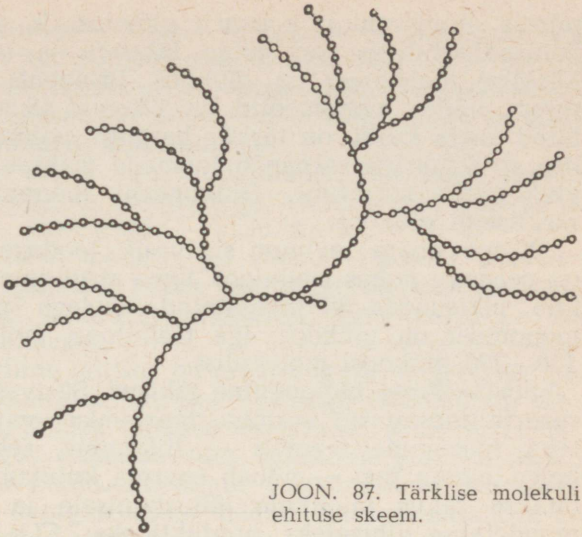
Süsivesikud on orgaanilised ühendid, mille koostisse kuuluvad süsinik, vesinik ja hapnik.

Süsivesikud jagatakse liht- ja liitsüsivesikuteks. Lihtsüsivesikuid nimetatakse monosahhariidideks, liitsüsivesikuid — polüsahhariidideks. Polüsahhariidid on polümeerid, milles monomeeride osas esinevad monosahhariidid.

Monosahhariidid. Et saada ettekujutust monosahhariidide keemilisest ehitusest, esitame näitena ühe monosahhariidi struktuurvalemi:



Heksoos



JOON. 87. Tärklise molekuli ehituse skeem.

Monosahhariidide nimetustes esineb lõpp «-oos». Sõna tüveks on C-aatomite arv molekulis või mingi monosahhariidi omadus. Nii näiteks nimetused «trioos», «tetroos», «pentoos», «heksoos» jne. märgivad süsiniku aatomite arvu monosahhariidi molekulis, aga «glükoos» — selle monosahhariidi magusat maitset (*glykys* — magus, kr. k.), «fruktoos» — selle monosahhariidi esinemist puuviljades (*fructus* — vili, lad. k.).

Kõik monosahhariidid on värvitud ained, lahustuvad hästi vees ja peaaegu kõik on meeldiva magusa maitsega.

Kõige levinumad monosahhariidid on heksoosid, pentoosid ja trioosid. Heksoosidest on eriti tähtsad glükoos, fruktoos ja galaktoos. Glükoos ja fruktoos esinevad vabas olekus paljudes saadustes. Paljude puuviljade ja marjade, samuti mee magus maitse sõltub sellest, et neis on glükoosi ja fruktoosi. Glükoosi on ka veres (0,1%). Glükoos, fruktoos ja galaktoos kuuluvad paljude di- ja polüsahhariidide koostisse. Pentoosidest on tähtsad riboos ja desoksüriboos. Kumbagi neist ei esine vabas olekus. Nad kuuluvad nukleiinhapete ja ATP koostisse.

**Polüsahhariidid.** Kahest monosahhariidist moodustub disahhariid, kolmest — trisahhariid, paljudest — polüsahhariid. Di- ja trisahhariidid on nagu monosahhariididki vees hästi lahustuvad, magusa maitsega. Monomeersete lülide arvu suurenemisega polüsahhariidide lahustuvus väheneb, magus maitse kaob.

Disahhariididest on kõige tuntum harilik suhkur, mida nimetatakse sageli roosuhkruks, peedisuhkruks või sahharoosiks. Sahharoos koosneb glükoosi molekulist ja fruktoosi molekulist. Laialt on levinud piimasuhkur, mis sisaldub kõikide imetajate

piimas. Piimasuhkur koosneb glükoosi ja galaktoosi molekulist. Polüsahhariididest on kõige tähtsam ja laialt levinud tärklis. Tärklise monomeer on glükoos. Erinevalt tavalistest polümeeridest, milles monomeerid on liitunud üksteise järel väljavenitatud ahela kujul, on tärklis hargnev polümeer (joon. 87). Tärklise struktuuriga sarnaneb loomade maksas ja lihastes sisalduva glükogeeni struktuur. Glükogeeni monomeer on samuti kui tärkliselgi glükoos.

Kõige enam levinum süsivesik looduses on tselluloos. Puit on peaaegu puhas tselluloos. Oma struktuurilt on tselluloos tavaline pikisuunas väljavenitatud ahelaga polümeer. Tselluloosi monomeer on glükoos: iga tselluloosi molekul koosneb umbes 150—200 glükoosi molekulist.

**Süsivesikute bioloogiline tähtsus.** Süsivesikud on raku aktiivsuse mitmesuguste vormide teostamisel vajaliku energia allikateks. Igasugune tegevus — liikumine, sekretsioon, biosüntees, helendumine jne. — nõuab energia kulutamist. Süsivesikud allutatakse rakus täielikule lõhustumisele ja hapendumisele ning muudetakse lihtsateks produktideks: $CO_2$-ks ja $H_2O$-ks. Selle protsessi käigus vabaneb energia. 1 g süsivesikute täielikul lõhustumisel ja hapendumisel vabaneb 17,6 kJ (4,2 kcal).

*Peale energeetilise funktsiooni täidavad süsivesikud ka ehitusfunktsiooni: tselluloosist koosnevad taimerakkude vaheseinad.*

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Millised süsivesikute tüübid esinevad rakus? 2. Iseloomustage süsivesikute bioloogilist tähtsust.

## 35. RASVAD JA LIPOIDID

Rakkude rasvasisaldus on tavaliselt väike ja moodustab 5—15% nende massist. Esineb aga rakke, mille rasvasisaldus ulatub kuni 90%-ni. Sellised rakud esinevad rasvkoes. Loomadel asub rasvkude naha all ja rasvikus. Kõigi imetajate piim sisaldab rasva, kusjuures mõnedel neist (delfiinil) ulatub piima rasvasisaldus 40%-ni. Paljudel taimedel on suur hulk rasva koondunud seemnetesse ja viljadesse, näiteks päevalillel ja kreeka pähklil.

*Rasvade kõige tähelepanuväärsem omadus on nende teravalt väljendunud hüdrofoobne iseloom,* s. o. lahustumatus vees. Rasvade lahustamiseks kasutatakse teisi lahusteid, näiteks bensiin, eeter, atsetoon.

Keemiliselt kujutavad rasvad endast kolmealuselise alkoholi — glütseriini — ühendeid kõrgmolekulaarsete orgaaniliste hapetega. Rasvas sisalduv glütseriini jääk on hüdrofiilsete omadustega, kõrgmolekulaarsete rasvhapete jäägid aga — kolm pikka süsivesinikahelat — teravalt hüdrofoobsed. Kui vee pinnale kanda rasvatilk, siis see valgub laiali, moodustades väga õhukese

kihi. On kindlaks tehtud, et sellises rasvakihis on vee pinna poole pööratud glütseriini hüdrofiilsed jäägid, aga veest välja ulatuvad püstandaiana süsivesinikahelad. Sel kombel muutub rasva molekulide asend vee keskkonnas iseenesest korrapäraseks ja määratakse rasva molekulaarse struktuuriga.

Peale rasva on rakus suur hulk aineid, mis nagu rasvadki on tugevalt hüdrofoobsete omadustega. Neid aineid nimetatakse lipoideideks (*lipos* — rasv, *eidos* — kuju, kr. k.).

Keemilise struktuuri poolest on mõned lipoidid rasvadega sarnased. Selliste lipoidide hulka kuuluvad näiteks fosfatiidid. Fosfatiide on leitud kõikidest rakkudest. Eriti palju on neid munarebus ja ajurakkudes.

Rasvade bioloogiline tähtsus on mitmesugune. Kõigepealt peab märkima tema kui energiaallika osa. Nii nagu süsivesikud, lõhustuvad ka rasvad rakkudes lihtsate ühenditeni ($CO_2$ ja $H_2O$) ja selle protsessi käigus vabaneb suur hulk energiat — 38,9 kJ (9,3 kcal) 1 g rasva kohta. Imetajate vastsündinutel on ainsaks toiduks piim. Piima energiarikkuse määrab ära rasvasisaldus. Loomad ja taimed koguvad rasvu varuks ja kulutavad seda vastavalt vajadusele. See on väga tähtis pikaajalisele toidupuudusele kohanenud loomade juures, näiteks külmal ajal talveunne jäävad loomad või pikaajalisi rännakuid läbi vähese toiduga maa-alade sooritavad loomad (kaamelid kõrbes). Seemnete suur rasvasisaldus on vajalik areneva taime energiaga varustamiseks, kuni tema juurestik pole veel tugevnenud ja funktsioneerima hakanud.

*Peale energeetilise funktsiooni täidavad rasvad ja lipoidid veel struktuurset ja kaitsefunktsiooni.* Rasvad ja lipoidid on vees mittelahustuvad. Nende väga õhukesed kihid kuuluvad rakumembraanide koostisse. See on takistuseks raku sisaldise ja väliskeskkonna segunemisel, aga samuti raku üksikute osade sisaldiste omavahelisel segunemisel.

Rasv on halb soojusjuht. Ta ladestub naha all, moodustades mõnedel loomadel (hülged, vaalad) suuri kogumikke, paksusega kuni üks meeter.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Millised rasvade ja lipoidide omadused eristavad neid teistest ainetest — raku koostisosadest? 2. Kuidas orienteeruvad rasva molekulid rasvatilga kandmisel vee pinnale? 3. Iseloomustage rasva bioloogilist tähtsust.

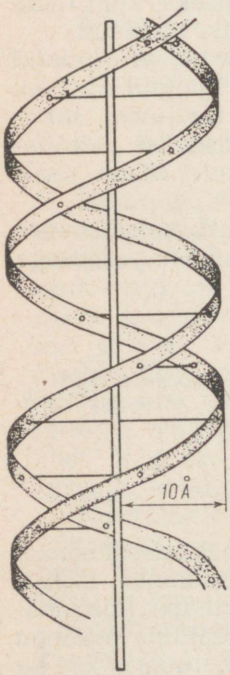
## 36. NUKLEIINHAPPED. ATP

Nukleiinhapped on saanud oma nimetuse ladinakeelsest sõnast *nucleus* — tuum: esmakordselt avastati nad rakutuumas. Esineb kahte tüüpi nukleiinhappeid: desoksüribonukleiinhape (lühendatult DNA) ja ribonukleiinhape (RNA). DNA sisaldub peaaegu eranditult rakutuumas, RNA-d võime leida nii rakutuumas kui ka

tsütoplasmas. DNA sisaldus raku tuumas on rangelt püsiv, RNA sisaldus kõigub tunduvalt.

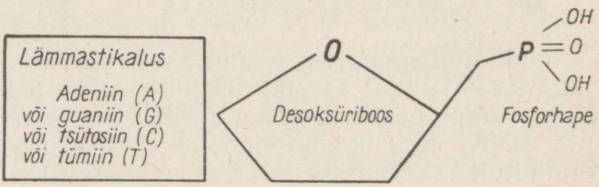
Nukleiinhapete bioloogiline tähtsus on väga suur. Neil on keskne osa rakuvalkude sünteesis. Iga rakk tekib emaraku pooldumise tulemusena. Sealjuures tütarrakud pärivad emaraku omadused ja tunnused. Need raku omadused ja tunnused on põhiliselt määratud tema valkude poolt. DNA ja RNA, nagu näeme edaspidi, *kindlustavad sama struktuuri ja koostisega valkude sünteesi, mis esinevad emarakuski.*

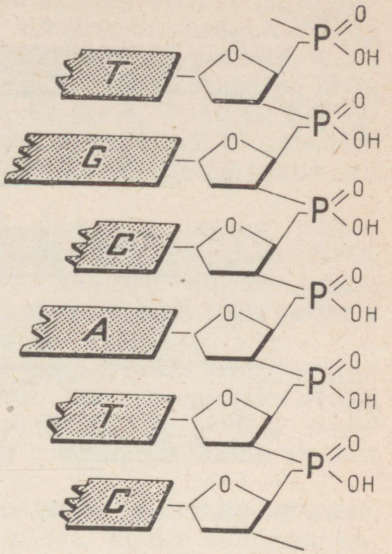
**DNA.** Oma struktuurilt kujutab DNA omapärast ühendit, mis ei sarnane ühegi teise keemiast tuntud ühendiga. Joonisel 88 näeme, et DNA molekul koosneb kahest spiraalselt teineteise ümber keerdunud ahelast. Sellise kaksikspiraali läbimõõt on ainult umbes 20 Å, selle-eest pikkus on tal erakordselt suur. See võib ulatuda mitmekümne ja isegi sadade mikromeetriteni. Et mõista toodud suurust, arvestame, et kõige suurema valgumolekuli pikkus (lahtikeerdunud olekus) ei ületa 0,1 μm. Järelikult on DNA molekuli pikkus sadu ja tuhandeid kordi suurem kõige suuremast valgumolekulist. Vastavalt sellele on hiiglaslik ka DNA molekulkaal: see ulatub kümnetesse ja isegi sadadesse miljonitesse. Need arvud käivad kaksikspiraali kohta. Üksiku ahela kohta tuleb pool kaalust.




JOON. 88. Kahest spiraalselt keerdunud polünukleotiidahelast koosneva DNA molekuli ehituse skeem.

JOON. 89. Nukleotiidi ehituse skeem.



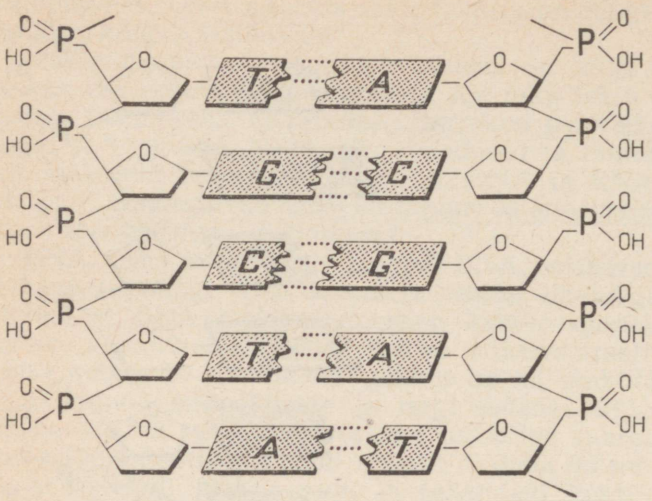



JOON. 90. Nukleotiidide ühinemine nukleotiidahelaks.

*Keemiliselt on iga DNA ahel polümeer, mille monomeeriks on niinimetatud nukleotiid.* Et saada ettekujutust nukleotiidi ehitusest, kasutame skeemi (joon. 89), millelt on näha, et nukleotiid on kolme erineva aine, lämmastikaluse, lihtsüsivesiku (pentoosi) ja fosforhappe keemilise ühinemise tulemus.

DNA koostisse kuuluvad neli erinevat nukleotiiditüüpi. Need erinevad üksteisest ainult lämmastikaluse struktuurilt. Ülejäänud molekuli osa on kõigil nukleotiididel ühesugune. Sellepärast nimetataksegi nukleotiide neis sisalduva lämmastikaluse järgi. Esimesel nukleotiidil nimetatakse lämmastikalust adeniiniks, selle järgi nimetatakse kogu nukleotiidi adeniinnukleotiidiks (lühendatult A). Teises nukleotiidis on lämmastikaluseks guaniin ja kogu nukleotiidi nimetatakse guaniinnukleotiidiks (G). Kolmandas nukleotiidis on lämmastikaluseks tümiin. Siit selle nukleotiidi nimetus — tümiinnukleotiid (T). Neljandas nukleotiidis on lämmastikaluseks tsütosiin ja nukleotiid ise — tsütosiinnukleotiid (C). Kõikides DNA nukleotiididdes sisalduvat süsivesikut nimetatakse desoksüriboosiks.

Nukleotiidide ühinemisel DNA ahelaks toimub nende omavaheline liitumine fosforhappe ja desoksüriboosi kaudu. Ühe nukleotiidi fosforhappe hüdroksüülrühma ja naabernukleotiidi desoksüriboosi hüdroksüülrühma arvel eraldub vee molekul ja nukleotiidide jäägid ühinevad püsiva kovalentse sidemega (joon. 90). Kahest nukleotiidist saadakse dinukleotiid, kolmest nukleotiidist — trinukleotiid, paljudest — polünukleotiid. Iga DNA ahel




JOON. 91. DNA struktuuri lõik. Nukleotiidide komplementaarne asetus.

kujutabki endast polünukleotiidi, s. o. pikka ahelat, milles nukleotiidid on iga DNA jaoks kindlas ja alati ühesuguses järgnevuses. On küllaldane, kui ümber paigutada kasvõi üksainus nukleotiid ja tekibki uus struktuur uute omadustega. Teeme lihtsa arvestuse. Ühe nukleotiidi molekulkaal on keskmiselt 330. DNA ühe ahela molekulkaalu võtame võrdseks 10 miljoniga. Siit järeldub, et selline ahel koosneb 30 000 nukleotiidist. Kuigi DNA ehitusest võtab osa ainult 4 tüüpi nukleotiide, on kerge ette kujutada, milline tohutu arv isomeere võib olla DNA-l, kuna igasse DNA ahelasse kuulub suur hulk nukleotiide.

Tutvume nüüd, kuidas asetsevad üksteise suhtes DNA ahelad spiraali moodustumisel ja millised jõud seovad ahelaid omavahel.

Joonisel 91 on kujutatud DNA kaksikspiraali lühike lõik. Ühe ahela lämmastikalused paiknevad täpselt teise ahela lämmastikaluste vastas. Pöörake tähelepanu sellele, et vastamisi asetsevate nukleotiidide asetuses ei ole midagi juhuslikku: ühe ahela A vastas on alati teise ahela T ja G vastas ainult teise ahela C. Mingeid teisi variante ei esine. See seletub sellega, et A ja T, samuti G ja C lämmastikaluste molekulide servad vastavad teineteisele geomeetriliselt (nii nagu pooleks murtud klaasi kaks poolt), selletõttu võivad nad tihedalt läheneda teineteisele ja moodustada omavahel vesiniksidemeid. Sealjuures G ja C vahel moodustub 3 vesiniksidet ning A ja T vahel ainult 2. See on ka põhjuseks, et side G—C on püsivam kui A—T. Nüüd on ka selge, miks öeldakse, et paaris A—T, samuti paaris G—C üks nukleotiid täiendab teist. Sõna «täiendus» on ladina keeles *complementum*. Sellepärast on tavaks öelda, et G on C-le komplementaar-

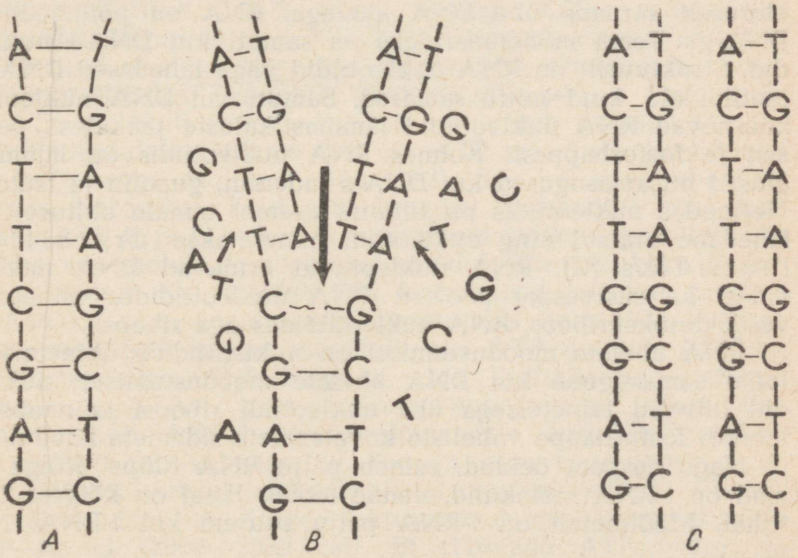
seks nukleotiidiks ja C on komplementaarseks G-le; A on komplementaarne T-le ja vastupidi, T on komplementaarne A-le. Kui DNA ahela mingil osal järgnevad üksteisele nukleotiidid A, G, G, C, T, A, C, C, siis tema vastas oleval teise ahela osal on neile komplementaarsed nukleotiidid T, C, C, G, A, T, G, G. Kui on teada nukleotiidide järjestus ühes ahelas, siis selgub komplementaarsuse printsiibi järgi otsekohe ka nukleotiidide järjestus teises ahelas.

Mitmekordselt korduvad nõrgad sidemed annavad püsiva ühenduse. Arvukate nõrkade vesiniksidemetega ühendatud DNA kaksikspiraal moodustab ühelt poolt küllaltki püsiva, teiselt poolt aga muutuva struktuuri: ta keerdub kergesti lahti ja taastab kergesti oma kaheniidilise struktuuri.

Peaaegu kogu DNA sisaldub raku tuumas. DNA sisaldus tuumas paistab silma konstantsuse poolest. Inimese iga raku (välja arvatud suguraku) tuumas sisaldub $6{,}6 \times 10^{-12}$ g DNA-d, sugurakkude (munarakud, spermatosoidid) tuumades sisaldub DNA-d täpselt kaks korda vähem — $3{,}3 \times^{-12}$ g.

**DNA replikatsioon.** DNA struktuuri aluseks olev komplementaarsuse printsiip annab võimaluse mõista, kuidas sünteesitakse raku jagunemisel uued DNA molekulid.

See süntees põhineb DNA võimel kahekordistuda ja on aluseks pärilike omaduste edasiandmisel emarakult tütarrakkudele. DNA molekuli kahestumise protsess toimub rakus vahetult enne selle jagunemist.




JOON. 92. DNA replikatsiooni skeem

Kuidas see toimub, on näidatud joonisel 92. Kaheniidiline DNA spiraalahel hakkab ühest otsast hargnema ja iga ahel ehitab ümbritsevas keskkonnas leiduvatest vabadest nukleotiididest uue ahela. Uue ahela montaaž toimub täpses vastavuses komplementaarsuse printsiibile. Iga A vastu asetub T, iga G vastu C ja nii edasi. Selle tulemusel tekib ühe DNA molekuli asemel kaks lähtemolekuliga täpselt samasuguse nukleotiidse koostisega molekuli. Seda protsessi nimetatakse replikatsiooniks, s. o. kahekordistamiseks. Üks ahel igas vastmoodustunud DNA molekulis on päritud lähtemolekulist, teine uuesti sünteesitud.

DNA süntees kujutab endast fermentatiivset protsessi. See toimub erilise fermendi — DNA-polümeraasi tegevuse tulemusena. DNA annab vaid nukleotiidide paiknemise järjestuse, replikatsiooniprotsessi viib läbi valk-ferment. Arvatakse, et valk-ferment otsekui «roomab» mööda pikka kaheniidilist DNA molekuli ahelat ühest otsast teise, jättes enda järel kahestunud molekuli osa (joon. 92).

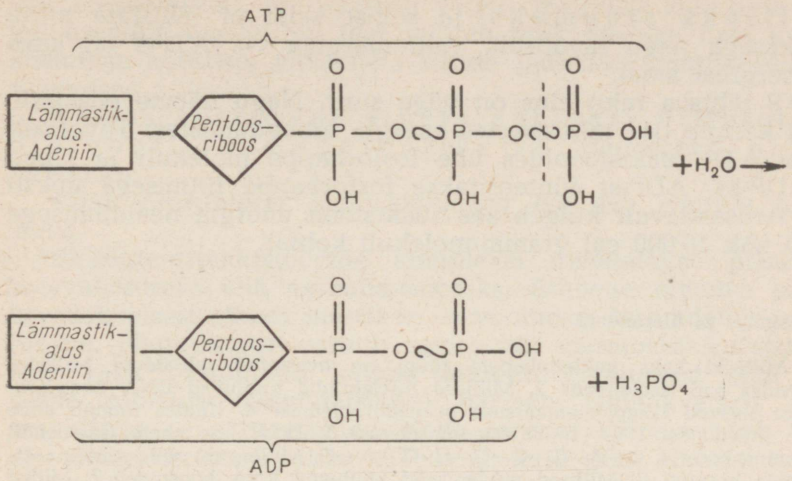
**RNA.** On olemas mitu erinevat RNA-d. Nende nimetus sõltub nende poolt täidetavaist ülesandeist rakus. Üht liiki RNA-d nimetatakse transport-RNA (t-RNA), kuna nad transpordivad aminohappeid sinna, kus toimub valgu süntees. Teist liiki nimetatakse informatsiooniliseks (i-RNA)[1], kuna see RNA kannab informatsiooni sünteesitava valgu struktuuri kohta.

RNA struktuur on väga sarnane DNA struktuuriga, kuid esineb ka erinevusi. RNA struktuuris ei ole kaksikspiraali, ta on ehituselt sarnane ühe DNA ahelaga. RNA on polümeer nagu DNA-gi. Tema monomeerideks on samuti kui DNA-l nukleotiidid. Struktuurilt on RNA nukleotiidid väga lähedased DNA nukleotiididele, kuid mitte samased. Samuti kui DNA nukleotiidid, koosnevad RNA nukleotiidid lämmastikaluste jääkidest, pentoosist ja fosforhappest. Kolmes RNA nukleotiidis on lämmastikalused niisamasugused kui DNA-s (adeniin, guaniin ja tsütosiin). Neljandas nukleotiidis on tümiini asemel temale ehituselt väga lähedane uratsiil ning nukleotiidi nimetatakse uratsiilnukleotiidiks (U). RNA nukleotiidid erinevad DNA nukleotiididest ka süsivesiku poolest: DNA nukleotiidides esineb süsivesik desoksüriboos, RNA nukleotiidides aga riboos.

RNA ahelate moodustumisel on nukleotiidide ühinemise iseloom samasugune kui DNA ahelate moodustumisel: nukleotiidid liituvad teineteisega ühe nukleotiidi riboosi ja naabernukleotiidi fosforhappe vaheliste kovalentsete sidemete kaudu.

Nagu eespool öeldud, esineb palju RNA tüüpe. Kõige lühemad on t-RNA molekulid, nende molekulkaal on kõigest 25—30 tuhat. Mõõtmetelt on i-RNA palju suurem kui t-RNA. Nende

[1] Sageli nimetatakse seda matriits-RNA ja tähistatakse m-RNA. *(Tõlk.)*




JOON. 93. ATP ehituse skeem ja tema muutumine ADP-ks.

molekulkaal ulatub 100 000 kuni 1 miljonini. RNA sisaldus rakus ei ole konstantne. See suureneb tunduvalt, kui rakkudes toimub intensiivne valkude süntees.

**ATP.** See on adenosiintrifosforhappe lühendatud nimetus. ATP-d sisaldavad kõik looma- ja taimerakud. ATP hulk on muutlik, keskmiselt 0,04% (raku massist). Kõige rohkem on ATP-d skeletilihastes — 0,2—0,5%. Keemiliselt struktuurilt on ATP nukleotiid ja nagu igal nukleotiidil, on ka tema koostises lämmastikalus (adeniin), pentoos (riboos) ja fosforhape. Kuid ATP molekuli fosforhappeline osa erineb oluliselt tavalistest nukleotiididest. Sellesse ossa on ATP molekulis koondunud kolm fosforhappe molekuli (joon. 93). See on väga ebapüsiv struktuur. Iseenesest, kuid eriti kergesti fermendi toimel, katkeb side ATP P ja O vahel ja vabanenud sidemetega liitub üks või kaks vee molekuli, kusjuures eraldub üks või kaks fosforhappe molekuli. Kui eraldub üks fosforhappe molekul, muutub ATP ADP-ks, s. o. adenosiindifosforhappeks (joon. 93), kui aga eraldub kaks fosforhappe molekuli, siis ATP muutub AMP-ks, s. o. adenosiinmonofosforhappeks. Iga fosforhappe molekuli eraldumisega ATP-st kaasneb suur energeetiline efekt, ühe gramm-molekuli fosforhappe eraldumisega kaasneb peaaegu 40 kJ (10 000 cal) vabanemine. See on väga suur energiahulk. Raku kõikidel teistel eksotermilistel reaktsioonidel vabaneb palju vähem energiat. Kõige efektiivsemad neist annavad mitte üle 8—10 kJ (2000—2500 cal). Et rõhutada ATP fosfori ja hapniku vaheliste sidemete eriti kõrget energeetilist efektiivsust, nimetatakse seda energiarikkaks sidemeks ehk m a k r o-

ergiliseks sidemeks ja sellist sidet ei tähistata mitte joonekesega nagu tavaliselt, vaid märgiga ~. ATP-s on kaks makroergilist sidet.

ATP tähtsus raku elus on väga suur. Nagu näeme edaspidi, on tal keskne osa rakusisestes energia muundumistes. Tavaliselt kaotab ATP reaktsioonides ühe fosforhappe molekuli ja läheb üle ADP-ks. ADP-st sünteesitakse fosforhappe liitmisega uuesti ATP. Arusaadavalt kulgeb see reaktsioon energia neeldumisega (40 kJ ehk 10 000 cal gramm-molekuli kohta).

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Millised kaks nukleiinhapete tüüpi on avastatud rakkudes? Millistes raku osades nad sisalduvad? 2. Millised nukleotiidid kuuluvad DNA koostisse? 3. Milles seisneb komplementaarsuse printsiibi olemus? 4. Kuidas toimub enne rakkude pooldumist DNA replikatsiooniprotsess? 5. DNA ühe ahela fragmendil on järgmine koostis: C—A—T—G—G—C—T—A—G. Milline on selle vastas asetseva ahela koostis? 6. Millised nukleotiidid kuuluvad RNA koostisse? 7. Millist tüüpi RNA-d on leitud rakkudes? 8. Milline on ATP tähtsus raku elutegevuses?

## 37. RAKU AINE- JA ENERGIAVAHETUS

Rakus toimuvaid keemilisi reaktsioone iseloomustab kõrge organiseerituse ja korrapärasuse tase: iga reaktsioon kulgeb rangelt kindlaksmääratud kohas. Fermentide molekulid paiknevad rakus ühemolekulilise kihina sisemistel struktuuridel — mitokondritel ja endoplasmaatilise võrgustiku membraanidel, kattes neid nagu kahhelplaadid seina. Sealjuures ei paikne fermendid juhuslikult, vaid selles järjestuses, millises toimuvad reaktsioonid. Niiviisi kujutavad fermendimolekulidega vooderdatud raku membraanid endast «katalüütilist konveierit», millel keemilised reaktsioonid toimuvad erakordse täpsusega.

**Plastiline ja energeetiline ainevahetus (assimilatsioon ja dissimilatsioon).** Rakus on kindlaks tehtud umbes tuhat fermenti. Selle võimsa katalüütilise aparaadi abil toimub keeruline ja mitmekülgne keemiline tegevus. Raku keemiliste reaktsioonide tohutust hulgast kerkivad esile kaks iseloomult vastandlikku reaktsioonitüüpi. Esimese tüübi moodustavad sünteesireaktsioonid. Rakus toimuvad pidevalt loomisprotsessid. Lihtsatest ainetest moodustuvad keerulisemad, madalmolekulaarsetest — kõrgmolekulaarsed. Sünteesitakse valke, liitsüsivesikuid, rasvu ja nukleiinhappeid. Sünteesitud aineid kasutatakse erinevate rakuosade, tema organoidide, eritiste, fermentide ja varuainete ehitamiseks. Sünteesireaktsioonid toimuvad eriti intensiivselt kasvavas rakus, kuid ka kasvu ja arenemise lõpetanud täiskasvanud rakus toimub pidevalt ainete süntees elutegevuse käigus kõlbmatuks muutunud või raku kahjustamisel hävinud moleku-

lide asendamiseks. Iga hävinud valgu- või mõne muu aine molekul asendub uuega. Sel teel säilitab rakk püsivalt oma kuju ja keemilise koostise, vaatamata nende pidevale muutumisele elutegevuses.

Rakus toimuvat ainete sünteesi nimetatakse bioloogiliseks sünteesiks või lühendatult biosünteesiks.

*Kõigi biosünteesi reaktsioonidega kaasneb energia neeldumine.*

Biosünteesireaktsioonide kompleksi nimetatakse plastiliseks ainevahetuseks ehk assimilatsiooniks. Esimene nimetus pärineb kreekakeelsest sõnast *plastikos* — voolimis-, kujundamis-, skulptuurne. Nagu kujur vormib savist või marmorist kujutise, nii loob rakk biosünteesi käigus sünteesitud ainetest oma keha. Teine nimetus (assimilatsioon) pärineb ladinakeelsest sõnast *assimilatio* — sarnastamine. Selle termini mõte seisneb selles, et väliskeskkonnast rakku saabuvad, kuid raku ainetest teravalt erinevad toitained muutuvad keemiliste protsesside tulemusel raku ainete sarnasteks.

Teine tüüp raku keemilisi reaktsioone on lõhustumisreaktsioonid. Keemilised ained lõhustuvad lihtsamateks, kõrgmolekulaarsed — madalmolekulaarseteks aineteks. Valgud lagunevad aminohapeteks, tärklis — glükoosiks. Need ained lõhustuvad omakorda veelgi madalmolekulaarsemateks ühenditeks ja lõpuks moodustuvad täiesti lihtsad ja energiavaesed ained: $CO_2$ ja $H_2O$. Lõhustumisreaktsioonidega kaasneb enamikul juhtudel energia eraldumine. Nende reaktsioonide bioloogiline tähtsus seisneb raku kindlustamises elutegevuseks vajaliku energiaga. Iga aktiivsuse vorm — liikumine, sekretsioon, biosüntees ja teised — vajab energiat, mis laekub keemiliste lagunemisprotsesside tulemusel vabanevast energiast.

Lõhustumisreaktsioonide kompleksi nimetatakse raku energiavahetuseks ehk dissimilatsiooniks. Dissimilatsioon on assimilatsiooni otsene vastand: lõhustumise tulemusel kaotavad ained sarnasuse raku ainetega.

Plastiline ja energeetiline ainevahetus (assimilatsioon ja dissimilatsioon) on omavahel lahutamatult seotud. Seos seisneb selles, et biosünteesireaktsioonid vajavad toimumiseks energiat, mida saadakse lõhustumisreaktsioonidest. Teisest küljest tekivad energeetilise ainevahetuse käigus pidevalt produktid, mida kasutatakse biosünteesi lähtematerjalidena.

**Aine- ja energiavahetus.** Keerukad reaktsioonide süsteemid, millest koosnevad assimilatsiooni- ja dissimilatsiooniprotsessid, on tihedas seoses mitte ainult omavahel, vaid ka väliskeskkonnaga. Väliskeskkonnast laekuvad rakku toitained, mis on lähtematerjaliks assimilatsioonireaktsioonidele, lõhustumisreaktsioonides vabaneb neist aga raku funktsioneerimiseks vajalik energia.

Väliskeskkonda eraldatakse need produktid, mida rakk enam kasutada ei saa.

*Kogu rakus toimuvate omavahel ja väliskeskkonnaga seotud fermentatiivsete reaktsioonide summat, s. t. plastilise ja energeetilise ainevahetuse (assimilatsiooni ja dissimilatsiooni) kompleksi, nimetatakse aine- ja energiavahetuseks.* See protsess on raku elu säilitamise põhitingimus, raku kasvu, arenemise ja funktsioneerimise allikas.

**ATP kui ühtne ja universaalne energeetiline aine.** Iga elutegevuse avaldus, iga raku funktsioon nõuab energia kulutamist. Energia on vajalik liikumiseks, biosünteesireaktsioonideks ja raku aktiivsuse mitmesugusteks teisteks avaldumisvormideks.

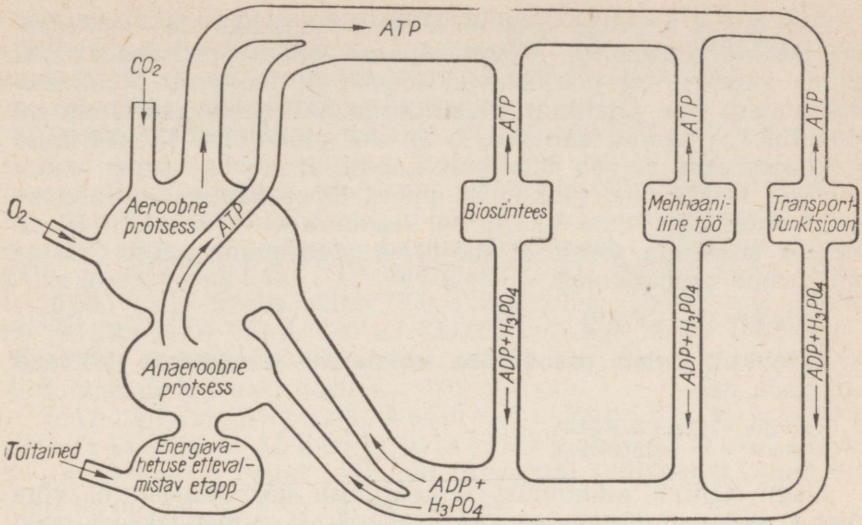
Missugusel kujul kasutab rakk lõhustumisreaktsioonide energiat oma erinevate funktsioonide jaoks?

*Igasugune raku funktsionaalne tegevus langeb ajaliselt alati täpselt kokku ATP lagunemisega.*

Pingelise, kuid lühiajalise töö korral, näiteks jooksul lühimaadistantsidel, töötavad lihased peaaegu eranditult neis leiduva ATP arvel. Suurenenud sekretsiooni korral toimub näärmerakkudes samuti intensiivne ATP lõhustumine. Keerulise ehitusega ainete (nagu liitsüsivesikud või valgud) sünteesil toimub üheaegselt sünteesireaktsiooniga ka ATP lagunemine. Siit järeldub, et vahetuks energiaallikaks niihästi lihaste kokkutõmbel, sekretsioonil kui ka keeruliste ühendite sünteesil rakus on ATP lõhustumisel vabanev energia. Kuna ATP varud rakus on piiratud, on selge, et pärast ATP lagunemist peab aset leidma ka selle taastumine. Nii see ka tegelikkuses toimub. Selles ongi ülejäänud dissimilatsioonide bioloogiline mõte. Nendel reaktsioonidel on üks funktsioon: nende käigus vabanev energia kasutatakse ATP puudujäägi katmiseks (joon. 94). Sellepärast on ka mõistetav, et pikaajalise töö vältel raku ATP sisaldus oluliselt ei muutu. Seda seletatakse sellega, et süsivesikute ja teiste ainete lõhustumisreaktsioonid kindlustavad kulutatud ATP kiire ja täieliku taastamise. *Järelikult on ATP raku funktsionaalse tegevuse ainuke ja universaalne energiaallikas.* Siit tuleneb, et energiat võib üle anda ühtedest rakuosadest teistesse. ATP süntees võib toimuda rakus ühes kohas ja ühel ajal, selle kasutamine aga võib toimuda hoopis teises kohas ja teisel ajal. Põhiline ATP süntees toimub raku mitokondrites. Siin moodustunud ATP suundub mööda endoplasmaatilise võrgustiku kanaleid neisse kohtadesse rakus, kus tekib energiavajadus.

**Energiavahetuse kolm etappi.** Raku energiavahetuse uurimiseks on kasulik jaotada see kolmeks üksteisele järgnevaks etapiks. Vaatleme neid etappe loomaraku näitel.

Esimene etapp on ettevalmistav. Sellel etapil lagunevad süsivesikute, rasvade, valkude ja nukleiinhapete suured molekulid väiksemateks: tärklisest moodustub glükoos, ras-




JOON. 94. ATP moodustumine ja kulutamine energiavahetuse protsessis.

vadest glütseriin ja rasvhapped, valkudest aminohapped ja nukleiinhapetest nukleotiidid. Ainete lagunemisega sellel etapil kaasneb tühine energeetiline efekt ja kogu siinjuures vabanev energia hajub soojuse näol.

Energiavahetuse teist etappi nimetatakse anaeroobseks ehk mittetäielikuks. Ettevalmistaval etapil moodustunud ained — glükoos, glütseriin, orgaanilised happed, aminohapped jt. — jätkavad lagunemist. See on keeruline, paljuastmeline protsess. Ta koosneb reast üksteisele järgnevatest fermentatiivsetest reaktsioonidest. Seda protsessi teenindavad fermendid paiknevad rakusisestel membraanidel korrapäraste ridadena. Aine, mis satub selle rea esimesele fermendile, liigub nagu mööda konveierit teisele fermendile, edasi kolmandale jne. Kõik see kindlustab protsessi kiire ja efektiivse kulgemise. Vaatleme seda glükoosi anaeroobse lahustumise näitel, mida nimetatakse glükolüüsiks. Glükolüüs kujutab endast üle kümne üksteisele järgneva fermentatiivse reaktsiooni kogumit. Sellest võtab osa 13 fermenti ja moodustub 12 vaheprodukti. Glükolüüsi üksikutel reaktsioonidel peatumata võib öelda, et fermentatiivse konveieri esimesele astmele astub glükoos, viimaselt aga lahkub kaks piimhappe molekuli. Glükolüüsi summaarse võrrandi võib kirjutada järgmiselt:

$C_6H_{12}O_6 = 2C_3H_6O_3$
glükoos piimhape

Glükolüüsi protsess toimub kõigis loomarakkudes ja mõnedes mikroorganismides. Kõigile tuntud piimhappelist käärimist (piima hapnemisel) põhjustavad seened ja bakterid. Mehhanismilt vastab see täielikult glükolüüsile. Alkoholi käärimine on glükolüüsiga samuti sarnane. Suur osa glükolüüsi ja käärimise reaktsioonidest langeb täielikult kokku. Erinevus esineb ainult viimases staadiumis: glükolüüsi puhul lõpeb protsess piimhappe moodustumisega, kuid käärimisel lisandub veel üks lüli. Pärmseentes sisalduva fermendi mõjul eraldub piimhappest $CO_2$ ja moodustub etüülalkohol.

$$C_3H_6O_3 = CO_2 + C_2H_5OH$$

Järelikult tuleb alkohoolse käärimise summaarne võrrand kirjutada nii:

$$C_6H_{12}O_6 = 2CO_2 + 2C_2H_5OH$$

glükoos etüülalkohol

Nagu nähtub glükolüüsi ja käärimise võrranditest, ei võta hapnik neist protsessidest osa, sellepärast nimetataksegi neid anaeroobseteks[1] protsessideks. Selgub ka, miks neid protsesse nimetatakse mittetäielikeks — glükoosi täielik lõhustumine oleks tema lagunemine lõpuni, s. t. muutumine lihtsaimateks ühenditeks ($CO_2$ ja $H_2O$), mis vastab võrrandile:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$$

Peaaegu kõik glükoosi anaeroobse lõhustumise vahereaktsioonid kulgevad energia eraldumisega. Iga üksik reaktsioon annab vähe energiat, kogusummas aga saame küllaltki suure hulga: 1 gramm-molekuli glükoosi (180 g) lagunemisel kaheks piimhappe molekuliks vabaneb peaaegu 200 kJ (50 000 cal). Kui selline glükoosi piimhappeks muutumisel vabanev energiahulk vabaneks korraga, ühe reaktsiooni tulemusena, siis võiks see viia ohtlikule ülekuumenemisele ja raku kahjustumisele. Protsessi jagunemine reaks vahelülideks aga tingib energia pideva eraldumise, mis kaitseb rakku soojuslike kahjustuste eest.

Glükolüüs toimub ainult ATP ja ADP manulusel, kuna need mõlemad nukleotiidid on toimuvates protsessides alalised osalejad. ATP on vajalik glükolüüsi algul, ADP lõpul. ATP fosforileerib glükoosi: andes glükoosile fosforhappe jäägi, muutub ATP ADP-ks. ADP abil toimub vastupidine protsess: glükolüüsi vaheproduktide defosforileerimine. Liites enesega fosforhappe jäägi, muutub ADP ATP-ks. Glükolüüsi lõpul on ATP-d tekkinud alati rohkem kui seda kulus algul. Ühe glükoosi molekuli lõhustumisel toimub kahe uue ATP molekuli tekkimine. Glükolüüsiprotsessis koguneb alati ATP-d.

---

[1] *an* — eitus, *aēr* — õhk, kr. k. *(Tõlk.)*

Kuna ATP süntees on endotermiline protsess, siis see tähendab, et mitte kogu glükoosi anaeroobsel lõhustumisel vabanev energia ei muutu soojuseks. Osa sellest energiast läheb kahe energiarikka fosfaatsideme sünteesiks.

Teeme umbkaudse arvestuse: gramm-molekuli glükoosi anaeroobsel lõhustumisel vabaneb kokku 200 kJ (50 000 cal). Ühe energiarikka sideme moodustamiseks gramm-molekuli ADP muutmisel ATP-ks kulub 40 kJ (10 000 cal). Anaeroobse hapendumise käigus moodustub kaks sellist sidet. Järelikult läheb kahe gramm-molekuli ATP energiaks $2 \cdot 40 = 80$ kJ ($2 \cdot 10\,000 = 20\,000$ cal). Niisiis säilib 200 kilodžaulist (50 000 cal) ainult 80 (20 000) ATP kujul, 120 kJ (30 000 cal) aga hajub soojusena. Järelikult säilitab rakk glükoosi anaeroobse lõhustumise käigus 40% vabanenud energiast.

Energiavahetuse kolmas etapp on aeroobse ehk täieliku lõhustumise ehk hingamise staadium. Eelneval etapil tekkinud produktid (piimhape) hapenduvad lõpuni, s. t. $CO_2$-ks ja $H_2O$-ks.

Selle protsessi toimumise põhitingimuseks on hapniku leidumine ümbritsevas keskkonnas ja selle neeldumine rakus. Samuti kui eelnev anaeroobse lõhustumise staadium, koosneb ka aeroobse lõhustumise staadium reast järjestikustest fermentatiivsetest reaktsioonidest. Iga reaktsiooni katalüüsib eriline ferment. Kogu aeroobse lõhustumise fermentatiivne rida on koondatud mitokondritesse, kus fermendid paiknevad korrapäraste ridadena membraanidel. Iga reaktsiooni olemus seisneb orgaanilise molekuli hapendumises, mis iga astmega järk-järgult laguneb ja muutub hapendumise lõpp-produktideks — $CO_2$-ks ja $H_2O$-ks.

Kõigil aeroobse lõhustumise vahereaktsioonidel, samuti nagu anaeroobse lõhustumise vahereaktsioonidelgi, vabaneb energia. Energia hulk, mis vabaneb igal üksikul astmel, on aga aeroobsel lõhustumisel palju suurem kui igal anaeroobse protsessi astmel. Kogusummas annab lõhustumine hiiglasliku energiahulga — 2600 kJ (650 000 cal) (kahe piimhappe gramm-molekuli kohta). Kui rakus sisalduva piimhappe lõhustumisel vabaneks kogu energia ühe reaktsiooni tulemusena, siis viiks see raku kahjustumisele ülekuumenemise tõttu. Protsessi hajutamisel reaks vahelülideks sellist ohtu ei ole.

Aeroobse staadiumi üksikasjaline uurimine näitas, et samuti nagu anaeroobse protsessi käigus toimub ka sellel staadiumil ATP moodustumine ADP-st. *Kahe piimhappemolekuli aeroobse lõhustumise käigus sünteesitakse 36 ATP molekuli, s. t. 36 energiarikast fosfaatsidet.*

Nüüd peaks olema selge ka energiavahetuse kolmanda staadiumi — piimhappe aeroobse lõhustumise staadiumi tähtsus. Kui anaeroobse lõhustumise käigus vabaneb 200 kJ (50 000 cal)

gramm-molekuli glükoosi kohta, siis aeroobse lõhustumise staadiumil vabaneb veel 650 kJ (2 600 000 cal). Kui anaeroobse protsessi käigus sünteesitakse kaks ATP molekuli, siis aeroobsel lõhustumisel sünteesitakse veel 36 ATP molekuli. Teiste sõnadega, aeroobse lagunemise staadiumil moodustub üle 90% sellest energiast, mida rakk saab glükoosi lõhustumise protsessis.

Teeme jälle arvutuse. Kokku sünteesitakse glükoosi lõhustumisel, kuni tekib $CO_2$ ja $H_2O$, s. t. anaeroobse ja aeroobse lõhustumise protsesside käigus, 2+36=38 ATP molekuli. See tähendab, et ATP potentsiaalsesse energiasse läheb üle 38·40= =1520 kJ (38·10 000=380 000 cal). Glükoosi lõhustumisel (anaeroobses ja aeroobses staadiumis) vabaneb aga 200+2600= =2800 kJ (50 000+650 000=700 000 cal). Järelikult hoiab rakk peaaegu 55% kogu glükoosi lõhustumisel vabanevast energiast alal ATP näol. Ülejäänud osa, 45% hajub soojusena. Et hinnata nende arvude tähendust, meenutame, et aurumasinates muundub kogu söe põlemisel vabanevast energiast kasulikku vormi mitte üle 12—15%. Parimates turbiinides tõuseb see protsent 20—25%-ni, sisepõlemismootoreis ulatub ta ~35%. Nii ületab elus rakk energia muundumise efektiivsuse seisukohalt kõiki tehnikas tuntud energiamuundajaid.

Glükoosi anaeroobse ja aeroobse lõhustumise käigus vabanevate energiahulkade ning samuti mõlemal staadiumil sünteesitavate ATP molekulide arvu vastandamisel näeme, et hapnikuga kulgev protsess on võrreldamatult efektiivsem kui anaeroobne. Anaeroobse lõhustumise staadiumis vabaneb umbes $\frac{1}{20}$ sellest energiast, mis vabaneb aeroobsel protsessil. Seepärast on täiesti mõistetav, et normaalsetes tingimustes kasutatakse rakus energia mobiliseerimiseks alati nii aeroobset kui ka anaeroobset lõhustumisviisi. Kui aeroobse protsessi toimumine on raskendatud või täiesti võimatu (näiteks hapnikunälja korral), siis jääb elu alalhoiuks üle ainult anaeroobne protsess. Kuid sel juhul peab rakus ATP saamiseks hulgal, mis on vajalik elutegevuseks, lõhustuma väga suurel hulgal glükoosi.

H i n g a m i n e j a p õ l e m i n e. Rakus toimuvat orgaaniliste ainete lõhustumist võrreldakse sageli põlemisega: mõlemal juhul toimub hapniku neeldumine ja hapendumisproduktide $CO_2$ ja $H_2O$ eraldumine. Kuid põlemis- ja hingamisprotsessi üksikasjalise uurimise tulemusena selgusid nendevahelised olulised erinevused. Põlemisproduktide koostis on määramatu ja ebapüsiv, muutub sõltuvalt hapendatava aine ja hapniku suhtest, sõltub temperatuurist ja muudest tingimustest. Vastupidiselt põlemisele kujutab hingamine endast harmoonilist, korrapärast, kõrgeltorganiseeritud protsessi üksteisele järgnevate fermentatiivsete reaktsioonide rida. Põlemise juures tekib $CO_2$ hapniku ja süsiniku otsese ühinemise tulemusena, bioloogilise hapendu-

mise käigus aga tekib $CO_2$ fermentide mõjul toimuva orgaaniliste hapete lõhustumise teel.

Nii on täiesti selge, et põlemise ja bioloogilise hapendumise protsesside vahel on sügav printsipiaalne erinevus.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Iseloomustage kahte vastandlikku keemiliste reaktsioonide voolu raku ainevahetuse protsessis. 2. Iseloomustage raku energiavahetuse staadiume. 3. Milline tähtsus on aeroobsel lõhustumisprotsessil rakus? Kirjutage hingamisprotsessi summaarne võrrand. 4. Võrrelge glükolüüsi ja hingamisprotsessi energeetikat. 5. Millised erinevused on põlemise ja hingamise vahel? 6. Miks nimetatakse ATP-d raku universaalseks energeetiliseks aineks?

## 38. AUTOTROOFSED JA HETEROTROOFSED RAKUD. FOTOSÜNTEES. KEMOSÜNTEES

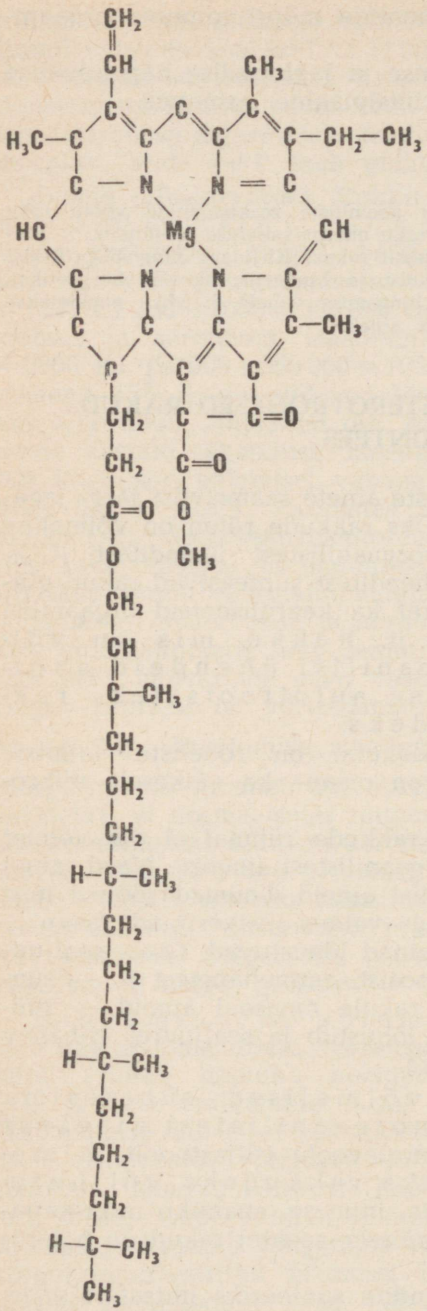
**Autotroofsed rakud.** Orgaaniliste ainete saamisviisi järgi jagatakse kõik rakud kahte rühma. Üks rakkude rühm on võimeline sünteesima orgaanilisi aineid anorgaanilistest ühenditest ($CO_2$, $H_2O$ jt.). Neist energiavaestest ühenditest sünteesivad rakud glükoosi, aminohappeid ning seejärel ka keerulisemaid orgaanilisi ühendeid: liitsüsivesikuid, valke jt. Rakke, mis on võimelised sünteesima orgaanilisi ühendeid anorgaanilistest, nimetatakse autotroofseteks rakkudeks ehk autotroofideks.

Peamisteks autotroofideks maakeral on roheliste taimede rakud. Autotroofne toitumisviis on omane ka väikesele mikroorganismide rühmale.

**Heterotroofsed rakud.** Teisel rakkude rühmal ei ole võimet sünteesida orgaanilisi aineid anorgaanilistest ainetest. Need rakud vajavad seetõttu valmis orgaanilisi aineid. Loomad söövad teisi loomi ja taimi ning saavad toiduga valmis süsivesikuid, rasvu ja valke. Elutegevuse käigus need ained lõhustuvad. Osast sealjuures vabanevaist ainetest — glükoosist, aminohapetest jt. — sünteesitakse keerulisemaid, antud rakule omaseid aineid — glükogeeni, rasvu, valke. Teine osa lõhustub ja sealjuures vabanev energia kasutatakse elutegevuseks.

Rakke, mis ei ole võimelised sünteesima orgaanilisi ühendeid anorgaanilistest ainetest ja vajavad seetõttu toitainete juurdevoolu väljastpoolt, nimetatakse heterotroofseteks rakkudeks või heterotroofideks. Kõigi loomade, inimese, enamiku mikroorganismide ja ka mõnede taimede (näiteks seente) rakud on heterotroofsed.

**Fotosüntees.** Orgaaniliste ühendite sünteesiks lihtsatest energiavaestest ainetest on vaja väljastpoolt tulevat energiat. Rohe-




lised taimed kasutavad selleks päikese valgusenergiat. *Taimerakkudel on eriline mehhanism, mis annab neile võimaluse muundada valgusenergiat keemiliste sidemete energiaks. Seda protsessi nimetatakse fotosünteesiks.*

Fotosünteesi protsessi võib kujutada järgmise summaarse võrrandiga:

$$6CO_2 + 6H_2O = C_6H_{12}O_6 + 6O_2.$$

Selle protsessi käigus muutuvad energiavaesed ained $CO_2$ ja $H_2O$ keeruliseks energiarikkaks orgaaniliseks aineks — süsivesikuks. Fotosünteesi tulemusel vabaneb molekulaarne hapnik.

Fotosünteesi summaarne võrrand ei anna ettekujutust selle protsessi mehhanismist. See on keeruline, mitmeastmeline protsess, milles keskne osa kuulub klorofüllile — rohelist värvi orgaanilisele ainele. Klorofülli molekul, nagu on näha struktuurvalemist (joon. 95), koosneb kahest osast: tuumast (I), milles paikneb magneesiumi aatom, ja pikast süsivesinikahelast (II). Klorofülli tuum on hüdrofiilsete, süsivesinikahel aga teravalt hüdrofoobsete omadustega.

Klorofülli molekulid paiknevad taimerakkude kloroplastides. Nagu eespool öeldud, kujutab kloroplast endast kõrgeltorganiseeritud kihilist struktuuri. Väljastpoolt on ta kaetud

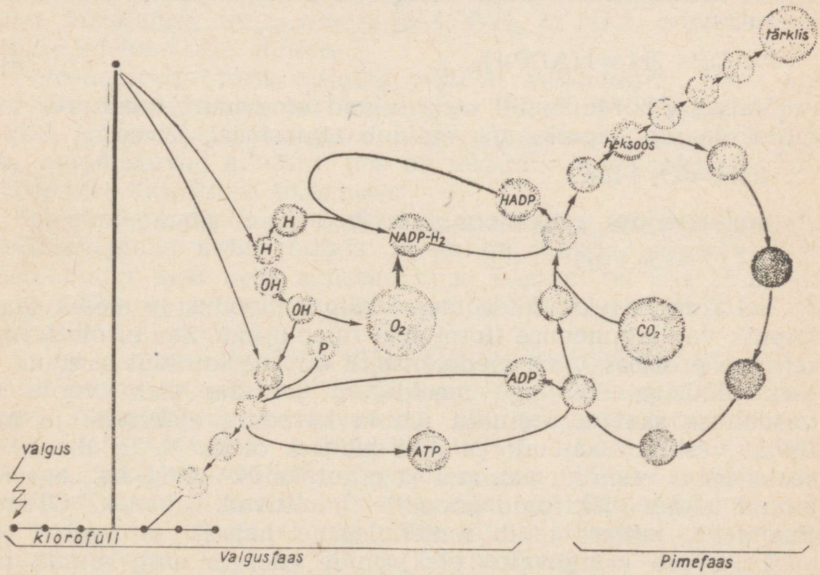
JOON. 95. Klorofülli struktuurvalem: I — hüdrofiiline tuum ja II — hüdrofoobne jääk.

õhukese valgulise membraaniga, selle all on kiht klorofülli molekule, mis on valgu poole pööratud hüdrofiilse tuumaga ja hüdrofoobne süsivesinikahel on suunatud lipoidide molekulidest koosneva kihi poole.

Seega on klorofülli molekulide asend kloroplastides hüdrofiilse valgu ja hüdrofoobse lipoidi vahel määratud klorofülli molekulaarse struktuuri iseärasuste poolt.

Klorofülli on rohelistes lehtedes umbes 1% kuivkaalust. Klorofüll lahustub piirituses ja teda võib eraldada, lastes lehti piirituses seista. Klorofülli lahus on roheline ja fluorestseeruv. Klorofülli fluorestseerumine lahuses seletub sellega, et klorofülli molekuli elektronid neelavad valgusenergiat, mille tulemusena nad lahkuvad esialgselt orbiidilt, mis vastab esialgsele olekule, ja lähevad kõrgemale orbiidile, mis vastab nende «ergastatud» olekule. Seejärel pöörduvad elektronid tagasi oma esialgsele orbiidile ning sealjuures annavad nad ära neeldunud energia fluorestsentsvalguse näol. Klorofüll ei ole võimeline lahuses varuma valgusenergiat. Teistsugune pilt esineb rakus, kus klorofülli molekulid on liitunud kloroplasti struktuuri ning on seotud fermentide, lipoidide ja teiste ainete molekulidega. Rohelistes lehtedes klorofüll valgustamisel ei fluorestseeru, klorofüllis neeldunud energia ei haju, vaid muudetakse keemiliste sidemete energiaks.

Selleks, et aru saada sellest muundamise mehhanismist, pöördume fotosünteesi skeemi poole (joon. 96).




JOON. 96. Fotosünteesi skeem.

Fotosünteesi protsess algab kloroplasti valgustamisega nähtava valgusega. Footon «tabab» elektroni klorofülli molekulis, annab sellele üle energia ja elektron läheb «ergastatud» olekusse: ta lahkub põhiorbiidilt ja hüppab kõrgemale orbiidile. Pärast seda langeb ta kohe tagasi. Sealjuures elektroni liigne energia muutub osaliselt (umbes 25%) soojuseks, aga suurem osa antakse edasi rakus leiduvatele ühenditele, kutsudes esile nende muundumisi.

Osa «langevaid» elektrone haaratakse vesiniku ioonide poolt. Kuna vesilahuses on osa vee molekule dissotsieerunud olekus:

$$H_2O = H^+ + OH^- \quad (1)$$

siis esineb rakus alati mingil määral $H^+$ ja $OH^-$ ioone. Vesiniku ioon seob elektroni ja muutub vesiniku aatomiks:

$$H^+ + e^- = H \quad (2)$$

Jäädes ilma vastandioonita, annab hüdroksüülioon kohe ära oma elektroni teistele molekulidele või ioonidele ja muutub vabaks radikaaliks OH:

$$OH^- = e^- + OH \quad (3)$$

Vesiniku vabad aatomid ja OH-radikaalid on keemiliselt väga aktiivsed. Vesiniku aatomid ühinevad orgaanilise ainega, millel on keeruline ehitus ja sellele vastavalt üsna raskepärane nimetus: nikotiinamiiddinukleotiidfosfaat (lühendatult NADP). NADP-d esineb rakus alati; liitnud endaga vesiniku, muutub ta taandatud vormiks:

$$NADP + 2H = NADP\text{-}H_2 \quad (4)$$

Vabad OH-radikaalid reageerivad omavahel, kusjuures tekib molekulaarne hapnik, mis eraldub atmosfääri, ja vesi:

$$4OH = O_2 + H_2O \quad (5)$$

Summeerides reaktsioonid 1, 2, 3 ja 5, saame:

$$2H_2O = O_2 + 4H$$

Sel kombel tekib fotosünteesi käigus moodustuv molekulaarne hapnik vee lagunemise (fotolüüsi) tulemusena. See ei ole fermentatiivne protsess. Oma mehhanismilt on vee fotolüüs sarnane vee elektrolüüsiga. Tuletage meelde, et juhtides elektrivoolu läbi vesilahuse saavad vesiniku ioonid katoodilt elektrone ja muutuvad vesiniku aatomiteks (kui lahuses oleks NADP-d, siis see seoks need vesiniku aatomid ja muutuks NADP-$H_2$-ks), aga OH-ioonid, andes elektronid anoodile, muutuvad vabadeks OH-radikaalideks, millest tekib molekulaarne hapnik ja vesi.

Teise osa «langevate» elektronide energia ning samuti hüdroksüülioonidest eralduvate ja veel mingit energiavaru omavate

elektronide energia muudetakse makroergiliste fosfaatsidemete energiaks: rakus alati esinevast ADP-st ja anorgaanilisest fosfaadist (P) sünteesitakse ATP:

$$ADP + P = ATP$$

«Ergastatud» elektronide liigne energia sünnitab elektronide üleminekul lähteolekusse kolm protsessi:

1. Vee fotolüüs molekulaarse hapniku tekkimisega.
2. NADP taandamine NADP-$H_2$ moodustumisega.
3. ATP süntees.

Nende kolme protsessi toimumine on vahetuks resultaadiks kiirgusenergia neeldumisele klorofüllis. Need reaktsioonid toimuvad ainult valguse käes. Sellepärast nimetataksegi fotosünteesi seda staadiumi *valgusfaasiks.* Järgnevad fotosünteesi sünteetilised protsessid ei vaja valgustamist: nad võivad toimuda nii valges kui ka pimedas. Sellepärast nimetataksegi nende reaktsioonide kompleksi *pimefaasiks.*

Fotosünteesi pimefaas kujutab endast rida järgnevaid fermentatiivseid reaktsioone. Nende reaktsioonide teostamisest võtavad osa valgusfaasis sünteesitud ATP ja NADP-$H_2$. Pimefaasi reaktsioonide hulgas on kesksel kohal süsihappegaasi sidumise reaktsioon: $CO_2$ difundeerub lehte atmosfäärist ja liitub ühe vaheprodukti koostisse. Lõppkokkuvõttes moodustuvad süsivesikud — alguses monosahhariidid, seejärel di- ja polüsahhariidid.

*Niisiis, fotosünteesi valgusfaasis Päikese valgusenergia muundatakse ja varutakse NADP-$H_2$ ja ATP keemiliste sidemete energiana. Pimefaasis nende ainete (NADP-$H_2$ ja ATP) energia kulutatakse süsivesikute sünteesil.*

Fotosünteesiprotsess kujutab põhilist mehhanismi, mille abil rohelised taimed toodavad orgaanilisi aineid. Kõik taimsed produktid, iga osa tema «saagist» — viljad, seemned, juurikad, puit jne., moodustuvad ainetest, mis on tekkinud tema rakkude fotosünteetilise aktiivsuse tulemusel.

Fotosünteesi produktiivsuseks on umbes 1 g orgaanilisi aineid 1 $m^2$ lehepinna kohta tunnis. Seega on muude võrdsete tingimuste puhul saak seda suurem, mida suurem on kasvanud taimede lehepind ja mida kauem nad funktsioneerivad kui fotosünteesivad süsteemid.

Suure panuse valguse ja klorofülli osa selgitamisel $CO_2$ omastamise käigus fotosünteesil andis suur vene õpetlane K. A. Timirjazev. Timirjazevile kuuluvad ka suurepärased tööd fotosünteesialaste teadmiste populariseerimisel, kus ta kirjutas: «See on protsess, millest lõpptulemusena sõltuvad kõik elu avaldused meie planeedil.» See on täielikult põhjendatud kinnitus, kuna fotosüntees ei ole mitte ainult põhiline orgaaniliste ühendite tootja, vaid ka ainuke vaba hapniku allikas maakeral.

Nagu kõik teised rakud, nii hingavad ka taimerakud pidevalt, s. t. neelavad hapnikku ning eritavad $CO_2$ ja energiat. Paralleelselt sellega muundavad taimerakud päeval klorofülli sisaldava mehhanismi abil valgusenergiat keemiliseks energiaks: nad sünteesivad orgaanilisi aineid. Sealjuures eraldub reaktsiooni kõrvalproduktina molekulaarne hapnik. Fotosünteesi protsessis taimerakus eralduva hapniku hulk on 20—30 korda suurem kui see, mida rakk neelab samaaegselt kulgevas hingamisprotsessis. Seepärast on mõistetav, et päeval, kui taimed nii hingavad kui ka fotosünteesivad, rikastavad nad õhku hapnikuga, aga öösel, kui fotosüntees katkeb, nad ainult hingavad, s. t. neelavad hapnikku ja eraldavad süsihappegaasi.

**Kemosüntees.** Peale roheliste taimede lehtede on autotroofsus omane ka mõnedele bakteritele, kellel puudub klorofüll. Viis, kuidas nad mobiliseerivad energiat sünteesireaktsioonide jaoks, erineb põhimõtteliselt taimerakkude omast.

Selle autotroofide tüübi avastas vene teadlane-mikrobioloog S. N. Vinogradski. Need organismid kasutavad sünteesireaktsioonideks keemiliste reaktsioonide energiat. Neil on eriline fermentaparaat, mis lubab neil muuta keemiliste reaktsioonide energiat (eriti anorgaaniliste ainete hapendumisreaktsioonide energiat) sünteesitavate orgaaniliste ühendite keemiliseks energiaks. Seda protsessi nimetatakse kemosünteesiks.

Kõige tuntumateks autotroofideks, mis kasutavad kemosünteesi, on nitrifitseerivad bakterid. Energiaallikaks on nende bakterite ühel rühmal ammoniaagi hapendumisreaktsioon lämmastikushappeks; teine nitrifitseerivate bakterite rühm kasutab aga energiat, mis eraldub lämmastikushappe hapendumisel lämmastikhappeks. Kemosünteesivateks autotroofideks on ka niinimetatud «rauabakterid» ja «väävlibakterid». Esimesed neist kasutavad energiat, mis eraldub kahevalentse raua hapendumisel kolmevalentseks, teised hapendavad väävelvesinikku väävelhappeks.

Kemosünteesivate autotroofide osatähtsus on väga suur, eriti kehtib see nitrifitseerivate bakterite kohta. Neil on suur tähtsus saagikuse tõstmisel, kuna nende elutegevuse tagajärjel vaba või mitteomastatavate ühendite kujul esinev lämmastik muudetakse hästi omastatavateks lämmastikhappe sooladeks.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Millised rakud kuuluvad autotroofide ja millised heterotroofide hulka? 2. Kirjutage üles fotosünteesi summaarne võrrand ja iseloomustage tema põhilisi etappe. 3. Mida nimetatakse kemosünteesiks?

## 39. VALKUDE BIOSÜNTEES

Iga elus rakk on võimeline sünteesima valke ja see võime on üks tähtsamaid ja iseloomulikumaid raku omadusi. Eriti energiliselt toimub valkude biosüntees rakkude kasvamise ja arenemise ajal. Siis sünteesitakse aktiivselt valke raku organoidide ja membraanide ehitamiseks. Sünteesitakse fermente ja valke. Valkude biosüntees toimub intensiivselt paljudes täiskasvanud rakkudes, kes on lõpetanud kasvamise ja arenemise, näiteks seedenäärmete rakkudes, mis sünteesivad valk-fermente (pepsiini, trüpsiini), sisesekretsiooninäärmetes, mis sünteesivad valkhormoone (insuliini, türoksiini). Valkude süntees on omane mitte üksnes kasvavatele või sekretoorsetele rakkudele: iga rakk oma elu jooksul sünteesib ju pidevalt valke, kuna normaalse elutegevuse käigus valkude molekulid amortiseeruvad pidevalt, nende funktsioonid ja struktuur muutuvad. Kõlbmatud valgud eemaldatakse rakkudest. Asemele sünteesitakse uued täisväärtuslikud molekulid, raku koostis ja talitlus jäävad normaalseks.

Peab märkima, et rakk ei ole võimeline sünteesima mitte ükskõik milliseid valke, vaid ainult antud rakule omaseid valke. Hemoglobiini sünteesivad vere rakud, aga mitte maksa rakud; insuliini sünteesivad pankrease rakud, aga mitte ajurakud.

Iga rakk sarnaneb niihästi väliselt kui ka omadustelt emarakuga. Kuna rakkude omadusi määravad nende valgud, siis on selge, et rakk on võimeline sünteesima niisamasuguseid valke, mida sünteesis ta emarakk. Järelikult, *võime sünteesida valku antakse edasi rakult rakule ja säilitatakse temas kogu elu kestel.*

Küsimused sellest, kuidas toimub suure ja keerulise valgumolekuli süntees, kuidas valitakse vajalikud aminohapped, rivistatakse ja ühendatakse kindlaksmääratud, ranges järjekorras, olid suhteliselt hiljuti lahendamatuks mõistatuseks. Praeguseks ajaks on need küsimused põhiliselt lahendatud ja nende lahendamist võib lugeda XX sajandi bioloogia ja biokeemia suursaavutusteks.

Põhiline osa valgu struktuuri määramisel kuulub DNA-le. Teame juba, et DNA molekulid on väga suured. Nende pikkus ületab kõige suuremate valgu molekulide pikkuse kümneid ja isegi sadu kordi: DNA ahelasse mahub pikkuselt üksteise järel kümneid ning isegi sadu valgu molekule. Praeguseks ajaks on kindlaks tehtud, et DNA eri osad määravad erinevate valkude sünteesi. Üks DNA molekul võtab osa mõnekümne valgu molekuli sünteesist. Iga DNA piirkonda, mis määrab ühe valgumolekuli sünteesi, nimetatakse geeniks. Iga geen kujutab endast DNA kaksikspiraali osa, mis sisaldab informatsiooni mingisuguse ühe valgu struktuuri kohta.

Et jõuda selgusele, kuidas DNA struktuur määrab valgu struktuuri, toome järgmise näite. Paljud tunnevad morsetähestikku,

mille abil antakse üle signaale ja telegramme. Morsetähestikus on kõik tähestiku tähed tähistatud lühikeste ja pikkade signaalide (punktide ja kriipsude) kombinatsioonidega. Tähte A tähistatakse punkti ja kriipsuga, tähte B kahe kriipsu ja punktiga jne. Tinglike tähistuste kogumit nimetatakse koodiks või šifriks. Morsetähestik kujutab endast koodi näidet. Saades telegraafilindi punktide ja kriipsudega, võib morse koodi tundev inimene kirjutatu kergesti dešifreerida (dekodeerida).

DNA makromolekul, mis koosneb mitmest tuhandest järjestikku paigutatud nelja tüüpi nukleotiididest, kujutab endast valgu struktuuri määravat koodi. Nii nagu morse koodis igale tähele vastab punktide ja kriipsude kombinatsioon, nii vastab DNA koodis igale aminohappele teatud kindel järjestikku seotud nukleotiidide kombinatsioon.

**DNA kood.** DNA koodi on õnnestunud peaaegu täielikult dešifreerida. DNA koodi olemus seisneb järgnevas. *Igale aminohappele vastab kolmest järjestikku paiknevast nukleotiidist koosnev ahela lüli.* Nii näiteks vastab ahela osa T—T—T aminohappele lüsiinile, A—C—A tsüsteiinile, C—A—A valiinile jne. Oletame, et geenis paiknevad nukleotiidid järgmises järjestuses: A—C—A—T—T—T—A—A—C—C—A—A—G—G—G. Jaotades selle rea kolmikuteks (triplettideks), dešifreerime otsekohe, millised aminohapped ja missuguses järjestuses paiknevad valgumolekulis:

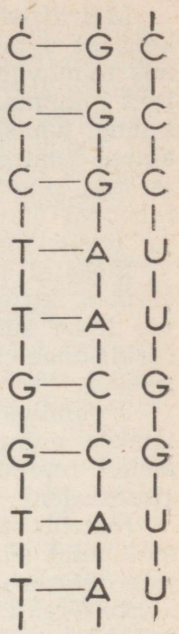
| A—C—A | T—T—T | A—A—C | C—A—A | G—G—G |
|---|---|---|---|---|
| tsüsteiin | lüsiin | leutsiin | valiin | proliin |

Morse koodis on ainult kaks märki. Kõigi tähtede, arvude ja kirjavahemärkide tähistamiseks tuleb mõne tähe ja arvu jaoks kasutada kuni viiest märgist koosnevaid kombinatsioone. DNA kood on lihtsam. Nelja elemendi võimalike kombinatsioonide arv kolmekaupa on 64. Erinevaid aminohappeid on kokku 20. Nii piisab erinevatest triplettidest kõigi aminohapete kodeerimiseks ning kombinatsioone jääb veel ülegi.

**Transkriptsioon.** On kindlaks tehtud, et DNA ise ei võta vahenditult osa valgu sünteesist. DNA asub rakutuumas, valgu süntees toimub aga ribosoomides, tsütoplasma vähimates struktuurides. DNA ainult sisaldab ja säilitab informatsiooni valgu struktuuri kohta. Valgu sünteesiks saadetakse ribosoomidesse selle informatsiooni täpsed koopiad. See toimub RNA abil, mis sünteesitakse DNA-l ja kopeerib täpselt viimase struktuuri. RNA nukleotiidide järjestus kordab täpselt nukleotiidide järjestust ühes geeni ahelas. Antud geeni struktuuris sisalduv informatsioon nagu kirjutatakse sel kombel ümber RNA-le. Seda protsessi nimetatakse transkriptsiooniks (*transcribere* — ümber kirjutama, lad. k.). Igast geenist võib saada suvalise arvu RNA

koopiaid. Seda RNA-d, mis kannab ribosoomidesse informatsiooni valgu koostise kohta, nimetatakse informatsiooni-RNA-ks (i-RNA).

Selleks, et mõista, kuidas nukleotiidide koostis ja paiknemise järjestus geenis «kirjutatakse ümber» RNA-le, meenutame DNA kaksikspiraalse molekuli ehitust (joon. 91). Me rääkisime juba sellest, et ühe ahela nukleotiidid määravad nende vastas paiknevate nukleotiidide iseloomu teises ahelas (vt. lk. 166). Kui ühes ahelas on A, siis samas kohas teises ahelas paikneb T, G vastas aga alati C. Teisi kombinatsioone ei esine. See printsiip jääb kehtima ka informatsiooni-RNA sünteesil. Kuidas see toimub, võib näha joonisel 97. Iga nukleotiidi vastu ühes ahelas asetub teda täiendav nukleotiid informatsiooni-RNA-s. $G_{DNA}$ vastu asetub $C_{RNA}$, $C_{DNA}$ vastu $G_{RNA}$, $A_{DNA}$ vastu $U_{RNA}$[1], $T_{DNA}$ vastu $A_{RNA}$. Selle tulemusel on moodustuv RNA ahel oma koostiselt ja nukleotiidide järjestuselt ühele DNA ahelaist täpseks koopiaks. Informatsiooni-RNA molekulid suunatakse kohale, kus toimub valgu süntees, s. t. ribosoomidesse. Sinna suundub ka tsütoplasmast materjalide vool, s. o. aminohapped, millest ehitatakse valk. Raku tsütoplasmas on alati toiduvalkude lõhustumisel tekkinud aminohappeid.




JOON. 97. Informatsiooni-RNA sünteesi skeem.

**Transport-RNA.** Aminohapped ei satu ribosoomi pinnale iseseisvalt, vaid eriliste RNA molekulide saatel, mis on spetsiaalselt kohastunud aminohapete transportimiseks ribosoomide juurde. Neid nimetataksegi t r a n s p o r t - R N A-ks (t-RNA). Transport-RNA ahelad on suhteliselt lühikesed, koosnevad vaid mõnekümnest nukleotiidist. Nende molekuli ühel otsal on selline struktuur, millega aminohapped võivad kergesti ja kindlalt ühineda. Molekuli teisel otsal on nukleotiidide triplett, mis koodilt vastab antud aminohappele. Näiteks transport-RNA molekulil, mis on kohastunud aminohappe lüsiini transpordiks, on ühel otsal lüsiini «maandumisväljak», teisel aga nukleotiidide triplett U—U—U. Kuna esineb vähemalt 20 erinevat aminohapet, siis peab esinema ka vähemalt 20 erinevat transport-RNA-d. Igale aminohappele vastab oma transport-RNA.

---

[1] Meenutame (vt. lk. 168), et RNA-s on tümiinnukleotiidi (T) asemel uratsiilnukleotiid (U).

