Üldbioloogia

A
28583

Üldbioloogia

ÕPIK XI KLASSILE

Toimetanud professor J. Poljanski

KIRJASTUS «VALGUS» · TALLINN 1967

57
U 50

Kunstiliselt kujundanud **J. Arrak**

Originaali tiitel:

А. Д. Браун, Н. М. Верзилин, А. С. Данилевский, Л. Н. Жинкин, В. М. Корсунская, Ю. И. Полянский, К. М. Суханова
ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ
Учебное пособие для X класса средней школы
Издание 2-е
Утверждено министерством просвещения РСФСР
«Просвещение». Москва. 1967

Tõlge kinnitatud Eesti NSV Haridusministeeriumi poolt

Vene keelest tõlkinud **U. Margna** (I osa) ja
T. Orav (II ja III osa)

Käesoleva raamatu autorid seadsid endale eesmärgiks tutvustada õpilastele elu põhiliste seaduspärasuste olemust. Vaatluse alla võetakse orgaanilise maailma ajalooline arenemine, inimese põlvnemine, rakuõpetus, organismide paljunemine ja individuaalne arenemine, pärilikkus ja muutlikkus, õpilasi tutvustatakse organismi ja ümbritseva keskkonna vaheliste suhete seaduspärasustega, biosfääri eluga.

Raamatu ülesandeks on tutvustada õpilasi XX sajandi teise poole tähelepanuväärsete avastustega bioloogias ning bioloogia edasiste perspektiividega, aga samuti näidata bioloogiliste seaduspärasuste kasutamist põllumajanduses ja teistes rahvamajandusharudes, arstiteaduses ja tehnikas.

Raamat on kirjutatud autorite kollektiivi poolt, kus töö jaotus järgmiselt: pedagoogikakandidaat V. Korsunskajalt pärinevad peatükid «Bioloogia üldiseloomustus Darwini-eelsel perioodil», «C. Darwini õpetus orgaanilise maailma evolutsioonist», «Orgaanilise maailma arenemine», «Inimese põlvnemine»; bioloogiadoktor A. Brauni ja bioloogiakandidaat K. Suhhanova poolt on kirjutatud «Rakuõpetus»; prof. L. Žinkini poolt — «Paljunemine ja individuaalne arenemine»; prof. J. Poljanski poolt — «Sissejuhatus» ja «Geneetika ja selektsiooni alused»; prof. A. Danilevskile kuulub peatükk «Organism ja keskkond»; Vene NFSV PTA korrespondentliikmele N. Verzilinile — «Biosfäär ja inimene».

Raamatu üldtoimetajaks oli prof. J. Poljanski.

2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
69922

Sissejuhatus

Bioloogia on teadus elust ja elusorganismidest. Eelnenud õpinguaastate vältel olete te juba tutvunud bioloogia mõnede osadega. Botaanikas õppisite tundma taimorganisme — nende ehitust ja talitlust, nende mitmekesisust ja süstemaatikat. Zooloogia kursus oli pühendatud loomariigile. Inimese anatoomia ja füsioloogia kursuses tutvusite inimese kehaehituse ja talitlusega. Teadmised kõigist neist bioloogia valdkondadest on vajalikud meid ümbritseva elusa looduse mõistmiseks. Nad on tähtsad ka inimese praktilises tegevuses, sest taimed ja loomad kujutavad endast põllumajandusliku tootmise objekte. Ilma teadmisteta inimese anatoomiast ja füsioloogiast ei saa areneda arstiteadus.

Kõik eespool loetletud teadused uurivad elusorganismide ehituse ja talitluse eri külgi.

Kuitahes erilaadsed mitmesugused bioloogia poolt uuritavad objektid ka ei oleks, ühendab neid üks omadus, mis on ühine neile kõigile — elu. Selle poolest erinevad nad oluliselt elutu looduse kehadest — kivimitest, mineraalidest, atmosfäärist ja muust.

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

Kõikidele nendele küsimustele peabki andma vastuse üldbioloogia — teadus, mis uurib elunähtuste põhilisi ja kõikidele organismidele ühiseid seaduspärasusi.

Elu — see on erakordselt keeruline ja kvalitatiivselt omapärane materiaalse maailma nähtus, millele tema mitmekesisuse tõttu ei saa anda lühikest ning ammendavat määrangut, nii nagu see näiteks on võimalik mõnede elementaarsete matemaatiliste mõistete suhtes.

Paljude sajandite vältel pole õpetlased suutnud lahendada «elu mõistatust» ning on jõuetuina jäänud peatuma selle ees. Bioloogia möödunud aegadele on iseloomulik, et elu olemust on püütud defineerida elu mittemateriaalseks tunnistamisest lähtudes. Paljud XVIII ja XIX sajandi teadlased olid arvamusel, et elunähtuste mitmekesisus tuleneb mingi ebamateriaalse, «elujõuks» nimetatud alge olemasolust organismides. Nende õpetlaste arva-

tes «elujõud» ongi see, mis määrab organismide kõik peamised omadused, eeskätt aga nende ehituse ning talitluse otstarbekohasuse, s. t. kohastatuse olelustingimustega. Seda suunda hakati nimetama vitalismiks («elujõu» ladinakeelse vaste — *vis vitalis* — järgi). Oma olemuselt viib vitalism lahtiütlemisele elu tunnetamisest, «elujõud» aga pole midagi muud, kui jumalik alge.

Bioloogia edusammud XIX sajandil ning orgaanilise maailma ajaloolise arenemise seaduse avastamisele viinud Darwini tööd, millega me tutvume juba lähemates tundides, sundisid suurt osa biolooge loobuma vitalismist ning otsima bioloogia põhiprobleemidele lahendust materiaalsete seaduste 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. Organismide ajaloolise arenemise seaduste tunnetamine — see ongi üks üldbioloogia peaülesandeid.

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 viitavad orgaanilise maailma ühisele päritolule. Raku struktuuri ja talitluse uurimine on tähtis ülesanne üldbioloogias. Erilist huvi raku tundmaõppimisel pakub tema jagunemine, mis on rakkude ja organismide paljunemise aluseks.

Millisel viisil saab võimalikuks liigi tunnuste kordumine rakkude ja organismide eri põlvkondade pikas reas? Milles seisneb pärilikkusenähtuse materiaalne mehhanism? Selle kardinaalse üldbioloogilise probleemi lahendamisel on teaduse edusammud viimasel aastakümnel olnud eriti suured. Õnnestus avastada molekulaarne mehhanism, millel baseerub rakkude ja organismide hämmastamapanev võime reprodutseerida endasarnaseid. Tutvumine nende bioloogia ja keemia piirimail asuvate seaduspärasustega on tähtis ala üldbioloogias.

Iga organism on seotud teda ümbritseva keskkonnaga, ilma milleta ta ei saa eksisteerida. Organismi ja keskkonna vahel toimub pidev aine- ja energiavahetus, ilma milleta ei ole elu. Seejuures tuleb organismide juures ilmsiks hämmastav isereguleerimise võime. See väljendub selles, et organism, seni kuni ta on elus, säilitab oma ehituse, oma keemilise koostise, füüsikalised omadused. Nii näiteks on hästi teada, et püsisoojaste loomade kehatemperatuur püsib alati muutumatuna, sõltumata sellest, milline temperatuur valitseb ümbritsevas keskkonnas. Magevees elunev amööb säilitab raku sees tema protoplasmale iseloomulikud füüsikalised omadused, soolade koostise ning osmootse

rõhu. See ülilihtne organism reguleerib ainevahetust üsnagi täiuslikult, säilitades oma tervikluse.

Küsimus üksikute rakkude ja terviklike organismide iseregulatsiooni mehhanismidest on üheks keskseks probleemiks üldbioloogias.

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. Niisugusteks looduslikeks kompleksideks on näiteks tiik, mets, aas jne. Iga selline kompleks ehk biotsönoos kujuneb välja teatud taime-, looma- ja mikroorganismide liikidest. Ka biotsönooside kujunemise ning nende elu seaduspärasuste uurimisega tegeleb üldbioloogia.

Meie planeeti asustav elusolendite kogum on teatud kindlates ja keerulistes vahekordades eluta loodusega. Organismidele kuulub tähtis osa Maa ilme kujundamisel, kivimite ning atmosfääri moodustamisel. Piisab, kui märkida, et vaba hapniku olemasolu eest Maa õhkkestas võlgneme tervenisti tänu roheliste taimede elutegevusele. Kõik need küsimused kuuluvad samuti üldbioloogia valdkonda ning leiavad käsitlemist käesolevas raamatus.

Bioloogiliste seaduste tunnetamine avab laiad perspektiivid elusa looduse juhtimiseks, tema muutmiseks inimkonna hüvanguks. Uute kultuurtaimesortide ning koduloomatõugude loomine baseerub täielikult organismide pärilikkuse ja muutlikkuse seadustel. Loodusrikkuste — metsade, aasade, jõgede — kasutamine peab tuginema nende bioloogiliste seaduste tundmisele, mis määravad ära vahekorrad biotsönooside üksikkomponentide vahel, organismide ja eluta looduse vahel.

Bioloogia näitab kätte peamised teed looduslike biotsönooside ümberkorraldamiseks inimese huvides ning uute kultuurbiotsönooside loomiseks.

Taimede ja loomade aklimatiseerimise küsimusi, aga samuti mere ning mageveekogude kalavarude suurendamist 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 jms. Bioloogide visa töö eesmärgiks on lahendada need paeluvad probleemid, mis kõik baseeruvad organismidevaheliste suhete ning vahekordade sügaval mõistmisel.

Elu olemuse tunnetamine on väga tähtis arstiteaduses. On vaja tundma õppida inimese pärilikkust, sest terve rida haigusi antakse edasi pärilikult. Inimese üks raskemaid haigusi — pahaloomulised kasvajad (vähk) — on seotud sügavate häiretega raku

elus, puudutades niihästi raku ehitust kui ka tema talitlust. Mõistmata raku elu bioloogilisi seadusi ei saa vähi probleemi lahendada.

Üldbioloogia, mis uurib elu üldisi seaduspärasusi, on tihedalt seotud teiste loodusteadustega, eriti keemia ja füüsikaga. Raku ja organismi ainevahetuse uurimine nõuab samal ajal ka orgaaniliste ja anorgaaniliste ainete keemiliste muutuste uurimist. Viimastel aastatel on eriti tormiliselt arenema hakanud bioloogia ning keemiaga piirnev teadusharu, mida nimetatakse molekulaarbioloogiaks. Selle ülesandeks on peamisi elunähtusi (ainevahetus, pärilikkus, ärritatavus) uurida rakku moodustavate molekulide tasemel. Bioloogiliste protsesside ja seaduspärasuste tunnetamise seisukohalt ei ole väiksema tähtsusega ka füüsikaliste nähtuste uurimine rakkudes ja organismides.

Bioloogia kujutab käesoleval ajal endast kiiresti arenevat teadust, mille saavutused on erakordse tähtsusega inimkonna tulevikule.

1. peatükk

BIOLOOGIA ÜLDISELOOMUSTUS DARWINI-EELSEL PERIOODIL

Teaduse poolt on kindlaks tehtud, et organismide kaasaegsed liigid, vaatamata nende üllatavale mitmekesisusele, põlvnevad kõik ühistest esivanematest ja on paljude miljonite aastate vältel välja arenenud loodusseaduste mõjul. Elu ajaloolise arenemise pikaajalist protsessi Maal nimetatakse orgaanilise maailma evolutsiooniks.

Orgaanilise maailma evolutsiooni käsitleva teaduse rajajaks oli suur inglise õpetlane Charles Darwin. Selle teaduse algelemendid töötati aga paljude bioloogide ning filosoofide poolt välja juba ammu enne teda.

Õpetuse liikide tekkimisest lõi Charles Darwin kõikide tolle aja teaduslike saavutuste alusel.

Milline aga oli olukord bioloogias enne Darwini õpetuse tekkimist?

1. Kirjeldava zooloogia ja botaanika arenemine

Keskaeg ja renessansiajastu. Keskaja varasel perioodil peeti ainsaks tunnetuse allikaks jumalat, inimese praktilise tegevuse aluseks aga — usku jumalasse. Püüdu uurida ja katsetada peeti ketserluseks ning see leidis julma tagakiusamist. Järsk pööre teaduse arenemises toimus alles XV sajandil. See seletub kapitalismi sugemete tekkimise ja kasvuga feodaalühiskonnas: oli vaja toorainet tööstuse jaoks ning toitaineid üha kasvavate linnade elanikkonna tarbeks.

Uute, tooraine kokkuostmiseks ning tööstuskaupade turustamiseks vajaminevate turgude otsinguil tugevnesid kaubanduslikud sidemed linnade ja maade vahel. Senitundmatute maade ja mandrite avastamine ning koloniseerimine andis tõuke uute toidu-, dekoratiiv-, ravim- ning vürtsitaimede sisseveoks Euroopasse. Eesmärgiga levitada uusi meretaguseid taimi hakati XVI sajandil paljudes linnades organiseerima botaanikaaedu; hiljem hakati

ehitama kasvuhooneid; leiutati moodus taimede kuivatamiseks paberilehtede vahel — herbariseerimine.

K o g u m i s p e r i o o d. Teadus elusorganismidest astus arenguetappi, mida hiljem on hakatud nimetama k o g u m i s p e r i o o d i k s. See periood etendas tähtsat osa teaduslike teadmiste arengus. Teadlaste uurimistööde tulemusel ilmusid raamatud, milles üksikasjalikult kirjeldati äsjaavastatud taime- ja loomaliike. Näidati ära, kus antud liik esineb, milliste kohalike nimetuste järgi teda tuntakse, kuidas teda kasutada majapidamises ja arstiteaduses.

Mikroskoobi avastamine XVI sajandi lõpul võimaldas hakata uurima mikroorganisme, taimede ja loomade rakulist ehitust, spermatosoide, loomade munaraku ehitust. Avastati vereringe. Selles faktide tulvas oli aga väga raske orienteeruda, sest sageli olid faktid segatud väljamõeldistega. Ei olnud veel olemas taimede ja loomade üldiselt omaks võetud rühmadesse jaotust — klassifikatsiooni, puudus ka ühtne terminoloogia. Tekkis pakiline vajadus kogutud materjali süstematiseerimiseks. Selleks oli vaja organismid jaotada rühmadesse ning kehtestada ühtsed teaduslikud nimetused.

K i r j e l d a v s ü s t e m a a t i k a. C a r l L i n n é. Alguses püüdsid teadlased liike loetleda tähestiku järjekorras. Seejärel hakkasid nad taimi ja loomi rühmadesse ühendama sarnasuse või erinevuse järgi, võttes näiteks aluseks teatud tunnused viljade või seemnete, õiekrooni või ka kogu õie ehituses. Sellised rühmitused osutusid k u n s t l i k e k s: tarvitses vaid ühe tunnuse asemel valida teine ning kogu klassifikatsioon muutus.

Parima kunstliku süsteemi loojaks oli XVIII sajandi kuulus rootsi teadlane Carl Linné, paljude teaduslike tööde autor, mis kõik olid kirjutatud tol ajal rahvusvahelise teadusliku keelena käibel olnud ladina keeles. Linné võttis klassifitseerimise aluseks organismidevahelise sarnasuse või erinevuse, pidades kõige väiksemaks üksuseks liiki. Sarnased liigid ta ühendas perekondadesse, sarnased perekonnad — seltsidesse, seltsid aga — klassidesse. (Võrrelge neid ühikuid kaasajal kehtivate süstemaatiliste ühikutega.)

Perekonna nimetus on ühine kõikidele antud perekonna liikidele. Näiteks, aas-seahernes — *Lathyrus pratensis,* mets-seahernes — *Lathyrus sylvestris;* koer — *Canis familiaris,* hunt — *Canis lupus* (näidake, millised on perekonna, millised liigid nimetused).

Liikide tähistamiseks kasutas Linné kahesõnalisi ladinakeelseid nimetusi, kuid erinevalt oma eelkäijaist oli ta arvamusel, et omaette nimetused on vajalik anda ainult perekondadele, kuna liigi nimetused võivad erinevates perekondades korduda. Kahesõnaliste nimetuste printsiip püsib ka praegusel ajal. (Tooge näiteid perekondade ja liikide kaasaegsete nimetuste kohta.)

Linné tegi põhjaliku reformi botaanilises terminoloogias. Selleks ta uuris luubiga üksikasjalikult läbi paljude tuhandete taimede ehituse ning formuleeris selle alusel taimeosade nimetused. Ühtekokku pani ta ette võtta kasutusele umbes 1000 terminit. Paljud neist viis ta teadusesse esmakordselt, osa aga võttis üle varemtuntuist, valides nende seast välja õnnestunumad.

Linné jaotas taimed 24 klassi. Jaotuse aluseks võttis ta tolmukate arvu, pikkuse ning kinnitumisviisi, kuid üldse ei arvestatud teisi tunnuseid. Selle tulemusel sattusid paljud üksteisest kaugel-asetsevad taimed ühte ja samasse klassi, paljud sugulasliigid aga erinevatesse klassidesse. Nii näiteks olid porgand ja sõstrad paigutatud viiendasse klassi, kuna neil mõlemal on 5 tolmukat. Tegelikult aga kuuluvad need taimed koguni eri sugukondadesse: porgand — sarikaliste sugukonda, sõstrad — kivirikuliste sugukonda.

Loomad klassifitseeris Linné järgmiselt:

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

Selgroogsete klassid olid Linné poolt põhiliselt õigesti ära märgitud, kuid roomajate klassi olid paigutatud niihästi roomajad kui ka kahepaiksed. Usside klassi sattusid peaaegu kõik selgrootud. Tol ajal olid need loomad vähe uuritud ning terminit «selgrootud» veel ei tuntud. Loomade klassifitseerimine ühe tunnuse järgi tõi enesega kaasa vigu: Linné paigutas ühte seltsi näiteks morsa, laiskelaja ja sipelgaõgija, lähtudes sarnasusest nende hammaste ehituses. (Morsk kuulub loivaliste, laiskelajas ja sipelgaõgija napihambuliste seltsi.)

Inimese asetas Linné oma süsteemis ühte seltsi ahvidega, kuigi mõtteid inimese sarnanemisest loomadega loeti tol ajal kuritegelikeks. Kuid teadlane ei saanud toimida teisiti: niivõrd sarnastena tundusid talle inimese ja ahvi ehitus.

Carl Linné (1707—1778).

Linné pidas oma süsteemi ajutiseks, sest ta mõistis, et see on kunstlik. Ta püüdis luua sellist süsteemi, mis oleks peegeldanud looduses tegelikult eksisteerivaid, taimede ja loomade loomulikke rühmi.

Kuid nii nagu enamik XVIII sajandi teadlasi, nii pidas ka Linné loomulikuks süsteemiks jumala poolt loodud looduse plaani lahtimõtestamist. Hoolimata sellest, et need ettekujutused olid oma olemuselt väärad, sundisid nad teadlasi siiski otsima loomulikku süsteemi. Linné tööde tähtsus teaduses seisneb selles, et ta lõi taimede ja loomade klassifitseerimiseks lihtsa skeemi, võttis kasutusele selge ning mugava kahesõnaliste nimetuste süsteemi (binaarse nomenklatuuri); määras ära taimede perekonnad ja liigid; kirjeldas umbes 1200 perekonda ning tegi kindlaks rohkem kui 8000 taimeliiki; viis läbi reformi botaanilises terminoloogias. 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.

Metafüüsilised ettekujutused loodusest XVIII sajandil. Ajajärku XVI—XVIII sajandini iseloomustavad niinimetatud metafüüsilised ettekujutused (kreekakeelsetest sõnadest *meta* — vahel, järel, koos, ümber, ja *physis* — loodus). Nende vaadete olemus seisneb järgnevas. Looduses ei pandud tähele muutusi ega arenemist. Kujutati ette, et Maa on eksisteerinud alati sellisena, nagu ta on praegu. Maailmajagusid, mägesid, madalikke, jõgesid peeti igavesteks, taime- ja loomaliike aga muutumatuteks.

Loodusnähtusi käsitleti üksteisest sõltumatutena, ilma et oleks nähtud omavahelisi seoseid nende vahel. Arvati, et looduses valitseb absoluutne otstarbekohasus. Väljenduse «otstarbekohasus» all mõisteti siis organismi või organi vastavust sellele eesmärgile, mille oli püstitanud looja, kõik kõige täiuslikumal viisil loonud jumal. Elusolendite kohastumises elutingimustega nähti mingi üleloomuliku, tunnetamatu jõu avaldust.

Ideid liikide püsivusest ja looduse otstarbekohasusest peegeldasid selgesti ka Linné teosed. Tema välivaatlused tõid aga ilmsiks fakte, mis näitasid, et liigid on muutuvad. Ning oma elu lõpul tunnistas loodusteadlane ka ise, et ühed liigid võivad muutunud elutingimuste ja ristamise mõjul tekkida teistest. Perekondi pidas Linné aga endistviisi muutumatuteks. Vaated looduse muutumatusest ja otstarbekohasusest olid üldtunnustatud ning leidsid täielikku toetust valitsevate ringkondade ja kiriku poolt, kes püüdsid peatada feodalismi lagunemist ja lõplikku hukkumist.

XVIII sajandi lõpuks olid ühiskondlik-poliitilised vaated tublisti muutunud ning see ei jätnud mõju avaldamata ka teadlastele ja filosoofidele, 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 organismid põlvnevad kaugetest esivanematest. Prantsusmaal oli nende ideede väljendajaks kuulus loodusteadlane Buffon, Inglismaal — Erasmus Darwin (C. Darwini vanaisa). Kuid need olid vaid üksikud organismide omavahelisele sugulusele tähelepanu juhtivad mõtted või faktide kirjeldused. Evolutsiooniteooriat ennast veel ei olnud. Alles XVIII—XIX sajandite vahetusel esitas silmapaistev prantsuse teadlane Jean Baptiste Lamarck esimese evolutsiooniteooria ja püüdis seda ka põhjendada.

2. Esimene teooria elusa looduse evolutsiooni kohta

Organismide muutuvus. Lamarck on esimene, kes jagab loomariigi selgroogseteks ja selgrootuteks ning rühmitab nad, sõltuvalt nende ehituse keerulisuse astmest, 14 klassi. Ta on arvamusel, et süsteem peab peegeldama loomade järkjärgulist ilmumist Maale, alates ainuraksetest ja lõpetades inimesega.

Orgaaniline maailm areneb ajaloo kestel. Liigid on tingimata muutuvad ja nad eksisteerivad looduses. Perekonnad, sugukonnad jt. ühikud on ainult tinglikud tähistused, mis on vajalikud klassifikatsiooniks.

Tegelemine selgrootute süstemaatikaga viib Lamarcki järeldusele, et liikide vahel puuduvad teravad piirid ja et looma- ning taimeliigid on omavahel seotud paljude väikeste vaheastmetega, mis teeb nende piiritlemise raskeks. Nii on see näiteks tarnade, piimalillede, kanarbikkude ja teiste taimeliikide puhul, mõnede päeva- ja ööliblikate, kärbeste, siklaste ja teiste loomarühmade juures.

Jean Baptiste Lamarck (1744—1829).

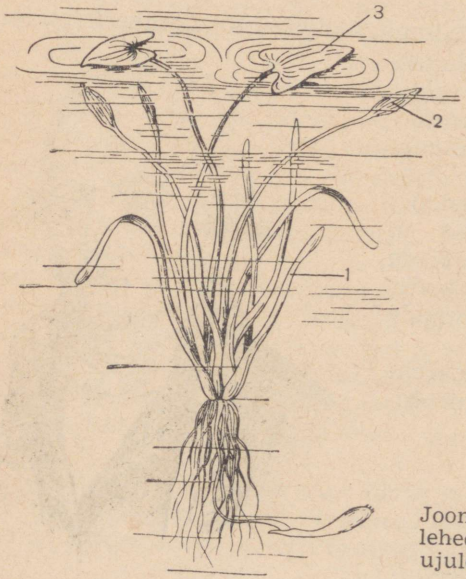
Gradatsioon. Lamarcki arvamuse kohaselt on elu mada-

lamad vormid tekkinud anorgaanilisest ainest isetärkamise teel. See protsess pidavat toimuma ka praegusel ajal. Loodus alustab oma loomistööd primitiivsetest, madalalt organiseeritud elusolenditest, mis organisatsiooni astme järkjärgulise tõusu teel jõuavad kõrgematele arenemisastmetele. Kogu elus loodus näib talle muutuvate isendite pideva reana, liigid aga inimese poolt väljamõeldud ühikutena. Lükates ümber liikide muutumatuse fakti, hakkas Lamarck eitama liikide esinemist looduses. Ta arvab, et kõiki elusolendeid iseloomustab tung keerulisemaks muutumise poole, tung g r a d a t s i o o n i l e, mis on evolutsiooni üldiseks suunaks. Kuid Lamarcki arvamuse kohaselt on liikidele omane ka veel teine evolutsioonivorm — reeglipäratu gradatsioon, mis tuleneb sellest, et taime- ja loomaliigid elunevad erinevas keskkonnas, millega nad paratamatult on sunnitud kohastuma. Lamarck arvas, et taimed ja loomad on varustatud kaasasündinud võimega muutuda ainult otstarbekohaselt, s. t. omandada ainult neid muutusi, mis antud tingimustes osutuvad kasulikeks.

«L a m a r c k i s e a d u s e d». Väliskeskkonna mõju realiseerub tema toime kaudu «vedelike sisemisele liikumisele» taim- ja loomorganismides. Selle all pidas Lamarck silmas ainevahetust organismide ja väliskeskkonna vahel.

Taimede ja alamate loomade arenemisele avaldab keskkond (soojus, valgus, niiskus jt.) otsest toimet. Kõõluslehel on näiteks veesisesed lehed pikad ja kitsad, ilma rootsuta, ujulehed aga pikarootsulised ning kujult nooljad (joon. 1).

Kõrgematel loomadel tekivad kohastumised aga kaudsel teel



Joon. 1. Kõõlusleht: 1 — veesisesed lehed; 2 — vahepealsed lehed; 3 — ujulehed.

Joon. 2. Ümaralehine kellukas varjulisest metsast.

Joon. 3. Ümaralehine kellukas niidult.

ja nimelt närvisüsteemi osavõtul: 1) muutus väliskeskkond; 2) uutes elutingimustes tekivad loomadel uued vajadused; 3) uued vajadused kutsuvad esile muutused loomade harjumustes; 4) sellega seoses on ühed organid pidevalt tegevuses (neid harjutatakse), teised aga on tegevuseta; 5) organid muutuvad.

Siit tuletab Lamarck kaks põhiseisukohta, mida ta pidas seadusteks.

I. Organite muutuvuse seadus: harjutamisel organid arenevad vastavalt nende uutele ülesannetele, tegevusetud organid aga järk-järgult kaovad.

II. Omandatud muutuste päritavuse seadus: kui organite harjutamine või mitteharjutamine jätkub pikka aega ja omandatud tunnused on ühised mõlemale vanemale, siis nad antakse pärilikult edasi.

Nende seaduste tõestamiseks toob Lamarck mitmeid näiteid: 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

Joon. 4. Veelindude jalad.

Joon. 5. Kaelkirjak.

jäsemeid kasutamata välja sirutada; kaelkirjaku pikk kael ja pikad eesjalad on tingitud looma alatisest ülespoole küünitamisest, et puulehti kätte saada (joon. 5).

Liikide muutuvuse tõestamiseks viitas Lamarck kultuurtaimesortide ja koduloomatõugude aretamisele.

Lamarcki teooria hinnang. Samal ajal kui enamik XVIII sajandi loodusteadlastest rahuldus uurimistöödega kirjeldava süstemaatika valdkonnas, loob Lamarck orgaanilise maailma evolutsiooni teooria, kritiseerib õpetust liikide muutumatusest ja liikide loomisest jumala poolt. Ta teeb kindlaks orgaanilise maailma evolutsiooni fakti kui niisuguse, kujutades seejuures õigesti ette evolutsiooni üldist käiku kui organismide järkjärgulise tüsistumise ajaloolist protsessi, kui organismide järkjärgulist arenemist alamatelt kõrgematele. Kuid Lamarck ei andnud õiget vastust küsimusele, mis on evolutsiooni põhjuseks ning kuidas tekib kohastumine. Tema väide organismide kaasasündinud võimest muutuda vastavalt keskkonnale viib sisuliselt igipõlise otstarbekohasuse tunnustamisele.

Lamarcki poolt antud seletus kohastumisprotsessile kui bioloogilisele nähtusele, mis realiseerub keskkonnatingimuste poolt esile kutsutud, niinimetatud «kasulikult omandatud tunnuste» pärandumise kaudu, ei leidnud kinnitust edaspidistes teaduslikes uurimistöödes. Ekslik on ka see väide, et liigid on omavahel tingimata seotud vaheastmetega, sest tegelikult on liigid enamasti siiski üksteisest selgesti eraldunud. Lamarcki väide, et organismidele on omane tung organisatsiooni täiustamise poole, on oma olemuselt idealistlik. Seega olid Lamarcki poolt esile tõstetud väited evolutsiooniteooria tõestamiseks alusetud. Lamarcki ajaks ei olnud teadus oma käsutusse veel saanud piisavalt materjale, et põhjendada orgaanilise maailma ajaloolise arenemise teooriat.

XVIII sajandi teadus kogus hulgaliselt teaduslikke fakte

orgaanilise maailma evolutsiooni kohta, kuid ta ei suutnud seletada orgaanilise maailma arenemist. Teaduse ees seisid küsimused: 1) Kuidas tekkis looduses esinev liikide mitmekesisus? 2) Kuidas seletada elusolendite kohastumist keskkonnaga? 3) Miks muutub evolutsiooni käigus elusolendite organisatsioon keerulisemaks?

3. Esimesed vene evolutsionistid

XVIII sajandi vene õpetlased evolutsioonist. Juba XVIII sajandil hakkasid mõned vene õpetlased ja filosoofid arendama evolutsioonilisi ettekujutusi loodusest. Suur vene teadlane M. Lomonossov lähenes oma töödes maakoore ajaloost orgaanilisele ja anorgaanilisele loodusele kui ühtsele tervikule. Arendades ideid seoste ja muutuste olemasolu kohta looduses kirjutas ta, et turvas, kivisüsi ja nafta on orgaanilise päritoluga; kivistisi ja jäljendeid pidas Lomonossov täiesti õigesti jäänusteks neist organismidest, kes olid asustanud Maad ammumöödunud geoloogilistel ajastutel.

Ka A. Radištšev kirjutas oma teostes loodusest kui ühtsest, lihtsast üha keerulisema poole arenevast tervikust. Tema arvamuse kohaselt on kõik orgaanilise ja anorgaanilise looduse nähtused omavahel seotud ning põhjuslikult tingitud.

Rea originaalseid mõtteid loomade arenemise kohta avaldas XVIII sajandi vene teadlane Afanassi Kaverznev. Ta väitis, et liigid põlvnevad üksteisest ja on seetõttu omavahel suguluses. Loomade muutmise peamist põhjust nägi Kaverznev, esiteks, erinevas toidus, ja teiseks, klimaatiliste tingimuste, temperatuuri, niiskuse, reljeefi jt. mõjus.

XIX sajandi vene evolutsionistid. A. Herzen, filosoof-kirjanik ja revolutsiooniline demokraat, juhtis tähelepanu loodusteaduste tohututele edusammudele XIX sajandil faktide kogumise osas.

Karl Rulje (1814—1858).

Igat loodusnähtust, kirjutas A. Herzen, tuleb käsitleda tema ajaloolise arenemise tundmaõppimise alusel, loomorganismi ehitust tuleb aga seostada tema füsioloogiaga. Täielikke teadmisi elusorganismist annavad üksnes füsioloogilised uurimised.

Ka väljapaistev vene evolutsionist K. Rulje tõusis 40—50-ndail aastatel üles tol ajal valitsenud kirjeldava suuna vastu bioloogias. Sõltumata Darwinist, 10—15 aastat enne teda, töötas Rulje välja orgaanilise maailma ajaloolise arenemise idee. Hinnates kõrgelt Lamarcki töid, suutis Rulje samal ajal lahti öelda tema ekslikust seisukohast organismide sisemise tungi kohta progressile. Mõistesse «keskkond» lülitas Rulje suhted eri liikide vahel ja suhted sama liigi organismide vahel. Veel enam, ta pani tähele, et «looduses käib pidev sõda» ning mõistis, et evolutsiooni käigus liigid surevad täielikult välja, asendudes teistega, mitte aga lihtsalt ei hukku inimese tegevuse tagajärjel, nagu seda arvas Lamarck.

KÜSIMUSI JA ÜLESANDEID.

1. Mida kujutab endast «kogumisperiood» bioloogia arenemises ja milles seisneb selle tähtsus?
2. Mida uurib süstemaatika ja mis tähtsus sel on?
3. Mis tähtsus oli Linné töödel bioloogia arenemises?
4. Mis iseloomustab metafüüsilist maailmavaadet?
5. Mille poolest erineb loomulik süsteem kunstlikust süsteemist?
6. Tooge näiteid ühte perekonda kuuluvate looma- ja taimeliikide kohta.
7. Milles seisneb Lamarcki evolutsiooniõpetuse olemus?
8. Jutustage Lamarcki ekslikest seisukohtadest.
9. Jutustage, mida te teate K. Rulje evolutsioonilistest vaadetest; võrrelge neid Lamarcki õpetusega.

2. peatükk

CHARLES DARWINI ÕPETUS ORGAANILISE MAAILMA EVOLUTSIOONIST

Charles Darwini õpetus orgaanilise maailma evolutsioonist sisaldab kolme peamist, üksteisega vastastikku seotud tegurit. Nendeks on: muutlikkus, pärilikkus ja valik. Muutlikkus annab organismide individuaalsete pärilike muutuste näol lähtematerjali evolutsiooniprotsessiks. Valik aga loob pärilikkuse ja muutlikkuse baasil antud olelustingimustega kohastunud organisme, põhjustades seega vormide mitmekesisuse. Oma uurimiste läbiviimiseks valis Darwin tolle aja kohta täiesti uudse meetodi. Ta asus tutvuma majandite praktikaga uute koduloomatõugude ja kultuurtaimesortide aretamise alal. Algul ta vaatleb koduloomade

ja kultuurtaimede evolutsiooni, seejärel aga läheb üle metsikute liikide loodusliku evolutsiooni vaatlemisele. Darwin arvestas õigesti, et niisuguse lähenemisviisi korral on tema ideed paremini arusaadavad, sest praktikutele on hästi teada, kuidas uusi tõuge ja sorte saada. Darwini õpetus andis põhjaliku hoobi religioossetele kujutlustele, mille kohaselt elusolendid on loodud jumala poolt, liigid on muutumatud ning looduses valitseb absoluutne otstarbekohasus.

Tema õpetus sai aluseks, millel hakkas edasi arenema teadus orgaanilise maailma evolutsioonist, aga samuti ka kõik teised bioloogiaharud ja nendega piirnevad teadused.

4. Ajaloolised eeldused 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 arenemisastmele. Väikeomanike laostumise arvel koondus maa suurmaaomanike kätte. Neil oli vahendeid mineraalväetiste ja masinate kasutamiseks ning maaparandustööde läbiviimiseks. Tööstuse vajadus loomse tooraine järele ning linnade ja asulate vajadus toiduainete järele soodustasid 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 ilutaimede, juurvilja- ja marjakultuuride ning teiste taimede sorte.

Farmerid ei teinud siit järeldust liikide muutlikkuse kohta ning ei püstitanud ka küsimust nende mitmekesisuse põhjustest, kuid materjali niisugusteks küsimusteks ja järeldusteks kogunes üha rikkalikumalt.

Otsides uusi turge tooraine hankimiseks ja saaduste turustamiseks, korraldas Inglismaa kaubanduslike ja sõjaliste eesmärkidega ekspeditsioone mitmesugustesse maadesse. Niisugustest ekspeditsioonidest võtsid sageli osa teadlased, kes tagasipöördumisel tõid kaasa hulgaliselt kollektsioone muuseumide jaoks ning vastavastatud liikide kirjeldusi. Kogu see materjal andis samuti hulgaliselt tõendeid taimede ja loomade muutlikkuse kohta.

Bioloogiateaduste edusammud. XIX sajandi esimesel poolel tegid eriti suuri edusamme süstemaatika ja morfoloogia. Organismi hakati uurima kui väliste ja sisemiste tunnuste terviklikku süsteemi. Näiteks igal loomal, kellel on selgroog, on

Charles Darwin (1809—1882).

ka kolju, süda asub tal kõhupoolsel, närvisüsteem aga — seljapoolsel küljel; teda iseloomustavad kaks sisemist õõnt: koljuõõs ja kehaõõs.

Süstemaatikud tulid järeldusele, et looduses eksisteerivad loomulikud organismide rühmad, mis peavad peegeldamist leidma loomulike süsteemide poolt. Niisuguste süsteemide koostamine viis paratamatult mõttele, et tegemist on omavahel s u g u l u s e s olevate rühmadega.

XIX sajandi esimese poole embrüoloogilised uurimistööd lisasid uusi andmeid organismidevahelise suguluse kinnituseks. Võrreldes omavahel mitmesugustesse klassidesse kuuluvate selgroogsete loomade looteid, avastati sarnasus üksiku loomisendi individuaalse arenemise ja kogu antud liigi ajaloolise arenemise vahel. Avastati sarnasus koguni eri loomahõimkondade esindajate loodete vahel.

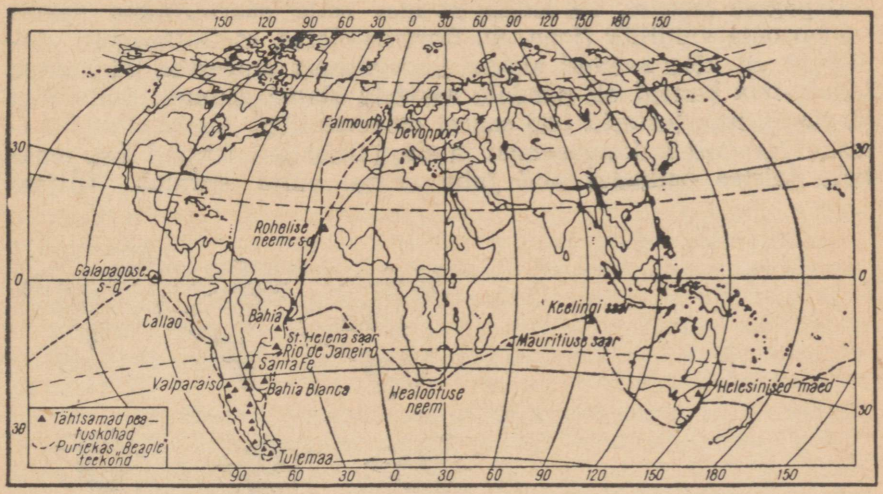
Kõige eredamaid fakte loomade ühtse põlvnemise tõestamiseks andis paleontoloogia (teadus väljasurnud organismidest). Nii tehti kindlaks, et Maal on toimunud organismide seaduspärane vahetus — alamad vormid on asendunud kõrgematega. Nii näiteks ilmusid kõige varem kalad, hiljem kahepaiksed ja roomajad, veel hiljem — linnud ja imetajad. Jõudsasti arenes edasi taimede ja loomade siseorganite ehituse uurimine. Suurt edu saavutati loomse ja taimse raku uurimise alal. Uuriti protoplasma ehitust ja liikumist, taimses rakus avastati tuum, tehti kindlaks sarnasus loomse ja taimse raku vahel. Tõestati, et kõik organismid hakkavad sugulisel paljunemisel arenema rakust.

Teadlased, sõltumata oma vaadetest või isegi risti vastu nendele, andsid sageli oma uurimistöödega hiilgavaid tõendeid evolutsiooni kohta. Ka vormide muutumise idee ise hakkas rea teadlaste ja filosoofide töödes juba läbi kostma. Kuid termin «organismide sugulus» hirmutas veel väga paljusid. Eelistati rääkida «lähedus», et sellega endast nagu kaugemale nihutada vajadus anda lõplik vastus küsimusele orgaanilise maailma põlvnemisest.

Teaduse edusammud, farmerite praktika, eriti uute loomatõugude ning taimesortide aretamise alal, aga samuti meretaguste ekspeditsioonide materjalid — kõik see valmistas ette pinda, millel võis hakata tekkima õpetus liikide põlvnemisest. Oli vaid vaja geniaalset mõistust, mis oleks kõik kokku kogutud elemendid — eripalgelised faktid — ühendanud ja teatud kindla idee valguses läbi töötanud, oleks loonud harmoonilise arutluste süsteemi ning esitanud veenvaid tõendeid. Selleks teadlaseks oli Charles Darwin.

Charles Darwini elulugu. Charles Darwin sündis Inglismaal, Shrewsbury linnas, arsti perekonnas. Lapsepõlves meeldis Charles Darwinile jälgida lindude ja putukate tegevust, ta harrastas kollektsioneerimist, armastas veeta aega kalapüügi ja jahiga, tegelda keemia-alaste katsetega. Kuueteistkümneaastaselt (1825. a.) sai Darwinist isa soovil Edinburghi ülikooli arstiteaduskonna üliõpilane. 1828. aastal viis isa ta üle Cambridge'i ülikooli, olles jõudnud otsusele, et kõige parem tema pojale on «valmistada end ette pastoriks». Kuid Darwin jätkas iseseisvat töötamist loodusteaduste alal. Edinburgh'is ja Cambridge'is veedetud aastate jooksul tegi Darwin põhjalikumalt tutvust teadusliku kirjandusega ja omandas väliuurimiste metoodika, õppis koostama kollektsioone ja herbaariume, käsitsema mikroskoopi.

1831. aasta septembris arvati Darwin looduseuurijana meeskonna koosseisu sõjalaeval «Beagle», mis suundus ümbermaa-



Joon. 6. C. Darwini ümbermaailmareisi kaart.

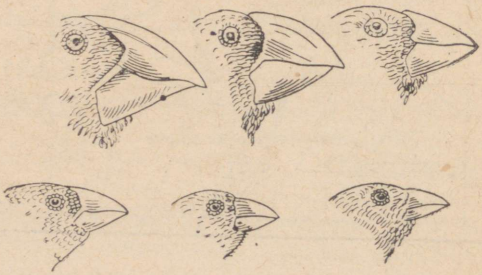
Joon. 7. Väljasurnud (vasakul) ja kaasaegse (paremal) laiskelaja skeletid.

ilmareisile topograafilisteks kaardistamisteks ja teiste inglise admiraliteedi poolt antud eriülesannete täitmiseks.

Reis kestis 1831. aasta 27. detsembrist kuni 2. oktoobrini 1836. aastal. (Näidake kaardil «Beagle'i» marsruut, joon. 6.)

Darwin uuris külastatud maakohtade geoloogiat, floorat ja faunat, kogus tohutu hulga mitmesuguseid kollektsioone, mis ta saatis Inglismaale. Ta tegi hulgaliselt vaatlusi, märkmeid, mõõtmisi, joonistusi. Uurides väljasurnud loomaliikide jäänuseid, tuli Darwin mõttele, et kaasaegsed liigid kujutavad endast väljasurnud liikide järglasi ja et nad ei ole loodud, vaid arenenud neile eelnenud loomaliikidest (joon. 7).

Samasugusele järeldusele viis Darwini ka lindude uurimine Galápagose saartel. Ta leidis, et igal selle saarterühma saarel esineb oma vindiliik (joon. 8). Darwin oletas, et Galápagose vindiliigid on kõik saanud alguse ühestainsast ameerika päritoluga liigist, mis kunagi oli nendele saartele elama asunud. Selle liigi järglased moodustasid igal saarel omaette liigi. Austraalias huvitasid Darwinit kukkurloomad ja ainupilulised imetajad, kes maakera teistes paikades olid juba ammu välja surnud. Hiljem



Joon. 8. Galápagose vindid. Erinevused noka kujus.

ta avastas austraalia fauna omapära põhjused. 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. Kõiki neid fakte ei saaks seletada, kui uskuda liikide püsivust ja liikide loomist jumala poolt. Seevastu muutus kõik palju arusaadavamaks, kui oletada, et liigid põlvnevad üksteisest.

Pärast Inglismaale naasmist kulutas Darwin palju energiat selleks, et mitmesuguste erialade teadlasi kaasa tõmmata tema poolt kaasa toodud materjalide läbitöötamiseks ning ta ise kirjutas mitu tööd reisi tulemuste kohta. Darwin pöördus Inglismaale tagasi palava sooviga lahendada liikide tekkimise probleem.

1838. aastal visandas Darwin lühidalt tulevase liikide tekkimise teooria põhiseisukohad. 1842. aastal koostas ta sellest esimese, 35-leheküljelise ülevaate. Järgmise kahe aasta jooksul ta jätkas oma teooria kallal töötamist, mille tulemusel selle maht paisus juba 230 leheküljele. Erilist tähelepanu osutas Darwin põllumajanduse praktikale, aretas ise tuvisid, külastas põllumajandusnäitusi, oli kirjavahetuses loomakasvatajatega. Väikesel maatükil oma kodu lähedal Down'i asulas, mitte kaugel Londonist, tegi ta mitmesuguseid vaatlusi ja katseid, siit ta pidas tohutut kirjavahetust teadlastega, siin valmisid ka kõik tema rohkearvulised tööd.

Oma teooria esitab Darwin teoses «Liikide tekkimine loodusliku valiku teel ehk eelistõugude säilimine olelusvõitluses», mis ilmus trükist 24. novembril 1859. aastal. Üksikud evolutsiooniteooria küsimused on tema poolt käsitamist leidnud järgmistes töödes: «Taimede ja loomade muutumine kodustatud olukorras» (1868), «Inimese põlvnemine ja suguline valik» (1871), «Emotsioonide väljendamisest inimesel ja loomadel» (1872). Darwin on kirjutanud veel terve rea mahukaid teoseid, mis kõik käsitlesid evolutsiooniteooria üksikküsimusi.

Darwin kui teadlane. Darwinil oli geniaalne oskus tähele panna ja analüüsida fakte, leida nende vahel seoseid ja neid üldistada. Ta paistis silma erakordse kannatlikkuse ja töövõime poolest: et selgitada mingit nähtust, tegi ta tuhandeid katseid ja vaatlusi, kusjuures kasutas selleks kõige elementaarsemaid seadmeid. Tähelepanuväärne on tema sügav objektiivsus katsete käigu ja tulemuste kirjeldamisel, ausus teiste teadlaste arvamuste refereerimisel, erakordne tähelepanelikkus kriitikute vastuväidete suhtes. Ta jälgis tähelepanelikult kõiki teaduse uudiseid ja pidas evolutsiooniteooriat puudutavates küsimustes elavat kirjavahetust paljude isikutega mitmesugustest maadest. Oma kirjades Darwin püstitab ja arutab neid küsimusi, palub teatada uusi fakte, soovitab katseid ja vaatlusi, suunab hoolitsevalt oma mõttekaaslasi «ühise ürituse» rööbastele, tervitab vaimustusega uusi töid, mis kinnitavad ja arendavad tema teooriat.

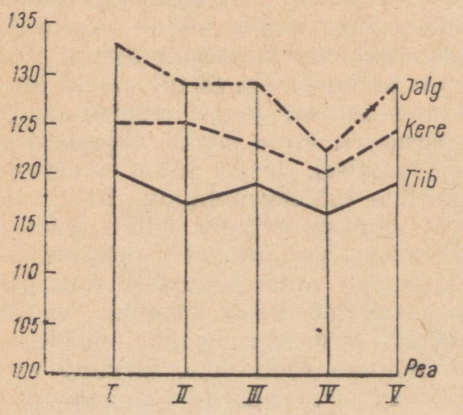
Kuid nende suhtes, kes eksisid ja õigelt teelt vääratasid, ta halastust ei tundnud. Nii juhtus ameerika teadlase Asa Gray'ga, kes hakkas tõestama, et evolutsiooniõpetus ei ole vastuolus religiooniga. Seega oli Darwin, hoolimata tema äärmiselt isoleeritud eluviisist vaikses Downis, tegelikult tõeline teadlane-võitleja, teadlane, kes astub välja oma õpetuse eest.

5. Muutlikkus ja pärilikkus

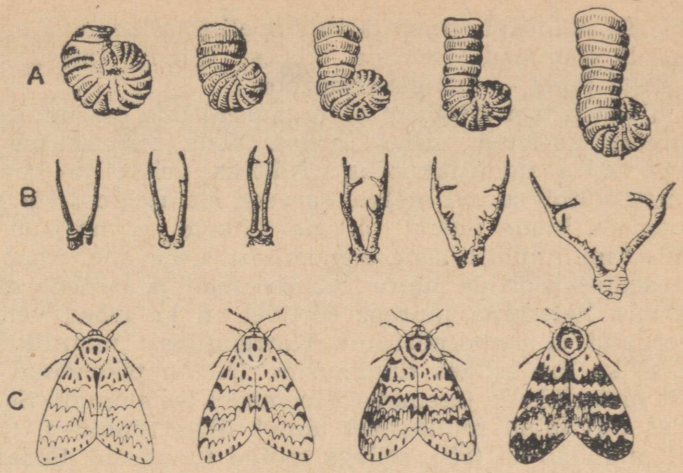
Kodustatud ja metsikute organismide muutlikkus. Muutlikkuse all peetakse silmas kõikide organismide omadust muutuda. Kõik lambad üht ja sama tõugu lambakarjas näivad täiesti ühesugustena, kuid vilunud karjus eristab kergesti iga üksikut looma vaevumärgatavate iseärasuste järgi nende keha mõõtmetes, jalgade pikkuses, pea kujus, villa värvuses, villakiudude pikkuses ja tiheduses, hääles, harjumustes jne. Isegi ühe loomapaari järglaste seas või taimede hulgas, mis on kasvanud ühest ja samast viljast pärinenud seemnetest, ei esine kunagi üksteisega täiesti sarnaseid isendeid. [Vaadake diagrammi mitmesuguste kehaosade muutlikkuse kohta viiel kaheaastasel kanal, kes on ilma valikuta võetud suurest valge leghorni tõugu kanakarjast (joon. 9). Märkige üles kõikumised eri isendite tiibade, jalgade, keha pikkuses.]

Uurides kodustatud loomatõuge ja taimesorte, kogus Darwin tohutu faktilise materjali, mis annab tunnistust organismide suurest muutumisvõimest.

Darwin näitas, et taoline võime on organismidel ka looduslikes tingimustes. Igaüks võib kergesti jälgida muutlikkuse fakte looduses. Näiteks päikesepaistel kasvanud ristirohu eksemplaridel on lehelaba märgatavalt nõrgemini arenenud kui varjus kas-



Joon. 9. Kehaosade pikkuse muutlikkus viiel valge leghorni tõugu kanal.



Joon. 10. Ebamäärane muutlikkus: A — juurjalgsed; B — siberi metskitse sarved; C — okkaliblika tiivamuster.

vanud, lopsakate lehtedega isendeil. Kase või mõne teise puu lehed näivad ühesugustena, kuid asetades ükskõik millised kaks lehte üksteisega kõrvuti, märkame kohe väikesi erinevusi nende vahel. Muutlik on «sarvede» harulisus põderpõrnikal, tundlate pikkus siklasel jne. (joon. 10). Musta sulestikuga hakkide parves esinevad mõnikord üksikud heledad ja isegi valged eksemplarid.

Muutlikkuse vormid ja põhjused. Darwin eristas kahte põhilist muutlikkuse vormi: grupiviisilist ja individuaalset muutlikkust.

Koduloomade ja kultuurtaimede grupiviisiliseks muutlikkuseks nimetas Darwin massiliselt esinevat muutlikkust, kus antud tõu või sordi kõik isendid teatud kindla põhjuse mõjul muutuvad ühteviisi. Näiteks toidu muutumine mõjutab loomade kasvu ja värvust ühes kindlas suunas; talve saabumisel tekib kõikidel põhja-poolkera imetajatel tihe aluskarv.

Palju tähtsam on aga teine muutlikkuse vorm — individuaalne muutlikkus, kus uued tunnused tekivad ainult üksikuil isendeil. Individuaalse muutlikkuse alla kuuluvad kõik need lõputult mitmekesised pisierinevused, mis on tavalised iga normaalse järglaskonna üksikute organismide vahel. Siinkohal veel mõned Darwini poolt toodud näited individuaalse muutlikkuse kohta. Lehviksabatuvil varieerub hoosulgede arv tiivas 14-st 42-ni. Väga muutlikud on noka kuju, sarvkilbiste arv varvastel jne.

Mõnikord võib individuaalne muutlikkus olla väga järsk. Nii sündis 1791. aastal Massachusettsis (Ameerika Ühendriigid) täiesti normaalsetel lammastel erakordselt lühikeste jalgadega

tall. Ka taimedel esineb järsuhüppelise iseloomuga muutusi: ootamatult võib esile kerkida teistest erinev, täiesti uute iseärasustega pung — pungavariatsioon.

Darwin tegi kindlaks, et organismi ühe osa muutumine tingib muutusi ka tema teistes osades. Seda nimetatakse *korrelatiivseks* muutlikkuseks. Näiteks veiste ja lammaste kolju ehitus sõltub suurel määral sarvede olemasolust või puudumisest. Loomade luude pinnal olevate jätkete ja harjade kuju sõltub neile kinnitunud lihaste arenemisest. Omavahel tihedas kooskõlas on aedpeedisortide juure, leherootsude ja lehtede alumise külje värvus: heledama juurega sortidel on ka lehed vähem pigmenteerunud ja ümberpöördult. Korrelatiivset muutlikkust täheldatakse ka looduslikes tingimustes. Nii on pikenenud kael tavaliselt just pikkade jäsemetega loomadel (soolinnud). Seega inimene, olles huvitatud muutustest ainult ühes tunnuses, tahes-tahtmatult muudab ka teisi, sellega seotud tunnuseid. Sedalaadi faktide põhjused jäid Darwinile teadmatuks ja need selgitati teaduse poolt välja alles märgatavalt hiljem.

Koduloomade ja kultuurtaimede muutlikkuse peapõhjuseks pidas Darwin uute, nende esivanemate 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 teisendite, tõugude ja sortide vastastikune ristamine.

Organite muutlikkuses etendab Darwini arvates teatud osa nende harjutamine või mitteharjutamine. Selle põhjusega on seotud näiteks lehmade piimanäärme arenemine maades, kus lehmi lüpstakse, rinnalihase ja tiiva luude nõrgenemine kodulindudel võrreldes metsikute kana-, pardi- ja haneliikidega.

Organismide muutlikkust looduslikus olukorras põhjustavad tegurid on analoogilised nendega, mis kutsuvad muutusi esile koduloomade ja kultuurtaimede juureski.

Muutlikkus esineb mitte üksnes *sugulisel*, vaid ka *vegetatiivsel* paljunemisel. Darwin tõi palju näiteid muutlikkuse kohta viljapuude, viinapuu ja kartuli pungades; kirjeldas juhtumeid, kus karusmarjapõõsa ühe ja sama oksa küljes rippusid üheaegselt nii kollased kui ka punased marjad. Kogu selle ulatusliku ja mitmekülgse materjali alusel tegi Darwin järelduse: muutlikkus on organismide *üldine* omadus.

Pärilikkus sugulisel ja vegetatiivsel paljunemisel. Igapäevastest kogemustest on teada, et kõiki organisme iseloomustab märkimisväärne võime tunnuseid alal hoida ja neid järglastele edasi anda. Seda nimetatakse *pärilikkuseks*.

Igaüks teab, et tammetõrust kasvab tamm, et käomunadest kooruvad käopojad. Kultuurtaime teatud kindla sordi seemnest

kasvavad üles sellesama sordi taimed. Tõupuhtad loomad annavad järglastele edasi oma tõu tunnused.

Tunnuste pärandamine on eelkõige seotud organismide sugurakkudega. Darwin rõhutas, et elutingimused toimivad organismile kahel viisil: kas vahetult kogu organisatsioonile, ühele tema osale või kaudselt — välistingimuste suhtes erakordselt tundlike sugurakkude kaudu. Kuid muutus, juhul kui see osutub pärilikuks, saab ilmsiks tulla alles järgmises põlvkonnas. Ühtede ja samade elutingimuste mõju võib iga organismi puhul avalduda isemoodi, sest nende põhiolemus — pärilikkus — on erinev.

Darwin arvas, et kodustatud liikide evolutsioonil on tähtis ainult pärilik muutlikkus.

Pärilik individuaalne muutlikkus esineb väga sageli. Darwin asus seisukohal, et tunnuste pärandumisele tuleb vaadata kui reeglile, selle puudumisele aga kui erandile.

Pärilikku individuaalset muutlikkust täheldatakse mitte ainult sugulisel, vaid ka vegetatiivsel paljunemisel. Laialt on tuntud mitmesuguste taimesortide aretusvõtted, mis põhinevad võrsikute, pistokste ja mugulate kasutamisel. Sordi-tunnused seejuures säilivad ja pärandatakse lähtetaimelt muutumatuina järglastele. Papli, haava, paju ning teiste puu- ja põõsaliikide kännuvõsast kasvavad üles samadesse liikidesse kuuluvad täiskasvanud puud ja põõsad.

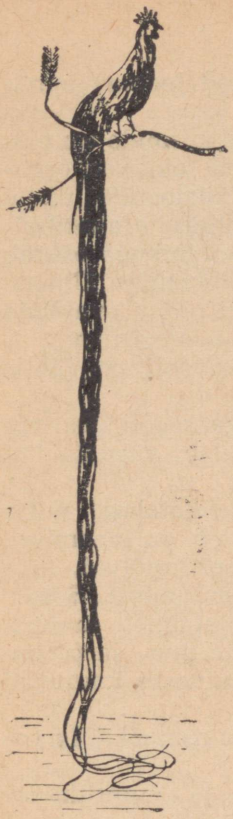
Seega on nii muutlikkus kui pärilikkus organismide üldisteks omadusteks.

Darwin rõhutas korduvalt, et pärilikkuse ja muutlikkuse probleeme on vaja põhjalikult uurida. Hiljem said need probleemid omaette teaduse — geneetika — uurimisobjektiks. Geneetika põhialustega te tutvute VII peatükis.

6. Kunstlik valik

Loomatõugude ja taimesortide mitmekesisus. Darwin juhtis tähelepanu sellele, et koduloomatõud ja kultuurtaimesordid paistavad silma suure mitmekesisuse poolest. Inglismaal oli tol ajal tuntud vähemalt 150 erinevat tuvitõugu, suur hulk kana- ja teiste kodulindude tõuge, aga samuti hulgaliselt koera-, veise- (piima-, liha- ja piima-lihaveise-), hobuse (raskeveo- ja ratsahobuse-) ning seatõuge. Tol ajal moes olnud aedkannikesest tunti ligemale neljasada erinevat teisendit.

Tõugude ja sortide vastavus inimese huvidele. Mitmesugused ühe ja sama koduloomaliigi tõud erinevad üksteisest sageli niivõrd tugevasti, et neid võib kergesti pidada erinevateks liikideks. Seejuures vastab iga tõug alati sellele eesmärgile, mida silmas pidades inimene ta aretas. Võrrelge oma-



Joon. 11. Jokohama tõugu kukk.

vahel kodutuvide tõuge, pange tähele erinevusi nende vahel ja iga tõu vastavust inimese teatud kindlatele huvidele (tahvel I). Samal viisil võrrelge kanatõuge (tahvel II ja joon. 11). Ka kultuurtaimede sordid on imetlusväärselt mitmekesised sõltuvalt eesmärgist, mida inimene selle või teise sordi aretamisel taotles. Võrrelge omavahel näiteks kapsasorte (joon. 12). Näidake, milles seisnevad erinevused ja vastavus inimese vajadustele.

Kuidas siis on tekkinud tõugude ja sortide mitmekesisus? Sellele küsimusele vastamiseks uuris Darwin läbi peaaegu kõikide tol ajal tuntud tuvitõugude välised ja sisemised tunnused. Ta uuris jalgade, saba, tiiva, kolju, pugu, rinnaluu, noka mõõtmeid, tüürsulgede arvu ja teisi tunnuseid, jälgis lindude iseärasusi lennul, käitumises, poegade väljahaudumisel jne. Darwin aretas ka ise tuvisid; ta sai uurimismaterjali Indiast ja Iraanist; uuris kirjandust. Selle tulemusel tuli Darwin järeldusele, et kõik tuvitõud on põlvnenud ühest liigist — metsikust kaljutuvist, kes kaljujärsakuil pesitseva linnuna elutseb Vahemere kallastel ja sealt edasi kuni Inglismaa ja Norrani. Harilik sinihall tuvi sarnaneb temaga sulestiku värvuselt.

Seejärel 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.

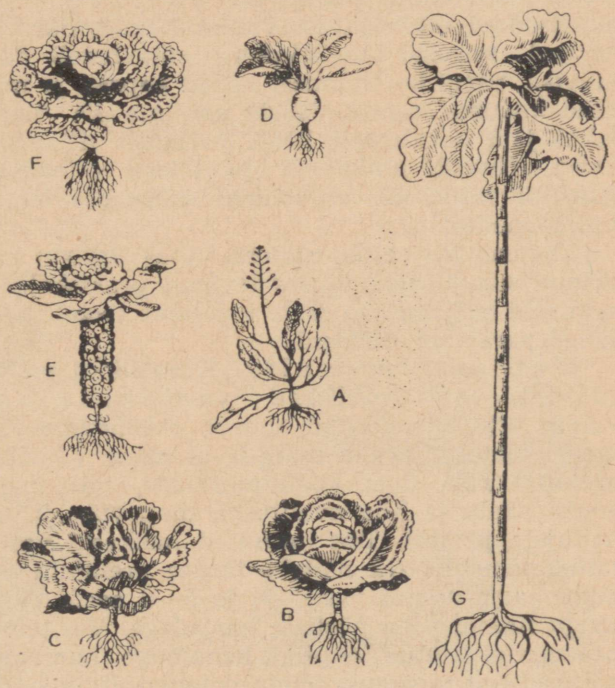
Kapsavormid on pärit metsikust kapsaliigist, mida veel praegugi esineb Euroopa lääneranniku l. Need Darwini uurimistööd ja järeldused kõikide arvukate tõugude ja sortide pärinemise kohta ühest või mõnest metsikust liigist kummutasid täielikult tol ajal valitsenud veendumuse, et iga tõug või sort põlvneb omaette metsikust liigist või teisendist.

Uute tõugude ja sortide aretamine. Darwin püstitas küsimuse: mil viisil on inimene ühest või ainult mõnest metsikust liigist saanud kümneid ja sadu erinevaid loomatõuge ja taimesorte? Ainuüksi muutlikkuse ja pärilikkusega ei saa sele-

tada kõiki tõugudevahelisi erinevusi, näiteks erinevusi veo- ja ratsahobuse, hurda ja jälituskoera, kirjatuvi ja uperpalltuvi vahel.

Darwin loeb läbi hulgaliselt põllumajandusalaseid raamatuid ja ajakirju, uurib põllumajandusnäituste aruandeid, vanu kataloge ja hinnakirju. Oli vaja, nagu ta ise ütles, «lugeda kõiki traktaate mingi ühe koduloom a kohta ja mitte uskuda midagi ilma ohtrate kinnitusteta». Ta astub kirjavahetusse hobusekasvatajatega, tuviaretajatega, aednikega; küsitleb farmereid, et teada saada, millest tulenevad nende edusammud looma- ja taimekasvatuses. Darwin pöördub ajalooliste raamatute ja teiste allikate poole, otsides neist vihjeid tõugude ja sortide kohta. Ta teeb kindlaks, et tõud ja sordid on pidevalt teisendunud, muutudes omadustelt üha täiuslikemateks ja mitmekesisemateks.

Inglise farmerite kogemusi uurides leidis Darwin tõugude ja sortide evolutsiooni põhjuse: inimene on sellised kõrged tulemused saavutanud k u n s t l i k u v a l i k u abil.



Joon. 12. Kapsa kultuurvormid ja nende metsik esivanem: A — metsik üheaastane kapsas; B — peakapsas; C — lillkapsas; D — nuikapsas; E — rooskapsas; F — savoia kapsas; G — söödakapsas.

Kunstliku valiku olemus seisneb selles, et inimene, olles mõnede loom- või taimisendite juures märganud talle mingis suhtes huvi pakkunud muutusi, jätab suguloomadeks või seemnetaimedeks alles ainult need isendid, kõik ülejäänud aga hävitab. Järglaste seas valik jätkub: igast järgnevast põlvkonnast valitakse soojätkajaiks ainult niisugused isendid, mille juures vajalikud iseärasused avalduvad kõige selgemini. Selle tulemusel valiku objektiks olnud tunnused järk-järgult tugevnevad ja täiustuvad.

Sageli eelneb valikule r i s t a m i n e. Selle eesmärgiks on suurendada järglaste seas muutlikkust ja sel teel saada kunstlikuks valikuks mitmekesisemat lähtematerjali. Taolisel viisil on saadud inglise ratsahobusetõug (lääne- ja ida-hobusetõugude ristamisel), inglise seatõud (kohalike tõugude ristamise tulemusel hiina tõuga) jt., kusjuures ristamisele järgnes veel pikaajaline kunstlik valik.

E b a t e a d l i k v a l i k. Kunstlikku valikut tehakse juba iidsetest aegadest alates. Paljude tuhandete aastate vältel on inimene seda teinud stiihiliselt, e b a t e a d l i k u l t, ilma et tal oleks olnud ettekujutust valiku lõpptagajärgedest. Iidsed põlluharijad kogusid metsikutelt kõrrelistelt jämedamaid terasid külviks. Saagi koristamisel läksid haprad ja mittevalminud viljapead kaduma, samuti läksid kaduma ka ülearu peened terad. Alles jäid omadustelt kõige paremad viljapead ja neist saadud terad. Niiviisi, stiihiliselt ja täiesti ettekavatsematult algaski kunstlik valik, mis on loonud suure osa meie praegustest kultuurtaimedest.

Ebateadliku valiku näitena viitas Darwin kultuuriliselt mahajäänud suguharude juures levinud praktikale. Isegi nälja aegadel säilitasid nad hoolega neile vajalikke loomi, jättes suguloomadeks kõige paremaid isendeid.

M e t o o d i l i n e v a l i k. 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 lõpust alates. 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 näitustele välja pandud kanad eranditult lokutiga.

Taimesortide suhtes on täheldatud samasugust pilti. Nii juhtis Darwin tähelepanu sellele, et karusmarjade mõõtmed on pide-

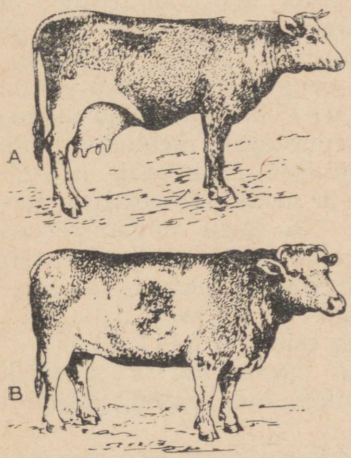
valt muutunud üha suuremaks ja suuremaks, ja et arvukate ilutaimesortide juures on kahekümne või kolmekümne aasta jooksul aset leidnud hämmastavad muutused.

Olles kord tõu piirid kindlaks määranud, piirdub inimene edaspidi vaid nende isendite väljapraakimisega, mis antud tõu musternäidisest kõrvale kalduvad.

Darwini arvates kulgeb kunstlik valik kõige edukamalt suurtes majandites: suurema isenditehulga seas esineb rohkem päriliku muutlikkuse juhtumeid ja, järelikult, tekib ka rohkem võimalusi valikuks ja väljapraakimiseks.

V a l i k u l o o v t ä h t s u s. Uued tõud ja sordid luuakse valiku teel v a s t a v a l t inimese huvidele, kusjuures valiku käigus areneb ja muundub just see organ või see tunnus, mis inimest eriti huvitab (joon. 13 ja 14). «Vaadake,» kirjutas Darwin, «kui mitmekesised on kapsa lehed ja kui hämmastavalt ühesugused on ta õied; kui mitmekesised on aedkannikese õied ja kui ühesugused nende lehed; kui teravalt erinevad suuruse, värvuse, kuju ja karvasuse poolest karusmarjasordid ja kui väike on nende õite erinevus.» Taolisi fakte võib seletada ainult sellega, et inimene on igal üksikjuhul valikut teostanud ainult teatud kindlas suunas: kas lehtede, õite, viljade, mugulate või mõne muu tunnuse järgi.

Siit järeldub, et tõud ja sordid, mis on saanud alguse ü h i s t e s t metsikutest esivanematest, arenevad inimese tegevuse toimel edasi e r i n e v a t e s suundades, vastavalt aretajate erinevatele maitsetele, huvidele ja majanduslikkudele eesmärkidele.



Joon. 13. Veisetõud: A — šorthorni tõugu piimalehm; B — šorthorni tõugu lihalehm.

Joon. 14. A — metssiga ja B — kodusiga.

Selle tulemusel hakkavad nad järk-järgult üha rohkem ja rohkem erinema niihästi üksteisest kui ka sellest esialgsest metsikust liigist, millest nad on põlvnenud.

Darwin toob niisuguse näite. Ajaloo varasel perioodil tundis mingi teatud hõim vajadust raskeveohobuste, mingi teine hõim aga, vastupidi, kergete ja kiirete hobuste järele. Kumbki hõim hakkas aretama ainult teda huvitavat hobusetõugu, tunnuste poolest vahepealsete tõugude aretamine jäi aga täiesti seisma. Selle tulemusel hakkasid ratsa- ja veohobused oma tunnuste poolest üha rohkem ja rohkem l a h k u m i n e m a. Darwin rääkis, et inimesed püüavad tõugu valiku teel alati kõige selgemalt väljendunud tunnusteni viia, kuna v a h e p e a l s e d vormid aegamööda hääbuvad.

Real juhtudel tõugude mitmekesisus suureneb kombineeritud tunnustega tõugude aretamise arvel: tuntakse liha-piimatõugu veiseid, keskmist tüüpi hobuseid, liha-munatõugu kanu.

Niisiis ei ole valiku puhul tegemist ainult kõlbmatute loomade lihtsa väljapraakimisega ja inimese huvidele kohandatud isendite säilitamisega. Kunstlikul valikul kujunevad tunnuste järkjärgulise kuhjumise teel uued, kvalitatiivselt uute tunnustega tõud ja sordid. Selles seisnebki kunstliku valiku loov tähtsus. Õpetus kunstlikust valikust kujunes inimese sajanditepikkuse praktika teoreetiliseks üldistuseks loomatõugude ja taimesortide loomise alal ja on kaasaegse selektsiooni tähtsaks aluseks.

7. Olelusvõitlus

D a r w i n i u u r i m i s m e e t o d. Olles kindlaks teinud, et koduloomatõugude ja kultuurtaimesortide evolutsioon toimub kunstliku valiku teel, asub Darwin lahendama oma peaülesannet — tõestama, et ka metsikute liikide evolutsioon toimub valiku teel. Antud juhul on selleks aga l o o d u s l i k valik. Oma uuringute läbiviimiseks rakendab Darwin samasugust meetodit, mida ta kasutas juba kunstliku valiku uurimisel. Kõigepealt märgib ta ära metsikute liikide mitmekesisuse ja nende bioloogiliste iseärasuste vastavuse olelustingimustele. Nii nagu uurimistöödes kunstliku valiku alalgi, asub Darwin ka siin arvamusel, et metsikute liikide mitmekesisuse ja nende kohastatuse fakte ei saa seletada üksnes muutlikkuse ja pärilikkusega.

Niisiis kerkib küsimus, kas looduses esineb v a l i k u t?

O r g a n i s m i d e p a l j u n e m i s e i n t e n s i i v s u s. Kõik organismid, eriti ainuraksed ja madalamad hulkraksed, paljunevad väga kiiresti.

Real juhtudel on loomade viljakus tohutu suur. Ühe inimesel parasiteeriva askariidiliigi isend võib päevas produtseerida ligi 200 000 muna. Forell võib korraga kudeda kuni 1000, luts — 500 tuhat, tursk aga koguni kuni 10 miljonit marja-

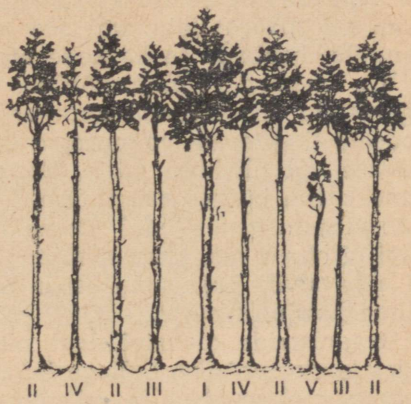
tera. Rändrott annab aastas 5 pesakonda, igaühes keskmiselt 8 poega, kes juba kolme kuu pärast saavutavad suguküpsuse ja hakkavad ise paljunema. Darwin arvutas välja, et isegi üksainus paar elevante, kes teatavasti saavad suguküpseks alles 30 aasta vanuses ja toovad 50—60 aasta jooksul ilmale kõigest 6 poega, annaks 750 aasta jooksul umbes 19 miljonit järglast.

Taimed moodustavad tohutu arvu seemneid. Juba Linné arvutas välja, et ühest magunapõõsast võib saada kuni 32 tuhat seemet. Kuradikäpa ühes viljas on Darwini arvestuste kohaselt mitte vähem kui 180—200 tuhat seemet.

O l e l u s v õ i t l u s j a s e l l e v o r m i d. Organisme tekib palju kordi rohkem kui neid võib üheaegselt eksisteerida antud ruumis või territooriumil. Selle tagajärjeks on mittevastavus juurdetulevate organismide hulga ja nende olemasoluks vajalike vahendite vahel. Siit teeb Darwin järelduse, et looduses toimub organismide vahel konkurents — o l e l u s v õ i t l u s. «Pean hoiatama,» räägib 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.

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

L i i g i s i s e n e olelusvõitlus (konkurents) 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.



Joon. 15. Männid üheealises metsaistandikus. Arvud tähistavad mahasurutuse astet.

Selgelt avaldub liigisisene konkurents üheealises kuuse- või männimetsas (joon. 15). Kõige kõrgemad, laiavõralised puud püüavad kinni põhilise osa metsale langevatest päikesekiirtest. Nad moodustavad tohutul hulgal käbisid. Nende võimas juurestik ammutab pinnasest suurtes hulkades vajalike toitesoolade lahuseid, tehes seda nõrgemate naabrite arvel. Võitjaks jäänud puud suruvad maha teiste puude kasvu ja arenemise kuni nende täieliku kängumise ja ärakuivamiseni. Puude viljakandvus väheneb märgatavalt, sõltuvalt nende mahasurutuse astmest, ning kõige rohkem kängu jäänud puud ei anna üldse käbisid.

L i i k i d e v a h e l i n e olelusvõitlus (konkurents) esineb erinevatesse liikidesse kuuluvate isendite vahel. Iga kiskja on taoliste suhetega seotud nende loomaliikidega, kellest ta toitub.

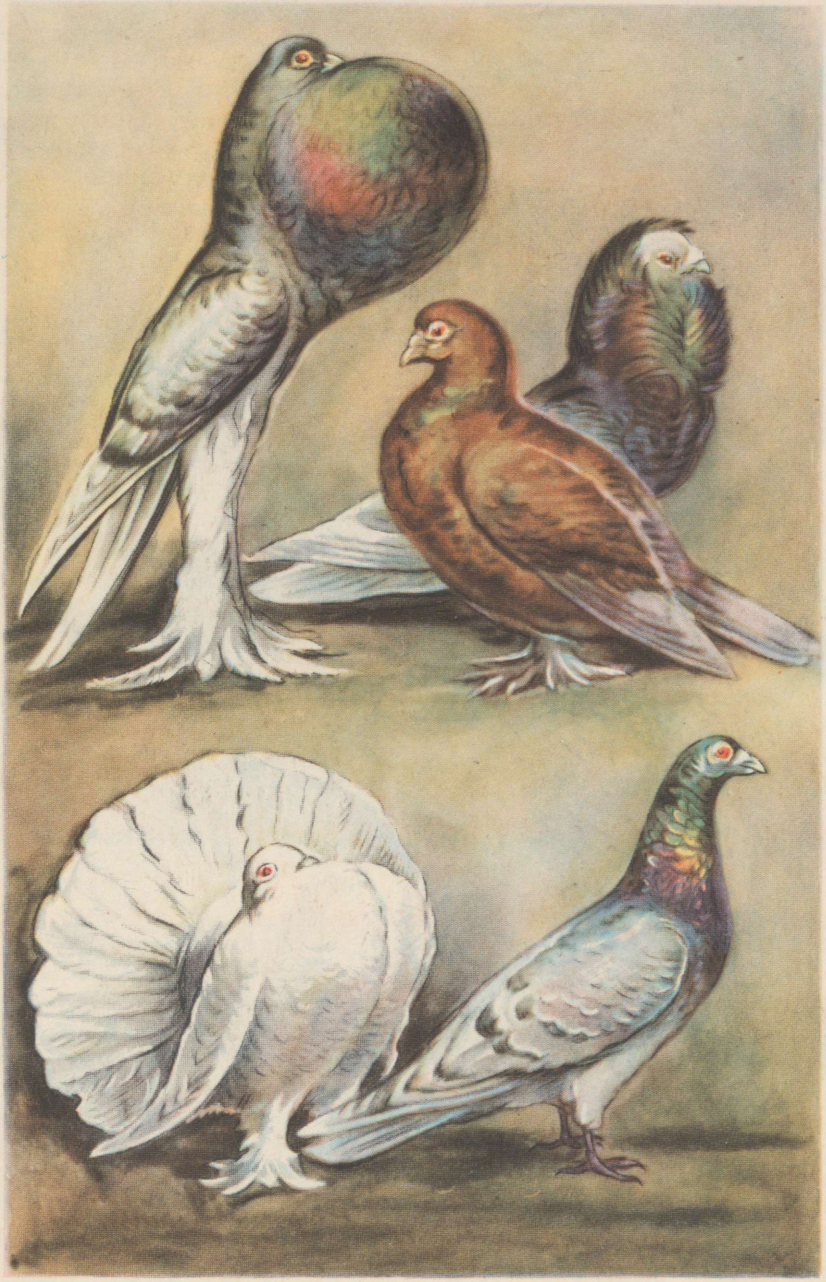
Kevadel, kui soojust ja niiskust on juba küllaldaselt, algab üldine taimkatte tärkamine. Kuid vaevalt on jõudnud ilmuda esimene rohelus, kui otsekohe hakkavad taimi ründama teod, tõugud ja röövikud, lehetäid ning teised rohttaimedest ja puulehtedest toituvad putukad. Viimased ise satuvad ohvriks lindudele, need aga omakorda langevad saagiks rohkearvulistele kiskjatele.

Enamasti kulgeb liikidevaheline konkurents eriti teravalt siis, kui liigid kuuluvad samasse perekonda ja on, järelikult, sarnase ehituse ning sarnaste vajadustega. Darwin viitab tervele reale niisugustele faktidele. Hoburästa kiire paljunemine mõnedes Šotimaa piirkondades tõi enesega kaasa teise rästaliigi — laulurästa arvukuse vähenemise. Prussakas tõrjub tavaliselt välja suure musta tarakani. Austraalias on Euroopast sisse veetud tavaline astlaga varustatud mesilane välja tõrjumas kohalikku väikest mesilaseliiki, kellel astel puudub.

Metsas võib näha, kuidas üks liik tõrjub välja teise. Männi, kase, haava ja teiste valgustarmastavate puuliikide varjus arenevad hästi kuusetõusmed, mis külmuksid ära lagedates kohtades. Aja jooksul noorte kuuskede võrad liituvad, valgust ei pääse enam sel määral läbi, kui see oleks vajalik valgustarmastavate mändide, haabade ja kaskede arenemiseks ning need hukkuvad.

K o l m a n d a t olelusvõitluse vormi täheldatakse kõikjal, kus organismid on sattunud anorgaanilises looduses valitsevate ebasoodsate tingimuste võimusesse — kas liigse kuumuse või külma, kuivuse või niiskuse kätte. Seda peetaksegi silmas, kui üksiku taime kohta kõrbes räägitakse, et ta «võitleb» põuaga. Lõuna-Ameerika mägedes nägi Darwin kõverdunud puid ja põõsaid, kuigi ei olnud märgata, et mingisugused teised taimed neid oleksid ahistanud. Ebanormaalse kõverdumise oli põhjustanud sealse kliima kahjulik mõju.

Organismide olelusvõitlust nimetatakse sageli b i o l o o g i l i s e k s konkurentsiks. Sellega tahetakse rõhutada, et jutt on ainult loomadest, taimedest ja mikroorganismidest, mis mingil määral



Tahvel I. Mitmesugused tuvitõud ja nende metsik esivanem: ülemises reas (vasakult paremale) — pugutuvi, uperpalltuvi, kakktuvi; alumises reas — lehviksabatuvi, metsik kaljutuvi.

Tahvel II. Mitmesugused kanatõud ja nende metsik esivanem: ülemises reas (vasakult paremale) — metsikud bankiiva kanad, valge leghorn; keskmises reas — pliimutrokk, liveni kanad; alumises reas — roodailend. võitluskanad.

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. Organismide vahel võivad tekkida üsna ootamatud ja keerulised vastastikused vahekorrad. Darwin toob niisuguse näite. Osa täiesti viljatut kanarbikunõmme piirati loomade karjatamise ärahoidmiseks taraga ning sinna istutati šoti mände. 25 aasta pärast mühises seal männimets, sinna oli ilmunud uusi taime- ja putuktoiduliste lindude liike, mida varem sellel nõmmel ei esinenud.

Elusolendite vahel valitsevate keeruliste vahekordade hulgas esineb ka vastastikuse abistamise juhte, kus ühisest kooselust saadakse kasu. Eredaks näiteks selle kohta on ühiseluliste putukate (herilased, mesilased, sipelgad, termiidid) isenditevaheline koostöö. Vastastikuse kasusaamise suhted seovad üksteisega karjaviisi elavaid imetajaid, näiteks metshobuseid. 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 veerežiim: 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, samblike, pinnasevetikate kasvamiseks ning arenemiseks.

Organismide ja keskkonna vastastikuste vahekordade uurimisega te tutvute lähemalt X peatükis.

8. Looduslik valik

Looduslik valik. Me teame, et kõikidele organismidele on omane individuaalne pärilik muutlikkus. Seetõttu ei ole mistahes metsiku ega ka kodustatud organismipaari järeltulijad oma pärilike iseärasuste poolest kunagi ühesuguse d. Ühed isendid või isendite rühmad on ühe või mitme tunnuse poolest paremini keskkonnaga kohastunud kui teised. Esimestel on antud tingimuste suhtes enda eluks ja arenemiseks kasulikke tunnuseid, teistel need puuduvad. Isenditel, kel teistega võrreldes on kas või kõige tühisemgi eelis, on rohkem võimalusi ellu jääda ja järglasi anda.

Protsessi, mis seisneb teatud kindlate tingimuste suhtes kasulikke tunnuseid omavate isendite säilimises, nimetas Darwin

looduslikuks valikuks ehk kõige enam kohastunud isendite ellujäämiseks.

Darwin hoiatab, et loodusliku valiku puhul ei ole tegemist «teadliku valikuga muutusele allunud loomade poolt» ega ka «mingi toimiva alge või jumalusega». Terminit «valik» kasutab ta lühiduse huvides metafoorses tähenduses, et märkida ära loodusseaduste tagajärge.

Kui kunstliku valiku puhul on valiku teostajaks inimene, siis loodusliku valiku põhjusteks on keskkonna looduslikud tegurid — temperatuur, niiskus, valgus, teised organismid, toidu olemasolu jne. Kunstliku valiku puhul lähtub inimene isikliku kasusaamise eesmärkidest ning sellele vastavalt valib organisme välja talle märgatavate muutuste järgi. Looduslikule valikule alluvad aga metsikute organismide täiesti tabamatud iseärasused. Igasugune organismi elu seisukohalt kasulik muutus kandub loodusliku valiku teel järgnevatesse põlvkondadesse edasi ja kinnistub. Darwin ütleb, et «piltlikult väljendades jälgib looduslik valik päevpäeva 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 toimib organismile kasulike pärilike muutuste alalhoidmise ja kogumise kaudu, luues uusi, täiuslikumaid ning teistest paremini keskkonnaga kohastunud vorme. Looduslik valik toimib äärmiselt aeglaselt. «Me ei märka nende aeglaselt toimivate muutuste kulgemist enne, kui aja käsi ei ole tähistanud sajandite möödumist...». Eriti kriipsutab Darwin alla, et loodusliku valiku mõjuvõim laieneb kõikidele organismidele, olenemata nende soost ja vanusest.

Looduslik valik kulgeb edukamalt seal, kus individuaalsete pärilike muutuste sagedus on suurem. Seda täheldatakse liigi massilise esinemise ja tema areaali laienemise korral, mil isendite arv mitmekordselt suureneb.

Suur tähtsus selles protsessis on seemnetaimede risttolmlemisel. Sel juhul on järglased sageli elujõulisemad kui need järglased, mis on saadud isetolmlemisel.

Näiteid loodusliku valiku toime kohta. Darwin selgitab loodusliku valiku toimet, nagu ta ise ütleb, kujuteldavate näidete varal. 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. Millised hundid on neis uutes tingimustes nüüd eelistatud olu-

korras? Loomulikult on nendeks kõige väledamad ja kõige osavamad isendid — neil tekib rohkem võimalusi loodusliku valiku protsessis alles jääda. Selleks et näidata, et taolised faktid looduses tõepoolest esinevad, viitab Darwin kahe hunditeisendi esinemisele Catskilli mägedes Ameerika Ühendriikides. Üks neist, kehaehituselt sarnane kerge ja saleda lambakoeraga, jälitab põtru, teine aga, eelmisest kogukam ning lühikeste jalgadega, ründab tavaliselt lambakarju.

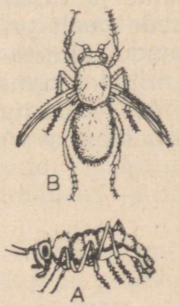
Väikestel ookeanisaartel, kus sageli esineb tugevaid torme, leidis Darwin ainult tiivutuid või siis pikatiivalisi putukaid. Sealsetes tingimustes võisid ellu jääda ja paljuneda ainult need putukad, kelle tiivad olid seevõrra pikad ja tugevad, et nad suutsid võidelda tuulega, või siis jällegi need, kes üldse ei tõusnud maapinnalt lendu, vaid varjasid end taimede vahel (joon. 16).

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 tulemusel siin kõik hävinud.

Kaasajal on rea eksperimentaalsete uuringutega katseliselt tõestatud loodusliku valiku esinemist looduses. Ühes katses lasti 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 basseinipõhja taustaga paremini — ainult 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.

Veel üks katse. Linnud sõid meelsasti kahjutu värvainega värvitud jahuusse. Tarvitses neist aga ainult osa värvida värvainega, millele oli lisatud ebameeldiva maitsega aineid, kui linnud otsekohe lakkasid nokkimast niihästi neid kui ka kõiki teisi värvitud usse. Sama katset korrati veel teises variandis. Nüüd maaliti usside kehale mitmesuguseid kujundeid. Linnud nokkisid ainult neid usse, kelle kehale maalitud kujunditega ei kaasnenud ebameeldivat maitset.



Joon. 16. Kerguéleni kärbsed: A — tiivutu; B — rudimentaarsete tiibadega.

Loodusliku ja kunstliku valiku võrdlus. Metsikute liikide evolutsioon ning inimese poolt aretatud tõugude ja sortide evolutsioon kulgevad paljuski üksteisega analoogiliselt. Mõlemal juhul on evolutsiooni lätteks valikule alluvad individuaalsed pärilikud muutused. Kuid esimesel juhul toimub pärilike muutuste valik iseenesest, ümbritseva keskkonnaga vähem kohastunud organismide hukkumise tagajärjel, teisel juhul aga teeb seda inimene. Loodusliku valiku protsessis säilivad vormid selliste muutustega, mis on kasulikud ainult organismidele enestele, kunstliku valiku käigus aga — muutustega, mis on kasulikud inimesele. Vähemkasulike muutustega vormid surevad looduses ise välja, põllumajanduspraktikas on nende hävitajaks aga inimene.

Loodusliku valiku käigus kujunevad välja vormid, mis on kohastunud teatud keskkonnatingimustega, kunstliku valiku käigus kujunevad aga vormid, mis on teisendunud vastavalt inimese huvidele. Selle tulemusel viib looduses toimuv valik liikide uute teisendite tekkimisele, põllumajanduspraktikas rakendatav valik aga — uute tõugude ja sortide ilmumisele.

Organismidevaheliste vahekordade ärakasutamine inimese poolt. Organismide vahel eksisteerivate keeruliste vahekordade tundmaõppimine teeb võimalikuks nende vahekordade ärakasutamise inimese huvides. Nii näiteks võetakse külvikordade kindlaksmääramisel arvesse taimede bioloogilisi iseärasusi ning vajadusi. Sedasama peetakse silmas ka metsa kunstlikul istutamisel. Näiteks kasutatakse praegusel ajal laialt mükoriisa sisseviimist pinnastesse, kus see puudub. Mükoriisa on seeneniidistik, mis on tunginud paljude puude juurtesse. Mükoriisa seeneniidistik ammutab pinnasest niiskust ja toitaineid ning kindlustab sel viisil puude (tamme, kase, pöögi jt.) normaalset kasvu.

Kalade (karpkalad, siiad) kunstlikul kasvatamisel püütakse veekogud kõigepealt puhastada haugidest, ahvenatest ja teistest röövkaladest, seejärel aga ka prügikaladest.

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.

9. Organismide kohastumine ja selle suhteline iseloom

Kohastumise seletamine Darwini-eelsel perioodil. Darwini-eelse ajastu õpetlased olid võimetud seletama organismide kohastumist olelustingimustega. Idealistlikud filosoofid tõlgendasid seda kui looduses endas peituva harmoonia peegeldust. Usukultuste teenrid ning religioosselt häälestatud teadlased kasutasid ammust ajast näiteid organismide kohastumusest kui kõige veenvamat tõestust looja olemasolu kohta looduses. Lamarcki katsed seletada kohastumisnähtusi keskkonnatingimuste otsese mõjuga või elusorganismidele enestele omase sisemise tungiga olid ilmselt ebaõnnestunud. Igast uurimistööst laekus aga juurde uusi fakte, mis üha selgemini tõid päevavalgele orgaanilises maailmas valitseva täiuslikkuse. Kuid küsimus selle põhjustest jäi kuni Darwinini lahtiseks.

Näiteid kohastumise kohta loomadel. Organismide kehakujus, keha ja organite ehituses, elufunktsioonides ning käitumises on palju nende eluks ja arenemiseks kasulikke kohastumuslikke iseärasusi. (Demonstreerige seda näidete varal kala (ahvena, haugi) kohastumise kohta eluks vees, linnu (tuvi) kohastumise kohta lendamiseks õhus.)