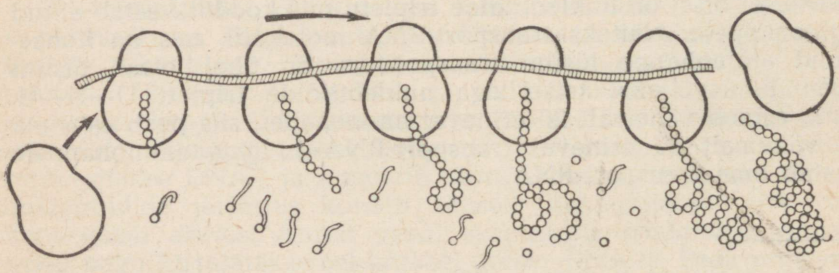
**Matriits-sünteesi reaktsioon.** Anorgaanilist ja orgaanilist keemiat õppinu jaoks on harjumuspärased sellised reaktsioonid, mis toimuvad lahustes, kus ainete molekulid on pidevas kaootilises liikumises. Sellistes süsteemides toimuvad reaktsioonid molekulide juhuslike kokkupõrgete tulemusena. Mida suurem on ainete kontsentratsioon, seda suurem on kokkupõrke tõenäosus ja seda suurem reaktsiooni kiirus. Ja vastupidi, ainete kontsentratsiooni alanemisega väheneb molekulide kohtumise tõenäosus ja reaktsiooni kiirus võib olla väga väike.

Elusates süsteemides kohtame uut tüüpi reaktsioone, mis on eespool kirjeldatud DNA replikatsiooni reaktsiooni (lk. 167) või RNA sünteesi (lk. 168) sarnased. Elutus looduses selliseid reaktsioone ei tunta. Neid nimetatakse matriits-sünteesi reaktsioonideks.

Terminiga «matriits» tähistatakse tehnikas vormi, mida kasutatakse müntide, medalite ja trükitähtede valamiseks: hanguv metall reprodutseerib valamiseks kasutatud vormi kõik detailid peensusteni.

Matriits-süntees meenutab matriitsi kasutamist tehnikas: uued molekulid sünteesitakse täpses vastavuses plaaniga, mis peitub juba olemasolevate molekulide struktuuris. Matriitsi printsiip on aluseks raku tähtsamatele sünteesireaktsioonidele, nagu seda on nukleiinhapete ja valkude süntees. Nende reaktsioonidega kindlustatakse täpne, range ja spetsiifiline monomeersete lülide järjestus sünteesitavates polümeerides. Siin toimub monomeeride suunatud koondumine kindlatesse kohtadesse rakus — matriitsmolekulidele, kus reaktsioonid toimuvadki. Kui sellised reaktsioonid toimuksid molekulide juhusliku põrkumise teel, kulgeksid nad väga aeglaselt. Keeruliste molekulide süntees matriitsi printsiibil toimub kiiresti ja täpselt.

Matriitsi osas esinevad matriits-reaktsioonides nukleiinhapete — DNA ja RNA makromolekulid. Monomeeride molekulid (nukleotiidid ja aminohapped), millest sünteesitakse polümeer, paiknevad vastavalt komplementaarsuse printsiibile ja on



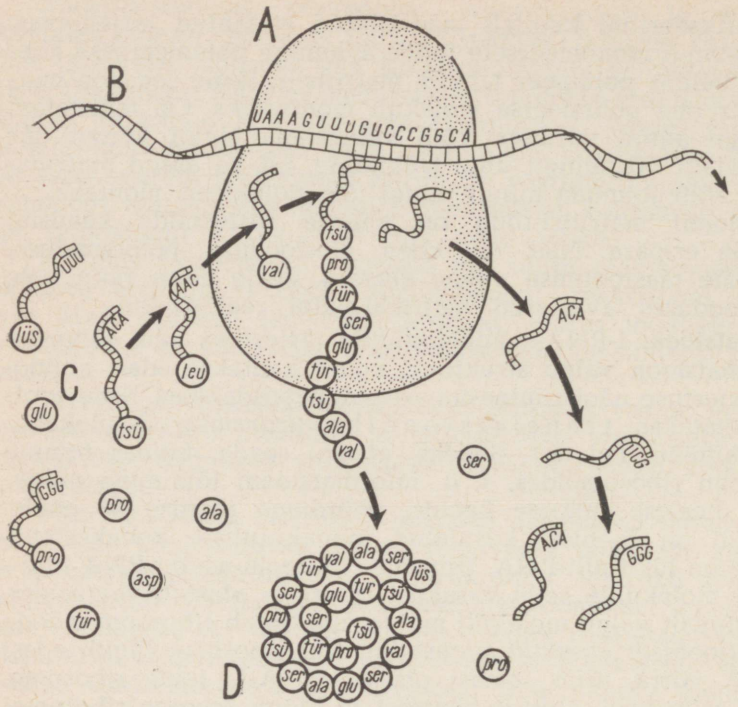
JOON. 98 Polüsoom.

matriitsil fikseeritud kindlalt määratletud etteantud järjekorras. Seejärel toimub monomeersete lülide sidumine polümeerseks ahelaks ning valmis polümeer lahkub matriitsilt. Peale seda on matriits valmis uue polümeerse molekuli montaažiks. On mõistetav, et nii nagu antud vormiga võib valmistada ainult mingit üht münti, medalit või mingit ühte trükitähte, nii ka antud matriitsmolekulil võib toimuda ainult mingi ühe polümeeri montaaž.

Reaktsiooni matriitsi-tüüp on elusate süsteemide kemismi spetsiifiline eripära. Nad on kogu elusloodu põhiomaduse, endasarnaste taastootmise võime aluseks. Peale elusa raku pole kusagil looduses avastatud matriitsi-tüüpi reaktsioone.

**Translatsioon.** I-RNA-s nukleotiidide järjestuse näol salvestatud informatsioon valgu struktuuri kohta kantakse edasi aminohapete järjestuse näol sünteesitavas polüpeptiidahelas. Seda protsessi nimetatakse translatsiooniks (*translatio* — ülekandmine, tõlkimine, lad. k.). Selleks, et aru saada, kuidas toimub translatsioon ribosoomides, s. o. informatsiooni tõlkimine nukleiinhapete keelest valkude keelde, pöördume joonise 98 poole. Ribosoomid on joonisel kujutatud munakujuliste kehakestena, milledesse on lükitud i-RNA. Esimene ribosoom asub i-RNA niidikujulisele molekulile selle vasakust otsast ja alustab valgu sünteesi. Vastavalt valgu molekuli montaažile liigub ribosoom mööda i-RNA-d (joonisel vasakult paremale). Kui ribosoom liigub edasi 50—100 Å võrra, asub samast otsast i-RNA-le teine ribosoom, mis nagu esimenegi, alustab sünteesi ja liigub esimese ribosoomi järel. Seejärel asub i-RNA-le kolmas ribosoom, neljas jne. Kõik nad täidavad ühte ja sedasama ülesannet: igaüks sünteesib ühte ja sedasama valku, mis on programmeeritud antud i-RNA-s. Mida rohkem paremale on liikunud mööda i-RNA-d ribosoom, seda suurem lõik valgu molekulist on «monteeritud». Kui ribosoom jõuab i-RNA parempoolse otsani, on süntees lõppenud ja ribosoom langeb koos oma «toodanguga» ümbritsevasse keskkonda. Siin lähevad nad lahku: ribosoom — ükskõik millisele i-RNA-le (kuna ta on võimeline igasuguse valgu sünteesiks; valgu iseloom sõltub matriitsist), valgu molekul — endoplasmaatilisse võrgustikku, mida mööda liigub raku sellesse ossa, kus vajatakse antud liiki valku. Varsti lõpetab töö teine ribosoom, seejärel kolmas jne. Aga vasakust otsast asuvad i-RNA-le üha uued ribosoomid ning valgu süntees on pidev. Üheaegselt i-RNA molekulil paiknevate ribosoomide arv sõltub i-RNA ahela pikkusest. Nii näiteks mahub hemoglobiini sünteesi programmeerivale i-RNA molekulile, mille pikkus on umbes 1500 Å, kuni 5 ribosoomi (ribosoomi diameeter on ligikaudu 230 Å). Samaaegselt ühel i-RNA molekulil paiknevate ribosoomide rühma nimetatakse polüribosoomiks ehk polüsoomiks.

Nüüd peatume üksikasjalisemalt ribosoomi töötamise mehhanismil. Vaatleme joonist 99. Mööda i-RNA-d liikudes on




JOON. 99. Valgu sünteesi skeem ribosoomis.
A — ribosoom; B — informatsiooni-RNA; C — transport-RNA koos aminohappega; D — valk.

ribosoom igal ajamomendil kontaktis tema molekuli väikese lõiguga. On võimalik, et selle lõigu suuruseks on ainult üks nukleotiidi triplett. Ribosoom ei liigu mööda i-RNA-d sujuvalt, vaid katkendlikult, astmeliselt — triplett tripleti järel. Ribosoomi ja i-RNA kontakteerumiskoha lähedal on valgu «montaaži» punkt: siin paikneb ja töötab ferment valgusüntetaas, mis koostab polüpeptiidahela, s. o. moodustab aminohapete vahel peptiidsidemeid.

Valgumolekuli montaaži mehhanism ise on ribosoomides järgmine. Igasse mööda i-RNA-d liikuvasse ribosoomi, mis kuulub polüsoomi koostisse, saabuvad ümbritsevast keskkonnast vahetpidamatu vooluna aminohappeid «kandvad» t-RNA molekulid. Nad sisenevad, puudutades oma koodi kandva otsaga ribosoomi ja i-RNA kontakteerumiskohta, ning ulatuvad kuni antud momendil ribosoomis oleva i-RNA nukleotiidide tripletini. T-RNA vastaspoolne ots (mis kannab aminohapet) on sealjuures valgu «montaaži» punkti lähedal. Ainult sel juhul, kui t-RNA koodi triplett on komplementaarne i-RNA tripletiga (mis antud momen-

dil on ribosoomis), satub t-RNA poolt kohaletoimetatud aminohape valgu molekuli koostisse ja eraldub t-RNA-st. Samaaegselt teeb ribosoom «sammu» edasi mööda i-RNA-d ühe tripleti võrra ning vaba t-RNA heidetakse ribosoomist välja ümbritsevasse keskkonda. Seal haarab ta uue aminohappe molekuli ja viib selle ükskõik millisesse töötavasse ribosoomi. Niimoodi, järk-järgult, triplett tripleti järel, liigub ribosoom mööda i-RNA-d ning kasvab polüpeptiidahel — lüli lüli järel. Selliselt töötab ribosoom — see hämmastav raku organoid, mida nimetatakse täie õigusega valgu sünteesi «molekulaarseks automaadiks».

Me mainisime juba keemikute poolt laboratooriumitingimustes teostatud valgu sünteesi. See kunstlik süntees nõudis suuri jõupingutusi, palju aega ja vahendeid. Elusas rakus aga kestab ühe valgumolekuli süntees 3—4 sekundit. See on näiteks, kui palju täiuslikumalt töötab elusa raku sünteesiaparaat.

**Fermentide osa valgu biosünteesis.** Ei tohi unustada, et ükski samm valgu sünteesi protsessis ei toimu fermentide osavõtuta. Kõiki valgu sünteesireaktsioone katalüüsivad spetsiaalsed fermendid. Informatsiooni-RNA sünteesi juhib spetsiaalne ferment, mis «libiseb» mööda DNA molekuli geeni algusest kuni lõpuni ja jätab endast maha valmis informatsiooni-RNA molekuli. Geen annab selles protsessis ainult programmi sünteesiks, protsessi enese aga teostab ferment. Fermendid võtavad osa ka aminohapete ühinemisest transport-RNA-ga.

On olemas erilised fermendid, mis kindlustavad aminohapete «püüdmise» ja liitmise vastava transport-RNA-ga. Ja lõpuks töötab ribosoomis ferment, mis seob aminohappeid omavahel.

**Valgu biosünteesi energeetika.** Üks tähtsaid valgu biosünteesi külgi on ka tema energeetika. Me oleme juba korduvalt meenutanud, et iga sünteesiprotsess kujutab endast endotermilist reaktsiooni ja järelikult vajab energia kulutamist. Valgu biosüntees kujutab endast sünteesireaktsioonide ahelat: 1) i-RNA süntees; 2) aminohapete ühinemine t-RNA-ga ja 3) valgu «monteerimine». Kõik need reaktsioonid nõuavad energeetilisi kulutusi. Valgu sünteesiks vajalik energia saadakse ATP lõhustumisreaktsioonis. Iga biosünteesi lüli on seotud ATP lagunemisega.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Mida nimetatakse DNA koodiks? 2. Millist osa valgu biosünteesi protsessis on DNA-l? 3. Millist valgu biosünteesi lüli nimetatakse transkriptsiooniks ja millist translatsiooniks? 4. DNA fragmendil koostisega C—A—T—G—G—C—T—A—G sünteesiti i-RNA fragment. Näidake ära selle koostis. 5. Millistel struktuuridel toimub valgu süntees rakus? 6. Millise energia arvel toimub valgu biosüntees?

## 40. RAKU KEEMILISE AKTIIVSUSE AUTOREGULATSIOON

Igale rakule nagu igasugusele elusale süsteemile on omane võime säilitada oma koostist ja kõiki omadusi suhteliselt püsival tasemel. Nii näiteks moodustab ATP sisaldus rakus umbes 0,04% ja seda suurust säilitatakse kindlalt vaatamata sellele, et ATP-d kulutatakse rakus pidevalt elutegevuse käigus. Teine näide: raku sisaldise reaktsioon on nõrgalt aluseline ja seda säilitatakse püsivana, vaatamata sellele, et ainevahetuse protsessis moodustuvad pidevalt happed ja alused. Kindlalt hoitakse määratud tasemel mitte ainult raku keemilist koostist, vaid ka tema teisi omadusi. Elusate süsteemide suurt püsivust ei saa seletada nende materjalide omadustega, millest nad on ehitatud, sest valgud, rasvad ja süsivesikud on vähese püsivusega. Elusate süsteemide puhul on tegemist aktiivse püsivusega, see saavutatakse keeruliste koordinatsiooni- ja regulatsiooniprotsesside kaudu.

Vaatleme näiteks, mil viisil hoitakse püsivana ATP sisaldus rakus. Nagu me teame, kulutab rakk ATP-d mingi aktiivse tegevuse käigus, ATP süntees toimub aga anaeroobse ja aeroobse glükoosi lõhustumisprotsessi tulemusena (lk. 174). Ilmselt saavutatakse ATP sisalduse püsivus tänu mõlemate protsesside (ATP kulutamise ja tema sünteesi) täpsele tasakaalustamisele: niipea kui ATP sisaldus rakus langeb, algavad kohe glükoosi anaeroobse ja aeroobse lõhustumise protsessid, mille käigus sünteesitakse ATP ning ATP sisaldus rakus tõuseb. Kui ATP sisaldus saavutab normaalse taseme, pidurdub ATP süntees. Raku normaalse koostise püsivust kindlustavate protsesside aktiveerumine või pidurdumine toimub automaatselt. Sellist regulatsiooni nimetatakse autoregulatsiooniks.

Raku elutegevuse regulatsiooni aluseks on informatsiooni protsessid, s. o. protsessid, millistes üksikute süsteemi lülide vaheline side toimub signaalide abil. Signaaliks on muutus, mis tekib mingis süsteemi lülis. Vastuseks signaalile lastakse käiku süsteemi rikutud omadust taastav protsess. Kui omadus saavutab tasakaalu, on see jällegi signaaliks, mis peatab protsessi.

ATP sisalduse alanemine rakus kujutab endast signaali ATP sünteesiprotsessi käikulaskmiseks. Kui ATP kontsentratsioon saavutab normaalse taseme, on see uueks signaaliks, mis viib ATP sünteesi lõpetamisele.

Kuidas töötab raku signaalsüsteem, kuidas ta kindlustab raku autoregulatsiooni?

Signaalide vastuvõtt raku sees toimub tema fermentide abil. Fermentidel, nagu enamikul valkudel, on labiilne struktuur. Terve rea faktorite, sealhulgas paljude keemiliste agentide mõjul rikutakse fermendi struktuur ja tema katalüütiline aktiivsus kaob. Tavaliselt on see muutus pöörduv, s. o. peale toimiva

faktori kõrvaldamist fermendi struktuur pöördub tagasi normaalsesse olekusse ja tema katalüütiline aktiivsus taastub.

Raku autoregulatsioonimehhanism põhineb sellel, et aine, mille sisaldust kindla kontsentratsiooni juures reguleeritakse, on võimeline spetsiifiliseks vastastikuseks toimeks teda tootva fermendiga. Selle vastastikuse toime tulemusena fermendi struktuur deformeerub ja tema katalüütiline aktiivsus kaob.

Raku autoregulatsiooni mehhanism töötab järgmiselt. Me teame juba, et keemilised ühendid, mis rakus toodetakse, tekivad peamiselt paljude järjestikuste fermentatiivsete reaktsioonide resultaadina. Tuletage meelde glükoosi lõhustumise anaeroobset ja aeroobset protsessi. Kumbki neist kujutab endast pikka (mitte alla kümne) reaktsioonide rida. On täiesti ilmne, et selliste paljuliikmeliste protsesside reguleerimiseks piisab mingi ühe lõigu väljalülitamisest. On küllalt, kui välja lülitada kas või üks reaktsioon — ja kogu ahel peatub. Nimelt sel teel reguleeritaksegi ATP sisaldust rakus. Kuni rakk on puhkeseisundis, püsib temas ATP sisaldus 0,04% piires. ATP sellise kõrge kontsentratsiooni juures reageerib ta ühega glükoosi anaeroobse lõhustumisprotsessi fermentidest. Selle reaktsiooni tulemusena puudub antud fermendi kõigil molekulidel aktiivsus ja anaeroobse ning aeroobse protsessi «konveierliinid» ei tööta. Kui ATP kontsentratsioon raku mingi elutalitluse tagajärjel väheneb, siis fermendi struktuur ja funktsioon taastuvad ning anaeroobne ja aeroobne protsess lastakse käiku. Tulemuseks on ATP tootmine ning tema kontsentratsioon tõuseb. Kui see saavutab normaalse taseme (0,04%), siis lülitatakse automaatselt välja anaeroobse ja aeroobse protsessi konveierid.

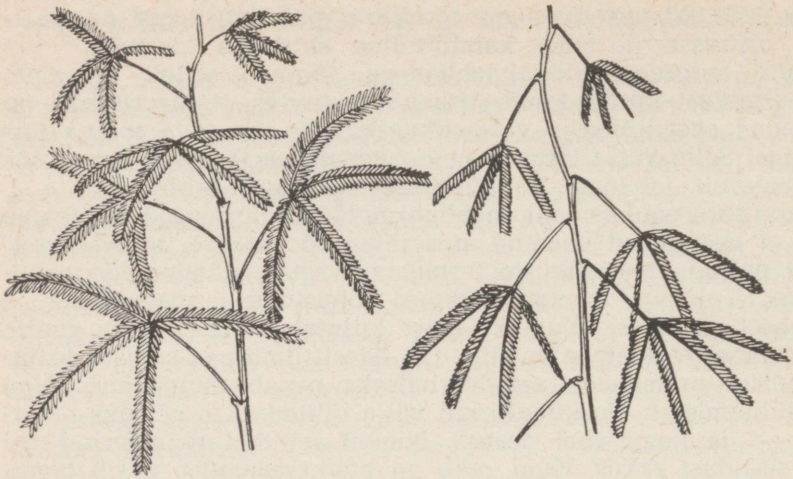
Nii nagu ATP autoregulatsioon, toimuvad rakus ka teiste ainete sisalduse autoregulatsiooniprotsessid.

**Küsimusi**

1. Mida nimetatakse autoregulatsiooniks? Millel põhineb raku autoregulatsiooni mehhanism? 2. Kuidas säilitatakse rakus ATP püsiv sisaldus, vaatamata tema pidevale kulutamisele elutegevuse käigus? Mispärast hingamisprotsess intensiivistub järsult aktiivse lihastegevuse tagajärjel?

## 41. RAKKUDE ERUTUVUS JA LIIKUMINE

**Erutuvus.** Igale elusorganismile toimivad pidevalt mitmesugused väliskeskkonna tegurid, näiteks valgus, temperatuur, rõhk, heli, elektrivool, raskusjõud jm. Kõikide välisfaktorite — ärritajate — tegevus kutsub esile organismi vastusreaktsiooni, mille aluseks on rakkude erutuvus. Erutuvuseks nimetatakse organismide ja samuti rakkude võimet vastata väliskeskkonna mõjutustele kindlate reaktsioonidega.



JOON. 100. Häbeliku mimoosi oks:
vasakul — tavalises olekus; paremal — pärast ärritaja mõju.

Erutuvust võib jälgida kõikide rakkude ja organismide juures. Nii näiteks reageerivad ainuraksetest amööb, silmviburlane ja infusoor väliskeskkonna tingimuste muutumisele asukoha muutmisega ärrituse allika suhtes. Selliseid liikumisi nimetatakse **taksisteks.**

Kui ainuraksed liiguvad ärritaja suunas, siis nende selliseid liikumisi nimetatakse *positiivseks taksiseks*; ainuraksete liikumisi ärritajast kaugemale nimetatakse aga *negatiivseks taksiseks.* Need liikumised, mis on vastuseks valguse toimele, said nimetuse **fototaksis**. Fototaksise näiteks on roheliste silmviburlaste liikumine valgusallika suunas: kui akvaarium silmviburlastega on ühtlaselt valgustatud igast küljest, siis on silmviburlased ühtlaselt jaotunud kogu veekihi ulatuses. Kui aga mingit akvaariumi osa valgustada tugevamini, siis kogunevad silmviburlased nimelt sellesse tugevamalt valgustatud ossa, ilmutades positiivset fototaksist.

Keemiliste ainete poolt põhjustatud ainuraksete liikumist nimetatakse **kemotaksiseks.** Kemotaksist võib vaadelda kinglooma juures: kui valada katseklaasi vett, milles on kingloomi, siis natukese aja pärast kogunevad nad kõik ülemisse veekihti, mis on hapnikurikkam. Kingloomad vajavad hapnikku hingamiseks ja nad ilmutavad hapniku suhtes positiivset kemotaksist. Neid ainuraksete liikumisi, mis tekivad temperatuuri muutuste toimel, nimetatakse **termotaksiseks**. Termotaksist võib samuti vaadelda kinglooma juures. Selleks paigutatakse kingloomad koos vähese

koguse veega, milles nad asuvad, peenikesse klaaskapillaari, mida ühest otsast jahutatakse jääga, teisest otsast aga soojendatakse veega kuni 38—40°. Esialgselt klaastorus kogu pikkuses ühtlaselt jagunenud kingloomad liiguvad kapillaari liiga külmadest ja kuumadest osadest eemale, ilmutades nende suhtes *negatiivset termotaksist* ja kogunevad keskmisse ossa, kus temperatuur on 24—26 °C, mis on nende jaoks optimaalne, s. o. eluks parim. Nimelt selle temperatuuri suhtes ilmutavad nad selgelt väljenduvat *positiivset termotaksist*.

Erutuvusnähtus on hästi täheldatav ka taimerakkude juures. Kõige sagedamini esineb taimedel erutuvus aeglaste liigutusreaktsioonide kujul. Selliseid aeglasi liigutusi, mis on suunatud ärritaja poole või sellest eemale, nimetatakse **tropismideks.** Laialdaselt on taimedel levinud fototropismid, mis on vastuseks valguse toimele. Taimed sirutuvad valguse poole, painduvad selle suunas ja selle reaktsiooni aluseks on nende rakkude erutuvus.

Vahel reageerivad taimerakud ärritusele ka kiiresti. Selle näiteks võib tuua kiire reaktsiooni taimel, mis on tuntud häbeliku mimoosi nime all (joon. 100). Ükskõik millise puudutuse korral, pimedusse või kõrge temperatuuri kätte üleviimisel langevad ta lehekesed kiiresti kokku ja nagu närbuksid. Kui aga ärritaja toime lakkab, võtavad mimoosi lehed endise asendi. Ka mimoosi kiire reaktsiooni aluseks on ta rakkude erutuvus.

Vaatleme veel ühte näidet ärritaja toimele vastava taime kiire reaktsiooni kohta. Soodes, mõnikord ka ojade kallastel, kasvab huulhein — putuktoiduline taim (joon. 101). Huulhein on väike, kõikjal levinud taim, vastu maad laotunud leherosetiga. Lehed on labidakeste sarnased. Iga lehe pealispind on kaetud punaste tundlike karvakestega. Iga karvakese tipp on paksenenud ja kaetud kastena sätendava ning kleepuva, liimisarnase mahlaga. Kui sellisele lehele satub putukas, näiteks sääsk või väike mardikas, siis raskendab karvakeste kleepuv mahl tema liigutusi ja putukas ongi lõksus. Lehekarvakesed, mida putukas puudutas, laotuvad putuka kohal kiiresti

JOON. 101. Huulhein — putuktoiduline taim.

kokku ja valavad selle rikkalikult mahlaga üle. Lehe sekretoorsete rakkude poolt eritatav mahl sisaldab fermente, mille toimel valgud lõhustuvad. Putukas seeditakse ja ta imendub mõne tunni jooksul. Pärast seda lehe karvakesed tõusevad sirgu ja leht on uuesti valmis «jahiks».

Võrreldes hulkraksete loomadega on ainuraksete ja taimede erutuvusreaktsioonid suhteliselt lihtsad: nende rakud on vahetus seoses väliskeskkonnaga. Oma organisatsioonilt keerulistel hulkraksetel loomadel ja inimesel on evolutsiooniprotsessis närvisüsteem muutunud peamiseks vahendajaks organismi ja ümbritseva keskkonna vahel. Inimene ja loomad saavad informatsiooni välis- ja sisekeskkonna muutustest retseptorite abil, s. t. eriliste rakkude kaudu, mis on kõrge tundlikkusega mitmesuguste ärrituste toime suhtes.

Inimesel on 5 liiki väliseid retseptoreid, mis on teile teada füsioloogia kursusest (tuletage meelde ja nimetage need). Inimese kehas on hulgaliselt ka sisemisi retseptorrakke. Nii on terves kehas hajutatud valutundlikud rakud, suurte veresoonte seintes leiame tundlikke rakke, mis reageerivad $CO_2$ kontsentratsiooni muutumisele veres.

*Erutuvus on üks elu põhitunnustest.* Kuni organism elab, on ta erutatav. Elu katkemisega kaob erutuvus. Rakkude ja organismide erutuvuse määratu tähtsus peitub selles, et ta lubab kõiki elusolendeid olla pidevas ühenduses ümbritseva maailmaga, annab võimaluse kohastuda selle maailmaga. Rakkude erutuvus on eelkõige seotud nende suurte muutustega, mis toimuvad valkudes, mis kuuluvad iga raku tsütoplasma ja tuumamembraanide koostisse. Nagu nüüd on selgunud, toimuvad ärritajate mõjul muutused valgu molekulide struktuuris. Võime muuta struktuuri vastuseks ärritajate mõjule — see on nähtavasti üks esmastest ja elementaarsetest valkude omadustest, mis on tekkinud organismide evolutsiooniprotsessi käigus.

**Liikuvus.** Erutuvusega on tihedalt seotud rakkude ja organismide liikumisvõime. Liigutuste aluseks on rakkude tsütoplasma kokkutõmbuvus. Kokkutõmbuvus on üks elusate rakkude tsütoplasma põhilistest omadustest.

Tavaliselt kasvavad taimed liikumatult ühel kohal. Erandiks on mõned üherakulised vetikad (näiteks ränivetikad), kes on võimelised iseseisvalt edasi liikuma. Me nägime juba, et selliste väliste ärrituste toimele, nagu näiteks valgus, vastavad taimed lehtede ja võrsete liigutustega. Peale selle avalduvad taimedel liigutused nende kasvus.

Kõikide taimede rakkudes liigub pidevalt tsütoplasma. Neid liikumisi nimetatakse *tsütoplasma vooludeks.* Neid on lihtne jälgida mikroskoobiga vetikate ja tradeskantsia leherakkudes ja teistes taimerakkudes. Tsütoplasma voolud esinevad ka looma-

rakkudes ja neid on kerge vaadelda näiteks selliste ainuraksete juures nagu amööbid ja infusoorid.

Liikumisvõime ümbritsevas keskkonnas on omane paljudele bakteriliikidele, ainuraksetele ja hulkraksete loomade enamikule. Ümbritsevas keskkonnas ümberpaiknemiseks võimeliste organismide juures eristatakse 4 tüüpi rakkude liikumisi: amöboidset, ripsmelist, viburilist ja lihaselist. Tooge näiteid kõigi rakkude ja organismide liikumistüüpide kohta.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Jutustage ainuraksete ja taimede erutuvuse vormidest. 2. Jutustage loomade ja inimese retseptorrakkude tähtsusest. 3. Mis on tsütoplasma voolud ja millistes rakkudes võib seda jälgida? 4. Millistele rakkudele on omane amöboidne, ripsmeline, viburiline ja lihaseline liikumine?

7. PEATÜKK

# ELU TEKKIMINE JA ESIALGNE ARENEMINE MAAL

## 42. ELU MÕISTE MÄÄRATLEMINE

Ümbritsevat loodust vaadeldes on inimene seda iidsetest aegadest alates jaganud elusate ja elutute kehade maailmaks. Elusad kehad on inimesed, loomad, taimed; elutute hulka arvatakse kivid, liiv, vesi, savi ja samuti loomade surnukehad ning surnud taimed. Mille poolest siis erinevad elusad ja elutud kehad? Isegi teaduses kogenematu inimene märkab kergelt seda ühist, mis lubab tal lugeda elusate olevuste hulka inimest ja puud, vaala ja ämblikku, lindu ja molluskit. Ja kui asjaarmastaja klaasilihvija Leeuwenhoek nägi esimesena mikroskoobis mikroobe, tunnistas ta need kõhklemata elusateks olevusteks. Mille järgi juhindub inimene, kui ta kannab ühed kehad elutute, teised — elusate hulka? Püüdke läheneda sellele küsimusele lihtsa, teaduses kogenematu inimese positsioonilt.

Paljud loevad elusale kehale iseloomulikuks omaduseks tema liikumisvõimet. Pärast surma ta kaotab liikuvuse. Ent kui me otsustaksime määratleda elusat keha kui keha, mis on võimeline liikuma, siis me loomulikult eksiksime, kuna ühelt poolt on teada suur hulk vaieldamatult elavaid, kuid mitteliikuvaid kehi, näiteks käsnloomad ja peaaegu kõik taimed. Teiselt poolt on teada rida kehi, mis on võimelised aktiivseks liikumiseks, kuid on kahtlematult elutud, näiteks kõik inimese poolt loodud liikuvad masinad ja mehhanismid. Sel viisil ei õnnestu eristada elusat keha ainult tema liikumisvõime järgi.

Teiseks tunnuseks, mida loetakse elusatele organismidele ise-

loomulikuks, on nende võime hingata. Hingavad nii inimesed, loomad kui ka taimed. Pärast surma hingamine lakkab. Kuid ka see kriteerium on ekslik, kuna ühelt poolt tuntakse organisme, kes üldse ei tarvita hapnikku (mõningad soolenugilised, paljud ainuraksed ja mikroobid), teiselt poolt aga esineb elutuid süsteeme, mis tarvitavad aktiivselt hapnikku ja eraldavad süsihappegaasi (põlev küünal, töötav bensiinimootor). Igasugune orgaaniliste ainete hapendumisreaktsioon toimub hapniku neeldumise ja süsihappegaasi eraldumisega.

On veel üks elusate kehade tunnus — see on nende paljunemisvõime. Ja tõesti, võime sünnitada endasarnaseid on elusale väga iseloomulik omadus. Kuid ka seda omadust ei saa lugeda püsivaks ja ainuõigeks elu tunnuseks, kuna ühelt poolt eksisteerib rida kahtlematult elusaid olendeid, kes ei ole võimelised endasarnaste taastootmiseks, näiteks töömesilased, muulad või kastreeritud loomad; teiselt poolt võib kaasaegne tehnika (tehniline küberneetika) konstrueerida ja valmistada masinaid, mis on võimelised taastootma endasarnaseid masinaid; on selge, et neid seadmeid ei pea keegi elusaks.

Me valisime kolm tunnust ja näeme, et mitte ükski neist ei ole täielikult iseloomulik elavale ja ei ole kasutatav tema määratlemiseks.

Nagu järeldub, kujutab elunähtuste iseloomustamine endast keerulist ülesannet. Minevikus on tehtud korduvalt katseid leida elule kõige iseloomulikumat ja seda määratleda. Elu määratluste autorite hulgas on kuulsaid teadlasi, filosoofe ja looduseuurijaid: Aristoteles, Kant, Lamarck, Cuvier ja paljud teised. Elu vanade määratluste hulgas ei ole aga ühtki tähelepanuväärivat. Mõned määratlused on niivõrd segased, et ei ole võimalik taibata nende mõtet. Toome näitena ühe sellistest määratlustest: «Elu on maailma hing, universumi võrdsustamine.» Kuigi teised määratlused on arusaadavamad, ei selgita nad midagi. Nii näiteks anti Prantsuse Entsüklopeedias selline määratlus: «Elu on surma vastand.»

Teadusliku kommunismi rajaja Friedrich Engels annab oma raamatus «Anti-Dühring» järgmise, klassikaliseks muutunud elu määratluse: «Elu on valk-kehade eksisteerimise viis ning see eksisteerimise viis oma olemuselt seisneb nende kehade keemiliste koostisosade pidevas endauuendamises.» Nagu näeme, ei piirdu Engels ainult elu tunnustele viitamisega, vaid ta kriipsutab alla selle kõige iseloomulikumad jooned. Engelsi määratlus koosneb kahest osast. Esimeses osutatakse valgusisaldusele kui elusale iseloomulikule, mis teravalt eristab teda elututest kehadest. Me teame juba (lk. 153), et valgud on peamisteks ja püsivateks koostisosadeks eranditult kõikides elussüsteemides — alates kõige primitiivsematest kuni kõige keerukamate ja kõrgesti organiseeritumateni. «Kõikjal, kus esineb elu,» kirjutab Engels, «me leiame,

et ta on seotud valkudega ja kõikjal, kus esineb valke, me kohtame eranditult ka elunähtusi.»

Kuid valgud on kergesti muudetava struktuuriga ained. Elusale ei ole iseloomulik mitte ükskõik millise valgu (laip koosneb samuti valkudest), vaid ainult oma unikaalse konfiguratsiooni, esmase, teisese ja kolmandase struktuuri säilitanud valgu olemasolu koos juurdekuuluvate loomupäraste omadustega. Organismi surma korral kaotavad tema valgud natiivse struktuuri, makromolekulid keerduvad lahti ja valgud lähevad denatureerunud olekusse. Selleks, et säilitada valku natiivsel, elusale olekule omasel kujul, on vajalikud sellised tingimused, mille juures valgu natiivne vorm on püsiv. Määratluse teises osas Engels räägibki valkude eksisteerimise viisist. See viis on ainevahetus, mille abil luuakse ja säilitatakse tingimused valkude hoidmiseks elusates süsteemides natiivsel kujul ja kindlustatakse temale omaste funktsioonide täitmine. Engelsi poolt formuleeritud elu määratlus on suurepärane oma vormilt, sügav sisult ning on osutanud olulist mõju valgu kui elu põhilise substantsi uurimise arengule ja on kuni tänapäevani leidnud laialdast tunnustamist.

«Anti-Dühringi» avaldamisest on möödunud juba üle 80 aasta. Sel ajavahemikul on loodusteaduste eri harudes tehtud suuri avastusi. Märkimisväärsed on ka edusammud elu uurimise alal. Avastati nukleiinhapped ja nende replikatsiooni mehhanism, selgitati nende tähtsus pärilike omaduste edasiandmisel. Tekkisid uued bioloogilised teadusharud: biofüüsika ja biokeemia, bioonika ja molekulaarbioloogia. Seoses küberneetika arenguga on märkimisväärselt levinud elunähtuste modelleerimine — eluprotsesside erinevaid külgi imiteerivate aparaatide konstrueerimine ja ehitamine. Ja lõpuks, on ellu viidud lennud kosmosesse ning saanud reaalsuseks elu uute vormide avastamisvõimalus teistel planeetidel. Kõik need asjaolud on loomulikult tõuganud uurijaid elu uute määrangute otsimisele, milles peegelduksid bioloogia uusimad saavutused.

Elu uutes määrangutes leidsid eelkõige kajastamist täppisteaduste — füüsika, matemaatika, keemia, küberneetika bioloogiasse tungimise resultaadid. Nii näiteks on peaaegu kõikides elu uutes määratlustes üheks esimeseks punktiks osutamine sellele, et elav keha on avatud süsteem. Mõiste «avatud süsteem» on laenatud füüsikast. Avatud süsteemide all mõistetakse dünaamilisi (s. o. sisemises liikumises olevaid) süsteeme, mis on püsivad välise energia ja mateeria pideva juurdepääsu tingimustel. Avatud süsteemi piltlikuks näiteks võib olla anum, kus vee püsiv tase saavutatakse juurdevoolu ja samaaegse pideva äravoolu abil. Avatud süsteemideks on enamik jõumasinaid: autod, aurumasin, elektrivedurid. Kõik nad töötavad pideva, väljastpoolt tuleva kütuse või elektrienergia juurdevoolu arvel. Elav organism kujutab endast kahtlemata samuti avatud süsteemi, kuna ta eksistee-

rib seni, kuni väliskeskkonnast temasse saabub energia ja materia toidu näol ning väljaheited eraldatakse ümbritsevasse keskkonda. Kuna iga elav keha — ainuraksest kuni kõige komplitseeritumani — on avatud süsteem, siis on nähtavasti sobiv see tunnus sisse tuua ka elu määratlusse.

Elavate kehade teine universaalne omadus on nende autoregulatsiooni võime, võime automaatselt hoida ja säilitada oma koostise ja omaduste konstantsust.

Elavate kehade kolmas erinevus on nende keemilise koostise eripära. Peale valgu, mille elulist tähtsust rõhutas juba Engels, on elavate kehade oluline ja püsiv koostisosa nukleiinhapped. Sellest ongi tingitud, et peale viitamise valgu tähtsusele elussüsteemide ehituses rõhutatakse elu määratlustes ka nukleiinhapete osa. Toome ühe kaasaegsetest elu määratlustest, püüdke seda selgitada.

«Maal eksisteerivad elusad kehad kujutavad endast avatud, isereguleerivaid ja ennast taastootvaid süsteeme, mis on ehitatud biopolümeeridest — valkudest ja nukleiinhapetest.»[1]

Pöörake tähelepanu selle määratluse autori poolt tehtud piiravale tingimusele: «Maal eksisteerivad elusad kehad.» Nähtavasti ei ole välistatud võimalus, et teistel planeetidel võivad esineda elusad kehad, mis oluliselt erinevad maapealsetest.

**Ülesandeid**

1. Esitage elu määratlus F. Engelsi järgi. 2. Esitage üks teile teadaolevaist kaasaegseist elu määratlustest.

## 43. ELU PUUDUMINE MAAL PLANEEDI ESIALGSE ARENGU PERIOODIL

Maa eksisteerimise esimesel perioodil ei olnud ja ei saanudki olla elu. Nagu teada, on elu võimalik kindlate tingimuste olemasolu korral. Üks selliseid tingimusi on keskkonna temperatuur. Rõhuv enamik organismidest on võimeline aktiivseks olelemiseks suhteliselt kitsas temperatuurivahemikus, näiteks —20° kuni +50 °C. Kõrvalekalded mõlemale poole seda vahemikku on elule ohtlikud.

Muuseas, vastavalt kaasaegse kosmoloogia andmetele ulatus planeetide, sealhulgas ka Maa temperatuur nende eksisteerimise algperioodil kuni miljoni ja enama kraadini. Loomulikult ei ole mõeldav ette kujutada elu esinemise võimalust sellistes tingimustes.

[1] Selle määratluse autor on nõukogude teadlane prof. M. V. Volkenštein.

Järelikult võib kinnitada, et Maa oli oma eksisteerimise algperioodil surnud ja viljatu. Ta oli absoluutselt steriilne. Sellest hoolimata tekkis steriilsel Maal elu, ilmusid esimesed organismid koos kõigi elu atribuutidega: ainevahetuse, erutuvuse, paljunemise ja evolutsioneerumise võimega jne. Võib oletada, et 2—2,5 miljardit aastat tagasi toimuski tõenäoliselt see tähtis sündmus Maa ajaloos — elu tekkimine.

Kuidas nägi välja esimene elusorganism, ei ole teada. Kas ta ilmus ühe eksemplarina ja paljunes seejärel või tekkisid sel ajal Maa erinevates paikades esimesed olesed massiliselt, on teadmata. Kas elav organism tekkis Maal ainult üks kord või on Maa pika ajaloo kestel temale ilmunud organisme mitmel korral, andes alguse fauna ja floora eri harudele, on uus mõistatus. Siiani on kõik need küsimused jäänud ilma vastuseta ja ootavad uurijaid. Kuid Maal elu tekkimise probleemi peamine komplitseeritus ei seisne taoliste küsimuste lahendamises. Probleemi keerukus ja erakordne huvi selle vastu seisneb selles, et kaasaegse bioloogia andmetel igasugune elav olend, alates kõige primitiivsemast kuni kõige keerulisema ja kõrgesti organiseeritumani, sünnib ainult oma vanematest, s. t. elavatest olestest. Ürgse esmasorganismi ilmumine toimus kahtlemata mingil teisel teel: ta tekkis, nagu eespool öeldud, steriilsel Maal, kus enne teda ei olnud mitte midagi elavat. Kuidas see võis toimuda?

Tuleb arvestada, et sellele küsimusele ammendavat vastust veel ei ole. Vaatamata bioloogiliste, keemiliste ja füüsikaliste teaduste edusammudele, vaatamata eluprotsessi struktuursete, biokeemiliste ja funktsionaalsete aluste üksikasjalisele ja igakülgsele tundmisele ei ole teaduse käsutuses veel andmeid, et lahendada seda küsimust täpselt ja veenvalt.

**Küsimusi**

1. Millistel põhjustel ei olnud ega saanudki olla Maa eksisteerimise algperioodil elu? 2. Milliseid andmeid esitab paleontoloogia selle kasuks, et elu on kunagi Maal alguse saanud?

## 44. VANAD ETTEKUJUTUSED ELU TEKKIMISEST

Antiik- ja keskajal oli bioloogiliste teadmiste tase väga madal. Tõsiseid järeldusi tehti pealiskaudsete ja mitteusaldatavate vaatluste põhjal. Laia tunnustuse ja leviku sai õpetus elusate oleste tekkimisest mitteelusast materjalist. Sel ajal olid väga levinud vaated, et konnad tiigis tekivad mudast või kõntsast, ussid sõnnikust või roiskuvast lihast ning kärbsed, tarakanid, lutikad mustusest ja jäätmetest. Siinjuures tuleb alla kriipsutada, et sellised ettekujutused ei võimutsenud mitte ainult lihtsate, harimatute inimeste peas, vaid neid esitasid ja kaitsesid õpetlased, mis

aitas kaasa nende vaadete levikule ja kinnistumisele. Näiteks väljapaistev flaami teadlane van Helmont (1577—1644) viitab oma raamatus hiirte tekkimise võimalustele mustast pesust. Teine sama epohhi suur teadlane — arst ja alkeemik Paracelsus (1485—1540) avaldas inimese (*homunculuse*) kunstliku valmistamise retsepti.

Meile tunduvad tänapäeval sellised ideed väga imelike ja isegi naljakatena, kuid sel ajal suhtuti neisse täie usaldusega. Et neid mõista, peab endale ette kujutama seda epohhi, olustikku ja filosoofiat. Eelkõige oli see religiooni õitsengu aeg. Uskliku inimese jaoks lahendatakse elu tekkimise küsimus lihtsalt: see on jumalik looming, s. t. ime. Kõrvuti religiooniga arenesid keskajal märgatavalt sellised väärteadused nagu alkeemia, astroloogia ja must maagia. Inimesed uskusid «tarkade kivi» (filosoofilise kivi) olemasolu, mille omamine pidi tegema inimese kõikvõimsaks, pidi andma odavate metallide kullaks muutmise, vee veiniks ja vanaduse nooruseks muutmise võime. Põhiline idee seisnes ime esinemise võimaluse printsipiaalses tunnistamises, s. t. igasuguse, ka kõige fantastilisema kavatsuse teostatavuses. Selleks, nagu oletati, oli ainult vaja teada retsepti ja täpselt täita kõiki vajalikke ettekirjutusi.

Ei maksa mõelda, et väärad ettekujutused bioloogias on kauge keskaja osaks. Näiteks ainult 150 aastat tagasi ilmus Peterburis neljaköiteline teos, milles kirjeldati, kuidas kärnkonnad tekivad roiskunud partidest, skorpionid — kuivatatud skorpionide pulbrist, vähid — põletatud vähkide tuhast. Ei maksa unustada, et sellised «teadmised» levisid sel ajal, kui juba ammu oli avastatud diferentsiaal- ja integraalarvutus matemaatikas, mehaanika seadused füüsikas, põhilised seadused keemias! Nagu näha jäi bioloogia areng veel tunduvalt ja pikaks ajaks maha täppisteaduste — füüsika ja matemaatika arenemisest. Samuti osutusid väärkujutlused, mis tekkisid mitme sajandi eest, väga elujõulisteks. Seoses sellega tuleb kõrgelt hinnata üksikute teadlaste jõupingutusi, kes suutsid sellele ebausu ja harimatuse merele vastandada tõelise teaduse faktid.

**Küsimusi**

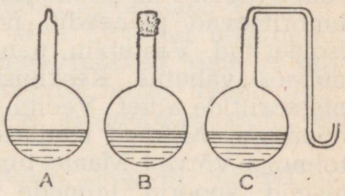
1. Kuidas kujutasid endale ette elu tekkimist Maal vanakreeka ja keskaja õpetlased? 2. Kuidas saab seletada seda, et ettekujutused elavate organismide tekkest elutust materjalist on nii püsivad?

## 45. TÕENDID ELU ISETÄRKAMISE VÕIMATUSEST KAASAJAL

Esimesele kohale tuleb paigutada itaalia arsti Francesco Redi nimi. Ta avaldas 1668. aastal järgmiste lihtsate katsete resultaadid. Kaheksasse klaasnõusse paigutati tükk värsket liha. Neli nõu jäeti avatuks, neli ülejäänut kaeti marliga. Mõne päeva pärast ilmusid roiskuvale lihale «ussid» (kärbeste vastsed). Kuid nad ilmusid ainult avatud nõudes olevale lihale. Marliga kaetud nõudes lihal «usse» ei olnud. See annab tunnistust sellest, et ussid ei teki mitte lihast (nagu seni arvati), vaid kärbeste poolt lihale munetud munadest. See oli esimene löök ettekujutusele elu isetärkamisest. Eriti kaua püsis ettekujutus isetärkamisest mikrobioloogias. Kui lihapuljong, suhkrulahus või mingi muu selline tõmmis või lahus asetada sooja kohta, ükskõik kas avatud või suletud nõudes, siis mõne päeva möödumisel kihavad neis mikroobid. Mikroobe leidub kõikjal: vees, õhus, mullas, tolmus, teiste organismide keskkonnas; roiskumisel ilmuvad nad alati. Näib vaieldamatu, et kogu looduses on levinud elu ja elu ilmneb alati sobivates temperatuuri- ja niiskusetingimustes.

Küsimuse mikroorganismide isetärkamise võimalikkusest lahendas noor ukraina teadlane M. M. Terehhovski (1775). Ta näitas, et mingeid mikroobe ei sigine, kui lihapuljong läbi keeta ja nõu kinni joota. Näib, et see katse rääkis küllalt selgelt mikroobide iseenesliku tekke vastu. Kuid tolleaegsed õpetlased ei pidanud Terehhovski andmeid veenvateks, kuna oletati, et elu tekkeks on vajalik värske õhu juurdepääs.

Küsimus lahendati lõplikult alles 80 aasta pärast. Erakordne huvi elu tekkimise ja mikroobide isetärkamise võimaluse vastu õhutas Pariisi Teaduste Akadeemiat 1860. aastal määrama preemiat tööle, mis sisaldab selle probleemi lahenduse. Preemia omistati keemikule ja bakterioloogile, suurepärasele eksperimentaatorile Louis Pasteurile. Pasteur pani puljongi pika kitsa, S-kujulise kaelaga kolbi (joon. 102). Nüüd pääses õhk vabalt nõusse, kuid õhus olevad mikroobid ei suutnud temasse tungida, kuna nad sadestusid S-kujulises kaelas. Seejärel Pasteur keetis puljongit, et tappa kõik selles leiduvad mikroobid. Pärast seda jäeti nõud seisma. Nüüd neis mikroobe ei siginenud. Möödusid kuud, kuid nõude sisemus jäi steriilseks. Pruukis ainult ühte sellist kolbi




JOON. 102. Pasteuri kolbid.

kallutada nii, et temas sisalduva puljongiga loputada S-kujulist kaela ja siis lasta puljongil voolata tagasi kolbi, kui selles algas varsti roiskumine. Roiskumine oli tingitud sellest, et puljongisse sattusid S-kujulises kaelas olevad mikroobid ja nende spoorid.

Nii tõestati veenvalt ja lõplikult mikroorganismide isetärkamise võimatus.

Pasteuri tööd saavutasid laialdase kuulsuse ja üldise tunnustuse. Palju aitas sellele kaasa nende suur praktiline tähtsus. Nendele tuginedes põhjendati steriliseerimise meetodid, töötati välja õpetus aseptikast ja antiseptikast, mille juurutamisel meditsiinis vähenesid järsult komplikatsioonid ja surmajuhtumid pärast kirurgilisi operatsioone. Oluline tähtsus oli neil töödel ka konservitööstuse arengus.

Pärast Redi, Terehhovski ja Pasteuri töid tunnistati üksmeelselt ja tingimusteta, et organism, kõige primitiivsemast kuni kõige keerukama ja kõrgemini organiseeritumani, sünnib ainult oma vanemaist, s. t. elavatest organismidest. See seadus formuleeriti lühikese aforismi kujul: «Kõik elav tekib elavast.» Kuid kohe kerkis küsimus: kuidas tekkis elu Maal, kus enne seda ei olnud midagi elavat?

## 46. ELU TEKKEPROBLEEMI TEADUSLIKU UURIMISE PERIOOD

Pasteuri katsete tulemused veensid teadlaste ringkondi, et kaasajal ei ole võimalik elu isetärkamine elutust. Pasteur ise ja paljud tema kaasaegsed tegid neist andmetest järelduse, et elusa tekkimine elutust on printsipiaalselt võimatu, s. t. ei teki mitte kunagi ja mitte mingitel tingimustel. Selleks, et ikkagi selgitada, kuidas võis Maal elu tekkida, püstitati igavese elu hüpotees. Mõte seisis selles, et elu algeod (taimede ja mikroorganismide spoorid, ainuraksete tsüstid) nagu oleksid hajutatud kosmilisse ruumi ja kanduvad planeedilt planeedile. Selle vaate palava pooldajana esines XIX sajandi lõpul väljapaistev teadlane, füüsik ja keemik S. Arrhenius — elektrolüütilise dissotsiatsiooniteooria rajaja. Seda vaadet jagas ka suur nõukogude teadlane, biogeokeemik, akadeemik V. I. Vernadski. Ka käesoleval ajal on sellel vaatel rida pooldajaid. Nad osutavad sellele, et Maa ja teda ümbritsevad planeedid pole kunagi olnud üksteisest täielikult isoleeritud. Vastupidi, nende vahel on alati eksisteerinud side ja mateeriavahetus. Keskmiselt langeb Maale ööpäevas 1 tonn meteoriitide ainet. Veelgi enam sadeneb tolmu — kuni 250 tonni ööpäevas. Mitmed teadlased oletavad, et koos meteoriitidega ja tolmuga võivad Maale tungida ka elusad ja eluvõimelised organismid: spoorid, taimede tolmuterad, mikroorganismid, ainurak-

sete tsüstid jne. Arrhenius esitas oletuse, et imepeened elu algeod võiksid kosmilises ruumis valguskiirte rõhu toimel edasi kanduda tohutu kiirusega, mis ulatub mitme tuhande kilomeetrini sekundis. Loomulikult saaks see vaade tõsise toetuse osaliseks, kui oleks rangelt tõestatud elusate organismide olemasolu kosmilises tolmus ja meteoriitides. Käesoleval ajal hoitakse Euroopa ja Ameerika muuseumides umbes 600 meteoriiti. Paljusid neist on üksikasjaliselt uuritud. Mõnedes neist avastati orgaaniliste ainete olemasolu. Teistes leiti struktuure, mis meenutavad vetikaid, kolmandates — mingeid kivistunud, Maal tundmatuid organismide vorme. Elusate organismide otsingud meteoriitidest on aga seni lõppenud edutult.

Elu teistelt planeetidelt Maale ümberasumise hüpoteesi vastu on olnud arvukalt vastuväiteid. Paljud on arvamusel, et organismide ülekandumisel kosmilises ruumis surmatakse nad ultravioletkiirgusega, mille intensiivsus kosmoses on väga suur. Väidetakse samuti, et mingi elav organism ei suuda taluda kosmilise ruumi madalat temperatuuri ja kõrget temperatuuri, milleni kuumeneb meteoriit, läbides Maa atmosfääri. Kuid akadeemik A. A. Imšenetski näitas, et meteoriidi pragudesse varjunud mikroorganismid võivad olla kindlalt kaitstud ultravioletkiirguse eest, rea teiste teadlaste katsetest selgus aga, et paljud spoorid ja teised veevabad organismid on võimelised kahjustumata taluma temperatuure, mis on lähedased absoluutsele nullile ja samuti küllalt kõrgeid temperatuure (tunduvalt üle 100°), eriti kui need toimivad lühiajaliselt. Nii nähtavasti ei oma kõik need vastuväited otsustavat tähtsust. Palju olulisem on teine printsipiaalne vastuväide. Kui oleks tõestatud, et Maale võivad meteoriitidega sattuda elavad organismid ja järelikult võis elu Maal tekkida ülekandumise teel teistelt planeetidelt, mil viisil siis tekkis elu neil teistel planeetidel? Kosmoloogia andmetel on planeetide tekke ja arengu ajalugu omavahel sarnased. Nad kõik läbivad tähe staadiumi, s. t. staadiumi, mil nad kujutavad endast hõõguvat keha ja järelikult sel perioodil temperatuuritingimused nende pinnal on absoluutselt sobimatud eluks. Mis kujul tekkis elu neil planeetidel? Võttes omaks hüpoteesi elu ümberasumisest planeedilt planeedile, hoiame tegelikult kõrvale elu tekkimise küsimuse lahendamisest. Selle tõttu see hüpotees, kuigi tal ei puudu tõepärasus, pole leidnud bioloogide tunnustust.

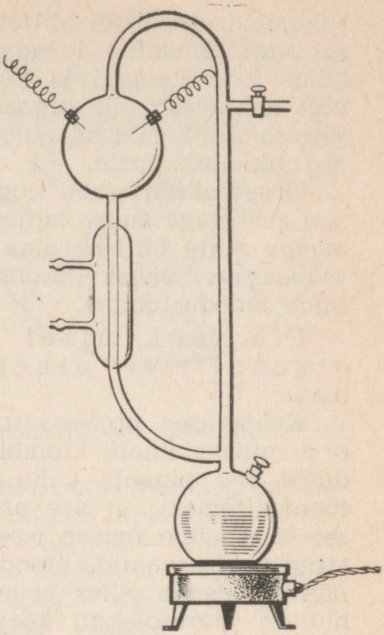
Tunduvalt enamat huvi pakub teine seisukoht, mille kohaselt elu tekkis Maal anorgaanilisest, s. o. elutust mateeriast. Vastavalt sellele seisukohale, mis on põhiliselt välja töötatud nõukogude teadlase, akadeemik A. I. Oparini töödega, tekivad Maal ja teistel planeetidel nende pikaajalise evolutsiooni mingil etapil tingimused, mis teevad võimalikuks ja isegi möödapääsmatuks elu tekkimise.

Pöördume uuesti Maa ja teiste planeetide kaugesse minevikku,

mil nad kujutasid endast hõõguvast gaasist kerakujulisi moodustisi. Võrreldes Päikese massiga oli planeetide mass väikene. Seetõttu lõppesid termotuumareaktsioonid neil varem kui Päikesel ja planeedid hakkasid jahtuma. Nende pöörlemine jätkus ning neis sisalduvad rasked aatomid (nikkel, raud) kontsentreerusid tsentrisse, kergemad aatomid (räni, alumiinium) kogunesid keskmistesse kihtidesse, kõige kergemad (vesinik, süsinik, lämmastik, hapnik) paigutusid pealispinnale. Sel asjaolul on väga sügav tähendus. Tuleb alla kriipsutada ja meeles pidada: neljast elemendist — vesinikust, süsinikust, lämmastikust ja hapnikust — koosnevadki peamiselt organismid (lk. 149).

Kui planeedi väliskihtide temperatuur langes kahe tuhande kraadini, ühinesid erinevate elementide aatomid üksteisega ja moodustusid keemilised ühendid. Vesinik ja hapnik andsid $H_2O$, vesinik ja süsinik — metaani ($CH_4$), süsinik ja hapnik — $CO_2$, vesinik ja lämmastik — ammoniaagi ($NH_3$), vesinik, süsinik ja lämmastik moodustasid tsüaanvesinikhappe (HCN) jne. Peale erinevate aatomite vaheliste ühendite tekkisid vabade vesiniku, lämmastiku ja hapniku aatomite liitumise tulemusena nende ainete molekulid: $H_2$, $N_2$, $O_2$. Möödus veel palju aastatuhandeid (võib-olla ka miljoneid aastaid), enne kui planeedi pindmine kiht jahtus niivõrd, et hakkas muutuma teda moodustavate ainete agregaatolek. Kerged, madala keemistemperatuuriga vesiniku-, süsiniku-, lämmastiku- ja hapnikuühendid — $H_2$, $N_2$, $CH_4$, $CO_2$ jt. — on gaasilises olekus laias temperatuuri diapasoonis. Paljud neist esinevad siiani Maal gaasilises olekus. Nad moodustavad Maa kõige välimise kihi — tema atmosfääri. Kõrge keemistäppidega ained muutusid vedelikeks, seejärel tahkusid. Moodustus maakoor — algul õhuke ja habras, seejärel järjest massiivsem ja vastupidavam. Maakoor purunes sageli: ta paiskus üles plahvatustest, vapustades sisemust, mitmetes kohtades moodustusid kraatrid ja neist purskusid Maa pinnale hõõguva laava massid. Planeedi pinnale tekkisid mäed ja sügavad lohud. Tema pind jäi veel kauaks ajaks väga tuliseks. Tingimused, mis sel kaugel epohhil valitsesid Maal, tuletasid tõenäoliselt meelde tingimusi, mis on käesoleval ajal Veenusel. Nagu teada, maandus Nõukogude planeetidevaheline jaam «Veenus 4» sujuvalt Veenuse pinnale ja uuris selle planeedi atmosfääri ja pealispinda. Temperatuur Veenuse pinna lähedal on 280°. Sellise temperatuuri juures on tina vedelas ja vesi aurustunud olekus. Sel epohhil, mil Maa pealispinna temperatuur oli selline, nagu ta praegu on Veenusel, ei olnud Maal vett. Maa kohal sadade kilomeetrite kaugusel olid tihedad veeauru pilved.

Kui Maa pealispinna temperatuur langes alla 100°, algasid paduvihmad. Need kestsid öid ja päevi tuhandete aastate kestel, vesi täitis maapinna lohud ning moodustusid mered ja ookeanid. Tulises vihmavees lahustusid atmosfäärist pärit $NH_3$, $CO_2$, $CH_4$,



JOON. 103. Anorgaanilistest ainetest orgaaniliste ainete sünteesimise aparaadi skeem.

HCN, samuti soolad ja teised Maa pinnakihtidest väljapestud ained.

Sel kaugel ajal paistis Päike eredamalt kui praegu, päikesekiirgus oli aga võimsaks energiaallikaks. Äike oli sel ajal sagedane ja ebatavaliselt tugevajõuline, maapinda tabasid pidevalt välgud. Sellistes tingimustes pidid ürgookeanis lahustunud ainete vahel vältimatult toimuma keemilised reaktsioonid, mille tulemusena võisid moodustuda orgaanilised ühendid.

Elu tekkimisel Maal oli esimeseks sammuks mittebioloogiline (abiogeenne) orgaaniliste molekulide süntees anorgaanilistest.

Mitme miljardi aasta eest Maal valitsenud tingimustes toimuda võinud keemiliste reaktsioonide uurimiseks konstrueeris ameerika keemik Miller aparaadi, mille ehitus on toodud joonisel 103. Aparaati viiakse (kraani kaudu) mõningaid aineid, mis võisid esineda ürgookeani vees: $H_2O$, $CO_2$, $NH_3$, $CH_4$. Kolbi kuumutatakse ja selles keeb vesi, vee aur täidab aparaadi ning tema temperatuur püsib 80° juures. Aparaadi laiema osa seintesse on joodetud kaks elektroodi, mille kaudu sinna juhitakse elektrivoolu, mis annab sädelahendusi. Veeaur kondenseerub jahutis veeks, mis voolab tagasi kolbi. Aparaat on hästi hermetiseeritud ja töötab vahetpidamatult pikka aega. Juba esimestel päevadel märgati kolvis vedeliku värvi muutumist: värvitust oli see muutunud kollaseks, aga nädala möödudes tumepruuniks. Lahuse analüüsimisel leiti, et seal esineb suur hulk mitmesuguseid orgaanilisi ühendeid: alkohole, aldehüüde, happeid, suhkruid, aminohappeid ja rida teisi. Samasuguseid tulemusi said ka nõukogude teadlased Passõnski ja Pavlovskaja. Nad uurisid sellise faktori mõju, mille toime Maa eksisteerimise algetappidel oli tõenäoliselt veel suurem kui elektrilaengutel, s. o. ultravioletkiirte mõju.

On täiesti selge, et sel viisil võis iidsel ajal Maal toimuda orgaaniliste ühendite moodustumine. Orgaanilised molekulid astusid üksteisega vastastikustesse seostesse ja moodustasid kee-

rukamaid ühendeid. Miljonite aastate jooksul tekkisid ja lagunesid uute ühendite loendamatud variandid — lihtsatest kuni kõige keerukamate ja kõrgmolekulaarsemateni. Nende hulgas võis nähtavasti olla orgaaniliste ühendite kõikvõimalikesse klassidesse kuuluvaid ühendeid: nii süsivesikuid, rasvu, valke kui ka nukleiinhappeid.

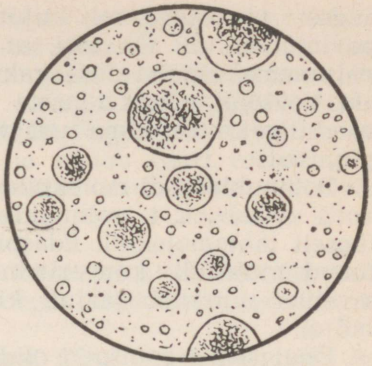
Orgaanilised ained kogunesid ürgookeani vette. Alguses olid nad seal väga suure lahjendusega lahuse näol. Kuid elule ei ole omane mitte ühtlane aine jaotus, vaid selle tihenemine ja individuaalsete, väliskeskkonnast eraldatud süsteemide — organismide moodustumine.

Elu tekkimisel Maal oli teiseks sammuks orgaaniliste ainete kontsentreerumise protsess.

Kuidas see protsess toimus, on raske öelda. Võimalik, et orgaaniliste ainete klombid settisid rannaäärses liivas või eraldusid vee pinnale vahu näol. Akadeemik Oparin peab kõige tõenäolisemaks, et see protsess toimus kõigile kõrgmolekulaarsetele ainetele omase iseenesliku kontsentreerumise ja niinimetatud koatservaatide moodustamise tungi mõjul. Koatservatsiooni nähtus seisneb selles, et mõningates tingimustes (näiteks elektrolüütide juuresolekul) kõrgmolekulaarsed ained eralduvad lahusest, kuid mitte sademe kujul, vaid kontsentreerituma lahuse näol. Sel viisil lahus kihistub, jäädes sealjuures ikkagi vedelikuks, kaheks segunematuks lahuseks, mis erinevad kõrgmolekulaarsete ainete kontsentratsiooni poolest. Suurema kontsentratsiooniga lahust nimetataksegi koatservaadiks.

Koatservaadi raputamisel laguneb see väikesteks tilkadeks (joon. 104). Koatservaadi tilgakesed kujutavad endast lihtsaima organisatsiooniga paljumolekulaarset süsteemi. Orgaaniliste ainete suurema kontsentratsiooni tõttu koatservaadis ja järelikult molekulide tihedamal paiknemisel suureneb järsult nende omavahelise vastastikuse toime võimalus. Sel viisil laieneb tunduvalt orgaanilise sünteesi võimalus tänu orgaaniliste ainete kontsentreerumisele.

Akadeemik A. I. Oparini uurimused näitasid, et koatservaadi tilgakesed ilmutavad mitmeid omadusi, mis väliselt meenutavad elava süsteemi omadusi: nad on näiteks võimelised absorbeerima ümbritsevast lahusest mitmesuguseid aineid: see meenutab toitumisprotsessi. Ainete neeldumise tulemusena koatservaadi tilgakesed suurenevad mõõtmetelt: väliselt sarnaneb see raku kasvamisega. Võib valida sellised katsetingimused, mille juures koatservaadi poolt neelatud ained astuvad omavahelisse reaktsiooni, selle reaktsiooni produktid aga eraldatakse koatservaadist väliskeskkonda. See sarnaneb ainevahetuse produktide eraldamisega rakust. A. I. Oparini arvates toimub koatservaadi tilgakeste vahel isegi midagi olelusvõitluse taolist, mille tulemusena jäävad ter-



JOON. 104. Koatservaadi tilgad.

veteks vastupidavamad, ümbritseva keskkonnaga kohanenumad tilgakesed.

Kuigi koatservaadid meenutavad väliselt oma vormi ja mõningate omaduste poolest elavaid objekte, on nad loomulikult elutud moodustised. Neil puudub veel elava organismi peamine tunnus — võime oma koostisesse kuuluvate ühtede ja samade molekulide taastootmiseks, neil ei ole veel elusale süsteemile nii iseloomulikku oma koostise iseuuendamise võimet.

Kolmandaks ja viimaseks astmeks elu tekkimisel oli molekulide taastootmise protsessi tekkimine.

Õppides tundma valgu biosünteesi (lk. 182), tutvusite polünukleotiidide — DNA ja RNA-ga ning nende tähelepanuväärse replikatsioonivõimega. Polünukleotiidid esinevad kõikidel evolutsiooniastmetel kõikides elussüsteemides, alates kõige lihtsamatest kuni kõige keerukamateni — viirustest kuni inimese närvirakkudeni. On võimalik, et esimesteks isepaljunevateks molekulideks võisid olla samuti polünukleotiidid. Ürgsed polünukleotiidid olid tõenäoliselt palju lihtsamad kui kaasaegsed ja sisaldasid ainult paarkümmend lüli. Nende replikatsiooni protsess toimus arvatavasti aeglasemalt kui tänapäeval. Kuid ühe molekuli järgi samasuguse koostise ja struktuuriga teise molekuli montaaž tähistas keemilise sünteesi uue printsiibi — matriitssünteesi sündi, mis on nii iseloomulik elusatele süsteemidele.

Loomulikult on koatservaadilt lihtsaimale isepaljunemisvõimega süsteemile ülemineku ajaloos veel palju selgusetut. Peale isepaljunevate molekulide võtavad kaasaegsetes rakkudes sellest protsessist osa ka fermendid, mis katalüüsivad polünukleotiidide liitumise protsessi. Selle protsessi elluviimiseks on vajalik ka ATP molekulide olemasolu, millest saadakse energiat. Muuseas, on võimalik, et isepaljunemise protsessi kõik need vajalikud komponendid olid olemas ürgookeani vees ja neeldusid koatservaadi tilgakestesse. Võib-olla olid esialgsed olesed sarnased kaas-

aegsete viirustega, mis kujutavad enda koostiselt peaaegu puhast polünukleotiidi. On tõsi, et kaasaegsed viirused on võimelised paljunema ainult elusa raku sisemuses. Siiski on võimalik, et elu koidikul võisid tänaste viiruste eellased paljuneda koatservaaditilgakestes, kuna neis võisid olla kõik selleks vajalikud tingimused.

Polünukleotiidi molekulide taastootmise käigus esinevad mõnikord «vead», s. t. polünukleotiidi uus molekul ei kopeeri täiesti täpselt lähtemolekuli. Edaspidi aga toimub juba selle uue, muutunud molekuli kopeerimine. Nii tekivad muutused. Nende sagedus suureneb järsult kiirguste, eriti ioniseerivate kiirguste mõjul.

Esialgsed organismid olid oma toitumise tüübilt tõelised heterotroofid, kuna nad kasutasid valmis orgaanilisi aineid. Sel perioodil ei olnud toitumine veel teravaks probleemiks: ürgookean sisaldas küllaldasel hulgal mitmesuguseid ühendeid. Seoses organismide paljunemisega kasutati ära orgaaniliste ainete varud, kuid uute süntees ei jõudnud järele vajadustele. Algas võitlus toidu pärast, milles tulid võitjaks aktiivsemad, vastupidavamad ja kohanenumad. Pärilike muutuste tulemusena juhuslikult omandatud kaitsvad kohastumised, ehituse iseärasused või ainevahetuse iseärasused kinnistusid valiku kaudu, kui nad andsid kasvõi kõige väiksemaid eeliseid ellujäämiseks. Nähtavasti just nimelt valiku mõjul kinnistusid elusate moodustiste paljud omadused, mis viisid esialgsete organismide muutumisele kaasaegseteks viirusteks ja rakkudeks. Nii näiteks moodustus viirustel nukleiinhappe ümber kaitsev kest või tekkis tsütoplasma kiht tuuma ümber, moodustus rakkude välismembraan jne.

Suureks sammuks elu evolutsiooni teel oli autotroofse toitumise teke. Orgaaniliste ühendite üha vähenevate tagavarade tingimustes tekkis mõnedel organismidel võime iseseisvalt sünteesida organismi ühendeid ümbritseva keskkonna lihtsatest anorgaanilistest ainetest. Selliseks sünteesiks vajalikku energiat hakkasid mõned organismid vabastama lihtsaimate keemiliste hapendus- ja taandusreaktsioonide kaudu. Nii tekkis kemosüntees, mis on ka tänapäeval energiaallikaks mõningatel bakteritel.

Eriti suur, progressiivne, aromorfoosi[1] tüüpi muutus oli fotosünteesi tekkimine. Päikese nähtav valgus kujutas ammendamatut, püsivat energiaallikat. Nähtavasti tekkisid juba elu koidikul mingitel organismidel värvunud molekulid, kaasaegse klorofülli eelkäijad, mis katalüüsisid vee fotolüüsi- ja ATP ning NADP-$H_2$ sünteesiprotsesse kasutades päikeseenergiat. Fotosünteesi tekkimine ja areng osutasid tohutut mõju elu edasisele evo-

[1] Aromorfoos — progressiivne morfoloogiline või füsioloogiline muutus loomadel või taimedel, mis viib arengus uuele kvaliteedile. Selle mõiste võttis kasutusele A. Severtsov. *(Tõlk.)*

lutsioonile. Ei atmosfääri ega ookeani ei jäänud elu tekkeperioodil vaba hapnikku: see aktiivne element oli seotud teiste elementidega ja esines erinevate anorgaaniliste ainete koostises. Selletõttu said organismid esialgu energiat orgaaniliste ainete anaeroobsetest reaktsioonidest (lk. 174). Nagu me teame, on see energia saamise viis väheefektiivne ja nõuab suurt toidukogust. Fotosünteesi arenguga ja vaba hapniku ilmumisega atmosfääri ja vette tekkis uus energia vabastamise tee — aeroobne lõhustumine (vt. lk. 175).

Aeroobne protsess on umbes 20 korda efektiivsem anaeroobsest, mistõttu hingamisvõimelised organismid hakkasid kiiresti ja edukalt arenema.

Fotosüntees soodustas elu arengut Maal ka teisel teel. Asi on selles, et elutekke perioodil allus Maa intensiivse päikesekiirguse toimele, mis oli elu jaoks hukutav. Kuna vees kiirgus neeldub, siis esialgselt oli elu võimalik ainult ookeanis. Koos fotosünteesivate organismide arenguga ja hapniku kogunemisega muutus osa hapnikust osooniks, mis on võimeline intensiivselt neelama ultraviolett- ja ioniseerivat kiirgust. Tulemuseks oli see, et Maale langes üha vähem ja vähem hukutavat kiirgust ja sai võimalikuks elu kuival maal. Elu «väljus» veest ja levis kogu Maa pinna ulatuses.

Sageli küsitakse: «Kas tänapäeval on Maal võimalik elu tekkimine mittebioloogilisel teel?» Nähtavasti on see võimatu, kuna sel juhul, kui kuskil toimuks orgaaniliste ainete moodustumine, kasutataks need kohe ära heterotroofsete organismide poolt. Meie ajal tekivad elusad organismid ainult bioloogilisel teel, s. o. endasarnaste olendite sünnitamise teel.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Milles seisneb igavese elu hüpotees ja miks see hüpotees pole leidnud tunnustust bioloogide hulgas? 2. Iseloomustage maapealse elu tekkimise põhilisi etappe akadeemik A. I. Oparini ettekujutuste alusel. 3. Milline tähtsus maapealse elu arenemisele oli fotosünteesi tekkimisel? 4. Milliseid eksperimentaalseid tõestusi on teada orgaaniliste ühendite abiogeense sünteesi võimaluste kohta?

8. PEATÜKK

## ORGANISMIDE PALJUNEMINE JA INDIVIDUAALNE ARENEMINE

Paljunemine ehk taastootmisvõime on kõigi elusorganismide üheks põhiomaduseks alates bakteritest kuni imetajate ja õistaimedeni. Paljunemine kindlustab iga liigi eksisteerimise, tagab järjekestvuse vanemisendite ja nende järeltulijate vahel. Järgnevalt õpime tundma organismide paljunemise mitmekesiseid vorme.

Kõigi paljunemisvormide aluseks on raku jagunemine, mis kulgeb taimede ja loomade juures üsna sarnaselt. Kuna sugulise paljunemisega seotud keerulised protsessid tekkisid raku jagunemise alusel, vaatleme kõigepealt protsessi, mis viib ühest rakust kahe raku moodustumisele.

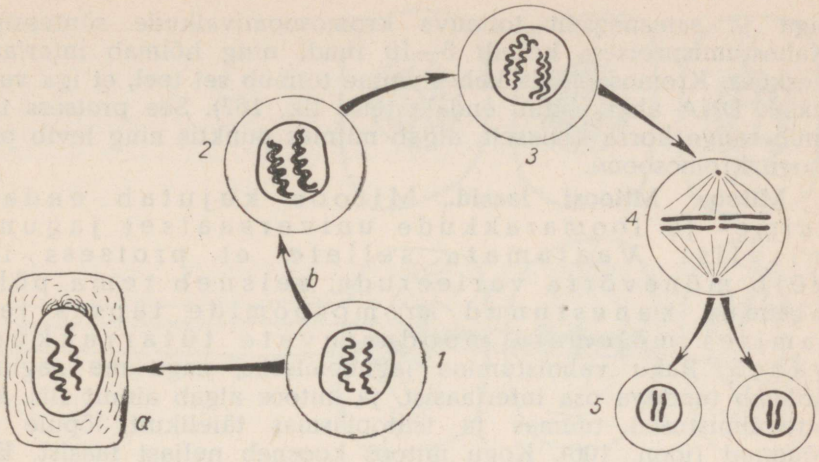
## 47. RAKU MITOOTILINE JAGUNEMINE

**Interfaas ja erinevad rakkude jagunemisviisid.** Eristatakse kaht jagunemisviisi: 1) enamlevinud, täisväärtuslik jagunemine on mitoos (kaudne jagunemine) ja 2) amitoos (otsene jagunemine). Mitoosi ajal toimuvad muutused tsütoplasmas, hajub tuumamembraan ja tulevad esile kromosoomid. Raku elus eristatakse mitoosi perioodi ja vaheaega jagunemiste vahel, mida nimetatakse interfaasiks. Kuid mittejaguneva raku periood — interfaas — võib oma olemuselt olla mitmesugune. Ühel juhul rakk interfaasis funktsioneerib, töötab ja valmistub samal ajal ette järgmiseks jagunemiseks. Teistel juhtudel rakud lähevad interfaasi, funktsioneerivad, kuid jagunemiseks enam ei valmistu. Keerulises hulkrakses organismis on arvukalt rakurühmi, mis on kaotanud jagunemisvõime. Nende hulka kuuluvad näiteks närvirakud (joon. 74).

Interfaasis toimub raku ettevalmistumine mitoosiks. Selleks et kujutada endale ette mainitud protsessi põhijooni, meenutame rakutuuma ehitust.

Rakutuuma struktuuri põhiühikuks on DNA-st ja valgust koosnevad kromosoomid. Elusate, kuid mittejagunevate rakkude tuumades ei saa tavaliselt üksikuid kromosoome üksteisest eristada, kuid suurem osa kromatiini (lk. 144) on värvitud preparaatides nähtav peente niitidena või mitmesuguse suurusega teradena ja vastab kromosoomidele. Mõnedes rakkudes on üksikud kromosoomid selgesti näha ka interfaasi tuumas, nagu näiteks areneva viljastatud muna kiirestijagunevates rakkudes ja mõnede ainuraksete tuumades. Raku erinevatel eluperioodidel toimuvad kromosoomides tsüklilised muutused, mis on jälgitavad ühest jagunemisest teiseni.

Mitoosi ajal kujutavad kromosoomid endast pikenenud tihkeid kehi, milles pikisuunas võib eristada kaht DNA-d sisaldavat niiti — kromatiini, mis kujutavad endast kromosoomi kahestumise tulemust (joon. 105). Igal kromosoomil esineb primaarsoonis ehk tsentromeer, mis kujutab endast kromosoomi ahenenud osa ning võib asuda kas kromosoomi keskel või lähemal selle ühele otsale. Igas kromosoomis paikneb aga tsentromeer rangelt kindlaksmääratud kohal (joon. 108). Mitoosi ajal kujutavad kromosoomid ja kromatiidid endast tihedalt käändunud spiraalseid niite (spiraliseerunud ehk kondenseerunud olek). Interfaasi tuumades




JOON. 105. Skeem, mis illustreerib interfaasi ja mitoosi perioodide tsüklilisust: 1 — rakk perioodil, mil ta võib hakata valmistuma pooldumiseks (näidatud noolega b) või lakata jagunemast ja ainult talitleda (näidatud noolega a); 2 — interfaas, mille ajal algab ettevalmistus pooldumiseks; 3 — rakk, mille tuumas on juba kromosoomid kahekordistunud; 4 — poolduva raku metafaas; 5 — pärast pooldumist tekkinud kaks rakku.

on kromosoomid tugevalt välja venitatud, despiraliseerunud, mille tagajärjel neid on raske eristada. Järelikult seisneb kromosoomide muutuste tsükkel spiraliseerumises, kui nad lühenevad, paksenevad ja muutuvad hästi eristatavateks, ja despiraliseerumises, kui kromosoomid venituvad välja ja põimuvad omavahel ning siis ei saa neist ühtki eraldi kindlaks määrata. Spiraliseerumine ja despiraliseerumine on seoses DNA talitlusega, kromosoom funktsioneerib ainult despiraliseerunud olekus. Spiraliseeritud olekus, mitoosi ajal katkeb informatsiooni üleandmine — RNA moodustumine DNA osavõtul.

Seda, et kromosoomid esinevad ka mittejaguneva raku tuumas, tõestab DNA hulga ja kromosoomide arvu jäävus ning kromosoomide individuaalsuse säilimine jagunemisest jagunemiseni.

**Raku valmistumine mitoosiks.** Interfaasi ajal toimub rida protsesse, mis kindlustavad mitoosi. Peamised neist on: 1) tsentrioolide pooldumine; 2) kromosoomide kahestumine, s. t. DNA ja kromosoomivalkude hulga kahekordistumine; 3) valkude süntees, millest ehitatakse akromatiinkääv; 4) energia kuhjumine ATP näol, mis kulub jagunemise ajal ja 5) raku kasvu lõppemine.