Loomariigis on laialt levinud niinimetatud kaitsevärvus. Seejuures on sageli nii, et kogu teatud ala fauna juures domineerib mingi kindel värvitoon. Selline on näiteks Kaug-Põhja fauna: jääkaru, valgejänes ja rabakana on kõik üleni valged; seevastu kaameli, gaselli, kõrbe-hüpikhiire, mitmesuguste roomajate ning teiste kõrbeloomade värvuses domineerivad peamiselt kollased toonid.

Kõrvuti kaitsevärvusega esineb loomade juures sageli ka hoiatusvärvust. Selle näitena võiks tuua kõikidele tuntud lepatriinu: linnud ei puuduta teda mitte kunagi, sest lepatriinu eritab hädaohu momendil jalaliigestest mürgist vedelikku. Enamasti kaasnevad ereda hoiatusvärvusega mitmesugused teised kaitsevahendid: karvad, okkad, ärritavad või teravalt lõhnavad vedelikud, kõva kitiinkate.

Sageli kaitseb organismi vaenlase eest tema sarnasus mingi mittesöödava esemega või sarnasus teiste, hästi kaitstud loomade või taimedega. Sedalaadi nähtusi nimetatakse mimikriks. Näiteks on väga raske märgata okstel täiesti liikumatult istuvaid raagritsikaid: nende keha meenutab nii kujult kui värvuselt pikka ja peenikest oksakest. Tuntakse süütuid ja ohutuid kärbseliike, keda kaitseb nende sarnasus astlaga varustatud kimalaste ja herilastega (tahvel III, IV, V).

Kohastumist elutingimustega täheldatakse ka loomade harjumustes, instinktides ja käitumises. Nii näiteks laskuvad põldvutid hädaohu korral kiiresti põllule ja jäävad seal liikumatusse asen-

disse seisma seni, kuni oht on möödunud. Kaitsevärvus koos niisuguse käitumisega päästab neid vaenlase kallaletungide eest.

Kohastumusnäiteid taimedel. Botaanikast te teate, kui mitmesuguseid mooduseid on taimedel välja kujunenud viljade ja seemnete levitamiseks. Need vastavad taimede elutingimustele. Kõrgetel puudel, mille võrad on tuultele vabalt kättesaadavad, 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 ning kantakse sel viisil edasi. Niisuguste kohastumuste tõttu saab võimalikuks taimede levikuala järkjärguline laienemine, taimede levimine uutele kasvukohtadele.

Palju üsna erilaadseid ja peeni mooduseid on taimedel välja kujunenud isetolmlemise ärahoidmiseks. Siinkohal mõned näited niisuguste kohastumuste kohta. Paljud taimed on kahekojalised: ühtedel isenditel on õied ainult emakatega, teistel ainult tolmukatega (paplid, pajud, kanepiliigid). Ühekojalistel taimedel raskendab isetolmlemist isas- ja emasõite erinev valmimisaeg, kuigi viimased võivad seejuures asuda ühtedel ja samadel okstel (kurgid). Kahesuguliste õitega taimi kaitseb isetolmlemise eest tolmukate ja emakate erinev valmimisaeg või iseärasused viimaste ehituses ja vastastikuses asetuses. Nii näiteks on nurmenuku ühtedes õites emakas märgatavalt lühem kui tolmukad, emakasuue on sile, õietolm suureteraline, õiekrooni lehterjas osa lühike. Teistes õites aga, vastupidi, asub emakas tolmukatest kõrgemal, emakasuue on kare, õietolm peeneteraline, õiekrooni lehterjas osa pikk.

Kohastumuste mitmekesisus. Darwin näitas paljude faktide varal, et organismidel võivad ühes ja samas elukeskkonnas välja kujuneda erinevad kohastumused. 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 loivade abil, delfiin aga kasutab selleks sabauime. Siit järeldub, et kohastumine ühe ja sama keskkonnaga võis erinevate organismirühmade juures kulgeda erinevaid teid pidi.

Teiselt poolt võib loodusliku valiku käigus kinnistuda ka mingi selline muutus, mis organismi elu seisukohalt on küll kasutu, kuid samal ajal seotud mingi teise, tähtsama muutusega. Antud tingimuste suhtes kasutu tunnus võib samuti pärilikult edasi kanduda. Nii toob Darwin näite fregattlinnu ja mägihane kohta, kes küll kumbki ei ole veelindudele iseloomuliku eluviisiga, kuid kel sellest hoolimata on siiski säilinud viimastele

tüüpilised ujulestadega jalad, nii nagu see oli nende veelindudest esivanematelgi.

Kohastumuste tekkimine organismidel. Darwini õpetus annab ammendava materialistliku vastuse küsimusele, kuidas on tekkinud kõik need mitmesugused kohastumused. Vaadelgem 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 silmatorkavaiks. Just see osa röövikuist võiski hukkumisest pääseda, ellu jääda ning järglasi anda. Järgnevates põlvkondades jätkus uute elutingimuste suhtes kasulikke muutusi mitteomavate röövikute hävitamine, nende arvukus väheneb põlvest põlve järk-järgult, kuni lõpuks jäid täielikult domineerima ainult uute elutingimustega kohastunud isendid — rohelise värvusega röövikud. Selliselt seletubki mitmesuguste, teatud kindlatele keskkonnatingimustele vastavate kohastumiste tekkimine loomadel ja taimedel.

Organismide kohastumuste suhtelisus. Darwini õpetus looduslikust valikust mitte ainult ei seletanud, kuidas võis tekkida kohastumine orgaanilises maailmas, vaid ka tõestas, et see on alati suhtelise iseloomuga. See tähendab, et iga kohastumine aitab organismidel ellu jääda ainult nendes tingimustes, millistes see kohastumine loodusliku valiku toimel välja kujunes. Organismid on harilikult kohastunud eluks ainult teatud kindlas keskkonnas: veest välja võetud kala paratamatult hukkub, sest lõpuste abil hingamine on õhus võimatu.

Organi kitsas spetsialiseerumine võib saada organismi hukkumise põhjuseks. Nii näiteks ei suuda suurepärase lendajana tuntud piirpääsuke lendu tõusta tasaselt pinnalt, vaid ainult mingist väljaulatuvast servast nagu trampliinist ära tõukudes: tal on küll pikad tiivad, kuid väga lühikesed jalad.

Ka organismide kõige parem kaitse ei ole kaugeltki mitte kõikidel juhtudel kindel ja vääramatu. Lambad võivad ilma vähimagi ohuta ära süüa Kesk-Aasias levinud karakurdi, kelle mürgine hammustus on surmav paljudele loomadele. Esimesel pilgul näib, et kilpkonna kõhu- ja seljakilpide vahele peidetud keha asub nagu kindluses. Kuid tiigri ja teiste kiskjate eest see siiski kindlat kaitset ei paku: olles kilpkonna selili keeranud, suruvad nad oma küüned kilpide vahel olevatesse väikestesse vahemik-

kudesse ning rebivad nende kaudu looma keha tükkideks. Suured röövlinnud tõusevad koos kilpkonnaga üles ja lasevad ta sealt siis alla kukkuda, purustades sel viisil looma kilprüü.

Loomade instinktide jälgimisel tehtud tähelepanekud annavad veenvaid tõendeid nende suhtelise iseloomu kohta. Kõigile on teada ööliblikate tung lennata tule peale, kuigi nad seejuures massiliselt hukkuvad. Neid kisub tule poole instinkt: nad korjavad nektarit peamiselt heledatelt, öösel hästi nähtavatelt õitelt.

Nektarit ja õietolmu korjates tolmeldavad putukad tahestahtmata ka õisi, kuid sageli torkavad väikesed mardikad õiekrooni lihtsalt läbi ja imevad nektarit tehtud ava kaudu, ilma et nad seejuures õisi tolmeldaksid. Isegi kui tolmeldamine niiviisi toimukski, kuivaksid õied vigastuste tõttu siiski ära juba enne, kui vili saaks hakata arenema.

Taimede kohastumused, mis takistavad nende söömist loomade poolt, on samuti suhtelise iseloomuga. Kui kari on näljane, siis sööb ta ka kaitstud taimi. Ka organismide sümbiootilistest vahekordadest tulenev vastastikune kasu on suhteline. Real juhtudel võib näiteks samblike juures tähele panna, et seeneniidid lammutavad nendega kooselus olevad vetikad. Igihalja pukspuu (Kaukaasias) esialgne arenemine toimub sambla all, mis hoiab alal selleks vajalikku niiskust. Kuid hiljem jääb pukspuu võimsa samblakatte all ise sageli kängu.

Organismide kohastumuse põhjus seisneb selles, et isendid, mis antud tingimustele ei vasta või vastavad neile teistega võrreldes väiksemal määral, hukkuvad ega jäta järglasi. Lühikese eluea tõttu näeme me looduses ainult selle ajaloolise seaduse toime tagajärgi, s. t. ainult kohastunud vorme. K. Timirjazev kirjutas, et «... loodus ei ole teinud imesid, kujundades olendeid otsekohe hämmastavalt täiuslikena, vaid on ainult hoolikalt kustutanud oma vigade jäljed. Loendamatu arv katsetusi, kõikide ebaõnnestumiste halastamatu hävitamine — need on tegurid, mis on viinud sellise täiuslikkuseni».

Darwin lükkas täielikult ümber idealistlikud ettekujutused absoluutsest otstarbekohasusest elusas looduses. (Tuletage meelde, milles seisnes nende ettekujutuste olemus.)

10. Uute liikide ja teisendite tekkimine

Divergents kunstlikes tingimustes. Õpetus looduslikust valikust ei lahenda üksnes küsimust kohastumuse tekkimise kohta orgaanilises maailmas, vaid selgitab ka, kuidas looduses tekivad uued liigid, s. t. ta näitab, milline on evolutsiooni tegelik käik. Ka selle küsimuse puhul lähtus Darwin faktidest, mis puudutavad meie kodustatud loomatõuge. Ja nii nagu eespool, näeme

ka siin analoogiat. Esialgu olid koduloomade tõud kaasaegsetega võrreldes vähem mitmekesised. Hiljem aga, vastavalt mitmesugustele vajadustele ja eesmärkidele, hakkasid inimesed tegema kunstlikku valikut mitmesugustes suundades. Seejuures jäeti suguloomadeks tavaliselt kõige selgemalt väljendunud tunnustega loomad, vahepealsete tunnustega isendid aga hävitati.

Protsessi, kus esialgu vaevaltmärgatavad erinevused niihästi tõugude omavahelistes tunnustes kui ka tõugude ja nende ühiste esivanemate vahelistes tunnustes järk-järgult suurenevad, nimetas Darwin divergentsiks (ingliskeelsest sõnast *diverge* — lahku minema).

Divergents looduslikes tingimustes. Taoline protsess toimub ka looduses, ehkki looduslikes tingimustes pole toimivaks teguriks mitte inimene, vaid ümbritsev keskkond. Mida rohkem mingi liigi järglased üksteisest erinevad, seda kergemini võivad nad elamiseks ja arenemiseks vallutada uusi, senisest arvukamaid ja mitmekesisemaid paikkondi, 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 otsas, vees jne.), s. t. seoses uute pärilike iseärasuste tekkimisega kehaehituses ja käitumises. Sama täheldatakse ka taimede liigilises koostises. Kui ühele maatükile külvata ainult üht heintaimeliiki, teisele, eelmisega sarnanevale maatükile aga mitmesse eri liiki või perekonda kuuluvaid heintaimi, siis praktikast on teada, et teisel juhul on üldine saak suurem.

Looduses võib tähele panna, et üksteise vahetus läheduses kasvavad taimed on alati väga mitmekesised. Nii loendas Darwin maatükil, mille pindala oli veidi üle ühe ruutmeetri, 20 erinevat taimeliiki, mis kokkuvõttes kuulusid 18 eri perekonda ja 8 eri sugukonda. Sedalaadi faktid on kinnituseks Darwini poolt formuleeritud väitele, et «kõige suurem elu kuhjumine toimub ehituse kõige suurema mitmekesisuse korral».

Selle põhjus on silmanähtav: ühe ja sama liigi taimede vahel, arvesse võttes nende ühesuguseid vajadusi pinnase, niiskuse, valguse jne. järele, on bioloogiline konkurents kõige teravam. Loodusliku valiku teel säilivad need vormid, mis annavad mitmekesiseid muutusi. Mida märgatavamaks muutuvad erinevused eri vormide kohastumuslike tunnuste vahel, seda rohkem lähevad üksteisest lahku ka vormid ise.

Loodusliku valiku tõttu on evolutsiooniprotsessil diver-

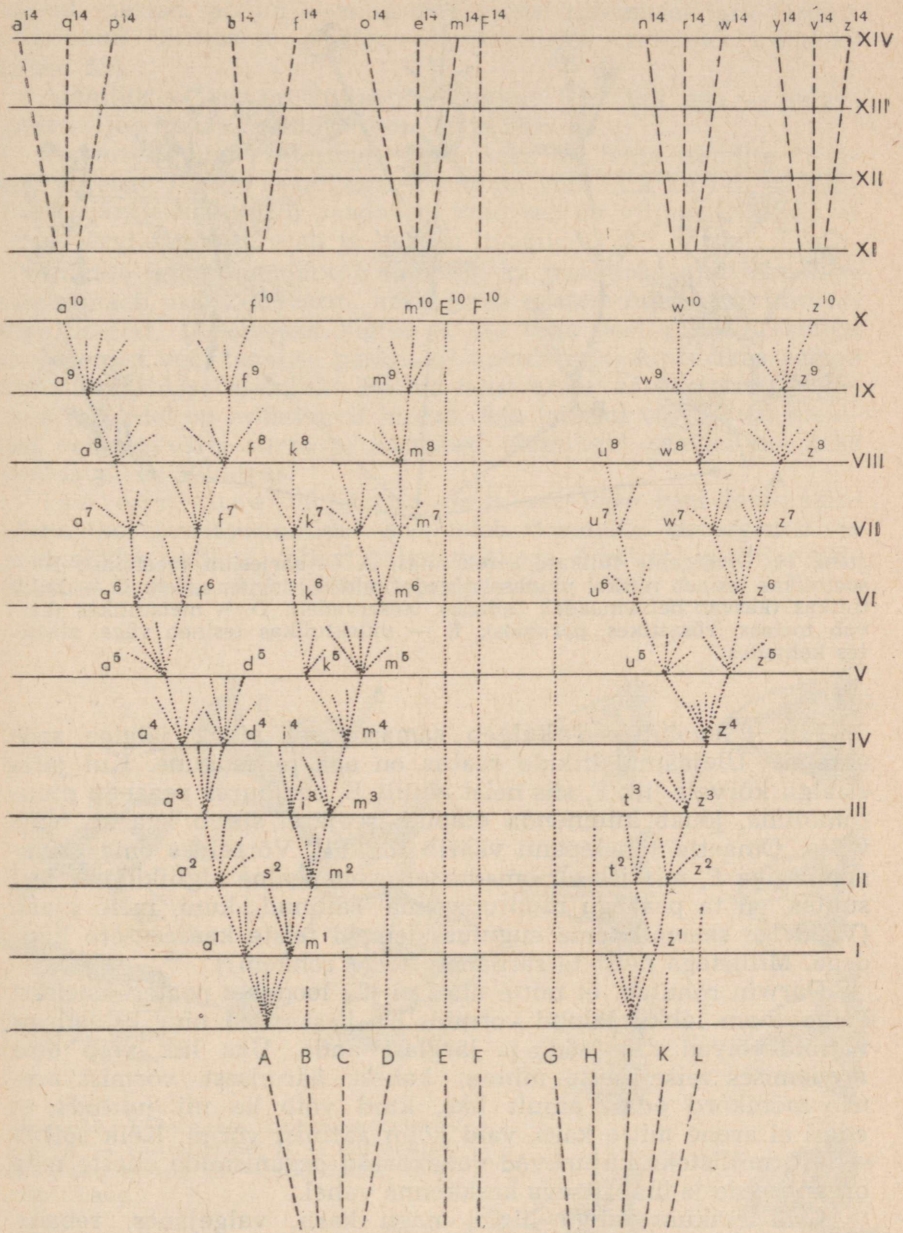
g e n t n e iseloom: ühest lähtevormist saab alguse terve vormide «lehvik», just nagu ühe ühise juure eri harud. Mitte kõik neist ei arene edasi. Loodusliku valiku toimel ühed jäävad alles, teised surevad välja. Üheaegselt divergentsiprotsessiga on loodusliku valiku paratamatuks järelduseks ka v ä l j a s u r e m i s p r o t s e s s. Mõlemad protsessid on omavahel tihedalt seotud. Üksteisest kõige rohkem lahku minevad vormid omavad enam kohastunutena kõige suuremaid võimalusi ellujäämiseks, kuna vahepealsed ning algvormid kui vähem kohastunud tõrjutakse järk-järgult üha rohkem kõrvale, kuni surevad lõpuks hoopis välja.

T e i s e n d — v a h e a s t e l i i g i t e k k i m i s e l. Kõigepealt tekivad teisendid või alamliigid, s. t. vormid, mis võrdlemisi vähe kalduvad kõrvale esivanem-liigist. Omaette liigiks muutuvad teisendid alles pärast seda, kui nende tunnused on selgesti eraldatavad.

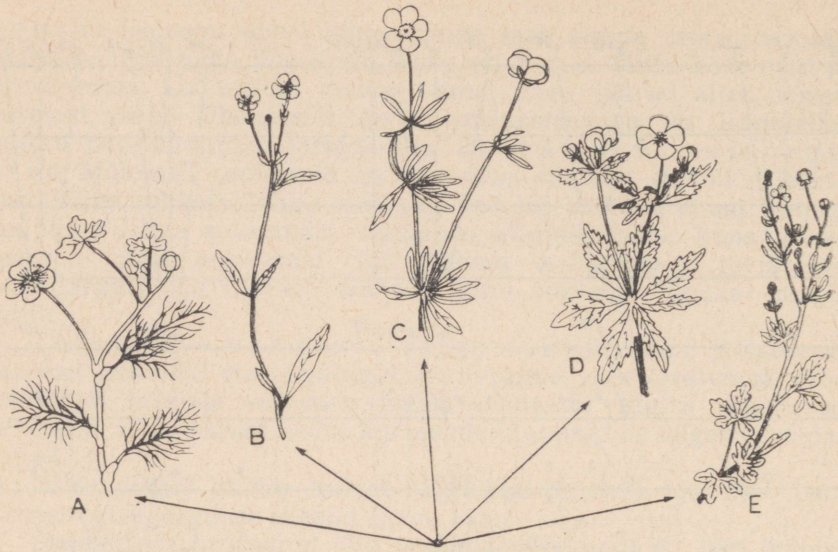
Et selgitada, kuidas kulgeb liigitekke protsess looduses, pani Darwin ette järgmise skeemi (joon. 17).

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. Punktiirjoonte kimbud tähistavad liikide muutlikkust antud etapil.

Jälgigem liik A evolutsiooniteed. Individuaalse muutlikkuse tõttu erinevad tema järeltulijad veidi niihästi üksteisest kui ka lähtevormist (skeemil punktiirjooned, punktist A). Teistest paremas olukorras on järglased a^1 ja m^1 — järskude, äärmiste muutuste tõttu on neil tekkinud võimalused kohastumiseks erinevate olelustingimustega. Liik A ülejäänud järglased — a^1 ja m^1 suhtes vahepealsete omadustega vormid on aga suuremalt osalt määratud väljasuremisele. Analoogiline keskmiste vormide väljasuremise ja äärmiste vormide säilimise ning divergentsi protsess jätkub ka edaspidi. Võib juhtuda, et kümnendaks etapiks on a^{10} ja m^{10} juba niivõrd erinevad üksteisest ja lähteliigist A, et neid tuleb hakata pidama kaheks omaette liigiks. 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).



Joon. 17. Divergentsi skeem.



Joon. 18. Divergents tulikate perekonnas: A — särjesilm (veetaim); B — sootulikas (esineb niiskel pinnasel jõgede kaldail, heinamaadel); C — kuldtulikas (kasvab heinamaadel, aedades, teeservadel); D — metstulikas (kasvab metsas, võsastikes, parkides); E — mürktulikas (esineb väga niisketes kohtades).

Liik 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. (Vaadelge skeemil tema sugulussidemeid teiste kaasaegsete liikidega. Millistega neist ta sarnaneb kõige rohkem?)

Darwin rõhutab, et mitte alati ei jää looduses peale üksteisest kõige enam lahku läinud vormid. Ka keskmised ning esivanemvormid võivad ellu jääda ja järglasi anda. Üks liik võib oma arenemises teisest ette minna; kahest äärmisest vormist 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.

Laia levikuareaaliga liigid, nagu karu, valgejänes, rebane, orav, esinevad Atlandi ookeanist kuni Vaikse ookeanini ja neil on arvukalt alamliike. NSV Liidu keskvöötmes esineb üle 20 tulikaliigi, mis kõik on põlvnenud ühest esivanemliigist. Tema järg-

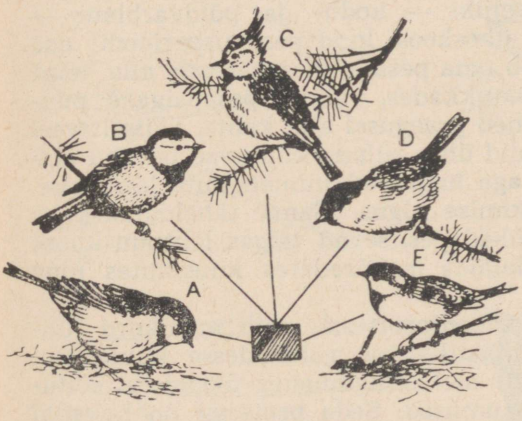
lased on enda valdusse haaranud mitmesugused elupaigad — stepid, metsad, põllud — ning divergentsi tulemusel järk-järgult eraldunud üksteisest esialgu alamliikideks, seejärel liikideks (joon. 18).

Alamliik — see on kujunema hakkav liik, liik aga — selgemalt väljendunud alamliik (joon. 19 ja 20).

Peamiseks liigi eraldumise tunnuseks on tema isendite ristamatus teiste liikide isenditega. Erandina võib olla ka nii, et hübriidne järglaskond küll saadakse, kuid see on viljatu. Näiteks ei anna järglasi muul, eesli ja hobuse hübriid.

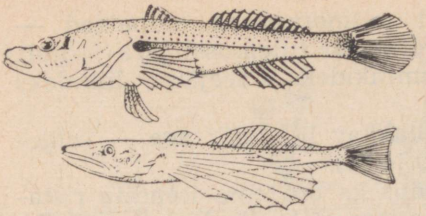
Liikide tekkimine jätkub muidugi ka praegusel ajal. Kaukaasias elutseb pasknäärivorm, kes erineb teistest musta kuklasulestiku poolest. Iseseisvaks liigiks ei saa teda veel pidada, esialgu on tegemist veel tavalise pasknääri alamliigiga. Ameerikas esineb 27 lauluvarblase alamliiki. Paljud neist erinevad üksteisest vähe, kuid mõnedel on erinevused järsud. Aja jooksul võivad vahepealsed vormid välja surra ja äärmised alamliigid saavad noorteks iseseisvateks liikideks.

I s o l e e r i t u s e t ä h t s u s. Selle või teise liigi levik laiaulatuslikel territooriumidel soodustab tunnuste divergentsi ja looduslikku valikut, sellest tulenevalt aga, Darwini piltliku väljenduse järgi, ka «liikide fabritseerimist».



Joon. 19. Divergents tihaste perekonnas: A — rasvatihane; B — sinitihane; C — tutt-tihane; D — sootihane; E — musttihane.

Joon. 20. Noka kuju muutumine rootsiitsitaja alamliikidel.



Joon. 21. Baikali kalad (esinevad ainult selles järves).

Mõnikord on soodustavaks teguriks ühe ja sama esivanemliigi järglaste isoleeritus üksteisest. See juhtub näiteks siis, kui liigi levimise käigus tema üksikud isenditerühmad satuvad üksteisest eraldatud paikadesse. Sellistel juhtudel on organismide sissetungimine ühest paikkonnast teise tugevasti raskendatud, mistõttu võimalused ristamisteks eri rühmadesse kuuluvate isendite vahel järsult vähenevad või puuduvad hoopis. Näiteks kohtame Kaukaasias, kõrgete mägedega eraldatud piirkondades, liblikate, sisalikkude jt. loomade täiesti omaette, ainult seal elunevaid alamliike. Teistest veekogudest isoleeritud Baikali järves esineb palju niisuguseid ripsusside, vähilaadsete ja kalade liike ning perekondi, mis kusagil mujal ei esine. Toodud faktid on *geograafilise isoleerituse* tulemuseks (joon. 21).

Teistel juhtudel on ristamine 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. Sama täheldatakse ka metsvintide juures, millest ühed pesitsevad taigas lehtpuu-kuuse segametsades, teised — madalates ja hõredates kuusikutes ning kuuse-männi segametsades.

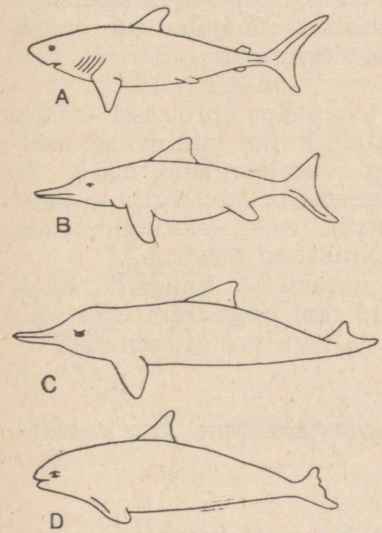
Konvergents. Evolutsiooniprotsessis võib mõnikord juhtuda, et erinevatesse süstemaatilistesse rühmadesse kuuluvatel loomadel kujunevad sarnastes olelustingimustes üksteisest sõltumatult välja sarnased kohastumused. Seda protsessi on hakatud nimetama *konvergentsiks* ehk kohastumuslikuks sarnastumiseks. Nii näiteks on urgude ning käikude uuristamiseks kohastunud 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 selle kohta näiteid.)

Konvergents üksteisest kaugete süstemaatiliste rühmade (hõimkonnad, klassid) piires on seletatav üksnes sarnaste olelustingimuste mõjuga loodusliku valiku käigule (joon. 22). 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. 23).

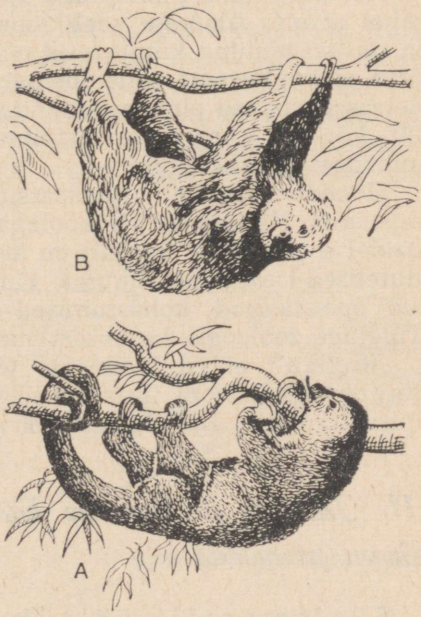
Austraalia kukkurloomade kohastumused loodusliku valiku protsessis kujunesid üsna sarnaseiks teistel mandritel elavate ning Austraalias puuduvate imetajaseltside vastavate kohastumustega. Seejuures toimus kukkurloomade ja teiste imetajaseltside evolutsioon üksteisest täiesti sõltumatult.

Orgaanilise maailma mitmekesisus. Teadlaste arvutuste kohaselt esineb Maal üle 500 tuhande taimeliigi ning rohkem kui 1,5 miljonit loomaliiki, kusjuures kaugeltki mitte kõik liigid pole teaduse poolt veel avastatud ega kirjeldatud. NSV Liidus on kirjeldatud 17 tuhat õistaime- ning 70 tuhat eostaimeliiki.

Erinevatesse liikidesse kuuluvad taimed, loomad ja mikroorganismid erinevad üksteisest ehituse, kehamõõtmete, eluliste vajaduste ja teiste tunnuste poolest. Botaanikast, zooloogiast ja



Joon. 22. Konvergents: A — hai; B — ihtüosaurus; C ja D — delfiinid.



Joon. 23. Konvergents: A — sipelgaõgija; B — laiskelajas.

geograafiast te teate palju taolisi fakte ja võite tuua näiteid liikide hämmastamapaneva mitmekesisuse kohta igal maalapil, igas veekogus.

Juba ammusest ajast peale on inimest hämmastanud orgaanilise maailma mitmekesisus. Kuidas see on tekkinud?

Sellele küsimusele annab vastuse Darwini õpetus liikide tekkimisest loodusliku valiku teel. Liikide mitmekesisus on loodusliku valiku ning sellega seotud tunnuste divergentsi paratamatu tulemus.

Loodusliku valiku protsessis muutusid organismid järk-järgult üha keerulisemaks, kogu orgaaniline maailm tõusis üha kõrgemale ja kõrgemale arenemisastmele. Kuid sellest hoolimata kohtame looduses kõikjal kõrvuti kõrgemate organismidega üheaegselt ka madalamaid organisme. Meenutagem näiteks kas või metsa, niidu või mingi veekogu elanikke. Nende seas on esindajaid kõige erinevamatelt evolutsiooniastmetelt, alates mikroorganismidest ja lõpetades õistaimede ning imetajatega.

Tänu tunnuste divergentsile võivad alamad liigid eluneda Maal üheaegselt kõrgematega, hõivates oma keskkonna. Näiteks toituvad infusoorid niisugustest toiduosakestest, mida hulkraksed ei kasuta. Süstikkala elab põhjalähedastes veekihtides, tavaliselt liivasse uuristunult, kalad aga ujuvad üleval — konkurentsi nende vahel ei ole. Alamate keelikloomade hulka kuuluvad merituped on täiskasvanuina kinnitunud põhjas asuvale substraadile ja seetõttu ei konkureeri selle loomarühma kõrgemate organismidega. Metsas kasvavad pinnasevetikad, samblad ja sõnajalad suurepäraselt kõrvuti kõrgemate õistaimedega, kasutades erinevalt neid ümbritsevat keskkonda.

Mõnede vormide organisatsioon evolutsiooniprotsessi käigus lihtsustus. Näiteks ei ole sooleparasiitide hulka kuuluvatel paelussidel soolestikku, nõrgalt on arenenud meeleorganid, nad ei ole suutelised iseseisvalt liikuma. Kuid see-eest on neil välja kujunenud spetsiaalsed kohastumised spetsiifilistele elutingimustele. (Tuletage zooloogia kursusest meelde, millised need on.)

Järelikult ei vii looduslik valik organisme kaugeltki mitte alati organisatsiooni tüsistumisele, vaid real juhtudel hoopis selle lihtsustumisele. Liikide mitmekesisus sellega veelgi suureneb.

11. Taimede ja loomade kaasaegne süsteem kui evolutsiooni peegeldus

S ü s t e m a a t i l i s e d r ü h m a d. 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.

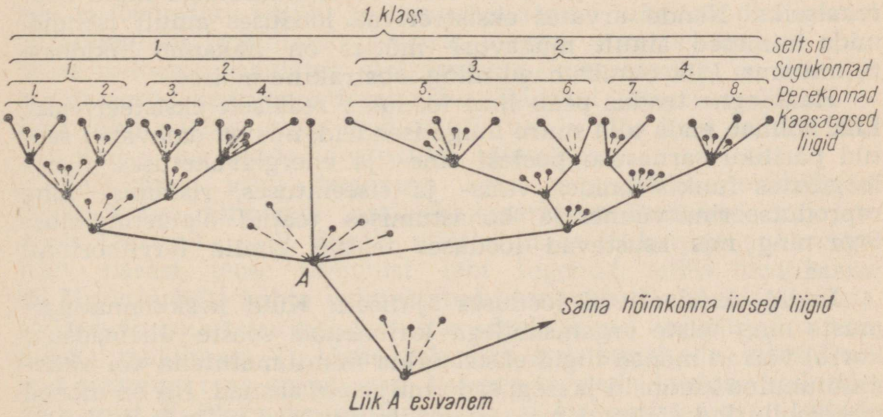
Meenutage Darwini poolt ette pandud skeemi tunnuste divergentsi selgitamiseks (lk. 43). Seda veidi muutes võib skeemi esitada järgmisel kujul (joon. 24).

Nüüd näitab skeem ilmekalt mitte ainult uute liikide, vaid ka kõrgemate süstemaatiliste rühmade (seltsid, sugukonnad, perekonnad) tekkimist ühest esialgsest liigist. Skeemi laiendamist võib jätkata kuni hõimkondade moodustumiseni välja, viimased kaasa arvatud.

Skeem peegeldab järk-järgult üha suuremaid erinevusi ühisest esivanemast põlvnenud liikide vahel. Nende omavaheline sugulus on määratud ühise päritoluga ja seetõttu kujutab iga süstemaatiline rühm endast loomulikku rühmitust.

Elu arenemist Maal võrdles Darwin piltlikult puu kasvamisega, mille tipmised oksakesed meenutavad kaasaegseid liike, peened oksad — perekondi, veidi jämedamad oksad — sugukondi jne. Orgaanilise maailma sugupuu kõige jämedamateks oksteks on hõimkonnad.

K a a s a e g s e k l a s s i f i k a t s i o o n i p r i n t s i i b i d. Kunstliku süsteemi ehitamisel lähtuti üksikutest meelevaldselt valitud tunnustest (meenutage Linné taimede klassifikatsiooni). Darwinieelsed katsed süsteemi loomiseks ei saanud lõppeda edukalt, sest tol ajal püüdsid looduseuurijad selles leida looduses maksmapandud korra peegeldust, mitte aga organismide omavahelist sugu-



Joon. 24. Süstemaatiliste rühmade evolutsioon: A — esialgne liik.

lust. Praegusel ajal peetakse taimede ja loomade klassifitseerimisel silmas neid tunnuseid, mis määravad kindlaks liikide suguluse 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 oma päritolult üksteisest kauged, mistõttu nad ka 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 tunnuseid.

Erinevalt Darwini-eelsest kunstlikust süsteemist peegeldab kaasaegne süsteem seda suuremat või väiksemat sugulusastet, mis valitseb ühte perekonda ühendatud liikide, ühte sugukonda ühendatud perekondade jne. vahel.

Kaasaegses süsteemis pole liigid üksnes jaotatud sugulasrühmadesse, vaid on esitatud ka nendevahelised seosed põlvnemise järgi. Seega peegeldab kaasaegne taimede ja loomade süsteem ka evolutsiooni k ä i k u ennast.

L i i g i r e a a l s u s. Faktid liigi l a g u n e m i s e kohta alamliikideks on suurepäraseks tõestuseks liikide mittepüsivuse ja muutuvuse kohta.

Kuid kui liigid on liikuvad ja muutuvad, kas nad siis looduses r e a a l s e l t üldse eksisteerivad?

Linné pidas liike tõeliselt eksisteerivaiks, kuid üksteisest eraldatuiks ning muutumatuiks, kuigi ta hiljem, nagu teada, selles hakkas kahtlema ning kaldus liikide muutlikkuse tunnistamise poole. Lamarck ja mõned teised XIX sajandi evolutsionistid, astudes igati välja liikide püsivuse idee vastu, kuulutasid liigid ebareaalseiks. Nende arvates eksisteerivad looduses ainult isendid, mida inimesed ainult mugavuse mõttes on hakanud liikidesse rühmitama. Liik olnuks nagu mingi abstraktne mõiste.

Kaasaegne teadus peab liiki looduses reaalselt eksisteerivaks. Liik hõlmab enda alla suure hulga isendeid, mis on omavahel seotud päriliku sarnasuse poolest aine- ja energiavahetuses, füsioloogilistes funktsioonides, välis- ja siseehituses, ristamis- ning reprodutseerimisvõimes ja kohastumises teatud olelustingimustega ning mis asustavad looduses teatud kindla territooriumi (areaal).

Liigid eksisteerivad looduses ajutiselt. Kuid keskkonnatingimuste ning teiste organismidega kujunenud seoste ühelaadsuse korral võivad mõned liigid eksisteerida muutumatutena või vähemuutunuina kümneid ja isegi sadu miljoneid aastaid. Nii on mõned meremolluskid säilinud meie ajani, ilma et nad paljude miljonite aastate jooksul peaaegu oleksid muutunud.

Liik levib territooriumil ebaühtlaselt, lünklikult, laiguti. Sõltuvalt mikrokliimast, toiduobjektide ja vaenlaste olemasolust ning iseloomust, pinnasest jne. on territooriumi erinevad alad hõivatud antud liigi üksteisest eraldiseisvate isendirühmade poolt. Neid nimetatakse kohalikeks populatsioonideks. Populatsioon on liigi enam-vähem homogeenseks isendite kogumiks, sest seal puuduvad tegurid, mis takistaksid vastastikust ristamist. Populatsiooni moodustavate isendite vahel toimub bioloogiline konkurents püsivuse pärast anorgaanilises looduses valitsevate ebasoodsate tingimuste mõju vastu, keskkonna füüsikaliste tingimuste parema ärakasutamise pärast jne., mille tulemusel kõige enam kohastunud isendid jäävad ellu ning annavad järglasi, vähem püsivad aga hukkuvad. Näiteks emasõisikute hiline õitsemine (isasõisikute õitsemisega võrreldes), mida mõnikord täheldatakse maisi populatsioonides, toob enesega kaasa saagi languse 30—60% võrra, mõnikord aga veel rohkemgi. Toakärbse puhul on tähele pandud, et ühe ja sama populatsiooni hulka kuuluvad isendid on üsna erinevad oma vastupidavuse poolest mürkkemikaalidele.

Liiki tuleb vaadelda kui evolutsiooni tulemust ja etappi, kuid samal ajal ka kui evolutsiooni kandjat, sest alguse saab evolutsioon liigi raamides.

12. Darwini teooria tähtsus

Marksismi-leninismi rajajate hinnang darvinismile. Darwin oma loodusliku valiku teooriaga kinnitas elusa looduse ajaloolise käsituse. Ta lahendas hiilgavalt küsimuse liikide mitmekesisusest ja orgaanilisest otstarbekohasusest, tõestades, et see on loodusliku valiku ja viimasega seotud tunnuste divergentsi paratamatuks järelduseks. Darwin avastas otstarbekohasuse suhtelise iseloomu, näidates, et igasugune kohastumine on kasulik ainult antud keskkonnatingimustes. Darwini teooria andis materialistliku seletuse elusa looduse nähtustele ning koos sellega lükkas ümber ka nende idealistliku tõlgenduse.

Sellepärast saigi darvinism kohe oma tekkimise algusest peale kõrge hinnangu osaliseks marksismi-leninismi rajajate poolt. On teada, et F. Engels, olles «Liikide tekkimise» juba mõni päev pärast teose ilmumist läbi lugenud, andis oma kirjas K. Marxile selle kohta vaimustatud hinnangu. F. Engels rõhutas, et Darwin oma teooriaga purustas idealistlikud kujutlused orgaanilisest maailmast. Ta tõstis esile eriti seda suurt edu, mida Darwin saavutas oma grandioosse katsega tõestada looduse ajaloolist arenemist. K. Marx, kriipsutades alla, et Darwini teosega «Liikide tekkimine» on antud surmahoop teleoloogiale loodusteaduses, kir-

TRÜ Raamatukogu

jutas: «... 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 Marx avastas ühiskonna arenemise seadused, nii avastas Darwin looduse arenemise seaduse.

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 arenemisele. Darvinism on põhjendatud rohkearvuliste faktidega bioloogia mitmesugustest harudest, kuid samal ajal sai bioloogia, tänu darvinismile, ka ise oma arenemises uue suuna.

Darwini-eelsel perioodil olid loodusteadused peamiselt kirjeldava iseloomuga. Alles pärast seda, kui elusat loodust hakati käsitama evolutsioonilisest vaatevinklist, muutusid nad teadusteks protsessidest, teadusteks nähtuste tekkimisest ja arenemisest, nende põhjustest ja vastastikustest seostest. Darwini teooria näitas, et elusloodusе nähtuste tundmaõppimisel on vaja leida nende põhjuslikud seosed ning kasutada uurimistöödes ajaloolist lähenemisviisi.

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, peegeldades loomuliku süsteemiga liikide arenemise ajaloolist protsessi.

Paleontoloogia — teadus väljasurnud organismidest, mis kuni Darwinini oli läbinisti staatilise iseloomuga, kus ainsaks eesmärgiks 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 närvitegevuse ajaloolise pidevuse võrdlev uurimine.

Geograafias hakati loomade ja taimede kaasaegset jaotumist maakeral käsitama seoses mandrite möödunud ajaloo ning orgaanilise maailma ajaloolise arenemisega.

XX sajandi algul algas evolutsiooniprotsessi eksperimentaalne uurimine, kiiresti hakkas arenema geneetika (teadus pärilikkusest ja muutlikkusest) ja teised uued bioloogiaharud.

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

Darwini ideed Venemaal. Möödunud sajandi kuuekümnendatel aastatel, kui tööstuse arengutempo järsult kiirenes, hakkas loodusteaduslike teadmiste levik omandama erakordset tähtsust. 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. Nendeks olid D. Pissarevi, tol ajal veel noorukieas I. Metšnikovi jt. artiklid. Zooloogiat ja botaanikat, mida loeti kõrgemates õppeasutustes, hakati liberaalse professorkonna poolt ümber korraldama darvinismi vaimus. Esimene venekeelne tõlge «Liikide tekkimisest» ilmus Venemaal 1864. aastal.

K. Timirjazev (1843—1920). Kogu K. Timirjazevi teaduslik tegevus möödus darvinismi kirgliku teenimise tähe all, mida ta oli alustanud juba üliõpilasena. Talle kuulub suurepäraselt kirjutatud teos Darwini õpetuse kohta — «Charles Darwin ja tema õpetus», millest hiljem on ilmunud veel 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. Timirjazevi uurimisobjektiks sai fotosüntees — orgaanilise aine saamise ja päikeseenergia omastamise protsess rohelise taime poolt.

Timirjazev viis Darwini poolt kasutusele võetud ajaloolise uurimismeetodi sisse ka füsioloogiasse. Käsitledes taimefüsioloogia küsimusi, viitas K. Timirjazev 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. Missugustes ühiskondlik-majanduslikes tingimustes tekkis Darwini õpetus?
2. Mis iseloomustab bioloogias valitsenud olukorda XIX sajandi esimesel poolel?
3. Jälgige: 1) «sarvede» muutlikkust põderpõrnikatel; 2) värvuse muutlikkust kuldpõrnikatel; 3) tundlate pikkuse muutlikkust siklastel.
4. Tooge näiteid muutlikkuse kohta kooli õppe-katseaias ja looduses. Märkige need üles.
5. Millised muutused on evolutsiooni aluseks? Mispärast?
6. Koguge kollektsioone kooli õppe-katseaias ja lähimas kolhoosis või sovhoosis kasvatatavatest kultuurtaimede sortidest.
7. Märkige üles, milliseid koduloomade tõuge kasvatatakse lähimas kolhoosis või sovhoosis.
8. Millistele kunstliku valiku vormidele juhib Darwin tähelepanu ja mille poolest nad erinevad?
9. Milline olelusvõitluse vorm kulgeb kõige teravamalt ja mispärast? Tooge näiteid.
10. Tooge kooli elavnurga materjalide, herbaariumide ja teiste kollektsioonide alusel näiteid taimede ja loomade kohastumuste kohta.
11. Tooge näiteid ühes ja samas keskkonnas (näiteks tiigis) elunevate organismide mitmesuguste kohastumuste kohta.
12. Kuidas seletada Darwini teooria kohaselt hoiatusvärvuse tekkimist lepatriinudel, herilastel jt.?
13. Millega seletub Darwini teooria kohaselt: 1) ujulestade olemasolu pardi jalgadel; 2) peitlitaoline nokk rähnil; 3) metsiku roosi aroom; 4) haagikeste olemasolu ruskme viljadel; 5) seemnete tohutu arv umbrohtudel; 6) vaksikurööviku sarnasus kuivanud raoga; 7) saialille viljade sarnasus röövikute kehaga jne.? Tooge omapoolseid näiteid.
14. Kas järgmised küsimused on formuleeritud õigesti: 1) Milleks on kibuvitsal silmatorkavad õied? 2) Mis otstarbel liblikad lendavad õielt õiele? Põhjendage oma vastust.
15. Tooge näiteid (peale õpperaamatus toodute) kohastumuste suhtelisuse kohta taimedel ja loomadel. Kuidas seletada nende suhtelist iseloomu?
16. Võrrelge Darwini, Lamarcki ja Linné poolt antud seletust orgaanilisele otstarbekohasusele. Milles on erinevus?
17. Kuidas toimub uute liikide tekkimine looduses?
18. Mis on konvergents? Kuidas seletada, et konvergents esineb kõige sagedamini ühe ja sama klassi piires?
19. Millised on loodusliku valiku tagajärjed?
20. Milles avaldub: 1) kunstliku ja 2) loodusliku valiku loov toime? Näidake seda konkreetsete näidete varal.
21. Milles seisneb kunstliku ja loodusliku valiku sarnasus ja erinevus?
22. Mispärast arvatakse, et kaasaegne klassifikatsiooni süsteem peegeldab orgaanilise maailma evolutsiooni?
23. Mille poolest erinevad üksteisest Linné, Lamarcki ja Darwini käsitused liigist?
24. Mispärast peetakse nüüd liiki organismide ajaloolise arenemise reaalseks etapiks?
25. Rääkige darvinismi tähtsusest ja hinnangust, mis darvinismile on antud marksismi-leninismi rajajate poolt.

ORGAANILISE MAAILMA ARENEMINE

Religioossete õpetuste eesmärgiks on tõestada, et elu on tekkinud loomisakti tulemusel ja areneb edasi seaduste alusel, mille on kehtestanud inimese poolt tunnetamatud üleloomulikud jõud. Niisugused õpetused võimaldavad väita, et klassiühiskond ja ühtede klasside ekspluateerimine teiste poolt on seaduspäraseks nähtuseks. Veel praegugi elavad edasi legendid elusolendite, sealhulgas ka inimese üleloomulikust tekkimisest.

Kõigele sellele võib vastukaaluks seada teaduse saavutustele tugineva materialistliku seletuse elu tekkimise ja arenemise kohta. Arusaamine orgaanilise maailma arenemise üldpildist ja selle teedest sai võimalikuks C. Darwini poolt avastatud seaduspärasuste alusel.

13. Võitlus elu tekkimise küsimuse ümber XIX sajandil

Elu isetärkamise teooria. Kõik hüpoteesid elu tekkimise kohta Maal on lõppkokkuvõttes mahutatavad kas biogeneesi- või abiogeneesiteooriate alla. Biogeneesiteooria pooldajad püüavad tõestada, et elus pärineb ainult elusast ja järelikult on elu igavene. Abiogeneesiteooria kohaselt tekib elus aga elutust, s. t. peetakse võimalikuks elu pidevat isetärkamist. Need teooriad väljendavad vastastikku üksteist välistavaid seisukohti ning nende pooldajate vahel on käimas juba sajandeid kestnud võitlus.

Vanaaja teadlased arvasid, et kõik, mis on elus, tekib eluta loodusest päikesesoojuse ja niiskuse toimel, ilma mistahes kõrgemalseisvate jõudude vahelesegamiseta. Hiljem hakati isetärkamist tõlgendama idealistlikelt seisukohtadelt. Nii arvas suur vana-kreeka filosoof Aristoteles (384—322 a. e. m. a.), et taimed ja loomad tekivad eluta mateeriast tänu viimase erilisele vormikujundavale jõule (hingele). Keskajal sai Maal elu isetärkamise teooria kristliku kiriku igakülgsel toetusel laia leviku osaliseks, kusjuures seda esitati kui «tõendit» looja kõikvõimsa jõu kohta.

Kuid XVII sajandil, seoses loodusteaduslike teadmiste kiire laienemisega, lõi elu isetärkamise teooria tugevasti vankuma. Suurt osa etendasid siin itaalia teadlase Francesco Redi katsed (1668). Ta asetas anumasse kaks tükki liha, millest ühe kattis marliga, teise aga jättis lahtiseks. Esimeses lihatükis kärbse vastseid ei tekkinud, samal ajal kui teine neist lausa kubises. Järeldus oli selge: kärbsed arenevad vastsetest, need aga — munadest.

Pärast mikroorganismide avastamist sai elu isetärkamise vana

teooria uut hoogu. Mikroskoop tõi hästi läbikeedetud ning kinnikorgitud anumaisse asetatud liha- ja taimepuljongeis nähtavale tohutu hulga mikroorganisme, kuigi alguses neis elu tundemärke ei leitud. Tõsi küll, piirduti ainult väidetega, et iseenesest tekivad üksnes infusoorid, nii nagu tol ajal kõiki mikroorganisme nimetati.

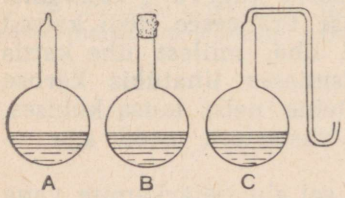
Nende teadlaste ettekujutuste kohaselt jätkub praegusel ajal elusa tekkimine elutust eriliste üleloomulike jõudude — «elujõudude» toimel, mis juhivad kõiki elunähtusi. Niisuguseid vaateid hakati nimetama vitalistlikeks.

Louis Pasteuri katsed. XIX sajandi keskel võttis võitlus biogeneesi- ja abiogeneesiteooria pooldajate vahel eriti terava ilme. Selle põhjuseks olid uued katsed tõestada mikroobide isetärkamise võimalikkust «elujõu» mõjul.

Prantsuse teadlane, keemik ja bakterioloog Louis Pasteur (1822—1895) tegi terve seeria katseid, millega ta tõestas, et isegi bakterite — meile teadaolevaist kõige lihtsamate organismide — isetärkamine ei ole Maal kaasajal valitsevates tingimustes võimalik. Ta asetas lihapuljongi kergestisulavast klaasist kaelaga kolbi, keetis puljongi seal hoolega läbi, pärast seda aga jootis kolvikaela kinni. Niisuguses hermeetiliselt suletud kolvis säilis vedelik palju aastaid, ilma et selles oleks olnud märgata mikroorganismide tekkimist. Kuid tarvitses vaid kolbi viia õhutolmuga läbiimmutatud vatitampoon, kui vedelikku juba järgmisel päeval ilmusid mikroorganismid. (Selgitage, mil viisil.)

Pasteur teisendas katset: ta keeras kolvikaela S-tähe kujuliselt kõveraks ja eemaldas keetmise teel anumast õhu. Kuigi õhk pärast vedeliku jahtumist uuesti kolbi sisenes, jäi vedelik ka nüüd määramata ajaks steriilseks: õhus olnud mikroobid sadestusid kolvikaela loogete seintele ega sattunud kolvi sisemusse. Kui aga kolvi kallutamisel kolvikaela paindekohti uhuti vedelikuga, ilmusid vedelikku otsekohe mikroorganismid (joon. 25).

Pasteuri katsed näitasid, et roiskumis- ja lagunemisprotsesse kutsuvad esile bakterid ja seened. Tema poolt kasutusele võetud laboratoorsed võtted said aluseks kaasaegsetele mikrobioloogilistele uurimismeetoditele. Kogu desinfitseerimistehnika — aseptika, ilma milleta ei ole praegu võimalik ette kujutada kirurgiat, sündis Pasteuri tööde tulemusel. Tema katsetel oli tohutu tähtsus konser-



Joon. 25. Kolm L. Pasteuri kolbi toitepuljongiga: A — kinnijoodetud kaelaga; B — keetmise lõpul suletud puhta hügroskoopilise vatiga; C — väljavenitatud ja kõverakskoolutatud kaelaga.

veerimismeetodite — mitmesuguste produktide steriliseerimis- ja pastöriseerimisvõtete väljatöötamisel. Ta avastas võihappelise käärimise, millest esmakordselt saadi teada mõnede organismide võimest eksisteerida ilma vaba hapnikuta. Võib öelda, et Pasteur pani aluse kogu kaasaegsele mikrobioloogiale, mis etendab erakordselt tähtsat osa põllumajanduses ja meditsiinis, toiduainetetööstuse tehnoloogias ja paljudes teistes rahvamajandusharudes.

Igavese elu teooriad. Tuginedes Pasteuri katsete andmetele püüdis rida suuri teadlasi (Helmholtz, Thompson, Richter, Arrhenius ja teised) taaselustada biogeneesiteooriaid, väites, et elu on imepeente eoste näol kandunud Maale teistelt planeetidelt. Ühed teadlased arvasid, et see toimus meteoriitide vahendusel. Kuid tohutu kõrge temperatuuri juures, milleni meteoriidid Maa õhkkesta läbimisel kuumenevad, oleksid elusaine eosed paratamatult ära põlenud. Teised teadlased püstitasid oletuse, mille kohaselt elu ülipeened eosed on Maale kandunud valguskiirte rõhu toimel. Kuid kõikidele elusorganismidele hukutavalt mõjuvate lühilaineliste kosmiliste kiirte avastamine maailmaruumis näitas veenvalt, et seal ei saa olla mingeid elu algeid.

Teooriad igavese elu kohta universumis eitavad elusa ja elutu mateeria ühtsust, nende vastastikuseid üleminekuid ja seoseid. Nad ei anna ka vastust põhiküsimusele — jääb arusaamatuks, kuidas tekkis elu teistel planeetidel.

Engelsi vaated elu tekkimise kohta. Vastandina teooriatele elu isetärkamise kohta kaasaegsetes tingimustes ning teooriatele, mis väitsid, et elu on igavene, püstitas F. Engels möödunud sajandi lõpul elu tekkimise probleemi esmakordselt teaduslikult õigesti ning andis sellele ka materialistliku põhjenduse.

Ta tuli järeldusele, et kuigi elu ei saa kaasaegsetes tingimustes ise tekkida, ei võinud ta ka olla eksisteerinud igavesti. Elu pidi kunagi olema tekkinud elutust mateeriast. Oli aeg, mil Maa oli hõõguvas olekus. Orgaanilisi ühendeid ei saanud siis veel olla ning elemendid moodustasid vaid anorgaanilisi ühendeid. Hiljem, kui kujunesid välja vastavad tingimused, tekkisid keeruliste keemiliste muundumiste teel orgaanilised ained, neist teatud kindlates tingimustes aga omakorda — elu mitterakulised vormid, mis eelnesid rakulise ehitusega organismidele. Maal eksisteerisid lõputud põlvkonnad algul mitterakulisi, seejärel aga ka rakulise ehitusega algorganisme. Neist tekkisid esimesed taimed, seejärel aga esimesed loomad. Seega kujutab mateeria evolutsioon endast pikaajalist ajaloolist protsessi.

14. Kaasaegseid vaateid elu tekkimise kohta

Mateeria arenemise ajalugu. Koos teiste päikesesüsteemi planeetidega tekkis Maa 5—7 miljardit aastat tagasi. Alguses oli Maa külm, kuid radioaktiivsel lagunemisel, aga samuti mehaanilistel ja keemilistel protsessidel vabaneva soojuse arvel tema temperatuur järk-järgult tõusis, mille tagajärjel Maa mass läks üle vedelasse olekusse. Tol perioodil ei saanud Maa veel sisaldada mingisuguseid keemilisi ühendeid: kogu mateeria esines vabade vesiniku- ja heeliumiaatomite kujul. Kõrge temperatuur tegi teiste elementide olemasolu võimatuks.

Hiljem, mõnevõrra alanenud, kuid veel küllalt kõrgete temperatuuride ja rõhkude juures kulgevate tuumareaktsioonide tulemusel, toimus vesiniku- ja heeliumiaatomite muutumine uute elementide aatomiteks. Näiteks temperatuuril $15 \cdot 10^6$ kraadi heelium muutus süsinikuks.

Neid asjaolusid kinnitavad järgmised faktid. Atmosfääris, mis ümbritseb kõige kuumemaid tähti pinnatemperatuuriga kuni 28 tuhat kraadi, ei ole teadlased avastanud keemilisi ühendeid, mateeria on seal esindatud korrapäratult liikuvate aatomitena. Kõige laiemalt levinud elementideks universumis on vesinik ja heelium. Ka meie Päike koosneb vesinikust ja heeliumist, kusjuures temperatuur tema sisemuses ulatub $11 \cdot 10^6$ kraadist kuni $15 \cdot 10^6$ kraadini. Päikese pinnal aga kõigub temperatuur umbes 5000—7000 kraadi piirides ja seetõttu esineb tema atmosfääris peale vesiniku ja heeliumi mitte üksnes teisi elemente ja nende isotoope, vaid ka keemilisi ühendeid, näiteks metaani (CH_4), tsüaani (CN) jt.

Nii tekkisid temperatuuri alanemisel ka Maal esimesed keemilised ühendid, sealhulgas ka süsinikku sisaldavad ühendid. Maal valitses tol ajal pilkane pimedus, sest planeet oli tervenisti mähkunud ülekuumenenud veeaurudest ja gaasidest (HCl, HF, CO_2, CH_4, NH_3 jt.) koosnevasse tihedasse aurupilve. Kogu olemasolev vesi Maal oli koondunud atmosfääri, milles ei olnud veel ei vaba hapnikku ega ka vaba lämmastikku.

Orgaaniliste ainete tekkimine. Kõigile on hästi teada, et elusolendid koosnevad orgaanilistest ainetest, mille ehituse aluseks on süsinik. Seetõttu tulebki elu tekkimist puudutava küsimuse käsitamisel erilist tähelepanu osutada süsiniku ajaloole.

Nõukogude teadlane akadeemik A. Oparin kujutab seda ette niiviisi. Süsinik on erakordselt raskesti sulav element. Koos teiste raskesti sulavate elementidega, eeskätt raskemetallidega, nagu raud jt., moodustas süsinik tulivedelaid karbiide. Tol ajal ei olnud Maal veel tahket silikaatkesta. Ta oli kaetud õhukese basaltkihiga, mis mõnedes paikades ookeanide põhjas on säilinud veel meie päevilgi. Sulad karbiidid tungisid läbi Maa basaltkoore ning valgusid selle pinnale. Reageerides atmosfääri ülekuumenenud

veeaurudega, moodustasid karbiidid siin tohutul hulgal mitmesuguseid süsivesinikke.

Neid kaalutlusi kinnitavad järgmised andmed. D. Mendelejevil õnnestus süsivesinikke saada laboratoorsel teel, toimides karbiididesse kõrge temperatuuri juures veeauruga. Jupiteri ja Saturni atmosfääri keemilise koostise uurimisel on selgunud, et seal esineb rohkesti süsivesinikke. Nendel planeetidel valitseb igavene külmus, madalatel temperatuuridel aga pole süsivesinikud võimelised edasi reageerima. Seevastu Maal jäi maapinna temperatuur kauaks ajaks kõrgeks, võimaldades süsivesinikel reageerida atmosfääri veeaurude ja ammoniaagiga. Selle tulemusel tekkisid süsinikust, vesinikust, hapnikust ja lämmastikust koosnevad keerulised ühendid — orgaanilised ained. Viimased olid gaasilises olekus ja kuulusid sellistena tolleaegse maa-atmosfääri koostisse.

Rõhkude vahe ning Päikese ja Kuu külgetõmbejõud viisid Maa atmosfääri massid tormilisse liikumisse, tekkisid tuuled ja orkaanid. Maa kohal sähvisid vahetpidamata välgud ning mürisesid kõued. A. Oparini arvamuse kohaselt võisid võimsate elektrilaengute toimel ammoniaagist, metaanist, veeaurudest ja vesinikust koosnevas atmosfääris moodustuda elu tekkimiseks vajalikud orgaanilised ained. Tõenäoliselt esinesid need ühendid gaasilises olekus ning kuulusid esialgu atmosfääri koosseisu.

Maa aga jahtus edasi, kaotades soojust planeetidevahelisse ruumi. Kui temperatuur oli alanenud 100°-ni, kondenseerus veeaur tilkadeks ning langes kuumade vihmavalingutena Maale. Tekkis ürgookean, mis esialgu oli üsna väikesemõõtmeline, sest Maa oli tol ajal lameda pinnareljeefiga. Koos vihmadega läksid lahusesse atmosfääris gaasilises olekus olnud orgaanilised ained. Samal ajal eraldus planeedi sisemusest intensiivselt süsihappegaasi, viimane tõusis atmosfääri ning lahustus vees, moodustades ühendeid metaani ja ammoniaagiga.

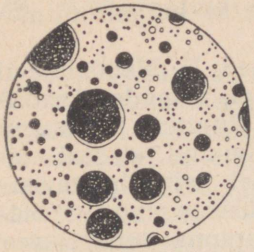
Keeruliste keemiliste reaktsioonide teel võisid ürgookeani vetes tekkida ka kõrgmolekulaarsed, valgutaolised lämmastikühendid. Nimekate teadlaste A. Butlerovi ja A. Bachi katsed on tõestanud, et kõige lihtsamad orgaanilised ühendid on vees võimelised muutuma keerulisemateks, suhkru- ning valgu-tüüpi ühenditeks.

Tekkinud valgutaolised ning teised orgaanilised ühendid esinesid vees lahustunud kujul.

Mõned teadlased arvavad, et kõige ürgsemaks elukeskkonnaks oli niiske muld, teised nimetavad tõusu- ja mõõnaalasid, kuid ükski ei kahtle, et selleks pidi olema niiske keskkond.

K o a t s e r v a a t i d e s t e l u s o l e n d i t e n i. Praegu eksisteerib kaks erinevat arvamust elusorganismide võimaliku tekketee kohta orgaanilistest ainetest.

A. Oparin on arvamusel, et valkained eraldusid lahustest kondenseeritud tilgakeste — suurtest ning keerulistest molekuli-



Joon. 26. Koatservaattilgad. Mikrofoto (48 korda suurendatud).

dest moodustunud koatservaatide näol. Moodustunud koatservaattilgad ujusid hõljuvas olekus soojas ja madalas vees, mis oli rikas orgaaniliste ühendite poolest (joon. 26).

Taolisi koatservaate võib saada ka laboratoorsetes tingimustes mitmesuguste valkude ja muude kõrgmolekulaarsete ainete, näiteks želatiini ja kummiaraabiku vesilahuste lihtsa kokkusegamise teel. Sel viisil moodustunud koatservaadid on vee ja selles lahustunud soolade ning gaaside suhtes läbilaskvad. Nad kujutavad endast kolloidseid moodustisi, mis paistavad silma võime poolest neelata ja siduda väliskeskkonnast mitmesuguseid ühendeid. Katsetes koatservaatidega on pandud tähele, kuidas nad haaravad ümbritsevast keskkonnast mitmesuguseid aineid ja suurenevad mõõtmetelt, muutuvad tihedamaks, püsivamaks. Mõned koatservaadid seejuures lagunevad tagasi molekulideks ning lähevad uuesti lahusesse. Võimalik, et niiviisi kunagi algaski ainevahetus oma kõige lihtsamal kujul.

Koatservaatide koostisse lülitunud mitmesuguste valkainete hulka võis sattuda ka selliseid, mille juuresolek kutsus esile keemiliste reaktsioonide kiirenemise ja tüsistumise. Nendeks olid fermendid. Ühtedel juhtudel kindlustasid fermendid koatservaatide kasvu paremini, teistel juhtudel — halvemini. Selle tulemusel jõudsid ühed tilgakesed omaenda aine moodustamisel teistest ette, sest nende juures olid uue aine loomisprotsessid lagunemisprotsessidega võrreldes ülekaalus. Niisugused koatservaadid, saavutanud teatava suuruse, jagunesid kaheks tilgakeseks — paljunesid. «Mahajääjad» koatservaadid seevastu peaaegu üldse ei kasvanud, nad ei paljunenud ning lõpuks hoopis lagunesid.

Koatservaadid, mis kunagi eraldusid orgaaniliste ainete lahusest Maa ürgookeanis, ei kujutanud endast veel elusolendeid. Nende ehitus ei kindlustanud omasarnaste reprodutseerimist ega ka eelmiste põlvkondade omaduste pärilikku edasiandmist järglastele. Selleks kulus palju miljoneid aastaid.

Oma toimet pidi hakkama avaldama ka looduslik valik, mis viis tekkinud elusolendid väliskeskkonna tingimuste üha täiuslikumale ärakasutamisele. Sisemine organisatsioon muutus üha keerulisemaks ja üha kohastunumaks toitumise, hingamise, kasvamise ja paljunemisega.

Lõpptulemusena tekkisid esmased elusolendid, millest saigi alguse kogu orgaaniline maailm.

Nukleiinhapete molekulidest elusorganismi-

deni. Kõrvuti akadeemik A. Oparini teooriaga eksisteerib elusolendite tekkimise kohta orgaanilisest ainest veel teine seisukoht. Kaasaegsete organismide kõige tähtsamateks tunnusteks on nende reprodutseerumisvõime ning võime ise reguleerida orgaaniliste ainete sünteesi. Nagu me hiljem näeme, etendavad pärilike tunnuste edasiandmisel ja orgaaniliste ainete sünteesil suunavat osa nukleiinhapped. Kaasaegsete organismide juures on nad rakutuuma koostisosaks.

Oletatakse, et elu algetapiks oligi seda tüüpi molekulide tekkimine, mis ümbritsevast keskkonnast pärinevate lihtsamate molekulide arvel võisid reprodutseerida omasarnaseid. (Sellest, kuidas see protsess toimub kaasaegsete organismide rakkudes, tuleb üksikasjalikumalt juttu V peatükis.)

On tõenäoline, et järgmisena toimus nende molekulide liitumine varem moodustunud valkainetega, millest märgatav osa etendas fermentide osa. Niisuguses kompleksis hakkas reprodutseerumisprotsess toimuma ühiselt ja paremini korraldunult. Nukleiinhapete molekulid reprodutseerisid omataolisi ja samal ajal suunasid valgu sünteesi. Kõik need protsessid Maa ja temal tekkima hakanud elu evolutsioonis hõlmasid tohutuid, miljardite aastatega mõõdetavaid ajavahemikke.

Selle tulemusel ainevahetus keskkonnaga laienes. Aegamööda eraldus ürgorganismides omaette moodustiseks rakutuum, millega seoses nende võime individuaalsete erinevuste pärilikuks edasiandmiseks märgatavalt täiustus. Kasulikud pärilikud muutused said loodusliku valiku ja orgaanilise maailma kogu järgneva evolutsiooni baasiks. Organismid muutusid püsivamateks, nende organisatsioon tüsistus. Alates tuuma tekkimise momendist oli tegemist juba ainuraksete organismidega.

Milline neist kahest kirjeldatud teest elu algetappide tekkimise kohta leidis aga aset tegelikkuses, sellele ei ole teadus veel lõplikku vastust suutnud anda.

Autotroofid ja heterotroofid. Ühtset seisukohta ei ole ka küsimuses, mis puudutab esmaste elusolendite energia tarbimise vorme.

Kõik organismid tarvitavad väljastpoolt tulevat energiat ega saa ilma selleta eksisteerida. Energia kasutamise mooduste järgi jaguneb enamik kaasaegsetest organismidest kahte rühma: autotroofsed (kr. k. *autos* — ise; *trophe* — toit) organismid, mis kasutavad päikeseenergiat (rohelised taimed), ja heterotroofsed (kr. k. *heteros* — liitsõnades: eri-, lahk-, muu-) organismid, mis kasutavad orgaaniliste ainete lagunemisel vabanevat energiat (loomad ja mitterohelised taimed).

Millised aga olid siis ürgolendid: kas autotroofsed või heterotroofsed?

A. Oparin oletab, et heterotroofsus ilmus varem kui autotroofsus. Tema arvamuse kohaselt võisid esmased olendid toituda neist

orgaanilistest ainetest, mida külluses leidus ürgsetes veebasseinides. Organismide arvukuse suurenemisel jäi valmistoitu üha vähemaks ning konkurents nende vahel suurenes. Kuid elu ei lakanud eksisteerimast: just kunagi sel ajal toimuski ainuraksete organismide jagunemine kahte rühma energia kasutamise viisi järgi.

Teise seisukoha kohaselt kujutasid ürgsed eluvormid endast klorofülli mittesisaldavaid autotroofseid organisme, mis eksisteerisid keemilistel reaktsioonidel vabaneva energia arvel. Ka meie ajal eksisteerib baktereid, mis kasutavad näiteks lämmastiku, väävli, raua hapendumisel vabanevat energiat. Arvatakse, et elu arenemise algetappidel olid klorofülli mittesisaldavad autotroofsed organismid Maal üsna laialt levinud, mis kestis seni, kuni ilmusid klorofülli sisaldavad organismid. Rohelised taimed hakkasid süsihappegaasi näol ammutama süsiniku varusid ja neid muutma orgaanilisteks ühenditeks. Atmosfääri ilmus vaba hapnik. Kuni selle ajani oli ürgorganismide oleluskeskkonnaks olnud hapnikuvaba atmosfäär.

Roheliste taimede kosmiline tähtsus. Kõigist lõpmata mitmekesistest Maa asukatest kasutavad päikesekiirte energiat ainult rohelised taimed. Ainult nemad loovad päikeseenergia abil, fotosünteesiprotsessi vahendusel keemilisi ühendeid. (Tuletage meelde, mis on fotosüntees.) Seejuures vabanev hapnik aga tagab organismide hingamise. Suur looduse sanitar hapnik hapendab mikroobide ning seente vahendusel surnud organismide orgaanilisi jäätmeid; ta oksüdeerib mineraale, muutes neid taimede juurtele kättesaadavaiks ühendeiks.

Kogu elu Maal on rohelise lehe kaudu seotud Päikesega. Elusorganismid, olles tekkinud sadu miljoneid aastaid tagasi, omastavad anorgaanilisest loodusest vahetpidamata aatomeid, lülitavad neid enda koostisse ja annavad seejärel ümbritsevasse keskkonda tagasi. Kui oletada, et taimed mingil põhjusel ootamatult kaoksid, siis tooks see endaga kaasa loomariigi, seejärel aga ka kogu elu hukkumise Maal. Pärast taimede tekkimist seostus Maa atmosfääri ning maakoore pindmiste kihtide koostise muutumine lahutamatult kogu eluga Maal. Üksikasjalikumalt tutvute selle küsimusega XI peatükis.

Elu tekkis abiogeensel teel. Niisiis esineb erinevusi neis teaduslikes ettekujutustes, mis käsitavad elu tekkimiseks sobiva keskkonna iseloomu, elu algetappi ja energia kasutamise viise esmaste olendite poolt. Kuid kõik kaasaegsed teaduslikud andmed viivad järeldusele, et elu on tekkinud abiogeensel teel. Alles pärast elu esialgset tekkimist hakkas elus arenema elusast, s. t. biogeensel teel.

Elusorganismide tekkimine kõige lihtsamatest orgaanilistest ühenditest kujutas endast pikaajalist kohastumisprotsessi elukeskkondadega. Looduslik valik kulges tekkinud organismide püsivuse

suurenemise, pärilike omaduste edasiandmise täiustumise ning fermentide täiustumise suunas.

K a a s a e g s e t e s tingimustes on Maal elu isetärkamine v õ i m a t u. Kui kusagil, näiteks intensiivse vulkaanilise tegevuse piirkondades, võiksidki tekkida orgaanilised ühendid, siis kasutataks niisugused ained kiiresti ära heterotroofsete organismide poolt.

15. Paleontoloogiline kroonika

P a l e o n t o l o o g i l i s e d t õ e n d i d. 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. Nende orgaaniliste jäänuste uurimine võimaldab taastada elu arenemise üldpilti Maal tema ajaloo möödunud perioodidel.

Õhukesed läbipaistvad õhikud, mis saadakse settekivimite geoloogiliste läbilõigete spetsiaaluuringutel, annavad võimaluse avastada ka bakterite jäänuseid. Raua ning mangaani settemaagid, boksiidid, fosforiidid, mere ning mageveekogude savikad põhjasetted kujutavad endast niisuguste jäänuste tihedat massi.

Varem elanud organismide jäänuste säilimise üldtingimuseks on nende i s o l e e r i m i n e õhu ja vee lagundava toime eest. Keha pehmed osad järk-järgult lagunevad, jättes mõnikord pinnasesse jäljendeid; luustik, kilprüü, lubikoda, imbudes läbi lubja- või ränilahustega, muutuvad aga kivististeks, milles orgaaniline aine on enam või vähem täielikult asendunud mineraalsega. Kui lagunemine on toimunud täielikult, jääb kivimisse mõnikord antud organismi kujule vastav tühimik; aja jooksul tühimik täitub muda või liivaga, muutub kõvaks ja kivimisse jääb organismist just nagu valatis. Teistel juhtudel organismid aeglaselt söestuvad ja jätavad endast kivimile otsekui trükitõmmise.

Liivas, ilma õhu ja vee juurdepääsuta, võivad loomade ning inimeste laibad seista lagunemata tuhandeid aastaid, nii et neil säilivad niihästi nahatükid kui ka ärakuivanud lihased. Orgaanilised jäänused pidid maapõues puutumatutena olema lebanud miljoneid aastaid, enne kui neid leidsid teadlased. Seetõttu on täiesti arusaadav, et neid dokumente võis meie ajani säilida ainult väga piiratud hulgal. Paleontoloogiline kroonika on lünklik ja hajutatud, paljud tema lehed on jäljetult kadunud.

M a a v a n u s. Teatud kindlate liikide ning perekondade orgaanilisi jäänuseid, mis on iseloomulikud üksikutele kivimikihtidele, nimetatakse juhtkivististeks. Nad on omamoodi tähisteks, mis näitavad Maa geoloogilise mineviku üksikute etappide — a e g k o n d a d e ning a j a s t u t e — järgnevust üksteisele.

Maakoore ajaloos eristatakse järgmisi aegkondi: arhaikum, proterosoikum, paleosoikum, mesosoikum ja kainosoikum.

Aegkondade ja ajastute kestus, aga samuti kivimite täpne vanus tehakse kindlaks radioaktiivsete elementide laguproduktide hulga kindlaksmääramise alusel. Radioaktiivsete elementide — uraani, tooriumi, rubiidiumi ja teiste lagunemine toimub looduses välistingimustest sõltumatult püsiva ja seejuures väga väikese kiirusega. Näiteks kui kivimitükk sisaldab uraani ja viimase radioaktiivsel lagunemisel tekkinud pliid, siis võib leida antud kivimi absoluutse vanuse miljonites aastates. Teadlased on 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 neid elemente võetud proovis esineb. Seejärel arvutatakse välja, kui palju aega on kulunud plii ja heeliumi tekkimiseks, s. t. milline on kivimi geoloogiline vanus.

Niisuguste geoloogiliste kelladena võib kasutada ka teisi aeglaselt lagunevaid radioaktiivseid elemente, näiteks radioaktiivset kaaliumi, mille lagunemise lõpp-produktiks on gaasiline element — argoon.

16. Elu arenemine Maal. Meri — elu arenemise algkeskkond

A r h a i k u m. Arhaikum ehk ürgaegkond (*archaios* — vana; kr. k.), vanim etapp maakoore ajaloos, kestis umbes 800 miljonit aastat. Selles aegkonnas toimus Maad tiheda kestana ümbritseva, veeaurudest ning happelistest gaasidest koosneva pilve jagunemine hüdrosfääriks ja atmosfääriks. Viimane ei sisaldanud veel hapnikku. Toimus radioaktiivsete ainete massiline lagunemine. Algas Maa silikaatkesta moodustumine (joon. 27). Esmased veekogud olid väikesemõõtmelised, vesi nendes aga tuline ja happeline. Maa basaltkesta uhteproduktide — K-, Na-, Ca- ja Mg-karbonaatide toimel hakkas aga vee happesus järk-järgult alanema.

Maa sellel arenemisetapil toimus tema vetes orgaaniliste ainete süntees. Maakoore settekihid, mille moodustumist arvatakse ürgaegkonda, on kõrgete temperatuuride ja rõhu toimel tugevasti muutunud. Kuid et neist kihtidest on leitud lubjakivimoodustisi, marmorit ja teisi süsinikku sisaldavaid aineid, siis viitab see organismide võimalikule eksisteerimisele juba ürgaegkonnas.

Arhaikumiaegsetest kivimitest on leitud bakterite, ainuraksete ja hulkraksete vetikate jäänuseid. On leitud ka meduusidega ja hüdropolüüpidega sarnanevate loomade jäänuseid, mille eksisteerimine oli võimalik hapnikku eraldavate vetikate rohkuse tõttu.

P r o t e r o s o i k u m. Proterosoikum (*proteros* — esimene,

Tahvel III. Kaitsevärvus: ülal — palvetaja, tema keha meenutab kujult kõrreliste lehti; all — raagritsikas, keha meenutab kujult oksaraagu.

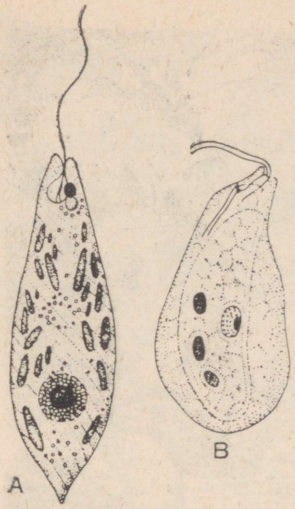
Tahvel IV. Näiteid kaitsevärvuse ja -kuju kohta putukatel. Liblikas *Kallima* väljasirutatud tiibadega (1) ja sama kokkupandud tiibadega oksal istuvana (2); paelöölane väljasirutatud tiibadega (3) ja sama kokkupandud tiibadega puukoorel istuvana (4); kärbtiib kokkupandud tiibadega lehtede keskel (5) ja sama väljasirutatud tiibadega (6); ploomivaksiku röövik oksal (7); puidusikk puukoorel (8).

Joon. 27. Maapinna ilme ürgaegkonnas. Esiplaanil — nurklikud rahnud — esmaste kristalliliste kivimite rusud; tagaplaanil — vulkaanilised pursked; keskel — esmasookean.

esmane; *zoikos* — eluline; kr. k.) kestis 600—800 miljonit aastat. Radioaktiivse soojuse allikad olid märgatavalt nõrgenenud, temperatuur Maa pinnal alanenud. Oli aeglustunud keemiliste reaktsioonide kulg maakoore kihtides; maakooresse olid tekkinud tõusualad ja nõod. Maa silikaatkest oli muutunud kõvaks, vastupidavaks.

Kivimid — šungiit, lubjakivi, marmor, raua- ning mangaanimaagid, mille tekkimine on seotud organismide elutegevusega, annavad tunnistust rikkalikust elust selles aegkonnas. Eriti massiliselt olid levinud bakterid ja sinivetikad. Bakteritest ja sinivetikatest ei ole välja arenenud ühtki uut organismitüüpi ning nii bakterid kui ka sinivetikad on kuni meie ajani jäänud omaette, teistest eraldiseisvateks rühmadeks. Üpris progressiivseks osutus seevastu kolmas ürgsete ainuraksete organismide rühm — viburloomad (joon. 28).

Viburloomad olid esivanemateks kõige lihtsamatele taimedele,



Joon. 28. Viburloomad: A — silmviburlane (autotroof); B — heterotroofne viburloom allaneelatud silmviburlasega.

seejärel aga ka loomadele. Elu oli keskendunud vette ning paljude miljonite aastate kestel olid tema esindajateks ainuüksi bakterid, viburloomad ning mitmesugused vetikad. Vetikad eraldasid tohutul hulgal vaba hapnikku, mis muutis elukeskkonna Maal üha soodsamaks loomade jaoks. Ühes sellega olid vetikad, bakterid ja ainuraksed mereloomad juba ära teinud tohutu geoloogilise töö settekivimite ja maakide moodustamisel.

Proterosoikumi lõpuperioodi ladestikest on leitud usside, käsnade ja nüüd väljasurnud arheotsüaatide klassi kuuluvate organismide jäänuseid. Viimased kujutasid endast 6—8 cm pikkuse ja 2—3 cm diameetriga pokaale meenutava kehakujuga organisme (joon. 29). Kõige kõrgemini organiseeritud loomadeks tol ajal olid nähtavasti primitiivsed lülijalgsed.

Proterosoikumi lõpul ilmus Maale keelikloomade hõimkonna koljutute alamhõimkond. Koljutud andsid mitu haru: ühed neist surid välja, teised viisid lõuatute selgroogsete ning kaladeni. Kunagi laialt levinud koljutute rühma esindajaks kaasaegses faunas on süstikkala, kelle ehitust õpiti tundma zooloogias (joon. 30).

Maismaa jäi proterosoikumis asustamata. Ainult niisketes kohtades võisid elada mikroskoopilised üherakulised vetikad, bakterid ja alamad seened.

P a l e o s o i k u m. See on ürgelu aegkond (*palaios* — vana, kr. k.). Arvatakse, et ta algas umbes 510 miljonit aastat tagasi ja kestis umbes 300—350 miljonit aastat. Paleosoikum jagatakse viieks ajastuks: kambriumi, siluri, devoni, karboni ja permi ajastud. Ajastutele, välja arvatud karboni ajastu, on nimed antud maakohtade järgi, kus esmakordselt avastati nende ajastute organismide jäänustega geoloogilisi lademeid.

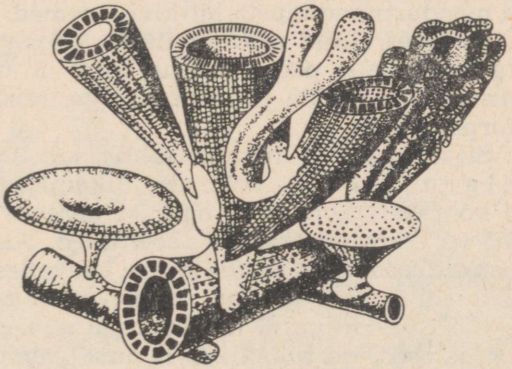
K a m b r i u m i ajastul jäi meri endiselt peamiseks elukeskkonnaks. Merd asustasid mitmesugused bakterid, vetikad ja selgrootud; nende liikide arv oli proterosoikumiga võrreldes tugevasti kasvanud.

Kambriumiaegses meres olid levinud suured hulkraksed vetikad, mille keha (rakis) oli väliselt tugevasti liigendunud, meenutades varsi, lehti ja juuri. Rakise liigendatus suurendas kokku-

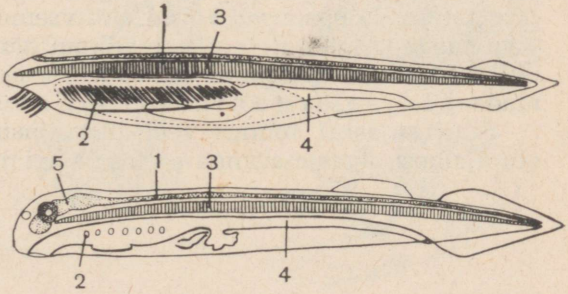
puutepinda toitekeskkonnaga. Kambriumi mered olid veel madalad ja nende vesi soe, põhja katsid tihedad lubjarikaste rakkudega vetikate padjandid. Massiliselt olid esindatud käsnad ja korallid. Nende vahel õõtsusid peenikestel varrekestel — erilistel keha väljakasvudel — väikesed loomad (pikkusega kuni 10 cm). Selgmiselt ja kõhtmiselt küljelt olid nad kaetud kahepoolse kojaga, suuava külgedelt aga väljus paar spiraalselt keerdunud käsijäsemeid. Need olid käsijalgsed, väga iidse päritoluga selgrootud mereorganismid. Kaasaegses faunas on neid järele jäänud kõigest 200 liigi ümber, kambriumiaegses meres aga olid nad üheks laiemalt levinud loomarühmaks.

Mudasel põhjal roomasid või päris põhja lähedal ujusid lülijalgsete iidsed esindajad — trilobiidid. Viimased olid kaua aega kõige kõrgemalt organiseeritud loomadeks, kusjuures suurimate liikide pikkus ulatus kuni 75 cm-ni (joon. 31).

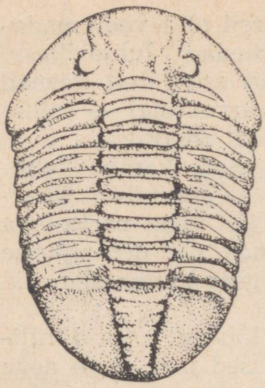
Veealused kivid ja kaljud olid kaetud arheotsüaatide kooloniatega, mis oma tugevate lubiskelettidega moodustasid riffe (joon. 32). Rikkalikult oli kambriumiaegsetes meredes muistsete okas-



Joon. 29. Arheotsüaadid.



Joon. 30. Süstikkala (ülal), kalaloode (all): 1 — närvitoru; 2 — lõpuspilud; 3 — seljakeelik; 4 — soolestik; 5 — peaaju.



Joon. 31. Trilobiit.

nahksete esindajaid. Ühed neist roomasid aeglaselt mööda põhja, teised olid pikkadele varrekestele kinnitunud paigalseisvad vormid.

Siluri ajastul merede all olev pind Maal laienes märgatavalt. Tolleaegsetest meresettekivimitest on leitud ligikaudu 15 tuhat mitmesuguste selgrootute mereloomade: trilobiitide, okasnahksete, käsijalgsete, korallide, peajalgsete limuste liiki. Peajalgsete limuste esindajad — seepia, kaheksajalg, nautilus — on säilinud kuni meie ajani. Meres oli tohutul hulgal väljasurnud graptoliitide (*graptos* — kirjutatud, kr. k.) klassi kuulunud organismide kolooniaid. Nende jäänustest on moodustunud musta kiltkivi lademed.

Meredes elasid rööveluviisiga lülijalgsed — merostoomid ehk ürgvähid, kelle pikkus ulatus kuni 3 meetrini. Nende vastsed sarnanesid vähkide ja trilobiitidega, täiskasvanud loomad aga — skorpionidega.

Siluri ajastul toimus tähtis sündmus: ilmusid a l a m a d s e l g r o o g s e d — kohmaka liikumisega lõuatud rüükalad. Neil oli kõhrskelett, pead ja eesmist kereosa katsid luukilbid, ülejäänud osa kerest ja saba — soomused. Nad ujusid vaevaliselt ning enamasti roomasid mööda põhja, kaevudes mudasse. Rüükalad olid väikesed loomad (pikkus ainult mõni sentimeeter), kuid mõned neist kasvasid kuni 2 m pikaks. Kaasaegsed sõõrsuulased (silmud ja pihklased) on rüükalade lähimad sugulased (joon. 33).

Kohmakad rüükalad jäid bioloogilises konkurentsis alla alamatele kaladele — lõugsuustele, kel oli sisemine kõhrskelett ning liikuvad lõualuud. Nende seas oli suuri röövloomi, kelle pikkus ulatus mitme meetrini. Kaasaegsed haid on nende kaugeteks järglasteks. Lõugsuused võisid aktiivsemalt jahti pidada, paremini jagu saada saagist; neil oli täiuslikum närvisüsteem ja meeleorganid. Lõualuude tekkimine oli suureks sammuks selgroogsete loomade ü l d i s e o r g a n i s a t s i o o n i t õ u s u teel.

Siluri ajastul toimus veel üks ülisuure tähtsusega sündmus elu ajaloos: algas maismaa a s u s t a m i n e taimede ja loomadega.

Joon. 32. Kambriumi ajastu. Elu esineb ainult vees; maismaal on asustamata kaljud ja liivaalad.

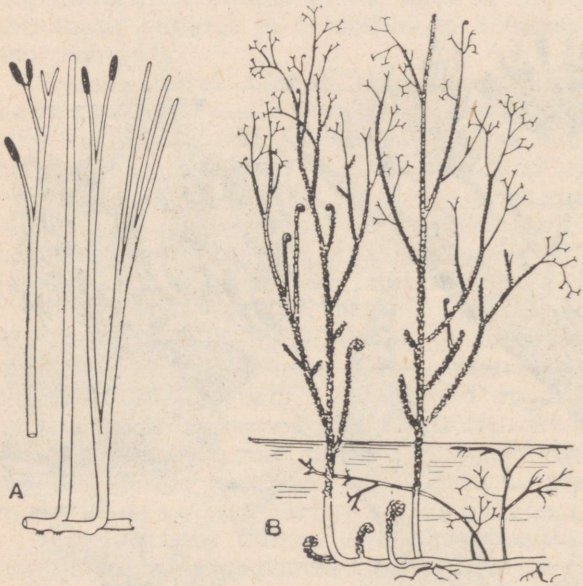
Joon. 33. Siluri ajastu. Elu mere põhjas. Keskel — peajalgsed limused; vasakul põhjas — trilobiidid; ülal — meriliiliad; paremal põhjas — käsijalgsed; ülal — korallid.

17. Maismaaorganismide arenemine paleosoikumis

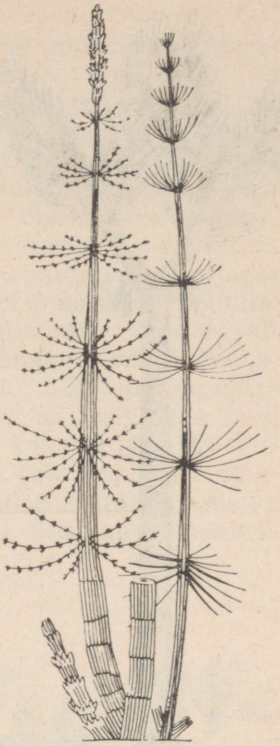
Taimede väljumine maismaale paleosoikumis. Esimestena hakkasid maismaad asustama vetikad. Mere tõusu- ja mõõnaaladel tuli vetikatel osa aega viibida veest väljas, päikese ning tuule käes. Loodusliku valiku teel säilisid need taimed, millel olid tekkinud tihedam, niiskusekadude eest kaitsev kattekude, varred ja pinnasesse kinnitumiseks vajalikud juurikad ning juured.

Kõige vanemad praegu tuntud maismaataimedest — psilofüüdid — kasvasid merede kallastel, ilma et nad oleksid tunginud maismaa sügavusse (joon. 34). Psilofüütide kudede ehitus oli vetikatega võrreldes märgatavalt tüsistunud. Oli alanud kudede spetsialiseerumine vastavalt nende funktsioonidele: juhtkoed, kattekoed ja tugikoed. Psilofüütidel olid juba olemas primitiivse ehitusega puidu- ning niineosad, aga samuti primitiivne õhulõhedega epidermis. Oletatakse, et psilofüüdid eksisteerisid Maal ühtekokku 20—30 miljonit aastat.

Siluri ajastu lõpul, seoses võimsate mäetekkeprotsesside algamisega, mere ning maismaa jaotus Maal muutus. See viis osa



Joon. 34. Psilofüüdid: A — riinia — lihtsa ehitusega psilofüüt; B — asteroksülon — keerulisema ehitusega psilofüüt.



Joon. 35. Kalamiit.

maismaale sattunud taimede massilisele hukkumisele, kuid samal ajal mõned nende seast ka täiustusid.

Selle tulemusel ilmus devoni ajastul mererandadele ja jõekallastele peale psilofüütide ka teisi maismaaeostaimi. Psilofüütidest said alguse sõnajalgtaimed (kollad, osjad, sõnajalad).

Samblad, mis nii nagu psilofüüdidki on alguse saanud vetikatest, on jäänud kõrgemate taimede seas omaette eraldunud taimerühmaks. Praegu elavatest maismaa kõrgematest taimedest on sammaldel kõige lihtsam ehitus.