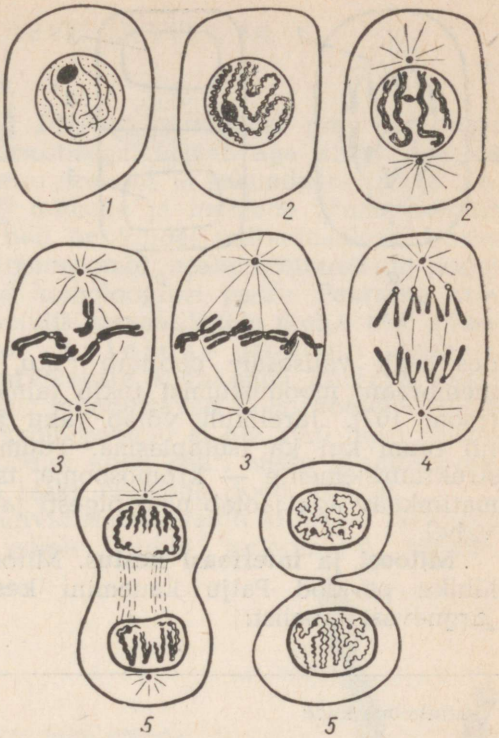
Esmajärguline tähtsus raku ettevalmistumisel mitoosiks on DNA sünteesil ja kromosoomide kahestumisel.

Kromosoomide kahestumine on seotud eelkõige DNA süntee-

siga ja samaaegselt toimuva kromosoomivalkude sünteesiga. Kahestumisprotsess kestab 6—10 tundi ning hõlmab interfaasi keskosa. Kromosoomide kahestumine toimub sel teel, et iga vana üksik DNA ahel ehitab endale teise (lk. 167). See protsess toimub range korra kohaselt, algab mitmes punktis ning levib piki kogu kromosoomi.

**Mitoos. Mitoosi faasid.** Mitoos kujutab endast taime- ja loomarakkude universaalset jagunemisviisi. Vaatamata sellele, et protsess ise võib mõnevõrra varieeruda, seisneb tema põhiolemus kahestunud kromosoomide täpses jaotamises mõlemate moodustuvate tütarrakkude vahel. Raku valmistumine jagunemiseks, nagu me nägime, hõlmab tunduva osa interfaasist, ja mitoos algab ainult siis, kui ettevalmistused tuumas ja tsütoplasmas täielikult lõpule on jõudnud (joon. 106). Kogu mitoos koosneb neljast faasist. Esimese faasi — profaasi ehk eelastme ajal jagunevad tsentrioolid ja hakkavad vastassuundades liikuma. Nende ümber moodustuvad tsütoplasmast akromatiinniidid, mis koos tsentrioolidega moodustavad akromatiinkäävi. Tsentrioolide lahknemise lõpuks on rakk muutunud polaarseks. Mõlemad tsentrioolid paiknevad vastaspoolustel ja raku kesktasapinda võib nimetada ekvatoriaalpinnaks. Akromatiinkäävi niidid koonduvad tsentrioolidel ja lähevad laiali ekvaatoril, millega meenutavadki kujult käävi. Üheaegselt käävi moodustumisega tsütoplasmas hakkab tuum paisuma ja tuumas tuleb selgelt esile jämenenud niitide — kromosoomide kera. Profaasi vältel toimub kromosoomide spiraliseerumine, millega kaasneb nende lühenemine ja jämenemine. Profaas lõpeb tuumamembraani lahustumisega ja kromosoomid jäävad lebama tsütoplasmasse. Sel ajal on näha, et kromosoomid on juba kahekordsed (joon. 106, 2).

Seejärel saabub teine faas — metafaas ehk keskaste. Esialgu korrapäratult paiknevad kromosoomid liiguvad ekvaatorile. Kõik nad paiknevad tavaliselt ühes tasapinnas, võrdsel kaugusel tsentrioolidest. Sel ajal kinnitub osa kääviniite kromosoomidele, teine osa aga ulatub endiselt ühest tsentrioolist teiseni (tuginiidid). Vedavad ehk kromosoominiidid kinnituvad tsentromeeridele (kromosoomide primaarsoonistele). Siinjuures tuleb meeles pidada, et nii kromosoomid kui ka tsentromeerid on juba pikisuunas pooldunud ja seega kahekordsed. Poolustelt lähtuvad vedavad niidid kinnituvad neile lähematele kromosoomidele. Sellele järgneb lühike paus. See on mitoosi keskne osa, mille järel algab kolmas faas — anafaas ehk vaheaste. Anafaasi ajal hakkavad vedavad kääviniidid lühenema, vedades kromosoome erinevatele poolustele. Sealjuures käituvad kromosoomid passiivselt, liiguvad vääneldes, tsentromeeridega ees, millest neid veavad kääviniidid. Anafaasi alguses väheneb tsütoplasma viskoos-

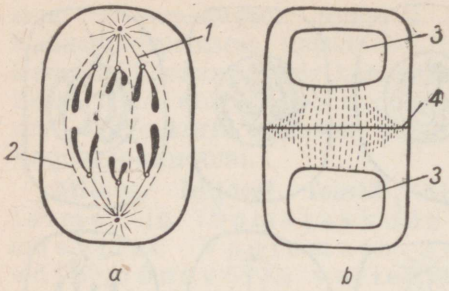



JOON. 106. Loomaraku mitoos: 1 — mittejaguneva raku tuum, milles on näha suur tuumake; 2 — kaks profaasi staadiumi; tsentrioolid on lahknenud eri poolustele, selgesti on näha pikaksveninud kromosoomid; 3 — kaks metafaasi staadiumi: tuumakest on lahustunud, käävi vedavad niidid kinnituvad kromosoomide primaarsoonistele, mis joonisel on kujutatud valgete ringikestena; 4 — anafaas, kromosoomid on lahknenud eri poolustele; 5 — kaks telofaasi staadiumi: tuumade rekonstruktsioon ja tsütoplasma jagunemine.

sus, mis soodustab kromosoomide kiiremat liikumist. Järelikult kindlustavad kääviniidid juba interfaasis pooldunud kromosoomide täpse lahknemise erinevatele rakupoolustele.

Mitoos lõpeb t e l o f a a s i ehk lõppastmega. Poolustele lähenevad kromosoomid vänduvad tihedalt üksteise ümber. Samaaegselt algab nende väljavenimine (despiraliseerumine) ning muutub võimatuks eristada üksikuid kromosoome. Järk-järgult moodustub tsütoplasmast tuumamembraan, ilmub tuumake ja taastub endine interfaasituuma olek.

Anafaasi lõpul või telofaasi alguses hakkab jagunema tsütoplasma. Loomarakkudel ilmub väljastpoolt alates rõngakujuline soonis, mis süvenedes jagab raku kaheks väiksemaks tütarrakuks. Taimedel tekib tsütoplasmaatiline kest raku keskosas ning levi-




JOON. 107. Loomaraku anafaas — a: 1 — pidevad jooned — vedavad kääviniidid, 2 — punktiirjooned — katkematud kääviniidid; b — vahe-seina moodustumine taimeraku jagunemise telofaasis: 3 — tuum, 4 — vahesein.

des sealt välisosale poolitab raku. Alles pärast plasmaatilise membraani moodustumist tekib taimerakkudel tselluloosist kest (joon. 107). Järelikult võtab raku jagunemisest aktiivselt osa nii tuum kui ka tsütoplasma. Tuum sisaldab unikaalseid raku struktuurelemente — kromosoome, tsütoplasmast kujunev akromatiinkääv aga jaotab neid õigesti ja võrdselt mõlema tütarraku vahel.

**Mitoosi ja interfaasi kestus.** Mitoos on raku elus suhteliselt lühike periood. Palju kauemini kestab interfaas, nagu näeme järgnevast tabelist:

| Vaatlusalune kude | Kestus tundides | |
|---|---|---|
| | interfaas | mitoos |
| Hiire peensoole epiteelkude | 12—18 | 0,5—1 |
| Hiire kaksteistsõrmiksoole epiteelkude | 11 | 0,5 |
| Põldoa juuremeristeem | 25 | 3 |

Kiirestijagunevais rakkudes võib mitoos kesta vaid mõne minuti. Järelikult varieerub mitoosi kestus mõnest minutist 2—3 tunnini. Interfaas aga kestab 8—10 tunnist mõne ööpäevani.

Ka mitoosi üksikute faaside kestus on erinev:

| | | | |
|---|---|---|---|
| profaas | 20—35 min.; | anafaas | 8—14 min.; |
| metafaas | 6—15 min.; | telofaas | 10—40 min. |

**Küsimusi**

1. Missugused on rakkude jagunemisviisid? Iseloomustage neid. 2. Mis on akromatiinkääv ja millal ta moodustub rakus? 3. Millal poolduvad kromosoomid? 4. Missuguses olekus on kromosoomid interfaasi ja mitoosi ajal? 5. Missugune osa on primaarsoonisel (tsentromeeril) kromosoomide lahknemises?

## 48. KROMOSOOMIDE ARVU JÄÄVUS JA INDIVIDUAALSUS

Kromosoomid koosnevad DNA-st ja valgust ning on seega kõik ühesuguse keemilise koostisega. Erineb aga kromosoomide kuju ja suurus, primaarsoonise asukoht ja sekundaarsooniste olemasolu (joon. 108). Paljude taimede ja loomade kromosoomide uurimine on näidanud, et neil on kindel individuaalsus. Lisaks sellele avastati, et kõik kromosoomid peale niinimetatud sugukromosoomide moodustavad homoloogilisi paare. Paariline kromosoomigarnituur on iseloomulik somaatilistele (keha- ehk mittesugu-) rakkudele ja kannab *diploidse* garnituuri nimetust. Joon. 109 on kujutatud korvõieliste sugukonda kuuluva koertubaka kuus kromosoomi, mis moodustavad kolm homoloogiliste kromosoomide paari. Kuid kromosoomid ei ole alati hästi eristatavad. Samal joonisel on toodud kolm paari sääse kromosoome, mida välistunnuste järgi on raske eraldada (joon. 109, 3).

Kromosoomide arv ja individuaalsus säilib kõikides rakkudes ja on iga liigi jaoks sellele liigile iseloomulik tunnus.

JOON. 108. Kromosoomi ehitus: 1 — primaarsoonis.

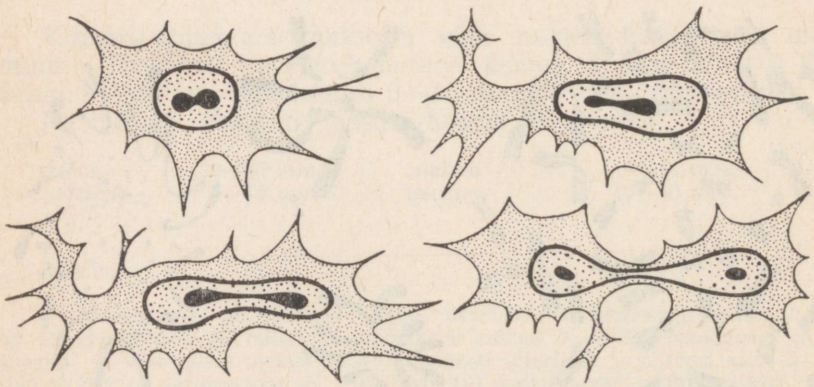
JOON. 109. Diploidne kromosoomigarnituur rakkudes: 1 — inimesel; 2 — koertubakal; 3 — sääsel; 4 — kanal.

Tabelis on toodud mõnede taime- ja loomaliikide kromosoomide arv:

| Liik | Diploidne kromosoomide arv | Liik | Diploidne kromosoomide arv |
|---|---|---|---|
| Oder | 14 | Kana | 78 |
| Kaer | 42 | Küülik | 44 |
| Tomat | 24 | Kits | 60 |
| Koertubakas | 6 | Lammas | 54 |
| Puuviljakärbes | | Šimpans | 48 |
| *(Drosophila)* | 8 | Inimene | 46 |
| Toakärbes | 12 | | |

**Amitoos.** Amitoos kujutab endast interfaasi seisundis tuuma jagunemist ilma kromosoomide spiraliseerumiseta ja ümberkorraldumiseta tuumas. Näiteks võib tuua mõned sidekoe rakud, kus tuum venib välja, tema keskosas tekib soonis, mis süvenedes katkeb ja rakus moodustub kaks tuuma. Seejärel hakkab soonistuma tsütoplasma ning selle tulemusel saadakse kaks rakku (joon. 110). Sageli jaguneb ainult tuum. Selle tagajärjel rakk muutub kahetuumaliseks, kui aga selliseid jagunemisi on ühtejärge mitu, siis hulktuumaliseks. Vahel jaguneb tuum amitoosi käigus ebavõrdseteks osadeks — üks osa on suurem ja teine väiksem. Nähtavasti jaotub DNA amitoosis tütarrakkude vahel ebavõrdselt.

Amitoosi võib sageli täheldada haiguslike rakuseisundite korral või siis ebasoodsate tingimuste mõjul rakule, näiteks pärast mõjutamist madala temperatuuriga või röntgenikiirtega, seega



JOON. 110. Amitoosi järjestikulised staadiumid. Tuuma nöördumine, millele järgneb raku nöördumine.

toimefaktoritega, mis häirivad mitoosi kulgu. Pärast tuuma läbinöördumist amitoosis enamikul juhtudest tsütoplasma ei jagune, tuuma nöördumise esinemine aga viitab reeglina sellele, et rakus on toimunud pöördumatud muutused, mis varem või hiljem viivad ta hukkumisele.

Mitoos on primaarne raku jagunemisviis, mis on enam levinud ja füsioloogiliselt täisväärtuslik. Amitoosi tuleb pidada muundunud mitoosiks ja seega sekundaarseks nähtuseks. Amitoos esineb suhteliselt harva ega ole täisväärtuslik tuuma ja raku jagunemisviis.

**Küsimusi**

1. Mis on diploidne kromosoomigarnituur? 2. Milles seisnevad amitoosi ja mitoosi vahelised erinevused?

## 49. RAKKUDE ELUIGA, VANANEMINE JA SURM

Hulkraksete organismide kasv ja arenemine on seotud nende massi suurenemisega, mis toimub rakkude jagunemise teel. Nii algab näiteks roti arenemine ühest rakust. 12—13 päeva pärast sisaldab arenev rotiloode 50 miljonit rakku. Sünnimomendiks koosneb rotipoeg 6 miljardist rakust, kolmekuusel rotil on nende arv kasvanud enam kui kümnekordseks.

Imetajatel ja paljudel teistel loomadel toimub peale kasvuga seotud rakkude paljunemise veel pidev rakkude suremine ja asendumine teistega. Nii näiteks nahaepiteeli sarvkihi rakud kooruvad pidevalt maha ja asenduvad uutega. Sama toimub ka vererakkudega. On välja arvutatud, et keskmist kasvu täiskasvanud inimesel sureb igas sekundis umbes 2 miljardit vere punaliblet ning asendub uutega, mis laekuvad luuüdist, kus nende varu kogu aeg jagunemise teel uutega täiendatakse. Jagunevate rakkude eluea määrab interfaasi kestus — ajavahemik ühest jagunemisest teiseni. Kuid raku elus eristatakse veel teist ajavahemikku — raku viimasest jagunemisest kuni surmani, seega perioodi, kui rakk elab ja talitleb, kuid enam ei jagune. Näiteks lakkavad imetajate närvirakud paljunemast sünnimomendil või varsti pärast sündi ja nende keskmine eluiga on võrdne organismi elueaga. Teiste kudede funktsioon on seotud rakkude pideva suremisega — vereringesse sattunud erütrotsüüdid elavad ja talitlevad seal umbes 120 päeva ja seejärel hukkuvad. Sama toimub ka leukotsüütidega, mis elavad ja talitlevad ainult mõne päeva.

Kudede hulka, mille funktsioon on seotud rakkude uuenemisega, kuuluvad ka mitmesugused epiteelkoed. Toodud näidetest selgub, et rakkude jagunemine mitoosi teel täiskasvanud orga-

nismis on seotud normaalselt kulgeva rakkude uuenemisega, s. o. füsioloogilise regeneratsiooniga. Rakkude jagunemine kindlustab samuti kudede taastumise regeneratsiooni teel haavamise, põletuse või muude kahjustuste korral. Loomulikult on organismides kasvu ajal rohkem paljunevaid kui surevaid rakke, mis kindlustabki üldise rakumassi suurenemise.

**Rakkude vananemine ja surm.** Rakkude vananemise ja suremise ning organismi vananemise ja surma vahel võib vahetut seost ka mitte olla. Tuuma kadumaminek erütrotsüütides, mis teeb võimatuks valgu sünteesi, teeb vältimatuks raku hukkumise, mis sõltub raku enda valkude vananemisest. Nahaepiteeli rakkude sarvestumisel kuhjub tsütoplasmas eriline valk, mis viibki rakkude hukkumisele. Kõigil juhtudel on vananemise algus seotud jagunemise lakkamisega ja spetsiifiliste valkude kogunemisega tsütoplasmas, mis viibki rakud hukkumisele. Teisiti on asi pika elueaga rakkude (näiteks närvirakkude) juures. Vananemisel tekivad häired ainevahetuses, tsütoplasmasse kogunevad pigmenditerad, vahel ka rasvatilgad. Samasuguseid nähtusi täheldatakse neeru- ja maksarakkudes. Neil juhtudel on rakumassi suremine seotud organismi vananemise ja surmaga.

Toodud näidetest selgub, et vananemise tunnuseid võib harilikult avastada tsütoplasmas. Rakkude kasvatamisel kunstlikul söötmel koekultuuri tingimustes võivad nad paljuneda lõpmatult. Selleks on vaja pidevalt vahetada söödet ja eemaldada liigsed rakud. Nii näiteks kestis kanatibu kudedest saadud rakukultuur umbes 50 aastat, rida teisi koekultuure kasvab aga kümneid aastaid. Võiks arvata, et tuum ei mängi osa rakkude vananemises. See ei ole aga nii. Rakud, mis tekivad anomaalsete mitooside tulemusel, ei oma alati täielikku kromosoomigarnituuri, mis aga viib raku kindlale hukkumisele nii organismis kui koekultuuris. Järelikult võivad vananemisnähtuste kandjaks olla: 1) rakutuum ja selle geneetiline aparaat; 2) kogu rakk tervikuna või 3) ainult tsütoplasma.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Tooge näiteid inimese kudede kohta, milles toimub perioodiline rakkude uuendumine. 2. Milliste kudede rakud ei jagune? 3. Millised muutused toimuvad rakkude vananemisel?

## 50. ORGANISMIDE PALJUNEMISVIISID

Nagu eespool nägime, eristatakse mitut organismide paljunemisviisi. Peatuksime neist põhilistel, milleks on: 1) suguline paljunemine; 2) mittesuguline paljunemine ja 3) vegetatiivne paljunemine.

**Mittesuguline paljunemine ja vegetatiivne paljunemine.** Mittesuguline paljunemine on looduses loomadel ja taimedel laialt

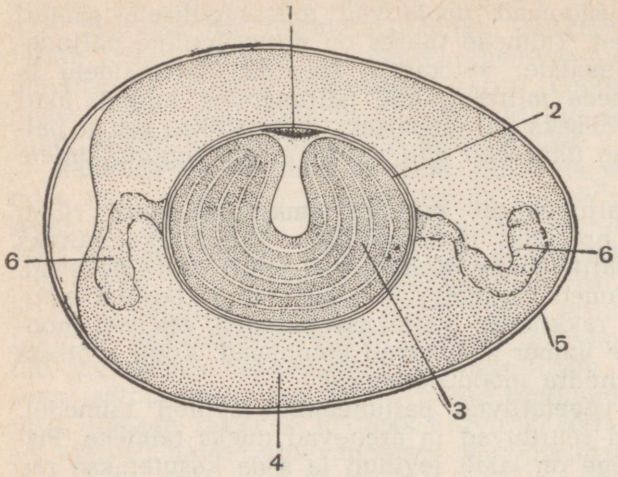
levinud. Näiteks ripsloomad poolduvad mittesuguliselt, samuti kui teised ainuraksed. Taimede juures on mittesuguline paljunemine omane eostaimedele: vetikatele, seentele, sammaldele ja sõnajalgadele. Taimede mittesuguline paljunemine toimub alati eoste abil. Mittesuguliseks paljunemiseks nimetatakse sellist paljunemist, *mis toimub ühe raku abil, millel ei ole sugurakkudele omaseid tunnuseid.*

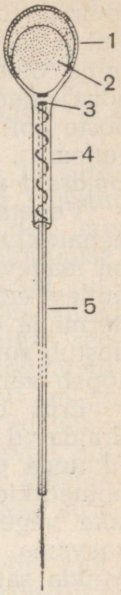
Vegetatiivsel paljunemisel eraldub emasorganismist rühm keharakke, millest arenebki tütarorganism. Tüüpiliseks näiteks on mageveehüdra paljunemine. Keha küljel tekib väike paksend, millest edaspidi kujuneb väljakasv — pung. Pung koosneb entodermi ja ektodermi rakkudest. Väljakasv pikeneb, eesotsal moodustub suuava, mille ümber kujunevad kombitsad. Kogu protsess lõpeb väikese tütarhüdra moodustumisega.

Eriti laialt on vegetatiivne paljunemine levinud taimedel. Eraldatud pajuoksad juurduvad ja arenevad uueks taimeks. Pistikutega paljundamine on laialt levinud ja seda kasutatakse rea taimeliikide paljundamiseks. Teiseks näiteks võib tuua aedmaasika vegetatiivse paljunemise. Maapealsed varreosad hakkavad kasvama ja venivad tugevasti välja, moodustades võsundid. Mulda sattudes juurdub võsundi ots ja annab alguse uuele taimele.

**Suguline paljunemine.** Erinevalt vegetatiivsest paljunemisest toimub suguline paljunemine nii taimedel kui ka loomadel alati spetsialiseerunud sugurakkude — spermatosoidide ja munarakkudega, mis moodustuvad sugunäärmetes. Sugurakud sisaldavad poole vähem (haploidse arvu) kromosoome ja järelikult ka poole vähem DNA-d. Sellises haploidses garnituuris on iga keharakkude kromosoomipaar esindatud ühe kromosoomiga. Mitmesuguste loomade munarakud on tavaliselt suured ja liikumatud. Nende mõõtmed on õige muutlikud. Imetajatest on näiteks küüliku munaraku läbimõõt 0,2 mm. Munaraku suurus sõltub varutoitaine — rebu sisaldusest tsütoplasmas. Suurtes munarakkudes on palju rebu, näiteks lindude hiiglasuurtes munarakkudes (joon. 111). Linnu munarakk on too muna osa, mida tavaliselt kutsutakse munarebuks ja mille läbimõõt on umbes 3 cm. Rebu ühel küljel on valge laiguke — aktiivse tsütoplasma kogum koos tuumaga. Sellest väikesest moodustisest arenebki loode, kogu ülejäänud mass aga sisaldab varutoitaineid, mis kindlustavad tibu arenemise munas. Munarakku katab mitu kesta — munavalge ja munakoor, mis moodustuvad täiendavalt ja kindlustavad loote arenemise õhukeskkonnas.

Väiksemad munarakud on kaladel ja kahepaiksetel. Nende «marja» läbimõõt on mõni millimeeter. Ka nende tsütoplasmas on küllaltki palju rebu, kuid tunduvalt vähem kui lindudel. Päris väikestes munarakkudes on vähe rebu ja see jaotub ühtlaselt mööda kogu munarakku. Munaraku oma kesta, mille moodustab




JOON. 111. Kanamuna: 1 — iduketas; 2 — rebukest; 3 — rebu; 4 — munavalge; 5 — munakoor; 6 — keerised, mis hoiavad munarakku muna keskosas.

JOON. 112. Imetaja spermatosoid: 1 — pea; 2 — tuum; 3 — tsentriool; 4 — kael; 5 — saba.

tsütoplasma väliskiht, nimetatakse rebukestaks. Lisaks sellele tekib veel suuremal või vähemal määral arenenud valkkest, mille toodavad munajuhade rakud. Kas munaraku keskel või ühes servas paikneb üks suhteliselt suur tuum.

Spermatosoid on munarakust alati palju kordi väiksem. Paljude loomade jaoks tüüpilise kujuga on imetajate spermatosoidid (joon. 112), mis koosnevad kolmest osast: 1) peast, 2) kaelast ja 3) sabast. Peas asetseb tuum, peale selle on pea eesosas väike tihenenud tsütoplasmast moodustis, mille abil spermatosoid tungib munarakku. Kitsenenud osa pea taga, mida nimetatakse kaelaks, sisaldab tsentriooli. Kael läheb üle peeneks pikenenud tsütoplasmaatiliseks niidiks — sabaks. Saba meenutab ehituselt viburlooma viburit või ripsloomade ripsmeid. Saba abil võivad spermatosoidid aktiivselt liikuda.

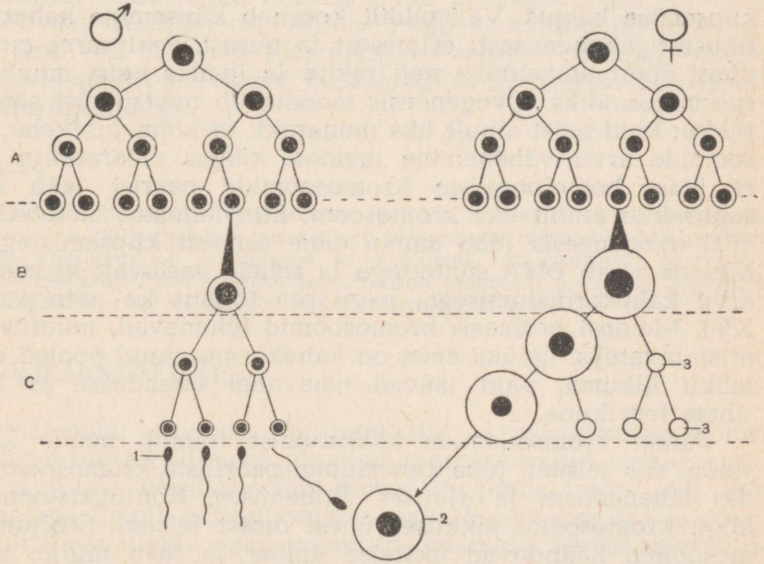
**Sugurakkude arenemine.** Niihästi seemnesarja, milles moodustuvad spermatosoidid, kui munasarja, milles kujunevad munarakud, võib kujutada ette toruna, mille sees kulgebki kogu sugurakkude moodustumise protsess. Päris toru algusest leiame sugurakkude lähterakud, mis paljunevad tavalise mitoosi teel. Tänu sellele nende arv kasvab pidevalt. Seda sugunäärme osa nimetatakse paljunemistsooniks (joon. 113). Järgmises, kasvutsoonis, hakkavad rakud kasvama. Kasvuprotsess on selgemalt väljendunud emassugurakkude moodustumise — o v o g e n e e s i käigus

(*ovum* — muna, lad. k., *genesis* — arenemine, tekkimine, kr. k.). Vähem ilmekas on kasvuperiood isassugurakkude kujunemisel — spermatogeneesis.

Kasvuperioodil suureneb tsütoplasma mass, kuid suurenevad ka tuuma mõõtmed. Lõpliku suuruse saavutanud rakke nimetatakse spermatogeneesis esimese järgu spermatotsüütideks. Neil rakkudel algab nüüd küpsemisperiood ja nad lähevad üle vastavasse küpsemistsooni. Küpsemise ajal jagunevad spermatotsüüdid kaks korda, seega moodustub ühest spermatotsüüdist neli rakku. Igaüks neist muutub edaspidi spermatosoidiks.

Ovogeneesis kestab kasvuperiood tavaliselt kauem kui spermatogeneesis. Kasvutsooni jõudnud rakku nimetatakse esimese järgu ovotsüüdiks. Kasvuperioodil suurenevad ovotsüüdid varutoitainete kogunemise arvel sadu ja tuhandeid kordi. Nii kujuneb näiteks konna ovotsüüdist, mille läbimõõt on 20—30 µm, kasvades munarakk läbimõõduga 3—4 mm.

Kasvu lõpetanud ovotsüütidel algab küpsemisprotsess, mille käigus samuti kui spermatogeneesis toimub kaks jagunemist, mis aga kulgevad väliste erinevustega. Esimese järgu ovotsüüdist eraldub jagunedes väike rakk, mida nimetatakse juhtkehaks ja järele jääb suur rakk. Teises jagunemises eraldub veel üks juhtkeha ja moodustuv suur rakk ongi küps munarakk. Teise jagunemise ajal pooldub ka esimene juhtkeha ja ovotsüüdist moodustub




Joon. 113. Spermatogeneesi ♂ ja ovogeneesi ♀ skeem: A — paljunemistsoon; B — kasvutsoon; C — küpsemistsoon. 1— spermatosoid; 2 — munarakk; 3 — juhtkeha.

kokku neli rakku — kolm väikest ja üks suur — munarakk, millesse jääb kogu kasvu ajal kogutud, loote arenemiseks hädavajalik rebu.

**Sugurakkude küpsemine (meioos).** Iga taime- või loomaliigi rakkudes on kindel arv kromosoome. Kromosoomide arvu püsivuse kindlustab mitoos, millele eelneb kromosoomide kahestumine. Kuidas aga tagatakse kromosoomide arvu püsivus sugulisel paljunemisel, kui uus organism tekib kahe suguraku ühinemisel? Küpsed sugurakud sisaldavad poole tavalisest kromosoomide arvust (haploidse garnituuri) ja vastavalt poole DNA hulgast. Tabelis on toodud kaks näidet, mis illustreerivad kromosoomide arvu ja DNA hulga suhet kassi ja küüliku keha- (somaatilistes) ja sugurakkudes.

| Loomaliik | Kromosoomide arv | | DNA hulk ($10^{-12}$ g) | |
|---|---|---|---|---|
| | somaatilistes diploidsetes rakkudes | sugurakkudes (haploidne) | somaatiliste rakkude diploidses tuumas | sugurakkude haploidses tuumas |
| Kass | 38 | 19 | 6,4—6,8 | 3,6 |
| Küülik | 44 | 22 | 6,75 | 3,2 |

Kromosoomide arvu vähenemine poolele toimub sugurakkude küpsemise käigus. Välispildilt koosneb küpsemine kahest järjestikusest jagunemisest: esimesest ja teisest. Sealjuures moodustub ühest spermatotsüüdist neli rakku ja igaüks neist muutub edasi spermatosoidiks. Ovogeneesis moodustub ovotsüüdist samuti neli rakku, kuid neist ainult üks munarakk ja kolm juhtkeha. Kromosoomide arvu vähenemine meioosi käigus määratakse sel teel, et igast homoloogiliste kromosoomide paarist jääb küpsesse sugurakku ainult üks kromosoom. Ettevalmistus meioosiks algab eriti ovogeneesis juba ammu enne esimest küpsemisjagunemist. Meioos algab DNA sünteesiga ja sellele vastavalt kromosoomide arvu kahekordistumisega, nagu see toimus ka mitoosis (tahvel XV). Meioosi profaasis kromosoomid lühenevad, muutuvad hästi eristatavateks, igaüks neist on kahekordne, kuid pooled ei hakka lahku liikuma, vaid jäävad omavahel ühendusse ja käituvad ühtse tervikuna.

Pärast kromosoomide kahestumist toimub nende konjugatsioon, mis seisneb juba kahestunud paariliste kromosoomide tihedas lähenemises ja ajutises ühinemises. Konjugatsioon toimub kogu kromosoomi pikkuses ühest otsast teiseni. Sealjuures kromosoomid käänduvad üksteise ümber ja jääb mulje, et nende arv vähenes poolele. On tähtis meeles pidada, et kromosoomide ajutine ühinemine paaridesse (konjugatsioon) toimub alati homoloogiliste (paariliste) kromosoomide vahel. Pärast konjugatsiooni

kromosoomid lahknevad, kuid kohati on nende ühinemine niivõrd tihe, et lahknemisel tekivad põikimurrud ja vastastikune osade vahetus kromosoomide vahel. Sel protsessil on suur tähtsus mõnede tunnuste päritavuse seaduspärasuste mõistmiseks, millega üksikasjalikult tutvume IX peatükis.

Pärast konjugatsiooni lõppu kromosoomid lahknevad ja algab esimese küpsemisjagunemise metafaas, väliselt küll sarnane mitoosi metafaasiga, kuid kromosoomide lahkuliikumine kulgeb erinevalt. Meioosi anafaasis lahknevad vastaspoolustele juba kahestunud homoloogilised kromosoomid. Sel viisil satub igast homoloogiliste kromosoomide paarist tütarrakku ainult üks kromosoom. Kui võtta arvesse, et iga homoloogiliste kromosoomide paar (skeemil ühesuurused) koosneb ühest emalt päritud ja teisest isa poolt saadud kromosoomist (skeemil kujutatud erinevate värvidega), siis on selge, et pärast jagunemist satub spermatotsüüti üks kahest — kas isa- või emapoolne kromosoom.

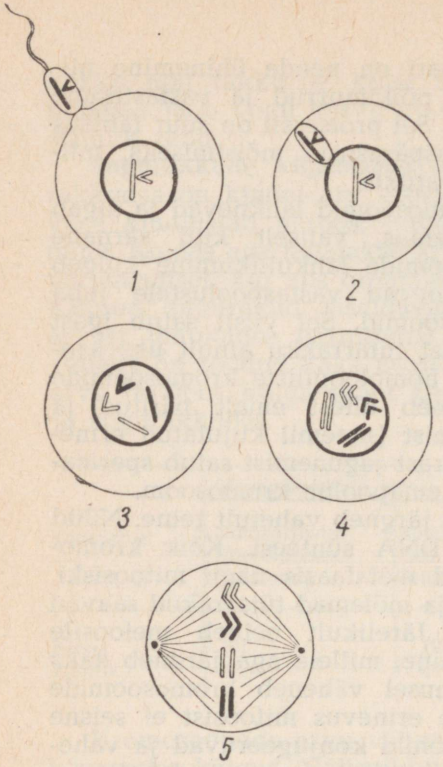
Esimesele küpsemisjagunemisele järgneb vahetult teine. Nüüd ei toimu enne jagunemist enam DNA sünteesi. Kõik kromosoomid on kahekordsed, paiknevad metafaasis nagu mitoosiski, anafaasis liiguvad vastaspoolustele ja mõlemad tütarrakud saavad ühesuguse kromosoomigarnituuri. Järelikult eelneb meioosile ainult üks kromosoomide kahestumine, millele aga järgneb kaks küpsemisjagunemist. Nende tulemusel väheneb kromosoomide arv poolele. Kuid meioosi põhiline erinevus mitoosist ei seisne üksnes selles. Kahestunud kromosoomid konjugeeruvad ja vahetavad sel ajal üksikuid osi. Mitoosis aga kromosoomid kahestuvad ja jaotuvad ühtlaselt tütarrakkude vahel. *Taandjagunemise käigus satuvad kromosoomid homoloogilistest paaridest erinevatesse tütarrakkudesse.*

**Küsimusi**

1. Mis on mittesuguline paljunemine ja mille poolest ta erineb sugulisest paljunemisest? 2. Milles seisneb vegetatiivse paljunemise olemus? 3. Mis on kromosoomide konjugatsioon ja millised kromosoomid konjugeeruvad omavahel? 4. Mille poolest erineb taandjagunemine tavalisest mitoosist? 5. Mis on haploidne kromosoomigarnituur ja kuidas see kujuneb meioosi käigus?

## 51. VILJASTAMINE

Spermatosoidi tuumas on haploidne kromosoomigarnituur. Saba abil aktiivselt liikudes jõuavad spermatosoidid munarakuni. Üks neist puurib eesotsaga läbi munaraku pinna (joon. 114). Pea koos kaelaga tungib tsütoplasmasse, saba heidetakse ära ja spermatosoidi tuum liigub vastu munaraku tuumale. Pärast spermatosoidi tungimist munarakku kujuneb viimase pinnale kest, mis takistab uute spermatosoidide sissetungimist. Seejärel ühineb spermatosoidi tuum munaraku tuumaga. Real juhtudel tungib




JOON. 114. Munaraku viljastamise ja pooldumise alguse järjestikulised staadiumid: 1 — spermatosoid, mis sisaldab kaks kromosoomi, kinnitub munaraku pinnale; 2 — spermatosoid tungis munarakku; 3 — spermatosoidi ja munaraku tuum liituvad, kusjuures taastub diploidne kromosoomide arv. Isa kromosoomid on mustad, ema kromosoomid valged. Iga homoloogiliste kromosoomide paar koosneb ühest isa ja ühest ema kromosoomist; 4 — kromosoomide kahestumine; 5 — esimese jagunemise metafaas, iga kahestatud kromosoomi pool läheb tütarrakku.

munarakku mitte üks, vaid palju spermatosoide, kuid vaid ühe tuum nendest ühineb munaraku tuumaga, ülejäänud aga hukkuvad. Tuumade ühinemises seisnebki viljastamisprotsessi olemus — viljastatud munarakk ehk sügoot sisaldab juba diploidse kromosoomigarnituuri. Selles diploidses garnituuris säilib kromosoomide individuaalsus ja iga homoloogilise paari üks kromosoom on saadud isalt ja teine emalt. Järelikult on taastunud keharakkudele omane diploidne kromosoomigarnituur ja esialgne DNA hulk.

Pärast tuumade ühinemist kromosoomid alguses kahestuvad ja sellele järgneb jagunemine. Munarakk jaguneb tavalise mitoosi teel, nii et mõlemad tütarrakud saavad võrdse arvu isalt ja emalt pärinevaid kromosoome.

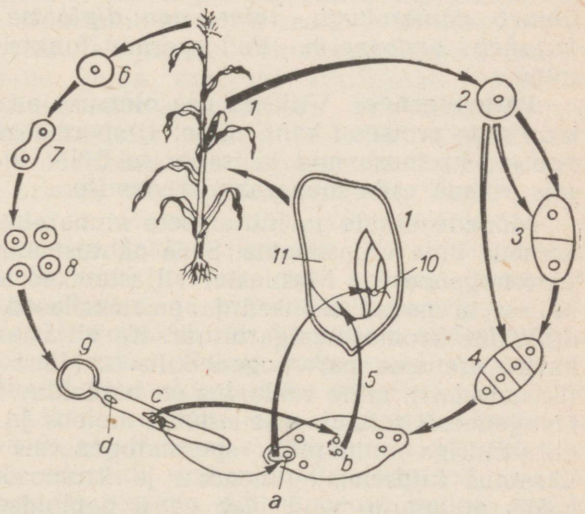
**Õistaimede kaheliviljastamine.** Sugurakkude moodustumine ja viljastamine kulgevad taimedel põhimõtteliselt samuti kui loomadel. Kuid sarnasuse kõrval esineb ka rida iseärasusi, mis on seotud taimede ehituse omapäraga.

Katteseemnetaimede viljastamisprotsessi uurides avastas S. Navašin niinimetatud kaheliviljastamise. Et mõista selle nähtuse olemust, tuleb kõigepealt tutvuda katteseemnetaimede seemne ehitusega. Kestadega kaetud seemnepung koosneb kahest

osast (joon. 115): lootest, millest areneb taim ja endospermist, milles talletatakse varutoitaineid — süsivesikuid, valke ja rasvu. Endosperm kindlustab loote toitumise idanemisperioodil.

Tolmuterad moodustuvad tolmukates. Tolmuterade emarakud läbivad kahest küpsemisjagunemisest koosneva meioosi, mille tulemusel moodustub neli haploidset rakku. Iga sellise raku pinnal kujuneb kest ja rakk muutub tolmuteraks. Seejärel jaguneb tolmutera haploidne tuum mitoosi teel ja tekib kaks tuuma. Üks neist, vegetatiivne tuum, paikneb tolmutera keskel, teine, generatiivtuum, tõrjutakse tolmutera serva. Generatiivtuum jaguneb veel korra ja moodustab kaks spermiumi. Järelikult koosneb küps tolmutera kolmest ühise kestaga kaetud rakust ja tal on kolm tuuma: 1) üks suur tuum ja peaaegu kogu tsütoplasma moodustavad vegetatiivse raku, 2) kaks perifeerselt paiknevat tuuma, mida ümbritseb õhuke tsütoplasmakiht, kujunevad spermiumideks. Seesugune keerulise ehitusega tolmutera on küps ja viljastamisvõimeline. Emakasuudmele sattudes hakkab tolmutera «idanema», moodustades tolmutoru, milles paiknevad kõik tuumad (joon. 115).

Munaraku moodustumisprotsessid on veel keerulisemad kui tolmutera kujunemisel. Emarakk teeb seemnepungas läbi meioosi,




JOON. 115. Katteseemnetaimede kahekiviljastamine: 1 — seemnepungadega maisitõlvik; 2 — lootekoti emarakk; 3—4 — nelja haploidse raku moodustumine meioosi tulemusel; 5 — lootekott: a — munarakk; b — kaks liituvat rakku, mille viljastamise tulemusel moodustub triploidne endosperm; 6 — tolmuterade emarakk; 7—8 — nelja haploidse tolmutera tuuma moodustumine meioosi tulemusel; 9 — tolmutoru kahe spermiumiga ja vegetatiivse tuumaga; 10 — idu; 11 — endosperm.

mis koosneb samuti kahest küpsemisjagunemisest ja moodustab neljast haploidsest rakust koosneva rühma. Selle etapini kulgeb kõik nii nagu õietolmu küpsemiselgi, kuid edaspidi algavad olulised erinevused, mis on seoses lootekoti moodustumisega. Tavaliselt kolm rakku neljast hukkub, ainuke säilinud rakk aga jaguneb mitoosi teel kolm korda, moodustades üheksarakulise rühma (joon. 115, 5). Viis rakku neist moodustab lootekoti seina, kolm ülejäänut asetsevad lootekoti õõnes. Üks rakk kolmest on munarakk, ülejäänud kahe raku tuumad ehk niinimetatud polaartuumad jäävad lootekoti keskossa, ühinevad seejärel ja moodustavad ühe diploidse tuuma.

Viljastamisele eelneb tolmutoru pikenemine, mida mööda liigub edasi kaks spermiumi. Lootekotini jõudes tungivad spermiumid sellesse ja üks spermium viljastab munaraku, mis muutub diploidseks. Teine spermium ühineb juba eelnevalt diploidse keskraku tuumaga, mis sellega muutub triploidseks, s. t. sisaldab kolm haploidset kromosoomigarnituuri. Munarakust areneb pärast viljastamist loode, triploidsest tuumast aga endosperm. Järelikult seisneb katteseemnetaimede viljastamise ja seemne arenemise eripärasus selles, et haploidne rakk jaguneb pärast küpsemist veel mitu korda, moodustades munarakku kaitsva abistruktuuri — lootekoti.

*Kaheliviljastamise olemus seisneb selles, et üks spermatosoid ühineb munarakuga, teine aga diploidse keskrakuga, millest kujuneb endosperm.* Endospermi funktsioon on loote toitmine.

**Partenogenees.** Viljastamise olemuse analüüsimisel tuleb eristada selle protsessi kaht külge: 1) spermatosoid toob lootesse isapoolsed kromosoomid ja isapoolse DNA, 2) stimuleerivat toimet, mis kutsub esile munaraku arenemise.

Mõnede usside ja lülijalgsete munarakud võivad normaalselt areneda ilma viljastamata. Seda nähtust nimetatakse loomulikuks partenogeneesiks. Mesilastel viljastatakse ainult osa munarakke, millest arenevad töölised ja emamesilased. Nende rakkudes on diploidne kromosoomigarnituur. Ka viljastamata munarakud hakkavad arenema partenogeneetiliselt. Neist saadakse ainult leski (isasmesilasi), mille rakkudes on haploidne kromosoomigarnituur. Ovogeneesis toimub mesilasemal meioos ja moodustub haploidse garnituuriga munarakk, spermatogeneesis aga esineb leskedel üksainus küpsemisjagunemine ja kromosoomide arv spermatosoidis ei muutu, vaid jääb edasi haploidseks. Mõnedel vesikirpudel (*Daphnia*) ja lehetäidel kulgeb suurem osa aastast paljunemine partenogeneetiliselt ja munarakkudest arenevad ainult diploidse kromosoomigarnituuriga emased. Sel juhul esineb tavaliselt üks küpsemisjagunemine. Üks kord aastas, enamasti sügisel, moodustuvad nii isased kui ka emased ja toimub viljastamine. Viljastatud munadest moodustuvad emased, kes edasi

paljunevad jällegi partenogeneetiliselt. Neil juhtudel on partenogeneesil sesoonne iseloom ja selle esinemine sõltub suurel määral välistingimustest. Järelikult võib loomulik partenogenees olla diploidne ja haploidne.

Erinevalt loomulikust partenogeneesist õnnestub paljudel loomadel, kes normaalseks arenemiseks vajavad viljastamist, välismõjutustega esile kutsuda viljastamata munaraku arenemist. Seda nähtust kutsutakse kunstlikuks partenogeneesiks. Munaraku arenemist stimuleerib lühiaegne temperatuuri tõstmine, samuti töötlemine teatud keemiliste ainetega kindlates kontsentratsioonides. Isegi imetajate munarakke õnnestub kunstlikult sundida viljastamata arenema, kui neid hoida erilises toitekeskkonnas 37° juures.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Millist osa mängib spermiumi tuum viljastamisprotsessis? 2. Milles seisneb kaheliviljastamise olemus? 3. Millega erineb kunstlik partenogenees loomulikust?

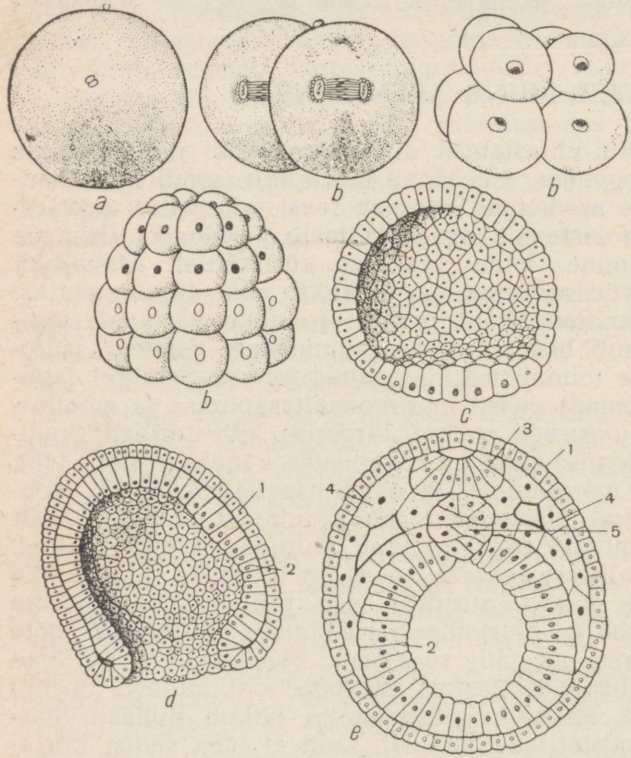
## 52. VILJASTATUD MUNA ARENEMINE

Pärast munaraku viljastamist algab organismi individuaalne arenemine — ontogenees, mis lõpeb tervikliku isendi kujunemisega. Individuaalne arenemine koosneb reast erinevatest protsessidest ja seda võib vastavalt jagada mitmeks perioodiks. Esimene neist on lõigustumine, mida vaatleme süstikkalal. Munarakk jaguneb kaheks võrdse suurusega rakuks ehk blastomeeriks. Munarakus võib eristada kaht poolust ja neile vastavalt tasapinda, milles toimub blastomeeride jagunemine. Esimene tsütoplasma jagunemine toimub meridionaaltasapinnas. Seejärel jaguneb kumbki blastomeer uuesti meridionaaltasapinnas ja moodustub neli võrdse suurusega rakku. Järgmise, ekvatoriaaltasapinnas toimuva jagunemise järel on rakke juba kaheksa (joon. 116). Edasi vahelduvad meridionaal- ja ekvatoriaaljagunemised, moodustub 16, 32, 64 jne. blastomeeri, mis kujutavad endast tihedalt üksteise vastu liibuvaid rakke. Rakud paljunevad mitoosi teel, kuid erinevalt tavalistest keharakkudest on interfaas väga lühike ja blastomeerid ei kasva, mistõttu seda protsessi nimetatakse lõigustumiseks. Juba 64 blastomeeri staadiumis moodustub loote sees väike õõs, mis edaspidi suureneb. Blastomeerid asetuvad ühekihiliselt, moodustades blastula ehk põisloote, millega lõpebki lõigustumisperiood. Rakkude paljunemine jätkub niihästi blastula- kui ka järgmistel staadiumidel, kuid ei oma sellist korrapärast iseloomu, mis iseloomustab lõigustumisprotsessi.

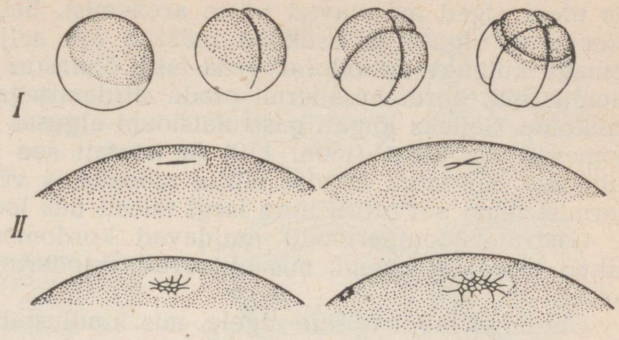
Pärast blastula moodustamist algab järgmine arenemisperiood, mis on seotud teise rakukihi moodustumisega. Kõige selgemini on see protsess väljendunud sel juhul, kui teine kiht moodustub

blastula seina sissesopistumise teel. Alguses võib märgata väikest sopistust, mis edaspidi süveneb ja moodustab teise, loote sees paikneva rakukihi. Sellega muutub loode kahekihiliseks. Seda arengustaadiumi nimetatakse gastrulaks, teise kihi moodustumise protsessi aga gastrulatsiooniks. Gastrulas võib juba eristada kahte lootelehte — välimist ehk ektodermi ja sisemist ehk entodermi. Nii toimub lõigustumine ja gastrulatsioon süstikkalal ja teistel loomadel, kelle munarakk sisaldab vähe rebu.

Loomadel, kellel on reburikkad munarakud (näiteks lindudel ja kaladel), lõigustub ainult rebu pinnal olev tsütoplasmaketas (joon. 117). Kahepaiksete munarakk sisaldab üsna palju rebu ja erineb lõigustumistüübilt samuti süstikkalast. Selle lõigustumisel moodustuvad väikesed ja suured blastomeerid. Blastula öös paikneb lähemal ühele poolustest. Vastaspooluse suured reburikkad rakud paiknevad mitmekihiliselt.




JOON. 116. Süstikkala varajased arengustaadiumid: a — munarakk, b — 2, 8 ja 32 blastomeeri staadiumid; c — blastula; d — gastrula staadium: 1 — ektoderm; 2 — entoderm; e — telgelementide moodustumine: 1 — ektoderm; 2 — entoderm; 3 — neuraalplaat; 4 — mesoderm; 5 — seljakeelik.




JOON. 117. Erinevate loomade munaraku lõigustumise algstaadiumid: I — konnal; II — linnul. Vastavalt munaraku ehitusele on näha lõigustumise järjestikulised staadiumid — 2, 4 ja 8 blastomeeriga. Konna munarakk lõigustub erineva suurusega blastomeerideks. Lindude munarakus lõigustub ainult pindmise aktiivse tsütoplasma osa, milles paikneb rakutuum.

Suur rebu hulk munarakus pidurdab jagunemist. Sellepärast eristatakse täielikku (süstikkala) ja mittetäielikku (linnud) lõigustumist. Täielik lõigustumine võib olla ühtlik, kui kõik blastomeerid on enam-vähem ühesuurused ja ebaühtlik, kui moodustuvad erineva suurusega blastomeerid.

Vaatamata erinevustele lõigustumises ja blastula kujus on entodermi tekkele viiv gastrulatsioon üsnagi ühesugune.

Ektodermi ja entodermi vahel moodustub edasises arengus kolmas rakukiht — mesoderm. Neid kihte nimetatakse lootelehtedeks. Lootelehed on kõigil selgroogsetel ühesugused. Edaspidi areneb ektodermist katteepiteelkude, närvisüsteem ja meeleelundid, entodermist — sooleepiteelkude, seedenäärmed ja kopsud. Kolmanda lootelehe, mesodermi rakkudest saavad alguse luu- ja kõhrkude, lihased, vereringe ja erituselundid. Arenemise järjestus ja lootelehtede kujunemine peegeldab organismide ajaloolist arenemist, mille alusel formuleeriti biogeneetiline reegel (vt. lk. 69).

Erilist huvi pakub närvitoru arenemine. Loote tulevasel seljapoolel sopistub ektoderm rennikujuliselt sisse. Rennist kujuneb hiljem toru, mis jääb ektodermi alla ja moodustab seljaaju alge, selle eesmisest otsast aga areneb peaaju. Entodermi keskosast eraldunud rakuväät moodustab seljakeeliku. Seljakeelik paikneb täpselt närvitoru all, selle külgedele jäävad aga selgroolülide ja lihaste mesodermaalsed alged. Need alged üheskoos moodustavad telgorganite kompleksi, mis määrab kindlaks organismi seljapoole ja kahekülgse sümmeetria (joon. 118).

Närvitoru, seljakeeliku ja mesodermi asukoha ning moodustumisaja täpne kokkulangemine lubas oletada, et selles protses-

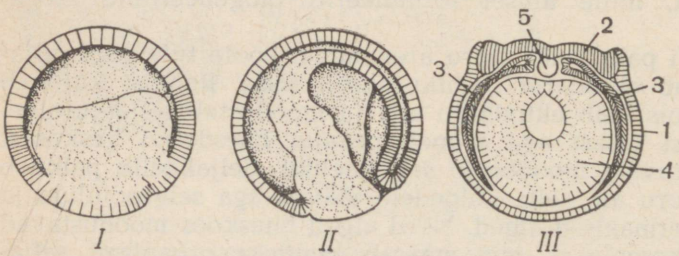
sis ühed alged mõjutavad teiste arenemist. Selgus, et närvitoru arenemise alguse ja asukoha määrab ära seljakeeliku alge ja temaga külgnev mesoderm. Seda fakti õnnestus tõestada eksperimentaalselt, kordomesodermi osade siirdamisega sellele võõrasse asukohta. Selleks lõigati gastrulatsiooni alguses välja tükike kordomesodermi alget (joon. 119) ja istutati see varajase gastrula külgossa. Siirdatud koeosa mõjul moodustus võõras kohas ektodermist teine närvitoru ning isegi täiesti uus loode.

Gastrulatsiooniperioodil eraldavad kordomesodermaalse alge rakud keemilisi aineid, mis kutsuvad ektodermis esile närvitoru tekke.

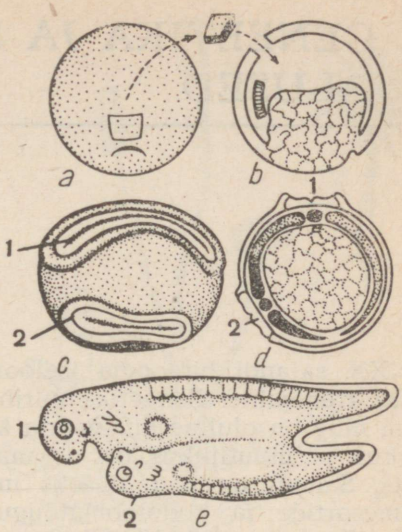
Ühe alge mõju teisele algele, mis kindlustab selle arenemise, nimetatakse induktsiooniks. Kirjeldatud juhul indutseerib kordomesoderm ektodermist närvitoru moodustumist, määrates sellega ka närvitoru mõõtmed ja asukoha. Kuna edasises arengus närvisüsteem kindlustab organismi terviklikkuse ja üksikute organite normaalse arenemise, illustreerib see näide loote arenevate osade vastastikust toimet. Samasuguseid induktsiooninähtusi võib leida ka teiste organite, näiteks silma arenemises.

**Postembrüonaalne arenemine.** Organismi üleminekuga iseseisvale eksisteerimisele lõpeb embrüonaalne ja algab postembrüonaalne (lootejärgne) arenemisperiood. Iseseisvaks eksisteerimiseks võimeline arenev organism lõhub lootekestad ja väljub. Sellest momendist lõpebki embrüonaalne arenemisperiood.

Eristatakse kaht postembrüonaalse arenemise tüüpi: 1) otsest, kui sündiv organism on sarnane täiskasvanud organismiga ja 2) moondega arenemist, kui embrüonaalsel arenemisel moodustub vastne, mis järk-järgult moondub lõplikult kujunenud organismiks. Otsese arenemise näiteks võib tuua lindude ja imetajate arenemise. Munast koorub iseseisvaks toitumiseks võimeline linnupoeg, kelle kehaehitus vastab täiskasvanud organismi ehitusele. Postembrüonaalsel perioodil organism kasvab, tal ilmuvad sugutunnused jne.




JOON. 118. Vesiliku arenemine: I — blastula; II — gastrula; III — loote ristlõik telgelundite kompleksi moodustumise ajal: 1 — ektoderm; 2 — neuraalplaat; 3 — mesoderm; 4 — entoderm; 5 — seljakeelik.




JOON. 119. Kordomesodermi alge osa siirdistutamine gastrulatsiooni alguses: a — gastrula, millelt võetakse kordomesodermi tükike; b — varajane gastrula, millele siirdistutatakse võetud alge osa; c — põhilise (1) ja indutseeritud (2) loote väliskuju; d — ristlõik, mis läbib põhilise (1) ja täiendava (2) loote telgelemendi; e — kahe areneva loote väliskuju: 1 — põhiline ja 2 — täiendav loode.

Kahepaiksetel, näiteks konnal, koorub munast vastne — kulles, mis tunduvalt erineb täiskasvanud konnast. Kullese moone ehk metamorfoos seisneb selles, et tal alguses kaovad välislõpused, seejärel arenevad jäsemed ning pärast seda kaob järk-järgult saba. Kahepaiksete metamorfoosi määrab põhiliselt kilpnäärme arenemine ja talitlus — hormooni nõristamine.

Teiseks üldtuntud moondega arenemise näiteks on putukate postembrüonaalne arenemine.

Moondega arenemisel on suur bioloogiline tähtsus. Real juhtudel kujutab vastne endast arengustaadiumi, mis on spetsiaalselt kohastunud aktiivseks toitumiseks ja kasvuks, mida võib täheldada näiteks putukatel ja kahepaiksetel. Väga sageli on vastsed ja täiskasvanud organismid kohastunud eluks erinevates tingimustes ega konkureeri seetõttu omavahel elukoha ja toidu pärast. Sageli võivad väheliikuvate või kinnistunud loomade vabalt liikuvad vastsed soodustada liigi levikut. Nii näiteks meredes kinnistunult elavate primitiivsete keelikloomade (astsiidide ehk merituppede) vastsed ujuvad vabalt vees, soodustades sellega liigi levikut.

**Küsimusi**

1. Mille poolest erineb lõigustumine tavalisest rakujagunemisest? 2. Kuidas moodustub gastrula? 3. Millised organid ja koed arenevad ektodermist, mesodermist ja entodermist? 4. Millistest algetest kujuneb telgorganite kompleks? 5. Mis on otsene ja moondega arenemine ehk metamorfoos?

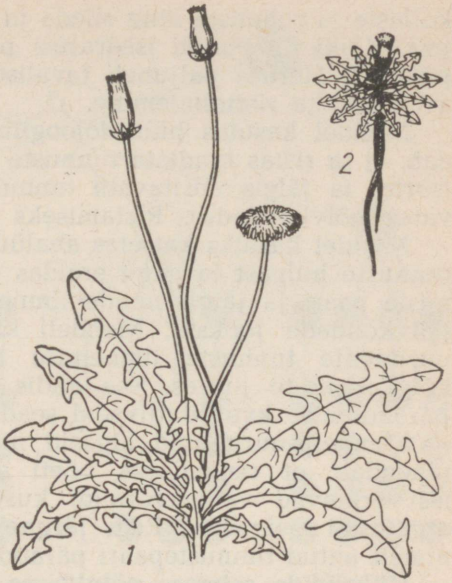
# 3. GENEETIKA JA SELEKTSIOONI ALUSED

XX sajandi bioloogia iseloomulikuks jooneks on geneetika kiire arenemine. Geneetika uurib pärilikkuse ja muutlikkuse seadusi ning on oluline nii teooria kui ka praktika seisukohalt. Pärilikkus ja muutlikkus on orgaanilise maailma evolutsiooni aluseks. Samuti on nad aluseks inimese tegevusele uute kultuurtaimesortide ja koduloomatõugude loomisel, nagu näitas juba Ch. Darwin. Pärilikkust võib defineerida kui organismide omadust üle anda oma tunnuseid ja arenemise iseärasusi järgnevale põlvkonnale. Selle omaduse tõttu loomad, taimed ja mikroorganismid säilitavad põlvkonnast põlvkonda liigi, tõu või sordi iseloomulikud jooned. Pärilikkus realiseerub paljunemise ja individuaalse arenemise kaudu.

Sugulisel paljunemisel tekivad uued põlvkonnad viljastamise tulemusel. Järelikult peitub pärilikkuse materiaalne alus sugurakkudes, mille kaudu toimub side põlvkondade vahel. Mittesugulisel või vegetatiivsel paljunemisel areneb uus põlvkond kas üherakulistest algetest (spooridest) või hulkraksetest moodustistest (meenutage näiteks hüdra pungumist või taimede paljunemist mugulatega, sibulatega jms.). Ka nende paljunemisvormide juures on materiaalseks sidemeks põlvkondade vahel rakud.

*Muutlikkus väljendub erinevustes sama liigi isendite vahel.* Muutlikkus on seega organismide omadus, mis nagu oleks vastupidine pärilikkusele. Ühe liigi isendite vahelised erinevused võivad olla tingitud organismi pärilikkude omaduste muutumisest. Muutlikkust määravad ära ka välistingimused, milles toimub organismi arenemine. Igaüks teab, et tõuomaduste avaldumine sõltub suurel määral pidamise ja söötmise tingimustest.

Joon. 120 on kujutatud võilillega tehtud katse tulemused. Võeti üks võilillejuurikas ja lõigati pooleks. Üks pool istutati lauskmaale suure niiskusesisaldusega mulda. Sellest kasvas suurte lehtede ja pikkade õievartega taim. Teine pool juurikast istutati mägedesse. Kasvas väike taim rosetikujulise väikeste, maad ligi litsutud lehtede kimbu ja väga lühikese õievarrega. Samal ajal on aga nende pärilikkus ühesugune. Toodud näitest selgub, et




JOON. 120. Ühest juurikast kasvatatud võilille muutlikkus: 1 — lauskmaal, 2 — mägedes.

tunnuste kujunemine sõltub suuresti organismi ümbritseva väliskeskkonna tingimustest.

Geneetikal on peale teoreetilise tähtsuse ka suur praktiline tähtsus. Koduloomade ja kultuurtaimede pärilike tunnuste muutmine inimesele soovitavas suunas ja uute kõrge produktiivsusega tõugude ja sortide loomine põhineb geneetika seaduspärasustel. Suur on geneetika tähtsus ka arstiteaduses.

9. PEATÜKK

# TUNNUSTE PÄRANDUMISE PÕHILISED SEADUSPÄRASUSED

## 53. PÄRILIKKUSE UURIMISE HÜBRIDOLOOGILINE MEETOD

**Monohübriidne ristamine.** Tunnuste pärandumise põhilised seaduspärasused sugulisel paljunemisel reas põlvkondades tegi esimesena kindlaks tšehhi õpetlane Gregor Mendel ja avaldas nad 1865. a. Tema katsed jäid kauaks ajaks praktiliselt vähetuntuks. Alles 1900. aastal need «taasavastati», neid kontrolliti ja tulemused leidsid kinnitust. Sellest ajast peale panid Mendeli avastatud seadused aluse uuele bioloogiaharule — geneetikale.

Mendel katsetas hernega. Sellel taimel on palju sorte, mis üksteisest erinevad selgete pärilike tunnuste poolest. Esinevad sordid valgete ja purpurpunaste õitega, kõrge ja madala varrega,

kollaste ja roheliste ning sileda ja kortsulise pinnaga seemnetega jms. Kõiki nimetatud iseärasusi pärandatakse antud sordi piires püsivalt. Hernes paljuneb tavaliselt isetolmlemise teel, kuid on võimalik ka ristolmlemine.

Mendel kasutas hübridoloogilist uurimismeetodit. See tähendab, et ta ristas kindlate tunnuste poolest erinevaid vanemvorme (sorte) ja jälgis uuritavate tunnuste ilmsikstulekut reas järgnevates põlvkondades. Ristamiseks kasutati erinevaid hernesorte.

Mendel kasutas katsetes analüütilist teed. Taime mitmekesiste tunnuste hulgast ta nagu eraldas ühe või mõne vastandlike tunnuste paari ja jälgis nende ilmnemist rea üksteisele järgnevate põlvkondade jooksul. Mendeli katseid iseloomustav joon oli uuritavate tunnuste ilmnemise täpne kvantitatiivne arvestus kõigi isendite juures. See andis talle võimaluse teha kindlaks pärandumise kvantitatiivseid seaduspärasusi.

Mendeli uurimused algasid *monohübriidsest ristamisest*. See tähendab, et ristamiseks võeti ainult ühe tunnustepaari poolest erinevad vanemvormid, kusjuures erinevus puudutas üht organismi iseärasust. Reas järgnevates põlvkondades jälgiti just nimelt antud tunnustepaari pärandumist.

**Hübriidide esimese põlvkonna ühtlikkus.** Kui ristata kollaste ja roheliste seemnetega herneid, siis kõigi sellest ristamisest saadud esimese hübriidse põlvkonna ($F_1$)[1] taimede seemned on kollased. Vastupidine tunnus — seemnete roheline värvus — nagu jääks kadunuks. Selles peegeldubki Mendeli poolt avastatud esimene seaduspärasus, mida võib nimetada esimese hübriidse põlvkonna ühtlikkuse reegliks. Antud katses väljendub ühtlikkus selles, et üks tunnus (seemnete kollane värvus) surub maha vastupidise tunnuse (rohelise värvuse) ilmumise ja ristandtaimede kõik seemned on ühtlikult kollased.

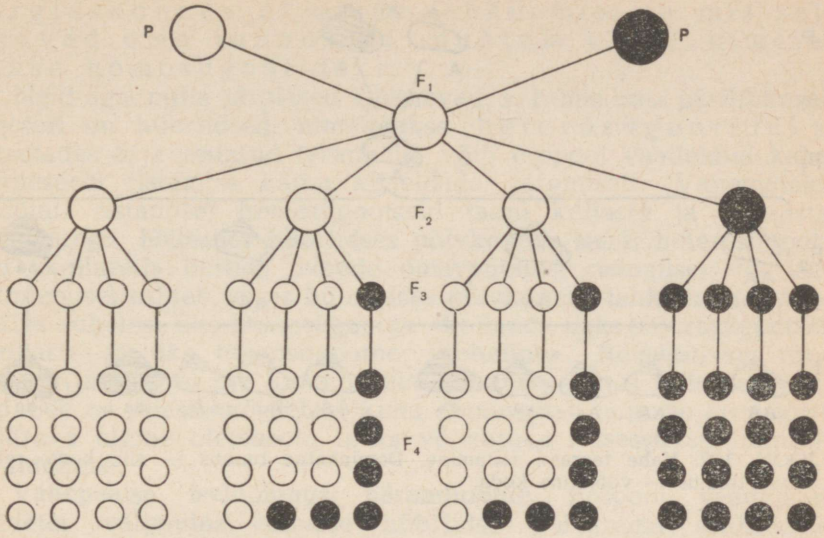
Sellist ühe tunnuse valdamist hakati kutsuma domineerimiseks, tunnust ennast aga dominantseks tunnuseks. Vaadeldud näites domineerib seemnete kollane värvus rohelise värvuse üle. Vastandlikku, väliselt kadunud tunnust kutsutakse retsessiivseks.

Antud juhul on retsessiivseks tunnuseks seemnete roheline värvus.

**Mendeli esimene seadus.** Esimese hübriidse põlvkonna järeltulijate seas (s. t. teises põlvkonnas — $F_2$) esineb lahknemine. Kindlates arvulistes suhetes ilmnevad mõlemate vanemate tunnustega taimed. Kollaseid seemneid on umbes kolm korda rohkem kui rohelisi. Dominantsete ja retsessiivsete tunnustega herneseemnete suhe on ligikaudu 3:1. Mendeli katses oli kvanti-

---

[1] Kokkuleppeliselt tähistatakse vanempõlvkonda tähega P (*parentale* — vanem-, lad. k.), esimest hübriidset põlvkonda — $F_1$, teist hübriidset põlvkonda — $F_2$ (*filiale* — tütar-, lad. k.) jne.

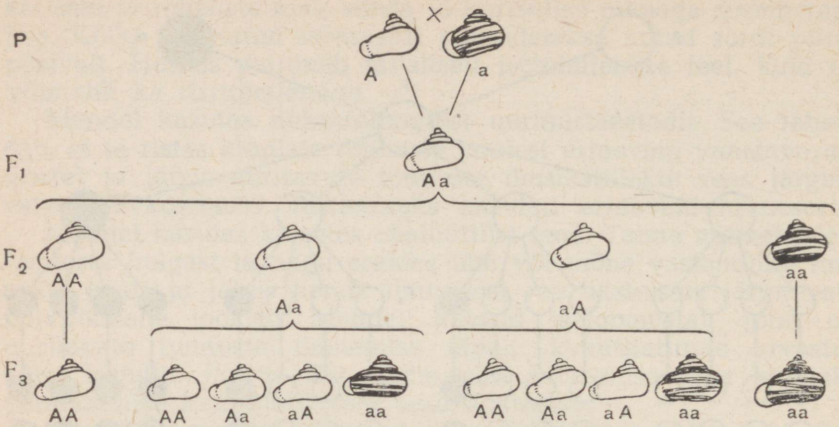



JOON. 121. Monohübriidne lahknemine. Heledad ringid — dominantse tunnusega organismid, tumedad ringid — retsessiivse tunnusega organismid.

tatiivne suhe järgmine: kollaseid — 6022, rohelisi — 2001. Analoogilisi tunuseid andis ka teiste tunnustepaaride uurimine. Selgus, et õiekrooni purpurpunane värvus domineerib valge üle ning et teises hübriidses põlvkonnas on lahknemissuhe samuti 3:1, siledad seemned domineerivad kortsuliste üle, pikk vars — lühikese varre üle jne. Sellest selgus, et retsessiivne tunnus mitte ei kao esimeses hübriidses põlvkonnas, vaid on varjatud olekus ja tuleb esile kindlas arvulises suhtes teises põlvkonnas. Kirjeldatud nähtuses peegeldub Mendeli esimene seadus, mida nimetatakse lahknemise seaduseks. See seadus väidab, et esimese põlvkonna ($F_1$) hübriidid lahknevad; nende järglaskonnas ilmuvad uuesti retsessiivsete tunnustega isendid, mis moodustavad umbes veerandi järglaste üldarvust.

Kuidas avalduvad tunnused kolmandas, neljandas ja järgmistes hübriidsetes põlvkondades? Sellele küsimusele vastamiseks analüüsis Mendel kolmandat ja järgnevaid põlvkondi, mis saadi iga teise hübriidse põlvkonna ($F_2$) isendi isetolmlemisel (joon. 121).

Jooniselt on näha, et retsessiivsete tunnustega taimed ei lahknenud edaspidi ükskõik kui suure arvu põlvkondade jooksul. Nende järglaste seas ei ilmunud kunagi dominantse tunnusega taimi. Teisiti käitusid need teise põlvkonna hübriidid, millel esines dominantne tunnus. Individuaalse analüüsi korral, mis viidi




JOON. 122. Kahe teorassi ristamine. Dominantne tunnus — sile koda, retsessiivne tunnus — vöödiline koda.

läbi iga üksiku taime isetolmlemisest saadud järglastel, jagunesid taimed kahte rühma. Esimene rühm, millesse kuulus üks kolmandik kõigist dominantsete tunnustega taimedest, ei lahknenud järgnevates põlvkondades. Selle rühma taimede järglased niihästi kolmandas kui ka neljandas ja järgmistes põlvkondades on ainult dominantse tunnusega. Täiesti erinevalt aga käituvad teise põlvkonna ülejäänud taimed, mis moodustavad kokkuvõttes $^2/_3$ dominantse tunnusega isendite üldarvust. Nende järglaskonnas esineb lahknemine samas suhtes, 3:1 ($^3/_4$ dominantseid, $^1/_4$ retsessiivseid), kui teise põlvkonna hübriididel (joon. 121). Samasuguse tulemuse annab järgmiste põlvkondade uurimine. Retsessiivse tunnusega taimede järglased ei lahkne. Dominantse tunnusega isendite seas võib järeltulijate käitumise järgi jällegi eraldada kaks rühma — $^1/_3$ ei lahkne, ülejäänud $^2/_3$ järglased aga annavad lahknemisel sama arvulise suhte: 3:1.

Lahknemise seadusel on üldine tähtsus. Kõigi taimede ja loomade sugulisel paljunemisel esineb hübriidide ($F_2$) järglaskonnas lahknemine.

Joon. 122 on toodud näiteks aedteo kahe pärilikult erineva rassi ristamise tulemused. Ühel neist on ühtlaselt värvunud kollane sile koda, teisel mustade vöötidega koda. Ka siin on tegu monohübriidse ristamisega. Alates teisest põlvkonnast toimub lahknemine samades arvulistes suhetes, 3:1.

Me nägime eespool, et väliselt sarnastel isenditel võivad olla erisugused pärilikud omadused. Näiteks annavad ühed kollaste seemnetega hernetaimed teises hübriidpõlvkonnas isetolmlemisel järglaskonnas lahknemise, teised aga mitte. Viimaste pärilikud alged oleksid nagu «puhtad». Selliseid isendeid, mille

järglaskonnas ei esine lahknemist ja mis säilitavad oma tunnuseid «puhtal» kujul, nimetatakse homosügootideks.

Neid aga, mille järglased lahknevad, s. t. mis oma pärilikkusealgetelt on hübriidsed, nimetatakse heterosügootideks. Kasutades äsja esitatud termineid, võib eespool vaadeldud kahe hernesordi ristamise käiku kirjeldada järgmiselt. Vanemateks kasutati ristamisel homosügootseid taimi kollaste ja roheliste seemnetega. Esimeses hübriidses põlvkonnas saadi heterosügootsed «kollased» herned. Nende omavahelisel ristamisel või isetolmlemisel esineb teises hübriidses põlvkonnas lahknemine järgmistes suhetes: üks homosügootne «kollane», kaks heterosügootset «kollast» ja üks homosügootne «roheline». Retsessiivse tunnusega taimed ei ole kunagi selle tunnuse suhtes heterosügootsed. See on täiesti mõistetav, kuna dominantse tunnuse arenemist määrava algme olemasolu teeks võimatuks retsessiivse tunnuse avaldumise.

**Vahepealse iseloomuga pärandumine.** Eespool vaadeldud näidetes väljendus esimese hübriidse põlvkonna ühtlikkuse reegel selles, et kõik hübriidid olid sarnased ühe vanemaga, s. t. üks tunnustest domineeris. Alati ei ole see aga nii. Sageli võivad heterosügootsed hübriidid olla vahepealse iseloomuga. Tahvlil XVI on toodud dekoratiivtaime *Mirabilis*'e kahe pärilikult erineva vormi ristamise tulemused. Ühel vormil on punased õied, teisel valged. Kõik esimese põlvkonna hübriidid on roosaõielised, s. t. neil on vahepealne iseloom. Nende omavahelisel ristamisel esineb teises põlvkonnas lahknemine suhetes üks punane, kaks roosat ja üks valge vorm (1:2:1). On ilmne, et sel juhul erinevad heterosügootsed ristandtaimed ka väliselt homosügootidest (antud juhul punastest ja valgetest).

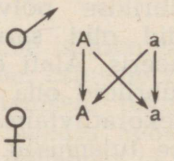
Erinevatel taimsetel ja loomsetel objektidel tehtud uurimused näitasid, et täieliku domineerimise vahel, nagu see esines katses hernega, ja vahepealse iseloomuga pärandumise vahel, nagu *Mirabilis*'el, on olemas kõik vaheastmed. Sageli ei ole domineerimine täielik ja hübriidsed isendid (heterosügoodid) on lähedased ühele vanematest.

**Sugurakkude puhtuse hüpotees. Lahknemise seaduse statistiline iseloom.** Mis on lahknemise põhjuseks? Miks ei teki ristamisel püsivaid vahepealseid hübriide, vaid ilmuvad rangelt kindlates arvulistes suhetes vanematega sarnased vormid? Lahknemise nähtuse ja sealjuures vaadeldavate arvuliste suhete seletamiseks lõi Mendel «sugurakkude puhtuse hüpoteesi», mida kaasaegsetele tsütoloogilistele andmetele toetudes (vt. lk. 222) võib nimetada sugurakkude puhtuse seaduseks.

Põlvkondadevahelist sidet peetakse sugulisel paljunemisel sugurakkude (gameetide) kaudu. On ilmne, et sugurakkudes on mingid materiaalsed pärilikkusetegurid (kaasaja geneetikas kut-

sutakse neid geenideks), mis määravad ühe või teise tunnuse arenemise. Tähistame dominantset tunnust määrava geeni mingi suure tähega tähestikust (olgu selleks näiteks A) ja temale vastava retsessiivse geeni väikese tähega (meie juhul a). Tähistades ristamist korrutamismärgiga, võime dominantse ja retsessiivse vormi ristamist sümbolitega kujutada järgmiselt: A×a⟶Aa. Ilmselt on heterosügootsel vormil (esimene hübriidne põlvkond) mõlemad geenid, nii dominantne kui ka retsessiivne. Sugurakkude puhtuse hüpotees kinnitab, et hübriidse (heterosügootse) isendi sugurakud ei ole hübriidsed, s. t. neil ei ole mõlemat antud paari geeni. Nad on «puhtad», s. t. neil on sellest paarist ainult üks geen. See tähendab, et hübriidil Aa tekib võrdsel hulgal sugurakke A (dominantse geeniga) ja a (retsessiivse geeniga). Milliseid kombinatsioone võivad need aga omavahel anda? Ilmselt on võrdse tõenäosusega neli kombinatsiooni, mida selgitab alljärgnev skeem (sümboliga ♂ tähistatakse isassugurakku, sümboliga ♀ — emassugurakku):

Sugurakud

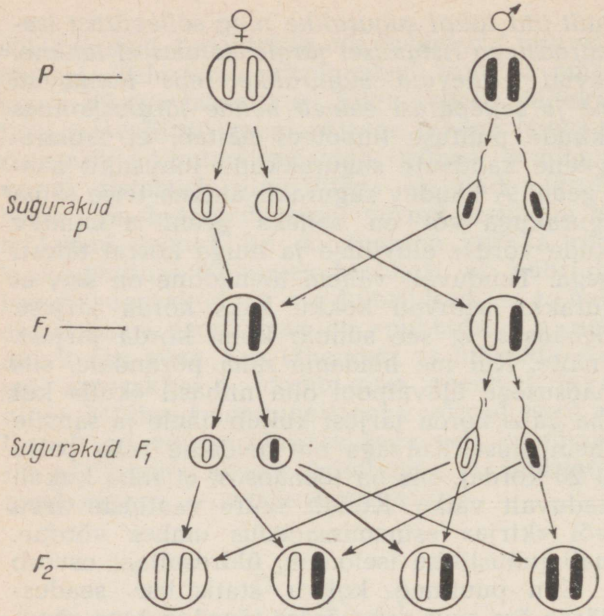



Nende nelja kombinatsiooni tulemusel saadakse paarid: Aa+Aa+aA+aa, või teisiti AA+2Aa+aa. Kui meil on tegemist dominantsete ja retsessiivsete tunnustega, siis on selge, et esimesed kolm kombinatsiooni annavad dominantse tunnusega isendeid, neljas aga retsessiivse. Näeme, et sugurakkude puhtuse hüpotees annab rahuldava seletuse lahknemise põhjustele ja sealjuures vaadeldavatele arvulistele suhetele. Ühtlasi selguvad ka dominantsete tunnustega isendite erineva edasise lahknemise põhjused kolmandas ja järgnevates hübriidsetes põlvkondades. Dominantsete tunnustega isendid on oma pärilikult olemuselt ebaühtlikud. Üks igast kolmest (AA) annab ilmselt ainult üht tüüpi sugurakke (A) ega lahkne järelikult ei isetolmlemisel ega ristamisel omasarnastega. Mis puutub kahte teise (Aa), siis need annavad kaht tüüpi sugurakke ja nende järglaskonnas esineb lahknemine samades arvulistes suhetes mis teise põlvkonna hübriididelgi. Neil juhtudel, kui domineerimist ei täheldata ja hübriididel on vahepealne iseloom, erinevad isendid päriliku koostisega Aa homosügootsetest vormidest mitte ainult päriliku struktuuri, vaid ka välistunnuste poolest (tahvel XVI).