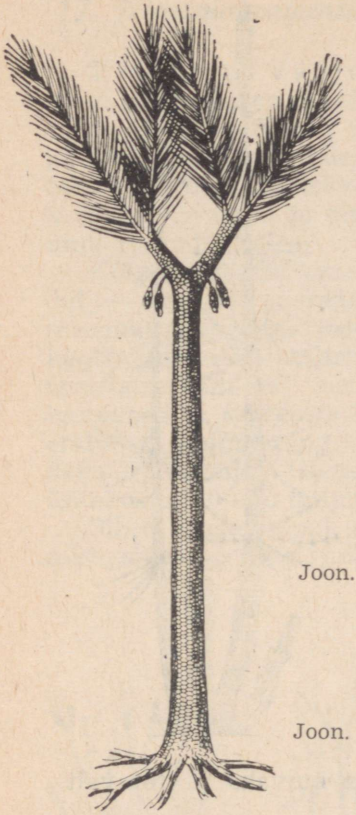
Oma esivanematega — psilofüütidega — võrreldes oli sõnajalgadel, osjadel ja koldadel palju eeliseid: neil olid tõelised juured ja lehed, mis võimaldasid toitaineid hankida nii õhust kui ka mullast.

Devoni ajastul muutus mandrite kliima kuivaks ja teravalt kontinentaalseks.

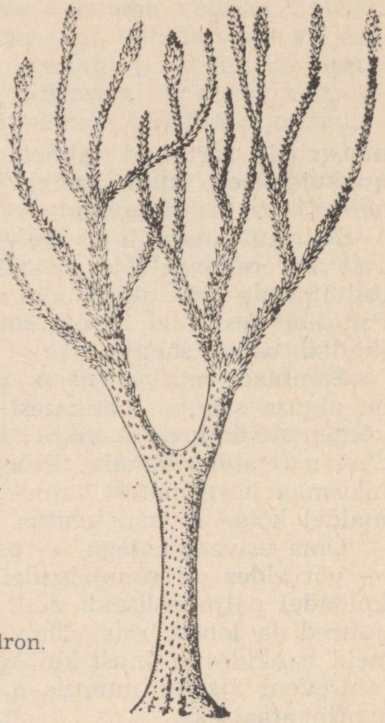
Sõnajalgtaimede hulgas tuleb eriti esile tõsta seemnesõnajalgade rühma, kus taimed olid suuruselt meie puude kõrgused ning okstel valmivad seemned — sarapuupähkli suurused. Kõikidel teistel noil aegadel eksisteerinud taimeliikidel oli viljastumise jaoks tähtis vee juuresolek, järelikult olid võimalused nende levimiseks piiratud. Esmased seemnetaimed — seemnesõnajalad — olid sellest sõltuvusest vabad: nendel toimus viljastumine ilma vee osavõtuta.

Devoni ajastu lõpuks olid mererandu palistanud mäeahelikud laiali uhutud ning niisked meretuuled võisid takistamatult kanduda mandrite kohale. Meri tungis uuesti maismaale peale. Kliima muutus niiskeks ja soojaks.

Algas uus ajastu — karboni ajastu. Raskeid madalaid pilvi läbis harva päikesekiir, peaaegu vahetpidamata sadas vihma; järved ning sood võtsid enda alla laiu territooriume. Soe õhk oli küllastatud aurudest ja süsihappegaasist. Hästi soojenenud pinnasel, otsekui tohutu suures kasvuhoones, hakkasid lopsakalt arenema sõnajalgtaimedest koosnevad sünged, ühelaadsed metsad. Hiiglasõnajalad, puukujulised osjad ja kalamiidid (*calamus* —



Joon. 36. Sigillaaria.



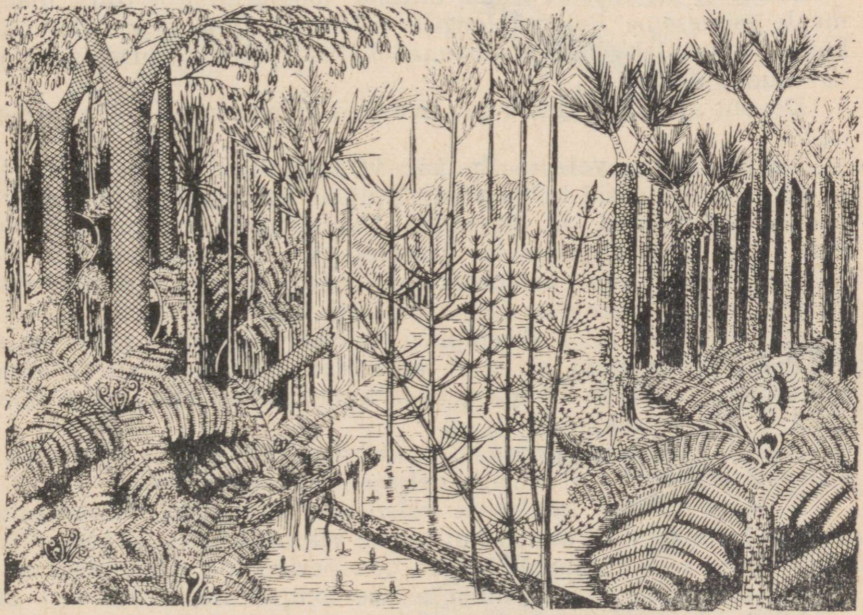
Joon. 37. Lepidodendron.

pilliroog, lad. k.; joon. 35), mustrilise koorega puukujulised kollad sigillaariad (*sigillum* — pitsat, lad. k.; joon. 36) olid mähkunud sõnajalalaadsetesse liaanidesse. Kõrgemal laiutasid oma võrasid koldade hulka kuuluvad lepidodendronid (soomuspuud) (joon. 37) ja paljasseemnetaimede hulka kuuluvad kordaiidid. Alusmetsa moodustasid sõnajalalaadsed rohttaimed. Puude kõrgus ulatus 30—40 meetrini, jämedus — üle 2 m. Koos ülirikka taimestiku ilmumisega hakkas karboni ajastul moodustuma ka huumus, pannes koos liiva ja saviga aluse viljakatele muldadele, mida kuni tolle ajani veel ei olnud. Karboni ajastu lopsakas taimestik (joon. 38) muutis tugevasti atmosfääri koostist, küllastades õhu elustava hapnikuga. See asjaolu oli väga suure tähtsusega maismaaloomastiku arenemise seisukohalt.

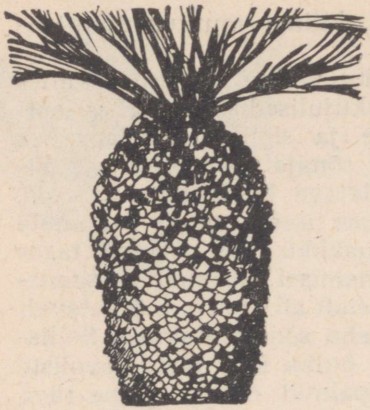
Karboni ajastu lõpul algas jälle intensiivne mägede moodustumine, mis järgmisel, p e r m i a j a s t u l, hõlmas kogu maakera. Paljudes kohtades meri taganes.

Moodustusid klimaatilised vööndid, kliima muutus märgatavalt kuivemaks.

Uutes elutingimustes jäid loodusliku valiku tulemusel alles ning täiustusid uued taimerühmad. Puukujulised sõnajalad ja lepidodendronid surid välja, kalamiitide ja sigillaariate arvukus kahanes tugevasti. Eelistatud olukorda, sõnajalgtaimedega võrreldes, sattusid paljasseemnetaimed. (Tuletage botaanikast meelde, millised on paljasseemnetaimede ehituse iseärasused.) Seemnete ilmumist tuleb käsitada kui kohastumuslikku muutust, mis tagas taimede edasise täiustumise nende arenemisel maismaa tingimustes. Ürgsed paljasseemnetaimed võisid endi alla võtta märgatavalt kuivemaid kasvukohti, kui seda said teha sõnajalgtaimed. Sellisteks olid, näiteks, katteseemnetaimede hulka kuuluvate tavaliste palmidega väliselt väga sarnased rahupalmid; neil oli jäme tüvi, mis lõppes üleval pikkade sulgjate lehtede kodarikuga. Praegusel ajal kasvavad rahupalmid troopilistes ja subtroopilistes maades (joon. 39). Siia kuuluvad veel hõlmikpuud ehk ginkod, mis ka praegu vabalt kasvavad Hiinas ja Jaapanis ning ka botaanikaaedades, aga samuti okaspuud.

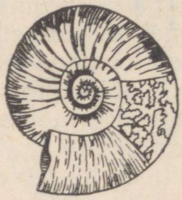


Joon. 38. Taimestik karboni ajastu keskpaigas. Vasakul — kaks võimsa tüvega lepidodendronit; neist veidi paremal sigillaariad ja pikkade mõõgakujuliste lehtede ning peene tüvega kordaiit; paremal — sigillaariad. Esiplaanil — sõnajalad (vasakul ja paremal), keskel — kalamiidid.



Joon. 39. Rahupalm. Tüvi on kaetud leherootsude tüügastest moodustunud soomusega.

Joon. 40. Ammoniit.



Selgroogsete väljumine maismaale paleosoikumis. Devoni ajastu merede soojas vees oli palju koralle, okasnahkseid. Ilmusid ammoniidid — peajalgsed limused iseloomuliku lamedasse spiraali keerdunud kojaga, mille pikkus ulatus mõnest sentimeetrist meetrini (joon. 40).

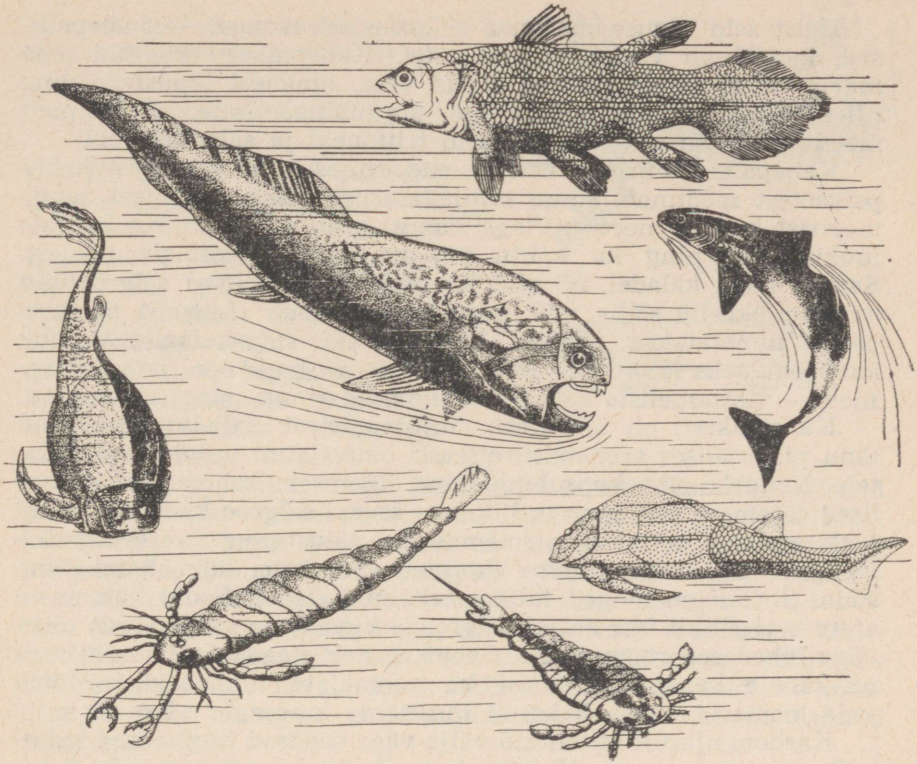
Siiani ei ole täpselt teada, milline loomarühm siirdus maismaale esimesena. Paleontoloogiliste leidude järgi otsustades olid kõige vanemateks maismaaloomadeks skorpionid, hulkjalgsed ja tiivutud putukad.

Devoni ajastul tekkisid esimesed maismaaselgroogsed.

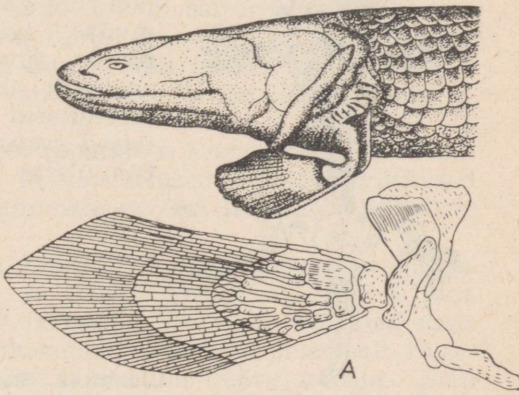
Devoni ajastu vetesse ilmusid vihtuimelised kalad (joon. 41 ja 42). Nad hingasid kahel viisil: ujupõie abil, mille seinu läbisid peened veresooned, ja lõpustega. Nende uimed sarnanesid ehituselt maismaaselgroogsete jäsemetega. Vihtuimeliste kalade õitseaeg kestis kuni paleosoikumi lõpuni, hiljem nad hakkasid kiiresti välja surema. Hiljuti püüti India ookeanist Aafrika ranniku lähedalt mitu eksemplari latimeeriaks nimetatud kala. Need olid meie ajani säilinud esindajad kunagi laialt levinud vihtuimeliste kalade rühmast, keda kuni viimase ajani peeti täielikult väljasurnuiks.

Vihtuimelised kalad andsid mitu haru, millest üks viis hiljem esimeste maapealse eluviisiga neljajalgsete tekkimisele.

Sellesse harusse kuulunud kalad olid suuremõõtmelised ning neil olid võimsamad uimed kui teistel vihtuimelistel kaladel. Seetõttu võisid selle rühma esindajad põuaperioodide saabumisel oma tugevate uimede abil siirduda neisse lompidesse, kuhu vett oli veel jäänud piisavalt. Just need vormid jäidki loodusliku valiku protsessis alles ning aja jooksul muutusid nende uimed jäsemeteks, mis juba sobisid käimiseks. Need loomad hingasid ujupõie abil, mis täitis primitiivsete kopsude aset.



Joon. 41. Devoni ajastu. Elu Põhja-Euroopa merelaguunides. Rüükalad. Ürgvähid — all; ülal — suur vihtuimeline kala.



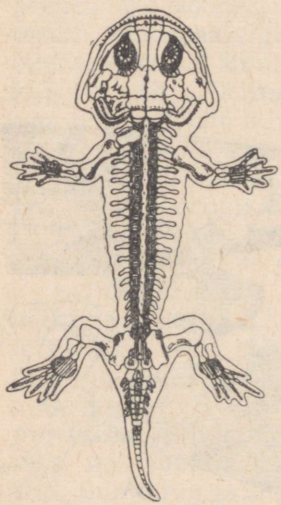
Joon. 42. Ürgne vihtuimeline kala: A — tema rinnauim.

Neist said alguse maismaa selgroogsed loomad — kahepaiksed, kes elasid veekogude kallastel. Kahepaiksed kudesid oma marja vette; nende vastsed elasid vees, hingasid lõpustega ning alles täiskasvanuina läksid üle kopsuhingamisele. Välisilmelt meenutasid nad veidi kaasaegseid triitoneid ja salamandreid.

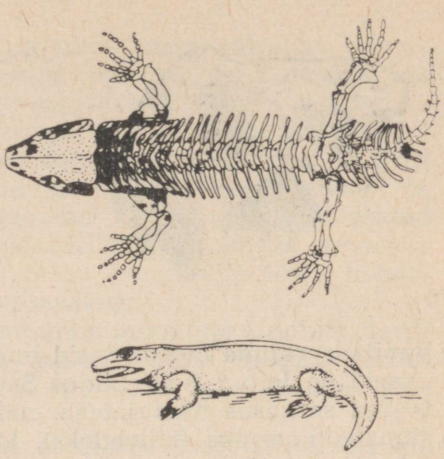
Kahepaiksete ürgsed esivanemad erinesid kaasaegsetest kahepaiksetest mõõtmete suure mitmekesisuse (pikkus mõnest sentimeetrist kuni 4 meetrini), aga samuti pead soomusrüüna katvate luukilbikeste ning ka kõhtu katvate väikeste kilbiste poolest. Samuti nagu kaladel, nii olid ka neil kaksiklohksed selgroolülid ning seljakeelik säilis neil kogu elu jooksul. Lameda peakuju pärast nimetatakse ürgseid kahepaikseid stegokefaalideks ehk katispealisteks (joon. 43). Neil olid viie varbaga ees- ja tagajäsemed — vihtuimeliste kalade teisendunud rinna- ning kõhuuimed.

Kahepaiksed on ürgsetest vihtuimelistest kaladest tekkinud tänu pikaajalises arenemisprotsessis omandatud uutele iseärasustele. Nendeks olid: kopsuhingamine, käimiseks sobivad viievarbalised jäsemed, pea suurem liikuvus seoses selgroo kaelasektsiooni tekkimisega, koljuluude olemasolu, täiustunud vereringesüsteem — oli tekkinud teine (kopsu-) vereringe, kolmekambriline süda. Ühtlasi on mõned hiljem tekkinud stegokefaalid hammaste ehituse ja ainult ühe koljut selgrooga liigendava kuklapõnda tõttu väga lähedased roomajatele. Seega esineb stegokefaalide ehituses nii kalade, kahepaiksete kui ka roomajate tunnuseid, mistõttu seda loomarühma on hakatud nimetama k o o n d r ü h m a k s.

Karboni ajastul kujunesid välja väga soodsad tingimused kahepaiksete arenemiseks. Maismaa rannikuäärses vööndis teisi selgroogseid — konkurente — veel ei olnud. Soojas ja niiskes õhus oli piisavalt hapnikku ürgkahepaiksete ebatäiuslike kopsude jaoks. Nende limaga kaetud nahk ei kuivanud ära, sest palavad päikesekiired ei suutnud pilvedest ning tihedaist sõnajalgtaimede tihnikuist läbi tungida. Ühed kahepaiksed askeldasid mudas, teised ronisid mahakukkunud puude tüvedele, kolmandad suundusid aeglaselt ühest veekogust teise. Ühed meenutasid välimuselt väikesi krokodille, teised seevastu olid nii suured, et nende pea ületas mõõtmetelt tunduvalt härja



Joon. 43. Stegokefaali skelett.



Joon. 44. Primitiivne roomaja. Seimuuria kotülosauruste rühmast.

pea. Ka tol ajal elanud putukad oleksid meid kohutanud oma mõõtmetega: esines näiteks kiililiik, kelle tiibade siru-ulatus oli 75 cm. Kaasaegsed kahepaiksed (konnad) on säilitanud seose veega, mida võib näha nende ehituse, hingamise, liikumise, paljunemise ja arenemise iseärasustes (nimetage neid iseärasusi).

Meredes ujus hulgaliselt kalu, eriti haisid. Korallid jätkasid oma lubiehitiste püstitamist; käis edasi juurjalgsete kodadest koosnevate kivimite moodustumine. Merepõhi oli täis külvatud käsijalgseid, limuseid, okasnahkseid. Looduslik valik «sobitas» neid kõiki veekeskkonna mitmesuguste tingimustega. Ühed loomad siirdusid meresügavustesse, teised hoidusid veemasside keskmistesse kihtidesse, kolmandad — veepinna lähedale. Elukeskkonna laienemine nõrgendas konkurentsi toimet, eeldades muidugi, et uues olukorras ei kohtutud sinna varem elama asunud liikidega.

Karboni ajastu lõpul toimunud kliima kuivenemine sai saatuslikuks paljudele kahepaiksetele: suurem osa neist suri välja. Neist aga, kes suutsid püsima jääda vee lähedale, said alguse märgatavalt väiksemate mõõtmetega kahepaiksed.

Teatud osa ürgkahepaiksetest osutus võimeliseks maismaa vallutamist jätkama. Nende ehitus oli loodusliku valiku käigus omandanud uusi iseärasusi, mis võimaldas neil elada peaaegu ilma veeta. Nende naha pealmine osa oli sarvunud, mis kaitses neid ärakuivamise eest. Oli muutunud ka paljunemisviis: viljastumine toimus organismi sees, munad olid reburikkad ja nahkse kestaga, mis kaitses neid kuivamise eest. Nende looteline arenemine toimus maismaal.

Arvatakse, et lähterühmaks roomajate arenemisel said kaasajaks täielikult välja surnud kotülosaurused. Need primitiivsed roomajad olid veel mitmete tunnuste poolest lähedased ürgsetele kahepaiksetele (joon. 44).

Nii tekkisid roomajad või reptiilid, kellel oli mitmesuguseid kohastumisi eluks maismaal. Ja kui permi ajastul Maa kliima muutus kuumaks ning põuaseks, siis olid roomajad uues elukeskkonnas väljaspool konkurentsi. Nad olid peamiselt rohusööjad loomad, kuid mõned neist läksid üle rööveluviisile. Eriti

Joon. 45. Imetajalaadne roomaja.

huvitava rühma moodustasid imetajalaadsed roomajad, kelle jäänuseid on leitud NSV Liidus Severnaja Dvinaa kallastel. Neil on teatud sarnasus imetajatega, näiteks hammaste jaotumise osas silmahammasteks (kihvadeks), lõikehammasteks ja purihammasteks (joon. 45). Arvatakse, et imetajalaadsete roomajate järglastest on saanud alguse esimesed imetajad.

Nagu näeme, ei jäänud orgaaniline maailm muutumatuks. Temas toimusid sügavad muutused, mille tulemusel erinevatel geoloogilistel ajastikel eksisteeris erinev floora ja fauna, mis üksteist järgemisi välja vahetasid. Millistes suundades orgaanilise maailma arenemine siis toimus? Vaatleme seda küsimust lähemalt ja alles pärast seda läheme üle elusa looduse edasiste muutuste tundmaõppimisele mesosoikumis ja kainosoikumis.

18. Evolutsiooni peasuunad

Evolutsiooniprotsess toimub katkematult ja kannab tervikuna kohastumuslikku iseloomu. Samal ajal kulgeb arenemisprotsess ka divergentselt, s. t. erinevates suundades. Elu, olles tekkinud kõige elementaarsemal kujul, jätkas edasiarenemist alamatelt vormidelt kõrgematele, lihtsamalt organiseeritud vormidelt kõrgemalt organiseerituile. Evolutsiooniprotsessi tervikuna iseloomustab elusolendite organisatsiooni üldine tõus. Kuid kõrvuti sellega täheldatakse mõnedel juhtudel ka organisatsioonitaseme langust, mõnede orgánite regressi. Orgaanilise maailma arenemisprotsess toimus mitmesuguseid teid mööda. Nende seas tuleb esile tõsta kolme peamist evolutsioonisuunda. Küsimus evolutsiooniprotsessi suundadest on välja arendatud vene teadlaste A. Severtsovi ja I. Šmalhauseni poolt.

Aromorfoos. Esimene suund — laia tähtsusega kohastumuste arenemine. Niisugused kohastumused annavad organismile olelusvõitluses eelise ning säilitavad oma kasuliku tähtsuse ka organismi üleminekul uude keskkonda.

Rohkearvulisi näiteid sedalaadi laia tähtsusega kohastumuste kohta annab selgroogsete loomade evolutsioon.

Alates kaladest kuni lindude ja imetajateni välja on toimunud kesknärvisüsteemi, eriti peaaju ehituse ja funktsioonide järjekindel tüsistumine. Kaladel on otsaju nõrgalt arenenud. Roomajatest alates algab otsaju eesosa koore (suurte poolkerade) arenemine, mis saavutab kõrgeima astme imetajate juures. Eriti keerulise ehituse saavutab suurte poolkerade koor ahvidel ja inimestel. Peaaju ehituse tüsistumine on lahutamatult seotud kõrgema närvitegevuse — tingitud reflekside süsteemi arenemisega, loomade käitumise üha suurema tüsistumisega nende kohastumisel ümbritseva keskkonna tingimustega.

Peaaju arenemine ei ole kohastumine mingitele kindlate, teravalt piiritletud välistingimustega (näiteks eluks metsas, kõrbes jne.). See annab olelusvõitluses eeliseid kõige erinevamates elukeskkondades.

Samalaadne on ka selgroogsete vereringe evolutsioon. Kalade kahekambrilisest südamest voolab läbi venoosne veri; kahepaiksete südame koda on osaliselt jagunenud venoosseks ja arteriaalseks pooleks. Märgatavalt keerulisem on roomajate süda, kus koda on jagunenud täielikult, vatsake — mittetäielikult. Lindudel ja imetajatel on süda jaotatud vasakuks — arteriaalseks pooleks ja paremaks — venoosseks pooleks. Südame ehituse tüsistumine kindlustas loomade organeid üha suuremas koguses hapnikurikka verega, mida lindude ja imetajate juures tegelikult täheldataksegi. Seetõttu kulgeb neil aine- ja energiavahetus ning kogu elutegevus intensiivsemalt kui teistel selgroogsetel klassidel. Kooskõlas intensiivsema ainevahetusega arenesid edasi ka hingamiselundid. Loomade üldise aktiivsuse ja elutegevuse tõus soodustas mitmekesiste vastastikuste suhete kujunemist nende ja keskkonna vahel ning lõi võimalused kesknärvisüsteemi ja meeleelundite arenemiseks.

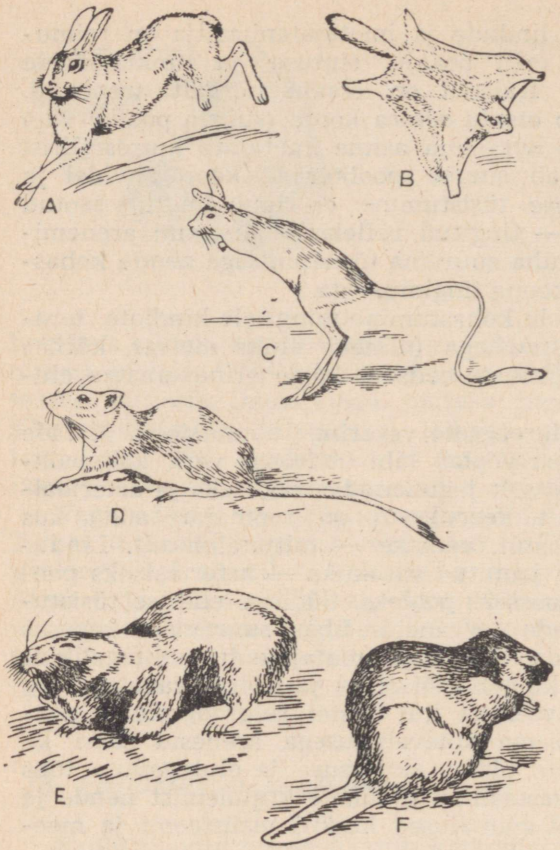
Laia tähtsusega kohastumuseks oli ka selgroo arenemine. Kui toimus erinevate keskkondade asustamine selgroogsete poolt, tagas selgroog kui keha telgtugi neile võimaluse mitmesuguste liigutuste tegemiseks, mis olid seotud ujumisega, roomamisega, ronimisega, jooksmisega, lendamisega jne. Võib öelda, et sedalaadi kohastumused on olnud aluseks selgroogsete organisatsiooni väljakujunemisel.

Laia tähtsusega kohastumusi, mis osutuvad kasulikeks kõige erinevamates keskkonnatingimustes ning tõstavad kogu looma organisatsiooni kõrgemale tasemele, nimetas A. Severtsov *aromorfoosideks*.

Piltlikult rääkides kujutavad aromorfoosid endast orgaanilise maailma evolutsiooni peateed, mida mööda evolutsioon on kulgenud kõige lihtsamatelt eluvormidelt kõige kõrgematele.

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

Idioadaptatsioonid. Kõrvuti aromorfoosidega esines



Joon. 46. Idioadaptatsiooni näited: A — halljänes; B — lendorav; C — kõrve hüpikhiir; D — suur stepihiir; E — pimehiir; F — kobras.

orgaanilise maailma arenemisprotsessis ka kohastumist teatud kindlate kitsaste keskkonnatingimustega. Kui aromorfoosid oleksid olnud ainsaks teeks, siis oleksid olelusvõitluses alati võitnud kõige kõrgemad vormid ja ainult nemad oleksidki eksisteerinud praegu Maal; kõik teised vormid oleksid pidanud kaduma. Tegelikult aga eksisteerivad kõrgemad vormid kõrvuti madalamalt organiseeritud vormidega. Niisuguse kooseksisteerimise põhjuseks on divergents (vt. lk. 41).

Vaatleme seda küsimust näite varal kahepaiksete ja roomajate klasside tekkimisest. Esimestel kahepaiksetel maismaal algul konkurente ei olnud. Kui aga ilmusid esimesed roomajad — liikuvamad ja enamarenenud kotülosaurused, muutus ürgsete kahepaiksete seisund järsult ning nad hakkasid kiiresti välja surema. Kuid tänu kohastumisele teatud kindlatele ning piiratud ulatusega elamisaladele jäi mingisugune osa kahepaiksetest siiski

ellu. Seejuures ei toimunud nende juures mingit organisatsiooni tõusu ning neil säilisid kõik kahepaiksete klassi tunnused. Kaasaegsed amfiibid — konnad, triitonid — on hästi kohastunud olelustingimustega väikestes veekogudes ja suure niiskusega maismaa-aladel.

Kaitsevärvus ja mimikrinähtused (vt. lk. 37) on samuti heaks näiteks kohastumise kohta teravalt kindlapiiriliste olelustingimustega, mis ei ole seotud organisatsioonitaseme tõusuga.

Sedalaadi kohastumused on väga mitmekesised. Heaks näiteks võib siin olla rebane. See loom on täielikult kohastunud rööveluviisiga (näidake neid tunnuseid), kuid samal ajal on ta organid paljufunktsionaalsed: rebane jookseb, ujub, kaevab urgusid. (Tooge näiteid niisuguste, mitte eriti spetsialiseerunud liikide kohta.)

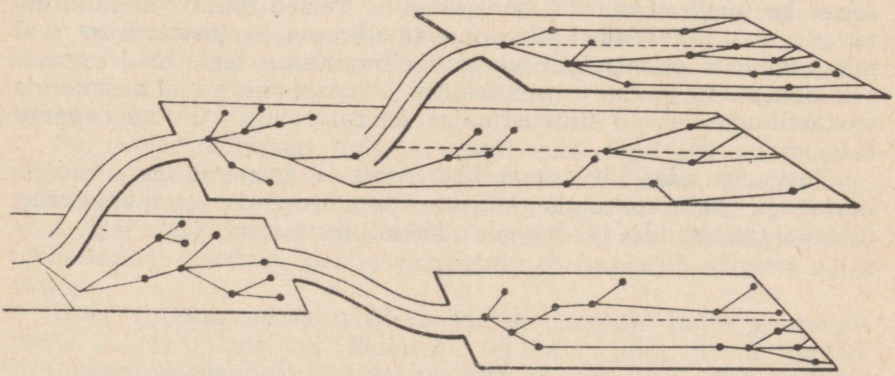
Teistel juhtudel, üliterava konkurentsi toimel, läksid loomad üle üsna piiratud elukeskkonda: maa alla, puude otsa, teiste organismide elunditesse. Neil kujunesid välja spetsiaalsed kohastumused väga kitsastele keskkonnatingimustele. Nii näiteks elavad mutid ainult maa all, lehekonnad — puude otsas.

Suurem osa seltse ning väiksemaid rühmitusi on tekkinud üksikkohastumuste arenemise teel ilma üldise organisatsiooni tõusuta (joon. 46).

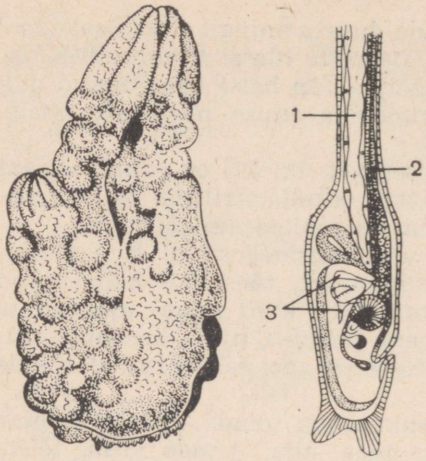
Teine evolutsioonisuund — mitmesugustele kohalikele olelustingimustele vastavate kohastumuste arenemine ilma organisatsiooni tõusuta — sai nimeks i d i o a d a p t a t s i o o n i d.

Aromorfooside ja idioadaptatsioonide vahekorda illustreerib joon. 47 toodud skeem.

D e g e n e r a t s i o o n. Peale aromorfooside ja idioadaptat-



Joon. 47. Skeem aromorfooside, idioadaptatsioonide ja üldise degeneratsiooni vaheliste suhete kohta. Tõusvad harud — aromorfoosid; horisontaalsed tasapinnad — idioadaptatsioonid; laskuv tasapind — üldine degeneratsioon.



Joon. 48. Täiskasvanud meritupp (vasakul) ja tema vastne (paremal): 1 — seljakeelik; 2 — närvitoru; 3 — lõpuspilud.

sioonide on olemas veel kolmas evolutsioonisuund, mis on seotud organismi üleminekuga lihtsamatele vahekordadele keskkonnaga. Niisugune üleminek vabastab organismi teravast bioloogilisest konkurentsist teiste organismidega. Seejuures aga muutub terve rida organeid ülearuseks ja taandareneb. Täheldatakse organisatsiooni lihtsustumist ja kogu elutegevuse langust. Nii näiteks on meritupe vastne liikuva eluviisiga ja tal on kõik keelikloomade tunnused. Täiskasvanud meritupp on aga liikumisvõime kaotanud ja kinnitunud merepõhjas asuvale substraadile; ühes sellega on tal kadunud ka seljakeelik ja närvitoru (joon. 48).

Kolmandat evolutsioonisuunda nimetatakse üldiseks degeneratsiooniks.

Kõik need peamised suunad — evolutsiooniteed — on omavahel seotud. Üldine pilt on selline. Uus kõrgem rühm tekib aromorfooside teel, tungides seejuures sageli uude elukeskkonda. Uue keskkonna tingimustes teeb ta läbi teatud muutused. Ühed neist muutustest viivad järgmiste aromorfooside tekkimisele ja seega ka uuele organisatsiooni tõusule. Teised muutused kindlustavad juba hõivatud keskkonna täielikuma ärakasutamise seal mitmesuguste elamisalade enda alla haaramise teel, kuid organisatsiooni üldtase seejuures säilib. Organismide ja keskkonna vastastikuste suhete lihtsustumise korral toimub üldine degeneratsioon.

Tutvudes edaspidi orgaanilise maailma arenemisega mesosoikumis ja kainosoikumis kohtute te korduvalt aromorfooside, idioadaptatsioonide ja degeneratsioonijuhtudega.

19. Orgaanilise maailma edasine kohastumine maismaaeluga mesosoikumis

Taimeriigis. Aegkondadest keskmine — mesosoikum — kestis umbes 125 miljonit aastat. Ta jaguneb kolmeks ajastuks: triiase (on sellise nime saanud seoses tema jaotamisega kolmeks osaks), juura (Šveitsi ja Prantsusmaa piiril asuva mäeaheliku nimetuse järgi) ja kriidi (settekivimite iseloomu järgi) ajastuks.

Triiase ajastul laiusid piki merede rannikuid mäeahelikud, mis takistasid niiskete meretuulte kandumist maismaa sisealadele. Suuremal osal maakerast kujunes välja teravalt kontinentaalne kliima.

Muutunud klimaatilistes tingimustes kadus karboni ajastu floora, seni laialt levinud puukujulised kollad (lepidodendronid, kalamiidid, sigillaariad) surid välja. Märgatavaid eeliseid arenemiseks said paljasseemnetaimed (okaspuud, hõlmikpuud ja rahupalmid), mis olid ilmunud juba paleosoikumi lõpul. Eostaimedest jäid püsima peamiselt sõnajalad ja osjad. Kuid osjad olid oma aja juba ilmselt ära elanud, säilides väikeste rühmadena vaid mõnel pool veekogude ääres. Hakkasid arenema laialehised puukujulised sõnajalad.

Järgmisel, juura ajastul, muutusid metsad hõredamaks ja päikeseküllasemaks kui seda olid olnud karboni ajastu metsad. Kliima oli muutunud kuivemaks ning pilved ei katnud enam taevast alati pideva linikuna; päikesekiired võisid läbi hõreda metsakatte tungida juba kuni maapinnani ning seal kasvavate taimedeni välja. Ilmusid uued taimerühmad, taimorganismide mitmekesisus ning üldarv suurenes. Olid välja kujunenud soodsad tingimused suurte loomade arenemiseks, seda enam, et mesosoikumi alguses toimus ka laiaulatuslik maismaa arenemine.

Kriidi ajastu keskpaika tähistasid suured muutused taimeriigis.

Paljasseemnetaimed, mis vahepeal olid jõudsasti edasi arenenud, asendusid nüüd järsku laialehiste katteseemnetaimedega: füüsikalis-geograafiliste muutuste tõttu hajusid pilved, millesse Maa siiani mähkunud oli, laiali ning lakkasid pehmendamast päikesekiirte eredust; paljasseemnetaimed hakkasid kiiresti välja surema.

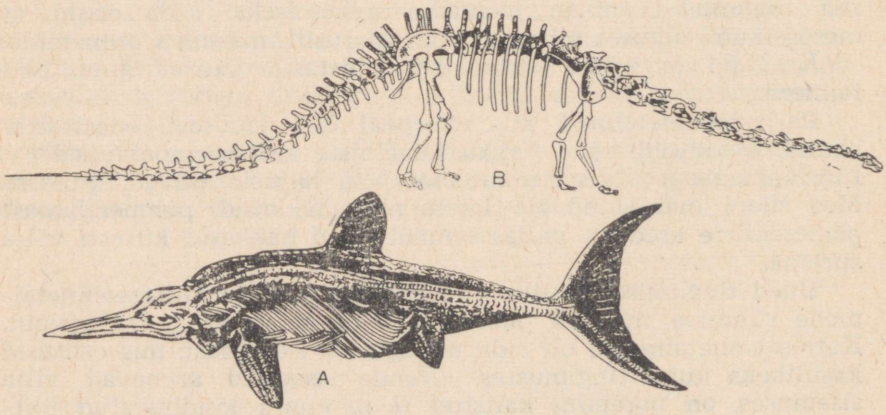
Uued tingimused osutusid soodsateks noorele katteseemnetaimede rühmale, mis oli hakanud tekkima juba juura ajastul. Katteseemnetaimedel oli rida niisuguseid iseärasusi, mis osutusid kasulikeks uutes tingimustes. Nende seemned arenevad vilja sisemuses, on paremini kaitstud ja paremini kindlustatud toitainetega; neil on eredad lõhnavad õied, mis meelitavad ligi putukaid; nende lehtedel ja juurtel on tohutu neelav pind. Katte-

seemnetaimedel arenesid kõige mitmekesisemad kohastumused risttolmlemiseks, viljade ja seemnete levitamiseks, mitmesugustes tingimustes elamiseks.

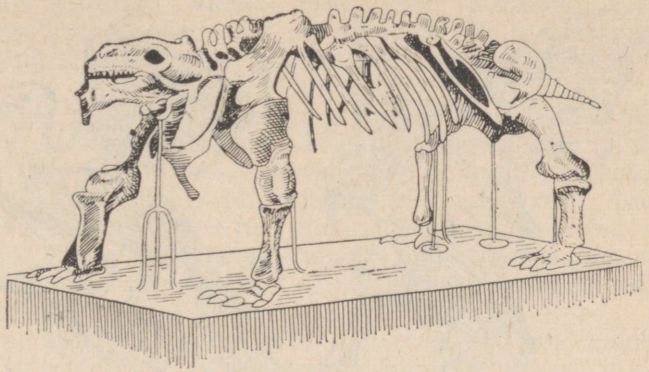
Katteseemnetaimede lopsakas arenemine oli üheaegselt seotud putukate-tolmeldajate kõrgemate vormide arenemisega: liblikad, kimalased, mesilased, kärbsed jt. Viimased kandsid risttolmlemisel edasi taimede õietolmu ja soodustasid nende levikut.

Suurt osa katteseemnetaimede kiires levikus etendas nende eriline vastupidavus mitmesuguste klimaatiliste ja mullastikutingimuste suhtes, sealhulgas ka soolakutel kasvamisel. Lehtede ja varte arenemine ning viimaste hargnemise iseloom tagasid päikesekiirte parema kinnipüüdmise ja ärakasutamise. Maismaad katsid palmidest, magnooliatest, plataanidest koosnevad metsad, ilmusid pajud, paplid, kased, pöökpuud, tammed, vahtrad. Okaspuud ning eostaimed katteseemnetaimede levikuga täielikult ei kadunud. Nad arenesid edasi, moodustades uusi liike. Okaspuude seas oli palju mände, jugapuid, sekvoiasid, ilmus kuusk. Eostaimedest esinesid väikesemõõtmelised osjad, kollad, sõnajalad.

Muutused loomariigis. Triiase ja juura ajastuil täitsid merede madalaveelisi alasid mitmesugused limuste ja okasnahksete liigid. Ilmusid sisetoesega peajalgsed limused — belemniidid (*belemnon* — nool, kr. k.), kes saavutasid õitseaja juura ja kriidi ajastuil ning surid välja mesosoikumile järgnenud aegkonna alguseks. Kaasaegseist peajalgseist on neile lähedased seepiad ja kalmaarid. Eriti intensiivselt hakkasid arenema ammoniidid (peajalgsed limused), kes olid tekkinud juba devoni ajastul, kuid saavutasid õitsengu triiase ajastul ning surid välja mesosoikumi lõpuks.



Joon. 49. Skeletid: A — ihtüosaurus; B — diplodokk.



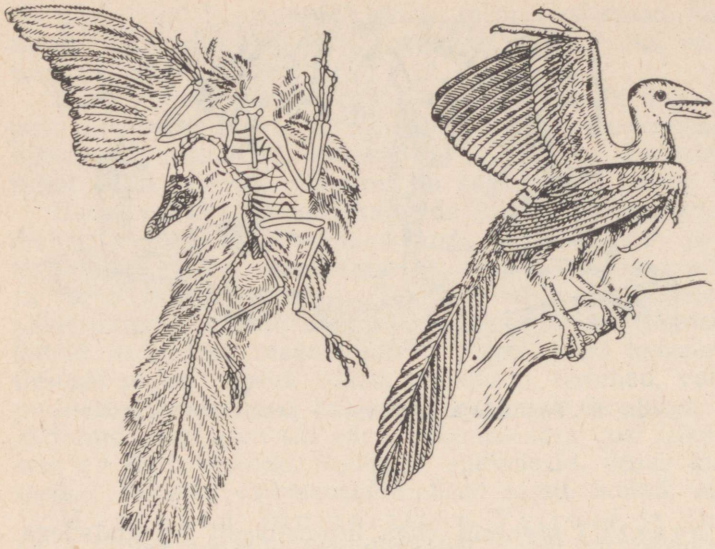
Joon. 50. Rohusööja roomaja — pareiasauruse skelett.

K r i i d i a j a s t u l arenesid väga intensiivselt lubikodadega varustatud juurjalgsed, kelle kodadest moodustusid tohutud kriidilademed.

Meredest ja jõgedest olid ürgsed kõhrkalad välja tõrjutud devoni ajastul tekkinud luukalade poolt: viimased ujusid kiiremini, haarasid lõugade abil aktiivsemalt saaki.

Mesosoikumi loomariiki iseloomustab roomajate õitseng ja nende hilisem väljasuremine. Roomajad, kes kogu eelneva arenemiskäiguga (aromorfoosid) olid ette valmistatud eluks soojas kuivas kliimas, hõivasid konkurente kohtamata esimese koha maismaaloomade seas ja saavutasid suure vormide ning mõõtmete mitmekesisuse (idioadaptatsioonid).

Juura ajastul toimusid suured ümberpaigutused maismaa ja mere vahekordades. Roomajad vallutasid mitte üksnes maismaa ja vee, vaid ka õhu. Suuri muutusi tegid läbi ka roomajate jäsemed võrreldes vihtuimeliste kalade ja stegokefaalide omadega. Need muutused tekkisid seoses edasiliikumise viisiga, mille suunas valik läks: hüppamisega, ronimisega, jooksmisega, ujumisega, lendamisega. Saabus r o o m a j a t e a j a s t u, mis kestis üle 100 miljoni aasta. Neist said maismaa, vee ja õhu jagamatud valitsejad. Praegu on raske isegi ette kujutada ürgseid roomajaid, kelle pikkus oli üle 30 m, kõrgus — 10 m ning kaal — kuni 50 tonni. Vees elasid kuni 13 m pikkuse kehaga ihtüosaurused ehk kalasisalikud (joon. 49 ja 50). Õhus lendasid rohkearvulised roomajad, ühed varblase- või hakisuurused, teistel aga oli tiibade siru-ulatus 17 m. Tiivad olid neil varustatud nahkja kilega, mis ühendas jäset kere küljega. Niisugused suured loomad vajasid tohutul hulgal toitu. Teadlased arvavad, et gigantsed rohusööjad roomajad toitusid peamiselt paljasseemnetaimedest,



Joon. 51. Arheopterüks.

mis olid domineerivaiks tolleaegses maismaataimkattes. Ürgsete roomajate seas oli ka tõelisi kiskjaid.

Samal ajastul ilmusid Maale ka esimesed linnud: ürglind (arheopterüks), üleminekuvorm roomajate ja lindude vahel. (Näidake joon. 51, millised tunnused on arheopterüksil roomajate, millised lindude omad).