Sugurakkude puhtuse hüpoteesist lähtudes võib täpsustada homosügoodi ja heterosügoodi mõisteid (lk. 237). *Homosügootseks antud tunnustepaari suhtes tuleb nimetada selliseid isendeid,*

*mis moodustavad ainult üht tüüpi sugurakke ning sellepärast isetolmlemisel või omasarnastega ristamisel järglaskonnas ei lahkne. Heterosügoodid annavad erinevaid sugurakke, mis kannavad antud paari eri geene ja sellepärast esineb nende järglaskonnas lahknemine.* Sugurakkude puhtuse hüpotees näitab, et lahknemine on erinevaid geene kandvate sugurakkude juhusliku paarumise tulemus. Kas geeni A kandev sugurakk ühineb teise sama geeni A kandva sugurakuga või on selleks geeni a kandev gameet, on sugurakkude võrdse eluvõime ja hulga korral täiesti ühesuguse tõenäosusega. Tunduvalt vähem tõenäoline on see, et kaks ühesugust sugurakku satuvad kokku kaks korda järjest. Veel väiksem on tõenäosus, et see sünnib kolm korda järjest. Toome analoogilise näite. Kui me heidame raha põrandale, siis võib ühesuguse tõenäosusega ülevalpool olla niihästi «kull» kui «kiri». Oodata, et raha kaks korda järjest kukub ühele ja samale küljele, on juba vähem alust. Kui aga me heidame raha palju kordi (näiteks 15 või 20 korda), siis on tõenäosus, et raha kukub alati ühe küljega, kaduvalt väike. Küllalt suure vaatluste arvu juures on «kulli» või «kirja» esinemissagedus umbes võrdne. Üksik sündmus kannab juhuslikku iseloomu, üldresultaat osutub aga seaduspäraseks. Siin puutume kokku statistilise seaduspärasusega, mille määrab ära suur arv võrdse tõenäosusega sündmusi. Selline statistiline seaduspärasus on ka tunnuste lahknemise seadus ehk Mendeli esimene seadus, mille määrab erinevate sugurakkude kohtumise võrdne tõenäosus. Üeldust saab mõistetavaks, et suhet 3:1 monohübriidsel ristamisel täieliku domineerimise korral või 1:2:1 vahepealse iseloomuga pärandumise korral tuleb vaadelda statistilise seaduspärasusena. Ka tegelikult on katses vaadeldavad suhtarvud seda lähedasemad ülaltoodud suhetele, mida suurem on vaatluste arv.

**«Sugurakkude puhtuse» hüpoteesi tsütoloogilised alused.** Sel ajal kui G. Mendel formuleeris sugurakkude puhtuse hüpoteesi, ei olnud veel midagi teada raku mitootilisest jagunemisest, sugurakkude arenemisest ja meioosist ehk taandjagunemisest. Praeguseks ajaks on Mendeli seadused edusammude tõttu raku uurimises saanud kindla tsütoloogilise aluse. Nagu me juba nägime 8. peatükis (lk. 212), on igal taime- ja loomaliigil kindel arv kromosoome. Somaatilistes rakkudes on kõik kromosoomid paarilised (erandiks on erilised sugukromosoomid). Sugurakkude küpsedes ühinevad paarilised (homoloogilised) kromosoomid ajutiselt ja meioosiprotsessis lahknevad erinevatesse rakkudesse (tahvel XV). Seetõttu on sugurakkude kromosoomide arv poole väiksem kui keharakkudes, kusjuures igast kromosoomipaarist säilib üks kromosoom. Somaatiliste rakkude kromosoomigarnituuri nimetatakse diploidseks (2n), sugurakkude garnituuri — haploidseks (n). Viljastumisel taastub uuesti diploidne (paariline)




JOON. 123. Monohübriidse lahknemise tsütoloogilised alused. Dominantse tunnusega kromosoomid on heledad, retsessiivse tunnusega — tumedad.

kromosoomigarnituur, milles iga kromosoomipaar koosneb ühest isa ja teisest ema poolt saadud kromosoomist.

Oletame lihtsuse mõttes, et organismil, mida me uurime, on ainult üks paar kromosoome (joon. 123) ning et geenid on kromosoomide osad. Paarilised geenid asetsevad homoloogilistes kromosoomides. On kerge mõista, et meioosis, kui igast homoloogiliste kromosoomide paarist sugurakkudesse jääb üks, siis on neis ka loomulikult üks geen igast paarist. Diploidse kromosoomigarnituuri moodustumisel sügoodis taastub uuesti kromosoomide ja nendes peituvate geenide paarilisus. Kui lähtevanemad olid homosügootsed ja ühel neist olid dominantsete, teisel aga retsessiivsete geenidega kromosoomid, siis on selge, et sügoot, millest areneb esimese põlvkonna hübriid, on heterosügootne. Heterosügootse isendi sugurakkude küpsemisel taandjagunemise protsessis homoloogilised kromosoomid satuvad erinevatesse gameetidesse ja järelikult on gameetides ainult üks geen igast paarist. Nii tekkis geneetikas tugevasti juurdunud ettekujutus kromosoomidest kui geenide kandjatest. Selles peitub kromosoomilise pärilikkuseteooria olemus.

Raku jagunemisel toimub kromosoomide kahestumine. Sellele eelneb kromosoomide põhilise keemilise komponendi — DNA

molekuli replikatsioon. See protsess on seotud ka geenide kahekordistumisega.

**Alleelsed geenid.** Vaadeldud materjal pärandumise seaduspärasuste kohta monohübriidsel ristamisel lubab formuleerida mõningad põhimõisted, mis on vajalikud edasiseks tutvumiseks geneetikaga. Me nägime pärandumise näidetel herne, *Mirabilis*'e, aedteo ja teiste objektide juures, et mitmesuguste tunnuste arenemist määravad geenid moodustavad paarid. Selliste paaride näiteks võib tuua kollase ja rohelise seemnevärvuse geenid hernel, valge ja punase õievärvusega geenid *Mirabilis*'el jt. Selliseid paarilisi geene nimetatakse alleelseiks, geenide paari aga alleeliks. Järelikult on herne seemne kollase ja rohelise värvuse geenid alleelsed. *Alleelsed geenid paiknevad homoloogilistes, s. t. paarilistes kromosoomides. Alleelsete geenide juures esineb lahknemine.* Vastupidi, mittealleelsed geenid ei lahkne Mendeli seaduse järgi. Nii näiteks ei esine lahknemist seemne värvuse ja õie värvuse suhtes. Need geenid ja nende poolt määratavad tunnused ei moodusta alleeli.

**Genotüüp ja fenotüüp.** Tähtsateks mõisteteks on geneetikas fenotüübi ja genotüübi mõisted. Genotüübiks nimetatakse tervet geenide (pärilikkusetegurite) kompleksi, mille organism saab vanematelt. On selge, et genotüüp või teiste sõnadega organismi pärilik alus määrab ära viljastatud munarakust areneva organismi tunnuste formeerumise. Kuid iga individuaalse arenemise protsess kulgeb tihedas ja katkematus seoses välistingimustega (muld, toitumine, temperatuur, gaasirežiim jms.). Erinevates tingimustes võivad sarnased genotüübid anda erisuguse tunnuse väljendumise. Me tõime juba ühe sellise näite võililles arenemisest (joon. 120). Kuna mõlemad joonisel kujutatud taimed kasvasid ühe ja sama juurika pooltest, siis on selge, et neil on sarnane genotüüp, tunnused erinevad aga teravalt. Kogu organismi väliste ja sisemiste tunnuste kompleksi nimetatakse fenotüübiks. Selleks, et selgitada koduloomade häid tõu- või kultuurtaimede kasulikke sordiomadusi, tuleb arenemiseks luua soodsad tingimused, mille juures genotüübis olevad positiivsete tõu- või sordiomaduste alged tuleksid ilmsiks fenotüübis.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Mida uurib geneetika? 2. Veistel domineerib sarvede puudumise (nudipäisuse) geen sarvisuse geeni üle. Missugust tulemust võib oodata, kui ristata heterosügootset pulli heterosügootsete nudide lehmadega? Homosügootsete nudide lehmadega? Kas võib sarvedega lehma ja sarvedega pulli järeltulijana sündida nudi vasikas? 3. Milles seisab «sugurakkude puhtuse» hüpoteesi tsütoloogiline põhjendus? 4. Milliseid geene kutsutakse alleelseteks? Tooge näiteid! 5. Defineerige mõisteid «fenotüüp» ja «genotüüp»! Tooge näiteid! 6. Defineerige mõisteid «homosügoot» ja «heterosügoot»! Seletage nende sisu näidete varal!

## 54. DIHÜBRIIDNE JA POLÜHÜBRIIDNE RISTAMINE

Monohübriidseid ristamisi võib kergesti teha katsetingimustes. Looduses aga ristuvad tavaliselt isendid, mis erinevad teineteisest paljude tunnuste poolest. Missugused on pärandumise seaduspärasused nendel keerulisematel juhtudel? Et vastata sellele küsimusele, vaatleme dihübriidset ristamist — kahe tunnustepaari pärandumist. Näite saamiseks pöördume jälle Mendeli katsetes uuritud hernesortide poole. Katse tulemused on kujutatud tahvlil XVI.

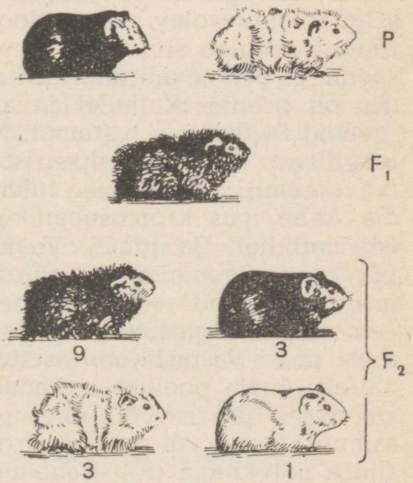
Lähtevormideks olid ristamisel ühelt poolt kollaste siledate seemnetega sort, teiselt poolt roheliste kortsuliste seemnetega sort. Selles ristamises esineb kaks alleeli. Üks alleel sisaldab seemnete värvuse geene (kollane — roheline), teine seemnete kuju geene (sile — kortsuline). Kui ristamiseks võtta homosügootsed vormid, siis on kõik esimese põlvkonna hübriidid kollaste siledate seemnetega. Järelikult, nagu teame juba monohübriidse ristamise analüüsist, on esimeses alleelis dominantseks tunnuseks kollane värvus, retsessiivseks aga roheline (alleel A-a). Teises alleelis (tähistame teda B-b) domineerib sile seemnekuju kortsulise üle. Isetolmlemisel või esimese põlvkonna hübriidide omavahelisel ristamisel esineb lahknemine. Fenotüübi järgi saame neli isendite rühma erinevates arvulistes suhetes: üheksa kollase siledaseemnelise taime kohta (AB) tuleb kolm kollast kortsuliste seemnetega (Ab), kolm rohelist siledaseemnelist (aB) ja üks roheliste kortsuliste seemnetega taim (ab). Lühidalt võib seda lahknemist kujutada järgmise valemiga: 9AB:3Ab:3aB:1ab.

Vaatleme detailsemalt ristamise ja lahknemise käiku (vt. tahvel XVI). Kasutades kokkuleppelisi tähistusi, tuleb homosügootsete vanemate genotüüpe tähistada AABB ja aabb. Lähtudes sugurakkude puhtuse hüpoteesist teame, et nende sugurakkudel on kummalgi üks geen igast alleelist, s. t. et sugurakud on ühel vanemal AB ja teisel ab. Viljastamise tulemusel saame hübriidi pärilikkusega AaBb. See hübriid on heterosügootne kahe alleeli suhtes, kuid kuna tal on geenid A ja B, siis sarnaneb ta fenotüübilt ühega vanematest. Lahknemise tulemusi teises põlvkonnas võib ennustada, kui on teada, millised sugurakud tekivad esimese põlvkonna kahekordselt heterosügootsetel (mõlema alleeli järgi) hübriididel. Kuna sugurakus saab esineda kummastki alleelist ainult üks geen (sugurakkude puhtuse hüpotees), siis peab kahekordsetel heterosügootidel ilmselt olema nelja tüüpi sugurakke, nimelt AB, Ab, aB ja ab. Kahe ükskõik millist tüüpi erinevale vanemale kuuluva suguraku kohtumine on võrdse tõenäosusega. Neljast kahekaupa saab koostada 16 erinevat kombinatsiooni. Kõik need on toodud tahvlil, kus leiame ka kõik 16 sealjuures moodustuvat genotüüpi. Kõigis 16 ruudus on joonistatud ka vas-

tavate isendite fenotüübid. Tabelist saab kergesti loendada eespool toodud $F_2$ lahknemise tulemuse.

Kui ristatakse organisme, mis erinevad üksteisest täielikult dominantsete tunnuste poolest, siis on teise põlvkonna hübriididel erinevate genotüüpide arv tunduvalt suurem kui fenotüüpide arv. Nagu nägime, esineb dihübriidsel lahknemisel neli erinevat fenotüüpi. Enamik neist koosneb mitmest genotüübist. Kollase ja siledaseemnelise hernetaimede seas (fenotüüp AB) nagu «oleks peidus» neli erisugust genotüüpi: homosügootsed vormid AABB, heterosügootsed seemne värvuselt — AaBB, heterosügootsed seemne kujult — AABb ja lõpuks, mõlema tunnuse poolest heterosügootsed vormid — AaBb. Järelikult sisaldab see fenotüüp neli erinevat genotüüpi. Kollaste kortsuliste seemnetega hernetaimed (fenotüüp Ab) on esindatud kahe genotüübiga: homosügootsega — AAbb ja heterosügootsega — AAbb. Kaks genotüüpi «peitub» ka rohelise siledaseemnelise herne fenotüübi aB taga, nimelt aaBB ja aaBb. Mis puutub retsessiivsetesse vormidesse siledate roheliste seemnetega, siis on nad alati homosügootsed ja neid esindab üksainus genotüüp aabb. Järelikult on erinevate genotüübikombinatsioonide arv teises hübriidses põlvkonnas üheksa.

Vaadeldud kvantitatiivsed suhted erinevate fenotüüpide ja genotüüpide arvu vahel $F_2$ dihübriidsel lahknemisel kehtivad täieliku dominantsusega alleelide puhul. On selge, et vahepealse iseloomuga pärandumise juhul on fenotüüpiliselt eristatavaid vorme rohkem. Kui pärandumine on vahepealne mõlema tunnuse osas, siis on fenotüüpiliselt eristatavate rühmade arv võrdne erinevate genotüüpide arvuga.

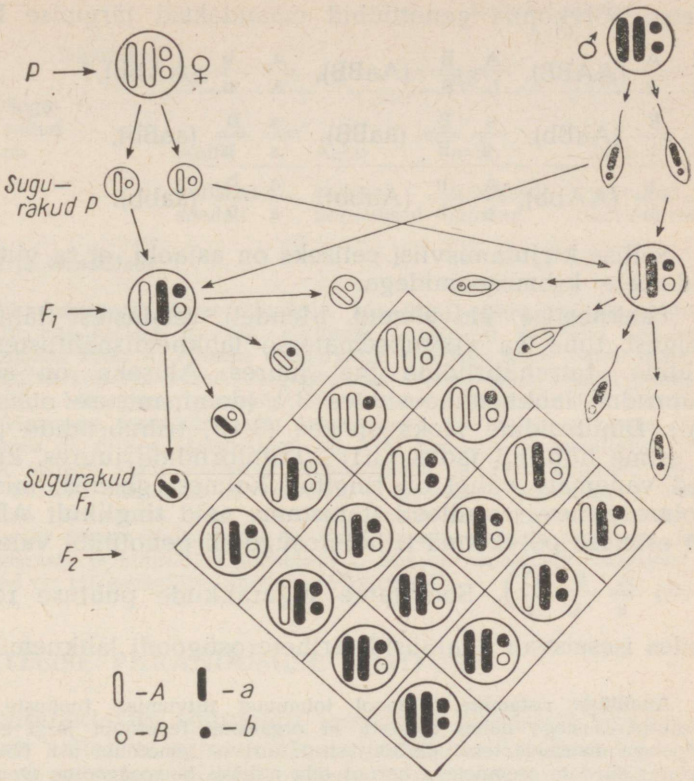



JOON. 124. Ristamine ja lahknemise käik kahe meriseatõu esimestes hübriidsetes põlvkondades. Tõud erinevad kahe alleeli poolest, milleks on karvkatte värvus ja kuju (dihübriidne ristamine).

Dihübriidse ristamise kulgu võib jälgida ka loomadel. Joon. 124 on kujutatud kahe meriseatõu dihübriidset ristamist — musti siledakarvalisi merisigu ristatakse valgete sassiskarvaliste merisigadega. Antud juhul domineerib must värvus valge üle ja sassis karv sileda üle. Jooniselt on ilma edasiste selgitusteta mõistetav ristamise käik, mis on täiesti analoogiline vaadeldud herne dihübriidse ristamisega. Märgiksime ainult, et antud juhul erineb esimese põlvkonna hübriid mõlemast vanemast, kuna tal on kaks dominantset tunnust, mis on päritud erinevatelt vanematelt.

**Mendeli teine seadus.** Võrdleme dihübriidse ja monohübriidse ristamise tulemusi. Kui võtta arvesse kummagi alleeli lahknemist eraldi, siis on kerge märgata, et monohübriidsele ristamisele iseloomulikud suhted säilivad. Eespool vaadeldud herne dihübriidsel lahknemisel on kollaste herneste (A) arvu suhe roheliste herneste (a) arvusse 12:4 (3:1). Sama kehtib ka siledate seemnete (B) suhte kohta kortsulistesse (b). Nii kujutab dihübriidne lahknemine endast sisuliselt nagu kaht sõltumatult toimuvat monohübriidset lahknemist, mis nagu oleks «üksteise peale pandud». Seda võib väljendada algebraliselt kaksliikme ruuduna: $(3+1)^2=3^2+2\times3+1^2$ ehk teisel kujul $9+3+3+1$. Seda suhet võime ka tegelikult täheldada dihübriidsel lahknemisel. Sellega jõudsime Mendeli teise väga tähtsa seaduse formuleerimiseni, mida võib nimetada geenide sõltumatu jaotumise seaduseks. See seadus väidab, et iga tunnustepaari (alleeli) lahknemine toimub sõltumatult teistesse alleelidesse kuuluvatest tunnustepaaridest.

**Dihübriidse lahknemise tsütoloogilised alused.** Kuidas siduda dihübriidse lahknemise seaduspärasusi nende protsessidega, mis toimuvad sugurakkude küpsemisel ja viljastamisel? Neid suhteid selgitab juuresolev skeem (joon. 125). Diploidset kromosoomigarnituuri esindab siin kaks homoloogilist paari. Paarilistes kromosoomides paiknevad alleelsed geenid. Kepikujulistes kromosoomides on geenid A (hele) ja a (tume), kerajates kromosoomides geenid B (hele) ja b (tume). Meioosi tulemusel jääb igast homoloogilisest kromosoomipaarist sugurakkudesse üks kromosoom (vt. skeemi). Viljastamise tulemusel on kahekordses heterosügoodis AaBb igas kromosoomidepaaris ühe alleeli erinevad geenid (skeemil hele ja tume). Taandjagunemisel moodustub esimese põlvkonna ($F_1$) hübriidil võrdsel hulgal nelja tüüpi sugurakke, mis on tingitud sellest, et meioosis kromosoomide lahknemisele eelneva konjugatsiooni ajal erinevate homoloogiliste kromosoomide paari vastastikune asetus kannab juhuslikku iseloomu. Kui näiteks ühele poolusele rändab «must» kepikujuline kromosoom, siis teisest paarist võib ühesuguse tõenäosusega sinna liikuda kas samuti «must» või «valge» kromosoom. Viljastamise ja teise hübriidse põlvkonna ($F_2$) arenemise tulemusel moodustub ühesuguse




JOON. 125. Dihübriidse ristamise tsütoloogilised alused. Dominantse geeniga kromosoomid on heledad, retsessiivsega — tumedad.

tõenäosusega 16 sügoodikategooriat. Skeemil on kõik võimalikud sügootide kromosoomide kombinatsioonid joonistatud ruutudesse. Soovitame iseseisva ülesandena kirjutada kõigi sügootide ja sugurakkude juurde pliiatsiga välja neile vastavad tingtähistused. Need tähistused leiame skeemil vasemal all, kromosoomide joonise juures.

Teades, et alleelsed geenid paiknevad homoloogilistes kromosoomides, võime senisega võrreldes veidi muudetud kujul tähistada dihübriidse ristamise ja lahknemise käiku, kujutades valemites homoloogilisi kromosoome kriipsukeste kujul. Homosügootsete lähtevanemate geneetiline valem saab järgmise kuju:

1) $\frac{A}{A}\,\frac{B}{B}$ (AABB asemel) ja 2) $\frac{a}{a}\,\frac{b}{b}$ (aabb asemel). Kahekordse heterosügoodi valem näeks siis välja järgmiselt: $\frac{A}{a}\,\frac{B}{b}$.

Teise põlvkonna genotüübid omandaksid järgmise kuju:

$\frac{A}{B}\frac{A}{B}$ (AABB), $\frac{A}{b}\frac{B}{B}$ (AaBB), $\frac{A}{A}\frac{b}{b}$ (AAbb),

$\frac{A}{a}\frac{B}{b}$ (AaBb), $\frac{a}{a}\frac{B}{B}$ (aaBB), $\frac{a}{a}\frac{B}{b}$ (aaBb),

$\frac{A}{A}\frac{b}{b}$ (AAbb), $\frac{A}{a}\frac{b}{b}$ (Aabb), $\frac{a}{a}\frac{b}{b}$ (aabb).

Sellise kirjutamisviisi eeliseks on asjaolu, et ta viitab geenide sidemele kromosoomidega.

**Lahknemise üldvalemid.** Mendeli seadustest lähtudes saab selgust tuua ka keerulisematesse lahknemisnähtustesse trihübriidide, tetrahübriidide jne. juures. Aluseks on alati monohübriidne lahknemine suhtes 3:1 (dominantsuse olemasolu korral). Dihübriidide jaoks on see $(3:1)^2$, trihübriidide jaoks $3:1)^3$, n astme hübriidi jaoks $(3:1)^n$. Trihübriidide juures, kus erinevused vanemate vahel on tingitud kolmest geenist, mis kuuluvad kolme erinevasse alleeli (tähistame neid tinglikult ABC ja abc), on esimese põlvkonna triheterosügoodi genotüübi valem AaBbCc $\left(\text{või } \frac{A}{a}\frac{B}{b}\frac{C}{c}\right)$. Soovitame sugurakkude puhtuse reeglist lähtudes iseseisvalt analüüsida triheterosügoodi lahknemist $F_2$-s.

**Analüüsiv ristamine.** Eespool toimunud tutvumine tunnuste pärandumise seaduspärasustega näitas selgesti, et organismi fenotüübi järgi ei saa piisava selgusega otsustada tema päriliku struktuuri — genotüübi üle. Nii näiteks võib kollaste siledate seemnetega hernes olla niihästi homosügootne (genotüüp AABB) kui diheterosügootne (AaBb) või hoopis heterosügootne ühe alleeli järgi (AABb ja AaBB). Genotüübi võib kindlaks teha ainult lahknemise iseloomu järgi hübriidpõlvkonnas. Genotüübi määramine ei paku ainult teoreetilist huvi, vaid omab ka suurt praktilist tähtsust selektsioonitöös tõugude ja sortide aretamisel ning parandamisel.

Selleks kasutatakse laialdaselt *analüüsivat ristamist*, mis kujutab endast selle isendi, mille genotüüpi on vaja määrata, ristamist uuritavate alleelide osas puhtalt retsessiivse vormiga. Niisuguse ristamise suured eelised peituvad selles, et analüüsitava vormi gameetide genotüüpi saab määrata juba esimeses hübriidses põlvkonnas, kuna puhtalt retsessiivne vorm on alati homosügootne (lk. 237). Nii näiteks on roheliste kortsuliste herneseemnete genotüüp aabb ja neist saab ainult üht tüüpi sugurakke — ab. Oletame, et ristasime roheliste kortsuliste seemnetega hernevormi kollaste ja siledate seemnetega hernega, mille genotüüpi me ei tundnud, ja saime järglaskonnas 25% taimi kollaste siledate seemnetega, 25% kollaste kortsuliste seemnetega, 25% roheliste siledate ja 25% roheliste kortsuliste seemnetega. Mida võib nende andmete alusel öelda ristamiseks võetud vormi genotüübi kohta? Ilmselt võib kinnitada, et see vorm andis võrdsetes kogustes 4 tüüpi sugurakke, ehk teiste sõnadega, oli kahe alleeli suhtes heterosügootne. Selle ristamise käiku selgitab tabel lk-l 247.

Oletame, et teise analoogilise samade tunnustega taimede ristamise korral ei saanud me järglaskonnas mingit lahknemist ja kõigil taimedel olid uuritavate alleelide osas ainult dominantsed tunnused (s. o. kollased siledad seemned). See näitab, et meie poolt võetud isend oli dominantne homosügoot (AABB). Sellist juhust analüüsisime üksikasjaliselt eespool.

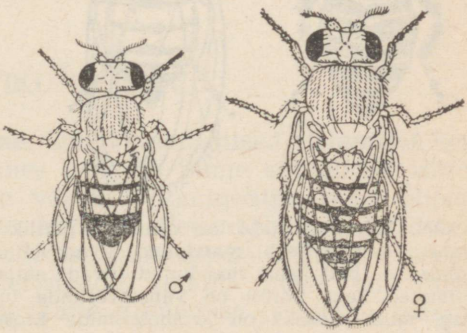
| | | Kollased siledad AaBb | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Sugurakud | AB | Ab | aB | ab |
| Rohelised kortsulised aabb | Sugurakud ab | AaBb | Aabb | aaBb | aabb |
| | | kollased siledad | kollased kortsulised | rohelised siledad | rohelised kortsulised |

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Tomatil domineerib ümar viljakuju (A) pirnja kuju (a) üle, punane viljavärvus (B) aga kollase (b) üle. Kirjutage geneetilisi valemeid kasutades järgmiste ristamiste käik: A) Punaste ümmarguste viljadega taime ristati taimega, millel olid pirnjad kollased viljad. Järglaskonnas kandsid kõik taimed punaseid ümmargusi vilju. Missugune genotüüp oli vanematel ja hübriidil? Kirjutage valemid! B) Vanemate fenotüübid olid samasugused kui eelmises katses, kuid ristamise tulemus oli erinev. Hübriididest oli 25% punaseid ümaraviljalisi, 25% punase pirnja viljaga, 25% kollaseid ümaraviljalisi ja 25% kollaseid pirnja viljaga (suhe 1:1:1:1). Missugune oli vanemate ja hübriidide genotüüp? C) Vanemate fenotüübid olid samad, kuid ristamise tulemus oli erinev. Järglaskonnas oli 50% punaseid ümaraviljalisi taimi ja 50% punaste pirnjate viljadega. Missugune oli vanemate ja hübriidide genotüüp? 2. Mis on «analüüsiv ristamine» ja millised eelised on tal geneetilise analüüsi läbiviimisel?

## 55. LIITELISE PÄRANDUMISE NÄHTUS

Pärilikkusefaktorite sõltumatu jaotumine (Mendeli teine seadus) põhineb sellel, et erinevatesse alleelidesse kuuluvad geenid paiknevad erinevates homoloogiliste kromosoomide paarides. Loomulikult kerkib küsimus: kuidas jaotuvad erinevad (mitte-alleelsed) geenipaarid reas põlvkondades juhul, kui nad on pärit ühest ja samast kromosoomipaarist? Juba teoreetiliselt tuleb sellise nähtuse esinemist eeldada, sest hübridoloogilise analüüsiga kindlakstehtud geenide arv ületab paljukordselt kromosoomide arvu. On ilmne, et ühes kromosoomis paiknevate geenide kohta



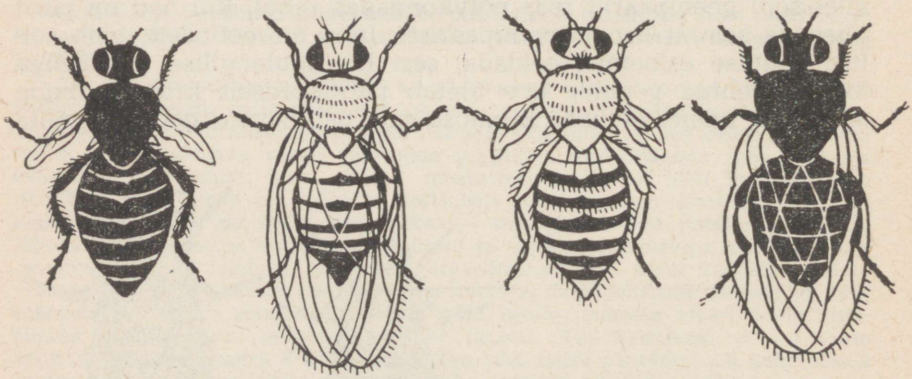

JOON. 126. Isane (vasemal) ja emane puuviljakärbes.

sõltumatu jaotumise seadus (Mendeli teine seadus) ei kehti ning seda seadust tuleb piirata ainult nende juhtudega, kus erinevate alleelide geenid asetsevad eri kromosoomides.

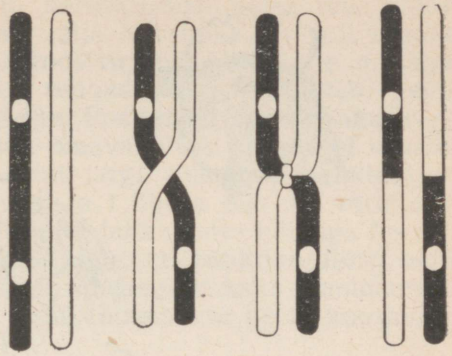
Küsimust pärandumise seaduspärasustest geenide asetsemisel ühes kromosoomis uuris üksikasjaliselt Th. Morgan ja tema koolkond. Uurimuste põhiobjektiks oli puuviljakärbes *(Drosophila)* (joon. 126). See putukas on geneetiliseks uurimistööks erakordselt kohane. Kärbest on kerge kasvatada laboratooriumitingimustes, ta on suure sigivusega, andes uue põlvkonna iga 20—25 päeva jooksul, tal on palju mitmesuguseid pärilikke muutusi ja väike kromosoomide arv (diploidses garnituuris 8 kromosoomi).

Arvukad katsed näitasid, et ühes kromosoomis lokaliseeritud geenid on liitelised, s. t. päranduvad peaasjalikult koos ega allu sõltumatule lahknemisele Mendeli teise seaduse järgi. Vaatleme konkreetset näidet. Kui ristata halli kehavärvuse ja normaalsete tiibadega puuviljakärbest tumeda kehavärvuse ja lühenenud tiibadega (könttiivalise) kärbsega, siis on esimeses hübriidses põlvkonnas kõik kärbsed hallid ja normaalsete tiibadega. Hübriidide omavahelisel ristamisel ei esine teises põlvkonnas sõltumatut tunnuste lahknemist kahe alleeli («hall keha — tume keha» ja «normaalsed tiivad — könttiivad») järgi suhtes $(3:1)^2$ (vt. lk. 246).

Teise põlvkonna isendite seas esineb palju sagedamini, kui seda võiks oodata tunnuste sõltumatul lahknemisel, halli keha ning normaalsete tiibadega ja tumeda kehaga könttiivalisi kärbseid. Vaid väga väikesel arvul kärbestel toimub vanemate tunnuste ümberkombineerumine ja saadakse halli kehaga könttiivalised ning tumeda keha ja normaalsete tiibadega kärbsed (joon. 127). Me näeme sellel näitel, et geenid, mis määravad tunnused



JOON. 127. Puuviljakärbse erinevad pärilikud vormid (vasemalt paremale): esimene — must keha, mandunud tiivad; teine — hall keha, normaalsed tiivad; kolmas — hall keha, mandunud tiivad; neljas — must keha, normaalsed tiivad. Viimased kaks vormi on vanemvormide tunnuste ümberkombineerumise tagajärg, mille aluseks on kromosoomide krossingover (siirdristamine).



JOON. 128. Kromosoomide siirdristumise skeem. Kaks ühes kromosoomis paiknevat geeni (heledad ringid mustade kromosoomide foonil) satuvad siirdristumise tagajärjel erinevatesse homoloogilistesse kromosoomidesse.

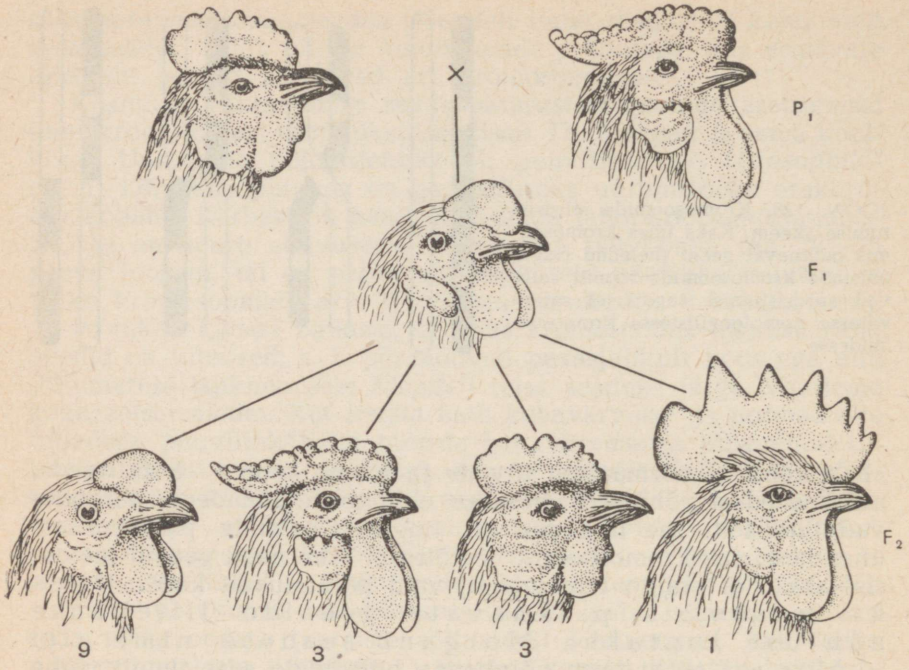
«hall keha — normaalsed tiivad» ja «tume keha — könttiivad», antakse edasi põhiliselt üheskoos ehk, teiste sõnadega, päranduvad liiteliselt. See liitelisus on tingitud geenide paiknemisest ühes ja samas kromosoomis. Seetõttu ei lähe need geenid meioosis lahku, ei eraldu teineteisest, vaid päranduvad koos. Ühes kromosoomis paiknevate geenide liitelisuse nähtust tuntakse Morgani seaduse nime all.

Miks aga siiski teise põlvkonna hübriidide seas ilmub väike arv isendeid, mille juures vanemate liitelised tunnused on ümber kombineerunud? Miks geenide liitelisus ei ole absoluutne? Uurimused näitasid, et geenide ümberkombineerumine on tingitud sellest, et meioosiprotsessis homoloogiliste kromosoomide konjugeerumisel (lk. 223) toimub teatud protsendil kromosoomitükkide vahetus — krossingover ehk siirdristumine (geenivahetus) (joon. 128). On selge, et kui sealjuures esialgselt ühes kromosoomis paiknenud geenid satuvad erinevatesse kromosoomidesse, toimub nende vahel ümberkombineerumine.

Käesolevaks ajaks on geenide liitelisuse nähtust uuritud paljudel objektidel. Taimede seast on selles suhtes eriti hästi uuritud maisi, tomatit ja hernest.

## 56. GEENIDE VASTASTIKUNE TOIME

**Geenide vastastikune toime. Uudikmoodustised ristamisel.** Eespool vaadeldud näidetes ilmnes geenide toime suhteliselt sõltumatult. Herneseemne kollase värvuse dominantne geen kutsus esile selle tunnuse arenemise niihästi sileda seemnekuju dominantse geeni kui ka sellele alleelse retsessiivse kortsulise seemnekuju geeni esinemisel. Merisigadel toimib musta või valge värvuse geen sõltumatult karvkatte arenemise iseloomu määra-




Joon. 129. Hernekujulise (ülemises reas vasemal) ja roosikujulise (ülemises reas paremal) harjaga kanade ristamise tulemused. Esimese põlvkonna hübriididel on hari pähklikujuline (uudikmoodustis). Teises põlvkonnas ilmuvad pähklikujulise, roosikujulise, hernekujulise ja lihtsa harjaga kanad ja kuked suhtes 9:3:3:1.

vatest geenidest. Nende näidetega tutvumisel võib tekkida arvamus, et organismi genotüüp koosneb üksikute sõltumatult toimivate geenide summast. Selline ettekujutus on väär. Kuigi mõnel juhtumil erinevatesse geenidesse kuuluvad alleelid toimivad suhteliselt sõltumatult, esinevad sagedamini nende vahel mitmesugused vastastikused toimed. Organismi ühe või teise tunnuse arenemist kontrollib tavaliselt palju geene.

Erinevatel kanatõugudel on erisugune harja kuju. Joonisel 129 on kujutatud neli harjatüüpi: hernekujuline, roosikujuline, pähklikujuline ja lihtne. Roosikujulise ja lihtsa harjaga homosügootsete lindude ristamisel on domineeriv tunnus roosikujuline hari. Esimesel hübriidsel põlvkonnal on roosikujuline hari, $F_2$-s aga toimub lahknemine suhtes 3:1 (kolm roosikujulist ja üks lihtne).

Analoogilise tulemuse saame siis, kui ristame hernekujulise ja lihtsa harjaga linde. $F_1$-s domineerib hernekujuline hari, $F_2$-s aga

esineb lahknemine suhtes kolm hernekujulist harja ühe lihtsa harja kohta. Kuidas aga näevad välja hübriidid siis, kui ristata omavahel linde hernekujulise ja roosikujulise harjaga, s. o. kahe erineva, mittealleelse dominantse tunnusega? Katse näitab (joon. 129), et sel juhul on kõigil järglastel $F_1$-s täiesti uus harjakuju — pähklikujuline. Nende hübriidide omavahelisel ristamisel esineb $F_2$-s lahknemine dihübriidse skeemi järgi, nimelt: 9 pähklikujulist, 3 roosikujulist, 3 hernekujulist ja 1 lihtne. Kui me võrdleme seda tulemust juba tuntud dihübriidse lahknemise käiguga hernel ja merisigadel, siis jõuame järeldusele, et pähklikujuline hari areneb juhul, kui sugurakus esineb üheaegselt kaks dominantset geeni. Lihtne hari on järelikult kahe retsessiivse geeni koosmõju tulemus.

Tähistame alleeli, mille dominantne geen kutsub esile hernekujulise harja arenemise, tähtedega P—p ja roosikujulise harja alleeli R—r. Võtame ristamiseks homosügootsed vanemad. Sel juhul võime kogu ristamise käiku ette kujutada järgmiselt:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | P | PPrr | × | ppRR |
| Sugurakud | | Pr | | pR |
| | $F_1$ | PpRr | × | PpRr |
| Sugurakud | PR | Pr | pR | pr |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| PR | PPRR pähklikujul. | PPRr pähklikujul. | PpRR pähklikujul. | PpRr pähklikujul. |
| Pr | PPRr pähklikujul. | PPrr hernekujul. | PpRr pähklikujul. | Pprr hernekujul. |
| pR | PpRR pähklikujul. | PpRr pähklikujul. | ppRR roosikujul. | ppRr roosikujul. |
| pr | PpRr pähklikujul. | Pprr hernekujul. | ppRr roosikujul. | pprr lihtne |

Mittealleelsete geenide üheaegse toime nähtus on laialt levinud.

**Geeni mitmesuunaline toime.** Äsjavaadeldud näidetest saime teada, et enamikku organismi pärilikult tingitud tunnustest kontrollib mitte üks, vaid palju geene. Selle kõrval esineb ka teine nähtus. Paljudel juhtudel toimib geen mitte ühele tunnusele, vaid reale organismi tunnustele. Sealjuures tuleb eriti reljeefselt esile geeni toime üks külg, mille järgi geeni ka tavaliselt kutsutakse. Toome näiteid. Enamikul punaste õitega taimedel (pärilik tunnus) on ka vartes, eriti sõlmevahedes, punast pigmenti. Valgete õitega taimedel on varred puhtalt rohelised. Kurekellal on punast õievärvust määraval geenil mitmesuunaline toime. Ta

määrab lehtede lillaka varjundi, pikema varre ja suurema seemnete kaalu. Palju võib sarnaseid näiteid tuua ka loomariigist. Piirdume ainult ühega. Geneetikute armastatud uurimisobjektil, puuviljakärbsel *(Drosophila)*, mille genotüüpi on uuritud väga põhjalikult, kahandab silmades pigmendi puudumist määrav geen samaaegselt ka viljakust, mõjutab mõnede siseelundite värvust ja lühendab eluiga.

Geneetikas käesolevaks momendiks kõige erinevamate taimede, loomade ja mikroorganismide pärilikkuse uurimisel kogutud laialdane materjal räägib selle kasuks, et geeni mitmesuunaline toime on laialt levinud nähtus.

Esitatud faktid ja vaatlused geenide vastastikuse ja mitmesuunalise toime kohta süvendavad tunduvalt meie üldist ettekujutust organismide päriliku aluse — genotüübi loomusest. Lahknemine hübriidide järglastel lubab kinnitada, et genotüüp koosneb üksikutest elementidest, mida kutsutakse geenideks, mis võivad teineteisest eralduda ja päranduda sõltumatult (meenutage Mendeli teist seadust). Kõrvuti katkelisusega on genotüübil ka terviklikkus ja teda ei saa vaadelda üksikute geenide lihtsa mehaanilise summana. Genotüübi terviklikkus väljendub eelkõige selles, et ta üksikud komponendid (geenid) on üksteisega tihedates vastastikustes seostes. Organismi tunnuste arenemine määratakse paljude geenide koosmõjuga. Teiselt poolt on igal geenil mitmesuunaline toime ja ta mõjub mitte ühe, vaid paljude organismi tunnuste arenemisele. Organismi genotüüp on seotud kindlate rakustruktuuridega, selle kromosoomiaparaadiga.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Missuguse mittealleelsete geenide paiknemise juures toimib Mendeli teine seadus (sõltumatu jaotumise seadus) ja millisel juhul Morgani liitelisuse seadus? Selgitage vastust skeemidega! 2. Analüüsige üksikasjaliselt ja geneetilisi valemeid kasutades lahknemise käiku pähklikujulise harjaga diheterosügootse kuke analüüsival ristamisel lihtsa harjaga kanadega! Milliseid järeltulijaid saate ja missugustes arvulistes suhetes? 3. Millised faktid tõestavad, et genotüüp on keeruline süsteem ja mitte paljude sõltumatute ühikute — geenide lihtne summa? 4. Missuguse protsessi tulemusel muutub geenide liitelisus?

## 57. SOO GENEETIKA

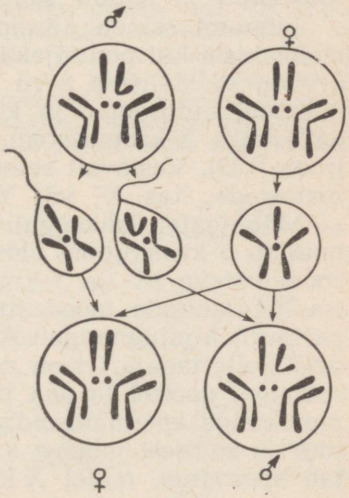
On hästi teada, et lahksugulistel organismidel (nende hulgas ka inimesel) on sugupoolte suhe tavaliselt 1:1. Millised põhjused määravad areneva organismi soo? See küsimus on inimest huvitanud juba kaua oma suure praktilise tähtsuse pärast. Selle lahendamine sai võimalikuks aga alles XX sajandil, geneetika ja tsütoloogia suurte edusammude tõttu.

Emas- ja isasloomade kromosoomigarnituurid on enamikul lahksugulistel organismidel erinevad. Tutvume nende erinevus-

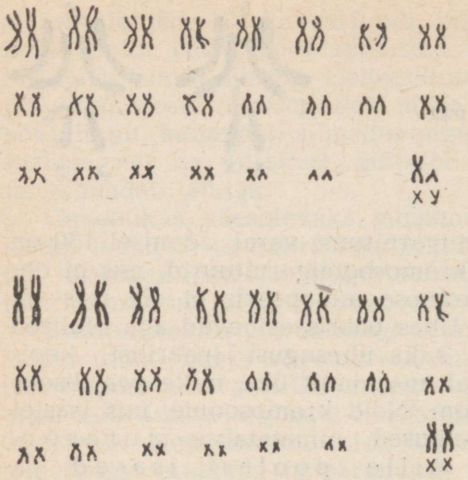
JOON. 130. Emase (vasemal) ja isase puuviljakärbse kromosoomigarnituurid.

tega puuviljakärbse kromosoomigarnituuri varal. Joonisel 130 on kujutatud isas- ja emaslooma kromosoomigarnituurid, mis ei ole täiesti ühesugused. Kolmes kromosoomidepaaris ei ole isas- ja emasloomade vahel erinevusi. Ühes paaris esinevad aga olulised erinevused. Emasloomadel on kaks ühesugust (paarilist) kepikujulist kromosoomi, isasloomal aga ainult üks, mille paariliseks on eriline kaheõlgne kromosoom. Neid kromosoome, mis isastel ja emastel isenditel on ühesugused, nimetatakse autosoomideks. Kromosoome, mille poolest isased ja emased üksteisest erinevad, nimetatakse sugukromosoomideks. Puuviljakärbse kromosoomigarnituur koosneb seega kuuest autosoomist ja kahest sugukromosoomist. Kepikujulist kromosoomi, mida emastel on kaks ja isastel üks, nimetatakse X-kromosoomiks. Teist (kaheõlgset) sugukromosoomi, mis esineb isasel ja emasel puudub, nimetatakse Y-kromosoomiks.

Kuidas säilitatakse kirjeldatud sugulisi erinevusi emaste ja isaste kromosoomigarnituurides paljunemisel? Sellele küsimusele vastamiseks tuleb selgitada kromosoomide käitumist meioosis ja viljastamisel. Toimuva protsessi olemust näitab joon. 131. Sugurakkude küpsemisel saab emasloomal iga munarakk meioosi tulemusel haploidse garnituuri, mis koosneb neljast kromosoomist.




JOON. 131. Soo määramise mehhanism puuviljakärbsel. Isasel moodustub kaht tüüpi sugurakke. Ühtedel on haploidses garnituuris X-kromosoom, teistel Y-kromosoom.



JOON. 132. Mehe (ülal) ja naise (all) kromosoomikompleks. Mehel on näha X- ja Y-kromosoomid, naisel kaks X-kromosoomi.

Nende seas on üks X-kromosoom. Isasloomal moodustub meioosis kaht tüüpi spermatosoide. Kõigis spermatosoidides on kolm autosoomi. Sugukromosoomid lahknevad käävi vastupidistele poolustele. X-kromosoom liigub seega ühele poolusele, Y-kromosoom — teisele. Seetõttu moodustub isasloomadel võrdsetes hulkades kaht tüüpi spermatosoide. Ühtedel on kolm autosoomi ja X-kromosoom, teistel — kolm autosoomi ja Y-kromosoom. Viljastumisel esineb võrdse tõenäosusega kaks kombinatsiooni. Munarakku võib viljastada X- või Y-kromosoomiga spermatosoid. Esimesel juhul areneb viljastatud munast emasloom, teisel juhul isasloom. Nii *määratakse organismi sugu viljastamise momendil ja sõltub sügoodi kromosoomigarnituurist.*

Inimesel esineb niisamasugune soo määramise kromosoomimehhanism kui puuviljakärbselgi. Inimese diploidne kromosoomiarv on 46. Sellesse arvu kuulub 22 paari mehel ja naisel ühesuguseid autosoome ja kaks sugukromosoomi. Naistel on nendeks kaks X-kromosoomi, meestel üks X- ja üks Y-kromosoom (joon. 132). Vastavalt sellele moodustub meestel kaht tüüpi spermatosoide, kas X- või Y-kromosoomidega.

Mõningatel lahksugulistel organismidel (näiteks putukatel) puudub Y-kromosoom üldse. Sel juhul on isasloomal üks kromosoom vähem (X- ja Y-kromosoomi asemel üks X-kromosoom). Isassugurakkude moodustumisel ei ole X-kromosoomil meioosis partnerit konjugeerumiseks ja ta liigub ühte tekkivatest rakkudest. Selle tagajärjel on pool kõigist spermatosoididest X-kromosoomiga, pooltel ta aga puudub. Kui muna viljastatakse X-kromosoomiga spermatosoidiga, tekib kahe X-kromosoomiga garnituur ja sellisest munast areneb emasloom. Kui munaraku viljastab spermium, millel X-kromosoom puudub, siis areneb ainult

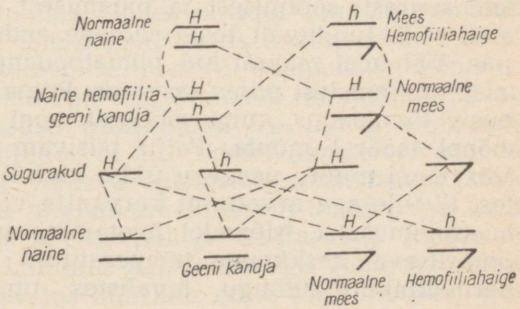
ühe X-kromosoomiga isane organism (X-kromosoom saadi emasloomalt munaraku kaudu).

Kõigis vaadeldud näidetes on isastel kaht tüüpi spermatosoidid: kas X- või Y-kromosoomiga nagu puuviljakärbsel ja inimesel või on pooltel spermatosoididel X-kromosoom, pooltel aga sugukromosoom puudub. Kõik munarakud on aga sugukromosoomide suhtes ühesugused. Kõigil kirjeldatud juhtudel oli tegemist isaste heterogameetsusega (erisugurakulisusega). Emased on aga homogameetsed (ühesuguste sugurakkudega). Selle kõrval esineb looduses ka teine soo määramise tüüp, mida iseloomustab emaste heterogameetsus. Siin on lugu vastupidine. Emastel esinevad erisugused kromosoomid või ainult üks X-kromosoom. Isastel on kaks ühesugust X-kromosoomi. Ilmselt esineb sel korral emaste heterogameetsus. Meioosis moodustuvad kaht tüüpi munarakud, kuna spermatosoidid on kromosoomigarnituurilt ühtlikud — kõigil on üks X-kromosoom. Järelikult määrab loote soo see, kas viljastati X- või Y-kromosoomiga munarakk.

Emaste heterogameetsus esineb mõnedel putukatel, nimelt liblikatel. Selgroogsetest on ta iseloomulik lindudele ja roomajatele.

**Suguliiteline pärilikkus.** Eespool vaadeldud näidetes lahknemise kohta ei võetud arvesse, kas hübriid sai ühe või teise geeni isas- või emasorganismilt. Mingeid erinevusi selles suhtes ei täheldata. See on ka täiesti mõistetav, kuna niihästi isas- kui emassugurakkudel on haploidsed kromosoomigarnituurid, mis viljastamisel ühinedes annavad sügoodi diploidse garnituuri. Öeldu kehtib autosoomide kohta. Sugukromosoomide juures, nagu äsja nägime, seisab aga asi teisiti. Heterogameetne sugu (inimese korral meessugu) saab X-kromosoomi ainult homogameetselt soolt ja see kromosoom esineb tal ainsuses. Nii on näiteks kõigil meestel ainult emapoolne X-kromosoom, kuna aga naised saavad nii emalt kui isalt ühe X-kromosoomi.

On ilmne, et X-kromosoomides paiknevate geenide pärandumine peab toimuma mõnevõrra teisiti kui autosoomides paiknevate geenide oma. Vaatleksime mõnd näidet X-kromosoomi kaudu toimuva pärandumise iseärasuste kohta. Inimesel esineb raske pärilik haigus hemofiilia ehk veritsustõbi, mille üheks tunnuseks on vere hüübimatus. Hemofiiliahaige jaoks võivad vähimagi haavaga kaasneda tõsised tagajärjed. Hemofiiliasse haigestuvad ainult mehed. Hemofiilia tekkis retsessiivse päriliku muutusena X-kromosoomis. Hemofiilia kandjateks on tavaliselt väliselt (fenotüübilt) täiesti normaalsed naised, kelle ühes X-kromo-




JOON. 133. Hemofiilia pärandamise skeem.

soomis on hemofiilia geen. Fenotüübis aga see geen ilmseks ei tule, kuna ta surutakse maha alleelse dominantse geeni poolt, mis tingib vere normaalse hüübimise. Naissoost haigusekandja pärandab hemofiilia pooltele oma poegadest, neile, kellele satub retsessiivse hemofiilia geeniga X-kromosoom. Kuna meessoost järglastel on vaid üks X-kromosoom ja puudub alleelne geen, mis domineeriks hemofiilia geeni üle, tuleb hemofiilia esile fenotüüpiliselt. Kõiki neid suhteid on lihtne mõista, kui jälgida juuresolevat skeemi (joon. 133). Naise hemofiiliasse haigestumise tõenäosus on äärmiselt väike. See võib toimuda hemofiilia suhtes heterosügootse naise abielu korral hemofiiliahaige mehega. Võib öelda, et hemofiilia on suguliiteline tunnus. Sama skeemi järgi pärandub inimesel ka daltonism ehk punaroheliseepimedus.

Piirdudes nende näidetega suguliitelise pärilikkuse kohta lisaksime, et suguliitelisi tunnuseid on koduloomadel ja -lindudel teada küllalt palju.

**Küsimusi**

1. Puuviljakärbsel (*Drosophila*) määratakse valgesilmalisus retsessiivse geeniga, mis paikneb X-kromosoomis. Kuidas toimub lahknemine $F_1$-s, kui ristata valgesilmalist emaskärbest punasesilmalise isasega? Kui ristata omavahel esimese põlvkonna hübriide? Kuidas toimub silmade värvuse pärandumine $F_1$-s ja $F_2$-s, kui ristata punasesilmalist homosügootset emaskärbest valgesilmalise isasega? 3. Isa kannatab hemofiilia all. Ema on terve, poeg jällegi hemofiiliahaige. Kas võib antud juhul õigustatult öelda, et poeg päris hemofiilia isalt?

10. PEATÜKK

# MUUTLIKKUSE SEADUSPÄRASUSED

Organismi fenotüübi kujunemist määrab tema päriliku aluse — fenotüübi vastastikune toime väliskeskkonna tingimustega. Ühe ja sama genotüübi arenemisel erinevates tingimustes võivad organismi tunnused suuresti erineda.

## 58. MODIFIKATSIOONILINE MUUTLIKKUS

Organismi erinevad tunnused ei reageeri ühtmoodi välistingimuste muutumisele. Ühed tunnused on väga plastilised ja muutlikud, teised vähem muutlikud, kolmandaid aga muudavad keskkonnatingimused vaid õige vähesel määral. Veistel sõltub piimaand suuresti söötmisest ja pidamisest. On hästi teada, et piimaandi võib tunduvalt tõsta söötade andmisega vajalikes hulkades jms. Vähemal määral kui piimatoodang sõltub söötmise ja pidamise tingimustest piima rasvasus. Piima rasvaprotsent on küllaltki püsiv tõuomadus, kuigi söödaratsiooni muutmisega võib ka seda mõnel määral muuta. Palju püsivam tunnus on aga värvus. Värvus ei muutu peaaegu üldse ka kõige erinevamates tingimustes. Ei tule aga arvata, et karvkatte värvus üldse ei sõltu arenemistingimustest. Mõnedel imetajatel mõjub karvkatte värvusele ümbritseva keskkonna temperatuur. Nii näiteks iseloomustab hermeliinküülikutõugu tavalistes tingimustes suuremalt osalt

valge karvkate, must karv kasvab ainult kõrvadel, käppadel ja sabal. Kui pügada või kitkuda välja karvkate seljalt, siis harilikes tingimustes kasvab see uuesti valgena. Kui aga küülikut pidada madalas temperatuuris (umbes 0° juures), siis kasvab valge karva asemele must.

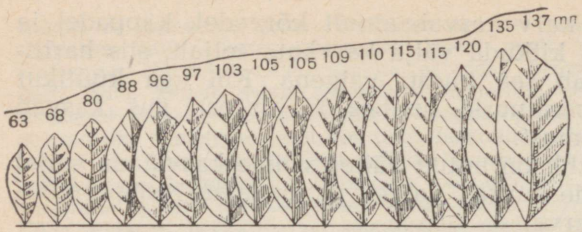
Võib öelda, et pärilik on antud näites võime kasvatada seljal kõrgete temperatuuride juures valget ja madalate temperatuuride juures musta karva.

**Reaktsiooninorm.** Nagu nägime, sõltub organismidel geenide ja genotüübi kui terviku toime väljendumine keskkonnatingimustest. Seda muutlikkuse vormi, mis ei ole seotud genotüübi muutumisega, nimetatakse modifikatsiooniliseks. Modifikatsioonilise muutlikkuse piirid võivad eri tunnuste jaoks erinevates tingimustes olla väga erisugused, nagu tõestasid vaadeldud näited. Tunnuse modifikatsioonilise muutlikkuse piire nimetatakse selle tunnuse reaktsiooninormiks. Ühtedel tunnustel, nagu piimaannil, on väga lai reaktsiooninorm, teistel aga, nagu karvkatte värvusel, on see palju kitsam.

Vaadeldud faktide alusel võime süvendada oma ettekujutust pärilikkuse olemusest. *Pärandatakse mitte tunnus kui selline, vaid organismi (selle genotüübi) võime vastastikuse toime tulemusel arenemistingimustega anda kindel fenotüüp.* Näiteks ei ole mõnel veisetõul sellist pärilikku tunnust kui võime anda 4000 liitrit piima aastas. See tunnus tuleb esile ainult kindla söötmis- ja pidamisrežiimi juures.

Lai reaktsiooninorm (lai kohanemisvõime) võib looduslikes tingimustes olla väga tähtis liigi säilimiseks ja õitsenguks. Kuid välistingimuste poolt esilekutsutud hälbed ei muuda genotüüpi, vaid on selle reaktsiooninormi piirides.

**Domineerimise juhtimine.** Tunnuse dominantsuse või retsessiivsuse määravad eelkõige geeni iseärasused ja selle mõju tunnuse arenemisele. Kuna aga fenotüüp sõltub alati kahest algmest — genotüübist ja arenemistingimustest, siis võib oodata, et arenemistingimusi muutes õnnestub mõjutada ka tunnuse domineerimise iseloomu hübriididel. Kindlate keskkonnatingimuste loomisega võib geenide toimet laiades piirides suunata inimesele soovitavas suunas. Kõige täielikumalt uuris domineerimise juhtimise ja organismi individuaalse arengu suunamise võimalusi viljapuudel I. Mitšurin. Mitšurin tegi kindlaks tunnuste domineerimise tähtsa seaduspärasuse hübriididel. Ta näitas viljapuude hübridiseerimisel real juhtudel, et *hübriididel domineerivad peaasjalikult need tunnused, mille arenemiseks ümbritsevas keskkonnas on kõige paremad tingimused.* Mitšurin ristas palju kordi pehme kliimaga maadest põlvnevaid Lääne-Euroopa ja Ameerika viljapuusorte karmi kontinentaalse kliimaga Tambovi oblasti kohalike sortidega ja kasvatas hübriide mitte kasvuhoones, vaid




JOON. 134. Loorberikirsipuu lehtede variatsioonirida.

avamaal. Neis tingimustes kujunesid domineerivateks kohalikele kõrge talvekindlusega sortidele iseloomulikud tunnused.

**Modifikatsioonilise muutlikkuse statistilised seaduspärasused.** Kogu elu jooksul, alates viljastamisest kuni surmani, mõjuvad organismidele kõige mitmekesisemad keskkonnatingimused. Ei saa ette kujutada kaht ühte liiki kuuluvat taime, mille elutingimused näiteks niidul või metsas oleksid absoluutselt ühesugused. Kuna need tingimused ei ole kunagi täiesti ühesugused, siis ei ole ka erinevate isendite fenotüübid kunagi täiesti samased. Kui me mõõdame ühelt puult võetud lehtede pikkust ja laiust, siis näeme, et nende mõõtmed varieeruvad üsna laiades piirides (joon. 134). See muutlikkus on lehtede erinevate arenemistingimuste mõju tulemus puu okstel; kõigil nendel on sama genotüüp, kuna nad on ühe taime organid. Kui mingi hulk lehti paigutada tunnuse (näiteks pikkuse) suurenemise või vähenemise järjekorras, nagu on kujutatud joon. 134, siis saame antud tunnuse muutlikkuse rea, mida nimetatakse variatsioonireaks. Nagu näeme, koosneb see rida üksikutest variantidest.

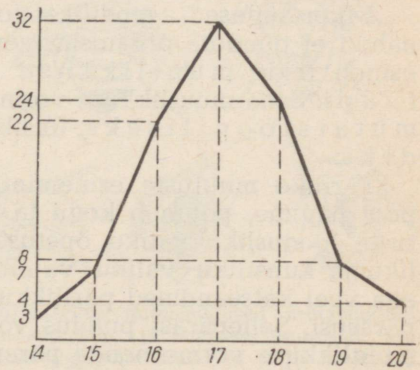
Kui palju on variatsioonireas üksikuid variante, või teiste sõnadega, kui sageli võib kohata üksikuid variatsioonirea liikmeid? Kui arvutada üksikute variantide sagedus variatsioonireas, võib näha, et nende esinemise sagedus ei ole ühesugune. Sagedamini võib kohata variatsioonirea keskmisi liikmeid, mõlema rea otsa poole aga langeb variantide esinemissagedus seaduspäraselt.

Vaatleme seda küsimust pähikute arvu muutlikkuse näitel nisupeas. Loetledes pähikute arvu erinevates peades, leiame, et see arv varieerub 14-st 20-ni. Võtame ilma valikuta järjest 100 viljapead ja määrame erinevate variantide esinemissageduse. Näeme, et kõige sagedamini kohtame viljapäid keskmise pähikute arvuga (16—18), harvem aga suurema või väiksema pähikute arvuga päid. Ühe sellise loendamise tulemus on järgmine:

| pähikute arv peas | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| peade arv | 3 | 7 | 22 | 32 | 24 | 8 | 4 |

Ülemises reas on ära toodud variandid vähimast suurimani. Alumises reas on iga variandi esinemissagedus. Alumise rea arvude liitmisel saame 100, mis vastabki üksikute vaatluste arvule. Variantide jaotumist variatsioonireas võib näitlikumalt esitada graafikus, mille ehitame järgmiselt. Horisontaalsel, abstsissteljel märgime võrdsetel kaugustel ära üksikud variandid tõusvas järjestuses (joon. 135). Ordinaatteljele kanname arvud, mis vastavad iga variandi esinemissagedusele suvaliselt valitud mastaabis. Horisontaalsele teljele tõmbame ristjooned kuni kõrguseni, mis vastab iga variandi esinemissagedusele. Ristjoonte lõikumiskohad joontega, mis vastavad variantide esinemissagedusele, ühendame sirgetega. Saame kõvera, mis väljendab pähikute arvu muutlikkust nisupeas. Muutlikkusekõvera kõrgeim punkt vastab suurima esinemissagedusega variandile. Tunnuse muutlikkuse kõverat, mis väljendab nii variatsioonide ulatust kui üksikute variantide esinemissagedust, nimetatakse variatsioonikõveraks. Enamiku organismide tunnuste jaoks võib saada äsjavaadelduga analoogilised variatsioonikõverad.

Millised bioloogilised põhjused kutsuvad esile sellise variantide jaotumise variatsioonireas? Selle põhjuseks on väliskeskkond ja selle mõjutused organismile. Päris elu algusest peale, kogu arenemise vältel kuni surmani välja, allub iga organism kõige erinevamate keskkonnatingimuste toimele. Põllule külvatud nisuterade seas ei saa leida kaht tera, mille arenemine toimuks täiesti ühesugustes tingimustes. Külvisügavus, mulla füüsikalised omadused, vastastikune toime ja konkurents naabertaimedega, veerežiim, valgustustingimused jms. — kõik need varieeruvad kõige erinevamates suundades ja peegelduvad fenotüübi kujunemisel. Selleks et tunnuse äärmused (suurimad või vähimad) välja kujuneksid, peavad kõik need arvukad tegurid toimima enam-vähem ühes suunas. Et saada suurt viljapead paljude pähikutega, peab




JOON. 135. Pähikute paaride arvu variatsioonikõver nisupeas. Abstsissteljel — variandid, ordinaatteljel — esinemissagedus.

kogu tegurite summa olema kõige soodsam kõigist võimalikest keskkonnatingimuste kombinatsioonidest. Tegelikult toimivad enamikule taimedele mitmesuguse iseloomuga mõjutused. Ühed soodustavad tunnuse arenemist, teised pidurdavad seda. Sealjuures on nende fenotüüp lähedane variatsioonirea keskmistele variantidele. Mida standardsemad on arenemistingimused, seda väiksem on modifikatsiooniline muutlikkus ja seda lühem variatsioonirida. Mida mitmekesisemad on keskkonnatingimused, seda laiem on modifikatsiooniline muutlikkus. Variatsioonide ulatus sõltub ka genotüübist. *Laia reaktsiooninormiga tunnused annavad suure ulatusega muutlikkuse, kitsa reaktsiooninormiga tunnused varieeruvad suhteliselt vähe.*

Et anda muutuvale tunnusele objektiivset iseloomustust, ei saa piirduda ühe või väheste isendite uurimisega. Peab tegema kindlaks muutlikkuse ulatuse ja ehitama variatsioonikõvera. Tunnuse arenemise objektiivseks väljenduseks on tema keskmine väärtus. See leitakse kogu variatsioonirea aritmeetilise keskmisena. Iga varianti iseloomustav tunnuse arvuline väljendus korrutatakse variantide arvuga. Kõik need tuletised liidetakse ja jagatakse seejärel variantide arvuga. Seda võib väljendada järgmise valemiga: $M = \frac{\Sigma(v \cdot p)}{n}$, kus $M$=keskmine väärtus, $v$=variandid, $p$=variandi esinemissagedus, $\Sigma$=summa märk ja $n$=variatsioonirea liikmete üldarv. Leiame selle valemi järgi eespool toodud nisupähikute arvu variatsioonirea keskmise väärtuse. Korrutame iga varianti selle esinemissagedusega. Saame: $14 \times 3 = 42$; $15 \times 7 = 105$; $16 \times 22 = 352$; $17 \times 32 = 544$; $18 \times 24 = 432$; $19 \times 8 = 152$; $20 \times 4 = 80$. Edasi liidame kõik need korrutised ning saame antud juhul 1707. Jagades selle summa rea variantide üldarvule, mis on 100, saame keskmiseks väärtuseks 17,07.

## 59. MUTATSIOONILINE MUUTLIKKUS

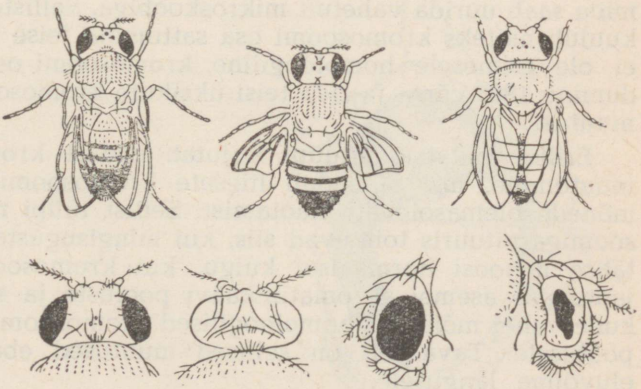
Mitmesugused modifikatsioonilise muutlikkuse vormid ja nähud ei puuduta organismi genotüüpi. Modifikatsioonide kõrval esineb teine muutlikkuse vorm, mis muudab genotüüpi. Seda muutlikkuse vormi nimetatakse genotüüpiliseks ehk mutatsiooniliseks, üksikuid muutusi aga mutatsioonideks.

Pärilike muutuste esinemine oli teada Darwinile. Nagu eespool nägime, põhineb kogu ta evolutsiooniteooria pärilike muutuste loodusliku valiku õpetusel. Pärilik muutlikkus on loodusliku ja kunstliku valiku vajalik eeldus. Darwini ajal puudusid aga veel katseandmed pärilikkuse kohta ega tuntud selle seaduspärasusi. Sellepärast puudus võimalus rangelt eristada erinevaid muutlikkuse vorme nende pärandumise suhtes. Muutlikkuse vor-

JOON. 136. Kuningakepi mutatsioon. Vasemal — normaalne taim, paremal — kääbusvorm.

mide küsimuse teaduslik uurimine algas XIX sajandi lõpul ja XX sajandi algul.

Mutatsiooni mõiste võttis kasutusele hollandi botaanik H. de Vries. Ta täheldas kuningakepil (*Onagra*) järske hüppelisi hälbeid taime tüüpilisest kujust, kusjuures need hälbed osutusid pärilikeks (joon. 136). Edasised uurimistööd erinevatel objektidel — taimedel, loomadel ja mikroorganismidel — näitasid, et päriliku (mutatsioonilise) muutlikkuse nähtus esineb kõigil organismidel. Mutatsioonid puudutavad organismi ehituse ja talitluse mitmesuguseid külgi. Näiteks tunneme puuviljakärbsel (joon. 137) tiibade kuju mutatsioone (isegi kuni nende täieliku kadumiseni), kehavärvuse, kehal olevate harjaste arvu, silmade kuju ja vär-



JOON. 137. Puuviljakärbse mitmesugused mutatsioonid: ülemine rida — tiibade kuju ja suuruse muutused; alumine rida — silmade pigmentatsiooni ja kuju muutused.

vuse (punased, kollased, valged, kirsivärvi jms.) ning samuti ka paljude füsioloogiliste tunnuste (eluea, viljakuse, mitmesugustele kahjustavatele mõjutustele vastupidavus jms.) mutatsioone. De Vriesi esialgsed ettekujutused, mille järgi mutatsioonid pidid alati olema suured pärilikkuse muutused, ei leidnud edasistes uurimistes kinnitust. Järskude hälvete kõrval võib palju sagedamini kohata pisimutatsioone, mis ainult veidi erinevad lähtevormist. Sellest hoolimata jääb jõusse juba de Vriesi näidatud mutatsiooni tunnus, selle hüppeline ja pärilik iseloom. Mutatsioonid toimuvad erinevates suundades. Tavaliselt ei ole nad kohastumuslikud, organismile kasulikud muutused.

Esineb ka selliseid pärilikke muutusi, mis homosügootses seisundis kutsuvad esile organismi hukkumise. Selliseid mutatsioone kutsutakse letaalseteks.

**Geenmutatsioonid.** Kromosoomi ehituse muutumise iseloomu järgi eristatakse mitut mutatsioonitüüpi. Kõige rohkem on levinud sellised mutatsioonid, mis ei ole seotud mikroskoobis nähtavate kromosoomide struktuuri muutustega. Sellised mutatsioonid kujutavad endast üksikute geenide kvalitatiivseid muutusi ja neid nimetatakse geenmutatsioonideks. Viimasel ajal on peaasjalikult mikroorganismidel läbi viidud uurimuste tulemusel tehtud kindlaks, et sellised mutatsioonid on seotud kromosoomi koostisse kuuluva DNA keemilise struktuuri muutumisega. Lämmastikaluste järjestus määrab kindlaks DNA-l moodustuva RNA struktuuri, see omakorda aga tingib aminohapete järjestuse valgumolekuli sünteesil (lk. 184). Geenmutatsioonide keemiliseks aluseks on nukleotiidide paiknemise muutus DNA ahelas.

**Kromosoommutatsioonid.** Geenmutatsioonide kõrval tuntakse rida teisi, nähtavate kromosoomimuutustega seotud mutatsioone, mida saab uurida vahetult mikroskoobiga. Selliste muutuste hulka kuulub näiteks kromosoomi osa sattumine teise kromosoomi, mis ei ole esimesele homoloogiline, kromosoomi osa sisemine pöördumine 180° võrra ja rida teisi üksikute kromosoomide struktuuri muutusi.

Erilist mutatsioonitüüpi kujutab endast kromosoomide arvu muutumine, mis tähendab liigsete kromosoomide ilmumist või mõnede olemasolevate kaotamist. Sellist tüüpi muutused kromosoomigarnituuris toimuvad siis, kui mingisugustel põhjustel rikutakse meioosi normaalset kulgu, kui kromosoomide normaalse jaotumise asemel akromatiinkäävi pooluste ja seejärel tütarrakkude vahel mõlemad homoloogilised kromosoomid liiguvad ühele poolusele. Tavaliselt on sellised muutused ebasoodsad, viivad eluvõime langusele.

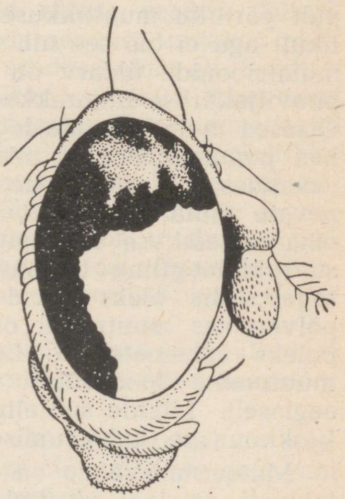
Erilaadset pärilike muutuste tüüpi kujutab endast polüploidia nähtus, mis seisneb kromosoomide arvu mitmekordistumises. Polüploidide tekkimine on tavaliselt seotud mitoosi- või

meioosiprotsesside häirega. Need häired seisnevad selles, et kromosoomid läbivad normaalse mitoositsükli, kääv aga, mille ülesandeks jagunemisel on kromosoomide «laialivedu» vastaspoolustele, ei funktsioneeri. Selle tulemusel kromosoomid ei lahkne poolustele ega moodusta tütarrakke, vaid jäävad samasse tuuma. Kui see protsess leiab aset somaatilises diploidse kromosoomigarnituuriga rakus, siis tekib otsekohe kahekordse diploidse garnituuriga rakk. Selliseid rakke nimetatakse tetraploidseteks, kahe haploidse garnituuri asemel on neil järelikult neli (4n). Kui häire esineb meioosis, siis konjugeerunud homoloogilised kromosoomid ei lahkne vastaspoolustele ja tekib diploidne sugurakk. Kui selline sugurakk viljastamisel ühineb normaalse haploidse sugurakuga, siis tekib triploidne sügoot kolmekordse kromosoomigarnituuriga (3n). Kui aga mõlemad sugurakud on diploidsed, siis tekib tetraploidne sügoot.

Polüploidseid liike esineb üsna sageli taimedel ja väga harva loomadel. Polüploidseid mutatsioone taimedel iseloomustab sageli diploididega võrreldes võimsam kasv, seemnete ja viljade suuremad mõõtmed ja kaal jms. Geneetikud-selektsionäärid kasutavad polüploidianähtust laialdaselt praktikas kõrge viljakusega taimesortide loomisel.

Käesolevaks ajaks on välja töötatud meetodid, mis lubavad saada polüploidseid vorme eksperimentaalselt. Need meetodid põhinevad jaguneva raku mõjutamisel mõningate mürkidega, näiteks kolhitsiiniga, mis kahjustavad käävi, kuid ei takista kromosoomide kahestumist.

Nägime, et mutatsioonid on alati seotud muutustega kromosoomides. Kui need muutused toimuvad sugurakkudes, siis tulevad nad esile selles põlvkonnas, mis areneb sugurakkudest. Kuid



JOON. 138. Silma pigmentatsiooni somaatiline mutatsioon puuviljakärbsel. Silma alumises parempoolses osas pigment puudub.

nad võivad esineda ka keharakkudes. Sel juhul nimetatakse neid somaatilisteks mutatsioonideks. Sellise mutatsiooni tulemusel muutub tunnus ainult selles organismi osas, mis areneb muutunud rakkudest. Joon. 138 on kujutatud valgesilmalisuse somaatiline mutatsioon, mis haarab osa puuviljakärbse silmast.

Loomadel ei anta somaatilisi mutatsioone edasi järgmistele põlvkondadele, kuna somaatilistest rakkudest uut organismi ei teki. Teine asi on taimedega. Pistokste ja pookimistega võib mõnikord õnnestuda tekkinud muutust säilitada ja see osutub püsivalt pärilikuks.

**Mutatsioonide sagedus ja põhjused.** Kui sageli toimuvad mutatsioonid ja mis on nende tekkimise põhjuseks? Enne, kui sellele küsimusele vastata, tuleb pidada silmas, et tekkivate mutatsioonide arvestus on väga raske. Enamik mutatsioone on retsessiivsed. Nad tekivad sugurakkude kromosoomides paiknevates geenides. Sugurakk, mis kannab värskelt tekkinud retsessiivset mutatsiooni, ühineb viljastamisel tavaliselt sugurakuga, millel sellist mutatsiooni ei ole, kuna ühesuguste mutatsioonide üheaegne sõltumatu tekkimine kahe organismi erinevate sugurakkude ühes ja samas kromosoomis on praktiliselt võimatu. Seetõttu ei tule vastmoodustunud retsessiivne mutatsioon fenotüüpiliselt nähtavale. Järgnevates põlvkondades aga mutatsioon paljuneb koos teda kandva kromosoomiga ja levib antud liigi isendite seas. Alles siis, kui kaks ühesugust retsessiivset mutatsiooni kandvat sugurakku ühinevad, tuleb muutus ilmsiks fenotüübis.

Uurimised näitasid, et looduslikes tingimustes toimub iga üksikult võetud geeni mutatsioon äärmiselt harva. Esimesel pilgul võib näida, et nii väike geeni muutlikkus ei saa anda piisavalt päriliku muutlikkuse materjali looduslikule valikule. Tegelikult aga ei ole see nii. Organismil on mõni tuhat geeni, nii et mutatsioonide üldarv on küllaltki suur. On arvutatud, et 5% puuviljakärbse sugurakkudest kannavad mingisugust mutatsiooni. Otsesed mutatsioonide leviku uurimised puuviljakärbse looduslikes populatsioonides, mis viidi läbi erinevates geograafilistes tsoonides, näitasid, et need populatsioonid on «küllastunud» erinevate mutatsioonidega, millest enamik aga ei tule nähtavale oma retsessiivse iseloomu tõttu. Geeni tunduval stabiilsusel on suur bioloogiline tähtsus. Kui geenid muutuksid kergesti ja sageli, siis oleks liikide eksisteerimine võimatu, kuna igas põlvkonnas muutuksid organismid millekski täiesti uueks, mis poleks vanemate moodigi. Samal ajal me teame, et liikide muutumine loodusliku valiku mõjul toimub järk-järgult ja aeglaselt. Liikide suhteline püsivus on organismide ümbritseva keskkonnaga kohastumise tähtis tingimus.

Muteerumisvõime on üks geeni põhiomadustest. Endastmõistetavalt on igal üksikul mutatsioonil mingi põhjus. Enamikul

juhtudel jäävad need põhjused meile tundmatuks. Mutatsioonid on seotud väliskeskkonna muutustega. Seda tõestab veenvalt asjaolu, et mitmesuguste välisteguritega õnnestub järsult tõsta tekkivate mutatsioonide arvu. Eriti efektiivselt toimivad need mutatsioonide kunstliku saamise tegurid, mis mõjuvad nukleiinhapetele. See on ka täiesti mõistetav, kuna geenide materiaalseks aluseks on DNA.

Esmakordselt saadi katseliselt järsult tõsta tekkivate pärilike muutuste arvu röntgenikiirte toimel. Röntgenikiirtega kiiritamisel õnnestus tõsta tekkivate mutatsioonide arvu 150 korda ja isegi rohkem. Sellest ajast peale saadi mutatsioone eksperimentaalselt kõige erinevamatel organismidel, alates mikroorganismidest ja viirustest ning lõpetades imetajate ja õistaimedega. Peale röntgenikiirte ja teiste ioniseerivate kiirguste võib mutatsioone esile kutsuda kõige erinevamate keemiliste ja füüsikaliste mõjutustega (temperatuur, gaasirežiimi ja niiskuse muutmine jms.). Igasugused ainevahetuse protsesse puudutavad muutused avaldavad mõju ka mutatsiooniprotsessile. Senised tulemused mutatsioonide kunstlikul saamisel piirduvad põhiliselt nende esinemissageduse tõstmisega.

Kuid eksperimentaalselt esilekutsutud pärilikud hälbed toimuvad erinevates suundades, samuti nagu looduslik mutatsiooniprotsess. Alles kõige viimasel ajal hakkavad selginema mõningad võimalused mutatsiooniprotsessi suunamiseks. Need uued võimalused põhinevad sügaval tungimisel nukleiinhapete sünteesiprotsessi mehhanismi.

Mutatsioonide kunstlik saamine pakub suurt praktilist huvi, kuna tõstab järsult pärilikku muutlikkust ja annab sellega materjali selektsiooniks.

**Päriliku muutlikkuse homoloogiliste ridade seadus.** Tähtsa seaduspärasuse avastas N. Vavilov. Seda seadust tuntakse päriliku muutlikkuse homoloogiliste ridade seaduse nime all. *Seaduse olemus peitub selles, et geneetiliselt lähedasi (s. t. üksteisega põlvnemise ühtsusega seotud) liike ja perekondi iseloomustavad sarnased päriliku muutlikkuse read.* Tundes ühe liigi pärilikke muutusi, võib ennustada sarnaste muutuste esinemist ka sugulasliikide ja -perekondade juures. Rida näiteid muutlikkuse homoloogiliste ridade kohta kõrreliste sugukonnas on toodud juures olevas tabelis, kus on näidatud selle sugukonna erinevate perekondade esindajatel ühe või teise tunnuse esinemine või puudumine.

Ka loomadel kohtame me sellele seaduspärasusele alluvaid nähtusi. Näiteks esinevad närilistel karvkatte värvuse homoloogilised read.

Päriliku muutlikkuse homoloogiliste ridade seadusel on suur praktiline tähtsus, kuna see kergendab pärilike hälvete otsinguid uute taimesortide ja loomatõugude loomisel.

**Päriliku muutlikkuse homoloogilised read kõrreliste sugukonnas**
(N. Vavilovi järgi)

| | | Päriliku variee-ruvad tunnused | Rukis | Nisu | Oder | Kaer | Hirss | Sorgo | Mais | Riis | Oras-hein |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Õisik | terakate | kestaga ehk sõkalteris | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | | paljas teris (kergesti sõkaldest vabanev) | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | ohtelisus | ohteline | + | + | + | + | | + | | + | + |
| | | ohtetu | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | | lühiohteline | + | + | + | + | + | + | | + | + |
| Tera | värvus | valge | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | | punane | + | + | + | | | + | + | + | + |
| | | roheline (hallikas-roheline) | + | + | + | + | | | + | + | + |
| | | must (tumehall) | + | + | + | | | + | + | + | + |
| | | lilla | + | + | + | | | | + | + | + |
| | kuju | ümmargune | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | | piklik | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | koostuvus | klaasine | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | | jahujas | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Bioloogilised tunnused | tali- või suvivormid | talvine | + | + | + | + | + | | | | |
| | | suvine | + | + | + | + | + | + | + | + | |
| | | pooltalvine | + | + | + | + | + | + | + | + | |
| | vara-valmivus | hiline | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | | varane | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

Märkus: märk «+» näitab vastavat tunnust omavate päriliku vormide esinemist.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Koguge looduses ilma valikuta 100 pihlakalehte (võib kasutada ka sügisel valmistatud herbaarmaterjali). Koostage liitlehe lehekeste paaride variatsioonirida ja variatsioonikõver. Leidke keskmine väärtus, kasutades lk. 260 toodud valemit. Tehke samasugune töö päevalille või kummeli õisiku äärisõite arvu kohta. 2. Milles seisneb erinevus modifikatsioonilise ja mutatsioonilise muutlikkuse vahel? Tooge näiteid nii ühe kui teise kohta. 3. Tooge näiteid erinevate loomade ja taimede laia ja kitsa reaktsiooninormiga tunnuste kohta. 4. Milles seisneb päriliku muutlikkuse homoloogiliste ridade seaduse olemus? 5. Mis on polüploidia? Missuguseid polüploidide kunstliku saamise meetodeid te tunnete?

## 60. MÕNINGAID GENEETIKA ÜLDMÕISTEID

Geeni ja genotüübi loomus. Pärast tutvumist geneetika põhiseadustega võib nüüd teha mõningaid üldistusi ja süvendada meie kujutlust geeni ja organismide genotüübi loomusest. Organismi pärilik alus (genotüüp) kujutab endast keerulist süsteemi, mis koosneb üksikutest suhteliselt sõltumatutest elementidest — geenidest. Geeni reaalsust tõestab kaks põhilist faktiderühma:: 1) suhteliselt sõltumatu kombineerumine lahknemisel; 2) muutumise (muteerumise) võime. Geeni põhiliste omaduste hulka kuulub tema võime kahekordistuda raku jagunemisel (kromosoomide kahestumisel). Geenid on suhteliselt püsivad, mis määrab ka liigi suhtelise püsivuse. Geenide vahel valitsevad tihedad vastastikused mõjud, mille tulemusel genotüüpi kui tervikut ei saa vaadelda geenide lihtsa mehhaanilise summana. Genotüüp kujutab endast organismide evolutsioonis kujunenud keerulist süsteemi.

Geenide ja genotüübi materiaalseks aluseks on kromosoomid, mille koostisse kuuluvad DNA ja valgud. Geeni eespool loetletud omaduste biokeemiliseks (molekulaarseks) aluseks on DNA replikatsioonivõime. Geeni toime aluseks organismi arenemisprotsessis on ta võime RNA vahendusel juhtida valgu sünteesi. DNA molekulis oleks nagu kirja pandud see informatsioon, mis määrab valgumolekulide koostise. Eriti tähelepanuväärne on asjaolu, et see mehhanism on ühtne kõigil orgaanilise maailma evolutsiooni astmetel, alates viirustest ja bakteritest kuni imetajate ja õistaimedeni. See tõestab, et nukleiinhapete bioloogiline osa kujunes välja juba väga varajastel elu evolutsiooni etappidel ning võimalik, et isegi elutu üleminekumomendil elusaks.

Vaatamata suurtele edusammudele geneetika arengus, eriti viimase kümne aasta jooksul, ei ole teadus lahendanud veel paljusid küsimusi. Ei ole näiteks selge geenide toimimisviis organismi arenemisprotsessis. Asi on selles, et igas rakus on diploidne kromosoomigarnituur ja järelikult ka täielik kompleks antud liigi geene. Samal ajal on päevselge, et erinevates rakkudes ja kudedes funktsioneerivad ainult vähesed geenid, nimelt need, mis määravad antud raku, koe või organi omadused. Milline on mehhanism, mis tingib ainult kindlate geenide aktiivsuse? Seda probleemi uuritakse praegu intensiivselt. On juba olemas mõningad andmed, mis näitavad, et geenide tegevuse reguleerimises kuulub juhtiv osa neile valkudele, mis esinevad koos DNA-ga kromosoomide koostises.

**Tsütoplasmaatiline pärilikkus.** Kõik kaasaja geneetika andmed kinnitavad kromosoomide juhtivat osa pärilikkuses. Kromo-

soomiteooria põhineb tohutu suurel faktide hulgal, mille seast paljudega tutvusime juba eespool. Kas see tähendab, et tsütoplasmas ei esine mingeid struktuure, mis mängiksid rakutuuma kromosoomide kõrval osa pärandumises? Sellised struktuurid on olemas. Nende esinemine lubab rääkida rakutuumaga seotud pärilikkuse kõrval tsütoplasmaatilisest pärilikkusest, mis aga mängib teisejärgulist, alluvat osa.

Toome tsütoplasmaatilise pärilikkuse näiteid.

Taimede plastiidid, sealhulgas ka kloroplastid paljunevad jagunemise teel. Nendel organoididel on isepaljunemisvõime samuti nagu rakutuumal. Õistaimede plastiidid antakse järgmisele põlvkonnale edasi munarakkude kaudu, nii et üksteisele järgnevate põlvkondade plastiidide vahel on vahetu järgnevus. Plastiide võib edasi anda ka tolmutoru kaudu, kuid vähesel hulgal ja mitte alati. Real taimedel on kirjeldatud pärilikke muutusi — mutatsioone — kloroplastide omadustes. Üks selliseid muutusi võib olla osaline või täielik klorofülli sünteesivõime kaotus. Kui see muutus puudutab ainult osa kloroplaste, siis tekib iseloomulik kirjulehisuse pilt, mis seisneb selles, et üksikud lehtede ja teiste taime roheliste elementide osad kaotavad klorofülli ja muutuvad heledaks. See pärilik iseärasus pärandub peaaegu eranditult emaliini mööda, munaraku tsütoplasma kaudu ning on seotud muutunud kloroplastide vahetu edasiandmisega. Rakutuum selle iseärasuse tekkimisest osa ei võta.

Käesolevaks ajaks on teada ka rida teisi fakte, mis viitavad tsütoplasmaatilise pärilikkuse esinemisele. Selle iseloomulikuks jooneks on alati edasiandmine emaliini mööda. Seletus peitub asjaolus, et munal on rikkalikult tsütoplasmat, spermatosoidil aga see peaaegu puudub.

Edusammud pärilikkuse ja muutlikkuse seaduste tunnetamises aitavad inimest neid nähtusi juhtida. Eriti laia kasutamist leiab geneetika põllumajanduses uute kultuurtaimede sortide ja koduloomade tõugude loomisel.

## 61. GENEETIKA JA EVOLUTSIOONITEOORIA

Ch. Darwini loodud evolutsiooniteooria, nagu üksikasjalikult võisime näha II peatükis, tugineb kolmele põhitegurile — muutlikkusele, pärilikkusele ja looduslikule valikule. Põhiline tähtsus valiku materjalina on Darwini järgi määratlemata, kindla suunata pärilikul muutlikkusel. Darwini ajal, XIX sajandi teise poole alguses, ei osatud veel selget piiri tõmmata genotüüpi puudutava muutlikkuse ja reaktsiooninormi ulatuses oleva modifikatsioonilise muutlikkuse vahel. Geneetika kui teadus, mis uurib muutlikkuse ja pärilikkuse seaduspärasusi, tekkis ja arenes tunduvalt hiljem — XX sajandil.

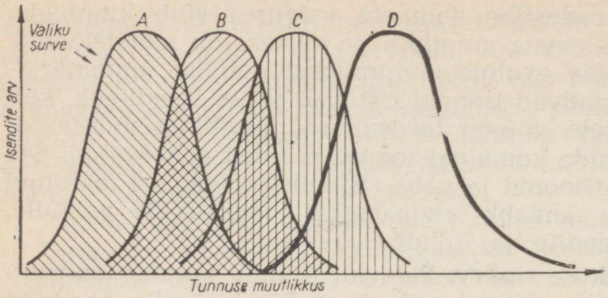
Nüüdisaegsete teaduslike andmete valguses võib kinnitada, et darvinliku määratlemata muutlikkuse aluseks on mutatsioonid. Neid tulebki vaadelda evolutsiooniprotsessi põhilise algmaterjalina. Mutatsioone kandvad isendid ristuvad teiste isenditega, kellel neid muutusi pole või on teistsugused pärilikud muutused. Saadakse uued geenide kombinatsioonid ja uued genotüübid. See muutlikkus — mutatsioonid ja vaba ristumise tulemusel tekkinud kombinatsioonid — annabki algmaterjali looduslikule valikule, mis viib uute teisendite ja liikide tekkele.

**Päriliku muutlikkuse reserv.** Pidevalt toimuv mutatsiooniprotsess ja vaba ristumine viivad selleni, et liigi ja selle üksikute populatsioonide piires kuhjub suurel hulgal pärilikke muutusi, mis väliselt esile ei tule. Selline, akadeemik I. Schmalhauseni väljenduse järgi «päriliku muutlikkuse reserv» kujuneb sellepärast, et enamik tekkivaid muutusi kuulub retsessiivsete, fenotüüpiliselt mitteavalduvate mutatsioonide hulka ega allu järelikult vahetult loodusliku valiku toimele. Mutatsioone kandvad kromosoomid paljunevad kahestumise tulemusel populatsioonis, mille piirides toimub vaba ristumine (lk. 264). Tekkinud mutatsiooni kontsentratsioon tõuseb järk-järgult, mutatsioon levib üha rohkem, sealjuures aga fenotüüpiliselt esile tulemata seni, kuni ta on heterosügootne. Küllalt suure kontsentratsiooni saavutamisel saab aga tõenäoliseks retsessiivset geeni kandvate isendite ristumine. Sellisel juhul ilmuvad homosügootsed isendid, kelle juures mutatsioon tuleb esile fenotüübis. Neil juhtudel satub mutatsioon loodusliku valiku kontrolli alla.

Looduslike taime- ja loomapopulatsioonide geneetilised uurimised näitasid, et suhtelise fenotüüpilise ühtlikkuse juures on need populatsioonid küllastatud mitmesuguste retsessiivsete mutatsioonidega. Nii kujutab iga liik (meenutage mõistet «liik», definitsioon lk. 19) ja iga selle liigi populatsioon endast geneetilisest vaatekohast küllaltki keerulist heterosügootset süsteemi. Nagu näidati esmakordselt I. Schmalhauseni töödes, on see süsteem loodusliku valiku vahetu ja pideva kontrolli all. Sealjuures on ühe liigi erinevatel populatsioonidel, mis elavad erisugustes tingimustes, ka erinev pärilik muutlikkuse reserv.

**Loodusliku valiku vormid.** Tutvumine geneetikaga lubab meid süvendada ja konkretiseerida loodusliku valiku probleemi. Erinevates keskkonnatingimustes kannab loodusliku valiku toime erisugust iseloomu. Eeldame, et kujunesid tingimused, mille juures mõned tekkivad pärilikud hälbed on kasulikud. Sel juhul on valiku toime ehk, nagu sageli öeldakse, valiku surve kindlasuunaline. See viib fenotüübi järkjärgulisele muutumisele, reaktsiooninormi kindlasuunalisele vahetusele (joon. 139). Selline valikuvorm kannab *suunava valiku* nime. Tooksime selle valikuvormi kohta järgmise näite.

Tööstuskeskuste lähedal on õhus palju tahma ja suitsu. Kase-

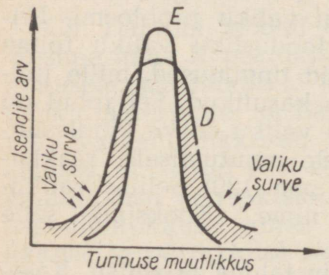



JOON. 139. A, B, C, D — reaktsiooninormi järgulised muutumised populatsioonis loodusliku valiku mõjul. Noolega on näidatud «valiku rõhu» suund.

tüvedel on sellest määrdunud-pruunikas varjund. Kasel elaval liblikal — kase-kedrikvaksikul — ilmuvad vahete-vahel tumedavärvilised mutatsioonid. Tavalistes tingimustes sellised mutatsioonid lähevad valiku mõjul kaduma, kuna värvimuutus teeb liblikad valge kasekoore taustal märgatavaks ja linnud söövad need ära. Teisiti on lugu suitsust määrdunud kasega. Uutes tingimustes on tumedad liblikad vähem nähtavad ja looduslik valik säilitab neid. Valikut teostavaks faktoriks on eelkõige liblikatest toituvad linnud. Suure valikupinge korral tekib suhteliselt lühikese ajavahemiku järel teisend, mida iseloomustab tume värvus. Suure valikusurve juures muudab suunav valiku vorm kiirelt populatsiooni iseloomu. Nii näiteks tõrjus Manchesteri linna ümbruses tume kase-kedrikvaksik heleda vormi välja umbes 20 aasta jooksul.

Loodusliku valiku suunav vorm mängib evolutsioonis kohastumiste kujunemisel põhilist osa. Selle vormi mõjul kulges hobuse evolutsioon viievarbasest jäsemest ühevarbase jäsemeni, samuti putukate tiibadeta saartevormide kujunemine jms.

Loodusliku valiku suunava vormi kõrval esineb looduses laialdaselt ka selle valiku teine vorm — stabiliseeriv valik. Liikidel, kes elavad suhteliselt püsivates tingimustes, võib suur muutlikkuse ulatus, mis viib liigi isendid antud tingimuste jaoks optimaalse normi piiridest välja, olla kahjulik. Sellistes tingimustes säilivad mutatsioonid, mis vähendavad antud tunnuse




JOON. 140. Loodusliku valiku stabiliseerunud vorm.

muutlikkust ja hävivad mutatsioonid, mis viivad muutlikkuse suurenemisele (reaktsiooninormi laienemisele, joon. 140). Toome stabiliseeriva valiku näite. Putuktolmlejate taimede õie osadele on iseloomulik vähene muutlikkus. Nende taimede vegetatiivsed organid on palju muutlikumad. Seletus peitub selles, et õie mõõtmed on tihedas vastavuses neid tolmeldavate putukate mõõtmetega ja lai muutlikkus avaldaks siin üsnagi ebasoodsat mõju tolmlemisele. Stabiliseeriv valik «kinnistas» õie osade proportsioonid ja mõõtmed.

Suunava ja stabiliseeriva valikuvormi toimed on looduses tihedas omavahelises seoses. Suunav valik kujundab liike ümber ümbritseva keskkonna muutuvates tingimustes. Stabiliseeriv valik kinnistab kasulikud vormid keskkonna suhteliselt püsivates tingimustes.

Eespool toodu tõestab, et populatsioonide geneetiline analüüs aitab tunduvalt süvendada ja täpsustada meie teadmisi organismide loodusliku muutlikkuse iseloomu kohta ja selgemalt ette kujutada loodusliku valiku kui liikide tekkimise ja evolutsiooni põhiteguri toimemehhanismi.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Mis on geeni materiaalseks aluseks? Selgitage üksikasjalikult, kuidas te mõistate väljendit «pärilikkuse informatsioon on talletatud DNA molekuli orgaaniliste lämmastikaluste järjestuses». 2. Kas ühe ja sama organismi närvi- ja epiteelkoe rakkudes kromosoomide DNA-s talletatud pärilikkuse informatsioon on ühesugune või erinev? Põhjendage oma vastust üksikasjaliselt. 3. Missugune muutlikkuse vorm annab loodusliku valiku lähtematerjali looduses? Kuidas mõista väljendit «päriliku muutlikkuse reserv»? 4. Mis on stabiliseeriv valik? Millistes tingimustes toimib ta looduses valdavalt?

11. PEATÜKK

## TAIMEDE, LOOMADE JA MIKROORGANISMIDE SELEKTSIOON

Selektsiooni ülesanded seisnevad uute taimesortide, loomatõugude ning mikroorganismide tüvede loomises ja olemasolevate parandamises.

Inimene muutis ümbritsevat loodust oma majanduslikus tegevuses juba kõige iidsematest aegadest peale, kodustas metsikuid loomi, kasvatas taimi ning lõi endale kasulikke loomatõuge ja taimesorte. Kuid inimese majandusliku tegevuse selle külje teaduslikud alused andis alles XIX sajandi teisel poolel Charles Darwin oma õpetusega muutlikkusest, pärilikkusest ja kunstlikust valikust.

## 62. KAASAEGSE SELEKTSIOONI ÜLESANDED

Selektsioon tähendab tõlkes valikut. Kaasajal mõistetakse selektsiooni all laialdast kompleksteadust, mis on põhiliselt suunatud põllumajanduse tootlikkuse tõstmisele ja baseerub mitte ainult valikuõpetusel, vaid ka teistel bioloogia seaduspärasustel.

Väljapaistev nõukogude geneetik ja selektsionäär akadeemik N. Vavilov, näidates kaasaja selektsiooni sisu ja eesmärke, ütles, et edukaks tööks sortide ja tõugude loomisel on vaja uurida ja arvesse võtta: 1) selektsioonitöö objektiks olevate taimede ja loomade esialgset sordi- ja liigirikkust; 2) pärilikku muutlikkust — mutatsioone; 3) keskkonna osa uuritavate tunnuste arenemises ja esiletulekus; 4) pärandumise seaduspärasusi hübridiseerimisel; 5) kunstliku valiku vorme, mis viiksid soovitavate tunnuste kinnistumisele.

Mis on sort või tõug? Me kasutame neid mõisteid sageli, kuid ei kujuta kaugeltki alati selgesti ette nende täpset mõtet ja sisu. *Loomatõuks või taimesordiks nimetatakse sellist isendite rühma (populatsiooni), mis on inimese poolt kunstlikult loodud, millel on kindlad iseloomulikud pärilikud iseärasused, pärilikult kinnistunud produktiivsus, struktuursed ja morfoloogilised tunnused.* Iga tõugu või sorti iseloomustab kindel reageerimise viis ümbritsevale keskkonnale. Antud tõu või sordi fenotüüp tuleb täielikult esile ainult teatud pidamise, söötmise ja agrotehnika tingimustes. Iga sort ja tõug vajab teatud klimaatiliste tingimuste kompleksi, mille juures tulevad esile ta positiivsed omadused. Nii näiteks nisusort, mis annab suuri saake meie maa lõunarajoonides, ei ilmuta neid omadusi teistes klimaatilistes tingimustes, näiteks põhjarajoonides. Sellepärast tuleb uute sortide ja tõugude aretamisel tingimata arvesse võtta seda, missuguste klimaatiliste tingimuste jaoks neid luuakse. Tõu või sordi omadused tulevad tavaliselt kõige tüüpilisemal kujul esile ainult neis tingimustes, kus need tekkisid. Sellepärast ei olegi ühe maa tingimustes aretatud tõud ja sordid alati kohased teise maa jaoks.

Üeldust selgub, et kaugeltki igasugust mutatsiooni või hübridiseerimise tulemusel tekkinud kasulikku vormi ei tohi nimetada sordiks või tõuks. Selleks peavad tal olema eespool loetletud omadused. Uute sortide ja tõugude aretamine on tähtis riiklik ülesanne. Kõigis maades, sealhulgas ka Nõukogude Liidus, on loodud laialdane teaduslike ja teaduslik-praktiliste asutuste — instituutide, sordiaretusjaamade, tõumajandite süsteem. Need asutused tegelevad plaanipäraselt üldriikliku plaani raames selle keerulise tööga. Loodavate kultuurtaimede sortide kontrollimiseks on suur hulk sordivõrdluspunkte (riiklik sordivõrdluskatsepunktide võrk), kus uute loodavate sortide omadusi igakülgselt uuritakse. Loomakasvatuses teevad analoogilist tööd spetsiaalsed tõumajandid.

Nõukogude võimu olemasolu aastatel on aretatud sadu kõrsviljade, liblikõieliste, õlikultuuride, kiudtaimede, köögiviljade ja teiste kultuurtaimede sorte. Juba ainult nisusorte on Riikliku Sordivõrdluskatsete Komisjoni poolt aprobeeritud ja rajoonitud (näidatud nende kasvatusrajoonid) üle kolmesaja. Nende seas võib nimetada näiteks akadeemik P. Lukjanenko suurepärast sorti 'Ohtetu 1', mis on kõrgesaagiline ja suurepäraste jahvatusomadustega.

Suuri edusamme on saavutanud nõukogude teadlased päevalille sordiaretuses. See väärtuslik toidukultuur varustab maad taimeõliga. 15—20 aastat tagasi ei ületanud parimate päevalillesortide õlisisaldus 32—33%. Praeguseks ajaks on tänu akadeemik V. Pustovoiti ja tema poolt juhitava kollektiivi töödele seemnete keskmine õlisisaldus tõusnud 49—50%-ni.

Sama olulisi tulemusi on saadud ka kõrge suhkrusisaldusega suhkrupeedisortide aretamisel. Selle kultuuri juurikate suhkrusisaldus ei ulatunud XIX saj. alguses üle 8,0%. NSV Liidus kasvatatavate kaasaegsete kõrgesaagiliste sortide suhkrusisaldus on umbes 20%.

Arvukaid näiteid majandusliku produktiivsuse tõstmise kohta võib tuua ka loomakasvatuse valdkonnast. NSV Liidus on rida kõrge produktiivsusega veisetõuge: holmogori, jaroslavli, ukraina hall tõug ja teised. Akadeemik M. Ivanovi töödega loodi nõukogude korra ajal kõrge produktiivsusega ukraina valge seatõug, peenvillalambatõug ja paljud teised tõud.

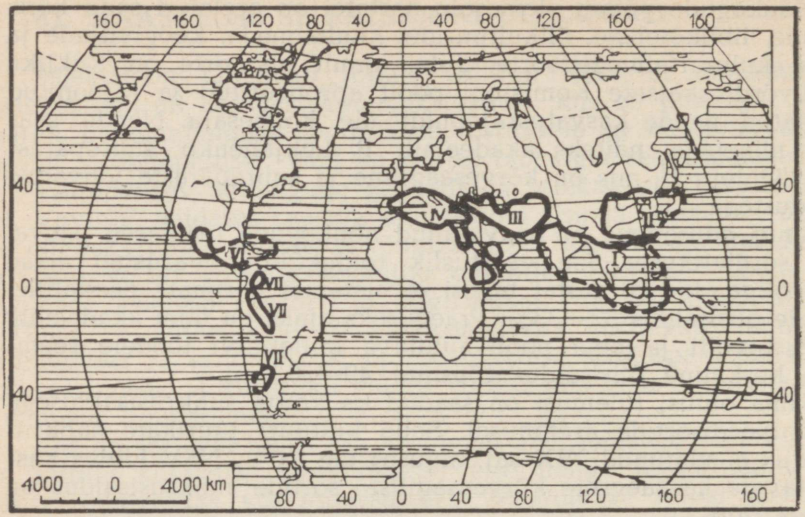
Selektsioonitöö võimalused ei ole kaugeltki veel ammendatud ja just selles suunas peab teiste suundade kõrval tõusma põllumajanduse tootlikkus NSV Liidus.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Mis on selektsioon? Missugust osa mängisid selektsiooni arenemises Darwini teooria ja kaasaegne geneetika? 2. Mis on sort ja tõug? Selgitage neid mõisteid näidete abil. 3. Missuguseid nisu- ja rukkisorte külvatakse teie kodukohas? 4. Koostage põhiliste kohalikus ümbruses kasvatatavate teraviljasortide herbaarkollektsioon. 5. Missuguseid veisetõuge peetakse teie kodukohas? 6. Milliseid ülesandeid täidavad riiklikud sordivõrdluskatsepunktid?

## 63. KULTUURTAIMEDE VORMIRIKKUSE JA TEKKE KOLDED

Mida mitmekesisem on aretustöös kasutatav lähtematerjal, seda suuremaid võimalusi pakub ta valikuks ja hübridiseerimiseks. N. Vavilov näitas, et üks tingimusi, mis soodustab uue sordi loomist, on esialgne sordiline ja liigiline mitmekesisus. Kust aga otsida seda mitmekesisust looduses? N. Vavilov sooritas suure kaastööliste kollektiiviga arvukalt ekspeditsioone peaaegu




JOON. 141. Kultuurtaimede vormirikkuse ja tekke kolded (N. Vavilovi järgi).

kõigis maailma maades ning uuris kultuurtaimede vormirikkust ja geograafilist levikut. Need uurimused viidi läbi käesoleva sajandi kahekümnendates ja kolmekümnendates aastates Üleliidulise Taimekasvatuse Instituudi poolt, mille kauaaegne direktor oli N. Vavilov. Neist tohutu mastaabiga otsingutest võtsid osa ka mõned teised suured teaduslikud kollektiivid, näiteks NSV Liidu Teaduste Akadeemia Botaanika Instituut.

Ekspeditsioonid hõlmasid kogu Nõukogude Liidu hiiglasliku territooriumi ja palju teisi maid — Iraani, Afganistani, Vahemeremaid, Abessiiniat, Sise-Aasiat, Jaapanit, Põhja-, Kesk- ja Lõuna-Ameerikat ning veel mõningaid alasid. Uurimistööst jäi välja ainult Austraalia, kus maaviljelus sai alguse hiljuti, ajaloolises minevikus. Nende ekspeditsioonide ajal uuriti umbes 1600 kultuurtaimeliiki. Ekspeditsioonid tõid Nõukogude Liitu tuhandeid kultuurtaimede seemneproove, mis külvati meie maa erinevates geograafilistes vööndites asuvatele Taimekasvatuse Instituudi katsepõldudele. Need väärtuslikud ja unikaalsed kollektsioonid on aretustöö lähtematerjaliks.

Kogu selle tohutu materjali uurimise tulemusel tegi N. Vavilov kindlaks rea tähtsaid seaduspärasusi, näidates, et kultuurtaimede vormirikkus ei ole ühesugune kõigis geograafilistes vööndites. Erinevatel kultuuridel on oma vormirikkuse kolded, kuhu on koondunud suurem hulk sorte, teisendeid ja mitmesuguseid pärilikke hälbeid. Nagu näitas N. Vavilov, on need vormi-

rikkuse kolded ühtlasi ka antud kultuuri sortide põlvnemisaladeks. Suurem osa tekkekoldeid langeb kokku ürgsete maaviljeluse aladega. Need kolded on põhiliselt mägised alad.

Selliseid vormirikkuse koldeid eraldas N. Vavilov alguses kaheksa. Hilisemates töödes eristab ta seitset põhikollet. Need on kujutatud juuresoleval kaardil (joon. 141).

Vormirikkuse kolded ja peamised neist pärinevad kultuurid on järgmised:

1) **Lõuna-Aasia troopiline kolle.** Troopiline India, Indo-Hiina, Lõuna-Hiina, Kagu-Aasia saared. Kultuurtaimede poolest erakordselt rikas (umbes 1/3 tuntud kultuurtaimede liikidest). Riisi, suhkruroo ja paljude viljapuude ning köögiviljade kodumaa.

2) **Ida-Aasia kolle.** Kesk- ja Ida-Hiina, Jaapan, Taivani saar, Korea. Soja, mitme hirsiliigi, paljude viljapuude ning köögiviljade kodumaa. Ka see kolle on rikas kultuurtaimede liikide poolest — umbes 20% maailma kultuurtaimedest.

3) **Edela-Aasia kolle.** Väike-Aasia, Kesk-Aasia, Iraan, Afganistan, Loode-India. See kolle on mitme nisu- ja rukkivormi, paljude kaunviljade, viinamarja ja puuviljade kodumaa. Selles koldes tekkis 14% maailma kultuurtaimedest.

4) **Vahemereäärne kolle.** Vahemere kallastel paiknevad maad. See kolle, kus asusid suurimad muistsed tsivilisatsioonid, andis umbes 11% kultuurtaimeliikidest, sealhulgas oliivipuu, paljud söödakultuurid (ristik, üheõieline lääts) ja köögiviljad (kapsas).

5) **Abessiinia kolle.** Aafrika mandri väike ala väga omapärase kultuurtaimede flooraga. Nähtavasti on väga ürgne esialgse maaviljeluse kolle. Siit on pärit terasorgo, üks banaaniliik, õlitaimedest nuut, rida erisuguseid nisu- ja odravorme.

6) **Kesk-Ameerika kolle.** Lõuna-Mehhiko. Maisi, pikakiulise puuvillapõõsa, kakao, rea kõrvitsaliste, aedoa — kokku umbes 90 kultuurtaimeliigi kodumaa.

7) **Andide ehk Lõuna-Ameerika kolle.** Hõlmab osa Andide mägirajoone piki Lõuna-Ameerika läänerannikut. Paljude mugultaimede, sealhulgas kartuli, ning mõnede ravimtaimede (kokaiinipõõsa, kiinapuu jt.) kodumaa.

Valdav osa kultuurtaimi on seotud ühe või mitmega eespool loetletud geograafilistest kolletest. Kuid esineb ka üksikuid liike, mille põlvnemine ei ole seotud nende kolletega. Nii on näiteks datlipalm kultuuristatud Araabia ja võib-olla Sahara kõrbe oaasides.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Mis on N. Vavilovi kultuurtaimede vormirikkuse ja tekke kollete õpetuse põhiseisukohad? 2. Nimetage mõned inimkonna ürgkultuuri keskused ja näidake, milliste kultuurtaimede vormirikkuse kolletega nad ühtuvad. 3. Missugune tähtsus on praktilise sordiaretuse seisukohalt N. Vavilovi õpetusel kultuurtaimede vormirikkuse ja tekke kolletest?

## 64. TAIMEDE SORDIARETUS

Taimede sordiaretuse põhimeetoditeks on hübridiseerimine ja valik. Praktilises sordiaretuses kasutatakse neid meetodeid tavaliselt kombineeritult.

Valikumeetodid võivad olla erisugused ja sõltuvad suurel määral sellest, kuidas aretatav taimeliik paljuneb. Eristatakse kaht põhilist valikuviisi — *massvalikut* ja *üksikvalikut*. Esimene neist kujutab endast terve rühma sordiaretaja seisukohalt soovitavate tunnustega isendite valikut lähtematerjalist. Seda valikumeetodit võib kasutada ühekordselt või korduvalt (rea järjestikuste põlvkondade juures).

*Massvalikut* kasutatakse kõige sagedamini risttolmlejate juures. Nende hulka kuulub näiteks rukis. Paljud levinud rukkisordid (näiteks sort 'Vjatka') on aretatud selle meetodiga. Massvalik ei saa anda genotüüpiliselt ühtlikku materjali. Seetõttu vajavad sel teel saadud sordid oma omaduste säilitamiseks tavaliselt korduvat valikut.

*Üksikvalik* võib samuti olla ühekordne või korduv. Selle käigus eraldatakse üksikud isendid ja saadakse neilt järglasi. See meetod on kõige kohasem isetolmlejate juures (nisu, oder, kaer). Ühe isetolmelnud isendi järglaskonda nimetatakse *puhasliiniks*. Järelikult viib üksikvalik üksikute puhasliinide eraldumisele. Isetolmlemine viib homosügootsete vormide ilmumisele (meenutage monohübriidset ristamist, mille tulemusel pidevalt väheneb heterosügootide arv ja suureneb homosügootide arv — vt. lk. 235).

Nii saadakse üksikvalikuga tavaliselt sort, mis kujutab endast üht või mõnda puhasliini, mis on homosügootsed ja seetõttu säilitavad püsiva genotüübi. Endastmõistetavalt toimuvad ka puhasliinides mutatsioonid, nii et ka see püsivus ei ole absoluutne.

Vegetatiivselt paljunevatel taimedel (kartul, paljud võrsikutega paljundatavad viljapuud) võib sordi kujul säilitada ja paljundada ükskõik missugust kasulike majanduslike tunnustega heterosügootset kombinatsiooni. Endastmõistetavalt lähevad sugulisel paljunemisel selliste heterosügootsete sortide omadused kaduma ja esineb keeruline lahknemine. Sellepärast ei õnnestu seemnetega paljundamisel säilitada paljude kartulisortide ning puuvilja- ja marjakultuuride omadusi.

**Risttolmlejate isetolmlemine (inbriiding).** *Heteroos*. Isetolmlemine tõstab homosügootsust ja kinnistab sellega pärilikke omadusi. Kas võib isetolmlemist risttolmlejate sordiaretuses kasutada puhasliinide saamiseks? Lähissugulusristamist (taimede isetolmlemine, suguluses olevate loomade ristamine) nimetatakse *inbriidinguks*. Juba Darwinile oli hästi teada, et inbriiding viib nii taimede kui ka loomade juures tavaliselt ebasoovitavale tulemusele: väheneb elujõulisus ja produktiivsus, toimub see,

mida üldiselt nimetatakse mandumiseks. Seda kinnitavad arvukad uurimused rukkil, maisil ja teistel taimedel.

Millega seletada inbriidingu ebasoodsat mõju? Üheks peamiseks põhjuseks on see, et enamik geene läheb üle homosügootsesse seisundisse. Organismidel toimuvad pidevalt mutatsioonid. Enamik mutatsioone on retsessiivsed ja suur osa neist kutsub esile ebasoodsaid pärilikke muutusi ((lk. 263). Risttolmlejatel ei tule need retsessiivsed muutused fenotüübis esile, kuna nad on heterosügootses seisundis. Inbriidingu korral lähevad nad üle homosügootsesse seisundisse ja avaldavad mõju arenevale organismile. Teisiti on olukord isetolmlejate taimede juures. Neil ei toimu ebasoodsate retsessiivsete mutatsioonide kuhjumist, kuna need muutuvad tekkimisest peale homosügootseteks ja langevad loodusliku valiku ohvriks.

Isetolmlemise ebasoodsale mõjule vaatamata kasutatakse seda sageli ja edukalt risttolmlejate taimede sordiaretuses. Tavaliselt aretatakse inbriidingu teel puhasliinid, millel kinnistatakse soovitavad tunnused. Samal ajal langeb järsult saagikus. Seejärel risttolmeldatakse erinevaid liine. Inbriidingu kahjulik mõju langeb selle võtte tulemusel otsekohe ja real juhtudel saame kõrgesaagilised taimed. Seda võtet kutsutakse liinidevaheliseks hübridiseerimiseks. Sageli avaldub sealjuures heteroosi ehk hübriidjõu efekt. Heteroosi olemus seisneb selles, et esimesel hübriidsel põlvkonnal on suurenenud saagikus ja eluvõime mitte ainult inbredliinidega võrreldes, vaid ka nende vanemvormide suhtes, mida kasutati inbredliinide saamiseks. Liinidevaheliste hübriidide edasisel paljundamisel heteroosi efekt tavaliselt langeb. Heteroosi geneetilised põhjused ei ole veel lõplikult selgitatud, kuid kahtlemata on siin positiivne osa hübriidide kõrgel heterosügootsuse astmel.

Praktiliselt toimitakse järgmiselt. Alguses luuakse suur hulk inbredliine, siis hakatakse neid omavahel ristama. Katseliselt selgitatakse sellised kombinatsioonid, mille juures esineb kõige tugevam heteroos. Neid inbredliine säilitatakse ja majanduslikuks kasutamiseks külvatakse liinidevahelisest ristamisest saadud hübriidseemned (liinidevahelised hübriidid). Kuigi esimesel pilgul see meetod näib keerulisena, annab ta tohutut majanduslikku efekti. Inbredliine kasvatavad spetsiaalsed seemnekasvatusmajandid, mis varustavad põllumajandust tootmiseks vajalike hübriidseemnetega.

Sordiaretuse efektiivsus. Millised tingimused määravad valiku efektiivsuse sordiaretustöös? Sellel küsimusel on suur praktiline tähtsus. Valik on seda tulemusrikkam, mida mitmekesisem oma pärilikkuselt on lähtematerjal. Selle mitmekesisuse loomiseks võib kasutada erinevaid teid. Üks teid on geograafiliselt põlvnemiselt mitmekesise materjali kasutamine. Me nägime juba, missugune suur tähtsus sordiaretusele on Üle-

liidulise Taimekasvatuse Instituudi maakera erinevates rajoonides kogutud kultuurtaimede kollektsioonil. Teiseks sordiaretuse lähtematerjali mitmekesisuse suurendamise teeks on hübridiseerimine. Ristamise ja valiku kombineerimine on üks efektiivsemaid sordiaretustöö meetodeid. Ja lõpuks võib pärilikku muutlikkust suurendada mutatsioonilise muutlikkuse esilekutsumisega mitmesuguste välistegurite toimel (lk. 265).

Neil juhtudel, kui lähtematerjali pärilik mitmekesisus on väike, annab valik vähe tulemusi. Näiteks võib tuua isetolmlejate puhasliinid. Puhasliinides, mis enamiku geenide suhtes on homosügootsed, ei anna valik praktiliselt mingeid tulemusi. Puhasliinides võivad pärilike muutuste allikaks olla ainult mutatsioonid, mida esineb aga suhteliselt harva. Isetolmlejatel on valik efektiivne seni, kuni pärilikult koosseisult ebaühtlasest lähtepopulatsioonist eraldatakse puhasliinid. Edaspidi lakkab ta toimimast. Liinide omaduste muutmiseks tuleb kasutada hübridiseerimist, mis muudab päriliku koosseisu ebaühtlaseks ja selle arvel annab võimaluse uuesti efektiivselt kasutada valikut.

**Kunstlik ja looduslik valik taimede sordiaretuses.** Pärilikule muutlikkusele tuginev kunstlik valik on organismide muutmise põhivahend ja viib uute suuresaagiliste sortide loomisele. Ei tule aga unustada, et kunstlikku valikut ei saa täielikult isoleerida looduslikust valikust. Eriti kehtib öeldu taimede kohta. Kultuurtaimede kasvatamisel põllul, aias ja teistes kohtades alluvad nad kogu välistingimuste kompleksi — temperatuuri, niiskuse valguse toimele, kahjurite kallaletungidele jms. Need põhjused viivad sellele, et paralleelselt kunstliku valikuga tegutseb ka looduslik valik. Seepärast on iga uus sort alati kahe üheaegselt toimiva tegurite rühma tulemus, millest üks on inimese tegevus ja teine looduslik valik.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Milliseid valikuviise kasutatakse taimede sordiaretuses? Kuidas on nende kasutamine seoses taimede paljunemisviisidega? Tooge näiteid. 2. Mis on inbriiding? Milles seisnevad inbriidingu halvad ja head küljed taimede sordiaretuses? 3. Selgitage näite varal, mis on liinidevaheline hübridiseerimine.

## 65. POLÜPLOIDIA JA TAIMEDE KAUGHÜBRIDISEERIMINE

Üks taimede päriliku muutlikkuse vorm on kromosoomide arvu mitmekordistumine, mida nimetatakse polüploidiaks (lk. 262). Paljud kultuurtaimed on metsikute sugulasliikidega võrreldes polüploidid. Selliste taimede hulka kuuluvad nisu, kartul ja mõned suhkrupeedisordid.

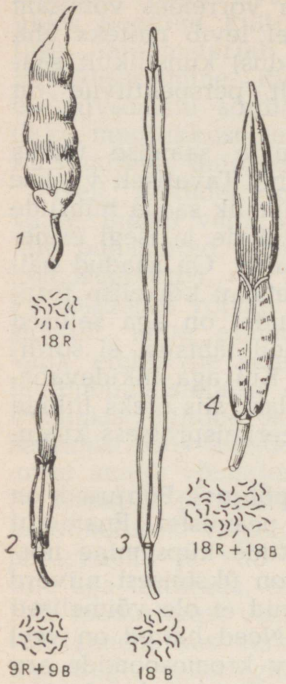
Geneetikas ja sordiaretuses on praeguseks ajaks välja töötatud rida meetodeid polüploidide kunstlikuks saamiseks. Paljudel

polüploididel on diploidsete lähtevormidega võrreldes võimsam kasv ja suurem saagikus. Viimastel aastatel levib näiteks üha laialdasemalt (sealhulgas ka Nõukogude Liidus) kunstlikult saadud polüploidne suhkrupeet. Majanduslikult perspektiivne on ka polüploidne tatar.

Uute saagirikaste kultuurtaimede vormide saamise üheks perspektiivseks teeks on kaughübridiseerimine. Tavaliselt viiakse ristamisi läbi liigi piirides. Vahel aga on võimalik saada hübriide taimede ühe ja sama perekonna erinevate liikide ja isegi erinevatesse perekondadesse kuuluvate liikide vahel. On saadud näiteks hübriide rukki ja nisu ning nisu ja metsiku kõrrelise torupea vahel ja mitmeid teisi. Enamikul juhtudel on aga sellised kaughübriidid viljatud. Sellepärast ei ole neil tähtsust ei sordiaretuse ega liikide evolutsiooni seisukohalt. Kui aga liikidevahelised hübriidid paljuneksid ja annaksid järglasi, siis oleks liikide olemasolu looduses võimatu, kuna hübridiseerimisprotsess kustutaks nende vahel esinevad piirid.

Milles peitub kaughübriidide viljatuse põhjus? Põhjused on mitmesugused ja peatuksime neist ainult peamistel. Enamikul juhtudel ei kulge kaughübriididel sugurakkude küpsemine normaalselt. Mõlema vanemliigi kromosoomid on üksteisest niivõrd erinevad, et meioos on häiritud. Kromosoomid ei ole võimelised konjugeeruma ja nende arv ei redutseeru. Need häired on veel suuremad, kui ristatavatel liikidel on erinev kromosoomide arv (näiteks rukki diploidne kromosoomide arv on 14, pehmel nisul 42). Kuid isegi ristatavate liikide ühesuguse kromosoomide arvu juures on kaughübridiseerimisel meioosi normaalne kulg sageli häiritud ja hübriidid viljatud.

Kas on olemas mingeid meetodeid kaughübriidide viljakuse taastamiseks? Kaasaja geneetika ja selektsiooni üks väljapaistvaid saavutusi on liikidevaheliste hübriidide viljatuse ületamise meetodite väljatöötamine, mille abil mõnedel juhtudel saab taastada nende normaalse paljunemise. Esmakordselt õnnestus seda saavutada nõukogude geneetikul G. Karpetšenkol 1924. aastal rõika ja kapsa ristamisel. Mõlema liigi diploidne garnituur koosneb 18 kromosoomist. Sugurakkude haploidses garnituuris on vastavalt 9 kromosoomi. Hübriidil on 18 kromosoomi, kuid ta on täiesti viljatu, kuna «kapsa» ja «rõika» kromosoomid ei konjugeeru omavahel ning sellepärast ei saa sugurakkude moodustumise protsess kulgeda normaalselt. G. Karpetšenkol õnnestus hübriidi kromosoomide arvu kahekordistada. Tulemuseks oli 36 kromosoomiga hübriidne organism, mille garnituur koosneb kahest täielikust rõika ja kapsa diploidsest garnituurist. See lõi meioosile normaalsed võimalused, kuna igal kromosoomil oli paariline. «Kapsa» kromosoomid konjugeerusid «kapsa» kromosoomidega, «rõika» omad «rõika» omadega. Igas sugurakus oli üks rõika ja üks kapsa haploidne garnituur (9+9=18).




JOON. 142. Rõika ja kapsa vahelised hübriidid: 1 — rõika vili ja diploidne kromosoomigarnituur; 2 — rõika ja kapsa vahelise viljatu hübriidi vili, mille kromosoomigarnituur koosneb 9-st rõika haploidse garnituuri ja 9-st kapsa haploidse garnituuri kromosoomist; 3 — kapsa vili ja diploidne kromosoomigarnituur; 4 — rõika-kapsa-hübriidi vili, mille viljakus taastus pärast kromosoomide arvu kahekordistamist.

Sügoodis oli jällegi 36 kromosoomi. Nii muutus saadud liikidevaheline hübriid viljakaks. Hübriid ei lahknenud vanemvormide suunas, kuna rõika ja kapsa kromosoomid jäid alati kokku. See inimese poolt loodud uus taimeliik ei olnud sarnane ei rõika ega kapsaga.

Uue taime kõdrad olid nagu vanemliikide vahepealsed ja koosnesid kahest poolest, millest üks meenutas kapsa-, teine aga rõikavilja (joon. 142). Kaughübridiseerimise kombineerimine kromosoomide arvu kahekordistamisega (polüploidiseerimisega) viis viljakuse täielikule taastamisele.

Kaughübridiseerimise teel on loodud palju kultuurtaimi. Meenutaksime neist mõningaid. Akadeemik N. Tsitsini ja tema kaastöötajate paljuaastase töö tulemusel on saadud väärtuslikud teraviljasordid nisu ristamisest mitmeaastase umbrohu — orasheinaga. Nende seas on mitmeaastane nisu, mida ei ole vaja igal aastal külvata, kuna ta juurikad talvituvad nagu orasheinal. Mõned sellist tüüpi sordid on juba läbi teinud riikliku sordivõrdluse ja jõudnud põldudele (näiteks nisu-orasheinahübriid nr. 559 ja mitmed teised).

Paljud perspektiivsed nisuvormid aretas eri liikide ristamise teel A. Žebrak. Laialdaselt kasutatakse kaughübridiseerimist puuviljanduses, eriti I. Mitšurini suurepäraste tööde tulemusel.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Mida nimetatakse polüploidiaks? Missugust osa mängis polüploidia kultuurtaimede tekkimisel? 2. Tooge näiteid kunstlikult saadud polüploidide kasutamise kohta sordiaretuses. 3. Milliste meetoditega taastatakse hübriidide viljakust kaughübridiseerimisel?

## 66. MITŠURINI TÖÖMEETODID

Väljapaistev nõukogude õpetlane ja sordiaretaja Ivan Mitšurin (1855—1935) pühendas uute viljapuu- ja teiste kultuurtaimede sortide aretamisele 60 aastat pingelist tööd. Ta alustas tööd juba möödunud sajandi seitsmekümnendatel aastatel väikeses katseaias endise Tambovi kubermangu Kozlovi linnas (praegu Mitšurinsk). Laialdaseks muutusid I. Mitšurini uurimused alles pärast Oktoobrirevolutsiooni, kui ta katseaed muudeti suureks riiklikuks asutuseks. Mitšurini tegevuse vastu tundis huvi V. I. Lenin, kes pidas seda väga tähtsaks. M. I. Kalinin külastas Mitšurini katseaeda ja toetas igati tema tööd.

I. Mitšurin ei tulnud kohe nendele vaadetele ja meetoditele, mis tõid talle suurt edu ja võimaldasid aretada mitusada uut kultuurtaimesorti ja -vormi. Oma tegevuse esimesel perioodil kulutas ta palju jõudu ja aega katsetele lõunapoolse päritoluga sorte lihtsalt aklimatiseerida (kohandada) Tambovi kubermangu suhteliselt karmis, külmade talvedega kliimas. Need katsed lõppesid edutult. Kõik lõunapoolsed sordid külmusid talvel.

Kui I. Mitšurin jõudis veendumusele lihtsa aklimatiseerimise meetodi viljatuses, asus ta välja töötama uusi meetodeid taimede loomuse muutmiseks.

I. Mitšurini tööde aluseks on kolme põhimeetodi kombineerimine, milleks olid *hübridiseerimine, valik ja arenevate ristandite keskkonnatingimustega mõjutamine* (nende «kasvatamine» soovitavas suunas).

Suurt tähelepanu osutas I. Mitšurin hübridiseerimise lähtevormide valikule.

Ta kasutas kohalike pakasekindlate sortide ristamist parimate lõunapoolse päritoluga sortidega. Saadud ristandite juures viidi läbi range valik. I. Mitšurin kasvatas sel teel saadud ristandeid mitte viljakal mullal, vaid suhteliselt karmides tingimustes.

I. Mitšurin näitas, et tunnuste domineerimist hübriidi arenemisel saab juhtida (vt. lk. 258), kusjuures välistegurite toime domineerimisele on efektiivne ainult ristandi varajastel arengustaadiumidel. Selle meetodiga saadud sortide hulka kuulub näiteks õunapuu 'Slavjanka', mis aretati 'Antonovka' ristamisel lõunamaise sordiga 'Ananass-renett'.

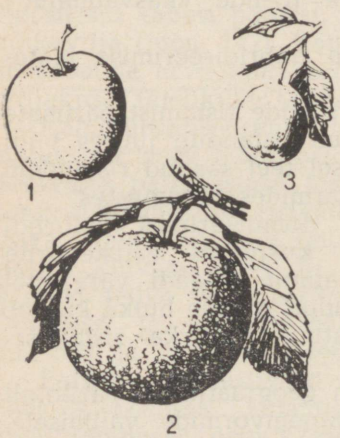
Erilist tähelepanu pööras I. Mitšurin geograafiliselt päritolult kaugete vormide hübridiseerimisele, vanemvormide valimisele, mis ei kasva selles ümbruses, kus ristamine läbi viiakse. Ta kir-

jutas selle kohta: «Mida kaugemad on ristatavate vanemtaimede paarid oma kodumaa ja keskkonnatingimuste poolest, seda kergemini kohanevad uue asukoha keskkonnatingimustega hübriidseemikud.» Sel teel lõi I. Mitšurin rea esmaklassilisi viljapuusorte. Nende hulka kuulub õunapuusort 'Belflöör-kitaika', mis saadi Siberi päritoluga 'Kitaika' ristamisel Ameerika sordiga 'Kollane Belflöör' (joon. 143). 'Kitaikat' iseloomustab pakaseja haiguskindlus, 'Belflööri' — viljade suurepärased maitseomadused ja tunduv külmakindlus.

Laialt on tuntud Mitšurini pirnisort 'Mitšurini talivõipirn' (joon. 144.), mis saadi metsiku ussuuri pirni ristamisel lõunapoolse prantsuse sordiga 'Beurré royal'.

I. Mitšurini poolt välja töötatud «kasvatusmeetodite» hulgast tuleb esile tõsta m e n t o r i m e e t o d i t. Selle olemus seisneb areneva hübriidi tunnuste muutmises poogendi või pookealuse mõjul. Mitšurin kasutas seda meetodit kahes teisenduses. Esimene neist seisneb selles, et hübriidiseemik oli poogendiks ja poogiti täiskasvanud viljakandvale puule kui pookealusele, mille omaduste suunas sooviti muuta hübriidi omadusi. Teine mentori meetodi teisendus seisnes selles, et noore hübriidseemiku krooni, mis antud juhul oli pookealuseks, poogiti pistoks sellelt sordilt, mille suunas sooviti muuta hübriidi omadusi.

Mentori meetodit kasutas I. Mitšurin näiteks eespool mainitud õunapuusordi 'Belflöör-kitaika' loomisel. Sordile aluse pannud hübriidide esimesel viljakandmisaastal selgus, et nad kalduvad viljade kvaliteedi poolest 'Kitaika' suunas, millel on väikesed hapud viljad. Et suunata vajalikult hübriidi edasist arengut, poogiti noorte hübriidide krooni 'Belflööri' pistoksad. Nende mõjul kujunesid hübriidi tunnused järgmistel aastatel «Belflööri» viljade kõrgete maitseomaduste omandamise suunas. Seda mee-




JOON. 143. Mitšurini õunasort 'Belflöör-kitaika' aretamine. 1 — 'Belflöör'; 2 — 'Belflöör-kitaika'; 3 — 'Kitaika.'

JOON. 144. Mitšurini pirnisort 'Mitšurini talivõipirn'. Oksad viljadega.

todit kasutas I. Mitšurin ka mõnede teiste sortide aretamisel, kuid laialt see levinud ei ole. Mentori mõju tuleb nähtavasti seletada domineerimisomaduste muutumisega hübriidi arenemisprotsessis. Antud juhul soodustas mentor sordilt 'Belflöör' saadud geenide fenotüüpilist esiletulekut, s. t. domineerimist.

I. Mitšurin kasutas oma töös ka kaughübridiseerimist — erinevate liikide ja isegi perekondade vahelist ristamist — ja sai sel teel mitu uut hinnalist viljapuukultuuri.

Ta sai hübriidid muraka ja vaarika, ploomipuu ja laukapuu, pihlaka ja siberi viirpuu vahel ning rea teisi.

Enamik I. Mitšurini saadud sorte kujutas endast keerulisi heterosügoote. Nende omaduste säilitamiseks paljundati neid vegetatiivselt (võrsikutega, pookimisega jms.).

**Küsimusi ja ülesandeid**

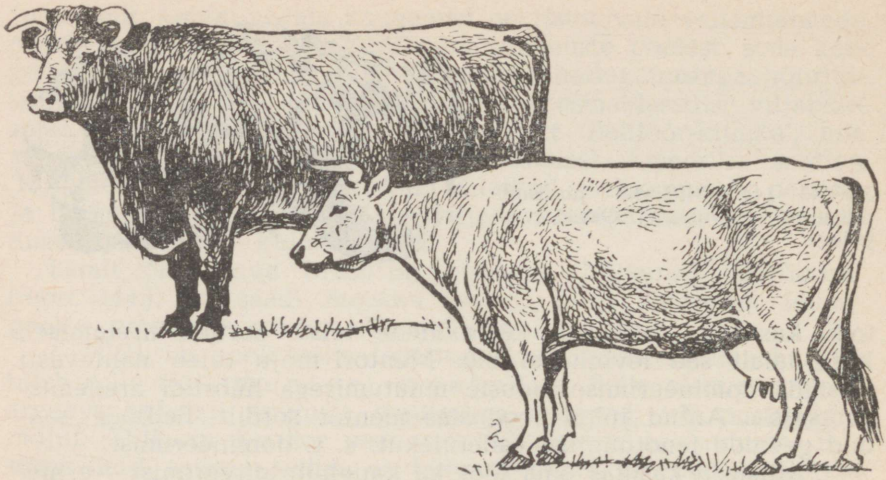
1. Loetlege I. Mitšurini põhilised töömeetodid uute suuresaagiliste viljapuu- ja marjakultuuride vormide loomisel. 2. Milliseid eeliseid omab sordiaretustöös geograafiliselt kaugete vormide ristamine? 3. Millistest põhiprintsiipidest lähtus I. Mitšurin hübriidide «kasvatamisel»? Millisel teel on välistingimusi muutes võimalik muuta tunnuse domineerimise iseloomu? 4. Miks ei täheldata vegetatiivsel paljundamisel hübriidide järglaste juures tunnuste lahknemist?

## 67. LOOMADE TÕUARETUS

Loomade selektsiooni üldised põhimõtted on samad, mis taimede juureski. Ka siin on uute tõugude saamise ja olemasolevate tõugude parandamise aluseks pärilik muutlikkus ja valik, mis toimuvad selliste keskkonnatingimuste taustal, mis maksimaalselt soodustavad soovitavate tunnuste fenotüüpilist ilmnemist. Kuid loomade tõuaretusel on ka mõningad iseärasused, mis tulenevad loomorganismide omapärast.

Koduloomadel esineb ainult lahksuguline paljunemine. Sellepärast langevad siin täiesti ära isetolmlemise ja vegetatiivse paljunemisega seotud aretusvõtted.

Teine loomade tõuaretuse tähtis iseärasus seisneb selles, et siin on raske saada sellist massilist materjali, millega töötatakse



JOON. 145. Šorthorni (lihatõug) ja džärsi (piimatõug) tõugu veised.

taimede juures, ning iga üksik isend kujutab endast omaette väärtust. Isendite arv järglaskonnas on suhteliselt väike.

Koduloomade (imetajate ja lindude) tõuaretus on alati seotud suguloomade valikuga majanduslikult väärtuslike tunnuste alusel.

Loomade tõuaretuses on suur tähtsus välimiku (eksterjööri) tunnuste arvestamisel. Eksterjööri all mõistame loomade väliskuju, kehaehituse ja kehaosade mõõtmete suhete kogu kompleksi. Organism kujutab endast terviklikku süsteemi, mille kõik osad on omavahel funktsionaalselt ja geneetiliselt seotud. Paljude majanduslikult tähtsate tunnuste arenemine, nagu näiteks veiste piimaand, on seoses kindla kehaehitusega, vereringe ja hingamiselundite hea arenemisega jms. Sellepärast on loomade tõuaretuses eriti tähtis arvestada korrelatsioone (seoseid) erinevate tunnuste vahel, kuna kõrge produktiivsus ühe või teise näitaja osas on seotud kindlate eksterjööri iseärasustega. Joon. 145 on selgesti näha erinevused kahe veisetõu eksterjööris — lihatõu šorthorni ja piimatõu džärsi vahel.

Erinevad tõud reageerivad erisuguselt välistingimuste muutmisele ja söötmisele. Nii vastavad munatõud (näiteks leghornid) söödaratsiooni paranemisele munatoodangu tõusuga, kusjuures nende kaal peaaegu ei muutu. Lihatõugudel peegeldub parem söötmine eeskätt kaalu suurenemises.

Tõuaretustöös on tähtis selgesti silmas pidada aretaja lõppeesmärki. Kas on vaja tõsta piimatoodangut, suurendada piima rasvasisaldust või muuta karja lihaomadusi — iga ülesanne nõuab erinevat järglaste ja vanempaaride valiku suunda, erisuguste ristamismeetodite kasutamist.

**Ristamistüübid ja aretusmeetodid loomakasvatuses.** Tõuaretuses kasutatakse mitmesuguseid ristamistüüpe. Vaatleksime neist mõnda. Võib eristada kaht põhilist ristamistüüpi — mittesuguluspaaritust ehk autbriidingut ja suguluspaaritust ehk inbriidingut.

Tähtsaks momendiks suguloomade valikul on nende sugupuude tundmine. Tõumajandites peetakse alati tõuraamatuid, milles võetakse üksikasjaliselt arvele vanemate eksterjööri iseärasused ja produktiivsus rea põlvkondade vältel. Esivanemate tunnuste põhjal võib teatud tõenäosusega otsustada ristamiseks kasutatavate suguloomade genotüübi üle. Kui valida näiteks sugupull tõu parandamiseks piima rasvasisalduse tunnuse suhtes, peab silmas pidama tema emaliini esivanemate piima rasvasisaldust. Kui nendel olid kõrged näitajad, siis on tõenäoliselt ka sellel suguloomal kõrge rasvasisalduse geenid, mida ta annab edasi järglastele.

Tõusisene või tõugudevaheline mittesuguluspaaritus koos range valikuga aitab alal hoida omadusi või neid parandada rea järgmiste põlvkondade jooksul.

Lähissuguluspaaritust kasutatakse neil juhtudel, kui tahetakse enamik antud tõu geene viia homosügootsesse olekusse. *Inbriidinguks nimetatakse loomakasvatuses ristamist õdede ja vendade või vanemate ja järglaste vahel.* See on teatud määral analoogiline isetolmlemisega taimede juures ja viib samuti kui nimetatugi homosügootsuse tõusule. Selle põhjusi analüüsisime eespool (lk. 276). Inbriidinguga peab kaasnema range valik nende isendite suunas, kellel on vajalikud majanduslikud tunnused. Kuid inbriidingut tuleb kasutada ettevaatlikult, selgelt nähes püstitatud eesmärki. Inbriidingu juures esineb sageli loomade nõrgenemine, vastupanuvõime kadumine välistingimustele, sealhulgas ka haigustele. Sageli ilmuvad järglaskonnas värdjad ja eluvõimetud vormid. Kogu seda inbriidingu ebasoodsa toime avalduste kompleksi nimetatakse d e p r e s s i o o n i k s. Üksteisele järgnevate inbriidingu teel paljundatavate põlvkondade rida nimetatakse i n b r e d l i i n i k s. Inbriidingu ebasoodsa toime põhjustega tutvusime juba eespool taimede juures (lk. 276).

Tõuaretustöös on inbriiding tavaliselt ainult üheks tõu parandamise etapiks. Sellele järgneb erinevate inbredliinide ristamine, mis likvideerib lähissugulusaretuse kahjuliku toime, viies ebasoodsa mõjuga geenid heterosügootsesse olekusse.

Inbriidingu positiivne külg on soodsate, majanduslikult väärtuslike tunnuste kinnistamine. Need tunnused säilivad edasises aretustöös juhul, kui nad esinevad mõlemal vanemal.

**Heteroos koduloomadel.** Nagu taimedelgi, nii esineb ka koduloomadel h ü b r i i d j õ u ehk h e t e r o o s i nähtus (lk. 276). Nähtuse olemus peitub selles, et erinevaid tõuge ning isegi liike ristates esineb vahel hübriidide esimeses põlvkonnas eriti võimas arenemine ja üldse eluvõime tõus. See omadus ei jää aga

järgmistes põlvkondades püsima, vaid vaibub. Heteroosi rakendatakse looma- ja linnukasvatuses laialdaselt sel teel, et heteroosset esimest hübriidide põlvkonda kasutatakse vahetult majanduslikel eesmärkidel. Näiteks kasutatakse varavalmivate sigade saamiseks liha ja rasva tootmise eesmärgil djurokdžärsi ja berkširi tõugude ristamist.

Tooksime mõned näited heteroosi kohta.

Erinevate kanatõugude ristamisel saadi majanduslikult tähtsate näitajate osas järgmised tulemused (andmed võetud S. Smetnjovi tööst):

| Tõug | Kaal 75 päeva vanuses (protsentides valge vene tõu kaalust) | Munatoodang aastas | Muna kaal grammides |
|---|---|---|---|
| Valge vene | 100 | 177,7 | 59,6 |
| Moskva | 110,2 | 209,1 | 58,7 |
| Nendevaheline hübriid | 119,8 | 232,4 | 61,2 |

Erinevate lambatõugude ristamisel saadi V. Balmonti töös järgmised tulemused: etilbajevi tõu keskmine kaal 36,5 kg, degeressi tõul — 35,9 kg, nendevahelisel esimese põlvkonna hübriidil — 38,9 kg.

**Suguloomade hindamine järglaste alusel.** Koduloomade tõuaretuses on tähtis hinnata isasloomade pärilikke omadusi tunnuste osas, mis isasloomade juures vahetult esile ei tule, nagu piimaand ja piima rasvasisaldus pullidel või munevus kodulindudel. Isasloomalt võib saada palju järglasi, eriti kui kasutada kunstliku seemenduse meetodeid. Sellepärast on tõu parandamiseks väga oluline teada, millised geenid määravad isasloomal majanduslikult tähtsaid tunnuseid.

Selle määramiseks kasutatakse suguloomade järglaste järgi hindamise meetodit. Alguses saadakse suguloomalt suhteliselt väike arv järglasi ja võrreldakse nende järglaste produktiivsust emade omaga ning tõu keskmise produktiivsusega. Kui tütarde produktiivsus on tõusnud, viitab see isasloomade kõrgeväärtuslikkusele ning viimast tuleb laialdaselt kasutada tõu edasiseks parandamiseks.

Järglaste järgi hindamise meetodit kasutatakse loomade tõuaretuses laialdaselt.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Missugused põhilised iseärasused on loomade tõuaretusel taimede sordiaretusega võrreldes? 2. Milliseid põhilisi ristamistüüpe ja aretusmeetodeid kasutatakse loomade tõuaretuses? 3. Milles seisneb suguloomade hindamine järglaste alusel? Missugune tähtsus on sellel meetodil tõuaretuses? 4. Mis on heteroos? Kuidas kasutatakse seda nähtust loomakasvatuses?

## 68. NÄITEID KÕRGE PRODUKTIIVSUSEGA KODULOOMATÕUGUDE LOOMISE KOHTA

**M. Ivanovi tööd.** Väljapaistev nõukogude teadlane akadeemik M. Ivanov lõi kõrge produktiivsusega seatõu — ukraina valge stepisea (joon. 146). Need tööd toimusid Ukraina lõunaosas, Askania-Nova Loomade Aklimatiseerimise ja Hübridiseerimise Instituudis.

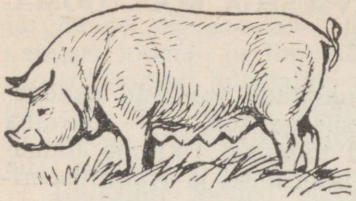
Ukrainasse sisseveetud kõrge produktiivsusega inglise suurt valget tõugu sead ei olnud Ukraina lõunaosas liiga kuiva ja kuuma suvega kliimaga kohastunud. Teisest küljest, kohalik ukraina siga polnud tõupuhas, kuid oli väga vastupidav, hea sigivusega, vähenõudlik sööda suhtes, aga halbade lihaomadustega.

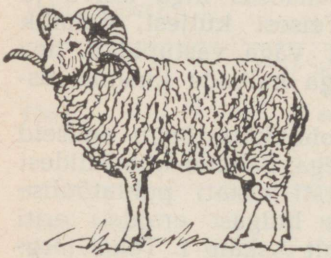
Lähtematerjaliks võttis M. Ivanov kohalikku tõugu emiseid ja ristas neid inglise valget tõugu kultidega. Saadud hübriididest valis ta välja mõned emised, keda uuesti ristati puhtatõulise inglise tõugu kuldiga. Saadud loomade hulgast eraldati eriti silmapaistvate positiivsete omadustega kult Askani I. Tema järglaskonnas kasutati tihedat inbriidingut, mis ühtlustas ja kinnistas loodava tõu tunnuseid (kiire kasv, suur kaal, kõrged lihaomadused ja muud). Lähissugulusristamiste käigus kasutati pidevalt väga ranget valikut. Praagiti välja kõik puudustega loomad. Askani I alguse saanud liini aretamisega analoogilise meetodiga loodi veel teisi liine. Edaspidi ristati omavahel liine, millega samuti kaasnes range valik. Nii loodi kõrge produktiivsusega ja kohalike tingimustega hästi kohastunud loomade rühm, mis andiski alguse uuele tõule.

Peale valge stepisea aretas M. Ivanov ka teisi kõrge produktiivsusega koduloomatõugusid. Suure tähtsusega on nendest näiteks peenvillalambatõug askaania rambujee, kel on suur villasaak ja kõrge kvaliteediga vill.

Tõuaretustöös osutas M. Ivanov alati suurt tähelepanu loomade pidamis- ja söötmistingimustele, rõhutades keskkonnatingimuste suurt tähelepanu tõuomaduste ilmsikstulekul.

**Koduloomade kaughübridiseerimine.** Kaughübridiseerimist kasutatakse peale taimekasvatuse ka loomakasvatuses. Nagu taimedelgi, nii on ka loomade liikidevahelised hübriidid sageli sigimatud. Viljakuse taastamine on loomadel keerulisem, kuna polüploidide saamine kromosoomide arvu kahekordistamisega on loomade juures praktiliselt võimatu. Mõnedes liikidevahelistes ristamistes on aga kas üks sugu või mõlemad sood sigivad ja sellistel juhtudel saab hübriide kasutada uute koduloomade vormide saamiseks. Kuid ka neil juhtudel, kui kaughübridiseerimisel saadud järglased on sigimatud, võib neil olla praktika jaoks oluline tähtsus. Juba väga vanast ajast kasutab inimene muula, kes kujutab endast mära ja eeslitäku hübriidi. Vanemvormidega





JOON. 146. Akadeemik M. Ivanovi aretatud ukraina valge stepisiga.

JOON. 147. Arhaarmeriino.

JOON. 148. Jakk.

võrreldes on muulad heteroossed: nad on väga vastupidavad, suure füüsilise jõuga, nende eluiga ületab tunduvalt vanemvormide oma. Muulad on sigimatud. Heteroos esineb ka ühe- ja kaheküürulise kaameli ristamisel. Ka sel juhul on nende ühekküürulised hübriidid erakordselt tugevad ja vastupidavad.

Nõukogude Liidus tehakse suurt tööd loomade liikidevahelisel hübridiseerimisel. Mõnedel senisaadud tulemustel on suur praktiline tähtsus.

Edukalt lõppes Kasahstanis uue lambatõu loomine peenvillalammaste ristamise teel metsiku mägilamba arhaariga. Hübriidid osutusid sigivateks. Sellest ristamisest lähtudes loodi erinevaid valikumeetodeid kasutades uus peenvillalambatõug — arhaarmeriino (joon. 147). Arhaarmeriinode karjad toituvad mägikarjamaadel kogu aasta vältel tingimustes, milles ei suudaks eksisteerida nende peenvillalised esivanemad — meriinod.

Suurt tööd tehakse jakkide hübridiseerimisel veistega. Jakk on Kesk-Aasia kõrgmäestikurajoonide koduloom. Teda kasutatakse tööloomana mäestikutingimustes (joon. 148). Jakk annab vähe, kuid väga kõrge rasvasisaldusega piima. Jaki liha on tuim ja selle maitseomadused jäävad maha veiseliha omast. Jaki ja veise hübriidi kasutatakse praktikas juba ammu. Nendel esineb selgesti väljendunud heteroos. Nende piima- ja lihaomadused on jaki omadest tunduvalt paremad. Jaki ja veise hübriididel on sigimatud ainult isasloomad, emasloomad on aga paljunemisvõimelised. See annab võimaluse lähtetõugudega ristamise teel töötada uue, Kesk-Aasia mäestikutingimustega kohastunud veisetõu loomisel.

## 69. MIKROORGANISMIDE ARETUS

Mikroorganismidel on inimese elus tähtis osa. Paljud neist toodavad aineid, mida kasutatakse mitmesugustes tööstusharudes ja meditsiinis. Sellised toiduainetetööstuse harud, nagu pagaritööstus, piirituse ja mõnede orgaaniliste hapete tootmine, veinitööstus ja paljud teised põhinevad mikroorganismide tegevusel. Suur tähtsus inimese tervisele on antibiootikumidel. Antibiootikumid on erilised ained, mis kujutavad endast mõnede mikroobide ja seente elutegevuse produkte ning tapavad tõvestavaid mikroorganisme. Tänu antibiootikumidele on muutunud suhteliselt kergeks paljude haiguste ravimine, mis varemalt lõppesid sageli surmaga. Inimesele erakordselt vajalikke vitamiine toodavad taimed ja mõningad mikroorganismid.

Produktiivsemate mikroorganismide vormide saamiseks kasutatakse laialdaselt selektsioonimeetodeid. Valikuga eraldatakse sellised mikroorganismide rassid, mis kõige aktiivsemalt sünteesivad üht või teist inimese poolt kasutatavat produkti. Mikroorganismidel esineb pärilik muutlikkus (mutatsioonid). Mutatsioonide valikuga luuaksegi kõige aktiivsemaid rasse ja tüvesid.

Kõrge produktiivsusega mikroorganismide tüvede saamiseks kasutatakse viimasel ajal eriti laialdaselt mutatsioonide eksperimentaalset saamist röntgenikiirte ja mõnede keemiliste ühendite mõjul. Sel teel õnnestub tõsta mikroorganismide pärilikku muutlikkust kümneid ja sadu kordi, mis hõlbustab ja kiirendab kõrge produktiivsusega tüvede valikut. Eriti suuri edusamme on saavutanud antibiootikumide tööstus. Nõukogude teadlased S. Alihhanjan ja teised said arvukalt röntgenimutatsioone (röntgenikiirte poolt esilekutsutud pärilikud muutused), mis tootsid lähtekultuuridega võrreldes kümneid kordi rohkem antibiootikume. Praegusel ajal tugineb peaaegu kogu nõukogude antibiootikumidetööstus nendele kunstlikult saadud mutantidele.

Selektsiooni kasutatakse laialdaselt ka tööstuses kasutatavate mikroorganismide juures. Nii näiteks erinevad taigna kergitamisel kasutatavate pärmseente omadused. Selektsiooni teel eraldatakse kõige produktiivsemad tüved, mida kasutatakse kõrge kvaliteediga leiva saamisel.

Tuleb silmas pidada, et mutatsioone esineb ka tõvestavatel mikroorganismidel, mis kutsuvad esile inimese haigusi. Need võivad vahel viia mikroobi nakatusliku aktiivsuse (virulentsuse) tõusule, millel võivad inimese suhtes olla rängad tagajärjed.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Kuidas kasutatakse tõuaretuses inbriidingut? Tooge näiteid M. Ivanovi töödest. 2. Tooge näiteid kaughübriidide kohta loomadel. Kas mõnedel nendest on praktiline tähtsus loomakasvatuses? 3. Tooge näiteid mikroobide aretuse kohta.

# INIMESE GENEETIKA

Taimedel, loomadel ja mikroorganismidel vaadeldud pärilikkuse seadused kehtivad täiel määral ka inimese kohta. Inimese geneetika uurimisel on suur tähtsus meditsiinis ja inimühiskonna heaolus. Praeguseks ajaks on vaieldamatult kindlaks tehtud, et esinevad pärilikest teguritest sõltuvad haigused. Nende haiguste tundmaõppimine on erakordselt oluline nende profülaktika ja ravi organiseerimiseks.

## 70. INIMESE PÄRILIKKUSE UURIMISE MEETODID

Inimese pärilikkuse uurimisel esineb tõsiseid raskusi. Loomulikult ei saa inimese juures kasutada eksperimentaalse geneetika meetodeid. Inimene paljuneb aeglaselt ja igal abielupaaril on vähe lapsi. Missuguseid meetodeid siis kasutab inimese geneetika ja inimese pärilikke haigusi uuriv meditsiiniline geneetika? Selliseid põhimeetodeid on kolm: 1) genealoogiline, 2) kaksikute ja 3) tsütogeneetiline meetod. Iseloomustame neid lühidalt.

**Genealoogiline meetod** seisneb inimese sugupuude uurimises võimalikult paljude põlvkondade jooksul. Sel teel õnnestus kindlaks teha paljude inimese tunnuste ja sealhulgas ka paljude pärilike haiguste pärandumise iseloomu. Tooksime mõned näited inimese tunnuste kohta, mis päranduvad Mendeli seaduste järgi:

| Dominantsed tunnused | Retsessiivsed tunnused |
|---|---|
| Käharad juuksed (heterosügootidel lainelised) | Sirged juuksed |
| Varane kiilaspäisus | Normaalsed juuksed |
| Mittepunased juuksed | Punakad juuksed |
| Pruunid silmad | Sinised või hallid silmad |
| Tedretähnid | Tedretähnide puudumine |
| Kääbuskasv | Normaalne kasv |
| Polüdaktüülia (liigsed sõrmed või varbad) | Normaalne sõrmede arv |

Genealoogilise meetodiga tehti kindlaks, et mõnede inimese võimete (näiteks musikaalsus, kalduvus matemaatilisele mõtlemisele jms.) kujunemist määravad samuti pärilikud tegurid. On teada arvukalt ajaloolisi fakte, kus muusikaline andekus esines paljude põlvkondade jooksul. Näiteks võib tuua tuntud Bachide suguvõsa, mis rea põlvkondade jooksul andis palju muusikuid, nende hulgas XVIII sajandi kuulsa helilooja Johann Sebastian Bachi.

JOON. 149. Neli ühemunarakulist nelikut 10 aasta vanuses.