Roomajate organisatsioonis oli üks oluline iseärasus: kõigusoojaste loomadena said nad elada ainult soojas kliimas.

Kriidi ajastul kerkisid uued mäeahelikud, mis sulgesid tee niisketele meretuultele, ning kliima muutus külmemaks. See osutus hukutavaks roomajatele ja need hakkasid välja surema. Lisaks sellele taganes meri paljudes kohtades maismaa tõusu tagajärjel. Rannikuäärsete madalike taimestik hukkus, ühes sellega aga jäid ilma toiduta gigantsed rohusööjad roomajad. Kiiresti hakkasid välja surema ka viimastest toitunud kiskjalised vormid.

Kriidi ajastul tekkisid puudel ronivatest roomajatest tõelised linnud.

Märgatavalt varem, triiase ajastu lõpul, ilmusid imetajad — väikesed rööveluviisiga loomad, kes meenutasid kaasaegseid kukkurrotte, karihiiri ja siile. Esimesed imetajad said alguse ürgsetest imetajalaadsetest roomajatest (vt. lk. 78). Nii neil kui lindudel oli neljakambriline süda (aromorfoos), arenes intensiivne aine- ja energiavahetus, nad lakkasid sõltumast ümbritseva

keskkonna temperatuurist. Varsti arenes neil loomadel välja püsisoojasus, mis tagas neile eelise arenemises, andes võimaluse taluda külma ning elada aktiivset elu ka siis, kui roomajad suikusid talveunne.

Lindudel ja imetajatel olid peaaju ja meeleelundid täiuslikumad kui roomajatel. Linnud tõrjusid lendavad roomajad õhust välja, sest neil oli rida eeliseid: tiivad olid kaetud sulgedega ning nende liikumapanemiseks olid olemas tugevad lihased, luud olid peened ja väga kerged, sest nad olid täidetud õhuga. Lindude evolutsioonis oli suure tähtsusega nende juures välja arenev hoolitsus järglaskonna eest, mistõttu viimase väljavaated ellujäämiseks suurenesid.

Esimesed imetajad olid hiire- või rotisuurused, kuid nende järglasi ootas suur tulevik — arenemine kuni inimeseni välja. Nagu linnud, nii olid ka nemad püsisoojased, kuid neil oli ka teisi eeliseid. Imetajate looted arenevad emaüsas ja pärast sündimist toidetakse neid emapiimaga. Imetajate järglastest hukkub enne täiskasvanuks saamist märgatavalt väiksem osa kui seda täheldatakse teiste loomade järglaskonna puhul. Lisaks püsisoojasusele kaitseb imetajaid külma eest veel karvkate. Kaasaegsetest imetajatest on mõningaid ühiseid jooni roomajatega säilitanud ainupiluliste seltsi kuuluvad alamad imetajad. Nende esindajateks on nokkloom ja sipelgasiil. (Tuletage zooloogiast meelde nende ehituse ja arenemise iseärasusi.)

Kriidi ajastu lõpul hakkasid imetajad, nii nagu katteseemnetaimedki, Maal kiiresti levima, haarates enda alla üha uusi ja uusi elukeskkondi. Seega levis mesosoikumis elu mitte ainult maismaal, vaid ka õhus, jätkates samal ajal arenemist vees.

20. Orgaaniline maailm kainosoikumis

K a t t e s e e m n e t a i m e d e d o m i n e e r i m i n e. Kainosoikum — uue elu aeg (*kainos* — uus, kr. k.) — on kestnud juba umbes 60 miljonit aastat. Tema esimene ajastu — t e r t s i a a r — kestis umbes 59 miljonit aastat ja teine ajastu — k v a t e r n a a r — jätkub praegu. Selle aegkonna vältel on kontinendid ja sügavad mered välja kujunenud nende kaasaegsel kujul.

Katteseemnetaimed on asustanud mandrid, mäed, kõrbed, ning on enda alla haaranud ka mageveekogud. Tertsiaari soe kliima soodustas troopilise taimestiku arenemist. Igihaljad metsad on kasvanud isegi kauges põhjas. Teravmägedelt on leitud pöökpuu, pärna ja sooküpressi jäänuseid, Gröönimaalt — sekvoia jäänuseid. Laialt oli levinud subtroopiline floora.

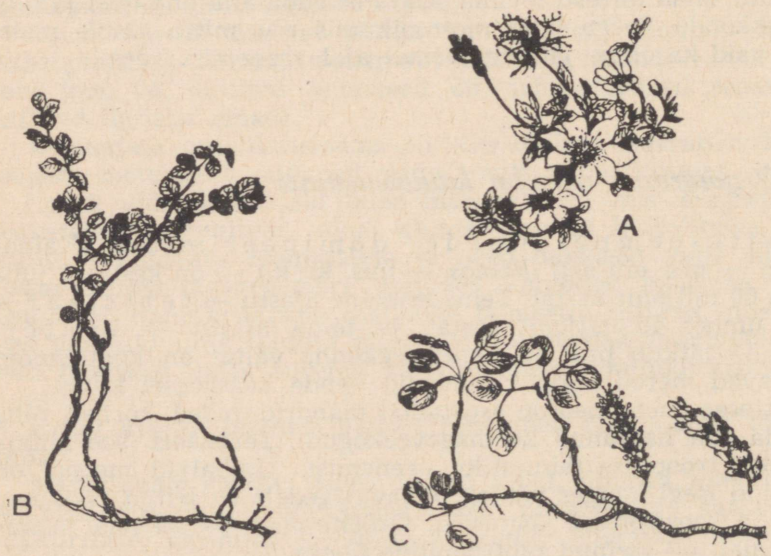
Tertsiaari keskpaigas algasid tormilised mäetekkeprotsessid. Seal, kus enne olid laiunud soojad mered, kerkisid nüüd Kau-

kaasia, 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.

Seoses maakoore reljeefi mitmekesistumisega toimus erinevates kohalikes tingimustes kiire vormide idioadaptatsioon. Siberi, Mongoolia ja Põhja-Ameerika tohututel avarustel hakkasid laiuma rohtlad, mis olid kõrvale tõrjunud metsad.

Tertsiaari lõpul ja kvaternaari algul pühkisid Skandinaavia mägedelt allalaskunud jääliustikud oma teel maapinnalt ära kogu elava. Liustike jalameil suutsid alles jääda ainult kääbustaimed, millest on saanud alguse arktiline floora (joon. 52).

Ainult NSV Liidu mäemassiivide mõnes eraldatud nurgakeses — Kaukaasia Musta mere rannikul, Krimmi lõunarannikul, Talõšis, Kaspia mere kallastel ja Ussuuri krais — säilisid otsekui tertsiaari 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 jääliustiku ärasulamist.



Joon. 52. Taimed jääliustiku veerelt: A — drüüas; B — kääbuskask; C — kääbuspaju.

Kvaternaaris toimub kaasaegse taimeriigi lõplik väljakujunemine.

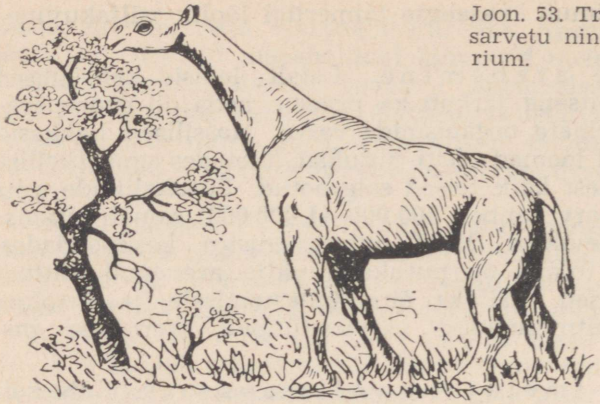
Selgrootute arenemine. Laialt levisid kõhtjalgsed ja karbid. Nende õitseng jätkub ka praegu: koda oli suurepäraseks kaitseks kõrgemate organismide vastu. Massiliselt hakkasid arenema lülijalgsed loomad, eriti putukad, ületades oma liigilise mitmekesisuse poolest kõik teised selgrootud. Putukaliikide mitmekesisus (liikide arv umbes 800 000—1 000 000) annab tunnistust nende laiast levikust Maal mitmesugustes keskkondades. Loodusliku valiku toimel on putukatel välja arenenud mitmesugused kohastumised, näiteks õite külastamisele ja õietolmu edasikandmisele, mitmesugused värvusetüübid, keerulised instinktid jne.

Lindude ja imetajate valitsemisaeg. Kainosoikumi alguses saavutasid püsisoojased selgroogsed — linnud ja imetajad — valitseva positsiooni Maa loomariigis. Püsisoojasus võimaldas lindudel ja imetajatel ellu jääda jääaja tingimustes ning tungida edasi külmadesse maadesse. Kesknärvisüsteemi, eriti peaaju ja meeleorganite progressiivne arenemine, tugev luustik ja lihastik kindlustasid neile võimaluse edukaks olelusvõitluseks kõige erinevamates tingimustes. Mõlema rühma õitsengule aitas palju kaasa ka see, et nad lahknesid erinevatesse keskkondadesse: õhku ja maismaale. Veekeskkonnas on esindatud nii ühed kui teised. Selgroogsete loomade arenemise tipuks on imetajad. Olles algul tekkinud väikeste putuktoiduliste vormidena, divergeerisid nad hiljem mitmesugustes suundades, eriti jäsemete ja hammastiku ehituse osas. (Tooge selle kohta näiteid erinevatest kaasaegsetest imetajaterühmadest.)

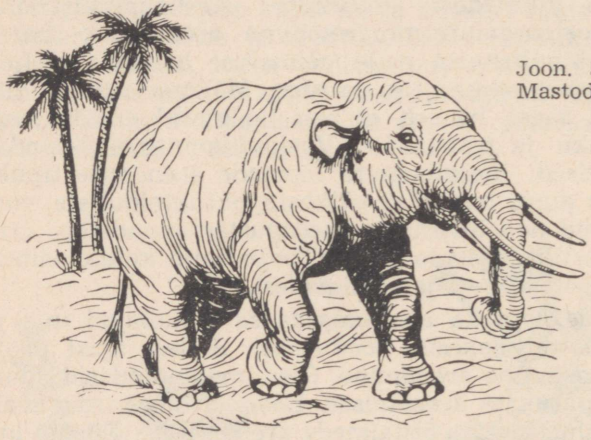
Seoses õistaimede lopsaka arenemisega said imetajad uue ja oma koostiselt väga mitmekesise söödabaasi. Sellest ajast peale algabki imetajate tormiline arenemine. Õistaimed etendasid suurt osa ka lindude ja putukate arenemises. Loomad omakorda avaldasid erakordselt tähtsat mõju õistaimede arenemisele. Piisab, kui meenutada taimede mitmesuguseid kohastumisi viljade ja seemnete levitamiseks lindude ja imetajate abil. Imetajate seast eraldusid rühmad, kellest said alguse kaasaegsed närilised, putuktoidulised, käsitiivalised, vaalalised, sõralised, kiskjalised, primaadid jt.

Tertsiaari kõige suurematekс imetajateks olid mõõkhambuline tiiger, viie meetri kõrgune sarvetu ninasarvik, aga ka mastodon ja dinoteerium, kaasaegsete elevantide sugulased (joon. 53 ja 54).

Primaatide ja inimese ilmumine. Tertsiaari metsades elasid väikesed sabaga leemurid ja pikakannalised. Need olid ahvide esivanemateks. Kolmkümmend miljonit aastat tagasi ilmusid metsadesse parapiteekused (*para* — kõrval, juures; *pithekos* — ahv; kr. k.), umbes kassisuurused loomad, kes elasid



Joon. 53. Triiase ajastu. Gigantne sarvetu ninasarvik — indikoteerium.



Joon. 54. Triiase ajastu. Mastodon.

puudel ja toitusid taimedest ning putukatest. Nendel olid samasugused hammastega lõualuud 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.

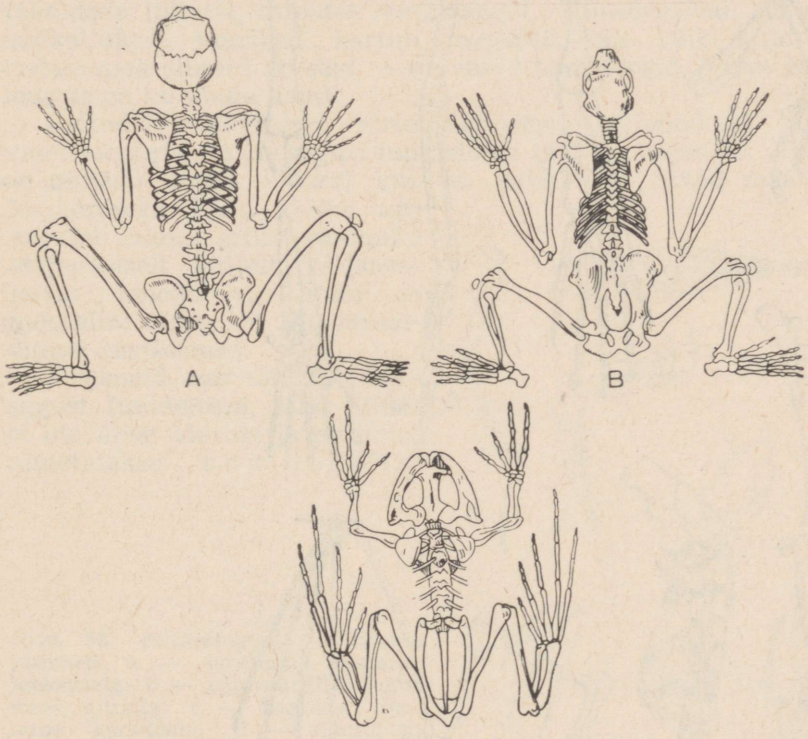
Jääaegadel elasid Maal mammutid, koopakarud, koopalõvid, kelle keha oli kaetud pikkade karvadega.

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

21. Jooni kaasaegsete loomade ja taimede ehituses, mis tõestavad nende ajaloolist arenemist

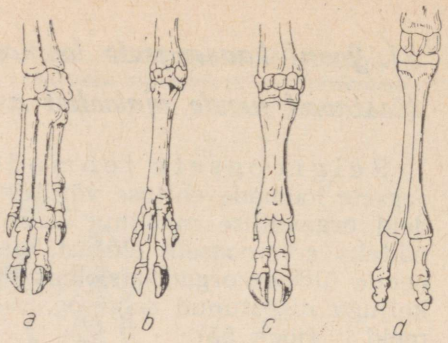
Selgroogsete loomade ehituse üldplaan. Kaasaegsete loomade ehituse võrdlev uurimine annab veenvaid tõendeid orgaanilise maailma ühtse päritolu kohta. Kui võrrelda näiteks selgroogsete ehitust, on kerge kindlaks teha sarnasust nende üldises organisatsioonis: kahekülgne sümmeetria, kehaõõs, koljuga liigestunud selgroog, pea- ja seljaaju, kaks paari jäsemeid jt. (joon. 55).

Homoloogia ja analoogia. Ühist ehitusplaani omavate vormide üksikorganite võrdlemisel tuleb ilmsiks hämmastav sarnasus. Tuletage meelde, millistest luudest koosnevad selgroogsete loomade eesjäsemed. Viimased arenevad sarnastest

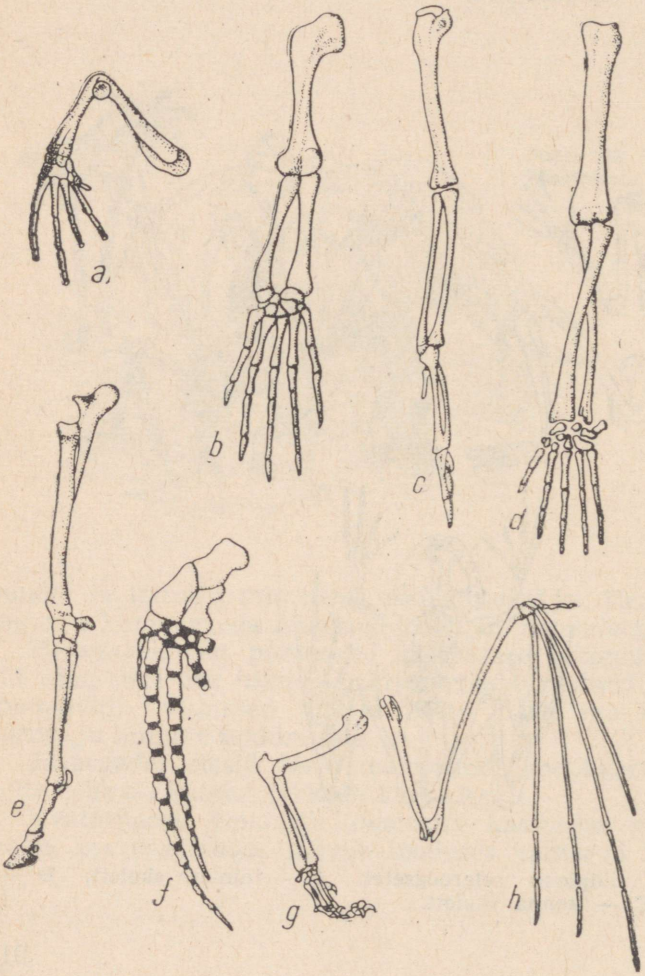


Joon. 55. Ehituse üldplaan selgroogsetel: A — inimese skelett; B — šimpansi skelett; C — konna skelett.

Joon. 56. Paariskabjaliste eesjäseme skelett: a — siga; b — veis; c — metskits; d — kaamel.



Joon. 57. Mitmesuguste selgroogsete loomade eesjäseme skelett: a — konn; b — varaan (reptiil); c — linnu tiib; d — ahv; e — hobune; f — vaal; g — kass; h — nahkhiir.



algetest loodetel. Organeid, mis vastavad üksteisele ehituse ja päritolu poolest, nimetatakse homoloogilisteks. Vaadelge jooniseid 56 ja 57, näidake, millised luud on homoloogilised; märkige ära erinevused, mis on seotud kohastumisega erineva eluviisiga ja järelikult seotud ka erineva funktsiooniga.

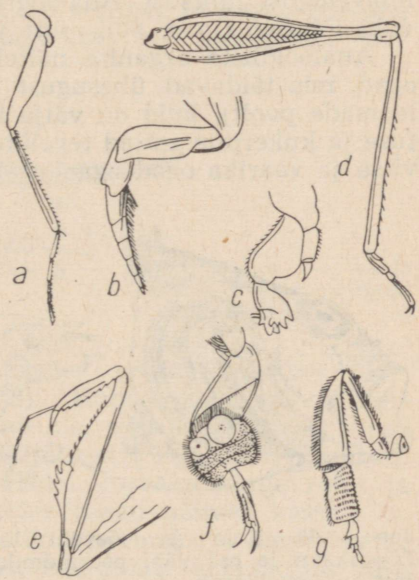
Jäsemeluude täielikku vastavust üksteisega, hoolimata mõningatest erinevustest kujus, mõõtmetes ja arvus, saab seletada üksnes nende ühtse päritoluga: kõik nad on välja kujunenud kaasaegsete selgroogsete loomade ühiste eellaste primitiivsest jäsemest. Selgroogsete ees- ja tagajäsemed on samuti homoloogilised. Homoloogia esineb ka putukate jäsemetes. (Näidake joon. 58, millised osad on homoloogilised.)

Homoloogilisi elundeid täheldatakse ka taimedel (joon. 59). Nii on põldherne köitraod, kukerpuu ja kaktuse astlad tegelikult moondunud lehed.

Juba poeet ja filosoof-looduseuurija Goethe tõestas, et õie osad — tupplehed, kroonlehed, tolmukad ja emakat moodustavad viljalehed — on kõik moondunud lehed. Õie metamorfoosi võib täheldada liiliatel, tulpidel, vesiroosidel. Kuutõverohu, sõnajala, maikellukese juurikad, kartuli mugulad, mis kõik kujutavad endast maa-aluseid võrseid — on varre homoloogid. Varre homoloogiks on ka sibula kand.

Paljudel erinevatesse süstemaatilistesse rühmadesse kuuluvatel loomadel on ühesugust funktsiooni täitvaid organeid. Näiteks on niihästi linnul, liblikal kui ka nahkhiirel tiivad määratud lendamiseks. Kuid liblika tiib kujutab endast erilist rindmiku seljapoolselt küljelt väljaarenevat moodustist, linnu ja nahkhiire tiivad on aga muundunud eesjäsemed.

Organeid, mis täidavad ühesugust funktsiooni, kuid millel ei ole ühist ehitust ja päritolu, nimetatakse analoogilis-

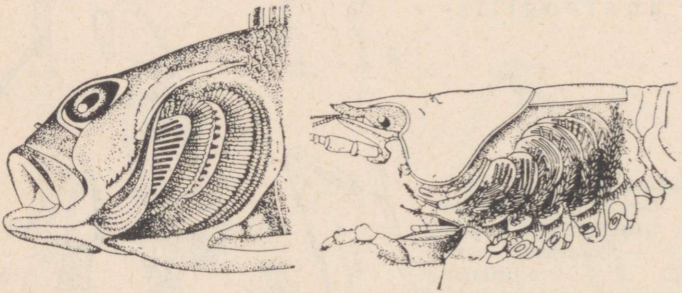


Joon. 58. Mitmesuguste putukate jäsemed: a — tarakani eesmine jooksujalg; b — ujurmardika tagumine ujujalg; c — kaerasori eesmine kaevejalg; d — rohutirtsu tagumine hüppejalg; e — palvetaja eesmine haardejalg; f — isase ujurmardika eesjalg; g — mesilase tagajalg.

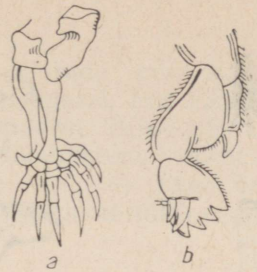
Joon. 59. Homoloogia taimedel: a — põldherne köitraod — lehtede homoloogid; b — kukerpuu astlad — lehtede homoloogid; c — kuutõverohu juurikas — varre homoloog.

t e k s. Organismidevahelise suguluse kindlakstegemisel ei ole neil mingisugust tähtsust. Analoogilisteks organiteks on kala ja jõevähi lõpused (joon. 60), muti ja kaerasori jäsemed (joon. 61).

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.



Joon. 60. Kala ja jõevähi lõpused. Lõpuskaan ja osa vähi pearindmiku kilbist on eemaldatud.

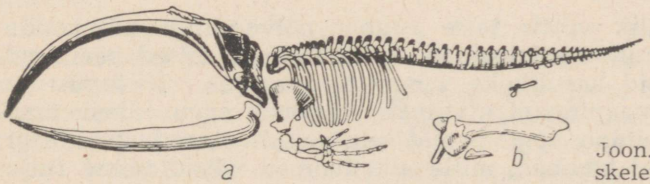


Joon. 61. Jäsemed: a — mutil ja b — kaerasoril.

Mandunud elundid ja atavismid. Orgaanilise maailma ühtse päritolu tõestamiseks on eriline tähtsus mandunud elunditel. Mandunud ehk vestigiaalseteks elunditeks nimetatakse niisuguseid organeid, mis ajaloolise arenemise käigus on minetanud oma esialgse tähtsuse ning asuvad hääbumise staadiumis. Näiteks on jalutul vaskussil säilinud mandunud õlavööde. Lindudel on säilinud eesjäsemes ainult 1., 2. ja 3. varvas, neist esimene ja kolmas aga on moondunud väikesteks luukesteks. Mandunud elunditeks on ka veise ja sea teine ja viies varvas, vaala vaagna- ja tagajäseme luud (joon. 62).

Mandunud elundite olemasolu võib seletada ainult selliselt: kaugetel esivanematel olid need organid normaalselt arenenud ja funktsioneerisid; evolutsiooniprotsessi käigus nad kaotasid hiljem oma bioloogilise tähtsuse, taandarenesid ja säilisid jäänuste kujul.

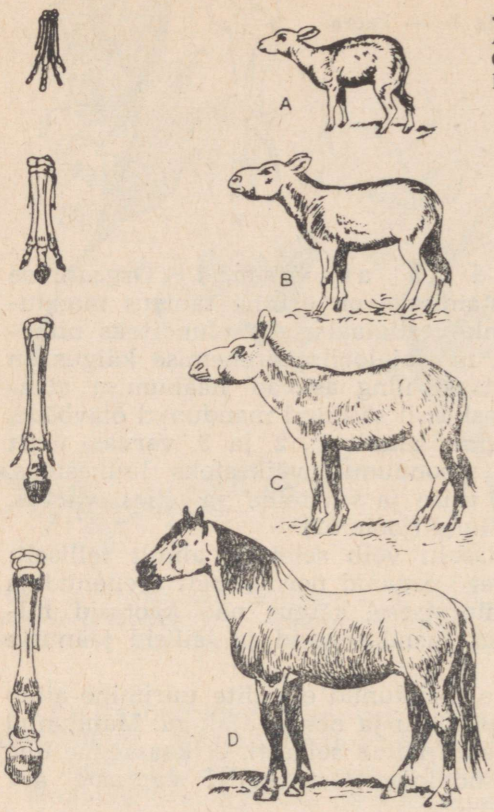
Homoloogiliste organite ja mandunud elundite uurimine aitab välja selgitada organismide päritolu ja nende ajalugu. Mandunud varvaste olemasolu hobuse jalal näitab selgesti, et kaasaegne ühe varbaga hobune on põlvnenud loomadest, kellel varvaste arv oli suurem.



Joon. 62. a — vaala skelett; b — mandunud vaagnaluud.

Vene teadlane V. Kovalevski taastas paleontoloogiliste leidude alusel hobuse ajaloo (joon. 63). Hobuse kõige vanem esivanem oli kasvult ainult rebase suurune, tal olid neljavarbalised tagajäsemed ning rohusööjatele tüüpilised kühmulised hambad. Ta elas sooja ja niiske kliimaga aladel, lopsaka kõrge rohu ja põõsaste keskel; liikus edasi hüpeldes (nagu näiteks kassid).

Tertsiaari lõpuks muutus taimestik kuivemaks ja karedamaks; lagedatel stepiavarustel võis vaenlase eest pääsu leida üksnes kiire jooksu abil, sest teisi kaitsevahendeid neil loomadel ei olnud.



Joon. 63. Hobuse evolutsioon: A — eohippus; B — merühippus; C — hipparion; D — kaasaegne hobune.

Looduslik valik võttis teise suuna: põlvkonnast põlvkonda säilisid nüüd ainult need loomad, kelle individuaalsed pärilikud muutused osutusid kasulikeks uutes tingimustes. Niisugusteks muutusteks oli maapinnani ulatuvate varvaste arvu vähenemine ja jalgade pikenemine; tugevnenud selgroog, mis soodustas kiiret jooksu; kurrulised hambad, mille abil loomad võisid toime tulla isegi juurteni ära kuivanud rohuga. Toimus nende loomade organismi täielik ümberkorraldus.

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-

nematele iseloomulike tunnuste ilmumine. Näitena võib tuua mõnikord lehma udaral esinevat kolmandat 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.

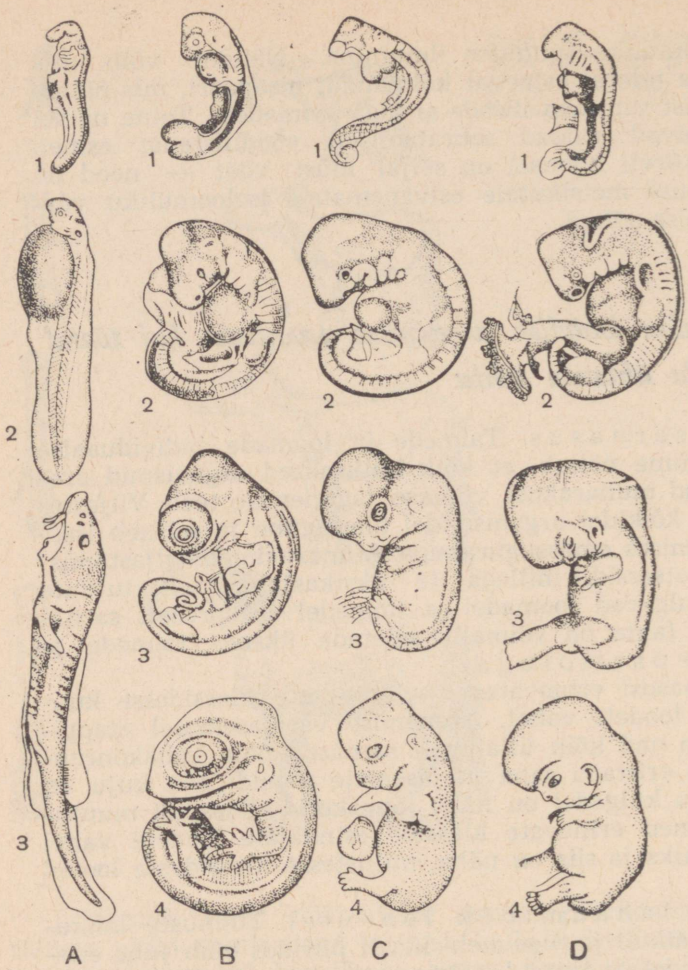
22. Organismide lootelise arenemise sarnasus kui tõend nende päritolu ühtsuse kohta

L o o d e t e s a r n a s u s. Taimede ja loomade individuaalse arenemise uurimine näitab, et kõik hulkraksed organismid arenevad viljastatud munarakust viimase jagunemise teel. Viljastamise olemus on kõikidel organismidel ühesugune ja seisneb isassuguraku ühinemises emassugurakuga. Munarakkude viljastamis- ja jagunemisprotsessid, millega te üksikasjalikumalt tutvute VII peatükis, kulgevad loomadel ja taimedel erakordselt sarnaselt. Kõiki neid fakte on võimalik seletada üksnes taimede ja loomade ü h i s e p ä r i t o l u g a.

Jälgime sarnasust erinevatesse selgroogsete klassidesse kuuluvate loomade loodete vahel. Arenemise varajasematel etappidel (joon. 64) on nad kõik üllatavalt sarnased oma kehakontuuridelt, neil võib eristada saba ja jäsemete algeid; pea kuju on ühesugune; neelu külgedel on näha lõpuskotid. Edaspidi muutuvad sarnasusjooned erinevate klasside esindajate loodete vahel vähemmärgatavaiks ja siis on näha, millistesse klassidesse looted kuuluvad.

T u n n u s t e l a h k u m i n e k l o o d e t e l. Tunnuste lahkuminek loodetel jätkub ja tugevneb: klassi piirides võib juba eristada seltside esindajate looteid (jälgige seda joon. 64 järgi). Järkjärgult ilmuvad perekonna ja liigi tunnused. Joon. 65 on näha, et gorilla ja inimese looted on esialgu omavahel sarnased. Järkjärgult hakkab aga inimlootel laup üha rohkem ettepoole ulatuma, kuna seevastu gorilla lootel muutuvad üha märgatavamateks etteulatuvad lõualuud. Taolist lahkuminekut täheldatakse kõikide selgroogsete loomade individuaalses arenemises.

B i o g e n e e t i l i n e s e a d u s. Faktid sarnasuse kohta lootelise arenemise varajastel staadiumidel ning tunnuste lahkumineku kohta arenemise hilisematel etappidel leidsid esmakordselt üldistamist vene teadlase Karl Baeri poolt (1828). K. Baer esitas oma seisukohad järgmiste teesidena: 1) «Iga suurema loomarühma üldine moodustub lootes varem kui eriline»; 2) «Üldisemast... moodustub vähem üldine jne., kuni lõpuks tekib kõige erilisem». Kaasaegsete süstemaatiliste kategooriate suhtes raken-

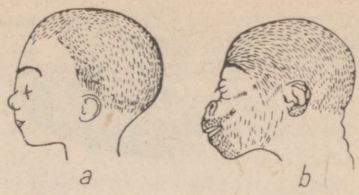


Joon. 64. Mitmesuguste selgroogsete loomade loodete võrdlemine erinevatel arenemisstaadiumidel: A — kala: 1 — raikala loode; 2 — tuurakala maim teisel päeval pärast marjaterast väljumist; 3 — sama 28. päeval; B — sisalik; C — küülik: 1 — 10-päevane loode; 2 — 11-päevane loode; 3 — 15-päevane loode; 4 — 17-päevane loode; D — inimene: 1 — 18—20-päevane loode; 2 — 27—30-päevane loode; 3 — 35-päevane loode; 4 — 52—54-päevane loode.

datuna tähendab see seda, et kõigepealt ilmuvad lootele hõimkonna, seejärel klassi, seltsi, hiljem aga perekonna ja liigi tunnused.

XIX sajandi teisel poolel formuleerisid kaks saksa teadlast F. Müller ja E. Haeckel niinimetatud biogeneetilise seaduse.

Selle olemus seisneb järgnevas: iga isendi individuaalne are-



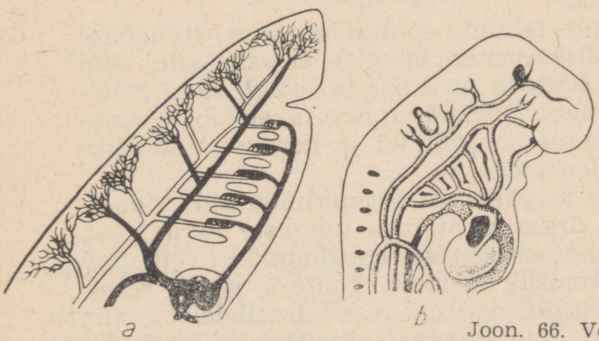
Joon. 65. Inimese (a) ja gorilla (b) loote pea. Kõrvuti sarnasusega on selgesti märgatavad ka erinevused, eriti karvkatte paigutumises ja näoosade ehituses.

nemine on selle liigi ajaloolise arenemise lühike kordamine, millesse antud isend kuulub.

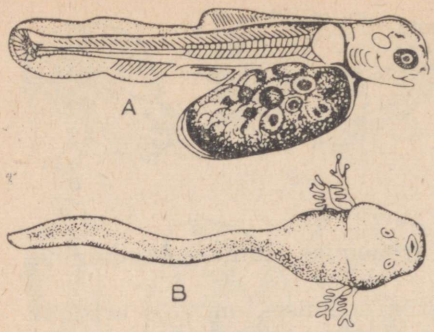
Haeckel arvas, et individuaalses arenemises on vaja eristada kahte liiki tunnuseid: ühed neist on ürgse päritoluga ja kordavad kaugete esivanemate ehituse iseärasusi, teised on hilisema päritoluga ja kujutavad endast kohastumusi lootelise arenemise tingimustele. Esimest laadi tunnuste näiteks võivad olla kõikide maismaaselgroogsete loodetel esinevad veresooned, mis nagu kalade lõpusarterid lähtuvad südamest (joon. 66), aga samuti lõpuspilud ja saba inimlootel. Ükski neist organeist loodetel ei funktsioneeri ja nende 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 kesti imetajate ja lindude loodetel, «nokka» roomajate loodetel, mille abil viimased end vabastavad munakestadest. Taolised tunnused, pärast seda, kui nad on täitnud oma osa lootelise arenemise perioodil, hiljem kaovad, kuid Haeckeli arvates raskendavad nad antud liigi ajaloolise arenemise uurimist (joon. 67 ja 68).

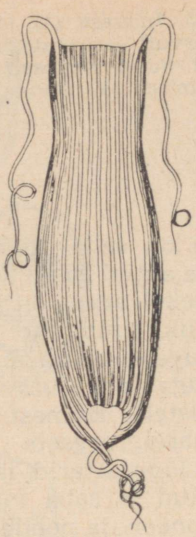
Biogeneetiline seadus on kohandatav ka taimedele. Vahtra, leedripuu, pihlenela ja vaarika pungade arenemisel võib märgata



Joon. 66. Vereringesüsteem hail (a) ja inimlootel (b). Nagu kalal, nii lähevad ka inimlootel lõpuspilude vahelt läbi lõpusarterid.



Joon. 67. Kohastumine looteseisundile: A — forellil — rebukott; B — konnakullesel — iminapad, lõpused, saba.



Joon. 68. Hai muna niidikujuliste jätketega, mille abil muna kinnitatakse veealuste taimede külge.

pungasoomuste üleminekut lehtedeks; kevadel võib ühel ja samal vahtraoksal täheldada kõiki üleminekuid soomuselt lehele. Hortensia õiepungade tupplehed on rohelised, mis näitab, et nad on tüüpiliselt lehtse päritoluga (pärast nad muutuvad värvuselt valgeks, roosaks jne.).

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

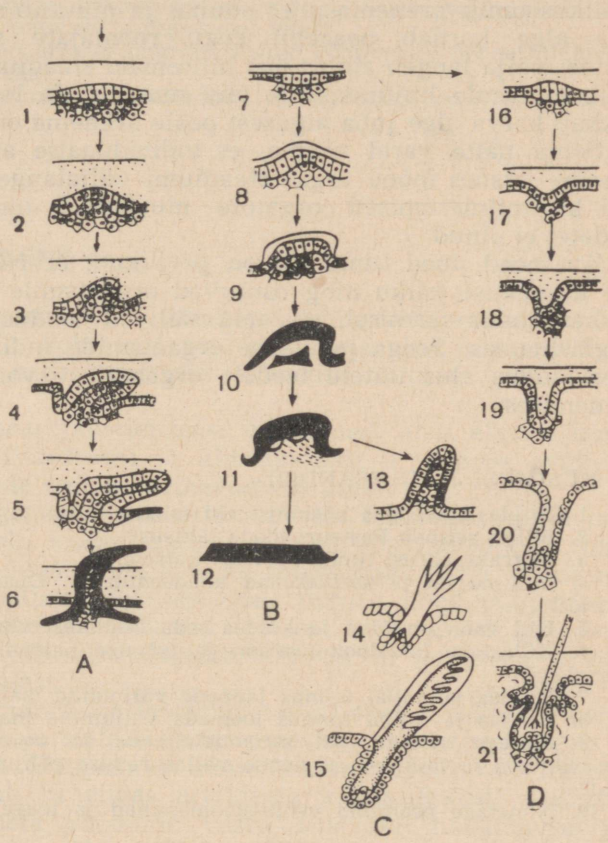
K a a s a e g s e d s e i s u k o h a d b i o g e n e e t i l i s e s e a d u s e k o h t a. Paljud teadlased on biogeneetilist seadust edasi arendanud ja täpsustanud, mistõttu kaasaegsed ettekujutused sellest on oluliselt muutunud.

Uurimistega on kindlaks tehtud, et individuaalse arenemise käigus ei korrata mitte täiskasvanud kaugete esivanemate, vaid nende loodete tunnuseid. Näiteks on imetaja lootel süda kahekambriline ning tal on olemas lõpuspilud. See tähendab, et imetaja individuaalses arenemises on säilinud ja korduvad staadiumid, mis on ühised kalade loodetega.

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 l a n g e v a d mõned esivanemate poolt läbitud staadiumid nende järglaste individuaalsest arenemisest v ä l j a. Selgitame seda näite varal. Tingituna jäsemete puudumisest tulenevatest iseärasustest edasiliikumisel suurenes mao selgroolülide, roiete ja lihassegmentide arv evolutsiooniprotsessis mitmekordselt, võrreldes samade ehituselementide arvuga nende



Joon. 69. Nahamoodustiste arenemine selgroogsetel: A — luusoomused; B — sarvsoomused; C — suled; D — karvad. 1—6 — soomuste arenemine hail; 7—12 — soomuste arenemine sisalikul; nende arenemiskäik on muutunud keskmistes staadiumides. 13—15 — sule arenemine; esialgu sule arenemine kordab roomajate soomuste arenemisteed (7—11), kuid viimastes staadiumides toimub muutus ning sule arenemine läheb uut teed mööda (13—15). 16—21 — karva arenemine; karva arenemine ei korda muude nahamoodustiste arenemisstaadiume, vaid kulgeb juba kõige varasematest staadiumidest alates omaette suunas.

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.

Väljalangemine võib toimuda erinevatel individuaalse arenemise staadiumidel. Joon. 69 on näha, et sisalikusoomuse arenemises korduvad ainult varajased tunnused, mis on iseloomulikud kalasoomuse arenemisele, keskmised ja hilised staadiumid aga langevad välja. Ühest keskmisest staadiumist alates hakkab sisalikusoomus arenema uues suunas ja muutub sarvjaks. Linnusule alge kordab peaaegu kogu roomajate soomuse arenemistee; välja langeb ainult üks hilisemaid staadiume, mille käigus tekib linnusule kujunemisele viiv muutus. Ja lõpuks, imetajatel hakkab karva alge juba algusest peale arenema omaette teed pidi.

Sama näite varal näeme, et individuaalse arenemise käigus ei esine üksnes mõne ürgse staadiumi väljalangemist, vaid tekivad ka mitmesugused organite muutused, mida esivanemate loodetel ei olnud.

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

KÜSIMUSI JA ÜLESANDEID.

1. Kuidas tõlgendas küsimust elu tekkimise kohta F. Engels?
2. Milles seisneb Pasteuri tööde tähtsus?
3. Korrake pärast tunde Pasteuri katseid.
4. Millised on põhiseisukohad akadeemik A. Oparini elu tekkimise teoorias?
5. Kui vana on Maa ja kuidas seda kindlaks tehakse?
6. Külastage koduloomuuseumi ja tutvuge paleontoloogiliste kollektsioonidega.
7. Kuidas ja millal toimus taimede väljumine maismaale?
8. Kuidas ja millal toimus loomade väljumine maismaale?
9. Millega seletub paljasseemnetaimede ja roomajate valitsemine mesosoikumis ja millised on nende väljasuremise põhjused selle aegkonna lõpul?
10. Nimetage peamised evolutsioonisuunad ja tooge nende kohta näiteid.
11. Millega seletada, et katteseemnetaimed on saavutanud valitseva seisundi Maa taimeriigis?
12. Millega seletada imetajate valitsevat positsiooni?
13. Näidake, millised osad joon. 56 toodud selgroogsete loomade jäsemetes on homoloogilised.
14. Nimetage, millised järgmistest organitest on homoloogilised, millised analoogilised: kala, vähi, tondihobu (üks kiililiike) vastsete lõpused; linnu, nahkhiire, mardika tiib; muti, konna. kaerasori eesjäsemed.

15. Tutvuge kollektsioonide abil mitmesuguste putukate (näiteks ujuri, rohutirtsu, kaerasori) jäsemete ehitusega. Nimetage, millised osad on homoloogilised.

16. Tooge näiteid lehe ja varre homoloogide kohta.

17. Tooge näiteid lehe ja varre analoogide kohta.

18. Tooge näiteid mandunud organite kohta loomadel ja taimedel.

19. Koostage kollektsioone, mis illustreeriksid homoloogilisi, analoogilisi ja mandunud organeid taimedel.

20. Koostage kollektsioone, mis illustreeriksid biogeneetilise seaduse kehtivust taimede juures.

21. Kuidas seletada selliseid fakte: 1) angerjas elab jõgedes, kuid kudemiseks suundub merre; 2) lõhe koeb jõgedes, kuigi ise elab meres?

22. Nimetage liblika arenemisstaadiumid ja öelge, mida siin tuleb lugeda esivanemate tunnuste kordamiseks. Miks?

23. Tooge näiteid ürgsete tunnuste kohta. Põhjendage nende kuuluvust ürgsete tunnuste hulka.

24. Milliseid parandusi ja täiendusi tehti teadlaste poolt biogeneetilisele seadusele?

4. peatükk

INIMESE PÕLVNEMINE

Selleks et õigesti mõista maailmas toimuvaid protsesse, määrata kindlaks enda koht looduses, ühiskonna elus ja arenemises, on hädavajalik anda teaduslik lahendus inimese põlvnemise küsimusele.

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 rahva elu 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. Maapeal 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.

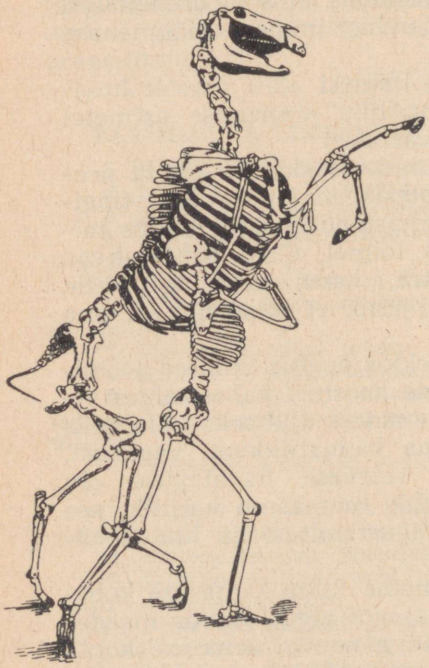
Teaduse arenemisega hakkas kogunema fakte sarnasuse kohta inimese ja loomade ehituses. XVII sajandi algul saabus maadeuurijatelt esimene teade inimahvide ning nende sarnasuse kohta inimesega. Linné ei saanud inimese jaoks leida teist kohta loomariigi süsteemis kui ainult kõrvuti ahvidega. Juba üksnes inimese

ja loomade vahelise sarnasuse tunnistamine, veel enam aga nende lähedus süsteemis viis küsimusele: kas nad pole ka mitte ühise päritoluga?

Pärast C. Darwini raamatu «Liikide tekkimine» ilmumist 1859. aastal hakkasid mõned teadlased Läänes ja Venemaal, kes olid omaks võtnud õpetuse orgaanilise maailma evolutsioonist, seda rakendama ka inimese suhtes. See kutsus esile raevukaid kallaletunge evolutsiooniprintsiibi vaenlaste ja religioosselt häälestatud inimeste poolt. 1871. aastal ilmus trükist C. Darwini teos «Inimese põlvnemine», milles teadlane paljude teaduslike faktidega tõestas inimese põlvnemise loomadest. Selle raamatu ilmumisele järgnenud ajavahemiku jooksul on teaduses aga tehtud veel palju uusi avastusi, mis inimese põlvnemise probleemi on toonud täieliku selguse.

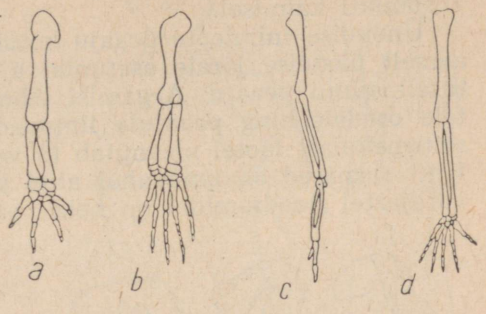
23. Tõendid inimese põlvnemise kohta loomadest

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 osadest (joon. 70), viimased aga omakorda ühtedest ja samadest luudest, kuigi need kuju poolest üksteisest erinevad (joon. 71). Inimene kuulub imetajate klassi, sest tema luustik ja elunditesüsteem on ehitatud nendega ühise plaani järgi, tema looteline arenemine kulgeb emaka sees, tal on diafragma ja piimanäärmed. Sellest räägivad ka teised anatoomilised tunnused: inimesel nagu imetajatel loomadelgi on kolme liiki hambad (purihambad, silmahambad, lõikehambad), kõrvalestad ning kolm kuulmeluud keskkõrvas.



Joon. 70. Ühised jooned inimese ja hobuse ehituses.

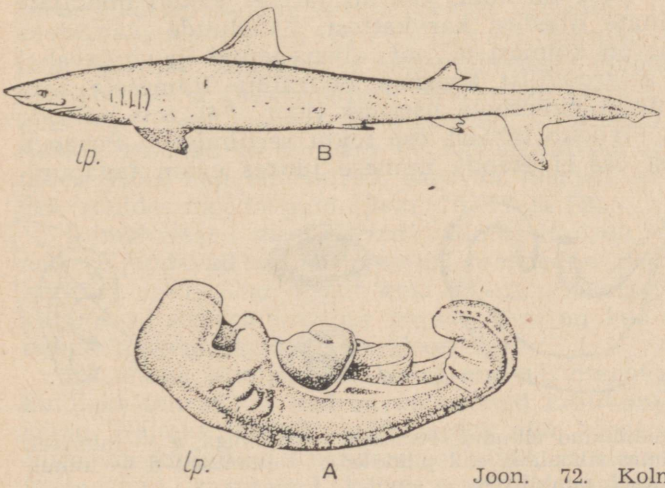
Joon. 71. Eesjäseme skelett: a — salamandril; b — krokodillil; c — linnul; d — inimesel.



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 lõpuspilud, ainult et esimeste juures jäävad nad alles ka täiskasvanuks saades (joon. 72). Inimloote süda kujutab alguses endast pulseerivate seintega torukest, meenutades sel ajal süstikkala «südant». Varajases arenemisstaadiumis on inimlootel kloaak, nii nagu ainupilulistel loomadelgi.

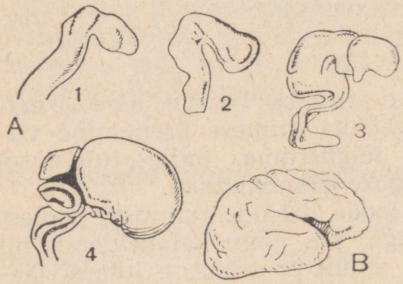
1,5—3 kuu vanusel inimlootel on nagu teistegi selgroogsete loodetel üsna suur saba alge — selgroo jätk, mis hiljem muutub kolmest-neljast väljaarenemata selgroolülist koosnevaks õndraluuks. Suurvarvas on teistest lühem ja asetunud nende suhtes nurga all, nii nagu ahvidel. Täiskasvanud inimesel on suurvar-



Joon. 72. Kolmenädalane loode: A — inimesel; B — hail. lp — lõpuspilud.

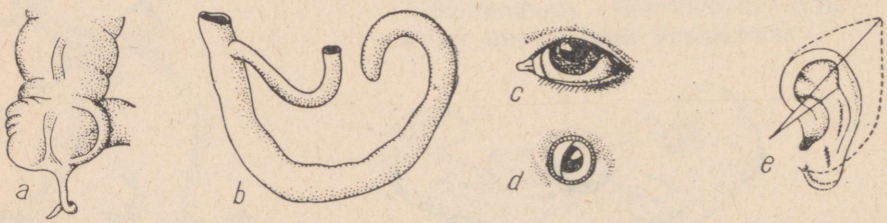
vas teistest pikem, viimastega paralleelne ja kujutab endast toetuspunkti käimisel.

Ühekuise inimloote peaaju koosneb viiest üksikosast — lineaarselt üksteise järele asetunud ajupõiekestest, meenutades ehituselt silmu peaaju. Aegamisi lähenevad suured poolkerad teistele osadele ning peaajule ilmuvad kurrud ja käärud. Kuid ka seitsmekuisel lootel meenutab ta veel paaviani peaaju (joon. 73). Eriti sarnased on omavahel ahvi ja inimese looted. Arenemise varajastel staadiumidel on neid peaaegu võimatu eristada.

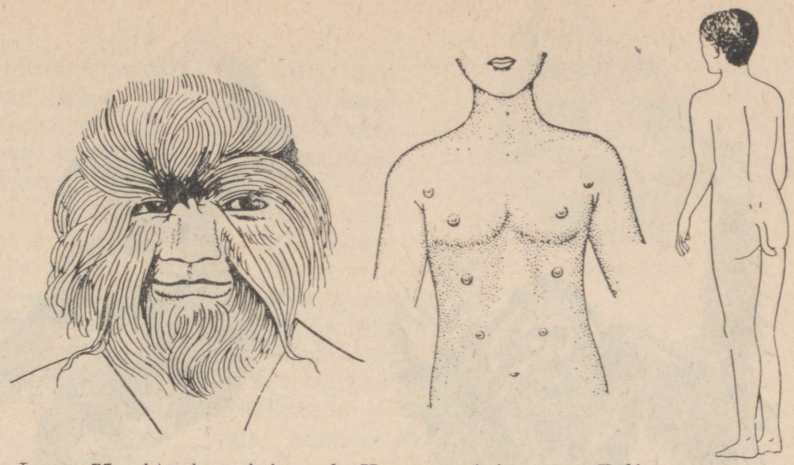


Joon. 73. Inimloote peaaju (A): 1 — kolmenädalasel; 2 — neljanädalasel; 3 — viienädalasel ja 4 — kolmekuisel lootel. B — imiku aju.

Mandunud elundid ja atavismid inimesel. Inimese loomse päritolu tõestamiseks on eriline tähtsus mandunud elunditel. 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 imetajate kaugete esivanemate tihedast karvkattest. Sabaluude jäänusteks inimese luustikus on kolmest-neljast alaarenenud ja omavahel kokkukasvanud selgroolülist koosnev õndraluu. Inimesele tarbetuks on muutunud pimesoole ussripik (joon. 74), mis paljude imetajate juures etendab tähtsat osa toidu seedimisel. Peaaegu mitte mingisugust osa ei etenda inimese juures enam tagapuri-



Joon. 74. Inimese mandunud elundid: Pimesool ussripikuga: a — inimesel; b — kabjalisel. Kolmas silmalaug ehk pilkkile: c — inimesel; d — linnul. Kõrvalest: e — inimesel; punktiiriga — ahvil.



Joon. 75. Atavism inimesel. Karvane inimene. Paljunisasus inimesel. Sabaga poiss.

hambad; rohusööjatele imetajatele on need aga erakordse tähtsusega.

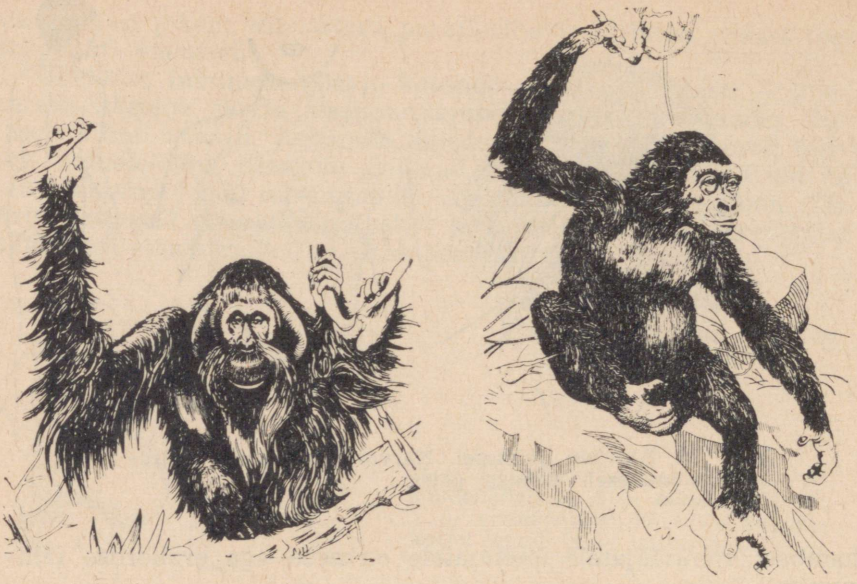
Esineb juhtumeid, kus inimesed sünnitavad iseärasustega, mis kujutavad endast otsekui tagasipöördumist esivanemate ehituse juurde — atavisme. Nii teatakse juhtumeid, kus laps on sündinud sabaga või tiheda karvkattega kaetuna. Esineb inimesi, kellel on rohkem kui kaks rinnanibu (joon. 75).

Kõiki neid fakte võib seletada üksnes inimese loomse päritoluga. Seepärast ka mitte keegi, mitte ükski Darwini vastastest isegi ei proovinud neid oma vastuväidetes evolutsiooniteooria vastu ära kasutada: katsed kirjutada kasutute organite loomine «aruka kõrgema jõu» arvele oleksid osutunud liiga absurdseiks.

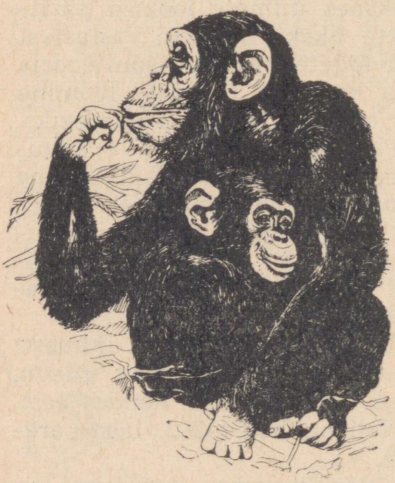
I n i m e n e j a i n i m a h v l a s e d. Inimahvlased — orangutang, gorillad, šimpans ja neile lähedased gibonid seisavad oma kehaehituse ja füsioloogiliste iseärasuste poolest inimesele lähemal kui teised loomad. Orangutang ja gibonid elavad Kagu-Aasias, gorillad ja šimpans — Lääne-Aafrika troopilistes rajoonides. Kõik nad on suured, tugevad loomad, kes elavad metsades, ronides mööda puid (joon. 76, 77 ja 78).

Inimahvlased 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 närvitegevus (joon. 79).

Katsetega inimahvlaste kõrgema närvitegevuse uurimisel on kindlaks tehtud, et nad on võimelised kasutama lihtsamaid tööriistu. 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. 80 ja 81).



Joon. 76. Vasakul orangutang, paremal — noor gorilla.



Joon. 77. Šimpans.

Joon. 78. Gibon.

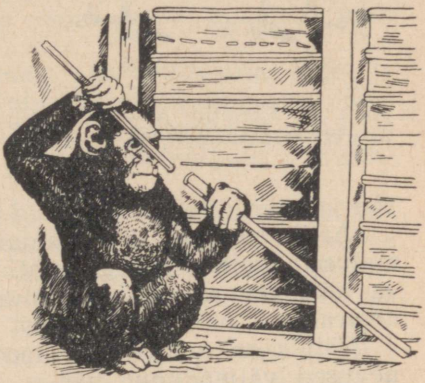
Inimahvlastel ei ole saba; nad võivad käia tagajäsemetel, kuid toetuvad seejuures kätele. Nende varbad ja sõrmed on varustatud samasuguste küüntega nagu inimeselgi, neil on 12—13 paari roideid, 5—6 ristluulüli, lõikehammaste, silmahammaste ja purihammaste arv on niisamasugune kui inimesel. Inimahvlaste ja inimeste luustik ning siseelundid on üksteisega hämmastavalt sarnased. Inimese kõrva, silmade ja naha ehitus on väga sarnane nende elundite ehitusega inimahvlastel. Inimahvlaste punased verelibled ei lagune inimese veres nagu madalamate ahvide verelibled; on ühiseid parasiite — näiteks täi parasiteerib peale inimeste veel ainult inimahvlastel. Kõik see tõestab inimese ning inimahvlaste vaieldamatut sugulust.

Kuid inimese ja inimahvlaste vahel on ka tohutuid erinevusi. Inimese elu aluseks on töö, tööriistade valmistamine ja nende kasutamine. Inimene elab ühiskonnana ja allub viimase arenemisseadustele, s. t. sotsiaal-majanduslikele seadustele.

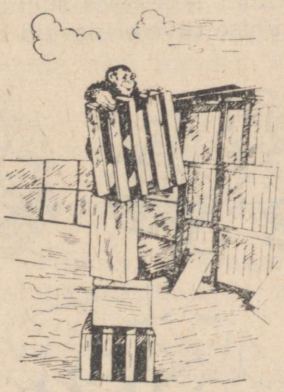
Inimesel on rida anatoomilisi ja füsioloogilisi iseärasusi. Ainult inimene on suuteline käima sirgelt kahel jalal ja kogu tema keha on kohastunud püstikäimisele. Näidake joon. 82, milles seisnevad inimese ja ahvi luustiku sarnasused ning erinevused.

Inimese peaaju ruumala on umbes 1400—1600 cm^3, inimahvlastel aga — 600 cm^3. Inimese peaaju pind on keskmiselt 1250 cm^2, inimahvlastel on see umbes 3,5 korda väiksem. Inimese peaajul on tugevasti arenenud saga-

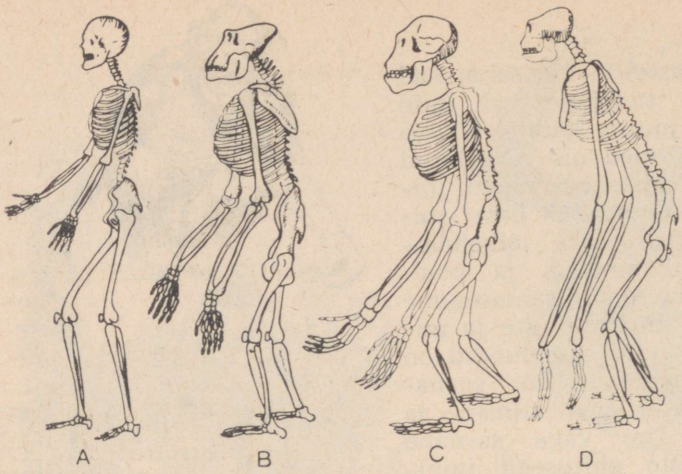
Joon. 79. Noor šimpans.



Joon. 80. Šimpans ühendab kaks bambuskeppi ning kasutab neid siis puuri lakke riputatud banaani kättesaamiseks.



Joon. 81. Šimpans teeb kastidest aluse ning sellele ronides saab siis kätte puuri lakke riputatud banaani.

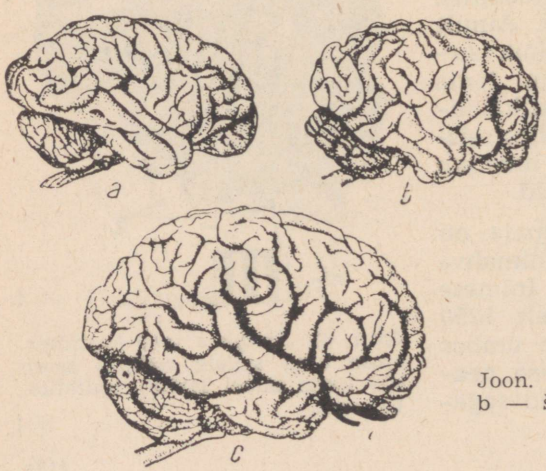


Joon. 82. Skeletid: A — inimesel; B — gorillal; C — noorel orangutangil; D — gibonil.

rad ja käärud; eriti arenenud on lauba- ja oimusagarad (joon. 83).

Artikuleeritud kõne valdamine andis inimesele parimad võimalused liigikaaslastega suhtlemiseks, ta osutus võimeliseks eluja töökogemusi põlvest põlve edasi andma ja neid talletama, abstraktselt mõtlema, teadust ja kunsti arendama.

Tähtis on märkida, et loodetel ja varajases lapseeas on erinevused väljendunud vähem teravalt kui täiskasvanud inimesel ja inimahvlastel. Vanuse suurenemisel iga inimahviliik ühtede tunnuste poolest muutub nagu inimesele lähedasemaks, teiste tunnuste poolest aga nagu eemaldub. Ükski neist inimahvlastest ei ole inimese otseseks esivanemaks. Inimene ja inimahvlased on omavahel lähedases suguluses, kuid nad kujutavad endast sugupuu ühise tüve erinevaid harusid.



Joon. 83. Aju: a — organgutangil; b — šimpansil; c — inimesel.

24. Töö osa ahvi kujunemisel inimeseks

F. Engelsi tööteooria. Darwin tõestas veenvalt, et inimene on põlvnenud ahvitaolisest esivanemast. Kuid ta ei suutnud selgitada, missugused põhjused aitasid kaasa ahvi muutumisele inimeseks ning mil viisil toimus ahvikarja muutumine inimühiskonnaks.

Õige teadusliku seletuse nendele küsimustele andis F. Engels oma töös «Töö osa ahvi kujunemisel inimeseks», mille ta kirjutas 1876. aastal. Sel ajal oli teaduse käsutuses veel suhteliselt vähe andmeid inimese fossiilsete esivanemate kohta. Hiljem on rohkearvulised ürginimeste luujäänuste ja tööriistade leiud hiilgavalt kinnitanud Engelsi teose üldidee ja tema poolt maalitud pildi õigsust.

F. Engels lähtus järgnevast: inimene on ühiskonna liige ja allub tema arenemise seadustele. Inimühiskonna iseloomulikuks põhitunnuseks on tema liikmete töö. Kõik inimkonna materiaalse ja vaimse kultuuri saavutused on paljude ja paljude põlvkondade töö tulemus.

Kui loomad ainult kasutavad loodust ja tema ande, siis inimene muudab loodust töö abil. Tööriistade valmistamine ja nende kasutamine ning inimühiskonnas välja kujunenud 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».

F. Engels, viidates C. Darwini teooriale, arvab, et inimese esivanemaks olid juba tertsiaari ajastul elanud kõrgelt arenenud inimahvlased. Viimased elasid puu otsas, olid koondunud karjadesse ning toitusid viljadest, lehtedest, putukatest ja väikestest lindudest. Edasi liikusid nad mööda puude oksi ronides, kasutades selleks nii ees- kui ka tagajäsemeid.

Esimene otsustav samm üleminekul ahvist inimesele seisnes selles, et ahvid hakkasid käimisel mööda maad vähem toetuma kätele, omandades üha püstisema kõnnaku. Ürgahvi üleminek püstikäimisele oli seotud vajadusega üle minna elult puudel elule avamaastikul.

Seoses kliima jahenemisega toimus tertsiaari ja kvaternaari ajastu vahemikul põhja- ja lõunalaiustel metsade arvu vähenemine.

Ekvatoriaalvööndis aga, vastupidi, atmosfäärisademete hulk suurenes ja metsataimestiku arenemine jätkus. Sealsetes metsades on inimahvlased säilinud kuni meie ajani.

Täiesti teistsuguseks kujunes ahvide arenemine Aafrika põhja- ja lõunalaiustel. Suur hulk neist suri metsade kadumisel välja,

osa aga oli sunnitud siirduma maapealsele eluviisile. Maapinnal tuli ahvidel pidada halastamatut olelusvõitlust paljude teiste loomadega, kes seal elasid juba varem. Ühtedel neist loomadest olid võimsad kihvad ja teravad küüned, teised jooksid kiiresti, kolmandad olid tugeva jõuga — loodusliku valiku teel olid nad kõik kohastunud eluga avamaastikul. Ahvid ei suutnud nendes suundades ühegagi neist võistelda.

Kuid ahvidel olid hästi arenenud viievarbalised jäsemed ning nende koljuõõne maht oli keha üldmõõtmetega võrreldes märgatavalt suurem kui teistel loomadel. Juba puudel elades oli ahvidel välja arenenud võime orienteeruda ümbritsevates tingimustes, samuti võime haarata ülajäsemetega — kätega — esemeid ja neist kinni hoida. Need iseärasused aitasid maapinnale laskunud ahvidel loodusliku valiku protsessis ellu jääda ning viisid keppide ja kivide kasutamisele enesekaitseks ja toidu hankimiseks. Teised loomad seda teha ei saanud.

Uutes tingimustes osutus kahel jalal kõndimine ilma kätele toetumata üha kasulikumaks. Sedamööda kuidas maapealsed ahvid omandasid püstise kõnnaku, muutus ka kogu nende organisatsioon. Vaagen laienes, selgroog omandas S-kujulise kõveruse, põid muutus võlvjaks. Need uued iseärasused kehaehituses kandusid pärilikult edasi ja kinnistusid valiku käigus.

K ä s i — t ö ö o r g a n j a p r o d u k t. Peamine oli aga see, et tänu püstikäimisele vabanes käsi järk-järgult vajadusest toetada keha. Käe vabanemine aitas kaasa püstise kõnnaku omandamisele, pidevalt täiustuv püstine kõnnak aga vabastas käe üha rohkem ja rohkem. Käe vabanemisega võisid meie ahvitaolised esivanemad hakata vaenlase tõrjumiseks loopima kive ja oksi, rebida puuokstelt vilju, välja kaevata taimede maa-aluseid söödavaid osi jne. Funktsioonide jaotus ees- ja tagajäsemete vahel iseloomustab ka kaasaegseid ahve. Kätega nad rebivad ja toovad suu juurde vilju, pommitavad oma vaenlasi viljade, kaigaste ja kividega, ehitavad pesi ja varjualuseid. Nad on võimelised seisma püsti ja käte abita isegi lühikesi vahemaid läbima.

Kuid erinevus inimese ja inimahvi käe vahel on tohutu suur: mitte ükski ahv ei s u u d a v a l m i s t a d a ka kõige primitiivsematki kivinuga või kivikirvest. Kulus aastatuhandeid, enne kui meie esivanemad suutsid lihtsast looduslike esemete kui tööriistade kasutamisest üle minna nende valmistamisele.

Töö sai alguse kivist noa- või kirvetaolise riista valmistamisest, kuid kuna ahvid elasid k a r j a d e n a, siis oli töö kohe algusest peale oma iseloomult ü h i s k o n d l i k.

Tööriistade — malakate, kivide — kasutuselevõtmisega meie ahvitaolised esivanemad otsekui tugevdasid ning pikendasid oma käsi. Tänu sellele muutusid nad teiste loomade jaoks hirmuäratavateks olenditeks, sest nad olid viimaste ees saavutanud suured eelised. Käsi omandas töö protsessis üha suurema paind-

likkuse, põlvest põlve täiustudes uute operatsioonide käigus. Engels rõhutab, et käsi ei olnud mitte ainult töö organiks, vaid ka selle produktiks. Kuid see, mis tuli kasuks käele, täiustas ka kogu organismi, suurenes peaaju kaal, tema peenstruktuur muutus keerulisemaks, arenesid meeleelundid.

Lisaks sellele leidsid järgnevate põlvkondade poolt kasutamist ja täiustamist ka vanemate ning vanavanemate kogemused looduslike materjalide otsimisel ja nende töötlemisel.

Mitmekülgse toidu ja tule tähtsus. Maapinnal kohtasid meie kauged esivanemad palju mitmekesisemat taimtoitu võrreldes sellega, millest neil tuli toituda elamisel puu otsas. Arheoloogide poolt leitud muistsed tööriistad on peaaegu eranditult olnud jahipidamis- ja kalapüügivahendid, järelikult hakkasid meie esivanemad kasutama lihatoitu. Toidu mitmekesisus, eriti selle rikastamine kala ja lihaga, soodustas peaaju ning lihasejõu arenemist, kiirendades sellega ka inimeseks muutumise protsessi. Toiduvalmistamine tulel vähendas organismi energiakulusid seedimisele ja toidu omastamisele, loomade kodustamine aga kindlustas pidevad toiduainete varud ning andis ka uue tähtsa toiduaine — piima.

Artikuleeritud kõne ja sotsiaalsete seaduspärasuste tekkimine. Arheoloogilised väljakaevamised näitavad, et esimesed, veel kujunemisstaadiumis olevad inimesed olid *ühiskondliku* eluviisiga. Ühine jahilkäimine, kaitse organiseerimine metsloomade eest, eriti aga ühine töö lähendas inimesi üksteisele. Üha keerulisemaks muutuvad tööoperatsioonid, üha uued ja uued materjalid tööriistade ja tarbeesemete valmistamiseks, kõne tekkimine — kõik see aitas kaasa peaaju ja meeleelundite arenemisele.

Samal ajal aga stimuleeris peaaju, mõtlemise ja teadvuse arenemine töö ja kõne täiustumist.

Nii lahkusid inimese ahvitaolised esivanemad, tänu tööle, loomariigi arenemisteedelt ning alustasid erilist *inimese* arenemisteed 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 mitte ainult looduse andide kokkukogumisega — taimede korjamisega, jahipidamisega, kalapüügiga, vaid ka toiduproduktide tootmisega — maaharimisega, loomakasvatusega. Ilmusid tarbeesemete valmistamisega seotud tööharud: ketramine, kangakudumine, pottsepatöö, metallide töötlemine jne. Tekkisid kaubandus, kunst, religioon, teadus. Suguharudest moodustusid rahvused ja riigid.

25. Inimese paleontoloogiline ajalugu

Inimese ja inimahvlaste ühised esivanemad. Esimeste väikeste imetajate — putuktoiduliste (vt. lk. 86) hulgast eraldus mesosoikumis rühm niisuguseid loomi, kel ei olnud ei teravaid hambaid ega küüsi, ei tiibu ega kapjasid. Nad elasid nii maapinnal kui ka puude otsas, toitudes viljadest ja putukatest. Sellest rühmast saidki alguse harud, mis viisid poolahvide, ahvide ja inimese tekkimisele (joon. 84).

Kõige ürgsemaks kõrgematest ahvidest, kellest on alguse saanud inimese esivanemad, peetakse tertsiaari ajastu keskpaigas elanud ahve. Neist on põlvnenud kaasaegsete gibonite ja orangutangide ning väljasurnud puuahvide — drüopiteekuste esivanemad. Drüopiteekustest arenesid edasi kolm haru, mis viisid šimpansi, gorilla ja inimese tekkimisele. On leitud jäänuseid drüopiteekuste ehk puuahvide hulka kuuluvatest gigantopiteekustest, kelle kõrgus ulatus nelja meetrini. Taoliste loomade jäänuseid on leitud ka NSV Liidu territooriumil Gruusias (Udabno küla lähedal).

Aafrikas on leitud jäänuseid australopiteekustest (*australis* — lõunapoolne, lõuna, lad. k.) — kõndimisel veidi ettepoole kallutatud kehahoiakuga kahejalgsetest olenditest. Nende kolju sarnanes inimese omaga, kuid peaaju kaalus ainult umbes 650—700 g. Oma üldilmelt nad juba lähenesid inimesele. Hiljem on australopiteekuste jäänuseid leitud paljudes idapoolkera kohtades.

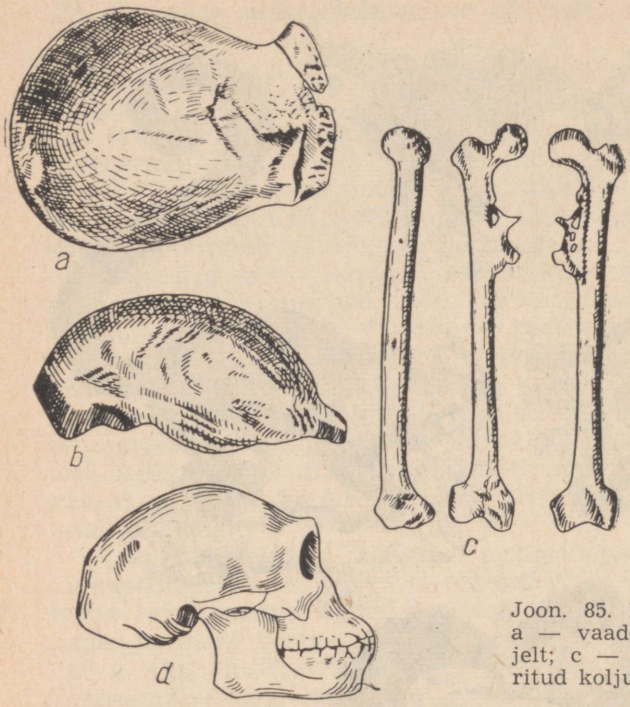
Vanimad ürginimesed. Erakordselt huvitavad olid inglise teadlase Louis Leakey leiud Olduvai mäekurus Tanganjiika põhjaosas (Ida-Aafrika). Teadlane leidis kolju, hammaste, sääreluu kilde ja tööriistu — teritunud kujuga veerkive, mis olid mõlemalt poolt 4—5 löögiga maha löödud. Nende leidude vanuseks määrati üle kahe miljoni aasta. Sindžantropus, nii nagu teda nimetama hakati (*zinjan* — Ida-Aafrika muistne araabiakeelne nimetus; *anthropos* — inimene, kr. k.), oskas valmistada kivist tööriistu, kuid ta ei tundnud veel tuld. Otsustades suurte, sileda mälumispinnaga hammaste järgi, pidi ta olema põhiliselt taimetoitlane. Arvatakse, et jahiriistadeks olid tal kivid ja bola — kimp pikkade rihmade külge kinnitatud raskeid kive, mis looma jalgadesse visatuna mässis end nende ümber. Sindžantropus pidas jahti sebradele, antiloopidele, krokodillidele, isegi dinoteeriumidele, hoolimata viimaste poolteisemeetri pikkustest kihvadest.

Need olid kõige vanemad ürginimesed Maal. Leiud Tanganjiikas on väga tähtsad, sest nad kinnitavad töö osa ahvi muutumisel inimeseks. L. Leakey poolt leitud jäänused erinevad morfoloogiliselt vähe inimahvide jäänustest. Järelikult ei väljendunud nendevaheline piir mitte niivõrd anatoomilises

Joon. 84. Kaasaegsed poolahvid — leemurid (Madagaskari saarelt).

ehituses, kuivõrd esimeste teadvuse välgatuste ilmumises, sest sindžantropus oli võimeline valmistama tööriistu, olgugi et need olid üliprimitiivsed.

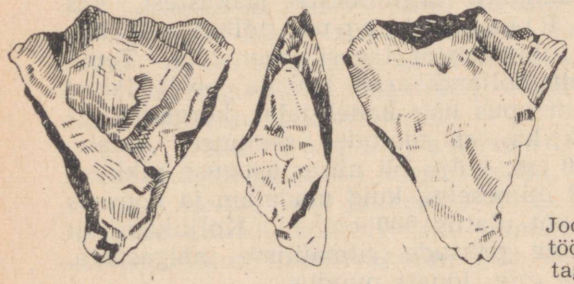
On teada teisi leide vanimate ürginimeste jäänustest, kes elasid hilisemal ajajärgul. Pitekantropus (tõlkes — ahvinimene) elas umbes 550 tuhat aastat tagasi (joon. 85). Tema jäänuseid leiti esmakordselt hollandi arsti Dubois' poolt Jaava saarelt 1891. aastal. Pitekantropus käis kahel jalal, kergelt ettekummardunult 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.



Joon. 85. Pitekantropus. Koljukaas: a — vaade ülalt; b — vaade küljelt; c — reieluud; d — restaureeritud kolju.

Inimese esivanemate järgmisest arenemisetapist räägivad sinantropuse — hiina inimese leiud, kes elas veidi hiljem pitekantropusest. Tema jäänused leiti Pekingi lähedalt aastatel 1928—1932.

Väliselt meenutas sinantropus üsna paljuski pitekantropust: laup oli madal, tugevasti arenenud silmaüliste mõigastega, alumine lõualuu massiivne, hambad suured, lõuats puudus. Sinantropused kasutasid tuld ja oskasid seda alal hoida. Nad riietusid arvatavasti loomanahkadesse, mida nad hankisid jahipidamisega. Väljakaevamistel leiti tuhahunnikuid, söestunud oksi,

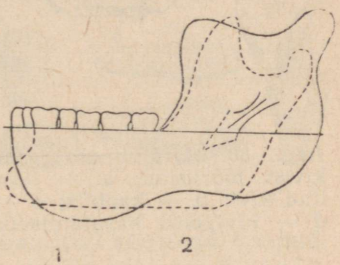


Joon. 86. Sinantropuse kivist tööriist. Vaade eest, küljelt ja tagant.

kohmakaid kivist tööriistu ja palju mitmesugustele loomadele kuulunud toruluid, põletamise ja töötlemise jälgedega põdrasarvi, palju suurte loomade koljusid. Tööriistad tehti kivist, luust, sarvest (joon. 86).

1907. aastal leiti Heidelbergi lähedal Saksamaal väga massiivne alalõualuu, millel lõuats küll puudus, kuid mis oli varustatud niisamasuguste hammastega, nagu inimeselgi. Heidelbergi inimene elas umbes 400 tuhat aastat tagasi (joon. 87).

Meie esivanemate täielikult säilinud luustikke, töö- ning tarbeesemeid leitakse koobastest, kus nad otsisid varju külma ja metsloomade eest ja kuhu nad matsid oma surnuid.



Joon. 87. Heidelbergi inimese alalõualuu. Alalõualuu kontuurid: 1 — heidelbergi inimesel (pidev joon); 2 — kaasaegsel inimesel (punktiir).

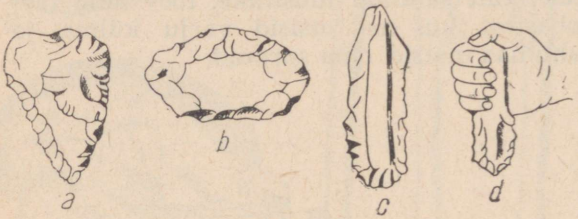
Ürginimesed. Euroopa, Aasia ja Aafrika koopaladestike kõige alumistest kihtidest on leitud hulgaliselt täiskasvanud ja lapseeas neandertallaste luid (Neanderi jõeoru järgi Saksamaal, kus 1856. aastal esmakordselt leiti seda tüüpi inimeste jäänuseid). Arvatakse, et neandertallased elasid Lääne-Euroopas umbes samal ajal, kui sinantropused Aasias.

Neandertallased olid meist väiksema kasvuga, rässakad (mehed keskmiselt 155—158 cm pikad), liikusid edasi veidi küürutõmbunud asendis. Laup oli ikka veel madal, veidi libajas; kulmukaar oli tugevasti välja arenenud, alalõualuul lõuats puudus või oli ainult nõrgalt arenenud. Kolju keskmine maht oli umbes 1400 cm^3, kuid ajukäärusid oli vähem kui meil. Selgroo kõverus nimmepiirkonnas oli väiksem kui kaasaegsel inimesel, kuid käsi oli juba täielikult inimkäe taoline.

Neandertallased 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. Keskmistes ja ülemistes koopaladestikes on leitud mitmesuguse pikkuse ja paksusega ränikivist esemeid — nuge, kaabitsaid, noole- ja odaotsi (joon. 88). Pole kahtlust, et neil oli ka puust tööriistu, kuid need ei ole säilinud.

Kolju ja näoluude ehituse järgi oletatakse, et omavahelises suhtlemises kasutasid neandertallased žeste, artikuleerimata häälitsusi ning ka artikuleeritud kõnet. Nad elasid rühmiti, 50—100

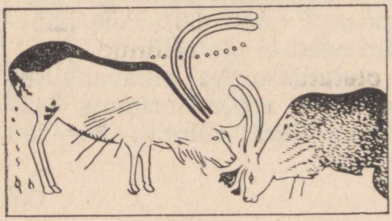
inimest üheskoos. Mehed pidasid jahti metsloomadele; naised ja lapsed korjasid söödavaid juuri ja vilju; vanemad ja kogenumad valmistasid tööriistu. Neandertallased riietusid loomanahkadesse ja kasutasid tuld. Selle arenemisstaadiumi lõpul hakkasid inimesed oma surnuid matma, varustades neid toidutagavaradega ning kõige paremate tööriistadega «hauataguse elu» jaoks. Nii tekkisid esimesed religiooni alged.



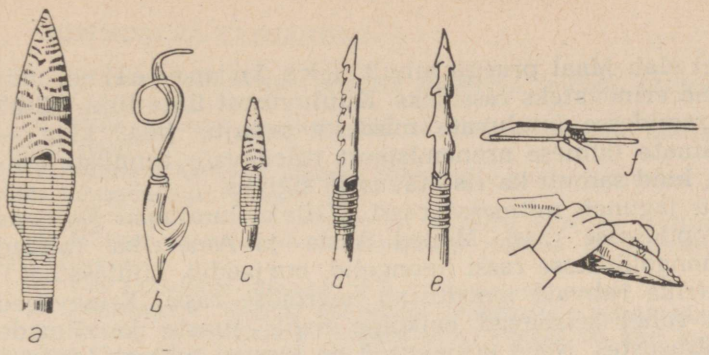
Joon. 88. Ürginimese primitiivsed kivist tööriistad: a — teravaotsaline kivi; b — kaabits; c — peitel; d — kivipeitli kasutamisviis.

Joon. 89. Fossiilsete inimeste koljud: a — pitekantropus; b — sinantropus; c — neandertallane; d — kromanjoonlane.

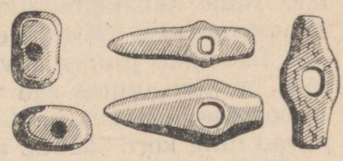
Kaasaegse inimese fossiilne vorm. On teada suur hulk luustike, koljude ja tööriistade leide, mis pärinevad veel hiljem, ligikaudu 50 000—30 000 aastat tagasi elanud inimestelt — kromanjoonlastelt (esimese leiukoha nime järgi Crô-Magnoni lähedal Lõuna-Prantsusmaal). Nad olid kasvult kuni 180 cm pikad ja väliselt peaaegu ei erinenud kaasaegsetest inimestest: laup oli kõrge ja sirge, kolju maht kuni 1600 cm^3, tihe silmaüline kulmukaar puudus. Hästiarenenud lõuatsiogad viitavad artikuleeritud kõne kõrgele tasemele (joon. 89).



Joon. 90. Põhjapõtrade kujutis, joonistatud kormanjoonlase poolt koopa seinale.



Joon. 91. Kromanjoonlase tööriistad: a — puust käepidemega otsik; b — luust konks; c — kivist otsik; d-e — sarvest harpuunid; f — odaviskeriist.



Joon. 92. Lihvitud kivist haamrid ja kirved.

Nende elamuiks olid muldonnid, täismaalitud seintega koopad. Tööriistad olid tehtud sarvest, luust ja ränikivist, nende valik oli suur ning nad olid kaunistatud nikerdustega. Maalingud koopaseintel — jahiepisoodid, rituaalsed tantsud, inimeste ja jumalate kujutised — olid tehtud ookri ja teiste muldvärvidega või olid lihtsalt sisse kraabitud (joon. 90). 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. 91 ja 92). Ta hakkas kodustama loomi ja astus esimesi samme maaharimise alal.

Kromanjoonlased hakkasid elama sugukondadena. Meie kauged esivanemad, olles saanud alguse loomariigist, muutusid pikaajalise inimeseks kujunemise protsessis kaasaegseteks inimesteks. Juhtivaiks ja määravaiks said sotsiaalsed faktorid ja seadused. Selles seisnebki inimese evolutsiooni kvalitatiivne omapära võrreldes loomade evolutsiooniga.

26. Inimrasside päritolu ühtsus

Kogu inimkonna arenemistee oli ühine — evolutsioon toimus töö kaudu, ühiskonna organisatsiooni ja arenemise kaudu. Kui inimesed olid juba küllaldaselt 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, mis on jagunenud erinevateks rassideks. Kuuluvusest ühte liiki näitab kõikidesse rassidesse kuuluvate inimeste peaaju, jala, käte — kõigi tähtsamate inimese arenemisteest tulenevate tunnuste ehituse ühtsus, kuid samuti ka ristatavus ja sigivus.

Inimsugu jaguneb mitmesse rassi. Näiteks kuuluvad Euroopa rahvad europiidsesse rassi. Mõned Aasia ja Ameerika rahvad kuuluvad mongoliidsesse rassi (mongolid, burjaadid, hiinlased jt.). Enamik Aafrika rahvaid moodustab negroidse rassi. Erinevused inimrasside vahel seisnevad eelkõige naha, juuste ja silmade värvuse 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. Loomade juures viivad rassid liikide ja alamliikide tekkimisele, inimese juures aga rasside eraldatus ja nendevahelised morfoloogilised erinevused, tänu sotsiaalsete suhete arenemisele, vähenevad ning kord saabub aeg, mil nad täielikult kaovad.

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

Rassistid ei tunnusta rasside ühtset päritolu. Nende arvamuse järgi on europiidne rass põlvnenud neandertallastest, mongoliidne rass — sinantropusest, negroidne 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 vähemusrahvuste majanduslik ja kultuuriline õitseng NSV Liidus pärast Suurt Sotsialistlikku Oktoobrirevolutsiooni.

Viimastel aastatel aset leidnud 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. Millised teaduslikud andmed tõestavad inimese põlvnemist loomadest?
2. Mille poolest on kahjulik religioosne õpetus inimese loomisest jumala poolt?
3. Milliseid tõendeid inimese põlvnemise kohta loomadest tuleb lugeda kõige tähtsamateks? Miks?
4. Näidake erinevusi inimese ja inimahvi luustiku ehituses.
5. Millega on seletatavad erinevused inimese ja inimahvi kõrgemas närvitegevuses?
6. Kas kaasaegne inimahv võib muutuda inimeseks?
7. Jutustage F. Engelsi tööteooria tähtsamatest seisukohtadest.
8. Kuidas te mõistate F. Engelsi sõnu: «Seega on käsi ka töö produkt ja mitte üksnes töö organ?»
9. Mil viisil inimese fossiilsed jäänused kinnitavad F. Engelsi teooria õigsust?

2. Rakk ja organismide individuaalne arenemine

5. peatükk

RAKUÕPETUS

27. Elu rakulised ja mitterakulised vormid

Rakulised vormid. Enamiku meie planeeti asustavate elusorganismide ehituse ja arenemise aluseks on rakk. Inimene, suured imetajad, hiiglapuud, põõsad, vetikad ja isegi palja silmaga nähtamatud ainuraksed ja bakterid — kõik need mitmekesised organismid sarnanevad üksteisega oma rakulise ehituse poolest.

Rakk on elusolendite ehituse põhiühikuks. Kõikide organismide rakud sarnanevad üksteisega ehituselt, keemiliselt koostiselt ja keemiliste reaktsioonide iseloomult. Just rakulise ehituse tõttu võime rääkida kogu meie planeedi orgaanilise maailma sügavast ühtsusest.

Rakkude arvult jagatakse organismid kahte suurde rühma — üherakulisteks ja hulkrakseteks.

Üherakulised organismid. Üherakuliste organismide ehitus on lihtne: nende keha koosneb ainult ühest rakust. Üherakuliste organismide hulka kuuluvad bakterid ja ainuraksed. Bakterid moodustavad üherakuliste organismide väga laialdase rühma. Nende näiteks võivad olla mitmesugused kokid, spirillid, kepikesed ja teised. Ainuraksete hulka kuulub väga palju zooloogia kursusest tuntud loomi: amööbid (joon. 96, h), infusoorid (joon. 96, i), silmviburlased (joon. 28) jt. Bakterite ja ainuraksete suurust, nagu ka enamiku hulkraksete organismide rakkude suurust mõõdetakse mikromeetrites (mikronites)[1].

Hulkraksed organismid. Hulkraksete taimede ja loomade keha koosneb tohutust arvust rakkudest, mis täidavad erinevaid funktsioone ja moodustavad mitmesuguseid kudesid ja organeid. Nimetage hulkraksete organismide — taimede, loomade ja inimese kudesid!

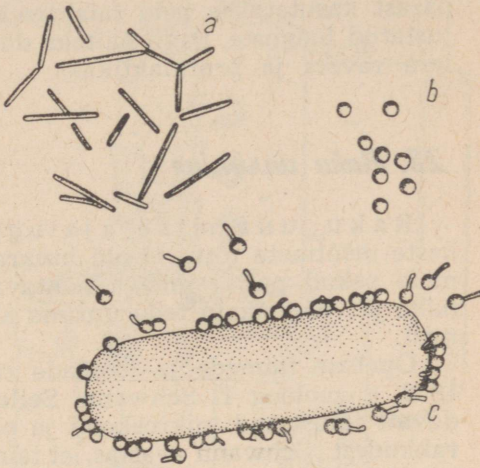
Rakkude arv sõltub organismi enese suurusest ja muutub vanusega, suurenedes organismi kasvades ja arenedes. Näiteks on

[1] Mikromeeter (μm) = üks tuhandik millimeetrit = (mikron).