Endastmõistetavalt ei saa inimühiskonnas, kus juhtivaks teguriks isiksuse kujunemise määramisel on sotsiaalne keskkond, kaugeltki kõik genotüübist tingitud anded esile tulla. Kapitalismi tingimustes saavad ekspluateeritavad töölised ja talupojad vaid harva võimaluse realiseerida oma vaimseid rikkusi.

Genealoogilise meetodiga on tõestatud paljude haiguste pärandumine. Nende hulka kuuluvad näiteks mitmed ainevahetuse haigused, sealhulgas suhkurtõbi (diabeet), mille määrab retsessiivne geen. Seda haigust iseloomustab süsivesikute vahetuse häire, mida saab kindlaks teha vere suurenenud suhkrusisalduse järgi. Esineb sünnipärane retsessiivne kurtus. Mõned raske vaimuhaiguse skisofreenia vormid päranduvad samuti retsessiivselt. Tuntakse ka dominantsete geenidega määratud pärilikke haigusi. Nende hulka kuulub näiteks pärilik silma sarvkesta degenereerumine, mis põhjustab pimedaksjäämist. Kalduvus haigestuda tuberkuloosi kannab samuti pärilikku iseloomu.

**Kaksikute meetod** seisneb tunnuste arenemise uurimises kaksikutel. On teada, et inimese juures esineb kaht tüüpi kaksikuid. Ühel juhul viljastatakse ühe munaraku asemel kaks, harvematel juhtudel kolm või isegi neli. Sel juhul võib sündida nii üht kui mõlemat sugu kaksikuid, kes on teineteisega samal määral sarnased, kui üksikult sündinud tavalised vennad ja õed. Vahel võib aga üks munarakk anda alguse kahele, harvadel juhtudel kolmele, neljale ja isegi viiele lootele. Sel juhul on meil tegemist ühemunarakuliste kaksikutega, kes on alati üht sugu ja teineteisega hämmastamapanevalt sarnased. Arvatavasti on igaüks kohanud selliseid kaksikuid, keda on raske teineteisest eristada. Nende suur sarnasus on mõistetav, kuna neil on ühesugune genotüüp ja nendevahelisi erinevusi tingivad eranditult keskkonnatingimused (joon. 149). Ühemunarakuliste kaksikute uurimine kogu nende elu vältel, eriti siis, kui nad elavad erisugustes

tingimustes, annab palju väärtuslikke andmeid keskkonna osa mõistmiseks inimese füüsiliste ja psüühiliste omaduste arenemises.

**Tsütogeneetiline meetod.** Suure tähtsuse on viimaste aastate jooksul omandanud tsütogeneetiline meetod, mis on andnud palju eriti väärtuslikku materjali inimese pärilike haiguste põhjuste selgitamiseks. Geneetilisest vaatekohast kujutavad inimese pärilikud haigused endast mutatsioone, millest enamik, nagu nägime, on retsessiivsed. Nad tekivad sugurakkudes ja levivad inimühiskonnas fenotüüpiliselt ilmsiks tulemata seni, kuni kaks ühesugust retsessiivset alleelset geeni viljastamisel satuvad ühte sügooti.

Eespool nägime juba, et esineb kromosoommutatsioonide rühm, mis väljendub kromosoomide arvu või struktuuri nähtavates muutustes (lk. 262). Selliseid mutatsioone leitaksegi inimesel tsütogeneetilise meetodiga. Nende esinemist saab kindlaks teha kromosoomigarnituuride mikroskoopilisel uurimisel, mida on kõige parem näha mitoosi metafaasi staadiumis. Kuni viimase ajani oli inimese kromosoomide uurimine seotud suurte raskustega, kuna inimesel on kromosoome palju — diploidses garnituuris 46 (joon. 132) ja nad on väikesed. Viimastel aastatel on välja töötatud uued meetodid, mis lubavad kergesti ja lihtsalt ning inimest mingil määral kahjustamata uurida iga inimese kromosoomigarnituuri.

## 71. INIMESE GENEETIKA JA MEDITSIIN

Üha suuremat ja suuremat tähtsust omandab geneetika meditsiinis. Paljud inimese normist kõrvalekaldumised ja haigused on tingitud genotüübist. Eriti selgelt tuleb see esile juhtudel, kui meil on tegemist inimese kromosoommutatsiooniga (muutustega kromosoomide arvus). Toome näiteid. On teada juhuseid, kui inimese kromosoomigarnituuris on liigne väike kromosoom ja nende koguarv diploidses garnituuris on 47. Sellel näiliselt tühisel muutusel on äärmiselt rasked tagajärjed. Areneb haigus, mida tuntakse Downi tõve nime all. Haigus väljendub selles, et haigel on ebaproportsionaalselt väike pea, lame nägu ja teravalt väljendunud vaimse arenemise mahajäämus.

Sellist tüüpi kromosoomihäirete põhjuseks on juhuslikud hälbed reduktsioonjagunemise käigus meioosis (lk. 222). Selle protsessi normaalses käigus homoloogilised kromosoomid lahknevad erinevatesse rakkudesse, mille tulemusel diploidsest kromosoomigarnituurist moodustuvad haploidsed. Kui reduktsioonjagunemisel ühe paari homoloogilised kromosoomid selle asemel, et jaotuda kahe raku vahel, liiguvad ühele poolusele, saame ühe liigse kromosoomiga suguraku. Sellise suguraku ühtimisel teise, normaalse sugurakuga saadakse ühe liigse kromosoomiga sügoot.

Peale Downi tõve on avastatud veel üle saja häire inimese kromosoomigarnituuri struktuuris, millega kaasnevad hälbed normaalses arenemises. Paljud neist kujutavad endast raskeid haigusi.

Pärilikud haigused on tingitud genotüübi iseärasustest. See aga ei tähenda, et meditsiin ei suuda nende vastu võidelda. Kui õigeaegselt (võimalikult noorelt) avastatakse hälve kromosoomiaparaadis, võib haigus olla ravitav. Kõige sagedamini toimub ravi hormoonide abil, mis osaliselt või täielikult kõrvaldavad rasked haigusnähud.

Inimene on sotsiaalne olevus ja väliskeskkonnaks on talle inimese enda poolt loodud sotsiaalne keskkond, mis on erinevatel inimajaloo ajastutel erisugune. Sotsiaalne faktor eelkõige määrab ära inimisiksuse kujunemise. Selle kõrval aga on igal inimesel oma bioloogilised iseärasused, mis on tingitud tema genotüübist. Inimesed on genotüüpiliselt erinevad. Inimühiskonnas toimub pidevalt mutatsioonilise muutlikkuse protsess, esineb intensiivne geneetiline lahknemine. Inimeste geneetiline ebaühtlikkus tuleb esile niihästi füüsilistes tunnustes, nagu silmade värvuses, juuste värvuses, kasvus jms., kui ka iseloomus, andekuses, kalduvuses kindlatele tegevuse vormidele.

Inimühiskonna geneetiline ebaühtlikkus ei tähenda mingil määral rasside bioloogilist ebavõrdsust (vt. 5. peatükk).

Inimese genotüüpilised võimalused ei leia kapitalistliku klassiühiskonna tingimustes suurema osa elanikkonna hulgas realiseerimist. Selleks ei ole kapitalismi ajal vajalikke sotsiaalseid tingimusi. Teisiti on olukord sotsialistlikus ja tulevases kommunistlikus ühiskonnas, kui puudub inimese ekspluateerimine inimese poolt. Sotsialismi ajal luuakse optimaalsed tingimused iga üksiku inimisiksuse arenemiseks.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Milliseid meetodeid kasutatakse inimese pärilikkuse uurimisel? Loetlege neid ja iseloomustage iga meetodit. 2. Tooge näiteid inimese dominantsete ja retsessiivsete tunnuste kohta. 3. Milliseid näiteid võib tuua inimese pärilike haiguste kohta? 4. Milliste meetoditega uuritakse inimese kromosoommutatsioone? 5. Missugune praktiline tähtsus on inimese pärilikkuse uurimisel meditsiini seisukohalt?

# 4. ORGANISMI JA KESKKONNA VASTASTIKUSED SUHTED

13. PEATÜKK

## ORGANISM JA KESKKOND

Evolutsiooni ja pingelise olelusvõitluse käigus kohastusid organismid kõige erinevamate keskkonnatingimustega. Sealjuures kujunes välja kogu nüüdisaegne taimede ja loomade mitmekesisus, mille liikide koguarvuks peetakse umbes kaht miljonit. Organismide elutegevusel oli omakorda tohutu mõju eluta keskkonnale. Eluta keskkond muutus keerulisemaks ja evolutsioneerus koos elu arenemisega.

Meid ümbritseva looduse üldpilt ei kujuta endast erinevate elusolendite juhuslikku kogumit, vaid küllaltki püsivat ja organiseeritud süsteemi, milles igal taime- ja loomaliigil on oma kindel koht.

Me teame, et iga liik on võimeline piiramatult paljunema ja võib kiiresti asustada kogu sellele liigile kättesaadava ruumi. On selge, et erinevate olendite üheaegne kooseksisteerimine on võimalik ainult eriliste mehhanismide olemasolu korral, mis reguleerivad paljunemise käiku ja määravad kindlaks liikide jaotuse ruumis ning isendite arvu. Selline regulatsioon on keeruliste organismidevaheliste konkurentsi- ja muude suhete tulemus nende elutegevuse protsessis. Suurt osa mängib sealjuures ka keskkonna füüsikaliste tegurite mõju.

*Organismide omavaheliste ja füüsikalise elukeskkonna vaheliste suhete uurimisega tegeleb bioloogia haru, mida nimetatakse ökoloogiaks* (*oikos* — maja, elamu; *logos* — teadus, kr. k.).

Ökoloogia tugineb enamiku teiste bioloogiaharude ning samuti Maad käsitlevate teaduste üldistustele ja järeldustele.

Ökoloogilised seaduspärasused on teaduslikuks aluseks looduse bioloogiliste ressursside ratsionaalsele kasutamisele inimese poolt ning paljude majanduslike ülesannete lahendamisele.

## 72. KESKKOND JA ÖKOLOOGILISED TEGURID

**Organism ja keskkonnategurid.** Väliskeskkonna mõistesse kuuluvad kõik elusa ja eluta looduse tingimused, mis ümbritsevad organismi ja mõjuvad kas otseselt või kaudselt organismi seisundile, arenemisele, paljunemisele ja üleelamisvõimalustele. Keskkond kujutab alati endast erinevate elementide keerulist kompleksi. Üksikuid organismile toimivaid keskkonna elemente nimetatakse ökoloogilisteks teguriteks.

Need tegurid jagatakse kahte rühma:

1. Abiootilised tegurid — kõik organismile mõjuvad eluta looduse elemendid. Tähtsamateks on nende hulgas valgus, temperatuur, niiskus ja teised kliima komponendid ning samuti vee-, õhu- ja mullakeskkonna koostis.

2. Biootilised tegurid — igasugused võimalikud mõjutused, millele organism allub teda ümbritsevate elusolendite poolt.

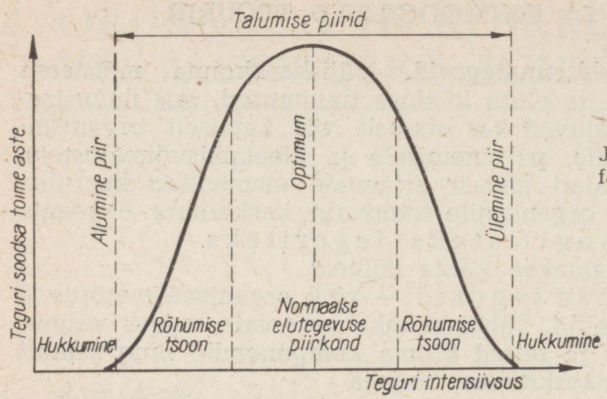
Praegusel ajal on erakordselt suur mõju loodusele inimese tegevusel, mida võib vaadelda erilise ökoloogilise tegurina.

Looduses on välistingimused alati mingil määral muutlikud. Iga liik on evolutsiooniprotsessis kohastunud kindlale ökoloogiliste tegurite intensiivsusele ja kõikumisamplituudile. Konkreetsete elutingimuste suhtes tekkinud kohastumised on pärilikult kinnistunud. Kuigi ökoloogilised adaptatsioonid on väga otstarbekohased selle keskkonna jaoks, milles liik on ajalooliselt kujunenud, piiravad need tingimused eksisteerimisvõimalusi teistes tingimustes või isegi välistavad sellise võimaluse.

Erisugused ökoloogilised tegurid, nagu näiteks temperatuur, atmosfääri gaasiline koostis või toit mõjutavad organismi erinevaid teid mööda. Vastavalt sellele on ka morfoloogilised ja füsioloogilised kohastumised nende suhtes erinevad. Kuid ükskõik millise teguri toime tulemused on ökoloogiliselt võrreldavad, kuna nad väljenduvad alati organismi eluvõime muutusena, mis lõpptulemusena viib populatsiooni arvukuse muutumisele. Esilekutsutud muutuste astme järgi võib hinnata antud ökoloogilise teguri toimet.

Joon. 150 näeme ökoloogilise teguri intensiivsuse (kvantitatiivse näitaja) mõju üldskeemi organismile. *Teguri intensiivsust, mis on elutegevusele kõige soodsam, nimetatakse optimaalseks intensiivsuseks või optimumiks.* Mida enam teguri intensiivsus kaldub kõrvale antud liigi jaoks optimaalsest näitajast (ükskõik kas vähenemise või suurenemise suunas), seda tugevamini pidurdub elutegevus. Piire, millest väljaspool organism eksisteerida ei saa, nimetatakse ülemiseks ja alumiseks talumispiiriks.

Kuna optimum peegeldab antud koha elutingimuste iseärasusi, on ta tavaliselt erinevate liikide juures erisugune. Vastavalt sellele, missugune teguri tase on kõige soodsam, eristatakse sooja-




JOON. 150. Ökoloogilise faktori toime skeem.

ja külmalembesi, niiskuse- ja kuivalembesi, suure või väikese veesoolsusega kohastunud liike jne. Selle kõrval väljenduvad liigi kohastumised ka vastupidavuses teguri muutlikkuse astmele. Kitsa kohastumisega liikideks nimetatakse selliseid liike, mis on võimelised taluma vaid väikesi teguri hälbeid optimaalsest suurusest, laia kohastumisega liikideks selliseid, mis on võimelised taluma antud teguri tunduvaid muutusi. Näiteks on enamik merede elanikke kitsalt kohastunud suhteliselt suure vee soolsusega ja soolade kontsentratsiooni langemisel vees nad hukkuvad. Magevee-elanikud on samuti kitsalt kohastunud, kuid madala vee soolsusega. Esineb aga liike, mis on võimelised taluma väga suuri vee soolsuse muutusi. Selliste liikide hulka kuulub näiteks ogalik, kes võib elada nii mageveekogudes kui soolajärvedes ja isegi merevees.

Kohastumised üksikute keskkonnategurite suhtes on üksteisest suurel määral sõltumatud. Seepärast võib üks ja sama liik olla kitsalt kohastunud ühe teguri (näiteks soolsuse) suhtes ja laia kohastumisega teise suhtes (näiteks temperatuur või toit).

**Tegurite vastastikune toime. Piirav tegur.** Organismile mõjub alati üheaegselt väga keeruline ümbritsevate tingimuste kompleks. Nende koosmõju tulemus ei ole lihtne reaktsioonide summa üksikute faktorite toimele. Ühe keskkonnateguri optimum ja talumispiirid sõltuvad teiste tegurite tasemest. Näiteks tõuseb optimaalse temperatuuri juures vastupidavus ebasoodsale niiskusele ja toidupuudusele. Teiselt poolt tõstab küllaldane toit organismi vastupidavust klimaatiliste tingimuste muutustele.

Kuid selline vastastikune kompensatsioon on alati piiratud ja ühtki elu jaoks hädavajalikku tegurit ei saa asendada teisega. Sellepärast piirab liigi elutegevust ja konkureerimisvõimet teiste liikidega elukohtade muutmisel või tingimuste muutumisel antud maakohas see tegur, mille kõrvalekaldumine liigi jaoks optimaalsest väärtusest on kõige suurem. Kui kasvõi ühe teguri suurus

väljub talumispiiridest, muutub liigi eksisteerimine võimatuks ka siis, kui ülejäänud tegurid oleksid vägagi soodsad.

Ökoloogilise olukorra muutumisel muutuvad ka üksikute tegurite suhted. Seetõttu on erinevates kohtades eksisteerimist piiravad tingimused sageli erisugused. Nii näiteks piirab tavaliselt paljude loomade ja taimede levikut põhja suunas soojuse vähesus, lõuna pool võib aga samade liikide levikut piiravaks teguriks olla niiskuse- või vajaliku toidu nappus.

**Organismide ja keskkonna vastastikune sõltuvus.** Organism sõltub täielikult keskkonnast ja on ilma viimaseta mõeldamatu. Kuid elutegevuse ja lakkamatu ainevahetuse protsessis keskkonnaga mõjuvad taimed ja loomad ise ümbritsevatele tingimustele ja muudavad füüsikalist keskkonda. Viimases tekkivad muutused kutsuvad omakorda organismide juures esile vajaduse uute ökoloogiliste kohastumiste järele. Elusolendite tegevuse tulemusel eluta looduses toimuvate muutuste maht ja tähtsus on väga suur. Piisab sellest, kui meenutada, et taimede fotosüntees viis kaasaegse atmosfääri tekkele. See sisaldab rikkalikult hapnikku, mis muutus üheks põhiliseks eksisteerimistingimuseks enamikule nüüdisaegsetest organismidest. Organismide elutegevuse tulemusel tekkis muld, mille koosseisu ja iseloomuga kohastusid evolutsiooniprotsessis taimed ja loomad. Muutus ka kliima ja tekkisid selle kohalikud iseärasused (mikrokliima).

**Küsimusi ja ülesandeid**

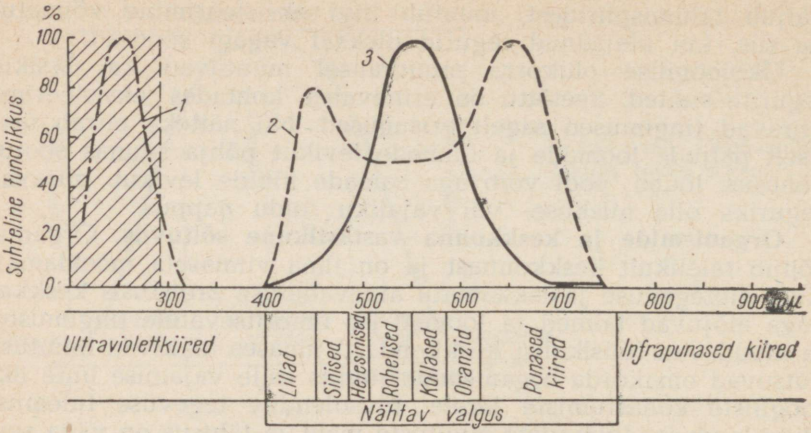
1. Milliseid põhilisi ökoloogilisi tegureid te tunnete? 2. Tooge näiteid piirava teguri kohta kohalikes tingimustes.

## 73. PÕHILISED KLIMAATILISED TINGIMUSED JA NENDE MÕJU ORGANISMILE

Kliima kujutab endast üht väliskeskkonna peakomponenti. Maismaataimede ja -loomade elus on kõige suurema tähtsusega kolm kliimaelementi: valgus, soojus ja niiskus. Nimetatud tegurite oluliseks iseärasuseks on seaduspärane muutlikkus niihästi aasta kui ka ööpäeva jooksul ning sõltuvalt geograafilisest tsonaalsusest. Seepärast on ka nende teguritega kohastumisel tavaliselt seaduspärane tsonaalne ja sesoonne iseloom.

**Valgus.** Päikesekiirgus on kõigi Maal kulgevate protsesside põhiline energiaallikas. Päikesekiirguse bioloogiline toime on mitmekülgne ja sõltub selle spektraalsest koostisest, intensiivsusest ning samuti ka valgustuse ööpäevasest ja sesoonsest perioodilisusest.

Päikesekiirguse spektris eraldatakse kolme ala, mis erinevad oma bioloogiliselt toimelt: ultraviolett-, nähtav ja infrapunane kiirgus (joon. 151).




JOON. 151. Päikesekiirguse spektri erinevate osade bioloogiline toime: 1 — valgu kalgestumine; 2 — nisu fotosünteesi intensiivsus; 3 — inimese silma spektraalne tundlikkus. Viirutatud on see ultraviolettkiirte ala, mis ei tungi läbi atmosfääri.

Ultraviolettkiired lainepikkusega alla 200 mμ mõjuvad kõigele elavale hävitavalt. Elu Maal on võimalik ainult tänu sellele, et seda lühilainelist kiirgust neelab atmosfääri osoonikiht. Maapinnani tungib ainult väike osa kõige pikema lainepikkusega (300—400 mμ) ultraviolettkiirtest. Neil on kõrge keemiline aktiivsus ja suurtes annustes võivad nad kahjustada elavaid rakke. Väikestes annustes on ultraviolettkiired inimesele ja loomadele vajalikud, kuna nad soodustavad D-vitamiini moodustumist organismis. Mõned loomad, näiteks putukad, eristavad ultraviolettkiiri nägemiselundiga.

Enamik maapinnani jõudvast päikesekiirte energiast langeb nähtava valguskiirguse piirkonnale, lainepikkusega 400—750 mμ. Nende kiirte toimel tekkis taimedel ja loomadel rida väga tähtsaid kohastumisi.

Rohelised taimed sünteesivad just selle spektriosa energia arvel orgaanilist ainet, järelikult ka toitu kõigi ülejäänud organismide jaoks.

Loomade ja klorofüllita taimede jaoks ei ole aga valgus siiski kohustuslikuks eksisteerimistingimuseks ning paljud mullas, koobastes ja süvavees elutsevad liigid on kohastunud eluks täielikus pimeduses. Suuremale osale loomadest on nähtav valgus üks tähtsamaid väliskeskkonna tegureid. Valgus on tugev ärritaja ning võtab osa paljude füsioloogiliste protsesside reguleerimisest. Eriti suur on valguse osa käitumises ja ruumilises orienteerumises.

Valgustustingimuste muutumisele reageerivad selgelt isegi paljud ainuraksed. Kõrgema organisatsioonitasemega loomadel,

alates ainuõõssetest, ilmuvad spetsiaalsed valgustundlikud organid, kõrgematel vormidel aga, nagu lülijalgsetel, molluskitel ja selgroogsetel arenesid paralleelselt ja üksteisest sõltumatult välja keerulised nägemisorganid — silmad ja nendega koos võime ümbritsevate esemete kujundiliseks tajumiseks.

Enamik loomi eristab hästi valguse spektraalset koostist, s. t. neil on värviline nägemine.

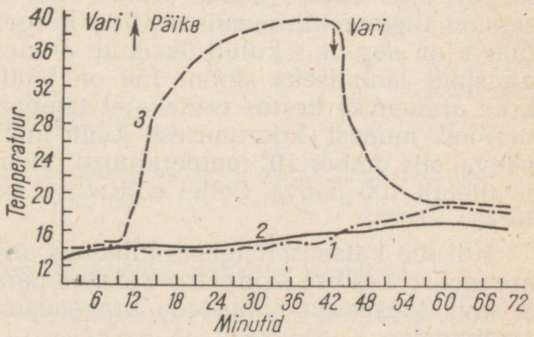
Nägemisvõime arenemise tulemusel tekkisid loomadel mitmesugused värvused, mis aitavad peituda vaenlaste eest või ära tunda oma liigi isendeid. Taimedel ilmusid ergud õitevärvused, mis meelitasid juurde tolmeldajaid. See kergendas risttolmlemist.

Inimsilmale nähtamatud infrapunased kiired lainepikkusega üle 750 mμ on tähtsaks soojusenergia allikaks. Eriti rikas on nende poolest otsene päikesevalgus. See pikalaineline kiirgus kutsub loomade ja taimede kudedes neeldudes esile nende kuumenemise. Paljud kõigusoojased loomad, nagu sisalikud, maod ja putukad, kasutavad päikesevalgust oma kehatemperatuuri tõstmiseks, valides aktiivselt päikesest enamvalgustatud kohti (joon. 152). Valgusrežiimil looduses on selgelt väljendunud ööpäevane ja aastane perioodilisus, mis on tingitud Maa pöörlemisest ja tiirlemisest. See perioodilisus mõjutab loomade ja taimede elutegevust.

Ööpäevane valgustuse muutumise rütm on kutsunud loomadel esile arvukaid kohastumisi päevase ja öise eluviisiga. Sealjuures langeb iga liiki aktiivsus ööpäeva kindlale kellaajale. Kindlal kellaajal avanevad ka paljude taimede õied, mõningatel taimedel võib aga täheldada ööpäevaseid lehtede liikumisi (näiteks mõnedel kaunviljalistel). Peaaegu kõikidel taimede ja loomade sisemistel füsioloogilistel protsessidel esineb ööpäevane rütm maksimumi ja miinimumiga kindlatel kellaaegadel.

Suur ökoloogiline tähtsus on päeva pikkusel. See näitaja muutub suurel määral sõltuvalt geograafilisest laiusest ja aastaajast.

Ainult ekvaatoril on päev aasta läbi ühepikkune ja kestab 12 tundi. Ekvaatorist kaugenedes kasvab progressiivselt suvise




JOON. 152. Koerliblika rööviku kehatemperatuur: 1 — õhutemperatuur; 2 — varjus oleva rööviku kehatemperatuur; 3 — rööviku kehatemperatuur varjus ja päikese käes.

poolaasta ja kahaneb talvise poolaasta päeva pikkus. Kõige pikem päev on suvine pööripäev — 22. juuni, kõige lühem — talvine pööripäev — 22. detsember. Polaarjoone taga on suvel pidev päev, talvel aga katkematu öö, mille pikkus ulatub poolustel 6 kuuni. Kevadisel (21. märts) ja sügisesel (23. september) pööripäeval on päeva pikkus polaarjoone vahel kõikjal võrdselt 12 tundi. Päeva pikkusest ja päikese kõrgusest horisondi kohal sõltub maapinnale langeva päikeseenergia hulk, mistõttu valgusrežiimi sesoonsete muutustega on tihedalt seotud ka temperatuuritingimused. Seetõttu on päeva pikkus tähtis ökoloogiline faktor, mis reguleerib perioodilisi nähtusi elusas looduses.

**Temperatuur.** Kõik organismis kulgevad keemilised protsessid sõltuvad suurel määral temperatuurist. Sellepärast on loomulik, et looduses sageli täheldatavad suured temperatuurimuutused peegelduvad sügavalt loomade ja taimede kasvul, arenemisel ja teistel eluavaldustel. Eriti selgesti on sõltuvus välistemperatuurist väljendunud neil organismidel, kes ei ole võimelised säilitama keha pidevat temperatuuri, s. t. kõigil taimedel ja loomadel peale lindude ja imetajate. Valdav enamik maismaataimi ja -loomi ei talu aktiivse elutegevuse perioodil negatiivset temperatuuri.

Arenemise ülemine temperatuuripiir on erinevate liikide jaoks erisugune, kuid ulatub harva üle 40—50°. Ainult üksikud liigid on kohastunud eluks väga kõrge temperatuuri juures. Nii võib mõningaid limuseliike kohata kuumades allikates veetemperatuuri juures kuni 53°, ühe kärbseliigi vastseid temperatuuril kuni 60° ja mõned sinivetikad ja bakterid võivad elada 70—85° juures.

Optimaalne arenemistemperatuur sõltub liigi elutingimustest; enamiku maismaaloomade juures kõigub see üsna kitsastes piirides (15—30°).

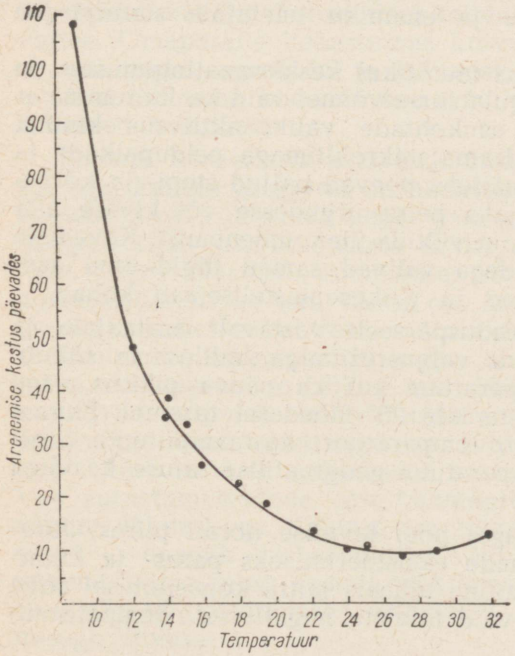
Organisme, kelle kehatemperatuur ei ole püsiv, nimetatakse p o i k i l o t e r m s e t e k s ehk k õ i g u s o o j a s t e k s. Temperatuuri tõus kutsub nende juures esile kõigi füsioloogiliste protsesside tugeva kiirenemise. Mida kõrgem on temperatuur, seda lühem on aeg, mis kulub üksikute arenemisstaadiumide või kogu elutsükli läbimiseks. Joon. 153 on näidatud kapsaliblika röövikute arenemise kestus erinevatel temperatuuridel. Kui 26° juures periood munast koorumisest kuni nukkumiseni kestab 10—11 päeva, siis umbes 10° temperatuuril pikeneb see periood 10 korda ja ületab 100 päeva. Sellel sõltuvusel on väga reeglipärane iseloom.

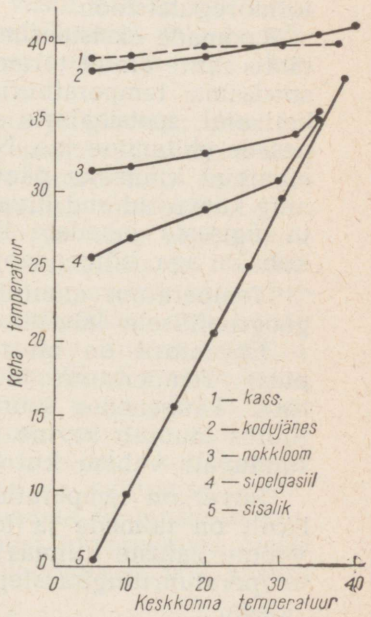
Kui me katseliselt teeme kindlaks antud looma- või taimeliigi arenemise kestuse erinevate kehatemperatuuride juures, siis võib piisava täpsusega ennustada arenemise ajalisi piire looduslikes tingimustes.

Looduses kõigub temperatuur pidevalt ja ületab sageli elu jaoks soodsad piirid. Loomadel ja taimedel on tekkinud spetsiaalsed kohastumused, mis nõrgestavad niisuguste kõikumiste kahjulikku toimet. Ülekuumenemisel taimed näiteks madaldavad lehe temperatuuri vee aurustumise suurendamisega läbi õhulõhede. Ka loomad võivad oma kehatemperatuuri mõnel määral alandada vee aurustumise arvel läbi hingamiselundite ja kattekudede.

Aktiivse kehatemperatuuri tõstmise võimalused on taimedel üpris väikesed, kõigusoojastel loomadel tulevad aga esile ainult kõige suurema liikuvusega liikidel. Nii näiteks võib lendavate putukate sisetemperatuur lihaste intensiivse töö tulemusel tõusta 10—20° võrra ja rohkem kõrgemale ümbritsevast temperatuurist. Kimalastel, tirtsudel ja suurtel liblikatel ulatub kehatemperatuur lennu ajal 20—40°-ni, lennu lõppedes aga langeb kiiresti õhutemperatuuri tasemele.

Näeme, et kõigusoojastel organismidel esineb teatud termoregulatsioonivõime, kuid see on niivõrd ebatäiuslik, et nende kehatemperatuur sõltub peamiselt ümbritseva keskkonna tempe-




JOON. 153. Temperatuuri toime kapsaliblika arenemise kestusele.

JOON. 154. Erinevate loomade kehatemperatuuri sõltuvus õhu temperatuurist: 1 — kass; 2 — kodujänes; 3 — nokkloom; 4 — sipelgasiil; 5 — sisalik.

ratuurist. Ainult mõnedel ühiselulistel putukatel, eeskätt mesilastel, on kujunenud välja efektiivsem temperatuuri säilitamise meetod kollektiivse termoregulatsiooni näol. Iga mesilane ei ole üksikult võimeline säilitama püsivat kehatemperatuuri, kuid kümned tuhanded peresse kuuluvad mesilased eraldavad nii palju soojust, et tarus püsib pidev temperatuur 34—35°, mis on vajalik vastsete arenemiseks.

Kõige täiuslikum termoregulatsioon on püsisoojastel loomadel — lindudel ja imetajatel. Võime säilitada püsivat kehatemperatuuri kujutab endast ökoloogiliselt väga tähtsat kohastumust, mis kindlustab kõrgematele loomadele tunduva sõltumatuse keskkonna termilistest tingimustest. Enamikul lindudel on kehatemperatuur veidi üle 40°, imetajatel aga natuke madalam. Kehatemperatuur säilib püsival tasemel, vaatamata temperatuuri kõikumistele ümbritsevas keskkonnas. Nii oli umbes —40° pakase juures polaarrebase kehatemperatuur 38°, laanepüül aga 43, s.t. peaaegu 80° võrra ümbritsevast keskkonnast kõrgem. Austraalias elavate primitiivsete imetajate (nokkloom ja sipelgasiil) termoregulatsioon on nõrgalt arenenud ja nende kehatemperatuur sõltub suurel määral ümbruskonna tingimustest (joon. 154). Ebatäiuslik on ka pisinäriliste ja enamiku imetajate sünnijärgne termoregulatsioon.

Loomade eksisteerimiseks muutlikes keskkonnatingimustes on tähtis mitte ainult termoregulatsioonivõime, vaid ka käitumine — soodsama temperatuuriga asukohtade valik, aktiivsus kindlal kellaajal, spetsiaalsete soodsama mikrokliimaga peidupaikade ja pesade ehitamine jne. Nii näiteks poevad paljud stepi- ja kõrbeelanikud kuumaks päevaajaks peitu urgudesse või kivide alla ning kaevavad end liivasse, et vältida ülekuumenemist. Kevadiste ja sügiseste jahedate ilmadega valivad samad liigid oma asukohaks aga kõige soojemad ja päikesepaistelisemad kohad.

Temperatuur muutub seaduspäraselt vastavalt aastaajale ja geograafilisele laiusele koos valgusrežiimiga, millest ta sõltub. Ekvaatoril on nii temperatuur kui ka päeva pikkus väga püsiv. Temperatuur on aasta läbi 25° lähedasel tasemel. Ekvaatorist kaugenedes suureneb temperatuuri aastaamplituud. Sealjuures muutub suvine temperatuur geograafilise laiuse kasvuga tunduvalt vähem kui talvine.

Suvel on temperatuur igal pool tavalise normi piires. Järelikult on taimede ja loomade eksisteerimiseks paras- ja külmvöötme laiuste kliimas põhiline tähtsus mitte kohastumisel suve temperatuuritingimustega, vaid talviste negatiivsete temperatuuridega.

**Niiskus.** Nagu juba nägime (lk. 149), on vesi erakordselt tähtis raku elutegevuses. Seetõttu on veetasakaalu hoidmine küllalt püsival tasemel ükskõik millise organismi põhiline füsioloogiline funktsioon.

Niiskuse kui maismaaorganismide ökoloogilise teguri tähtsuse tingib sademete ning nendega koos ka õhu- ja mullaniiskuse väga ebaühtlane jaotumine maapinnal aasta jooksul. Kuna suurem osa maismaaloomi ja -taimi on niiskuselembesed, siis on niiskuse vähesus sageli põhjuseks, mis piirab nende elutegevust ja geograafilist levikut.

Kohastumused niiskusevähesuse vastu on eriti selgelt väljendunud põuaste steppide ja kõrbete elanikel.

Mitmeaastastel kõrbetaimedel kindlustab vajaliku veehulga saamise tugevasti arenenud juurestik, mis võib vahel olla väga pikk (kuni 16 m) või erakordselt hargnev, mis annab võimaluse koguda vett suurelt pindalalt.

Tähtsaks kohastumuseks on rakumahla kõrge osmootne rõhk — kuni 60—80 atmosfääri, mis suurendab juurte imemisjõudu ja soodustab vee hoidmist kudedes. Veebilanssi kindlustab vee aurustumise vähendamine, mis saavutatakse eelkõige lehe kui põhilise aurustumispinna ehituse muutmisega. Kõrbetaimedel pakseneb lehekutiikula, areneb sellel vahakiht või tihe karvasus. Väga iseloomulik on ka lehelaba mõõtmete vähenemine, lehtede muutumine asteldeks või sageli isegi täielik kadumine (saksauulid, tamariskid jt.). Fotosüntees toimub sellistel liikidel rohelistes vartes. Omapärane kohastumus kuivuse vastu esineb kaktustel, okasmaltsadel, agaavidel ja mõnedel piimalillelistel, mis on võimelised talletama kudedes suurel hulgal vett ja seda väga ökonoomselt kulutama.

Enamik kõrbeloomi saab hakkama ilma joogiveeta; need liigid aga, kellele joogivesi on hädavajalik, paistavad silma võime poolest kiiresti ja pikka aega joosta, mis lubab neil sooritada kaugeid retki joogikohtadele (kulaan, kaamel, antiloobid, džeiraan, saiga). Näriliste, roomajate, putukate ja teiste pisiloomade niiskuseallikaks on toit. Tähtis osa nende veebilansis on niinimetatud ainevahetuslikul veel, mis moodustub organismis hapendusreaktsioonide käigus. Eriti palju ainevahetuslikku vett annab rasva oksüdeerumine (107 g vett 100 g rasva kohta). Seetõttu kujutavad paljudele kõrbeelanikele iseloomulikud rasvaladestused endast omalaadset organismi veereservi, nagu näiteks kaameli küür, näriliste nahaalused rasvavarud, putukate rasvkeha. Vee aurustumiskadude eest kaitseb loomi väliste kattekudede vähene läbilaskvus. Tähtsat osa mängivad ka käitumise iseärasused — enamik kõrbeelanikke väldib madala õhuniiskuse kuivatavat toimet ning samuti ülekuumenemist üleminekuga öisele eluviisile või peitumisega urgudesse, mullaõõntesse või kaevumisega liivasse.

Täiesti erinevat kohastumuste tüüpi niiskusepuuduse suhtes võib täheldada paljudel taimedel ja loomadel, kes elavad perioodilise kuivusega aladel. Neil kujuneb eriline füsioloogiline puhkeseisund, mida iseloomustab kasvu ja arenemise peatumine,

ainevahetuse järsk langus ning loomadel ka liikumisaktiivsuse ja toitumise lakkamine.

Mitmeaastaste taimede puhkeseisundiga kaasneb sageli suvine lehtede varisemine või maapealsete osade täielik kuivamine. Viimane nähtus on eriti tüüpiline stepi- ja kõrbeefemeeridele — taimedele, mis varakevadel kiiresti arenevad ning säilivad suurema osa aastast puhkesibulate või -juurikate näol (tulbid, kõrbetarnad, sibulnurmik).

Kuuma ja kuiva perioodi algul, kui taimestik ära kuivab, langevad mõned kõrbenärilised ja -kilpkonnad mõni kuu kestvasse suveunne. Putukate ja teiste selgrootute puhkestaadiume iseloomustab tavaliselt organismi langenud veesisaldus, mõned liigid on võimelised eluvõimet kaotamata täiesti ära kuivama.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Milles seisneb ultraviolett-, nähtavate ja infrapunaste kiirte toime organismidele? 2. Kuidas kohastuvad kõigusoojased organismid ebasoodsate keskkonna temperatuuritingimustega? 3. Tooge näiteid loomade ja taimede kohastumustest niiskuse puudusega.

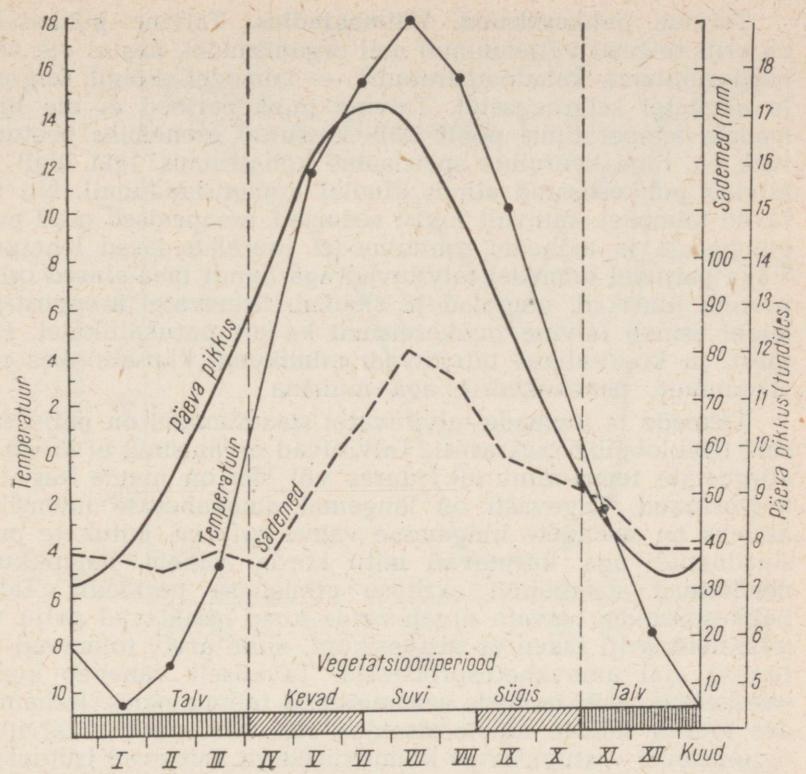
## 74. TAIMEDE JA LOOMADE KOHASTUMINE VÄLISTINGIMUSTE SESOONSE RÜTMIGA

Sesoonne perioodilisus on üks elusa looduse kõige levinumatest nähtustest. Eriti selgesti on ta väljendunud meie parasvöötmes ja põhjalaiustel. Väliselt lihtsate ja meile hästi tuntud sesoonsete nähtuste aluseks on väga keerulised rütmilise iseloomuga kohastumusnähtused, mida õpiti tundma alles hiljuti.

**Sesoonsus looduses.** Näiteks võtame meie maa keskrajoonide sesoonse perioodilisuse (joon. 155). Siin on juhtiv tähtsus aastasel temperatuurikõveral. Arenemiseks soodne periood kestab umbes kuus kuud. Selle aja jooksul vahetuvad elusa looduse põhilised fenoloogilised nähtused.

Kevade tunnused ilmuvad kohe pärast lume sulamist. Veel enne lehtede pungast väljumist hakkavad õitsema mõned paju liigid, lepp ja sarapuu. Sulanud kohtades ja isegi läbi lume ilmuvad esimeste kevadtaimede võrsed. Lendavad kohale rändlinnud ja ilmuvad talvituvad putukad. Siis, kui lakkavad korrapärased öökülmad ja keskmine ööpäevane temperatuur ületab püsivalt 0... +5°, algab kogu taimkatte tormiline arenemine.

Sel ajal kahjustavad taimi tugevasti isegi nõrgad öökülmad, mis kutsuvad esile ka paljude putukate hukkumise. See näitab, et enamik kõigusoojaseid organisme ei suuda aktiivse kasvu ja arenemise seisundis taluda isegi lühiajalist negatiivsete temperatuuride toimet, kuigi nad talvel talusid tugevaid pakaseid.




JOON. 155. Päeva pikkuse, temperatuuri ja sademete hulga sesoonsed muutused Moskva ümbruses.

Suve keskel, vaatamata vägagi soodsale temperatuurile ja sademete küllusele, aeglustub või katkeb täielikult puude ja paljude teiste taimede kasv. Tunduvalt väheneb õitsvate taimede arv. Lindudel lõpeb paljunemisperiood. Suve teine pool ja varasügis on enamiku taimede viljade ja seemnete küpsemise ning taimekudedesse toitainete kogumise perioodiks.

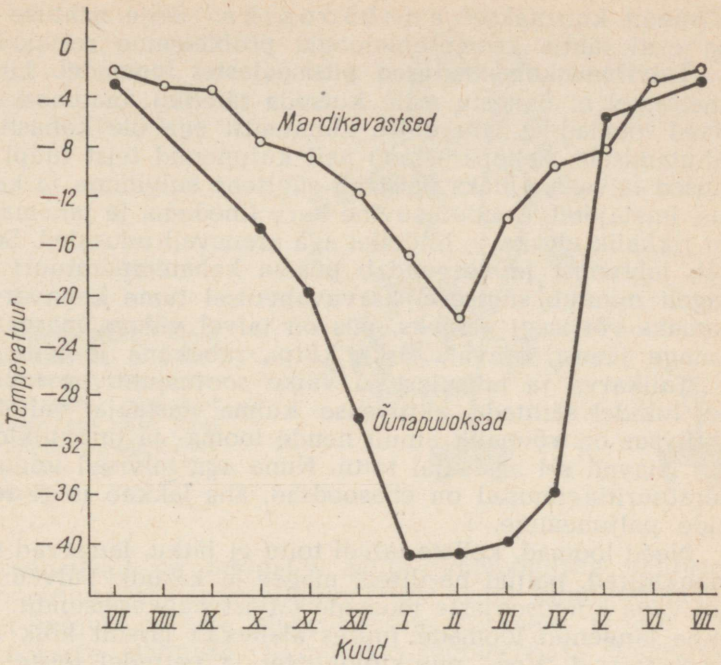
Sel ajal võib juba märgata talveks ettevalmistumise tunnuseid. Puudel formeeruvad talvepungad ja puituvad võrsed. Suureneb toitainete juurdevool lehtedest vartesse, juurtesse ja teistesse talvituvatesse organitesse. Lindudel ja imetajatel algab sügisene sulgimine ja karvavahetus; rändlinnud kogunevad parvedesse. Talveks ettevalmistumine lõpeb taimelehtede kuivamise ja langemisega, paljud linnud lendavad ära, kaovad putukad ja teised selgrootud. Juba enne püsivate külmade saabumist algab looduses talvine puhkeperiood.

**Talvine puhkeseisund. Külmakindlus.** Talvine puhkeseisund on eriti selgesti väljendunud neil organismidel, kes ei ole võimelised säilitama kehatemperatuuri — taimedel, kõigil selgrootuil ja alamatel selgroogsetel. Talvine puhkeperiood ei ole lihtsalt madala temperatuuri poolt esile kutsutud arenemise peatumine, vaid on väga keeruline spetsiaalne kohastumus. Igal liigil tekib talvine puhkeseisund ainult kindlal arengustaadiumil. Nii talvituvad taimedel sõltuvalt liigist seemned, maapealsed osad puhkepungadega ja mõnedel rohttaimedel juurelähedased leherosetid. Väga paljudel taimedel talvituvad aga ainult maa-alused osad — juured, juurikad, mugulad ja sibulad. Erinevatel arengustaadiumidel esineb talvine puhkeseisund ka eri putukaliikidel. Hallasääsk ja koerliblikas talvituvad valmikuna, kapsaliblikas nukustaadiumis, paaritukedrik aga munana.

Taimede ja loomade talvituvatel staadiumidel on palju sarnaseid füsioloogilisi iseärasusi. Talvituvad organismid ei arene isegi kõrgemate temperatuuride juures või siis on nende kasv väga aeglustunud. Tugevasti on langenud ainevahetuse intensiivsus, näiteks on seemnete hingamine vaevu tajutav, putukate puhkestaadiumid aga kasutavad mitu korda vähem hapnikku kui needsamad staadiumid aktiivse arenemise perioodil. Talvises puhkeseisundis olevate organismide koed sisaldavad palju varutoitaineid, eriti rasvu ja süsivesikuid, mille arvel toimuvad talvitumise ajal ainevahetusprotsessid. Tavaliselt väheneb kudedes veesisaldus, eriti taimede seemnetes ja talipungades. Kehamahlades tõuseb selliste ainete sisaldus, mis suurendavad talvituvate organismide vastupidavust külmumisele ja kaitsevad tsütoplasmat negatiivsete temperatuuride kahjustuse eest. Kõigi nende iseärasuste tõttu on puhkestaadiumid erinevalt staadiumidest, mis on seotud arenemisega, võimelised pika aja jooksul elama karmides talvitustingimustes. Talvine puhkestaadium on üks kõigusoojaste loomade kohastumisi paras- ja külmvöötme kliima temperatuuride sesoonsusega.

Vaatlused näitavad, et taimede ja putukate pakasekindlus talve jooksul tõuseb (joon. 156). Järelikult kohastub organism sügise ja talve jooksul järk-järgult temperatuuri langemisega. Seda nähtust nimetatakse karastumiseks. Karastumise esimene etapp toimub veel positiivsete temperatuuride juures, 0 ja +6° vahel. Sealjuures läheb taimerakkudes osa vett üle kolloidolekusse, tärklis aga muutub suhkruteks ja õlideks, mis suurendab pakasekindlust. Kergete külmade (kuni —5°) saabumisega algab karastumise teine etapp. Sel ajal moodustuvad rakkudevahelistes valendikes jääkristallid, mis võtavad rakkudest ära vaba vee. Selle omaduse tõttu muutuvad rakud veelgi vastupidavamateks tugevatele pakastele.

Samalaadseid karastumisnähtusi võib jälgida ka paljude talvituvate putukate juures. Madalal temperatuuril moodustub




JOON. 156. Õunapuuokste ja mardikavastsete külmakindluse muutumine talvitumise jooksul.

nende kudedes vaba glütseriin, mis kaitseb külmumise eest. Seetõttu võivad putukad talvituda ülejahutatud, kuid mitte külmunud olekus, kui aga nende rakkudes moodustub jää, siis nad hukkuvad. Nii külmuvad kapsaliblika nukud alles temperatuuridel alla 20...25° külma, ühe kooreüraski vastsed —53° juures. Mõned putukad aga, nagu näiteks maisikoi röövikud, jäävad ellu isegi pärast seda, kui keharakkudes moodustub jää.

Pakasekindluse ja karastumise protsesside uurimise tulemusel õnnestus saavutada, et mõned taimed ja loomad jäid ellu palju madalamate temperatuuride juures kui need, mis Maal esinevad. Kase ja õunapuu oksad talusid pärast karastamist vedela lämmastiku temperatuuri (—196°), sõstar aga kasvas edasi pärast vedelas vesinikus viibimist (—253°). Paljude taimede seemnete idanevus säilib pärast absoluutsele nullile lähedase temperatuurini jahutamist. Sama vastupidavad jahutamisele on ka bakterite eosed. Mõned putukaliigid talusid temperatuuri kuni —196°.

Nii madalate temperatuuride juures on organismis ainevahetus võimatu. Järelikult kutsub sügav jahtumine esile elu ajutise pöörduva katkemise. Sellist eluprotsesside pöörduva lakkamise

seisundit kutsutakse anabioosiks. Selle nähtuse uurimine on eriti tähtis kosmosebioloogia probleemide seisukohalt.

**Talvitumiskohastumused püsisoojastel loomadel.** Lindudel ja imetajatel ei õnnestu esile kutsuda täieliku anabioosi seisundit. Need loomad ei talu üldse külmumist ega ole kohastunud ülejahutamisele. Sellepärast on neil kujunenud teist tüüpi kohastumused talveks. Üheks neist on sügisene sulgimine ja karvavahetus. Imetajatel asendub suvine karv tihedama ja pikemaga, millel on rikkalik aluskarv, lindudel aga arenevad udusuled. See vähendab jahtumist ja kergendab püsiva kehatemperatuuri hoidmist. Sageli muutub sügisesel karvavahetusel tume kehavärvus heledamaks või isegi valgeks, mis on talvel vähem märgatav (meenutage jänest, oravat, nirki, kärpi, rabakana ja teisi).

Talikarva ja talisulestiku väike soojusjuhtivus lubab paljudel liikidel säilitada aktiivsuse külma aastaaja vältel. Talvine aktiivsus on võimalik ainult nende looma- ja linnuliikide juures, kes leiavad sel aastaajal toitu. Kuna aga talvised toidu- ja temperatuuritingimused on ebasoodsad, siis lakkab isegi selliste liikide paljunemine.

Need loomad, kellele talvel toitu ei jätku, langevad talveunne (nahkhiired, paljud närilised, mäger ja karud). Talveuni meenutab väga kõigusoojaste loomade talvist puhkeseisundit. Ka talveunne langenud loomade juures alanevad järsult kõik ainevahetusprotsessid. Vee-, putuktoidulistel ja paljudel teistel lindudel, kes talvel toitu ei leia, on kujunenud välja sesoonsed ränded. Mõned liigid, nagu künnivares, rästad ja leevike, ei rända pesitsuskohtadest kaugele — nad lähevad pehmema talvega aladele. Teised liigid aga lendavad kaugele, mõnikord tuhandete kilomeetrite kaugusele troopikamaadesse või isegi lõunapoolkerale.

## 75. SESOONSET ARENEMIST JUHTIVAD TEGURID. FOTOPERIODISM

Taimedel ja loomadel toimuvad aasta jooksul sügavad füsioloogilise seisundi muutused, mis on seotud kliimatingimuste sesoonse vaheldumisega. Igal liigil on loodusliku valiku protsessis välja kujunenud sellele liigile iseloomulik aastatsükkel intensiivse kasvu arenemise, paljunemise, talveks ettevalmistumise ja talvitumise perioodide kindla järjestuse ja kestusega. Iga elutsükli faasi kokkulangemisel aastaajaga, mille tingimustega see faas on kohastunud, on otsustav tähtsus liigi eksisteerimisele. Kui näiteks pakasekindlad puhkestaadiumid ei jõua talveks formeeruda, siis sellised isendid hukkuvad vältimatult. Samuti on taimede üleelamiseks vaja, et nad õigeaegselt õitseksid ja viljuksid.

JOON. 157. Päeva pikkuse mõju kaseseemnete kasvule: 1 — katkematu (24-tunnise) päeva tingimustes ei lähe seemikud puhkeseisundisse ega lase lehti maha; 2 — lühipäevatingimustes katkeb kasvamine ja seemikul langevad lehed.

Kõige selgemalt on märgatav kõigi fenoloogiliste nähtuste seos temperatuuri sesoonse muutumisega. Kuid kuigi temperatuur tõesti mõjub paljude eluprotsesside kiirusele, ei ole see siiski sesoonsete nähtuste peamiseks reguleerijaks looduses. Kevadel ja sügisel on fenoloogilistel nähtustel ühesuguse temperatuuri juures vastupidised suunad. Talveks ettevalmistumine toimub alati aegsasti ja algab sageli juba suvel, kui temperatuur on küllalt kõrge. Kui kasvatada kase või teiste puutaimede seemikuid kasvuhoones aasta jooksul ühtlaselt kõrge temperatuuri, kuid looduslikult muutuva valgustuse juures, siis lähevad nad sügisel üle puhkeseisundisse ja heidavad lehed ära. Taliteraviljad sellistes tingimustes ei loo. Putukad langevad kõrgel temperatuuril talvitusseisundisse ning linnud hakkavad sulgima ja neil ilmneb tung asuda rändele. Järelikult mõjuvad organismi sesoonsele seisundile mingid teised tingimused, aga mitte temperatuur.

Enamiku taimede ja loomade sesoonsete tsüklite reguleerimises kuulub juhtiv osa päeva pikkuse muutumisele. Reaktsiooni päeva pikkusele kutsutakse f o t o p e r i o d i s m i k s.

Fotoperiodismi tähtsus selgub joon. 157 kujutatud katsest. Ööpäevase kunstliku valgustuse või üle 15 tunni kestva päeva juures kasvavad kaseseemikud kasvuhoones pidevalt ega heida lehti ära. 10—12-tunnise valgustuse korral ööpäevas lakkab seemikute kasvamine isegi suvel, peatselt langevad lehed ja saabub talvine puhkeseisund, nagu lühikese sügispäeva mõjul. Paljud meie puud, millel sügiseti lehed ära langevad, nagu paju, harilik robiinia, tamm, valgepöök ja pöökpuu, muutuvad pika päeva tingimustes samuti igihaljaks.

Päeva pikkus määrab peale talvise puhkeseisundi ära ka teised taimede sesoonsed nähtused. Pikk päev soodustab õite arenemist enamikul meie metsikult kasvavatel taimedel. Selliseid taimi nimetatakse pikapäevataimedeks. Kultuurtaimest kuuluvad nende hulka rukis, kaer, enamik nisu- ja odrasorte, lina. Mõned, enamasti lõunapoolse päritoluga taimed vajavad aga õitsemiseks lühikest päeva, näiteks krüsanteemid ja daaliad. Sellepärast hakkavad nad meil õitsema alles suve lõpul või sügisel, kui päev lühemaks muutub. Sellist tüüpi taimi nimetatakse lühipäevataimedeks.

Tugevasti mõjub päeva pikkus ka loomadele. Putukatel ja lestadel määrab päeva pikkus talvise puhkeperioodi saabumise. Kui hoida kapsaliblika röövikuid pikapäevatingimustes (üle 15 tunni), siis väljuvad nukkudest peatselt liblikad ja jätkub katkematult põlvkondade järjestikune vaheldus. Kui aga röövikud arenevad lühikese päeva tingimustes (alla 14 tunni), siis saadakse isegi kevadel ja suvel talvituvad nukud, mis ei hakka arenema mõne kuu jooksul, vaatamata küllalt kõrgele temperatuurile. Selline reaktsioonitüüp selgitab, miks suvel, kui päev on veel pikk, võib looduses putukatel areneda mitu põlvkonda, sügisel aga peatub arenemine alati talvituval staadiumil.

Enamikul lindudel kutsub kevadine päeva pikenemine esile sugunäärmete arenemise ja pesitsemisinstinktide tekkimise. Sügisene päeva lühenemine kutsub esile sulgimise, tagavararasvade kogunemise ja rändekihu.

*Fotoperiodism on seega üldine ja tähtis kohastumus, mis reguleerib sesoonseid nähtusi kõige erinevamate organismide juures.*

Miks omandasid just päeva pikkuse sesoonsed muutused sellise suure tähtsuse taimede ja loomade elus? Selgitame seda talvituvate staadiumide kujunemise näitel. Need on spetsiaalselt kohastunud selleks, et üle elada külm aastaaeg. Kuid ettevalmistus talviseks puhkeperioodiks võtab palju aega organismi füsioloogiliseks ümberkorraldamiseks ja kudedesse vajaliku toitainetevaru kogumiseks. Seetõttu peab ettevalmistus algama ammu enne külmade saabumist. Järelikult vajab organism õigeaegset ja täpset signaali talve lähenemisest.

Päeva pikkuse muutumine on alati tihedalt seotud temperatuuri aastakõveraga ja eelneb selle muutumisele; päeva lühenedes hakkab langema ka temperatuur. Aasta jooksul muutub päeva pikkus rangelt seaduspäraselt ega allu juhuslikele kõikumistele nagu teised ökoloogilised tegurid. Sellepärast teatab ta astronoomilise täpsusega ette temperatuuri ja muude välistingimuste sesoonsetest muutustest. See seletab, miks kõige erinevamatel organismide rühmadel tekkisid evolutsiooniprotsessis sõltumatult spetsiaalsed fotoperioodilised reaktsioonid, mis juhivad sesoonset arenemist. Organismidele on päeva pikkuse muutumine

omalaadseks astronoomiliseks kalendriks, mille järgi määratakse paljunemise, kasvu ja talveks ettevalmistumise ajad.

Selleks, et talvituvad taimed, putukad ja muud organismid taasalustaksid arenemist, peavad nad pikemat aega viibima külma käes. Talvitumise ajal toimuvad organismis sisemised füsioloogilised protsessid, mille tulemusel saab jälle võimalikuks intensiivne arenemine. Talvise puhkeseisundi füsioloogilise ületamise protsess toimub kiiremini madalates, kuid positiivsetes temperatuurides, vahemikus 0 . . . 10°, ning seda protsessi pidurdavad niihästi negatiivsed kui ka kõrged temperatuurid. Puhkeseisundist väljumiseks vajab iga liik kindla kestuse ja sügavusega talvist madalat temperatuuri. Külmas kulgevate protsesside tulemusel on talvitunud taimed ja loomad juba valmis intensiivseks kevadiseks arenemiseks.

**«Bioloogiline kell».** Taimede ja loomade fotoperiodismi uurimine näitas, et organismide reageerimine valgusele ei põhine lihtsalt saadava valguse hulga muutumisel, vaid kindla kestusega valguse ja pimeduse perioodi ööpäevasel vaheldumisel. Organismide reageerimine öö ja päeva pikkusele näitab, et nad on võimelised aega mõõtma, s. t. neil on mingi «bioloogiline kell». Käesolevaks ajaks on tõestatud, et aja mõõtmise võime on kõigil elusolenditel alates üherakulistest ja lõpetades inimestega.

Peale sesoonsete tsüklite juhib «bioloogiline kell» paljusid bioloogilisi nähtusi, mille olemus alles hiljuti oli saladus. See kell määrab nii terviklike organismide aktiivsuse kui ka rakkudes toimuvate protsesside, eriti rakujagunemise õige ööpäevase rütmi. Aja mõõtmise võimest räägivad katsed, milles kujundati loomadel tingitud refleksid kindlale ajale ööpäeva jooksul. Isegi mesilasi saab kergesti õpetada lendama suhkrusiirupiga söödanõule kindlaksmääratud kellaajal.

«Bioloogilisel kellal» on suur tähtsus loomade orienteerumisel ruumis. Nagu teada, orienteeruvad mesilased lennul päikese järgi. Tarust välja lennates jätavad nad meelde lennunurga päikese suhtes ja veel enam, tagasi tulles teevad sellele paranduse vastavalt päikese muutunud asendile.

**Loomade ja taimede sesoonse arenemise juhtimine.** Päeva pikkuse osatähtsuse selgumine sesoonsete nähtuste reguleerimises avab suured võimalused taimede ja loomade arenemise juhtimiseks.

Arenemise juhtimise meetodid, mis põhinevad kindlate valgus- ja temperatuurirežiimide toimel, leiavad juba laialdast praktilist rakendamist mitmesugustes taimekasvatuse harudes. Neid kasutatakse juurviljade ja dekoratiivtaimede aastaringsel kasvatamisel kunstliku valguse juures, talvisel ja varakevadisel lillede ajatamisel ja istikute kiirendatud kasvatamisel.

Külvieelset madala temperatuuriga mõjutamist (jaroviseerimist) kasutades saadakse taliviljade õitsemine kevadise külvi

korral ning samuti ka paljude kaheaastaste taimede õitsemine ja viljumine juba esimesel aastal. Juba ammu kasutatakse puude ja põõsaste seemnete külmaga mõjutamist puhkeseisundist väljaviimiseks ja idanemise kiirendamiseks. Spetsiaalsed võtted on välja töötatud ka loomakasvatuses. Nii suureneb kunstliku valgustamisega päeva pikendades kanade, veel rohkem aga hanede ja partide munevus.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Milles väljenduvad taimede ja loomade talvitumiskohastumised? 2. Tooge näiteid fotoperiodismi kohta taimedel ja loomadel. 3. Mida teate «bioloogilisest kellast» ja milliseid sellesse kuuluvaid nähtusi olete tähele pannud? 4. Millal ja missuguses järjestuses saabuvad teie kodukohta rändlinnud ja millal nad lendavad ära?

## 76. ORGANISMIDE TOITUMISSUHTED JA ÖKOLOOGILISED SÜSTEEMID

Looma- ja taimeliikide levik looduses ei ole juhuslik, vaid nad moodustavad alati kindlaid ja suhteliselt püsivaid komplekse — kooslusi. Neid komplekse tunneme hästi igapäevasest elust, kus me neid nimetame metsaks, niiduks, sooks või stepiks. Selliste koosluste koostise tingib nii temasse kuuluvate liikide nõuete sarnasus, mida need esitavad elukoha füüsikalistele tingimustele, kui ka nende tihe vastastikune sõltuvus. See vastastikune sõltuvus kujuneb eelkõige toitumissuhete ja eluprotsessideks vajaliku energia saamise viiside alusel.

Teame, et energia ja toitainete saamise ja kasutamise viisi järgi jagatakse kõik organismid kahte teravalt eristunud rühma: autotroofideks ja heterotroofideks.

Toitumisprotsessi lõpptulemusena lagundavad heterotroofid orgaanilise aine süsihappegaasiks, veeks ja mineraalsooladeks, s. t. selliste aineteni, mida autotroofid saavad uuesti kasutada.

Nii tekib looduses biogeensete ainete katkematu ringkäik: autotroofid ammutavad eluks vajalikke keemilisi aineid ümbritsevast keskkonnast. Need ained tagastatakse keskkonda üle heterotroofide rea. Selle protsessi toimumiseks on vajalik pidev energia juurdevool väljastpoolt. Selle allikaks on päikese kiirgusenergia, mida rohelised taimed fotosünteesi käigus transformeerivad sünteesitavate orgaaniliste ühendite keemiliseks energiaks.

Ainete ringkäik tekkis evolutsiooniprotsessis elu eksisteerimise hädavajaliku tingimusena.

Kui organismide tegevusega esile kutsutud ainete liikumine toimub tsükliliselt ja neid aineid võib kasutada üha uuesti, siis energia vool selles protsessis on ühesuunaline. Organismid ainult

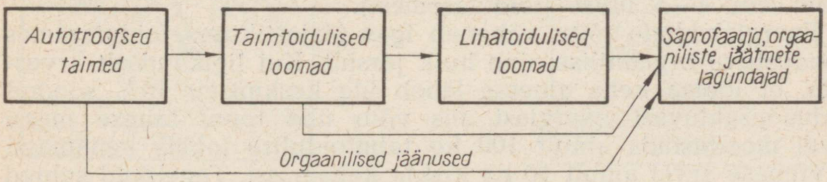
transformeerivad päikese kiirgusenergiat teistesse vormidesse — valgusenergiat keemiliseks, mehaaniliseks ja lõpuks soojusenergiaks. Vastavalt termodünaamika seadustele kaasneb selliste muundumistega alati energia hajumine soojuse näol, mis läheb edasisteks muundumisteks kaduma.

Ühepoolne ja ühesuunaline energiavool ning ainevahetus kujutavad endast kõige üldisemat tingimust, millel põhineb kõigi organismide talitlus looduses ja nende omavahelised suhted.

**Toitumisahelad.** Kui ainete ringkäigu üldine skeem on suhteliselt lihtne, siis tegelikes looduslikes tingimustes võib see protsess võtta väga keerulise kuju. Mitte ükski heterotroofne liik ei ole võimeline korraga lagundama taimede orgaanilist ainet mineraalseteks lõpp-produktideks. Iga liik kasutab ainult osa orgaanilises aines peituvast energiast, lagundades selle kindla staadiumini. Selle liigi jaoks kõlbmatuid, kuid veel energiarikkaid jäänuseid kasutavad teised organismid.

Nii on *evolutsiooniprotsessis kujunenud püsivad vastastikku seotud liikide ahelad, millesse kuuluvad liigid ammutavad järjestikuliselt materjali ja energiat lähtetoitainetest.*

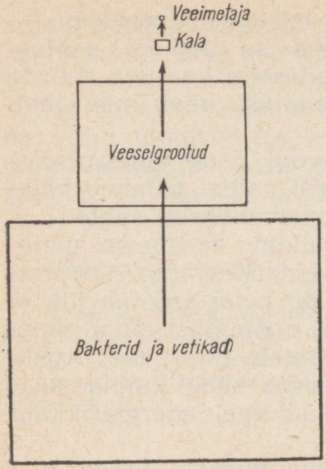
Toitumisahelate näiteid võib tuua kõikjalt. Kõige lihtsamat juhust võime jälgida siis, kui taimtoidulised loomad toituvad taimedest, nende loomade väljaheidetest ja jäänustest aga toituvad mitmesugused sõnniku- ja laibatoidulised putukad ja roiskbakterid. Looduslikus olukorras koosnevad aga ahelad suuremast arvust lülidest, kuna neisse lülituvad lihatoidulised loomad — kiskjad ja parasiidid. Toitumissuhteid ahelates teeb keeruliseks ka see, et liigid ei ole alati kitsalt kohastunud ühele toidutüübile, sageli võib kohata segatoidulisi liike, kes võivad toituda nii taimedest kui ka loomadest.




JOON. 158. Toitumisahela skeem.

Tuleb silmas pidada ka seda, et orgaanilised jäätmed moodustuvad kõigi ahela liikmete elutegevuse tulemusel. Toodud skeem (joon. 158) näitab seoseid organismide vahel toitumisahelas.

**Energiakaod toitumisahelates.** Kõik toitumisahelat moodustavad liigid eksisteerivad roheliste taimede poolt ehitatud orgaanilise aine arvel. Sealjuures kehtib tähtis seaduspärasus, mis on seotud energia muundumise ja kasutamise efektiivsusega toitumisprotsessis. Selle seaduse olemus on järgmine.




JOON. 159. Orgaanilise aine aastaproduktsioon Kaspia mere toitumisahelate põhilülides.

Ainult umbes 1% taimele langevast päikese kiirgusenergiast muundatakse sünteesitud orgaaniliste ainete keemiliste sidemete potentsiaalseks energiaks, mida võivad edaspidi toitumisel kasutada heterotroofsed organismid. Kui loom sööb taimset toitu, siis kasutatakse suurem osa toidus sisalduvast energiast mitmesugustele elutegevuse protsessidele, muutub sealjuures soojuseks ja hajub. Ainult 5—20% toidu energiast läheb üle looma keha uuesti sünteesitud ainetesse. Kui taimtoidulise looma sööb ära kiskja, siis läheb jällegi kaduma suurem osa toidus sisalduvast energiast. Selliste suurte kasuliku energia kadude tõttu ei saa toitumisahelad olla väga pikad; tavaliselt koosnevad nad mitte enam kui 4—5 lülist (toidutasemest).

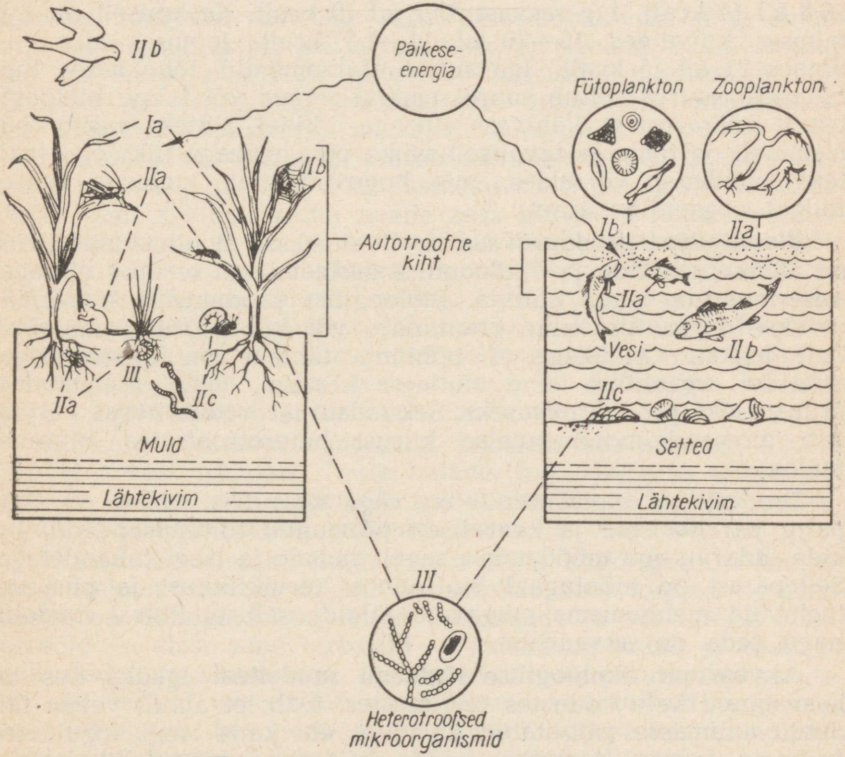
Energiakadude tõttu väheneb igas järjestikuses toidutasemes moodustuva orgaanilise aine hulk järsult. Kui ligikaudselt arvestada, et looma keha ainesse läheb üle keskmiselt 10% söödud toidus sisalduvast energiast, siis võib ühe tonni taimse massi arvel moodustada ainult 100 kg taimtoidulise looma kehamassi ja viimase arvel ainult 10 kg kiskja kehamassi. Tegelikud suhted võivad sellest erineda, kuna energia kasutegur ei ole eri liikide juures ühesugune. Kuid toitumisahela põhilüliks oleva taimse aine hulk on alati mitu korda suurem, kui taimtoiduliste loomade üldmass ning toitumisahela iga järgmise lüli mass väheneb samuti progresseeruvalt (joon. 159). Seda väga tähtsat seaduspärasust kutsutakse ökoloogilise püramiidi reegliks. See reegel määrab suurel määral erinevate loomaliikide isendite arvukuse suhted looduses.

**Biotsönoos.** Toitumisahelad on vastastikuste seoste aluseks elusas looduses. Nendes valitsevad keerulised omavahelised suhted püsivad eri liikidesse kuuluvate organismide mitmekülgse

kohastumise tõttu üksteisega ja eluta keskkonna ümbritsevate tingimustega.

Igas konkreetses kohas looduses koosnevad toitumisahelad oma liikide kompleksidest, mis moodustavad koos ümbritseva füüsikalise keskkonnaga isereguleeruva süsteemi, milles toimub ainete ringkäik. Selliseid *püsivaid ökoloogilisi süsteeme kutsutakse biotsönoosideks*. Mets, niit, veekogu koos nende elanikega, stepp ja teised looduslikud rühmitused kujutavad endast biotsönooside näiteid.

Kõigil biotsönoosidel on sarnane struktuur (joon. 160). Nende aluseks on rohelised taimed — elusa aine tootjad. Kindlasti kuuluvad biotsönoosi ka taimtoidulised ja lihatoidulised loomad kui elusa orgaanilise aine tarbijad ja lõpuks orgaaniliste jäänuste lagundajad, eeskätt mikroorganismid, kes viivad orgaanilise aine




JOON. 160. Maismaa- ja veebiotsönoosi üldise struktuuri võrdlus: 1 — taimed, mis toodavad orgaanilist ainet: a — kõrgemad taimed; b — vetikad; II — loomad — orgaanilise aine tarbijad: a — taimtoidulised; b — lihatoidulised; c — segatoidulised; III — mikroorganismid — orgaanilise aine lagundajad.

lagunemise lihtsate mineraalsete ühenditeni. Biotsönoosis on igaüks neist kolmest tähtsamast toidutasemest esindatud paljude liikidega.

Biotsönoosi koostise iseloomustamiseks ja selles toimuvate protsesside kvantitatiivseks analüüsiks on põhiline tähtsus järgmistel näitajatel.

*Liigirikkus* — taime- ja loomaliikide arv, mis moodustavad antud biotsönoosi ja sellesse kuuluvad toidutasemed.

*Liigi populatsioonide arvukus* — antud liigi isendite arv ühe pinnaühiku kohta.

*Biomass* — orgaanilise aine ja selles peituva energia üldhulk kõikides isendites, mis moodustavad üksikud liigipopulatsioonid, toidutaseme või kogu biotsönoosi. Biomassi väljendatakse tavaliselt kuivaine kaaluühikutes 1 ha kohta. Energeetiliste protsesside hindamiseks biotsönoosis on seda aga mugavam väljendada džaulides. Arvutustes lähtutakse järgmisest: 1 g süsivesikute või valkude täielikul oksüdeerumisel (põletamisel) saadakse umbes 16,8 kJ (4 kcal), 1 g rasvast 37,7 kJ (9 kcal). Keskmiselt on 1 g taimses kuivaines 16—20 kJ (4—4,5 kcal), loomses aines — umbes 21 kJ (5 kcal). Iga antud ajamomendil täheldatav liigi biomassi suurus sõltub suurel määral looma või taime bioloogilistest iseärasustest. Lühikese elueaga liikidel, näiteks mikroorganismidel, on biomass tavaliselt väike pika elueaga liikidega (näiteks puudega) võrreldes, mis koguvad oma kudedes suurel hulgal orgaanilist ainet.

*Bioloogiline produktiivsus*, s. t. biomassi moodustumiskiirus, on üksikute liikide ja ökoloogilise süsteemi kui terviku elutegevuse energia tähtis näitaja. Bioloogilist produktiivsust väljendatakse orgaanilise aine grammides või kilokalorites pinnaühikult aastal. On selge, et põhiline tähtsus on autotroofsete taimede orgaanilise aine sünteesi kiirusel, mida nimetatakse primaarseks produktiivsuseks. Sekundaarne produktiivsus väljendab biomassi moodustumise kiirust heterotroofsetes organismides.

Looduslikud biotsönoosid on väga keerulised. Neis on alati palju paralleelseid ja keeruliselt põimunud toitumisahelaid, liikide üldarvu aga mõõdetakse sageli sadade ja isegi tuhandetega. Sellepärast on mõningaid biotsönoosi terviklikkust ja püsivust toetavaid mehhanisme mugavam jälgida sellisel lihtsal mudelil, nagu seda on akvaarium.

**Akvaarium ökoloogilise süsteemi mudelina.** Igaüks, kes on kasvatanud kalu kodustes tingimustes, teab, et ainult veega täidetud anumasse paigutatud kalad ei ela kaua isegi regulaarse toitmise juures. Ainuüksi nende käitumine räägib tingimuste kiirest halvenemisest akvaariumis. Kalade hingamise tagajärjel tekkinud vees lahustunud hapniku defitsiit ja süsihappegaasi liig sunnivad kalu hoiduma veepinna lähedusse. Toidujääkide ja

kalade eritistega saastatud vesi muutub läbipaistmatuks ja hakkab roiskuma.

See näide illustreerib hästi tähtsat üldist seaduspärasust: organism, võttes keskkonnast temale vajalikke aineid ja eritades kahjulikke ainevahetuse produkte, halvendab paratamatult omaenese olelustingimusi, kui ei toimu pidevat vajalike ainete täiendamist ja kahjulike ainete eemaldamist.

Akvaariumi seisund muutub oluliselt siis, kui sellesse paigutada taimed. Kui kala on taimtoiduline, saame lihtsa ökoloogilise süsteemi, mille liikmed avaldavad üksteisele soodsat mõju.

Kalad toituvad taimede poolt sünteesitud orgaanilisest ainest, hingamisel neelavad $O_2$ ja eritavad taimedele vajalikku $CO_2$.

Taim neelab fotosünteesiprotsessis veest $CO_2$ ja eritab kalade hingamiseks vajalikku $O_2$.

Kuid selline elementaarne süsteem ei ole kuigi püsiv. Omastamata toidujäänuseid ja kalade eritisi ei saa taimed kasutada. Seetõttu tungivad süsteemi saprofüütsed bakterid ning mõnikord ka orgaanilistest jäätmetest toituvad seened. Nende massiline paljunemine kutsub esile vee hägusaks muutumise ning taimedele ja akvaariumi seintele tekib limane kile. See raskendab taimede fotosünteesi ja kalade hingamist.

Et kõrvaldada selliseid ebasoovitavaid nähtusi ja tõsta süsteemi püsivust, on vaja viia süsteemi sisse puuduvad toitumisahela lülid. Olulist kohta nende seas hõivavad bakteritest toituvad infusoorid ja samuti molluskid. Viimased toituvad bakterite limast, üherakulistest vetikatest ja mitmesugustest orgaanilistest jäätmetest ning puhastavad sellega taimi ja akvaariumi seinu, mille tulemusel vesi muutub läbipaistvaks. Kui vett mitte vahetada ja ära hoida vee saastumist tolmuga, siis kujuneb akvaariumis järk-järgult välja süsteem, mis on võimeline küllaltki kaua püsima suhtelise tasakaalu seisundis.

Näilisele lihtsusele vaatamata koosneb see süsteem küllalt suurest arvust liikidest. Peale kalade, molluskite ja kõrgemate taimede esineb siin vähemalt kaks-kolmkümmend liiki mikroorganisme: ainurakseid, vetikaid, seeni ja baktereid.

Akvaariumi elanike hulgas võib leida kõiki põhilisi biotsönoosi iseloomustavaid rühmi. Orgaanilise aine tootjad — autotroofid on esindatud kõrgemate veetaimede ja vetikatega. Heterotroofe — elusa aine tarbijaid — esindavad kalad ja osaliselt molluskid ning ainuraksed. Ja lõpuks, nende poolt juba kasutatud või surnud orgaanilist ainet lagundavad mõned seened ja rida baktereid, kes järk-järgult viivad selle aine ühenditeni, mida taimed saavad kasutada. Nii kujuneb akvaariumis teatud määral välja ainete ringkäik. Kuid ainete ringkäik akvaariumis on ebatäielik, nagu võime näha akvaariumi põhja alati kogunevate orgaaniliste jäätmete järgi.

Akvaariumis tuleb esile biotsönoosi tähtis omadus — iseregulatsioon. Akvaariumis elutsevad liigid ei hävita üksteist täielikult, vaid piiravad ainult vastastikku isendite arvukust. Põhiliselt kehtib see mikroorganismide suhtes. Arvukuse reguleerimise mehhanism seisneb järgmises. Orgaanilistel jäätmetel paljunevad bakterid. Nende arvu kasv loob soodsad tingimused infusooride kiireks paljunemiseks. Need hävitavad baktereid ja kui viimaseid jääb järele vähe, hakkab toidu vähesuse tõttu langema infusooride arvukus, mis lubab jällegi paljuneda baktereil. Sellised kõikumised korduvad katkematult ja neil on vahel väga regulaarne iseloom, nagu näiteks kinglooma ja tema toiduobjekti pärmseene arvukuse omavahel seotud kõikumistel (joon. 161). Paljudest komponentidest koosnevates keerulistes süsteemides tasanduvad tavaliselt üksikute liikide arvukuse kõikumised või muutuvad ebaregulaarseks.

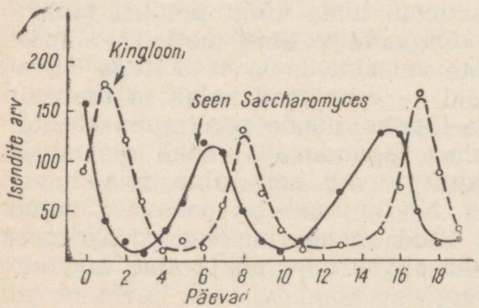
Nii toimub kooselutsevate liikide arvukuse reguleerimine ökoloogilises süsteemis «automaatselt», tagasiside printsiibil. Mida rohkem on liigid üksteisega kohastunud, seda püsivam on süsteem.

Et liigid võiksid üheskoos eksisteerida, peab röövlooma ja selle saagi paljunemiskiiruste vahel valitsema kindel suhe. Nii läheb näiteks akvaariumis tugeva valgustuse korral vesi sageli «õitsema», s. t. vetikad paljunevad liiga kiiresti ja teised organismid ei jõua neid hävitada. Vahel võib täheldada ka bakterite arvukuse järsku tõusu.

Akvaarium võib olla ka piiravate faktorite tähtsuse näiteks (lk. 296).

Isegi heas akvaariumis jääb ökoloogiline süsteem ebatäielikuks. Puudub enamikule kaladele vajalik loomne toit. Seda tuleb juurde anda vesikirpude, sääsevastsete või muu sööda kujul.

Miks ei õnnestu vesikirpe lülitada selle ökoloogilise süsteemi koostisse ja luua täielikku toitumisahelat, milles kalad oleksid pidevalt kindlustatud elusa söödaga? Põhiline häda on selles, et akvaariumi piiratud mahus hävitaksid kalad vesikirbud kiiremini, kui need paljuneda jõuaksid. Järelikult poleks toitumis-




JOON. 161. Kinglooma arvukuse kõikumiste sõltuvus toidu — pärmseente arvukusest.

ahelda põhilülid siin arvukuselt tasakaalus. Seepärast on akvaariumis toit alati kalade jaoks piirav tegur.

Kui sööta kalu piisavalt, siis hakkab antud akvaariumis olevate kalade üldarvu piirama juba teine tegur — hapniku hulk. Akvaariumi bioloogilist mahutavust võib suurendada veest õhu läbipuhumisega.

Öeldust nähtub, et hea ja püsiva akvaariumi loomine on küllalt keeruline bioloogiline ülesanne. Ei piisa kalade bioloogia tundmisest, tuleb veel mõista neid keerulisi suhteid erinevate organismide vahel, mis tekivad ökoloogilises süsteemis.

Akvaariumis toimuvate nähtustega tutvumine andis meile kujutluse ökoloogilisest süsteemist, mille üksikud elusad komponendid on omavahel seotud ja sõltuvad üksteisest ja ümbritsevatest eluta keskkonna tingimustest. Seega võime asuda palju keerulisemate ökoloogiliste süsteemide (biotsönooside) vaatlemisele, mis tekivad looduses.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Jutustage, mida kujutavad endast «toitumisahelad». Tooge näiteid. 2. Mis on «bioloogiline produktiivsus»? Illustreerige seda mõistet konkreetsete näidetega. 3. Mis on biotsönoos? Tooge näiteid looduslike biotsönooside kohta. 4. Kuidas reguleeritakse kooselutsevate liikide arvukust bioloogilistes süsteemides?

## 77. LOODUSLIKUD ÖKOLOOGILISED SÜSTEEMID

1. **Mageveekogu biotsönoos.** Iga looduslik veekogu, näiteks järv või tiik oma taimede ja loomadega kujutab endast iseseisvat ökoloogilist süsteemi ehk biotsönoosi. Sellel looduslikul süsteemil on palju täiuslikum iseregulatsioon ja võime katkematuks iseenda taastootmiseks. Looduslike veekogude biotsönoos on meie mudeliga võrreldes palju rikkam ja mitmekesisem.

Veekogu asustavad taime- ja loomaliigid on selles jaotunud ebaühtlaselt. Iga liiki võib kohata neis tingimustes, millega ta on kõige enam kohastunud. Seetõttu moodustuvad veekogu erinevates osades küllaltki püsivad ja nende jaoks iseloomulikud liigikompleksid — taime- ja loomakooslused, mille liikmed on omavahel seotud tihedamini kui teiste liikidega. Looduslikud ökoloogilised süsteemid koosnevad alati paljudest alluvatest liigirühmadest, mida võib nimetada teise astme biotsönoosideks. Kõige mitmekesisemad ja eluks soodsamad tingimused kujunevad kaldalähedases piirkonnas, kus vesi on soojem ja piisavalt küllastatud hapnikuga. Põhjani tungiva valguse küllus kindlustab paljude kõrgemate taimede arenemise, mis moodustavad sageli tihedaid kaldaäärseid tihnikuid. Arvukalt leiame ka väiksemaid vetikaid. Kaldaäärses piirkonnas elutseb enamik loomi. Ühed neist on kohastunud eluga veetaimedel. Teised ujuvad aktiivselt

veekihis, nagu kalad, rööveluviisiga veeputukad — ujurid ja vesilutikad. Paljud loomad elutsevad veekogu põhjas, nagu jõe- ja järvekarbid, mõnede putukate vastsed (puruvanad, kiilide ja kiilkärbseliste vastsed), rida ussiliike jt. Isegi veepind on spetsiaalselt kohastunud liikide elukohaks. Vaiksetes seisuveekogudes jooksevad veepinnal vesivaksikud ja kiiresti ringiujuvad kukrikud. Toiduküllus ja muud soodsad tingimused meelitavad kaldaäärsesse piirkonda kalu, kes nendes kohtades toituvad ja koevad.

Veekogu sügavates põhjakihtides, kuhu päikesevalgus peaaegu ei pääse, on elu palju vaesem ja ühekülgsem. Fotosünteesivaid taimi seal olla ei saa. Alumised veekihid jäävad nõrga segunemise tõttu külmadeks ja sisaldavad vähe hapnikku. Nende tingimustega on kohastunud vaid üksikud loomaliigid, põhiliselt väheharjasussid ja sääsevastsed, kes toituvad põhjamudas orgaanilistest jäätmetest ja mikrofloorast — bakteritest ja seentest.

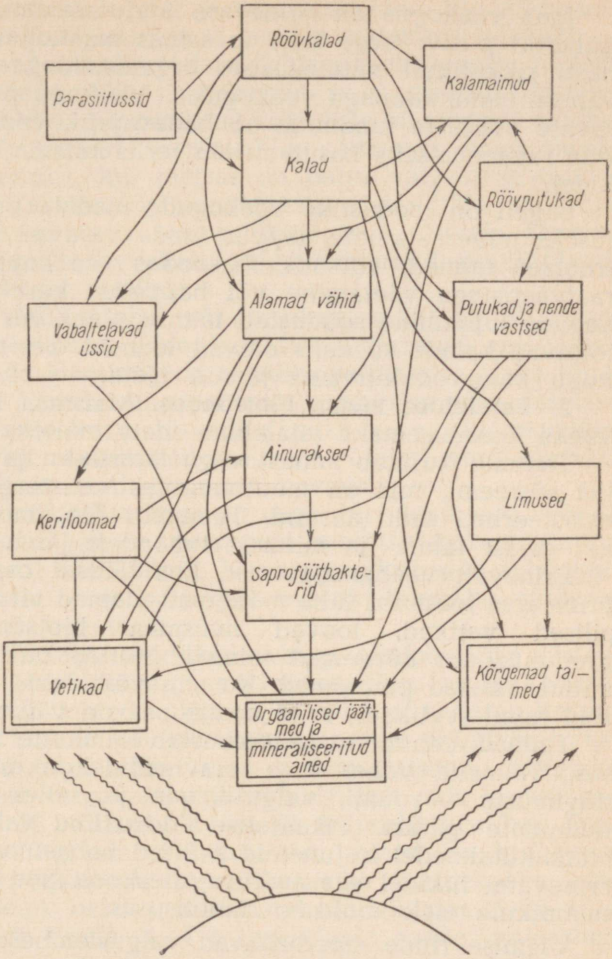
Erisugused tingimused kujunevad veekogu avavee kihtides. Seda näilikult puhast vett asustavad massiliselt pisikesed taim- ja loomorganismid, mis on koondunud ülemistesse, soojematesse ja valgusrikkamatesse veekihtidesse. Seal arenevad mitmesugused mikroskoopilised vetikad; vetikatest ja bakteritest toituvad arvukad kingloomad ning keriloomad. Rikkalikult on siin väikesi vähilaadseid. Kogu seda väikeste, vees hõljuvate organismide kompleksi nimetatakse *planktoniks* ehk *hõljumiks*.

Ainete ringkäigus ja veekogu elus kuulub planktonile väga tähtis osa ja sageli võib ta olla orgaanilise aine peamiseks tootjaks.

**Toitumissidemed ja regulatsioon.** Vaatame, mille arvel eksisteerib veekogu elanike süsteem ja kuidas tagatakse selle püsivus. Joon. 162 on näha, et kogu veekogu elanikkond on omavahel otseselt või kaudselt seotud vastastikuste toitumissuhetega.

Skeemil võib jälgida toitumisahelaid, mis koosnevad mitmest järjestikusest lülist. Nii näiteks toituvad taimejäätmetest ja neil arenevatest bakteritest ainuraksed, keda söövad pisivähilaadsed. Vähilaadsed omakorda on toiduks kaladele, kellest võivad toituda röövkalad. Selliseid ahelaid esineb palju. Iga toitumisahel veekogus algab alati kas autotroofsetest taimedest või orgaanilistest jäätmetest, mis lõppkokkuvõttes kujutavad endast samuti taimede elutegevuse tulemust.

Enamik liike toitub mitte ühte kindlat tüüpi toidust, vaid võib kasutada ka teisi, täiendavaid söötasid. Sellepärast on toitumisahelate vahel keerulised sidemed. Siit tuleneb tähtis üldjäreldus: kui üks või teine biotsönoosi liige langeb välja, siis süsteem ei lagune, kuna võetakse kasutusele teised toiduallikad. Selles seisneb üks looduslike biotsönooside püsivuse põhjustest. Mida liigirikkam on biotsönoos, seda püsivam peab ta olema.




JOON. 162. Põhiliste toitumisseoste skeem mageveebiotsönoosis. Nooled suunduvad tarbijalt toidule. Lainelised jooned allosas tähistavad päikeseenergiat.

Nagu igas ökoloogilises süsteemis, nii on ka veekogu biotsönoosis esialgseks energiaallikaks päikesevalgus, mille arvel taimed sünteesivad orgaanilist ainet. On selge, et kõigi veekogus elutsevate loomade biomass ja produktiivsus sõltub täielikult taimede bioloogilisest produktiivsusest. Mida suurem see on, seda suurem võib olla ka kõigi heterotroofsete liikide biomass. Seoses energia hajumisega toitumisahelates langeb liikide summaarne biomass iga järjestikulise toidutasemega vastavalt ökoloogilise püramiidi reeglile (lk. 314).

Igas veekogus on erinevate toidutasemete biomasside suhe küllaltki püsiv. Isegi ühes ja samas maakohas võib kohata niihästi rikkalikult mitmekesiste organismidega asustatud kui ka vähese elanikkonnaga veekogusid. Veekogu produktiivsust määravate põhjuste tundmine on hädavajalik veekogude biotsönooside ratsionaalseks kasutamiseks, eriti kalamajanduslikel eesmärkidel.

Sageli on looduslike veekogude madala produktiivsuse põhjuseks mineraalainete nappus, mida vajavad kasvamiseks autotroofsed taimed, või siis ebasoodus vee happesus (pH). Mineraalväetistega väetamine või happelise keskkonna korral veekogude lupjamine soodustab taimse planktoni arenemist, millest toituvad kalade söödaks olevad loomad. Sel teel õnnestub veekogu kalaproduktiivsust järsult tõsta.

2. **Laialehise metsa biotsönoos.** Maismaa biotsönoosidest on üheks keerulisemaks laialehine mets, näiteks tammik.

Tammik kujutab endast väga täiuslikku ja püsivat ökoloogilist süsteemi, mis on muutumatutes välistingimustes võimeline eksisteerima sadu aastaid. Tammiku biotsönoos koosneb enam kui sajast taime- ja mitmest tuhandest loomaliigist.

Erinevalt veebiotsönoosist, kus tähtsat osa orgaanilise aine primaarse tootmise lülis mängivad alamad taimed — mikroskoopilised vetikad, loovad maismaa biotsönooside põhilise produktsiooni kõrgemad taimed. Metsas on nendeks valdavalt mitmeaastased puutaimed. Ka siin võib leida alamaid autotroofseid taimi (vetikad), kuid nende osa on väike.

**Taimed.** Lehtmetsa iseloomustab taimkatte liigiline mitmekesisus. Taimede vahel käib teravnenud konkurents põhiliste elutingimuste — ruumi, valguse, vee ja selles lahustunud mineraalainete pärast. Pikaajalise loodusliku valiku tulemusel on tammikutaimedel kujunenud sellised kohastumused, mis lubavad erinevatel liikidel eksisteerida üheskoos. See väljendub selgesti tammikule iseloomulikus rindelisuses.

Ülemise rinde moodustavad valguslembesed puud — tamm, saar, pärn. Allpool leiame nendega kaasnevad, kuid vähem valguslembesed puuliigid — vahtra, õunapuu, pirnipuu jt. Veel allpool on võsarinne, mille moodustavad erinevad põõsastaimed — sarapuu, kikkapuu, paakspuu, lodjapuu, toomingas ja teised. Kõige all paikneb rohurinne.

Mida madalam on rinne, seda vähem valguslembesed on rinnet moodustavad taimed, s. t. nad on võimelised fotosünteesima valguse väiksema intensiivsuse juures. Mõned metsa liigid on varjus kasvamisega sedavõrd kohanenud, et ei saagi kasvada lagedal kohal.

Rindelisus väljendub ka juurestike paigutuses ning on nagu maapealsete osade rindelisuse peegelpildiks. Ülemiste rinnete puudel on kõige sügavam juurestik, mis annab võimaluse kasu-

tada sügavate mullakihtide vett ja mineraalaineid. Pinnalähedase juurestikuga rohttaimed kasutavad suviste sademete niiskust.

Valgustingimused vahelduvad laialehises metsas aasta jooksul järsult. Seoses sellega võib rohttaimede seast eraldada tammikule väga iseloomuliku, niinimetatud kevadiste efemeeride rühma. Sellesse kuuluvad taimed arenevad ja õitsevad enne puude lehepungade avanemist, kui metsas on palju valgust ja mullas piisavalt niiskust. Varakevadel areneb kiiresti kuldtähe, siniliilia, lõokannuse, kanakoolme ja teiste lillede vaip. Nende kirevad õied meelitavad juurde arvukalt valguslembeseid putuktolmeldajaid — kimalasi ja mesilasi.

Kõigil efemeeridel on sibul või juurikas, milles peitub toitainete varu. See kindlustab kiire kevadise arenemise, mis algab veel lume all. Puude lehepungade täieliku puhkemise ajaks jõuavad efemeerid ära õitseda ning peale selle koguda maa-alustesse osadesse ka toitainete varu. Kevade lõpuks kuivavad enamikul efemeeridel ära kõik maapealsed osad, maa-alused osad aga jäävad puhkeseisundisse kuni järgmise kevadeni.

Tammikute suvised rohttaimed on väga varjulembesed. Nende õied on enamasti valged ja paistavad seetõttu tolmeldajatele metsa tumedal foonil hästi silma. Kuna aga aktiivseid tolmeldajaid on metsas vähe, siis paljuneb enamik tammiku suviseid rohttaimi peamiselt vegetatiivselt.

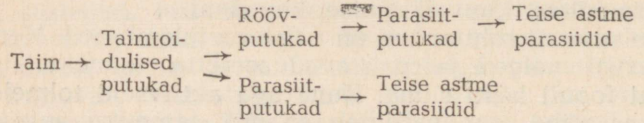
Tammik kuulub kõrge produktiivsusega ökoloogiliste süsteemide hulka. Tema keerulise mitmerindelisuse tõttu on igal hektaril kasvavate taimede lehtede üldpind 4—6 ha, s. t. katab kasvuala mitmekordselt. Selline võimas sünteesiaparaat püüab ja transformeerib toodetud orgaanilise aine potentsiaalseks energiaks umbes 1% aastasest langevast päikesekiirgusest, mis keskmistes laiustes on umbes 38 miljardit kJ/ha (9 miljardit kcal/ha). Peaaegu poole sünteesitud ainest kulutavad taimed ise hingamisprotsessis. Puhasproduktsioon orgaanilise aine juurdekasvu näol taimede maapealsetes osades moodustab kuivkaalus 5—6 t/ha aastas. Sellele tuleb lisada 3—4 t maa-aluste osade iga-aastast juurdekasvu.

Järelikult moodustab primaarne produktsioon peaaegu 10 t/ha aastas. Tunduv osa sellest massist kulub lehtede ja muude igal aastal uuenduvate taimeosade — õite, viljade jms. moodustamiseks (kuni 4 t). Umbes 30% maapealsete osade produktsioonist moodustab puit. Puidu juurdekasvu võib jälgida tüvede aastarõngaste järgi. Paljude aastate jooksul kogunenud puitaine moodustab metsa biomassi põhiosa. Järgmised arvud näitavad maapealse biomassi jaotumist 1 ha metsapinna kohta:

| | |
|---|---|
| Puutaimede lehed | 4 t |
| oksad | 30 t |
| tüved | 240 t |
| Rohttaimed | 1 t |

**Loomad ja toitumisahelad tammikus.** Taimede rikkalikkus ja mitmekesisus ning nende poolt toodetava toiduks kõlbliku orgaanilise aine tohutu hulk põhjustab seda, et tammikus on kujunenud arvukate loomariiki kuuluvate tarbijate hulk alates ainuraksetest ja lõpetades kõrgemate selgroogsete — lindude ja imetajatega. Kõige mitmekesisemad on siin lülijalgsed, eriti putukad. Selle põhjuseks on viimaste hea kohastumine kõige erinevamate elupaikadega ja selliste toiduallikate kasutamine, mis teistele organismidele on sageli vähekõlblikud.

Taimtoidulised putukad on toiduks arvukatele röövputukatele, ämblikulaadsetele ja teistele lülijalgsetele. Esineb ka rikkalik parasiitputukate fauna, kelle hulka kuuluvad peamiselt käguvaablased ja röövikukiinid. Arvukalt on ka teise astme parasiite — liike, mis arenevad parasiitidel. Nii võib selles rühmas jälgida pikki, 4—5 lülist koosnevaid toitumisahelaid:




Keerulised toitumisahelad tekivad ka teistes loomarühmades. Nii on putukad põhitoiduks putuktoidulistele lindudele, kelle hulka kuuluvad lehelinnud, põõsalinnud, tihased, rähnid ja käod. Neist toituvad röövlinnud, nagu pistrikud ja kullid. Imetajate seas moodustavad toitumisahela näiteks taimtoidulised hiirelaadsed närilised ja jänesed ning sõralised, kelle arvel elavad kiskjalised — nirk, kärp, nugis, rebane ja hunt. Kõik selgroogsete liigid on elukeskkonnaks ja toiduallikaks mitmesugustele ektoparasiitidele, peamiselt putukatele ja puukidele, ning samuti siseparasiitidele, nagu ussid, ainuraksed ja bakterid.

Vastavalt üldisele energia hajumise seaduspärasusele väheneb toodetava biomassi hulk järsult igas järgmises toitumisahela lülis. Kuna aga röövlooma kehamõõtmed on tavaliselt suuremad kui saaklooma omad, siis väheneb röövloomade arv loomtoiduliste ahelas veel kiiremini. Seda võib näha järgmistest andmetest. Ühel hektaril metsapinnal elutseb miljoneid taimtoidulisi putukaid. Putuktoidulisi linde elutseb seal keskmiselt 20—30 paari, röövlinde aga alla ühe paari.

Toitumisahelad on metsas põimunud väga keeruliseks toitumisvõrguks, sellepärast ei kahjusta mingi ühe loomaliigi väljalangemine tavaliselt oluliselt kogu süsteemi. Erinevad loomarühmad ei ole biotsönoosis ühesuguse tähtsusega. Nii näiteks oleks enamikus meie tammikutest kõigi suurte taimtoiduliste sõraliste — piisonite, hirvede, metskitsede ja põtrade kadumine nõrgalt pee-

geldunud üldisel ökosüsteemil, kuna nende arvukus ja järelikult ka biomass ei olnud kunagi suur ega mänginud olulist osa üldises ainete ringkäigus. Kui aga oleksid kadunud taimtoidulised putukad, oleksid tulemused kujunenud väga tõsisteks, kuna putukad täidavad biotsönoosis tähtsat funktsiooni tolmeldajatena, võtavad osa langenud lehtede lagundamisest ja on paljude toitumisahelate eksisteerimise aluseks.

**Iseregulatsioon metsa biotsönoosis.** Metsas on loomaliikide — tarbijate arv väga palju suurem kui taimeliikide arv, mille arvel nad eksisteerivad. Sellest sõltuvalt on loomade summaarne biomass ebaproportsionaalselt väike. Järgmised arvud annavad ettekujutuse põhiliste selgroogsete loomade keskmisest biomassist Euroopa looduskaitsealade metsades:

| | |
|---|---|
| Sõralised (hirv, metskits, metssiga) . . . . . | 2 kg/ha |
| Närilised ja teised pisiimetajad . . . . . | 5 kg/ha |
| Linnud . . . . . | 1—3 kg/ha |

Kõigi selgroogsete loomade biomassi võib hinnata umbes 10 kg/ha-lt. Selle biomassi säilitamiseks kasutavad loomad tühist osa taimsest lähteproduktsioonist. Taimtoiduliste selgrootute biomass on suurem kui metsloomade ja lindude oma, kuid ka nemad ei hävita rohkem kui 10—20% taimede iga-aastasest juurdekasvust.

Selline taimede kui elusa orgaanilise aine tootjate ja loomade kui selle tarbijate biomasside suhe ei ole juhuslik, vaid peegeldab metsa biotsönoosi väga tähtsat seaduspärasust. Seda suhet hoiab automaatselt toimiv mehhanism, mis reguleerib liigipopulatsioonide arvukust biotsönoosis. Ilma selleta ei saaks biotsönoos eksisteerida.

Nagu teisteski ökoloogilistes süsteemides, nii väljendub ka tammiku isereguleerimise protsess selles, et kogu mitmekesine metsaelanikkond eksisteerib üheskoos, ei hävita üksteist täielikult, vaid piirab iga liigi isendite arvukust kindla tasemega. Järgmisest näitest võib näha, kui suur on metsa elus sellise automaatse arvukuse reguleerimise tähtsus.

Tammelehtedest toitub paarsada putukaliiki, kuid normaalsetes tingimustes on iga liik esindatud niivõrd väikese arvu isenditega, et isegi nende ühine tegevus ei kahjusta oluliselt ei puud ega metsa. Samal ajal on aga kõik putukad suure sigivusega. Üks emasloom muneb harva alla 100 muna, mõned aga, nagu paaritukedrik 500 ja isegi kuni 1000 muna. Paljud liigid võivad suve jooksul anda 2—3 põlvkonda. Järelikult kasvaks piiravate tegurite puudumisel ükskõik millise putukaliigi arvukus väga kiiresti ja viiks ökoloogilise süsteemi purunemiseni.

Kuna normaalsetes tingimustes ükskõik millise taimtoidulise liigi arvukus kõigub üsna vähestes piirides mingi keskmise taseme ümber, siis on ilmne, et igas põlvkonnas elab iga paari

järglastest üle keskmiselt hulk, mis võrdub vanemate arvuga, s. t. ainult kaks isendit, ülejäänud aga hukkuvad. Millised põhjused kutsuvad esile nii suure hävimise? Ilmselt ei ole tegemist toidupuudusega, kuna osa toitu jääb söömata. Vaatlused näitavad, et teatud osa järglasi hukkub mitmesuguste ebasoodsate ilmastikutingimuste toimel. Põhimassi aga hävitavad teised biotsönoosi liikmed: rööv- ja parasiitputukad, linnud, tõvestavad mikroorganismid.

Selline intensiivne hävitamine kindlustab lõpptulemusena erinevate looma- ja taimeliikide kooseksisteerimise biotsönoosis, kuna muidu oleksid ülemäärase paljunemise tulemusel toiduallikad peatselt ammendatud. Intensiivne hävitamine viib üheaegselt eluvõimelisemate isendite valikule ja hoiab ning täiustab sel teel liigi kohastumist antud keskkonnatingimustele.

Ökoloogilise süsteemi piirav toime ei väldi ikkagi täiel määral kahjurite masspaljunemise juhuseid. Aeg-ajalt ilmuvad mõned putukaliigid, nagu näiteks paaritukedrik, lainelane või mõni mähkur sellises hulgas, et hävitavad puulehed täielikult.

**Orgaaniliste jäätmete mineraliseerumine.** Väga suur tähtsus on metsa elus kuivanud lehtedel, puidu, loomade jäänuste ja nende elutegevuse produktide massi lagundamise ja mineraliseerimise protsessidel.

Iga-aastasest taimede maapealsete osade biomassi juurdekasvust sureb umbes 3—4 t/ha loomulikel põhjustel ja variseb maha, moodustades metsa kõdukihi. Küllaltki suure massiga on ka taimede surnud maa-alused osad. Varisenud lehtedega tagastatakse mulda suur osa taimede poolt tarvitatud mineraalaineid ja lämmastikku. Langenud lehed ja loomajäänused sisaldavad energiarikkaid orgaanilisi aineid. Sellepärast on nendest toitumisele kohastunud arvukad looma- ja saprofüütsete mikroorganismide liigid.

Loomajäänused hävitatakse kiiresti röövloomade, raisamardikate, raipekärbeste ja teiste putukate poolt ning samuti roisubakterite tegevuse tulemusel. Raskem on lagundada tselluloosi ja teisi tugevaid ühendeid, millest suurel määral koosnevad mahalangenud puud. Kuid ka neist toitub rida organisme, kellel on spetsiaalsed fermendid, mis hüdrolüüsivad neid aineid kergesti omastatavateks suhkruteks.

Arvukate putukate ja teiste lülijalgsete, vihmausside, alamate seente ja rea bakterite järjestikune tegevus viib orgaaniliste jääkide peaaegu täielikule hapendumisele, kusjuures moodustub suurel hulgal süsihappegaasi, vett ja mulda sattuvaid mineraalaineid.

Kui võrrelda orgaanilise aine esialgse produktsiooni kasutamist erinevatel toidutasemetel, võib kergesti avastada veel ühe olulise biotsönoosi iseärasuse. Seni, kuni sünteesitud aine on elusates taimekudedes, kasutavad heterotroofid seda väga piiratud

ulatuses. Kui aga taimed hukkuvad, kasutatakse nende mass lagundajate poolt täiel määral ära. Seetõttu ei saa ka imeks panna, et vähe silmapaistvate mullakihi loomade biomass, kes toituvad maha langenud lehtedest, on metsas mitu korda suurem kui taimtoiduliste liikide biomass. Suurema osa biomassist moodustavad vihmaussid, kes teevad ära tohutu töö orgaaniliste ainete lagundamisel ja ümberpaigutamisel mullas. Putukate, ämblikulaadsete, usside ja teiste selgrootute isendite üldarv ulatub kümnetesse ning isegi sadadesse miljonitesse ühe hektari kohta. Taimejäänuste lagundamisel on erakordselt suur osa bakteritel ja alamatel saprofüütseentel. Kogu lagundajate kompleksi tegevuse tulemusel kujuneb tammikus välja sellele biotsönoosile iseloomulik mullatüüp — hallid metsamullad.

Üldiselt saab metsa biotsönoosis selgesti jälgida ainete ringkäigu ja energia liikumise põhietappe. See protsess algab taimede fotosünteetilise tegevusega. Osa nende orgaanilisest ainest kasutatakse veel elusana ära taimtoiduliste loomade poolt ning antakse üle teistele toitumisahelate lülidele. Teine osa taimsest ainest elab oma aja üle ja moodustab koos loomade jäänustega kõdu, mis mineraliseeritakse kõdukihi ja mulla elanike poolt süsihappe, vee ja taimedele omastamiseks kõlblike mineraalsooladeni. Kasutamata orgaanilisi jääke tammikus peaaegu ei kogune. Nägime, et ainete ringkäik metsas on väga täielik. Selles ongi metsa biotsönoosi suure püsivuse peamine põhjus.

Päikeseenergiat kasutav metsa biotsönoos on orgaanilise toormaterjali allikana põhimõtteliselt ammendamatu. Seetõttu on mõistetav see suur huvi, mida osutatakse metsa, tema kaitse, taastumise ja ratsionaalse kasutamise probleemidele. Õigetel alustel olev metsamajandus, mis arvestab metsa kui keerulise ökoloogilise süsteemi iseärasusi, lubab metsamassiive pika aja vältel ilma neid hävitamata ekspluateerida ning isegi tõsta majanduslikult kasuliku produktsiooni hulka.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Mis on veekogude bioloogilise produktiivsuse muutumise peamised põhjused? 2. Milles on metsabiotsönooside püsivuse põhjused (ainete ringkäik, süsteemi isereguleerimine)? 3. Jutustage mõnest põhilisest toitumisahelast mageveekogu biotsönoosis. 4. Jutustage mõnest põhilisest toitumisahelast tammiku biotsönoosis. 5. Milles väljenduvad iseregulatsiooniprotsessid tammiku biotsönoosis?

## 78. BIOTSÖNOOSIDES TOIMUVAD MUUTUSED

Kuigi biotsönoos kujutab endast isereguleerivat süsteemi, mis püüdleb püsivale olekule, ei saavuta ta seda kunagi täielikult. Püsiva oleku saavutamist takistavad pidevad välistingimuste (näiteks klimaatiliste) kõikumised ning samuti biotsönoosi moodustavate organismide elutegevuse tagajärjel tekkivad muutused. Peatuksime siinkohal kahel biotsönoosi muutlikkuse väljendumise vormil: üksikute liikide arvukuse muutlikkusel ja biotsönooside endi muutustel.

**Arvukuse kõikumised.** Ükskõik millise looma- või taimeliigi populatsiooni arvukuse kõikumised kujutavad endast sündivuse ja surevuse vahet. Sündivuse tõus võib kutsuda esile samasuguse populatsiooni suurenemise kui hukkunute arvu vähenemine. Looduses sõltuvad mõlemad näitajad paljudest ökoloogilistest teguritest, mis sageli toimivad vastupidistes suundades. Sellepärast kõigub liigi arvukus alati mingil määral. Eriti selgesti on arvukuse kõikumised väljendunud loomapopulatsioonides. Erinevate liikide vastastikuste kohastumiste tulemusel kujuneb biotsönoosis teatud igale liigile iseloomulik arvukuse kõikumiste tase. Mõnede liikide kõikumised on väikesed, teistel liikidel aga tunduvad ja antud aastal haruldane liik võib teisel aastal muutuda tavaliseks. Arvukuse kõikumist esilekutsuvate põhjuste tundmine on eriti tähtis kasulike ja kahjulike loomade suhtes.

Selleks et teha kindlaks arvukuse kõikumise vahetuid põhjusi, tuleb tunda üksikasjalikult meid huvitava liigi ja selle vaenlaste bioloogiat. Tuleb teada erinevate ökoloogiliste tegurite mõju iseärasusi antud liigile ja lõpuks veel nende tegurite muutlikkust. Selliseid andmeid võrreldes võib avastada selle keskkonnateguri, mis kõige sagedamini ja tugevamini kaldub kõrvale liigi jaoks optimaalsest väärtusest ja järelikult piirab populatsiooni arvukust.

Vaatleme mõningaid näiteid. Paljude loomaliikide arvukus sõltub toiduhulga muutustest. Selline seos on eriti märgatav kitsalt kindla toiduga kohastunud liikidel. Orav toitub peaasjalikult okaspuude seemnetest ning seetõttu sõltub tema arvukus tugevasti käbide saagist. Toit on põhiliseks piiravaks teguriks ka röövloomade juures.

Vaatleme valgejänese ja ilvese arvukuse vastastikku seotud kõikumisi Komi ANSV-s. Jäneste arvu suurenemisele järgneb ka ilveste arvu tõus. Samasugust sõltuvust saakloomade arvust võib jälgida ka rebase, röövlindude ja paljude teiste kiskjate juures. Kuid kaugeltki alati ei ole toidu hulk liigi arvukuse kõikumise peamine põhjus. Nii võivad jänesed toituda erinevatest taimedest ning kannatavad sellepärast harva toidupuuduse all. Nende arvukuse määrab peaasjalikult röövloomade ja parasiitide tegevus. Samal ajal loob jäneste ülemäärane paljunemine tingi-

mused, mis soodustavad nende seas mitmesuguste bakterite, ainuraksete ja parasiitusside poolt esilekutsutavate nakkushaiguste levikut. Selle tulemusel võib nende näriliste arvukuse tunduvale tõusule sageli järgneda nende peaaegu täielik hukkumine.

Taimtoiduliste putukate paljunemist pidurdavad samuti põhiliselt röövloomad, parasiidid ja tõvestavad mikroorganismid. Kui aga normaalsed suhted taimtoiduliste putukate ja nende vaenlaste vahel saavad rikutud, võib esimeste arvukus tõusta kümneid ja sadu kordi.

Kahjurputukate masspaljunemised teevad eriti suurt kahju põllumajandusele. Selliseid puhanguid esineb aga sageli ka looduslikes biotsönoosides. Nii kannatavad mitmesuguste putukate paljunemise all eriti metsad. Kahjurite puhangulise paljunemise tugevus võib olla erinev ja see ei kesta tavaliselt kaua. Pärast maksimumi saavutamist langeb kahjuri arvukus väga kiiresti, Arvukuse langemise põhjused on enamikul kahjuritel ühesugused ja seisnevad röövloomade ja parasiitide kiirenenud paljunemises ning samuti mitmesuguste viirus-, bakteriaalsete ja seenhaiguste ilmumises. Nende bioloogiliste faktorite toimega liitub massilisel paljunemisel tekkiv toidupuudus.

Raskem on määrata intensiivse paljunemise puhanguid esilekutsuvaid põhjusi. Tavaliselt on need seoses ilmastikutingimuste otsese või kaudse mõjuga. Näiteks esinevad seedrikedriku masspaljunemised, mis ulatuvad mõnikord okasmetsades miljonitele hektaritele, tavaliselt pärast kuivi ja sooje aastaid.

Väga suur mõju liikide suhetele biotsönoosis on inimese tegevusel. On üldiselt teada, et kitsendusteta jahipidamine viis kohati paljude hinnaliste ulukloomade ja -lindude peaaegu täielikule hävitamisele. Näiteks võib tuua kopraid, sõralisi, veelinde ja teisi. Vahel võib aga inimese tegevus viia ka kahjurliikide kiirendatud paljunemisele. Nii hakati viimaste aastakümnete jooksul kahjurputukate vastu laialdaselt kasutama klooorgaanilisi insektitsiide — DDT-d, heksakloraani jne. Varsti selgus, et peale kahjurputukate hävitavad need mürgid ka enamiku rööv- ja parasiitloomi. Samal ajal aga mõned mürkidele vastupidavad taimemahladest toituvad putukad ja taimtoidulised lestalised, kelle arvukust varemini piirasid röövloomad, hakkasid kiiresti paljunema ja tekitama suuri kahjustusi. Selliseid «uusi» kahjureid tuntakse praegu juba mitukümmend liiki. Nende vastu võitlemiseks tuleb kasutada kalleid ja keerulisi meetodeid.

Biotsönoosi erinevate organismide arvukuse dünaamika ja seda määravate tingimuste uurimine on vajalik selleks, et ennustada ja ennetada kahjulike liikide massilist paljunemist. See on üks ökoloogia tähtsatest ülesannetest.

**Biotsönooside vahetumine.** Biotsönoosi kuuluvate organismide elutegevus muudab järk-järgult ja pidevalt elutingimusi — mulda, veerežiimi, mikrokliimat jne. Tekkivad muutused mõju-

vad ökoloogilise süsteemi elusatele elementidele, piiravad ja suruvad välja ühtesid taime- ja loomaliike ja soodustavad teiste arenemist. See viib biotsönoosi järkjärgulisele ümberkujunemisele ja asendumisele teisega. Järelikult areneb ja evolutsioneerub iga biotsönoos. Sellele protsessile avaldavad tugevat toimet välismõjutused, nagu näiteks kliima üldine muutumine või inimese vahelesegamine oma majandusliku tegevusega.

Biotsönooside vahetumises on juhtiv osa taimedel, kuid nende tegevust ei saa lahutada süsteemi ülejäänud liikmete tegevusest ning biotsönoos elab ning muutub alati ühtse tervikuna. Biotsönooside loomulike vahetuste seaduspärasuste ja suundade tundmine on vajalik mitte ainult meid ümbritseva looduse mitmekesisuse mõistmiseks, vaid ka nende protsesside juhtimiseks, eesmärgiga saada kõige tootlikumaid ja inimesele kasulikumaid ökoloogilisi süsteeme.

Uurimused näitasid, et vahetumine on kindlasuunaline ning et erinevate biotsönooside kestus on väga erisugune. Mida täielikum on ainete ringkäik biotsönoosis, seda püsivam ja pikaajalisem on biotsönoos. Looduses toimub biotsönooside vahetumine suunaga vähempüsivatelt enampüsivatele.

Vaatleksime mõningaid loodusliku biotsönooside vahetuse tüüpe.

Ebapiisavalt tasakaalustatud süsteemi muutumise näiteks võib olla veekogu kinnikasvamine. Eespool nägime (lk. 320), et hapnikupuuduse tagajärjel vee põhjakihtides jääb osa orgaanilist ainet hapendamata ning langeb välja edasisest ainete ringkäigust. Planktoni jäätmed setivad sügavates kohtades põhja ning moodustavad peeneteralise nn. sapropeelmuda. Kaldaäärses tsoonis kogunevad veetaimede jäätmed, mis moodustavad turbasetted. Selle tagajärjel jääb veekogu paratamatult madalamaks, mida soodustab samuti vooluvetega kaasatoodud savi ja liiva ladestumine. Sel määral, kuidas veekogu sügavad osad täituvad mudaga, nihkuvad kaldaäärsed veetaimed üha edasi veekogu keskosa poole ja muda peale moodustuvad turbakihid. Järkjärgult järv soostub. Sealjuures muutub tugevasti biotsönoosi liigiline koostis. Kaovad kalad ja avaveealade plankton, paljud taimed ja loomad asenduvad teiste liikidega, mis on rohkem kohastunud sootingimustega. Ümbritsev maismaa taimkate katab järk-järgult endise veekogu. Sõltuvalt kohalikest tingimustest võib siin tekkida tarnaniit, mets või mõni muu biotsönoos.

Mõned püsivad biotsönoosid on taastumisvõimelised. Taastumine toimub etappide kaupa. Näiteks võib tuua reeglipärase biotsönooside vahetumise kuusiku taastumisel. Pärast maharaiumist või tulekahju muutuvad kuusiku asukoha tingimused sedavõrd, et kuused ei suuda uuesti asustada vabanenud pinda. Avatud kohtades kahjustavad kuusetõusmeid hiliskevadised öökülmad, suvel kuumendab neid liigselt päike ning nad ei suuda

konkureerida valguslembeste taimedega. Esimese 1—2 aasta jooksul kasvavad raiesmikel ja põlendikel tormiliselt rohttaimed — põdrakanep, metskastik ja teised. Varsti ilmuvad arvukad kase-, haava- ning vahel ka männitõusmed. Nende liikide seemneid levitab tuul. Need tõrjuvad välja rohttaimed ja moodustavad järk-järgult lehtmetsa või männiku. Alles nüüd kujunevad kuusiku taastumist soodustavad tingimused. Varjulembesed kuusetõusmed konkureerivad edukalt valguslembeste lehtpuuliikide alavõsaga. Kui kuusk jõuab ülemise rindeni, tõrjub ta lehtpuuliigid täielikult välja. Nii taastub rea ajutiste biotsönooside järel kuusiku lähtebiotsönoos. See protsess kestab enam kui sada aastat, kusjuures iga järgmine biotsönoos on eelnevast pikemaealisem.

Biotsönooside vahetumine on väga levinud nähtus ja on üheks biotsönoosi loodusliku mitmekesisuse põhjuseks. Looduslikes tingimustes lõpevad sellised vahetused alati pikaajaliste biotsönooside moodustumisega, mis kõige paremini vastavad antud füüsikalis-geograafilistele tingimustele. Selliseid biotsönoose nimetatakse põhilisteks. Inimese vahelesegamine võib muuta looduslikke vahetusi või pidurdada nende arenemist siis, kui biotsönoos on majanduslikult kõige väärtuslikumas staadiumis.

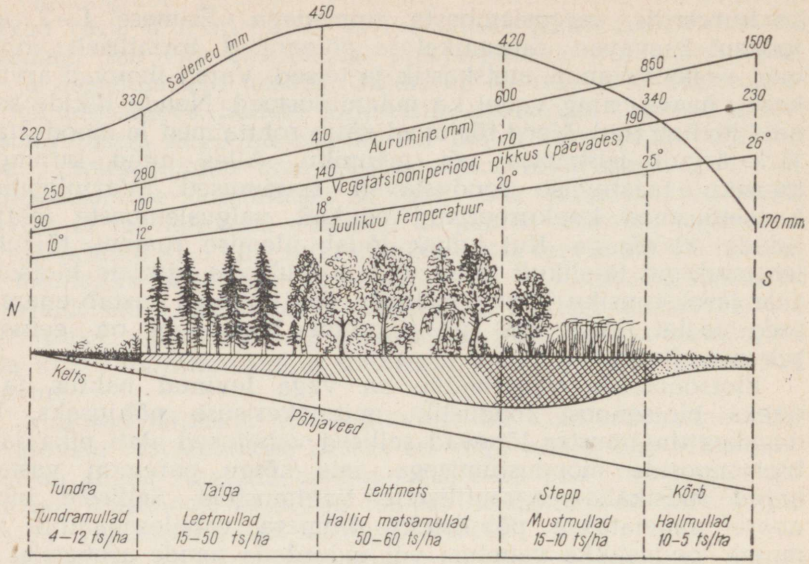
**Biotsönooside geograafiline tsonaalsus.** Erinevad biotsönooside tüübid tulevad selgelt esile ökoloogiliste süsteemide geograafilises tsonaalsuses.

NSV Liidu territooriumil esineb järjestusega põhjast lõunasse rida looduslikke vööndeid: tundra-, taiga-, lehtmetsade, stepi- ja kõrbevöönd. Iga vööndit iseloomustavad põhiliste biotsönooside valdavad tüübid. Tsonaalsed muutused tulevad kõige selgemini esile taimestikus kui biotsönoosi juhtivas komponendis. Neid saadavad samuti tugevad muutused taimtoiduliste loomade ja orgaanilist ainet lagundavate organismide liigilises koostises. Geograafiliste vööndite muutub ka muld — ökoloogilise süsteemi tähtis koostisosa ja süsteemi tegevuse tulemus.

Ökoloogiliste süsteemide tsonaalsust määravate kliimaelementide seas kuulub juhtiv osa temperatuurile, niiskusele ja valgusrežiimile. Joonisel 163 on skemaatiliselt kujutatud biotsönooside tsonaalsete tüüpide sõltuvus temperatuurist ja niiskusest.

Kaug-Põhjas, tundravööndis, on elutingimused väga karmid. Vegetatsiooniperiood ei kesta üle kahe-kolme kuu. Juulikuu keskmine temperatuur on alla 10—12 °C. Mullapind sulab õhukese kihina, mille all säilib igikelts. Nõrga aurustumise tõttu tekib isegi väheste sademete korral (alla 300 mm) sageli soostumine. Elu tundras on koondunud kõige soojemasse pindmisse mullakihti.

Nende karmide tingimustega on suutnud kohastuda vähe organisme, kes moodustavad omapäraseid liigivaeseid biotsö-




JOON. 163. Biotsönooside tsonaalsete tüüpide ja klimaatiliste tingimuste muutumise skeem.

noose. Taimkatet esindavad samblikud, samblad, madalakasvulised mitmeaastased heintaimed ja lamavate vartega põõsastaimed. Taimede produktiivsus tundrabiotsönoosides on väga madal — alla 10 ts/ha aastas. Sellepärast on suhteliselt vaene ka loomastik. Orgaaniliste jäänuste lagundamine mikroorganismide poolt on madala temperatuuri tõttu väga aeglane ja mullad nõrgalt arenenud.

Lõuna pool, kus suvi on pikem ja soojem ning muld sulab täielikult või suure sügavuseni, levib laialdane taigavöönd, mille valdavate biotsönooside aluseks on okaspuud — kuusk, nulg, siberi seedermänd ja Ida-Siberi kontinentaalsetes tingimustes ka lehis. Okasmets saab kasvada ainult rikkaliku niiskuse, jaheda suve (juuli temperatuur 15—19°) ja külma, lumerohke talvega piirkondades. Taimkatte produktiivsus taigabiotsönoosides on üsna kõrge, keskmiselt 30—40 ts/ha. Taigas kujuneb välja rikkalik ja väga iseloomulik loomastik. Okasmetsades moodustuvad leetmullad, mis on struktuuritud, hapud ja huumusevaesed. Õige ekspluateerimise korral võivad rikkad taigabiotsönoosid olla puidu, karusnaha ja rea teiste väärtuslike produktide põhiliseks allikaks.

Edasi lõuna poole hakkab okaspuude kasvu pidurdama ebapiisav õhuniiskus ja kõrged suvised temperatuurid (juulis üle 19°).

Taigat asendavad järk-järgult sega- ja laialehised metsad, mis eriti mitmekesised on Euroopas ja Kaug-Idas. Laialehised metsad esinevad rikkalike sademete (üle 450 mm), mõõduka temperatuuri ja selgelt väljendunud suve ja talve vaheldumisega aladel. Soodsad tingimused on viinud siin kõrge bioloogilise produktiivsusega keeruliste biotsönooside tekkele. Moodustuva taimemassi hulk on sageli üle 50—60 ts/ha.

Sademete hulga vähenedes 400—200 mm-ni ja aurustumise kasvades asenduvad metsad järk-järgult avamaastikuga — stepiga. Siinsete biotsönooside aluseks on suhteliselt põuakindlad kamarkõrrelised — stepirohi, stepi-aruhein ja nurmikas, tavaliselt mitmesuguste kaheiduleheliste lisandiga. Orgaanilise aine toodang on palju madalam kui metsas, ainult 10—15 ts/ha. Ka steppide loomariik on vaesem ja erineb metsade omast liigiliselt koostiselt täielikult. Sademete ebaühtlane esinemine aastaaegade järgi ja suvised põuaperioodid pidurdavad mulla mikroorganismide tegevust ja orgaaniliste jäänuste täielikku mineraliseerimist. Seepärast moodustuvad steppides iseloomulikud mustmullad, mis on väga rikkad orgaanilise aine poolest. See vöönd on üks intensiivse teraviljakasvatuse põhirajoone.

Kõige lõunapoolsem on kõrbevöönd. Siin sajab vähe (100—250 mm), aurustumine on aga väga suur (üle 850 mm). Juuli keskmine temperatuur on üle 26°, päeval võib aga ulatuda 45—50°-ni. Neis tingimustes kujunesid täiesti erisugused ja väga vaesed biotsönoosid. Taimkate on väga hõre ja suur osa mullapinnast jääb katmata. Kõrbetes võib kohata vaid kõige põuakindlamaid mitmeaastasi poolpõõsaid ja põõsaid, harva ka madalakasvulisi puid, nagu saksauuli ja tamariski. Levinud on ka kevadised efemeerid, mis kasutavad talve jooksul kogunenud niiskust ja kuivavad suveks ära. Ka kõrbeloomad on niiskuse vähesusele väga vastupidavad.

Veepuudus raskendab kõrbete majanduslikku kasutamist. Veega varustamisel võib neist saada häid karjamaid lammastele. Kunstliku niisutamise korral võib kasvatada mitmekesiseid ja väärtuslikke kultuure — puuvillapõõsast ja subtroopilisi viljapuid.

Kirjeldatud vööndite järjestus on iseloomulik ainult kontinentaalsetele aladele. Seal, kus veepuudus ei ole terav, näiteks Ida-Aasias, stepi- ja kõrbevöönd puuduvad ja laialehised metsad lähevad üle igihaljasteks subtroopilisteks ning lõpuks troopilisteks metsadeks. Niisked troopikametsad on liigiliselt koostiselt ja bioloogiliselt produktiivsuselt kõige rikkamateks biotsönoosideks.

**Vertikaalne tsonaalsus.** Biotsönooside tsonaalne seaduspärasus tuleb eriti selgesti esile mägedes. Nagu teada, langeb temperatuur iga 100 m võrra tõustes keskmiselt 0,5—0,6° võrra, sademete hulk aga tavaliselt suureneb kõrgusega. Seepärast meenutab

mägede kliima põhjapoolsete alade kliimat. Vastavalt kliimale muutuvad tõustes seaduspäraselt ka taimkattevööndid samas järjestuses kui põhja poole liikudes. Nii vahetuvad Kaukasuses mäejalamil laiuvad stepid ja poolkõrbed tamme- ja pöögimetsadega; kõrgemal paiknevad okasmetsad, seejärel niidud. Lumejoone lähedal areneb rusukaldel madalakasvuline alpitaimestik, mis teatud määral meenutab tundrat. Väärib tähelepanu, et alpiinses vööndis võib kohata mõningaid taimi ja loomi, mis on levinud tundras ja puuduvad teistes vööndites.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Tooge biotsönooside vahetumise näide loodusest. 2. Milles väljendub biotsönooside geograafiline tsonaalsus? 3. Millised põhilised abiootilised tegurid määravad biotsönooside geograafilise tsonaalsuse? 4. Tooge näiteid biotsönooside muutumise kohta inimese tegevuse mõjul!

14. PEATÜKK

# BIOSFÄÄR JA INIMENE

## 79. BIOSFÄÄR JA BIOMASSI OMADUSED

**Planeedi bioloogia.** Bioloogia edusammud tõendavad, et inimkond on astumas «bioloogiasajandisse».

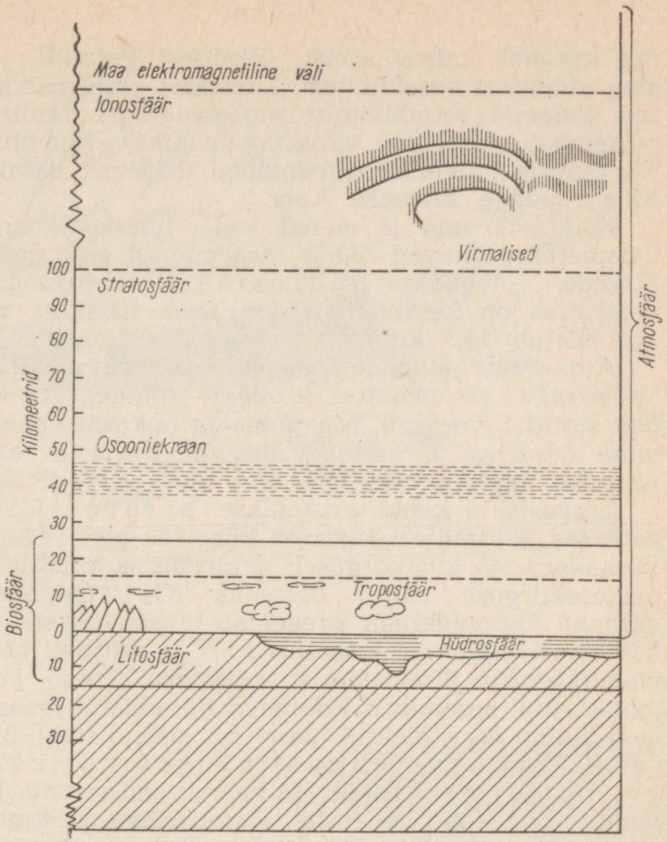
Sellel ajastul omandab erilise tähtsuse tervel planeedil toimuvate eluprotsesside terviklik tundmine. Kosmoses läbiviidud uurimised lubasid vaadelda Maad väljastpoolt ning õppida tundma teda ümbritsevaid sfääre. Maa rahvastiku kasv nõuab uute toiduressursside otsinguid. Tööstuse ja transpordi kahjulikud jäätmed tõstatavad mitte üksnes elusate organismide kaitse probleemi, vaid sunnivad tegelema ka vee ning õhu puhtuse kaitsega mastaapides, mis ei piirdu üksikute maadega, vaid haaravad kogu maakera.

Nende probleemidega seoses tuleb tingimata mõista elusa looduse osa ainete ringkäigus, milles põhiliseks on elusa looduse kui energia kandja ja muundaja tähtsuse määramine.

Rohelised taimed püüavad valguskiiri ning loovad fotosünteesi protsessis neis kogunevaid orgaanilisi aineid, mis on toiduks ja energiaallikaks kõigile teistele organismidele — mitterohelistele taimedele, loomadele ja inimesele. Päikeseenergia muundatakse Maal elu energiaks.

**Biosfäär ja selle piirid.** Orgaanilise maailma vormide mitmekesisuse ja nende arenemise seaduspärasuste uurimine ei saa olla täielik, kui ei määrata kindlaks elusorganismide kohta ja tähtsust planeedil Maa tervikuna.

*Kõigi elusorganismide kogusumma moodustab planeedi elusaine ehk biomassi.*




JOON. 164. Maa geosfäär.

Organismide elutegevus on muutnud ja muudab maakoort ja atmosfääri. Biomassi taimne osa on miljardite aastate jooksul puhastanud atmosfääri süsihappegaasist, rikastanud selle hapnikuga ja viinud süsiniku ladestumisele lubjakivis, kivisöes ja naftas.

Evolutsiooni tulemusel moodustus Maa ümber eriline kest või sfäär, mida asustavad elusorganismid. See Maad ümbritsev kest või elu valdusala kannab biosfääri nimetust (*bios* — elu, *sphaira* — kera, kr. k.). Esimest korda kasutas seda nimetust J. B. Lamarck. Õpetuse biosfäärist lõi aga akadeemik V. Vernadski (1863—1945), kes rajas uue teaduse — biogeokeemia, mis sidus Maa keemia elu keemiaga ning näitas ära elusaine tähtsuse maakoore kujunemises (joon. 164).

Planeedil Maa eristatakse mitut geosfääri. Maakoor ehk litosfäär (*lithos* — kivi, kr. k.) on maakera väline tahke kest,

mis koosneb kahest kihist: ülemisest graniidi- ja settekivimite ning alumisest basaldikihist. Litosfääri kihid paiknevad ebaühtlaselt. Sulanud settekivimist moodustunud graniit väljub kohati maapinnale. Litosfääri väliskiht on liikuv, kurrutudes moodustab mägesid ja lookleb. Ookeaninõod ulatuvad basaldini. Basalt on Maa esialgne kristalne koor.

Kõik ookeanid ja mered, mida üheskoos nimetatakse maailmamereks, katavad 70,8% Maa pinnast ning moodustavad koos järvede ja jõgedega hüdrosfääri. Hüdrosfääri paksus maailmameres on keskmiselt 4 km, tema üksikute nõgude sügavus aga ulatub 11,5 km-ni.

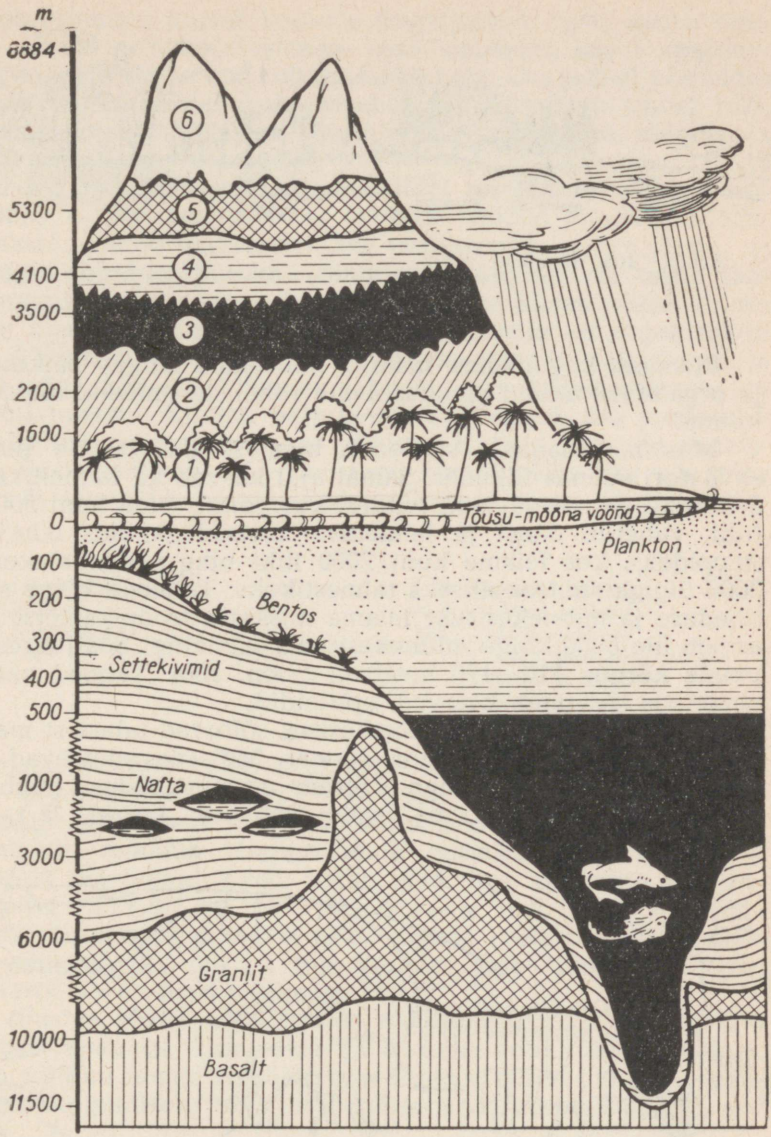
Atmosfääri alumine, maapinnaga kokkupuutuv osa kannab troposfääri nimetust (*tropos* — pööre, kr. k.). Troposfääri õhk sisaldab veeauru. Maapinna ja ookeani ebaühtlane soojenemine ööpäeva ja aastaaegade vältel kutsub esile soojuse ja niiskuse migratsioone.

Troposfääri kohal eristatakse stratosfääri (*stratum* — kate, lad. k.), mille kõrgus on kuni 100 km. Tema piiril esinevad virmalised. 45 km kõrgusel stratosfääris muutub vaba hapnik päikesekiirguse mõjul osooniks ($O_2 \longrightarrow O_3$), mis moodustab ekraani. Osooniekraan peegeldab tagasi elusatele organismidele hävitavalt mõjuvaid kosmilisi kiiri ja osaliselt ka päikese ultravioletkiirgust. Stratosfäärist kõrgemal jätkub ionosfäär — ioniseeritud aatomitest koosneva hõrendatud gaasi kiht.

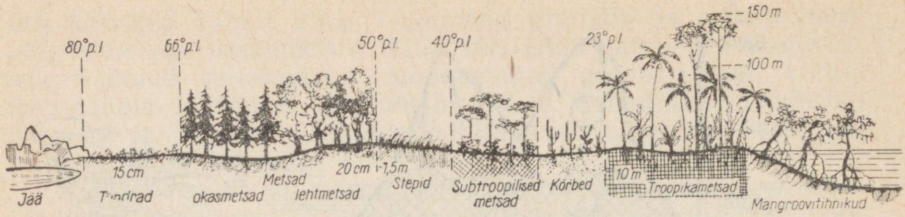
Kõikide Maa sfääride seas on eriline koht biosfääril. Biosfäär kujutab endast elusolenditega asustatud geoloogilist kesta. Ta haarab endasse maapinna, litosfääri ülemise osa, kogu hüdrosfääri, troposfääri ja stratosfääri alumise osa (joon. 164). Biosfääris tuleb ilmsiks elusaine geoloogiline toime, mida avaldavad taimed, loomad, mikroorganismid ja inimkond. Biosfääri piirid määrab ära mitmesuguste organismide eluks vajalike tingimuste olemasolu. Biosfääri ülemise elupiiri määrab ultravioletkiirte intensiivne kontsentreerumine, alumise — maapõue kõrge temperatuur (üle 100°C). Biosfääri äärmistes osades leiame ainult alamaid organisme — baktereid. Bakterite ja seente eoseid kantakse stratosfääri 20 km kõrgusele, anaeroobseid baktereid aga leitakse maakoore hapnikuta keskkonnas enam kui 3 km sügavusel, eriti naftaleiukohtade vetes (joon. 165).

Elusaine mass on võrreldes maakoore massiga tühine. Sellest hoolimata on maakoore muutused põhijoontes tingitud biomassi elutegevusest.

**Elu tihedus.** Suurim elusa massi kontsentratsioon biosfääris esineb maismaa ja ookeani pinna lähedal. Eriti tihe on elu kümnete meetrite paksuses alumises õhukeses atmosfäärikihis ja mullapinnas. Hädavajalikeks elutingimusteks on siin vesi, hingamiseks tarvilik hapnik ja teised organismide toitumiseks vajalikud keemilised elemendid.




JOON. 165. Elu piirid biosfääris: 1 — troopilised ja subtroopilised metsad; 2 — laialehised metsad; 3 — mägiokasmetsad; 4 — mägipõõsastikud ja -niidud; 5 — alpiniidud; 6 — külmad mägikõrbed.

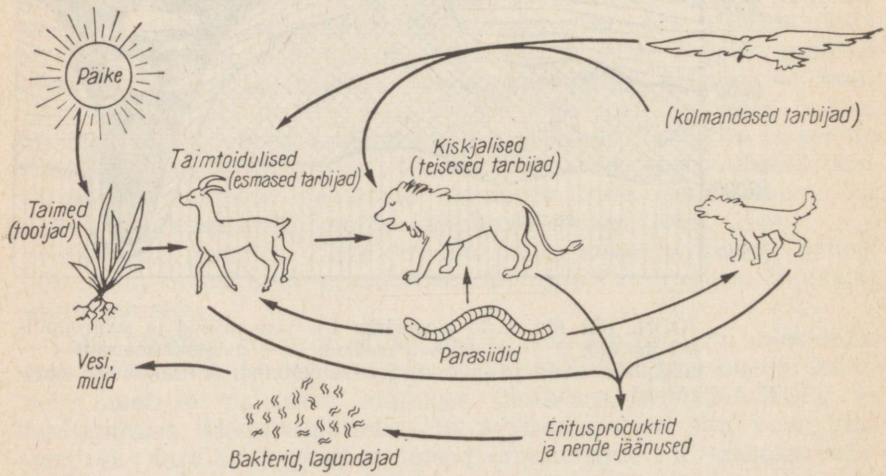



JOON. 166. Biomassi levik

Biomassi kogunemise määrab planeedile langev päikesevalgus ja orgaanilisi aineid moodustavate roheliste taimede fotosünteesivõime.

Maa maismaaosas suureneb biomass järk-järgult poolustelt ekvaatori suunas liikudes. Samal ajal kasvab ka taimeliikide arv. Samblike ja sammaldega tundra, kus võime leida kuni 500 taimeliiki, vahetub okas- ja laialehiste metsadega, mis lähevad üle steppideks, kus leiame kuni 2000 liiki ning need omakorda üle 3000 liigiga subtroopiliseks taimestikuks. Taimede kõige suurema tiheduse ja mitmekesisuse leiame niisketes troopikametsades, kus esineb üle 8000 kõige mitmekesisema taimeliigi. Sealjuures ulatub puude kõrgus 110—120 meetrini (joon. 166). Taimed paiknevad rinnetena ja puid katavad epifüüdid.

Loomaliikide arv ja mitmekesisus sõltuvad taimsest massist ja suurenevad samuti ekvaatori suunas. Metsades elutsevad loomad erinevates rinnetes. Kõige suurem asustustihedus tekib organismide ehituse suurima mitmekesisuse korral, s. t. erine-




JOON. 167. Toitumisvõrk.

vate kohastumiste korral kooselu tingimustele. Eriti suure tihedusega on elu neis kooslustes — biotsönoosides, kus kooselunevad organismid on seotud toitumisahelatega. Omavahel põimudes moodustavad toitumisahelad keerulise toitumisvõrgu (joon. 167). Organismide vahel käib äge konkurents ruumi, toidu, valguse ja hapniku pärast.

*Biomassi moodustavatel organismidel on tohutu võime taastootmiseks — paljunemiseks ja levikuks mööda planeeti.* Mõnedel aastatel puhkeb üksikute liikide paljunemine sellise jõuga, et toob kaasa tohutute putuka- (rändtirts), näriliste või teiste loomade massilisi pealetunge. Ruumi hõivamise kiirus sõltub erinevast elu üleandmise kiirusest uuele põlvkonnale eri organismide juures. Väikesed, eriti vees elutsevad organismid paljunevad ja levivad väga kiiresti. Mõnede bakterite arv kahekordistub iga 22 minuti jooksul. Kiiresti paljunevad lülijalgsed, kes moodustavad maismaal loomse ainemassi põhiosa. Küllaldase toidu ja teistest organismidest tühja territooriumi korral võiks üks või teine taime- või loomaliik hõivata kogu maakera pinna järgmise kiirusega:

| | |
|---|---|
| koolerabakterid . . . . . | 1,25 ööpäeva jooksul |
| kingloomad . . . . . | 31,8 ööpäeva jooksul |
| planktonivetikad . . . . . | 183 ööpäeva jooksul |
| toakärbes . . . . . | 1 aasta jooksul |
| ristik . . . . . | 11 aasta jooksul |
| rott . . . . . | 8 aasta jooksul |

Biomassi energia tuleb eriti esile tema paljunemises. «Elusaine — organismide kogum — voolab laiali mööda maakera pinda nagu gaasimass ning osutab teatud rõhku ümbritsevale keskkonnale, möödub ringiga tema edasiliikumist segavatest takistustest või hõivab need, katab neid. See liikumine saavutatakse organismide paljunemise teel. Juba K. Linné nägi selgesti, et seda omadust tuleb lugeda elusa põhiomaduseks, selleks ületamatuks piiriks, mis eraldab teda tardunud surnud mateeriast» (Vernadski).

*Elu tihedus sõltub organismide mõõtmetest ning nende eluks vajalikust pindalast.* Lemmelde ja klorella-vetika jaoks vajalik pind on võrdne nende mõõtmetega. Elevant vajab 30 km$^2$, mesilane mee kogumiseks 200 m$^2$, rohttaimed keskmiselt 30 cm$^2$ pinnast.

Taimne mass biosfääris ületab paljukordselt loomse massi. Biomass tervikuna moodustab biosfääri kaalust ainult umbes 0,01%, kuid tema tähtsus planeedil on tohutu. Erinevate biotsönooside ehk ökoloogiliste süsteemide seas hõlmavad mitmesuguste organismidega küllastatuse ja püsivuse poolest biosfääris erilise koha metsad, muld ja maailmameri. Omapärased mulla biotsönoosid katavad peaaegu kogu maismaa pinna. Muld ei ole mitte ainult

taimede eluks vajalik keskkond, vaid kujutab endast ka mitmesugustest pisiorganismidest küllastatud biotsönoosi.

**Mulla biomass.** Mullas keskendub elusaine geoloogilise tähtsusega talitlus. Muld kujutab endast maakoore kobedat pealiskihti, mida muudavad atmosfäär ja organismid ning mis pidevalt täieneb orgaaniliste jäätmete arvel. Orgaanilised jäätmed kontsentreeruvad mullas. Elusa orgaanilise aine moodustumine toimub maapinnal, orgaaniliste ainete lagundamine ja nende mineraliseerimine viiakse aga läbi mullas ja sügavamates litosfääri kihtides. Muld on moodustunud organismide ja füüsikalis-keemiliste tegurite toimel. Mullakihi paksus suureneb paralleelselt pindmise biomassi suurenemisega ja selle mõjul poolustelt ekvaatori suunas. Põhjalaiustel on eriline tähtsus huumuskihil, mille paksus leetmuldades on 5—10 cm, mustmuldades 1—1,5 m. Puude juured levivad 10 m ja veel suuremale sügavusele. Mahult on juurestik võrdne puude võradega. Puude, põõsaste ja rohttaimede juured paiknevad mullas ja mullaalustes kihtides rinnetena. Ka mullas käib taimede vahel konkurents pinna, vee, mineraalsoolade ja õhu pärast. Erineval sügavusel on muti, suslikute, koopaoravate ja teiste suurte loomade urud, usside käigud, putukate ja nende vastsete kogumid. Kõik need loomad tambivad, kaevavad ja uuristavad mulda. Erinevates muldades on omad, maapinnal nähtamatud biotsönoosid. Üksikisendite tegevus on tähelepandamatu, kõik koos teevad nad aga ära tohutu töö. Ch. Darwini vaatluste järgi moodustavad vihmaussid igal aastal mulda oma sooltorust läbi lastes ja pinnale kandes 0,5 cm paksuse kihi, mis kaalub 1 ha kohta 25 tonni.

Mullas on tihedalt organisme. Ainuüksi vihmausside biomassi on liivsavimuldades 2,5 miljonit isendit ehk 1,2 t 1 ha kohta. Bakterite arvu ühes grammis mullas mõõdetakse sadade miljonitega. Mullas kulgevad pidevalt ainete muundumisprotsessid. Vihma- ja lumesulaveed rikastavad mulda hapnikuga ja lahustavad mineraalsooli. Osa lahuseid jääb mulda, teine osa kantakse jõgedesse ja ookeani. Mullast aurustub kapillaare mööda tõusev põhjavesi. Toimub lahuste ringkäik ja soolade settimine erinevates mullahorisontides.

Mullas toimub ka gaaside vahetus. Suur hulk õhku tungib mulda öösel, kui gaaside ruumala temperatuuri langedes väheneb. Õhuhapniku neelavad loomad ja taimed ning see satub keemiliste ühendite koostisse. Koos õhuga mulda sattunud lämmastikku seovad mõningad bakterid. Mulla kuumenedes päeval eralduvad gaasid: süsihappegaas, väävelvesinik ja ammoniaak. Kõik mullas toimuvad protsessid on seotud biosfääri ainete ringkäiguga.

**Maailmamere biomass.** Maa hüdrosfäär ehk maailmameri hõlmab üle ⅔ planeedi pinnast. Vee üldmaht maailmameres on 15 korda suurem veepinnast kõrgemal oleva maismaa mahust

(91 miljonit $km^3$). Ookeani pindala on 361 miljonit $km^2$, maismaa pindala — 149 milj. $km^2$.

Veel on erilisi omadusi, mis on tähtsad organismide eluks. Vee suur soojusmahtuvus ühtlustab ookeanide ja merede temperatuuri, pehmendab äärmisi temperatuurimuutusi talvel ja suvel. Vee soojusjuhtivus ületab õhu soojusjuhtivuse 20 korda. Ookean külmub ainult pooluste piirkonnas, kuid ka jää all elutsevad organismid.

Vesi on hea lahusti. Ookeanide vee koostisse kuuluvad mineraalsoolad sisaldavad umbes 60 keemilist elementi. Mis on aga eriti tähtis taimede ja loomade elutegevuse seisukohalt — vesi lahustab õhust $O_2$ ja $CO_2$. Veeloomad eraldavad hingamisel $CO_2$, vetikate fotosüntees aga rikastab vett $O_2$-ga.

Ookeanide vee füüsikalised omadused ja keemiline koostis on üsnagi püsivad ja loovad eluks soodsa keskkonna. $O_2$ ja $CO_2$ küllastunud toitelahus uhab ookeanis kõiki taimede rakke. Ookeani vee läbipaistvus lubab päikesekiirtel tungida 200 m sügavusele. Vetikate fotosüntees toimub peaasjalikult vee pindmises, kuni 100 m paksuses kihis. Ookeani pind on selles kihis täidetud mikroskoopiliste üherakuliste vetikatega.

Ookeani arvele langeb 80% kogu planeedil toimuvast fotosünteesist. Merede pinnakihi vetikad on peamised valgusenergia keemiliseks energiaks transformeerijad.

Vees hõljuvad vetikad ja pisimad loomad moodustavad planktoni ehk hõljumi (*plankton* — ekslev, kr. k.). Vetikate mass meelitab kokku suurel hulgal pisiloomi — aerjalalisi, kiirelisi ehk radiolaare, mantelloomi ja teisi. Siin toituvad ka loomade vastsed, kes arenedes laskuvad sügavusse. Planktonil on valdav tähtsus merede loomariigi toidus. Ookeanis tulevad selgesti esile organismide toitumisahelad. Vetikatest toituvad aerjalalised, kes omakorda on heeringa ja teiste kalade toiduks. Heeringatest toituvad röövkalad ja kajakad. Planktonist toituvad ka tursamaimud. Suuremaks saades kasutab tursk toiduks algul vähilaadseid, molluskeid ja usse, hiljem aga kilu, heeringat ja teisi kalu. Planktonist toituvad ka vaalad.

Maailmamerest võib peale planktoni ja vabalt ujuvate organismide leida ka palju kinnitunud või roomavaid põhjaorganisme. Merepõhja elanikkond kannab bentose nimetust (*benthos* — sügavus, kr. k.). Suured vetikad kasvavad ookeanide ja merede rannikute lähedal erineval sügavusel: rohevetikad — 50—100 m, pruunvetikad, nagu põisadru, sõrmlehtadru ja suhkru-lehtadru 100—150 m ning punavetikad *Porphyra, Corallina* jt. — kuni 200 m sügavusel. Paljud vetikad on väga suured — lehtadrud on kuni 4 m pikkused, pirnadru 300 m pikkune. Vetikate tihnikud kihavad kõikvõimalikest loomadest. Vetikaliikide mitmekesisus suureneb poolustelt ekvaatori suunas. Ookeanides võib jälgida organismide koondumisi — planktoni-, põhja- ja kaldaäärseid

kogumeid. Omapäraseks kogumiks on Sargasso meri, mille pindala Atlandi ookeanis on peaaegu võrdne Austraalia pindalaga. Selle mere pinda katavad suured ujuvad vetikad, mille siseküljel on marjakujulised õhupõied (*sarga* — viinamari, hisp. k.). Vetikate massi hinnatakse 10 milj. tonnile. Sargasso meres on palju loomi, siin toituvad ka angerjate vastsed.

Elukogumike hulka kuuluvad ka korallide kolooniad, mis moodustavad karisid ja saari. Sellised kogumid hõlmavad umbes 2% maailmamere veemassist. Põhiliselt on elu ookeanis hajutatud. Hiiglaslikus veemassiivis ujuvad vabalt kalad, mereimetajad, peajalgsed. Aktiivselt ujuvate organismide kogumit nimetatakse nektoniks (*nekthos* — ujuv, kr. k.).

Surnud organismid sadenevad aeglaselt ookeani põhja. Paljudel neist on räni- või lubikestad ja lubikojad. Ookeani põhjas moodustuvad neist settekivimid. Nii leitakse mere kohal, mis 170 miljonit aastat tagasi kattis Kesk-Euroopat, maa seest lubjakivi ja kriiti. Kriidis võib eristada ürgsete loomade mikroskoopilisi kodasid.

Kõigis ookeani veekihtides leiame baktereid, kes muundavad orgaanilisi aineid anorgaanilisteks.

Käesoleval ajal on reas maades lahendamisel ookeanist mageda vee ja metallide tootmise probleem, samuti maailmamere toiduressursside täielikum kasutamine koos kõige hinnalisemate loomade kaitsega.

Hüdrosfääril on kogu biosfäärile erakordselt suur mõju. Maismaa- ja ookeanipinna soojenemise ööpäevased ja aastaajalised kõikumised kutsuvad esile soojuse ja niiskuse tsirkulatsiooni atmosfääris ning mõjuvad ainete ringkäigule kogu biosfääris.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Mis on biosfäär? 2. Iseloomustage elu tihedust ühe biotsönoosi näitel, võttes arvesse XIII peatükis esitatud materjali. 3. Mida mõistetakse «elurõhu» all? 4. Kuidas toimub elu mullas? 5. Koostage organismide toitumisahela skeem ookeanis.

## 80. AINETE RINGKÄIK JA ENERGIA MUUNDUMINE BIOSFÄÄRIS

**Ainete ringkäik.** Elus organism on looduses alati vastastikuses seoses taim- ja loomorganismidega ning samuti ka teda ümbritsevate füüsikalis-keemiliste tingimustega.

Igas biotsönoosis on need suhted väga keerulised ja vastupidavad. Loomad ja taimed on seotud toitumisahelates üksteisega ja pideva ainevahetusega ümbritseva eluta loodusega (valgus, vesi, soojus, õhk, keemilised elemendid). Sellega lülituvad nad ainete ringkäikudesse, mis toimuvad igas biotsönoosis ja

kogu biosfääris tervikuna. Biosfääris toimub kogu aeg vee ja kõigi teiste organismide koostisse kuuluvate elementide ringkäik (joon. 168). See protsess kestab kümneid miljoneid aastaid. «Maa pinnal ei ole keemilist jõudu, mis tegutseks püsivamalt kui tervikuna võetud elusorganismid, ega ole sellepärast ka oma lõpptulemustelt võimsamat jõudu» (V. Vernadski).

**Mikroorganismide osa biosfääris.** Mikroorganismide laialdane levik atmosfääris, litosfääris ja hüdrosfääris, nende suur paljunemiskiirus ja elutegevuse mõju ainete ringkäigule mängib tohutut osa biosfääris.

Mõnede bakterite eoste eluvõime säilib temperatuuride juures —253 °C ja +120° C. Väikesed ja kerged mikroorganismid ja nende eosed kanduvad troposfääri piiride taha. Bakterite laia levikut tingib nende kiire paljunemine. Üks gramm baktereid sisaldab üle 600 miljardi isendi. Ühe bakteri järeltulijad täidaksid piisava toitainete varu korral segamatult paljunedes 5 ööpäeva jooksul maailmamere.

Toitumise tüübi ja energia kasutamise järgi eristatakse järgmisi bakterite rühmi: *kemosünteesivad*, mis kasutavad keemiliste ühendite energiat (rauabakterid, väävlibakterid, lämmastikubakterid jt.), *saprofüütbakterid*, mille toiduks on orgaanilised ained (piimhappe-, võihappe-, äädikhappe-, mädanemisbakterid jt.) ja *parasiitbakterid*, kes toituvad elusorganismide arvel, nende hulgas tuberkuloosi, katku, koolerat, tüüfust ja teisi haigusi tekitavad bakterid. Bakterite elutegevuse kitsas «spetsialiseerumine» viib ühtede bakterite vahetumisele teistega. Piimhappebakterid hapendavad piimasuhkrut ning hukkuvad iseenda poolt loodud piimhappe keskkonnas, kuhu aga asuvad võihappebakterid. Mullas mädanemist esilekutsuvad bakterid lagundavad orgaanilisi jäänuseid ning eraldavad ammoniaaki, mida teised bakterid muudavad alguses lämmastikus- ja seejärel lämmastikhappeks.

Lämmastiku- ja väävlibakterid kasutavad $CO_2$ valguse puudumisel.

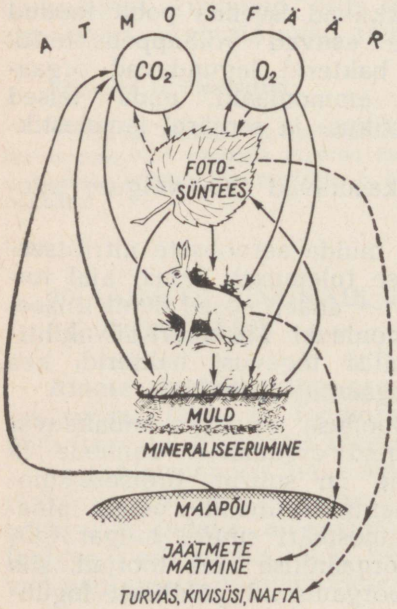
Lämmastiku ühendid kogunevad mulda aeroobsete nitrifitseerijate ja teiste bakterite elutegevuse tulemusel. Samal ajal toimub mullas ka vastupidine protsess — anaeroobsed denitrifitseerivad bakterid eraldavad õhku ammoniaaki. Litosfääri süvakihtides arendavad aktiivset geokeemilist tegevust bakterid, kes lagundavad kivimites hajutatud orgaanilisi aineid.

L. Pasteur nimetas baktereid «looduse suurteks hauakaevajateks». Igas minutis sureb miljoneid organisme. Taimede ja loomade surnud kehade kõdunemine on suurim protsess biosfääris, mis muudab keerulised orgaanilised ühendid uuesti mineraalseteks. Kõdunemisel eraldub atmosfääri suurel hulgal $CO_2$ ja $H_2S$. Kui rohelised taimed on orgaanilise aine tootjad, siis loomad on selle tarbijad ja mikroorganismid põhiliselt lagun-

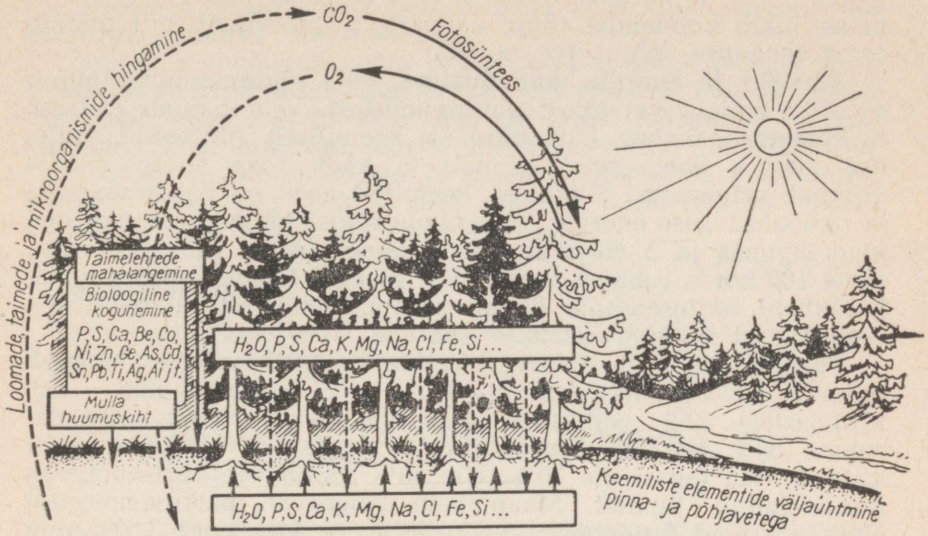
dajad. Mikroorganismid võtavad osa geokeemilistest protsessidest ja ainete ringkäigust biosfääris.

**Aatomite biogeenne migratsioon.** Kõdunemisel mikroorganismide poolt vabastatud elemendid satuvad mulda või atmosfääri ning lülituvad uuesti biosfääri ainete ringkäiku, haaratakse elusorganismide poolt «elu tormikeerisesse» (V. Vernadski).

Uurimused näitavad, et biosfääri elementide ringkäigus kuuluvad organismide koostisse ühed ja needsamad elemendid (C, N, H, O, S), mida nimetatakse biofiilseteks (elulembesteks) elementideks. Eluta loodusest lähevad nad taimede koostisse, taimedest — loomadesse ja inimesesse (joon. 168). «Elukeerise» poolt haaratud aatomid lähevad organismist organismi ja püsivad eluringis sadu miljoneid aastaid, mida kinnitavad viimased andmed isotoopide kohta. Orgaaniliste ühendite koostisse kuuluvad elementide kindlad isotoobid. Kolmest vesiniku isotoobist ($^1H$, $^2H$ ja $^3H$) on biofiilne esimene, mis astub reaktsiooni kuus korda kiiremini kui teine. Looduses esineb kolm hapniku isotoopi — $^{16}O$, $^{17}O$ ja $^{18}O$. Vee ja fotosünteesiga on seoses kõige kergem isotoop — $^{16}O$. On teada, et orgaaniliste ainete koostisse kuulub $^{12}C$, samal ajal aga võtab anorgaanilistest protsessidest osa $^{13}C$. Biosfääris toimub pidev biofiilsete elementide ringkäik — need elementid lähevad üle ühest organismist teise, eluta loodusse ja jällegi organismi. See on biogeenne migratsioon, mis erineb Maal toimuvatest füüsikalis-keemilistest ümberpaiknemis-




JOON. 168. Süsiniku ringkäik.




JOON. 169. Elementide bioloogiline ringkäik.

test, mis esinevad veekeskkonnas (elementide lahustumine, lahuste liikumine mullas, põhja- ja pinnavees) ning atmosfääris (gaasiliste ühendite ja veeauru liikumine).

Biogeenset migratsiooni iseloomustab elementide akumuleerumine, kogunemine elusorganismides. Selle vastandiks on mineraliseerumisprotsess, mis toimub surnud organismide lagunemise tulemusel. Igas biotsönoosis võib jälgida elementide bioloogilist ringkäiku — nende akumulatsiooni ja mineraliseerumist (joon. 169). Elusaine moodustumine valitseb mineraliseerumise üle maismaa pinnal ja ülemistes veekihtides roheliste taimede esinemise korral. Maakera taimkate hangib süsinikku atmosfääri ja hüdrosfääri süsihappegaasist. Mullas ja meresügavustes on ülekaalus aga mineraliseerumine. Keemiliste ainete ülekandmine toimub lindude, kalade ja putukate kaugete rännetega.

Taimede ja loomade vastastikuste suhete keeruline ahel, milles antakse üksteisele üle eluks vajalikke elemente, on näha kõikides biotsönoosides (vt. XIII ptk.).

Biogeenset migratsiooni kutsub esile kolm eluprotsessi — organismide ainevahetus, kasv ja paljunemine.

Eristatakse kaht tüüpi aatomite biogeenset migratsiooni. Esimene neist on mikroorganismides toimuv migratsioon, millele on iseloomulik tohutult intensiivne paljunemine, teine — hulkraksetes organismides toimuv migratsioon. Väiksemad organismid paljunevad suurematest tunduvalt kiiremini, mistõttu esimest tüüpi aatomite migratsioon ületab teist tüüpi migratsiooni. Ini-

mene juhib kolmandat tüüpi aatomite migratsiooni, mis toimub tema tegevuse mõjul (vt. p. 78).

**Biosfäär ja energia muundumine.** Maa elusaine mitte ainult ei sõltu temale vajalikest elutingimustest, vaid haarab endasse ja korraldab ümber kõik biosfääri keemilised protsessid, milledes energia üheaegselt lisandub ja kaob. Maa energiabilanss koosneb erinevatest allikatest. Peamised neist on päikeseenergia ja radioaktiivsuse energia. Maa evolutsiooni käigus radioaktiivne aine lagunes ja 3 miljardit aastat tagasi tekkis radioaktiivsuse arvel 188 korda rohkem soojust kui praegu. Maale langevate päikesekiirte soojusenergia ületab praegu tunduvalt radioaktiivsel lagunemisel tekkiva sisemise soojuse.

Peamist osa Maa elusorganismide energiavarustuses mängib pidevalt laekuv päikeseenergia $10{,}5 \cdot 10^{20}$ kJ/aastas ($2{,}5 \cdot 10^{20}$ kcal/aastas). 42% päikeseenergiast peegeldub Maalt maailmaruumi, 58% neeldub atmosfääris ja pinnases. Neeldunud osast kiirgab Maa tagasi üle 20%. Üle 10% kulub vee aurustamiseks maailmamere pinnalt. Maapinnale langevast päikeseenergiast akumuleerivad õistaimed 1,5—2,0% ja vetikad kuni 3,5% ning see energia satub biosfääri energiaringkäiku.

Maakera rohelised taimed moodustavad aastas umbes 100 miljardit tonni orgaanilisi aineid ning varuvad neisse umbes $1800 \cdot 10^{15}$ kJ ($450 \cdot 10^{15}$ kcal) energiat. Sealjuures neelavad nad umbes 170 miljardit tonni $CO_2$ ja eraldavad umbes 115 miljardit tonni $O_2$ ning aurustavad $16 \cdot 10^{12}$ tonni vett (selles peatükis toodavad arvud on ligikaudsed, kuna teaduslikud uurimused toovad üha uusi ja uusi andmeid). Päike on Maa energiaallikas. Seda energiat transformeerivad fotosünteesiprotsessis taimed, moodustades orgaanilisi aineid ja vabastades hapnikku. Fotosünteesi produktid on elu energeetiliseks allikaks Maal. Orgaaniliste ainete moodustumine on endotermiline protsess, nende hapendumine — eksotermiline. Roheliste taimede fotosünteesi kõrval toimub Maal sellele protsessile mastaabilt peaaegu võrdne orgaaniliste ainete hapendumine põlemise, käärimise ja mädanemise protsessides. Neis protsessides eraldub soojus, $H_2O$ ja $CO_2$. Osaliselt konserveerus päikeseenergia maakoores organismide jäänustes — kivisöes, naftas, sapropeelis ja turbas.

Päikeseenergia kutsub Maal esile mastaapidelt hiiglaslikke klimaatilisi, geoloogilisi ja bioloogilisi protsesse. Biosfääri mõjul muundub ta erinevateks energiavormideks, mis panevad aluse mõõtmetelt ja muundumiste kiiruselt tohutuile ainete ringkäikudele ja migratsioonidele, biomassi suurenemisele ja levimisele.

Ainete ringkäigu grandioosne ulatus ja vastastikune sõltuvus Maal selgub järgmisest arvestusest. Ilma taimede fotosünteesiva tegevuseta suureneks 100 aasta jooksul $CO_2$ sisaldus õhus tunduvalt, mis viiks inimeste ja loomade hukkumisele. Sealjuures algaks Maa kliima üldine soojenemine. Arktika ja Antarktika

jää sulaks ja maailmamere pind tõuseks 50 m võrra, mis kutsuks esile osa mandrite üleujutamise.

Biosfääris toimuvad enam kui 2 miljardi aasta jooksul muutused. Biosfääri võimsus laieneb, tungides planeedi uutesse, varem elututesse osadesse. Biosfäär haarab kogu maakera. Temasse kuuluvad kõik erinevad ökoloogilised süsteemid (biotsönoosid).

*Biosfäär on biotsönooside ja ainete ringkäikude grandioosne süsteem, kuid samal ajal avatud süsteem, kuna temasse laekub* väljastpoolt pidev päikeseenergia voog.

**Küsimus ja ülesanne**

1. Joonistage keemiaõpiku abil ühe elemendi ringkäigu skeem biosfääris.
2. Kuidas toimub aatomite biogeenne migratsioon biosfääris?

## 81. BIOSFÄÄR JA ORGAANILISE MAAILMA EVOLUTSIOON

Koos orgaanilise maailma evolutsiooniga kulges biosfääri kujunemine, tema piiride avardumine, koostise muutumine ning aatomite biogeense migratsiooni kiirenemine.

Vahetult oma ilmumisest peale hakkasid elusorganismid elutegevuse protsessis muutma ümbritsevat keskkonda.

Kemosünteesivate bakterite elutegevuse tulemusel algas enam kui 3 miljardit aastat tagasi mõnede mangaani- ja rauamaakide, fosforiitide ja väävli ladestumine. Esimesed mikroorganismid: purpur- ja rohebakterid ning hiljem sinirohevetikad hakkasid omastama $CO_2$ ja eritama $O_2$. $CO_2$ hulga vähenemist atmosfääris ja viimase rikastumist $O_2$-ga võib lugeda biosfääri arenemise alguseks.

Pika aja jooksul neelas roheline elusaine atmosfäärist tohutu hulga $CO_2$, mida seal ürgsetel aegadel oli sadu kordi rohkem kui praegu. Vetikate ja hapniku olemasolu oli esimeste selgrootute loomade ilmumise vajalikuks tingimuseks. Selgrootute — juurjalgsete, korallide ja limuste lubiskeletid moodustasid settekivimid — kriidi ja lubjakivi. Surnud sinirohe- ja punavetikatest ladestus kaltsium, ränivetikatest ja käsnadest ränimuld. Ürgsete puude jäänustest moodustus kivisüsi, merede ja veekogude planktonist — nafta.

Üherakuliste organismide paljunemiskiirusest määratud aatomite biogeense migratsiooni kiirus mängis esmast ja tähtsat osa biomassi kogunemises Maal.

Veekeskkonnas võivad zooplankton ja muud loomad ilmuda alles siis, kui fütoplankton — bakterid ja vetikad — on juba olemas.

Organismide hiiglaslik paljunemisvõime suurendas biomassi, mis levis mööda Maad, täites tema enda poolt moodustatavat

biosfääri. Erinevates keskkondades moodustusid evolutsiooniprotsessis kõige erisugusemad biotsönoosid, mis olid omavahel pidevas vastastikuses seoses. Organismide eksisteerimiseks on vaja kindlaid väliskeskkonna tingimusi. Ainevahetuse protsessis muudavad nad ise seda keskkonda pidevalt.

Evolutsiooniprotsessis vähenes järk-järgult organismide vahetu sõltuvus keskkonnast. Esimesed organismid — bakterid ja vetikad — ujusid toitekeskkonnas.

Järk-järgult ilmusid hulkraksed organismid, kes enam ei sõltunud väliskeskkonna muutustest ja kellel oli oma, nende endi poolt reguleeritav sisekeskkond. Nendel hulkraksetel organismidel on süsteemid, mis reguleerivad eluprotsesse: toitumist ja seedimist, gaasivahetust ning rakkudesse laekuvate toitainete tsirkulatsiooni, samuti eritumist. Närvisüsteem loob organismile kontakti väliskeskkonnaga sel teel, et võtab vastu ja suunab ärritust ning viib läbi vastureaktsiooni. Närvisüsteemi ning loomade aju arenemine soodustas ruumis orienteerumist ning liikumist. Evolutsiooni käigus kasvas aine ja energia edasiandmise (migratsiooni) kiirus elusas looduses, moodustunud biotsönoosides. Väliskeskkonnast sõltumise vähenemine, energiavaru suurenemine ja aju arenemine evolutsiooniprotsessis saavutas erakordse taseme inimeses. Inimene hakkas juba teadlikult ületama oma sõltuvust loodusest ning viimast allutama.

Elu ülevus muutub mõistetavamaks, kui kujutada ette teda tervikuna, kõiki tema avaldusi planeedil Maa. Biosfääri tundmine on vajalik mitte ainult selleks, et üldistada bioloogias õpitut, vaid ka avara materialistliku maailmavaate kujundamiseks ja inimese osa mõistmiseks Maal.

**Küsimusi**

1. Kuidas toimus evolutsiooniprotsessis taime- ja loomorganismide ehituse keerulisemaks muutumine? (Vt. IV ptk.) 2. Kuidas tekkis ja arenes biosfäär?

## 82. INIMESE OSA BIOSFÄÄRIS

**Noosfäär.** Inimene kui osa biosfääri biomassist sõltus pika aja jooksul ümbritsevast loodusest. Peaaju arenedes muutus aga inimene ise võimsaks edasise evolutsiooni teguriks Maal. See, et inimene allutas mitmesugused energiavormid, alates mehaanilisest kuni elektri- ja aatomienergiani, soodustas maakoore tunduvat muutmist ja aatomite biogeenset migratsiooni. Oma olemasolu vältel on inimkond tootnud umbes 50 miljardit tonni kivisütt, 2 miljardit tonni rauda ja miljoneid tonne teisi metalle. Üha enam ja enam elemente viiakse inimkonna tegevusega biosfääri aatomite migratsiooni. Eriti tuli see ilmsiks viimase sõja ajal.

Sõja pidamiseks kulus aastas kümneid miljoneid tonne rauda, terast, tsementi, naftat, sadu miljoneid tonne kivisütt ja muud.

Inimene osutas otsest mõju loodusele kanalite ja veehoidlate loomisega, jõgede laiendamise ja nende sängi muutmisega jms. Need muutused mõjutasid ka kliimat.

Inimkonna tegevus muutis atmosfääri koostist. Maal elab 3 miljardit inimest, kes hingamisel neelavad aastas 1,1 miljardit tonni $O_2$, eraldades 1,5 miljardit tonni $CO_2$, söövad ära umbes 1 miljard tonni orgaanilist ainet. Kivisöe, puidu, nafta ja põlevgaasi põletamiseks tööstuses kulub 3,5 miljardit tonni $O_2$, põlemisel eraldub 4 miljardit tonni $CO_2$ ja 20 000 000 miljardit kcal soojusenergiat. Aatomienergia kasutamisel satuvad biosfääri radioaktiivsed kiirgused.

Inimkond on levinud üle kogu maakera. Inimese sotsiaalse elu arenemine kiirendas tunduvalt kultuuri evolutsiooni. Paleoliidiajastu kestis sadu tuhandeid aastaid, kiviajast aatomisajandini kulus aga ainult paar aastatuhandet. Inimkond muutus peamiseks biosfääri protsesse muutvaks jõuks. Akadeemik V. Vernadski arvab oma biosfääriõpetuses, et käesoleval ajal loob inimkond uut Maa kesta — noosfääri (Maa «mõistuse kesta»). Inimkonna mass kujutab endast biosfääri väikest osa, kuid ta tegevus on tohutu. Inimene on juba väljunud biosfääri piiridest ja jõudnud oma kosmoselaevaga Kuule.

**Looduslike seaduspärasuste rikkumise tagajärjed.** Maailma ajalugu näitab, et inimkond ei ole alati mõistlikult kasutanud oma käsutuses olevaid energialiike. Inimkond pidas laastavaid sõdu. Ebaõige ja kohati isegi kuritegelik oli inimese suhtumine loodusesse. Paljusid looduse seaduspärasusi tundmata ja neid rikkudes ei kujutanud inimene endale sageli ette looduse «alistamise» hukutavaid tagajärgi. «Ei tohi liigset vaimustust tunda oma võitudest looduse üle. Iga sellise võidu eest maksab ta meile kätte» (F. Engels).

Paljud antiikaja riigid kaotasid oma võimsuse, teised aga, nagu Horesm ja mitmed Põhja-Aafrika riigid, kadusid täiesti röövelliku suhtumise pärast mullasse. Mulla kurnamine muudab maa kõrbeks. Metsade hävitamine kutsub esile muldade kuivamise, nende struktuuri kaotamise ja erosiooni tekke. Metsa osatähtsus looduses ja rahvamajanduses on suur. Mets hoiab kinni tuuli ja pehmendab vee auramisega kliimat. Samal ajal aeglustab mets lume sulamist ning sulamisvesi niisutab järk-järgult põlde. Selle tagajärjel säilib jõgedes püsiv veetase ega esine kevadisi üleujutusi. Eriti vajalikud on metsad mägedes. Puude põimunud juured kaitsevad pinnast uhtumise eest, hoiavad ära tulvavett ning uhteorgude teket.

Metsade röövellik hävitamine viis selleni, et kui näiteks XVIII saj. oli Prantsusmaal 17 milj. ha metsa, siis XIX saj. säilis 8 milj. ha. Põldusid põletav tuul sirokko levis Itaalias pärast

metsade hävitamist Apenniini mägedes. Metsade hävitamisega kaasnevaid veeuputusi, mägedest tulevaid mudaojasid, pinnase uhtumist ja kuivamist võib täheldada kõikides maades.

Toodud näited ja vaadeldud tõigad räägivad vajadusest kaitsta ja uuendada metsi.

Kaitsta on vaja ka vete puhtust. Vett kasutavad tööstusettevõtted lasevad vahel jõgedesse ja järvedesse mürgiseid, loomade ja inimese tervisele kahjulikke jäätmeid. Sellepärast ei saa paljudes veekogudes elada kalad, taimed ja loomad. Paisude ehitamisel jõgedele ei arvestata sageli seda, et juba miljoneid aastaid liiguvad jõgedes vastuvoolu kudemispaikadele väärtuslike kalaliikide parved. Selle tulemusel lakkab kalade taastootmine. Tehased ja vabrikud saastavad atmosfääri suitsuga.

Aatomipommide katsetamine ja vastutustundetu suhtumine aatomienergiale põhinevate tööstusharude jäätmetesse viib õhu, vee ja pinnase radioaktiivsuse tõusule. Radioaktiivsust antakse toitumisahelatega edasi nii ookeanis kui ka maismaal. Radioaktiivsusega nakatuvad esmajoones plankton ja põhjaloomad, planktonist antakse see toitumisahelat mööda edasi reale kaladele. Kalatoidulised linnud kannavad radioaktiivsuse maismaale. Jäätmete mädanemisel muutuvad radioaktiivseks ka bakterid. Radioaktiivsete ainete kogunemine luuüdisse viib valgeveresusele ning pahaloomuliste kasvajate tekkele. Ülemäärane õhu, vee ja pinnase radioaktiivsus ning radioaktiivsete ainete kogunemine mitmesugustesse elusorganismidesse võib kutsuda esile eluvõimetute ja haigete isendite ning väärarendite massilise ilmumise taimede, loomade ning inimeste seas. Paljud väärarendid võivad olla pärilikud.

Toitumisahelaid mööda toimub ka inimese mürgitumine DDT ja teiste mürkainetega. Taimede tolmutamine DDT-ga hävitab kahjurite kõrval ka mesilasi, vihmausse ja linde ning hukutab veekogudes kalu. Mürgid satuvad marjadele ning juurviljadele, koos rohuga ka veiste lihasse ja piimasse ning kogunevad inimese organismi, kutsudes esile haigusi. Igal sammul võib kohata ka kahjulikke nähtusid, mis on seotud aatomite migratsiooniga organismide toitumisahelates.

**Looduskaitse.** Käesolevaks ajaks on kogu maailmas tekkinud äärmiselt terav vajadus sisse viia tootmise ratsionaalne arendamine, energia tarbimine ja loodusvarade kasutamine, mis oleks kooskõlas biosfääris toimivate seaduspärasustega. On vajalik bioloogilistele teadmistele tuginevat õhu, vee, pinnase ning elusa looduse puhtuse kaitset. Ilmus uus teadus — geohügieen, mis juhindub biosfääriõpetusest. Biosfääri sanitaarne kaitse on saanud kogu inimkonna tähtsaimaks probleemiks.

1957. aastal võttis Eesti NSV Ülemnõukogu esimesena NSV Liidus vastu seaduse «Eesti NSV looduse kaitsest». Analoogilised seadused on välja antud ka teistes liiduvabariikides. Küsimuses ei

ole enam looduse alistamine, vaid rahu sõlmimine loodusega.

Kalade rööovellik hävitamine kudemisperioodil, noorkalade massiline väljapüük, lindude ja karusloomade püüdmine järglaste kasvatamise ajal on viinud loodusrikkuste katastroofilisele vähenemisele. Kahe tuhande aasta jooksul on kadunud 106 suurimetajate liiki, viimase 50 aasta jooksul aga 40 liiki.

Käesolevaks ajaks on toitumisahelate ökoloogia uurimise alusel muutunud suhtumine röövloomadesse. Nende osa võib ligikaudselt ette kujutada järgmises ahelas. Röövlindude hävitamine viib madude paljunemisele, kes hävitavad rändtirtsudest toituvaid konni. Rändtirts hakkab paljunema ning hävitama põllukultuure. Hundid püüavad nõrku ja haigeid isendeid, ennetades sellega hirvede ning teiste loomade epideemilisi haigestumisi. Öökullid, rebased, hundid, saarmad ja teised röövloomad kujutavad endast looduses omalaadset sanitaarteenistust.

Looduse taastuvad jõud näivad ammendamatutena, kuid nad vajavad mõistlikku toetust bioloogiliste seaduspärasuste tundmisega relvastatud inimese poolt. Ainult sel tingimusel jätkub looduslike rikkuste kasv. Huvitavate biotsönooside, haruldaste taimede ning väljasurevate loomadega maastike säilitamiseks puutumatus olekus loodi kaitsealad. Esimesed looduskaitsealad NSV Liidus loodi V. I. Lenini korraldusel, kes pidas looduskaitset väga tähtsaks.

On organiseeritud Rahvusvaheline Looduse ja Looduslike Ressursside Kaitse Liit. 50 riigi vahel on sõlmitud rahvusvaheline kokkulepe vaalade ja väärtuslike kalaliikide püügi reguleerimise kohta ookeanis. On leiutatud gaasi- ja suitsupüüdjad ja veepuhastajad. Kuid terve rida Maa hügieeni küsimusi ootab alles lahendamist.

**Küsimusi ja ülesandeid**

1. Mis on noosfäär? 2. Missugused energiavormid on inimene järk-järgult allutanud? 3. Tooge näiteid inimese poolt Maal sooritatud geoloogiliste muutuste kohta. 4. Millistele järeldustele viib metsade hävitamine?

## 83. BIOLOOGIA JA TEHNIKA PROBLEEMID

**Bioonika.** Viimastel aastatel on bioloogia vastu hakanud huvi tundma täppisteaduste esindajad — matemaatikud, füüsikud, keemikud, radioloogid, küberneetikud jt. Tekkisid uued teadused: biofüüsika, biokeemia, biogeokeemia, radiobioloogia, kosmosebioloogia ja bioonika. Üldise tunnustuse on saanud vaatekoht, mille järgi looduses on pikaajalise evolutsiooni tulemusel organismides kujunenud sellised täiuslikud mehhanismid ja kohastumised, mis tehnika jaoks on praegu veel kättesaamatuks ideaaliks. Hiljuti tekkinud teadusharu b i o o n i k a (*bion* — elu ele-

ment, kr. k.), avastab elusorganismides huvitavaid näidiseid uurimiseks ja tehniliste aparaatide konstrueerimisel jäljendamiseks. Bioonika on teadus, mis uurib organismide ehituse ja talitluse printsiipide kasutamise võimalusi tehnikas. Miljoneid aastaid enne kaasaja leiutusi eksisteerisid looduses organismid, kelle liikumine toimus reaktiivliikumise printsiibil (seepia) ja lokatsiooni kasutamisega (nahkhiirte lendamine pimeduses, kalaparvede äratundmine delfiinide poolt 3 km kauguselt). Insenerid on koos bioloogidega loonud juba palju aparaate loomade organite ehituse printsiipide alusel.

Hülge kõrvade ehituse printsiibi alusel on loodud hüdrofon helide püüdmiseks vee all. Putukate liitsilma ehituse uurimine andis kiirusemõõtja ehituse idee, mis näitab lennukite liikumiskiirust jne. Bioonikaga tegelevaid teadlasi huvitab, kuidas orienteeruvad linnud pikkadel rännetel (tormikotkas lendab Tristan da Cunha saarelt Gröönimaani, s. t. 10 000 km, tikutaja — Jaapanist 5000 km kaugusele Austraaliasse). Kalad katavad rännetel pikki vahemaid (heeringas — 1500 km, angerjas ujub üle Atlandi ookeani ja Põhjamere).

Lennukikonstruktorite tähelepanu köidab lindude ja putukate lihasjõul töötava lennuaparaadi kergus ja konstruktiivsus, mis töötab minimaalse energiakuluga. Mesilase tiivad teevad 180—280 lööki sekundis. Mõned väikesed linnud lendavad üle Sahara kõrbe 30 tunniga, tehes 5 tiivalööki sekundis. Kui võrrelda mitte absoluutseid lennukiirusi, vaid arvesse võttes looma kehapikkust, saame järelduse, mis ei ole sugugi lennuki kasuks. Suure kiirusega liiguvad ka teised loomad: lõvi jookseb tunnis 80 km, põder — 72 km, jaanalind — 90 km ja gepard 110 km, tuunikala aga ujub tunnis 108 km.

Imekspandav on ükskõik millise linnu pessalennu ja lendutõusmise «avariikindlus», kergus ja täpsus. Ei ole võrreldavad kala ja allveelaeva sukeldumise ja pinnaletõusmise kiirus ja müratus. Käesoleval ajal uuritakse delfiini naha elastsust, mille abil loom ületab vee takistust.

Arvutusmasinad on inimajuga võrreldes erakordselt kohmakad ja ebaökonoomsed. Väikese mahuga ajus on umbes 14 miljardit rakku ja 10 triljonit närvikiudu. Samasuguse elementide arvuga küberneetiline masin kujutaks endast pilvelõhkujat, mille kõrgus oleks 100 m ja põhja pindala 100 $m^2$, elektrienergia vajadus aga 1 milj. kW. Bioonika-alastel uurimustel on suur tähtsus mitte ainult tehnikale, vaid ka bioloogiale, kuna need aitavad täpsemalt mõista ühe või teise looma- või taimeorgani talitluse mehhanismi.

**Kunstlikud ainevahetuse biosüsteemid.** Inimeste eluks biosfääri äärmuslikes tingimustes (Kaug-Põhjas, Antarktises, kaljusaartel), kus puudub muld ning ei ole võimalust saada värskeid vitamiinirikkaid taimi, tuleb neid kasvatada eriliste meetoditega. Meeto-

dite aluseks on võetud taimede vesikultuur, mida automaatselt kindlustatakse vajalike tingimustega. Taimede kasvatamise süsteem ilma mullata kannab hüdropoonika nimetust (*hydõr* — vesi, *ponika* — töö, kr. k.). Kasulik on ehitada hüdropoonika-kasvuhooneid tehaste lähedusse, kus nende kütmiseks võib kasutada kuumaveejääke, õhu väetamiseks puhastatud $CO_2$ ahjudest ning mulla asemel pestud räbu. Betoneeritud reservuaarid täidetakse räbu või kruusaga, millesse istutataksegi taimed. Reservuaare täidetakse perioodiliselt mineraalsoolade lahusega ning taimejuuri õhustatakse. Talvel valgustatakse taimi päevavalguslampidega ning hoitakse püsivat temperatuuri. Õhk küllastatakse suurendatud $CO_2$-sisaldusega (kuni 2%). Kõik need tingimused luuakse automaatselt. Hüdropoonika vabastab inimese mahukatest mullatöödest ja lubab organiseerida põllumajanduslike produktide tööstuslikku tootmist. Eriline tähtsus on kunstlikel biosüsteemidel, mis kindlustavad ainevahetuse ja suure hulga kindla koostisega taimemassi saamise üherakuliste vetikate kasvatamisel.

Mikroskoopiline mageveeplanktoni vetikas klorella on köitnud teadlaste tähelepanu suure fotosünteesivõime poolest. Klorella kasutab kunstlikes tingimustes kuni 12% valgusenergiat (looduslikes kuni 3,5%). Klorella saagis on keskmiselt 10 g 1 $m^2$-lt ööpäevas, mis teeb 5 suvekuu jooksul 15 tonni kuivainet (kuni 7,5 t valku) 1 hektarilt. Aastaringsel kasvatamisel on ta saak 25 korda suurem keskmisest nisusaagist ja 10 korda kartulisaagist.

Klorella, niitja sinivetika spirulina ja teiste vetikatega on mingil määral seotud ka kaugete kosmiliste lendude teostamine. Inimene vajab ööpäevas 500—700 l hapnikku, 1 l vett ja 2 kg (ehk kuivaines 500 g) toitaineid. Pikaajaliste lendude korral on varude kogumaht ja -kaal väga suur. Sellepärast tuleb kosmonautide kabiinis luua vajalikku atmosfääri ja toitu, s. t. peab toimuma miniatuurne ainete ringkäik.

Sobiv taim niisuguse ainete ringkäigu loomiseks on klorella. Kiire paljunemise korral annab ta 1 l lahuses päevas 55 g kuivtoodangut. Vetikatega võib toita vesikirpe, nendega aga kiirekasvulisi kalu. Nii võib kabiini suletud maailmas luua ainete ringkäigu ja toitumisahela. Eritumise lõpp-produktide kasutamiseks tuleb ringkäiku lülitada bakterid ja mõned füüsikalis-keemilised vahendid. Juhitava ainete ringkäigu loomine suletud ruumis lubab teostada inimese pikaajalisi lende kosmoselaevadel ning viibida Kuul ja teistel atmosfäärita planeetidel.

Uue teaduse — kosmosebioloogia — ees seisab palju probleeme: inimese kindlustamine vajalike tingimustega eluks kosmoses, kiirguseohu ületamine, inimorganismi vastupidavuse tõstmine kaaluta olekus, kiirenduste, vähese liikuvuse ning muude sarnaste tingimuste juures; inimese psühho-füsioloogiliste võimaluste uurimine kosmoselaeva juhtimisel; taimede ja loomade arenemise uurimine kosmoselennu tingimustes; võimalike elusa

mateeria vormide uurimine nende eksisteerimistingimustes kosmoses. Paljud nendest probleemidest on juba lahendatud.

**Bioloogia arenguperspektiivid.** XX saj. esimest poolt iseloomustasid tohutud avastused füüsika valdkonnas. Seda perioodi nimetatakse aatomisajandiks. Bioloogia uued avastused, mille eesmärgiks on inimühiskonna igapäevaste vajaduste rahuldamine, annavad võimaluse rääkida bioloogiasajandi saabumisest. See on ka täiesti seaduspärane, kuna elu on mateeria liikumise kõrgeim vorm.

Käesoleval ajal seisab NSV Liidus ja teistes sotsialismimaades päevakorral inimese elu igakülgse parandamise probleem. Seoses sellega on bioloogia kui elu teaduse edasisel arenemisel erakordne tähtsus. Selle teaduse peaülesandeks on kindlustada toiduga inimkonda, mis aastaks 2000 kasvab kahekordseks. Suure hulga toitaineid sisaldab maailmameri ning avanevad laiad võimalused neid mitte ainult kasutada, vaid ka taastoota. Praegu püütakse ainult 0,3% ookeaniloomade — vaalade, kalade ja molluskite aastasest juurdekasvust. Tohutut toidureservi kujutavad endast plankton ja rannikuäärsed vetikad, mis sisaldavad suurel hulgal valke ja rasvu. Bioloogial tuleb lahendada nii vetikate kui mereloomade plaanipärase taastootmise küsimus.

Jaapanis kasvatatakse käesoleval ajal kindlaid vetikaliike ookeani rannavetes. Ujuvatel bambuseritvadel on jaapanlased loonud terved söödavate vetikate istandused. Kasvavate vetikatega merevette antakse mineraalväetisi.

Eriline tähtsus on viimastel detailsetel meresügavuste uurimustel, mis on seotud inimese eluvõimalusega vee all. J. Y. Cousteau ja Monako Okeanograafiainstituudi töötajad viivad sel eesmärgil läbi katseid spetsiaalsetes majades 100 m sügavusel. Sellistes majades elavad okeanaudid nädalate kaupa, sooritades akvalangidega uurimisretki kuni 200 m sügavusele. Cousteau juhtimisel on konstrueeritud mitu veealust maja, mida lastakse üha sügavamale ja sügavamale. Meresügavusi uuritakse NSV Liidus ja paljudes maailma maades. Inimese viibimine merepõhjas annab võimaluse kultiveerida vetikaid ja kasvatada loomi, samuti toota kasulikke maapõuevarasid.

On tekkinud vajadus luua inimese poolt hooldatavaid kõrge produktiivsusega ökoloogilisi süsteeme, samuti püsivaid istandusi (biotsönoose), mis kaitseksid tuule, põua, tuiskliiva, paduvihmade, porivooluste, pinnase erosiooni jms. eest. Tuleb piirata looduslike ressursside röövellikku kasutamist.

Eriline tähtsus on tööstuse kahjulike jääkide väljaviimisel ainete ringkäigust.

Pärilikkuse juhtimine annab võimaluse luua suure produktiivsusega loomatõuge ning kõrgesaagilisi taimesorte. Introduktsiooni-, aklimatisatsiooni- ja valikuvõtete kasutamisega mobili-

seeritakse üha rohkem ja rohkem kogu maailma taime- ja loomaressursse.

Teine probleemide rühm haarab inimelu hügieeni ja meditsiini. Seoses viimaste aastate avastustega geneetika valdkonnas hakkas eriti arenema antibiootikumide, vitamiinide ja kasvustimulaatorite tööstuslikuks tootmiseks vajalike mikroorganismide selektsioon. Raku ehituse, ainevahetuse ja pärilike aluste uurimine aitab lahendada paljude haiguste ennetamise küsimust. Inimese enda organism muutub tervemaks ja tema eluiga pikeneb täisväärtusliku toitumise ning normaalsete elu- ja töötingimuste tulemusel.

Bioloogia avaldab mõju ka tehnikale, kus elusorganismide uurimise alusel luuakse ökonoomselt ja müratult töötavaid mehhanisme, mis ei ärrita inimese närvisüsteemi. Bioloogiliste teadmiste levitamine ja omandamine ei mõju mitte ainult looduskaitsele, vaid peab saama ka vajalikuks aluseks looduse rikkuste plaanipärasele kasutamisele ja taastootmisele.

Bioloogiat tundmata on mõeldamatu jõgede sängi muutmine, veehoidlate loomine, elektrijaamade ja looduslikku toorainet töötlevate tehaste ehitamine. Kõigis rahvamajanduslikes otsustes tuleb arvesse võtta looduslike muutuste tulemusi, nende mõju kliimale, inimesele, looma- ja taimeriigile. «Kui kultuuri ei suunata teadlikult, kui ta areneb stiihiliselt, võib ta jätta endast järele kõrbe» (K. Marx).

Võimsat tehnikat ja energiat valdav inimene kutsub biosfääris esile tohutuid muutusi ja laiendab selle piire. Bioloogilised teadmised lubavad seda teha mõistuse- ja plaanipäraselt, nähes ette võimalikke tulemusi.

**Küsimusi**

1. Missuguseid loomade organeid modelleerivaid aparaate tunnete raamatute ja ajakirjade järgi? 2. Missugust ainete ringkäiku kosmoselaevas vajab inimorganism? 3. Missugune tähtsus on bioloogilistel teadmistel inimese ja tuleviku inimühiskonna elus?

## SISUKORD

Sissejuhatus . . . . . 7

1. EVOLUTSIOONIÕPETUS

1. peatükk. Bioloogia üldiseloomustus Darwini-eelsel perioodil

1. Kirjeldava botaanika ja zooloogia arenemine . . 7
2. Esimene teooria orgaanilise maailma evolutsiooni kohta . . . . . 11
3. Esimesed vene evolutsionistid . . . . . 17

2. peatükk. Charles Darwini õpetus orgaanilise maailma evolutsioonist

4. Ajaloolised eeldused Charles Darwini õpetuse tekkimiseks . . . . . 19
5. Muutlikkus ja pärilikkus . . . . . 23
6. Kunstlik valik . . . . . 26
7. Olelusvõitlus . . . . . 32
8. Looduslik valik — orgaanilise maailma evolutsiooni liikumapanev jõud . . . . . 36
9. Organismide kohastumine ja selle suhtelisus . . . 39
10. Uute liikide tekkimine . . . . . 48
11. Taimede ja loomade kaasaegne süsteem kui evolutsiooni peegeldus . . . . . 56
12. Darwini teooria tähtsus . . . . . 59

3. peatükk. Orgaanilise maailma evolutsiooni tõendid

13. Võrdlev anatoomia . . . . . 63
14. Embrüoloogia . . . . . 68
15. Biogeograafia . . . . . 74
16. Paleontoloogia . . . . . 77

4. peatükk. Orgaanilise maailma arenemine

17. Meri — elu arenemise algkeskkond . . . . . 82
18. Maismaaorganismide arenemine paleosoikumis . . 87
19. Orgaanilise evolutsiooni peasuunad . . . . . 93
20. Orgaanilise maailma edasine kohastumine maismaaeluga mesosoikumis . . . . . 100
21. Orgaaniline maailm kainosoikumis . . . . . 104

5. peatükk. Inimese põlvnemine

22. Tõendid inimese põlvnemise kohta loomadest . . 111
23. Töö osa ahvi kujunemisel inimeseks . . . . . 117
24. Paleontoloogilised tõendid inimese põlvnemise kohta . 122
25. Inimrasside päritolu ühtsus . . . . . 128

2. RAKK JA ORGANISMIDE INDIVIDUAALNE ARENEMINE

6. peatükk. Rakuõpetus

26. Raku uurimine . . . . . 130
27. Raku ehitus . . . . . 133
28. Tsütoplasma ja tema organoidid . . . . . 137
29. Tuum ja tema struktuuri komponendid . . . . 143
30. Üherakulised organismid . . . . . 145
31. Mitterakulised organismid . . . . . 146
32. Raku keemiline koostis. Vesi. Anorgaanilised koostisosad . . . . . 149
33. Valgud . . . . . 153
34. Süsivesikud . . . . . 160
35. Rasvad ja lipoidid . . . . . 162
36. Nukleiinhapped. ATP . . . . . 163
37. Raku aine- ja energiavahetus . . . . . 170
38. Autotroofsed ja heterotroofsed rakud. Fotosüntees. Kemosüntees . . . . . 177
39. Valkude biosüntees . . . . . 183
40. Raku keemilise aktiivsuse autoregulatsioon . . . 190
41. Rakkude erutuvus ja liikumine . . . . . 191

7. peatükk. Elu tekkimine ja esialgne arenemine Maal

42. Elu mõiste määratlemine . . . . . 195
43. Elu puudumine Maal esialgse arengu perioodil . . 198
44. Vanad ettekujutused elu tekkimisest . . . . . 199
45. Tõendeid elu isetärkamise võimatusest kaasajal . . 201
46. Elu tekkeprobleemi teadusliku uurimise periood . . 202

8. peatükk. Organismide paljunemine ja individuaalne arenemine

47. Raku mitootiline jagunemine . . . . . 210
48. Kromosoomide arvu jäävus ja individuaalsus . . 215
49. Rakkude eluiga, vananemine ja surm . . . . 217
50. Organismide paljunemisviisid . . . . . 218
51. Viljastamine . . . . . 223
52. Viljastatud muna arenemine . . . . . 227

3. GENEETIKA JA SELEKTSIOONI ALUSED

9. peatükk. Tunnuste pärandumise põhilised seaduspärasused

53. Pärilikkuse uurimise hübridoloogiline meetod . . 233
54. Dihübriidne ja polühübriidne ristamine . . . . 242
55. Liitelise pärandumise nähtus . . . . . 247
56. Geenide vastastikune toime . . . . . 249
57. Soo geneetika . . . . . 252

10. peatükk. Muutlikkuse seaduspärasused

58. Modifikatsiooniline muutlikkus . . . . . 256
59. Mutatsiooniline muutlikkus . . . . . 260
60. Mõningaid geneetika üldmõisteid . . . . . 267
61. Geneetika ja evolutsiooniteooria . . . . . 268

11. peatükk. Taimede, loomade ja mikroorganismide selektsioon

62. Kaasaegse selektsiooni ülesanded . . . . . 272
63. Kultuurtaimede vormirikkuse ja tekke kolded . . 273
64. Taimede sordiaretus . . . . . 276
65. Polüploidia ja taimede kaughübridiseerimine . . . 278
66. I. Mitšurini töömeetodid . . . . . 281
67. Loomade tõuaretus . . . . . 283
68. Näiteid kõrge produktiivsusega koduloomatõugude loomise kohta . . . . . 287
69. Mikroorganismide aretus . . . . . 289

12. peatükk. Inimese geneetika

70. Inimese pärilikkuse uurimise meetodid . . . . 290
71. Inimese geneetika ja meditsiin . . . . . 292

4. ORGANISMI JA KESKKONNA VASTASTIKUSED SUHTED

13. peatükk. Organism ja keskkond

72. Keskkond ja ökoloogilised tegurid . . . . . 295
73. Põhilised klimaatilised tingimused ja nende mõju organismile . . . . . 297
74. Taimede ja loomade kohastumine välistingimuste sesoonse rütmiga . . . . . 304
75. Sesoonset arenemist juhtivad tegurid. Fotoperiodism 308
76. Organismide toitumissuhted ja ökoloogilised süsteemid . . . . . 312
77. Looduslikud ökoloogilised süsteemid . . . . . 319
78. Biotsönoosides toimuvad muutused . . . . . 328

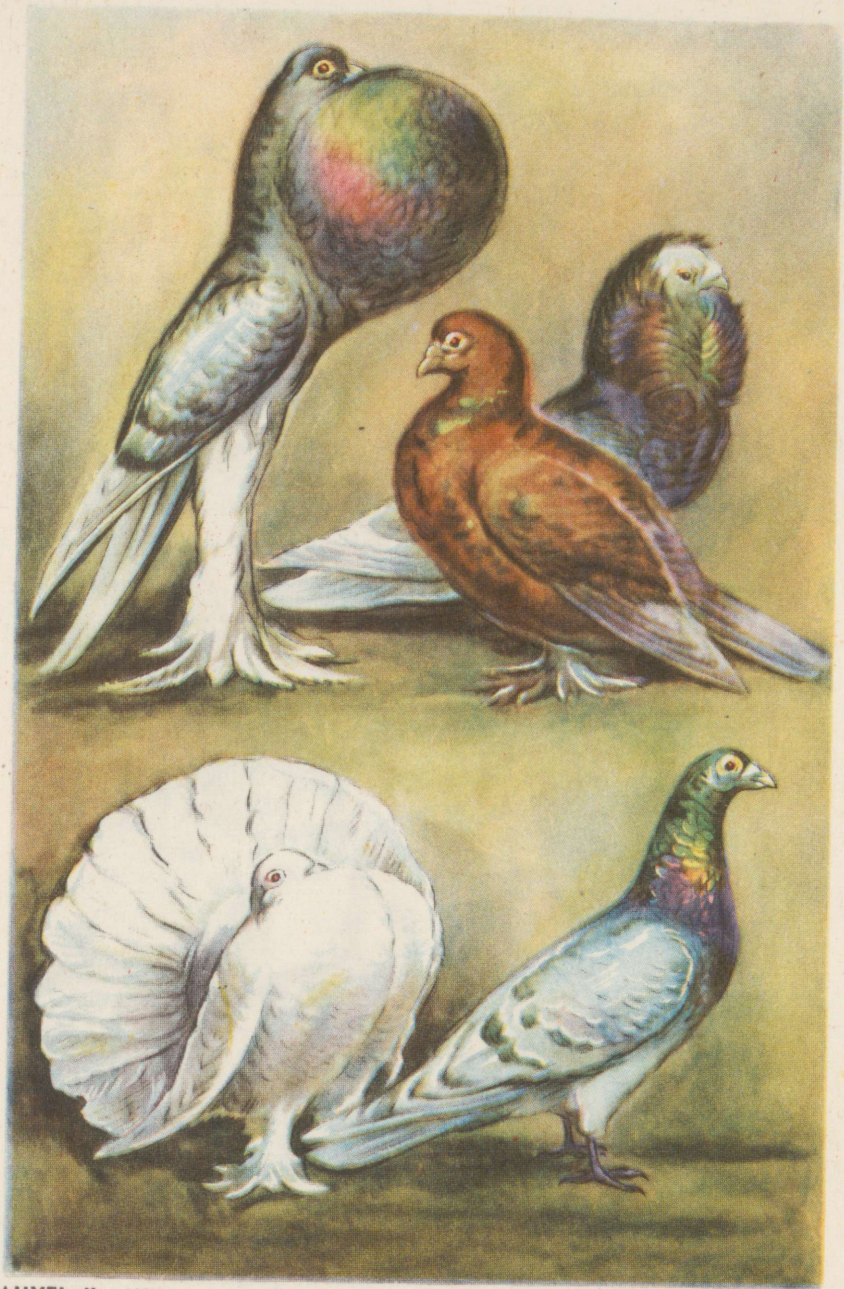
14. peatükk. Biosfäär ja inimene

79. Biosfäär ja biomassi omadused . . . . . 334
80. Ainete ringkäik ja energia muundumine biosfääris 342
81. Biosfäär ja orgaanilise maailma evolutsioon . . . 347
82. Inimese osa biosfääris . . . . . 348
83. Bioloogia ja tehnika probleemid . . . . . 351

Юрий Иванович Полянский, Александр Давыдович Браун, Николай Михайлович Верзилин, Александр Сергеевич Данилевский, Лев Николаевич Жинкин, Вера Михайловна Корсунская, Ксения Мироновна Суханова. ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ. Учебник для X—XI классов. Издание 6-е. На эстонском языке. Перевели с русского В. Маргна, Ю. Калам и Т. Орав. Художественное оформление Д. Пааламяэ. Издательство «Валгус», Таллин, Пярнуское шоссе, 10.
Toimetaja J. Metsar. Kunstiline toimetaja H. Keigo. Tehniline toimetaja E. Akkermann. Korrektor. O. Küla.
Laduda antud 15. XII 1972. Trükkida antud 16. II 1973. Kohila Paberivabriku trükipaber nr. 2, 60×90/16. Trükipoognaid 22,5 + 1,0 (kleebised). Arvestuspoognaid 25,51. Trükiarv 15 000. Tellimuse nr. 6096. Trükikoda «Kommunist», Tallinn, Pikk t. 2

Hind 58 kop.

**TAHVEL I.** Mitmesugused kanatõud ja nende metsik esivanem: **ülemises reas** (vasakult paremale) — metsikud bankiva kanad, valge leghorn; **keskmises reas** — pliimutrokk, liveni tõug; **alumises reas** — roodailend, võitluskanad.

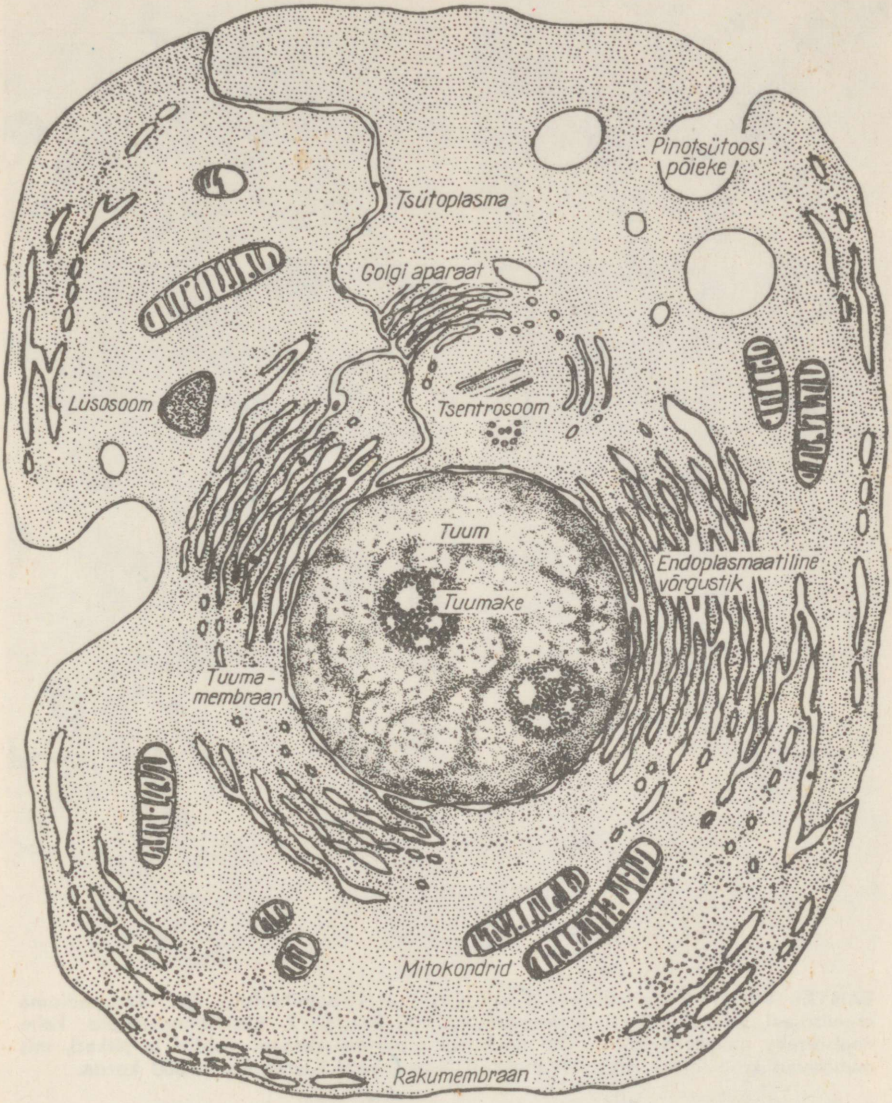


**TAHVEL II.** Mitmesugused tuvitõud ja nende metsik esivanem: **ülemises reas** (vasakult paremale) — pugutuvi, kukerpalltuvi, kakktuvi; **alumises reas** — lehviksabatuvi, metsik kaljutuvi.

**TAHVEL III.** Näiteid kaitsevärvuse ja kaitsekuju kohta: liblikas paelöölane väljasirutatud tiibadega (3) ja kokkupandud tiibadega puukoorel istumas (2); liblikas kärbtiib kokkupandud tiibadega lebamas puulehtede keskel (1) ja väljasirutatud tiibadega (6); lepalainelase röövik (4); tapusuru röövikud (5); tavaline punalutikas (7); ämblik (*Argyrope*) (8).

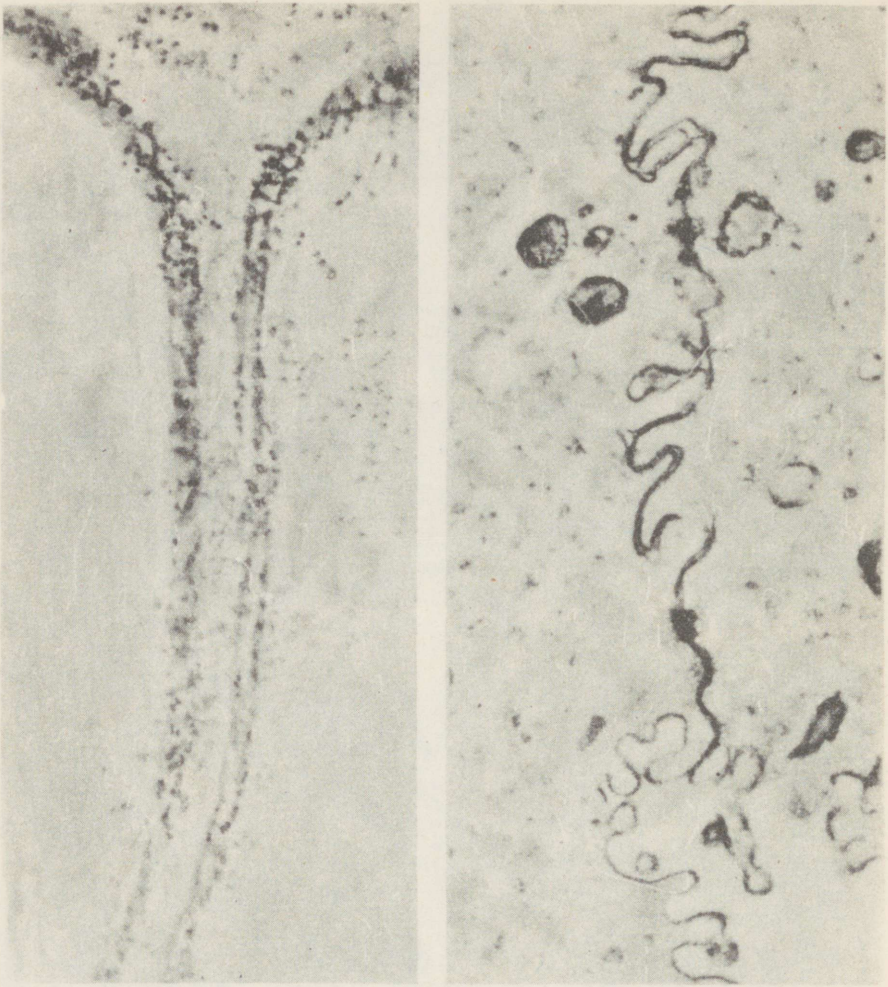
**TAHVEL IV.** Kaitsekuju ja kaitsevärvus: **ülal** — palvetaja, kelle keha kuju meenutab kõrreliste lehti; **all** — raagritsikas, kelle keha kuju meenutab oksaraagu.

**TAHVEL V.** Mimikri: ploomivaksiku röövik oksal (1); liblikas paju-klaastiib matkib vapsikut (3); õiekärbes (4) matkib kimalast (5). Kaitsevärvus: troopiline liblikas *Kallima* laialisirutatud (6) ja kokkupandud tiibadega (7). Ähvarduspoosid: suur harksaba (*Dicranura*) (9) ja pöökpuu harksaba (*Stauropus*) röövikud (10).



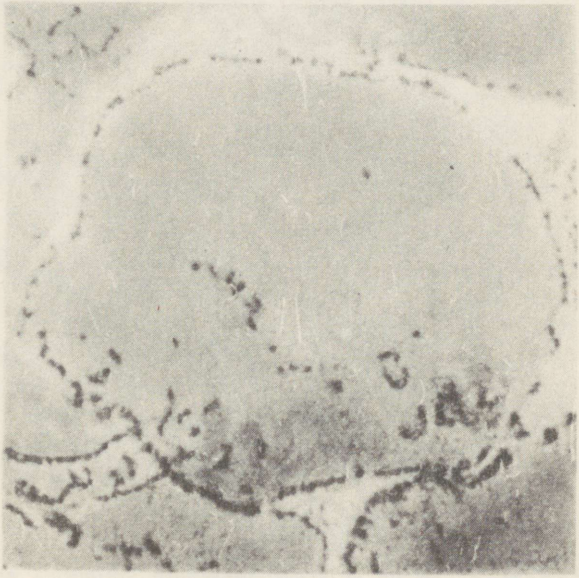

**TAHVEL VII.** Raku ehituse skeem elektronmikroskoopia andmete alusel.

◀ **TAHVEL VI. Ülal** — australopiteekused. Tööriistadeks kepid, teravad kivid, sarved ja teravad luutükid (rekonstruktsioon). **All** — kromanjoonlased oma elupaigas.



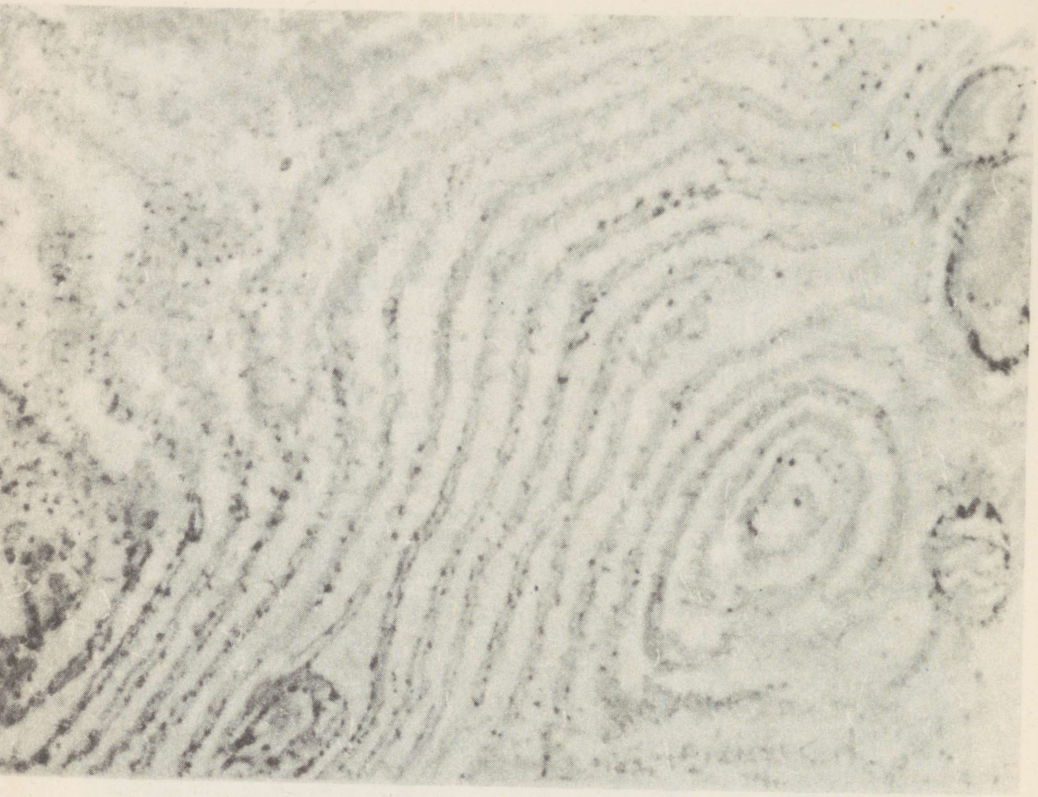
**TAHVEL VIII.** 1. Kahe närviraku membraani elektronmikrofoto. On näha mõlema membraani kolmekihilisus. Suurendus 400 000 korda. 2. Elektronmikrofoto kahe naaberraku membraanidest. On hästi näha rakumembraani voldid ja jätked, mis muudavad kindlamaks rakkudevahelised ühendused. Suurendus 30 000 korda.

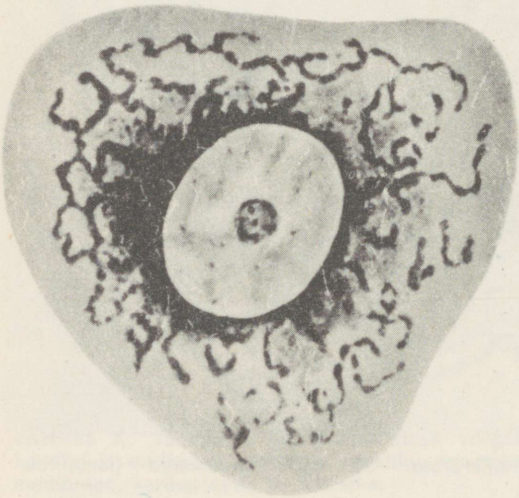
**TAHVEL IX.** 1. Elektronmikrofoto mitokondritest. On näha välis- ja sisemembraanid, sisemembraani harjad. 2. Lüsosoom. Elektronmikrofoto. Suurendus 63 000 korda. ▶

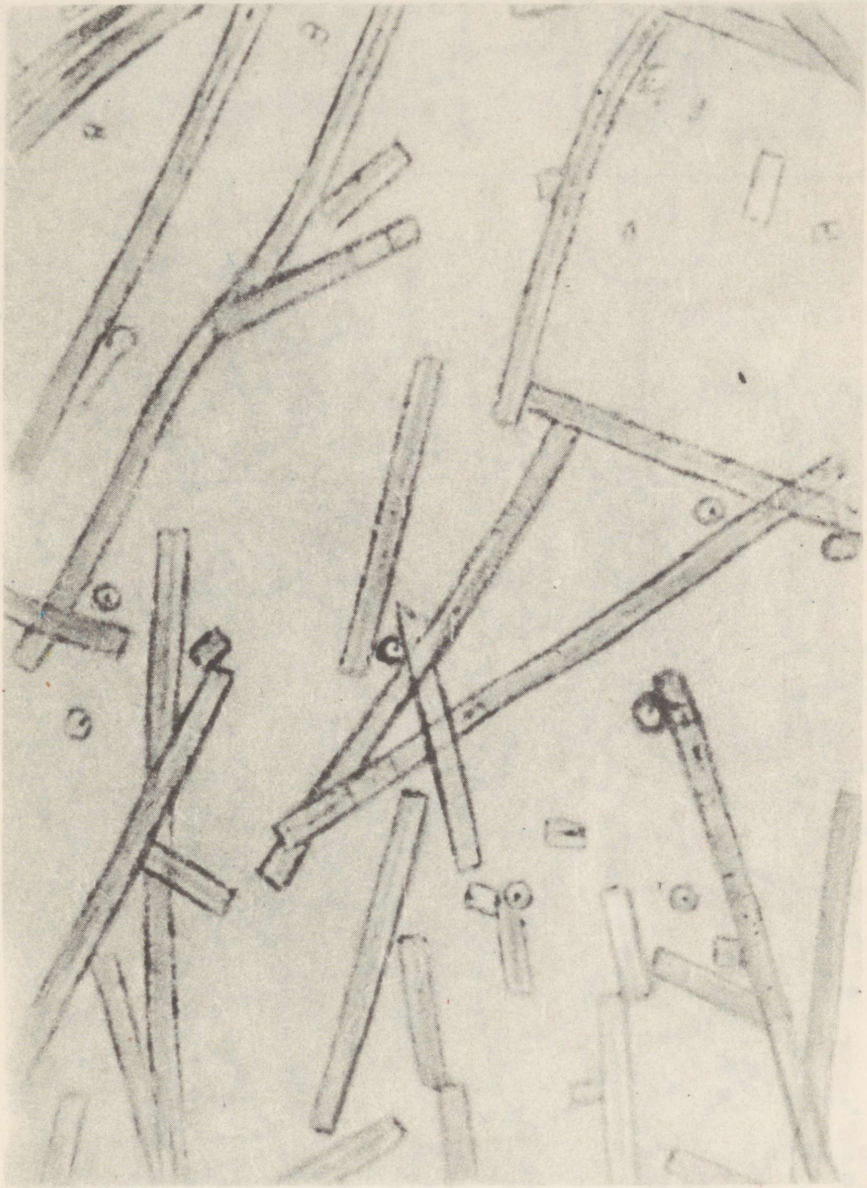


**TAHVEL X.** Tuuma ja endoplasmaatilise võrgustiku elektronmikrofoto. On näha kanalid ja endoplasmaatilise võrgustiku suuremad õõned. Samuti on näha tuuma-membraan, karüoplasma ja tuumake.

**TAHVEL XI.** Kloroplasti elektronmikrofoto. On näha graanumid (lamellide kogumid). Suurendus 40 000 korda.

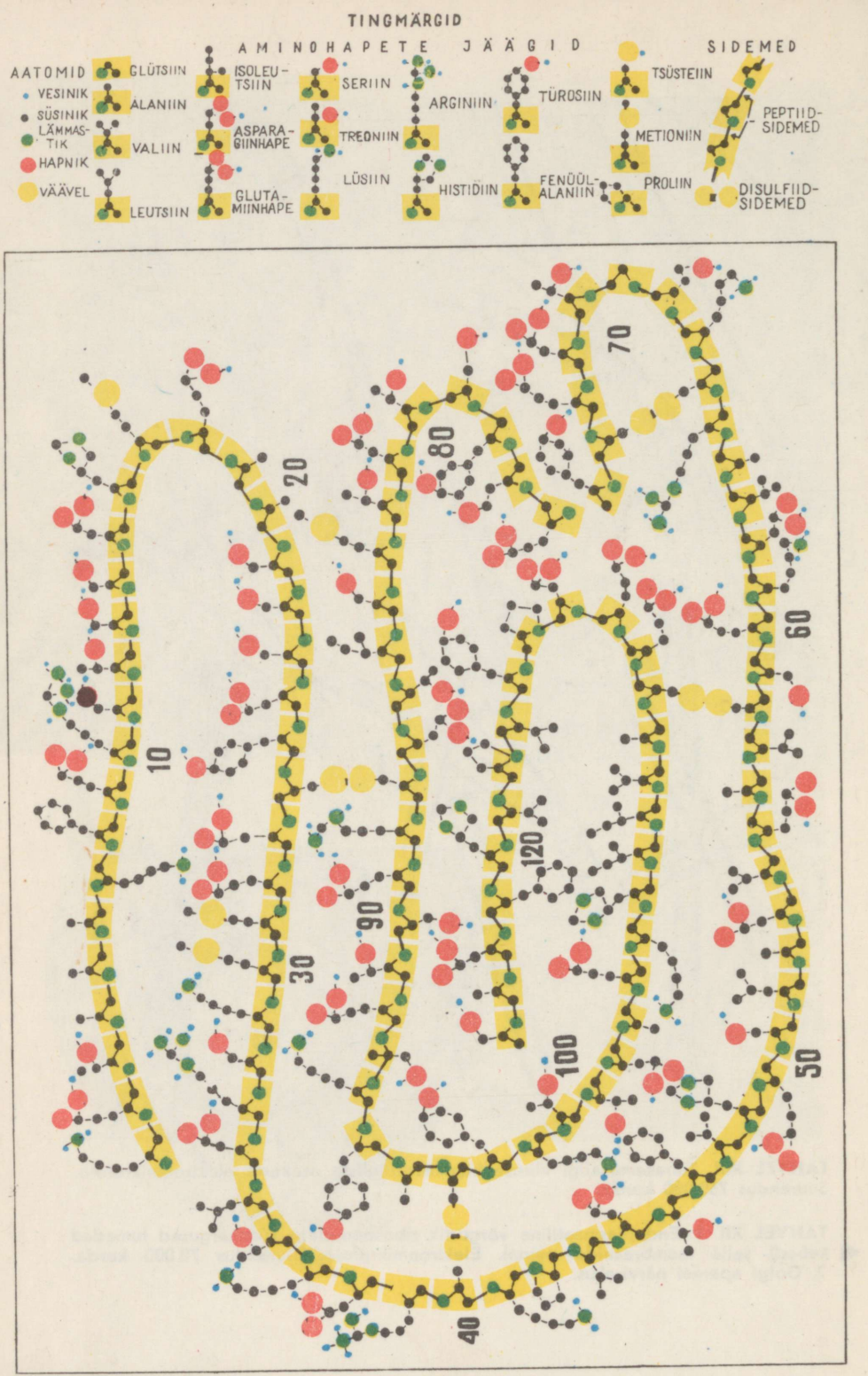


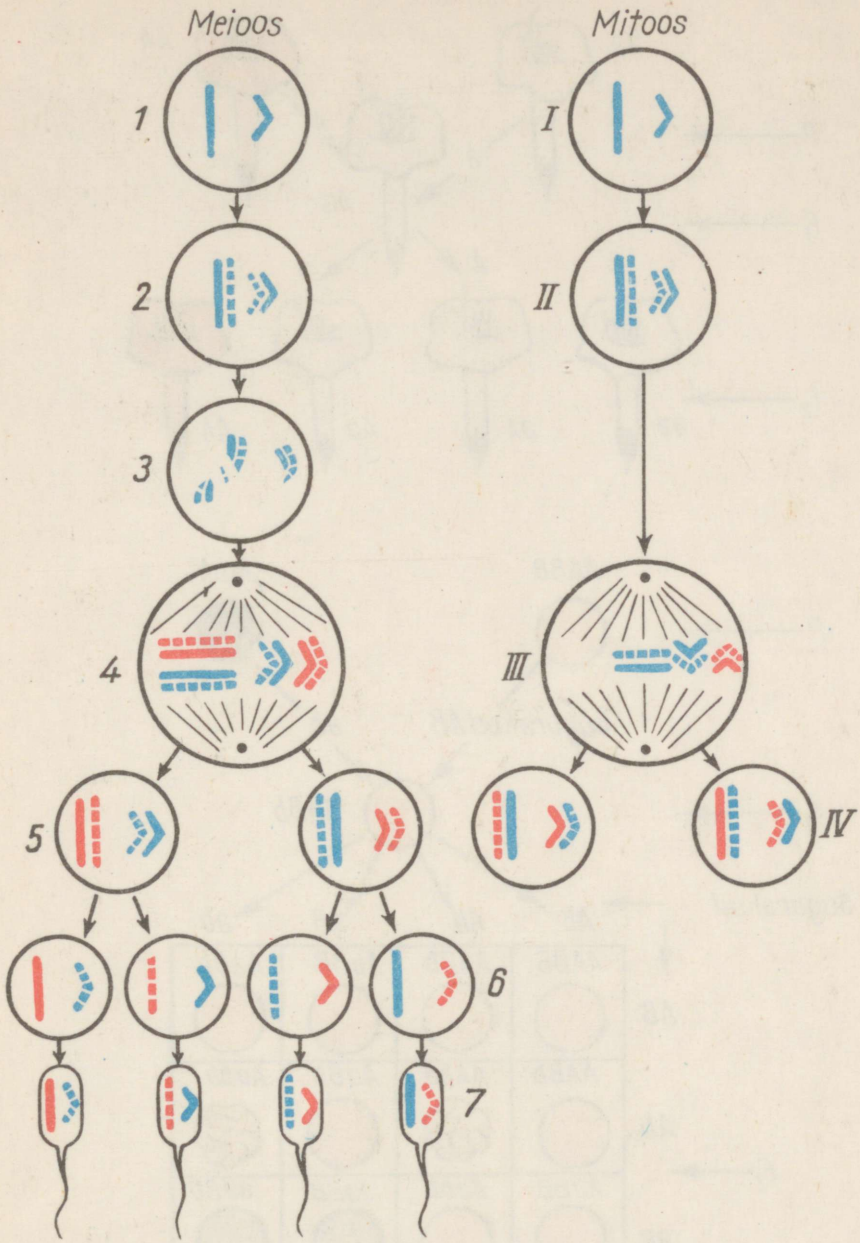




**TAHVEL XIII.** Tubakamosaiigi viiruse kepikesekujuliste osakeste elektronmikrofoto. Suurendus 750 000 korda.

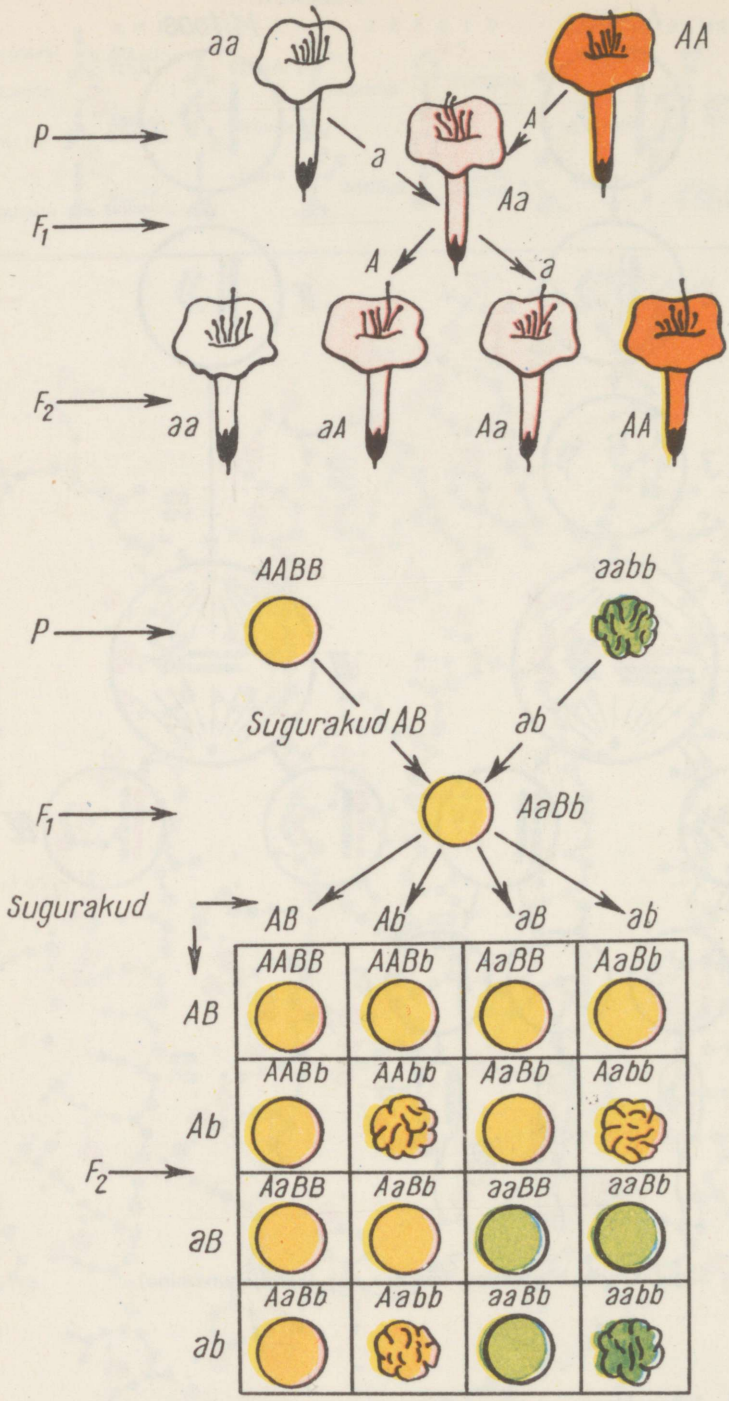
**TAHVEL XII.** 1. Endoplasmaatiline võrgustik ribosoomidega (ümmargused tumedad kehad) selle membraanide pinnal. Elektronmikrofoto. Suurendus 70 000 korda. 2. Golgi aparaat närvirakus.


TINGMÄRGID
AATOMID
VESINIK
SÜSINIK
LÄMMASTIK
HAPNIK
VÄÄVEL
GLÜTSIIN
ALANIIN
VALIIN
LEUTSIIN
AMINOHAPETE JÄÄGID
ISOLEUTSIIN
ASPARAGIINHAPE
GLUTAMIINHAPE
SERIIN
TREONIIN
LÜSIIN
ARGINIIN
HISTIDIIN
TÜROSIIN
FENÜÜLALANIIN
TSÜSTEIIN
METIONIIN
PROLIIN
SIDEMED
PEPTIIDSIDEMED
DISULFIIDSIDEMED
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
120




**TAHVEL XV.** Sugurakkude küpsemine (meioos ehk taandjagunemine).

◀ **TAHVEL XIV.** Ribonukleaas.




**TAHVEL XVI. Ülal** — *Mirabilis*'e monohübriidide ristamine; **all** — herne dihübriidne ristamine.

58 kop.

A
33 046
31 529

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00454097 9