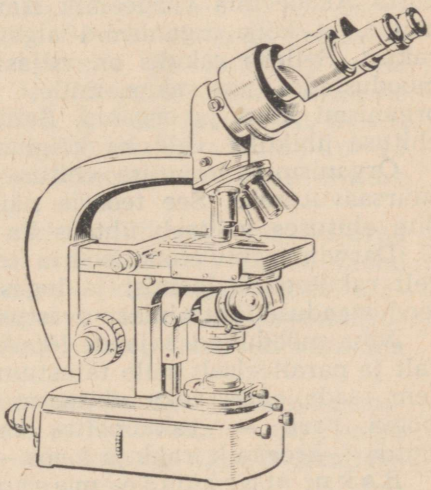
arvutatud, et vastsündinud lapsel on umbes 2 000 000 000 000 rakku, keskmise kasvuga täiskasvanud inimese kehas on aga umbes 60 000 biljonit rakku. Kuid igal hulkraksel organismil, sealhulgal ka inimesel, toimub kogu elu jooksul pidev rakkude vahetumine — ühed rakud surevad, teised jagunevad ja asendavad hukkunud rakke.

Mitterakulised vormid. Peale üherakuliste ja hulkraksete organismide tuntakse looduses ka suurt elusolendite rühma, millel ei ole rakulist ehitust. Neid organisme nimetatakse viirusteks (*virus* — lad. k. mürk; joon. 93). Viiruste olemasolu avastas esimesena vene õpetlane D. Ivanovski 1892. a. Viirused ei ole iseseisvad organismid. Nad on võimelised elama ja paljunema ainult taimede ja loomade rakkudes. Viiruste mõõtmed on rakkude mõõtmetest palju väiksemad ja neid mõõdetakse nanomeetrites[1]. Näiteks on gripiviiruse läbimõõt 80 nm. Viirustel puudub rakkudele tüüpiline ehitus (joon. 93, c).

Inimese, loomade ja taimede keharakkudesse sattudes põhjustavad viirused palju ohtlikke haigusi ja kahjustavad inimese tervist ning rahvamajandust. Viirused on selliste haiguste tekitajaks, nagu gripp, leetrid, poliomüeliit, rõuged. Nad kutsuvad esile mõningaid haigusi ka taimedel. Sellise haiguse näiteks võib olla tubaka mosaiiktõbi, millest nakatatud taimede lehed on mosaiiksed ja tugevasti muutunud, persiku kollatõbi jt. (joon. 93 a, b). Esineb ka bakterirakkudel elutse-



Joon. 93. Viirused: a — tubaka mosaiigiviirus; b — gripiviirus; c — bakteriofaagidest ümbritsetud bakter. Bakteriofaagidel on näha pead ja sabakesed.



Joon. 94. Kaasaegne valgusmikroskoop.

[1] Nanomeeter (nm) = tuhandik mikromeetrit.

vaid viirusi. Selliseid viirusi nimetatakse bakteriofaagideks ehk lihtsalt faagideks (*phagos* — kreeka k. õgija). Joon. 93 c võib näha bakteriofaagidest ümbritsetud bakterirakku. Bakteriofaagid hävitavad täielikult bakterirakke, lahustavad neid ja sellepärast kasutatakse neid laialdaselt paljude bakterite poolt põhjustatud haiguste, nagu näiteks düsenteeria, kõhutüüfuse ja koolera raviks ja profülaktikaks.

28. Raku uurimine

Raku uurimise ajalugu. Oma mikroskoopiliselt väikeste mõõtmete tõttu ei ole hulkraksete ja üherakuliste organismide rakud palja silmaga nähtavad. Inimene sai elusat rakku näha ja võis hakata teda uurima alles pärast mikroskoobi leiutamist.

Õpetuse taimede ja loomade rakulisest ehitusest formuleeris 1838. a. zooloog T. Schwann. Selleks ajaks oli juba olemas tunduvalt täiustatud mikroskoop ja oli teada, et taimed koosnevad rakkudest. Schwann avastas, et taimede ja loomade rakud on ehituselt sarnased ja tegi kindlaks, et just nimelt rakk on kõigi organismide üldiseks elementaarseks ehituslikuks üksuseks. Organismide rakulise ehituse teooria esitas Schwann oma klassikalises töös «Mikroskoopilised uurimused vastavusest loomade ja taimede ehituses ja kasvus».

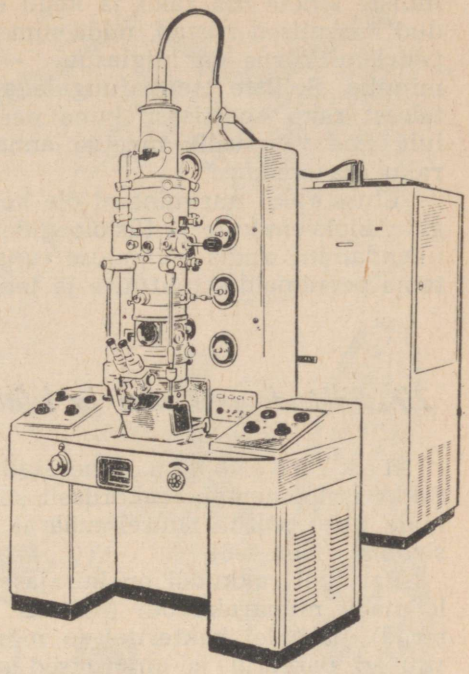
Möödunud sajandi alguses avastas kuulus teadlane, Vene Teaduste Akadeemia akadeemik Karl Baer imetajate munaraku ja näitas, et kõik organismid algavad oma eluteed ühestainsast rakust. Selleks rakuks on viljastatud munarakk, mis jaguneb, moodustades uusi rakke, millest järk-järgult kujunevad tulevase organismi koed ja organid. Sellepärast pole rakk mitte ainult ehituse ühikuks, vaid ka kõigi organismide arenemise ühikuks.

Organismide rakulise ehituse teooria oli XIX saj. bioloogia suursaavutuseks. See teooria näitas, et peale ühtsuse elusolendite ehituses valitseb ühtsus ka nende arenemises, lõi aluse C. Darwini evolutsiooniteooria tekkeks. F. Engels hindas kõrgelt rakuteooria loomist ja luges seda üheks möödunud sajandi loodusteaduse tähtsaimaks avastuseks.

Juba möödunud sajandi lõpuks täiendati mikroskoopi tunduvalt ja paralleelselt selle täiustumisega saadi üha rohkem ja rohkem teada elusa raku ehitusest ja talitlusest. Sündis uus bioloogia haru — rakuõpetus, mida nimetatakse tsütoloogiaks (*cytos* — kreeka k. rakk ja *logos* — teadus).

Raku uurimise meetodid. Kaasaja tsütoloogial on palju uurimismeetodeid, ilma milleta ei saaks selgitada elusate rakkude ehituse ja talitluse detaile. Valgusmikroskoop (joon. 94) suurendab praegusel ajal esemete kujutist kuni 2500 korda. Val-

Joon. 95. Elektronmikroskoop.



gusmikroskoobis kasutatakse esemete valgustamiseks nähtavat valgust.

Raku uurimiseks valgusmikroskoobis tuleb rakk tavaliselt surmata, valmistada sellest mõne mikromeetri paksused lõigud ja värvida neid erinevate värvainetega, mis toovad esile raku põhilised struktuurielemendid.

Täiesti uus ajajärk raku ehituse uurimisel algas elektronmikroskoobi (joon. 95) leiutamisega, mis suurendab esemeid kuni 1 500 000 korda. Elektronmikroskoobis kasutatakse valguse asemel kiirete elektronide kimpu, klaasläätsed on aga asendatud elektromagnetiliste väljadega. Suure kiirusega lendavad elektronid satuvad spetsiaalsele ekraanile ja kutsuvad esile helenduse, mida võib vaadelda ja fotografeerida. Esimene elektronmikroskoop konstrueeriti 1933. a. Eriti laialdaselt hakati neid kasutama bioloogiliste objektide uurimiseks viimase 10—15 aasta jooksul, mille tulemusel laienesid mõõtmatult raku ehituse peendetailide uurimisvõimalused.

Selleks et rakke saaks uurida elektronmikroskoobis, vajavad nad keerulist töötlemist. Rakkudest valmistatakse imeõhukesed lõigud, mille paksus võrdub millimeetri kümnemiljondike osadega[1]. Ainult sellised õhukesed lõigud kõlbavad elektronmikroskoopiliseks uurimiseks ja ainult nende juures õnnestub vaadelda raku pisimate osade ehitust.

Viimasel ajal kasutatakse raku uurimiseks üha rohkem keemilisi meetodeid. Iseseisval keemia harul — biokeemial — on praegu rohkesti väga tundlikke meetodeid, mis lubavad täpselt kindlaks teha mitte ainult keemilist koostist ja ainete hulka, vaid ka kee-

[1] Millimeetri kümnemiljondik osa kannab nimetust ongström.

miliste ainete osa raku ja kogu organismi elutegevuses. On loodud keerulised riistad, mida nimetatakse tsentrifuugideks. Nende pöörlemiskiirus on hiiglasuur — mitukümmend tuhat pööret minutis. Selliste tsentrifuugide abil võib kergesti eraldada üksteisest raku koostisosi, kuna need erinevad teineteisest erikaalult. See väärtuslik meetod annab võimaluse uurida eraldi iga raku osa omadusi.

Elusa raku uurimine ei ole kerge ülesanne ja ainult tsütoloogide, biokeemikute ja füsioloogide jõupingutuste ja hiiglasliku töö ühendamine andis võimaluse tungida elusa raku sisemusse, näha tema peenimaid struktuure ja teha kindlaks nende tähtsus.

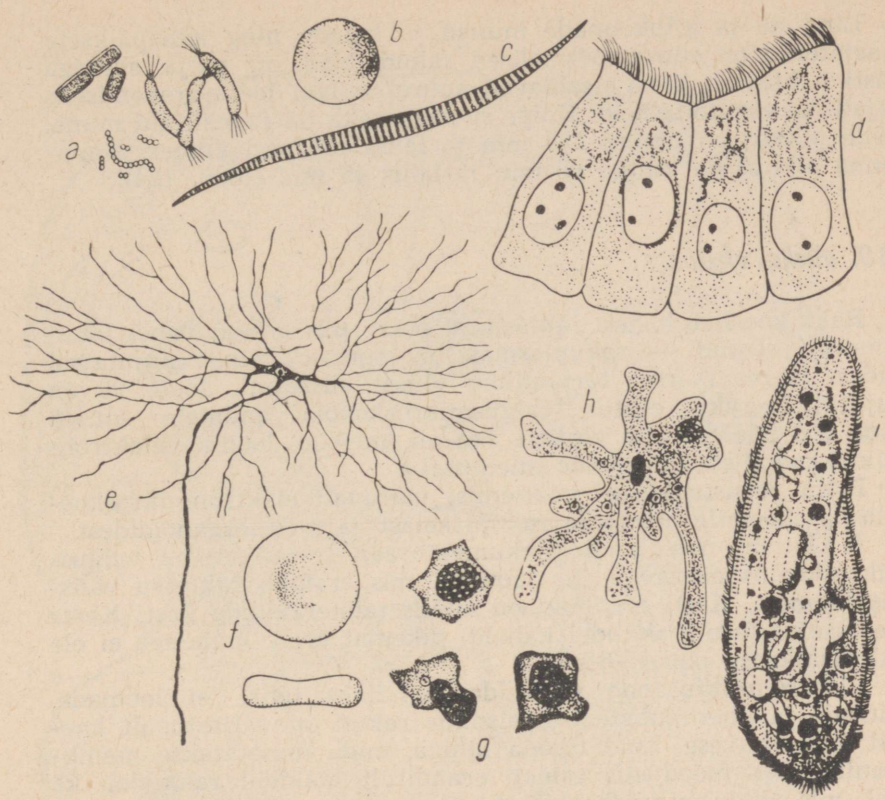
29. Rakkude mõõtmed ja kuju

R a k k u d e k u j u. Üherakuliste ja hulkraksete organismide rakke iseloomustab erakordselt suur vormide mitmekesisus. Rakkude kuju sõltub suurel määral nende poolt täidetavast funktsioonist (joon. 96).

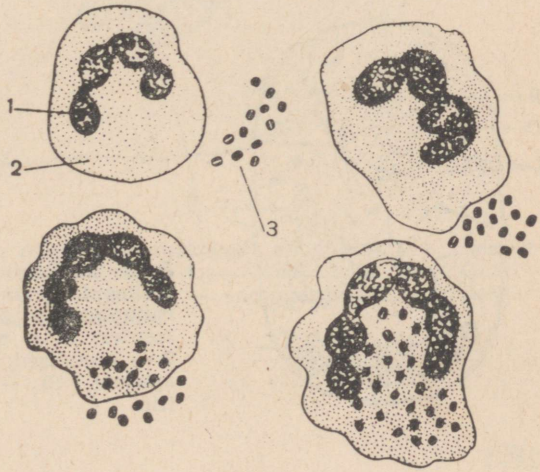
Paljudel rakkudel on kerajas kuju. See kuju esineb paljude loomade munarakkudel (näiteks kalade ja kahepaiksete marjaterad), paljudel bakteritel ja mõnedel ainuraksetel. Vees vabalt ujuvad bakterid ja ainuraksed on varustatud viburite ja ripsmetega.

Loomade ja taimede kattekudede rakkudel on pikaksvenitatud lame või silindriline kuju. Need rakud liibuvad tihedalt üksteise vastu ja moodustavad tiheda pindkihi. Loomade ja inimeste lihasrakkude funktsiooniks on ühes suunas, piki rakku toimuv lühenemine ja neil on pikenenud kuju. Närvirakkude põhifunktsiooniks on erutuste juhtimine — neil on pikad jätked, millel on lõpmed keha kõigis kudedes. Inimese erütrotsüütidel on kaksiknõgusate kettakeste kuju (joon. 96, f). On ka rakke, millel puudub püsiv kuju. Selliste rakkude näiteks võib tuua amööbi (joon. 96, h) ja leukotsüüdi (vere valgelible, joon. 96, g), mis võivad muuta oma kuju vastavalt nende poolt täidetavale ülesandele organismi sattunud bakteri või muu võõrkeha haaramisel.

R a k k u d e m õ õ t m e d. Rakkude mõõtmed on niisama mitmekesised kui nende kujugi. Enamiku rakkude mõõtmed on väga väikesed, mikroskoopilised. Kõige väiksemaid rakke võib leida bakteritel. Nende suurus kõigub poolest kuni viie mikronini. Hulkraksete organismide koostisse kuuluvad erinevate mõõtmetega rakud. Inimese pisimaid rakke võib kohata vere valgeliblede seas. Nende läbimõõt on 3—4 μm, punalibledel — 8 μm, maksarakkude pikkus on umbes 20 μm, katte- ehk epiteelkoe rakud kasvavad 30—50 μm pikkuseks, närvirakkude jätkete pikkus võib aga ulatuda isegi 1 meetrini ja rohkem.



Joon. 96. Rakkude kuju erinevused sõltuvalt nende funktsioonist: a — bakterid: kokid, soolekepike, keha otstes viburitega varustatud spirillid; b — konna munarakk; c — lihasrakk; d — epiteelrakud; e — silma võrkkesta paljude jätketega närvirakk; f — inimese vere punalible; g — inimese valged verelibled (lümfotsüüdid); h — amööb; i — infusoor — kingloom.



Joon. 97. Baktereid neelavad inimese leukotsüüdid: 1 — leukotsüüdi tuum; 2 — rakuplasma; 3 — bakterid (kokid).

Lindude ja kilpkonnade munad ja kalade ning kahepaiksete marjaterad on suuremõõtmelised rakud. Nad on palja silmaga hästi nähtavad, kuna sisaldavad suurel hulgal loote arenemiseks vajalikke varutoitaineid. Kõige suurem rakk on jaanalinnu muna, mille pikkus on umbes 170 mm ja laius 135 mm ümber. Kanamuna pikkus on umbes 60 mm ja laius 45 mm (joon. 124).

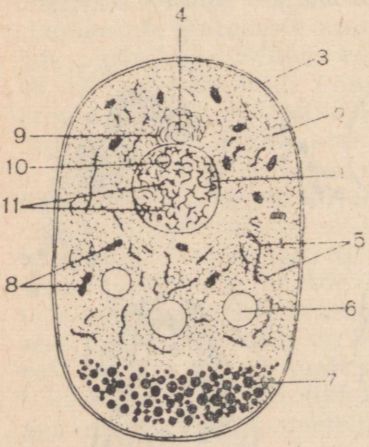
30. Raku ehitus

Rakk koosneb kahest tähtsamast osast, mis on omavahel lahutamatult seotud — rakuplasmast ja tuumast, mis kujutavad endast elementaarset terviklikku elusat süsteemi. Joon. 98 on kujutatud raku ehitus valgusmikroskoopia andmete alusel. Joon. 99 näeme raku ehituse skeemi, mis on loodud elektronmikroskoopiliste uurimuste tulemusel.

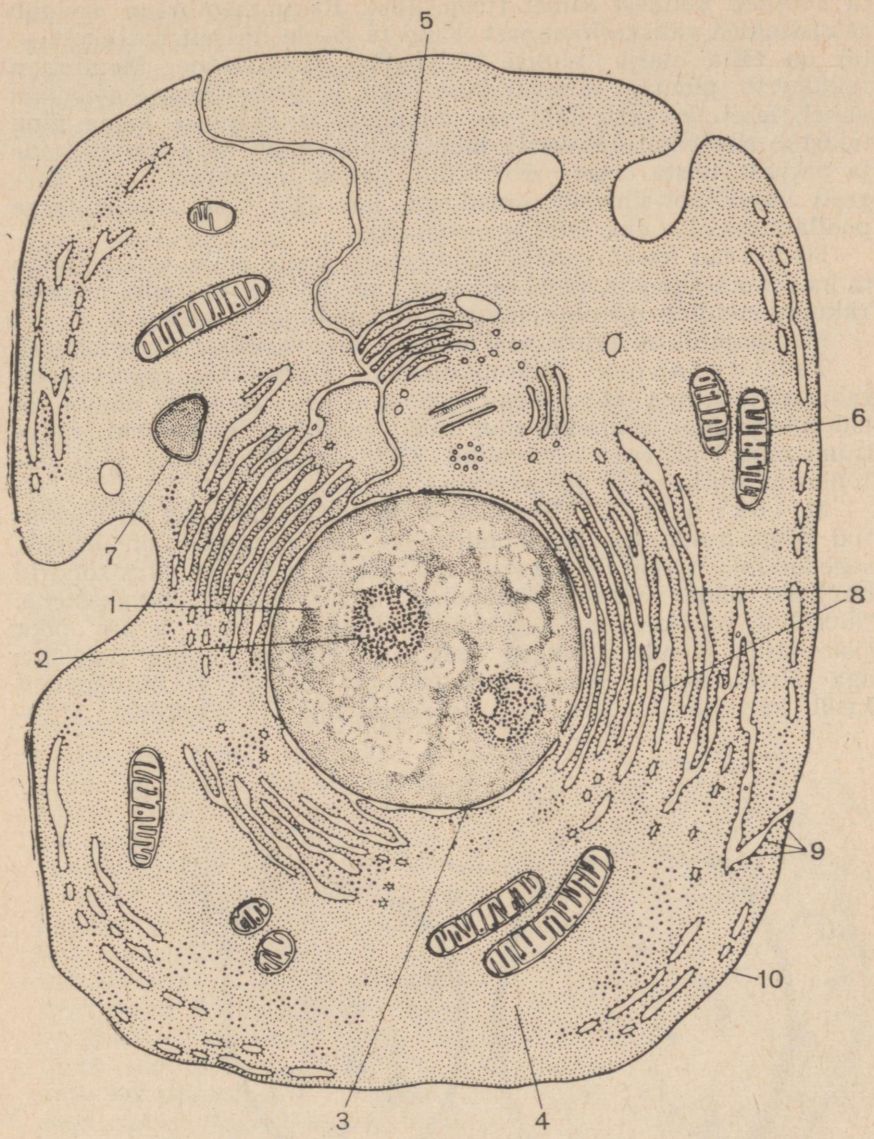
Raku peenstruktuuri vaatlemist vastavalt elektronmikroskoopilisele skeemile alustame rakuplasmast ja selle organoididest.

R a k u m e m b r a a n. Rakumembraan (rakukest) on valgusmikroskoobis nähtav peene joonena, mis eraldab rakusisu väliskeskkonnast. Hästi eristatav on ainult taimerakkude kest. Kesta olemasolus loomarakkudel kaheldi pikemat aega, kuna see ei ole valgusmikroskoobis nähtav.

Elektronmikroskoop võimaldas kindlaks teha, et loomade, taimede ja üherakuliste organismide rakud on väljastpoolt kaetud õige õhukese, kuid tiheda kihiga, mida nimetatakse membraaniks. See moodustis esineb eranditult kõikidel rakkudel, ka neil, mis valgusmikroskoobis ei näi omavat mingisuguseid pindkihi paksendusi. Membraani paksus on umbes 100 ongströmi ja



Joon. 98. Raku ehituse skeem valgusmikroskoopia andmete järgi: 1 — tuum; 2 — rakuplasma; 3 — rakukest; 4 — rakutsenter; 5 — mitokondrid; 6 — vakuool; 7 — sisaldised; 8 — plastiidid; 9 — Golgi aparaat; 10 — tuumake; 11 — kromatiin.



Joon. 99. Raku ehituse skeem elektronmikroskoopia andmetel: 1 — rakutuum; 2 — tuumake; 3 — tuumamembraan; 4 — tsütoplasma; 5 — Golgi aparaat; 6 — mitokondrid; 7 — lüsosoom; 8 — endoplasmaatiline võrgustik; 9 — ribosoomid; 10 — rakumembraan.

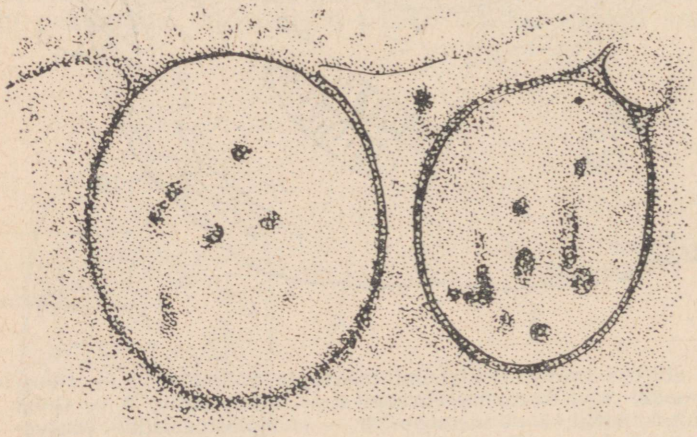
ta koosneb kolmest kihist (joon. 100). Raku membraan eraldab rakusisaldisi väliskeskkonnast. Kuid ta ei ole lihtsalt kattekest — tal on täita palju olulisi bioloogilisi funktsioone. Membraan reguleerib pidevalt ainevahetust raku ja ümbritseva keskkonna vahel, laseb kergesti läbi vee molekule ja paljusid ioone ning takistab suuremate osakeste läbiminekut, nagu seda on valkude ja paljude teiste ainete molekulid. Sellist membraani, mis kergesti laseb läbi ühtesid aineid ega lase läbi teisi, nimetatakse poolläbilaskvaks ehk semipermeaabliks.

Membraan katab rakku väljastpoolt, peale selle aga paindub ta ka raku sisemusse, nagu on näha joon. 99, moodustades mõnede rakuorganoidide membraani, millest tuleb juttu edaspidi.

Membraanil on tähtis osa rakkude omavahelisel ühendamisel.

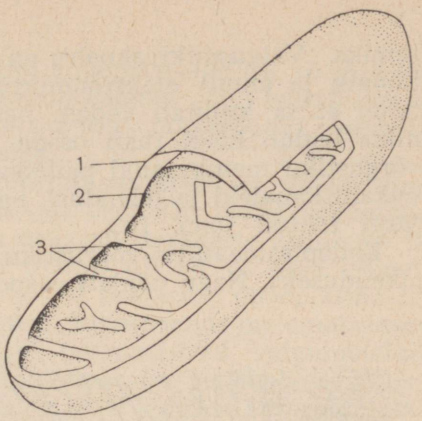
T s ü t o p l a s m a. Tsütoplasmaks nimetatakse poolvedelat rakusisaldist, mis täidab kogu raku sisemuse. Joon. 99 näeme, et tsütoplasmal on küllaltki suur maht ja temas paiknevad rakutuum ning kõik raku organoidid. Elektronmikroskoobis näib tsütoplasma ühtlase või peeneteralise massina.

M i t o k o n d r i d. Mitokondrid on organoidid, mis on avastatud kõigis rakkudes. Mitokondrite arv eri rakkudes on erinev, sagedamini on neid ühes rakus aga mõnesaja ümber. Mitokondrid on hästi näha valgusmikroskoobis väga väikeste kehakestena. Tüüpiline mitokonder on pikliku kujuga, 0,2 kuni 5 μm pikk (joon. 101). Nende tillukeste kehakeste ehituse detaile õnnestus aga jälgida ainult elektronmikroskoobis. Selgus, et mitokondrit katab kahekihiline kest, mis koosneb välis- ja sisekihist. Mito-



Joon 100. Kahe närviraku rakumembraani osade joonis elektronmikrofoto järgi. Suurendus 100 000 korda. On näha kummagi membraani ehitus.

kondri kesta sisekihist algavad arvukad vaheseinad (nn. harjad), mis suunduvad vedelikuga täidetud siseõõnde. Harjad suurendavad mitokondrite pinda, mis on oluline paljude mitokondrites toimuvate rakku energiaga varustavate keemiliste reaktsioonide kulgemiseks, kuna nende reaktsioonide jaoks läheb vaja suurt pinda. Selle funktsiooni tõttu nimetatakse mitokondreid ka raku jõujaamadeks.



Joon. 101. Mitokondri ehitus elektronmikroskoopia andmetel: 1 — kesta väliskiht; 2 — kesta sisekiht; 3 — mitokondri sisemusse suunatud vaheseinad — harjad.

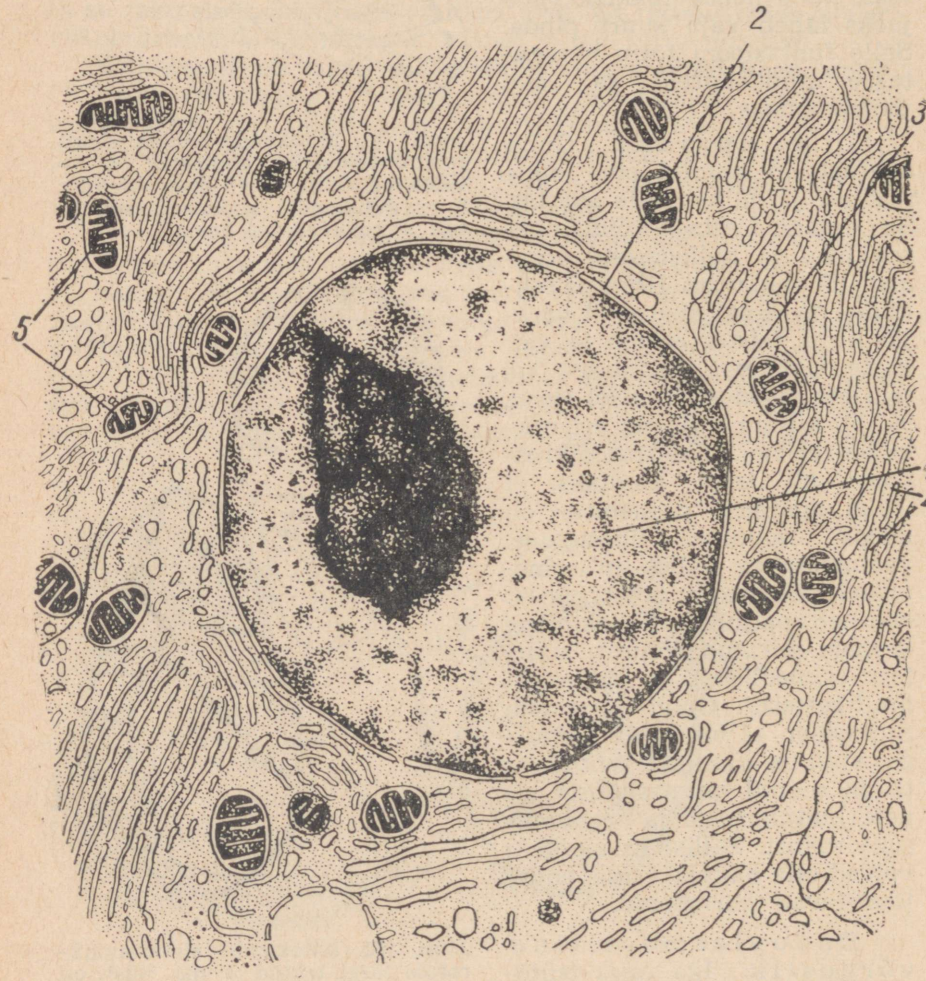
Golgi aparaat. Golgi aparaat on saanud oma nime teadlase järgi, kes selle avastas. See organoid esineb kõigis ühe- ja hulkraksete organismide rakkudes. Ühtedes rakkudes on Golgi aparaadil võrkjas kuju, teistes esineb ta väikeste kepikeste, kettakeste või terajate moodustiste näol (joon. 99, 5), s. t. ta kuju on eri rakkudes erinev. Elektronmikroskoobi all tehti kindlaks, et Golgi aparaadi peenehitus on kõigis rakkudes ühesugune, vaatamata ta väliskuju erinevustele. Selgus, et see organoid koosneb paljudest kahekihilise kestaga piiratud õõntest, suurtest vakuoolidest ja väikestest mullikestest. Golgi aparaadi funktsioon ei ole lõplikult selge, kuid on kindlaks tehtud, et ta on seotud mitmesuguste ainete kuhjumisega ja eraldumisega rakust. Sellisteks aineteks võivad olla näiteks rakus endas toodetavad hormoonid.

Joon. 102. Mitokondri elektronmikrofoto järgi tehtud joonis. Hästi on näha mitokondri kesta ehitus ja harjad — kesta sisekihi mitokondri sisemusse suunatud väljakasved. Suurendus 110 000 korda.

Endoplasmaatiline võrgustik. Iga raku tsütoplasmas esineb organoid, mida nimetatakse endoplasmaatiliseks võrgustikuks ehk retiiku-

lumiks. Valgusmikroskoobis on endoplasmaatiline võrgustik nähtamatu ja ainult elektronmikroskoop andis võimaluse kindlaks teha, et ta kujutab endast hargnevate membraanide süsteemi, mida leidub kõigi raku osade tsütoplasmas. Endoplasmaatilise võrgustiku membraanid paiknevad paarikaupa, moodustades arvukaid kanaleid ja laiendusi, nagu võib näha elektron-mikrofoto järgi tehtud joon. 103.

Endoplasmaatilise võrgustiku membraanid on raku membraani pikenduseks. Nagu näidati eespool (vt. ka joon. 99) paindub vii-



Joon. 103. Raku osa elektronmikrofoto järgi tehtud joonis: 1 — rakutuum; 2 — tuumamembraan; 3 — tuumamembraani poor; 4 — endoplasmaatilise võrgustiku kanalid; 5 — mitokondrid. Suurendatud 18 000 korda.

mane raku sisemusse ja moodustab endoplasmaatilise võrgustiku arvukad membraanid. Nendel membraanidel on tsütoplasmas hiiglapinnad, millel toimuvad keemilised reaktsioonid, eeskätt need, mis on seotud valgu sünteesiga.

Ribosoomid. Alles üsna hiljuti selgitati, et valgu sünteesi keerulisest protsessist võtab osa veel üks tähtis rakuorganoid — ribosoom. Ribosoomid on pisikeste terakeste kujulised ja nende suurus on kuni 0,015 μm. Joonis näitab, et neid esineb kõigis rakuosades ja et nad koonduvad peamiselt endoplasmaatilise võrgustiku membraanide pinnal. Ribosoomid on omalaadseteks «montaažikonveieriteks», millel moodustuvad valgumolekulid. Ribosoomides sünteesitud valk suunatakse endoplasmaatilise võrgustiku kanalitesse ning liigub seejärel kõigisse raku organoididesse ja tuuma.

Lüsosoomid. Lüsosoome võib kohata kõigis loomarakkudes, nende esinemine taimerakkudes on praegu veel küsitav. Nad paiknevad kõigi rakuosade tsütoplasmas. Lüsosoomide mõõtmed on mitmekesised, sageli on nad aga suuruselt lähedased mitokondritele. Nende pikkus on umbes 1—3 μm (joon. 99). Need organoidid meenutavad kujult tillukesi tihke kestaga kaetud kotikesi ja sisaldavad tilga aktiivset seedemahla, mis on võimeline seedima rakku laekuvat toitu.

Tsentrosoom. Tsentrosoomiks nimetatakse organoidi, mis paikneb tuuma läheduses (joon. 98) ja koosneb ühest või kahest väikesest ümmargusest kehakesest. Neid kehakesi nimetatakse tsentrioolideks. Tsentrioolid on niivõrd väikesed, et neid on raske leida valgusmikroskoobis.

Tsentrosoom esineb hulkraksete loomade, ainuraksete ja mõnede eostaimede rakkudes ja mängib tähtsat osa raku pooldumisel.

Spetsiaalsed organoidid. Kõik loetletud tsütoplasma organoidid — mitokondrid, Golgi aparaat, endoplasmaatiline võrgustik, ribosoomid, lüsosoomid ja tsentrosoom — on üldise tähtsusega organoidid. Neid on leitud kõikide organismide rakkudes, neil on kõigis rakkudes sarnane ehitus ja nad täidavad ühetüübilist ülesannet. Peale nende organoidide võib aga rakus olla ka spetsiaalse tähtsusega organoide, mis on seotud mingi ühe funktsiooni täitmisega. Näiteks sisaldavad kõigi loomade lihaskoe rakud peenikesi kokkutõmbevõimelisi kiude, mille arvel toimub lihaste kontraktsioon. Paljud üherakulised organismid (näit. infusoorid) ja mõnede hulkraksete loomade rakud on varustatud ripsmete või viburitega, millel on liikumisorganoidide funktsioon (joon. 104). Taimerakkudes on mitmesuguseid plastiide, näiteks kloroplaste.

Sisaldised. Paljude rakkude tsütoplasmas esineb alaliste, üldiste ja spetsiaalsete organoidide kõrval ajutisi sisaldisi, mis raku elutegevuse protsessis kord ilmuvad, kord kaovad. Sisaldi-

Joon. 104. Roheline silmviburlane; 1 — vibur.

sed on hästi nähtavad valgusmikroskoobis tihedate terade, vedelate tilkade ja kristallide kujul. Paljud sisaldised kujutavad endast varutoitaineid, mida rakk pidevalt kasutab. Näiteks võib tuua rasvatilgakesed, tärklise, glükogeeni- ja valguterad. Mõnedes rakkudes varutakse toitained suurel hulgal. Nii on maksarakkudes palju glükogeeni, loomade ja inimese alusnaha rasvkoe rakkudes palju rasvsisaldisi. Valke ladestub palju mitmesuguste loomade munarakkudesse. Taimerakud on samuti rikkad toitainete poolest. Näiteks koguneb kartulimugulate rakkudesse tohutul hulgal tärkliseteri.

R a k u t u u m. Kõikide ainuraksete, taimede ja loomade rakkude tingimatuks osaks on rakutuum (joon. 98).

Kõikide rakkude tuumad on valgusmikroskoobis alati hästi nähtavad, erandina ei õnnestu neid leida bakteritel, kuid ka nende tsütoplasmas on leitud aineid, mille omadused on lähedased hulkraksete organismide rakutuumade omadustele.

Enamikul rakkudel on üks tuum. Esineb aga ka rakke kahe, kolme ja isegi paljude kümnete tuumadega. Selliseid rakke nimetatakse paljutuumalisteks ja neid esineb näiteks üherakulistel organismidel, selgroogsete maksas ja luuüdis. Tuuma kuju ja suurus sõltub enamasti raku kujust ja suurusest. Tavaliselt on kerakujuliste rakkude tuum ümmargune, piklikel rakkudel on aga tuum samuti piklik (joon. 96, c).

T u u m a m e m b r a a n. Rakutuum on kaetud kestaga ehk tuumamembraaniga, mis teda eraldab tsütoplasmast. Tuumamembraani ehitus on toodud joon. 103 elektron-mikrofoto järgi. Joonisel on näha, et tuumamembraan koosneb kahest kihist — välimisest ja sisemisest. Tuumamembraani läbistavad rohked avad — poorid. Poorid on erakordselt väikesed, iga poori läbimõõt on umbes 100 ongströmi. Pooride kaudu sisenevad rakutuuma mitmesugused tsütoplasmas sisalduvad ained, näiteks valgud, tuumas olevad ained aga väljuvad pooride kaudu tsütoplasmasse. Nii toimub tuumamembraani pooride kaudu ainevahetus rakuplasma ja -tuuma vahel.

T u u m a m a h l. Membraani all rakutuumas leiame ühtliku poolvedela aine — tuumamahla. Tuumamahlas paiknevad kromosoomid ja tuumakesed.

K r o m o s o o m i d. Kromosoomid kujutavad endast tihkeid, pikenenud või niidikujulisi moodustisi, mille kuju saab hõlpsasti jälgida ainult raku jagunemise ajal.

Kromosoomid on rakutuuma tähtsaimad koostisosad. Nendega antakse põlvest põlve pärilikult edasi kõik organismi iseloomulikud tunnused. Igal hulkraksete või üherakuliste organismide liigil on kindel kromosoomigarnituur, mis on omane ainult sellele liigile.

T u u m a k e. Tuumakesed on enamasti ümmargused (joon. 99). Tuumakeste arv ja nende suurus ei ole püsiv mitte ainult erinevates rakkudes, vaid isegi ühe ja sama raku tuumas selle elu erinevatel momentidel. Tuumakeste funktsioon ei ole lõplikult selgitatud, kuid on kindlaks tehtud, et nad võtavad osa valkude sünteesist.

R a k u t u u m a j a t s ü t o p l a s m a k o o s t ö ö. Tsütoplasma ja rakutuum sõltuvad teineteisest väga tihedasti. Kui rakust eemaldada tuum, siis hukkub tsütoplasma. Tuum on vajalik raku kestvaks eksisteerimiseks ja tema elu jätkamiseks pärast jagunemist moodustuvates tütarrakkudes. Omakorda ei saa tuum eksisteerida ilma tsütoplasmata isegi lühikese ajavahemiku jooksul. Raku eluks on vajalik rakutuuma, tsütoplasma ja kõigi selle organoidide kui ühtse terviku koostöö.

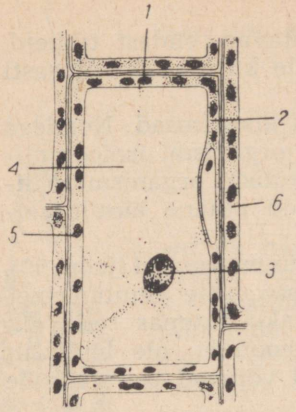
T a i m e r a k k u d e e h i t u s e r i n e b l o o m a r a k k u d e o m a s t. Raku ehituse kirjeldus, millega äsja tutvusime, kehtib võrdsel määral taime- ja loomarakkude kohta. Kuid loomarakkudega võrreldes on taimerakkudel järgmised ehituse iseärasused.

P l a s t i i d i d. Taimerakkude tsütoplasmas esinevad erilised organoidid, mida nimetatakse plastiidideks (joon. 105). Neist on kõige tähtsamad kloroplastid, mis on rohelised erilise värvaine — klorofülli — sisalduse tõttu. Tänu klorofüllile võivad rohelised taimed kasutada Päikese valgusenergiat ja selle energia arvel ehitada anorgaanilistest ainetest orgaanilisi. Päikese valgusenergiat kasutama on võimelised ainult rohelised taimed ning orgaaniliste ainete loomisprotsess, mis kannab fotosünteesi nime, toimub kloroplastides.

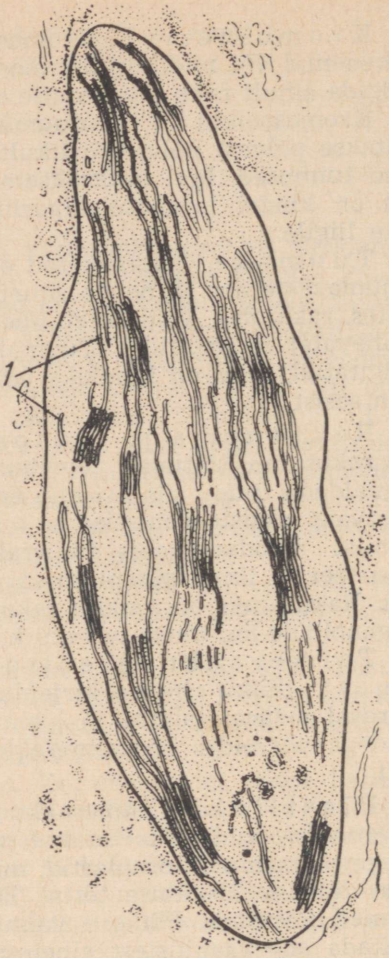
Enamiku taimede kloroplastid on kettakujulised ja kaetud õhukese kestaga (joon. 106). Kloroplasti sees paiknevad arvukad väga õhukeste plaadikeste virnad, mis on üksteisele laotud nagu peenrahad sambas. Need plaadikeste virnad sisaldavad rikkalikult klorofülli ja neis toimub fotosüntees.

V a k u u o l i d. Üheks taimerakkudele iseloomulikuks jooneks on see, et nendes esineb suur hulk vakuoole (joon. 105). Vakuoole täidab vedelik — rakumahl. Tsütoplasmast eraldab vakuoole õhuke kest.

R a k u k e s t. Taimerakkudel on paks välissein — rakukest. Suurema osa taimede rakukesta koostisse kuulub tselluloos. Tai-



Joon. 105. Taimeraku ehituse skeem valgusmikroskoobi andmetel: 1 — rakukest; 2 — tsütoplasma; 3 — rakutuum; 4 — rakumahlaga täidetud vakuoolid; 5 — plastiidid.



Joon. 106. Kloroplasti elektronmikrofoto järgi tehtud joonis: 1 — plaadikeste rühmad, milles toimub fotosünteesiprotsess. Suurendus 16 000 korda.

merakkude kestad on valgusmikroskoobis alati hästi nähtavad ja kujutavad endast täiendavaid moodustisi õhukese rakumembraani välispinnal. Üksikute rakkude kestade vahel on väike orgaaniliste ainetega täidetud ruum. Need ained seovad üksikute rakkude kesti kindlalt omavahel.

KÜSIMUSI JA ÜLESANDEID.

1. Millistel organismidel ei ole rakulist ehitust?
2. Millal loodi loomade ja taimede rakulise ehituse teooria?
3. Missugused on selle teooria põhiseisukohad?
4. Kuidas hindas rakuteooriat F. Engels?

5. Nimetage praegusel ajal rakkude uurimiseks kasutatavaid vahendeid.
6. Missugune seos on rakkude vormi ja funktsiooni vahel?
7. Mida võite öelda rakkude suuruse kohta?
8. Nimetage raku peamised organoidid.
9. Mis on raku välismembraan, missugune on ta ehitus ja põhifunktsioonid?
10. Mida teate mitokondritest?
11. Mis on Golgi aparaat?
12. Mis on endoplasmaatiline võrgustik ja ribosoomid?
13. Milliseid tsütoplasma sisaldisi tunnete?
14. Jutustage rakutuuma ehitusest.
15. Mis on taimerakkude plastiidid?
16. Missugune on kloroplastide ehitus ja funktsioon?
17. Kus on taimerakkudes rakumahl ja missugustes rakkudes on seda eriti palju?
18. Millisest ainest koosnevad enamiku taimede rakukestad?

31. Raku keemiline koostis. Vesi. Anorgaanilised koostisosad

Tsütoloogia alateaduseks on *raku biokeemia*, mis uurib rakkude keemilist koostist ja neis toimuvaid keemilisi reaktsioone.

Rakus toimub üheaegselt sadu ja isegi tuhandeid erinevaid keemilisi reaktsioone. Väliskeskkonnast siseneb rakku pidevalt aineid, mis siin lagundatakse. Elutegevuse produkte eraldatakse rakust pidevalt ümbritsevasse keskkonda. Peale lagundamisreaktsioonide toimuvad rakus mitmesugused sünteesireaktsioonid, s. t. madalmolekulaarsetest ainetest moodustuvad keerulisemad ja kõrgmolekulaarsed ühendid.

Raku uurimine kestab juba üle saja aasta. Bioloogide ja biokeemikute mitme põlvkonna hiiglasliku töö tulemusel on tehtud kindlaks, et raku keemiline tegevus on ta elu aluseks, tema arenemise ja funktsioneerimise eelduseks. Seetõttu on raku biokeemia tundmine väga tähtis igaühele, kes õpib bioloogiat.

R a k u k e e m i l i n e k o o s t i s. Erinevad rakud sarnanevad üksteisega mitte ainult ehituselt, vaid ka keemiliselt koostiselt. Kõige erisugusemad rakud — taimede ja loomade omad — sisaldavad kui mitte samu, siis vähemalt väga sarnaseid aineid üsna lähedasel määral. See asjaolu viitab rakkude põlvnemise ühtsusele.

Andmed rakkude elementaarsest keemilisest koostisest leiame tabelist.

Keemiliste elementide sisaldus rakus
(%%-des toorkaalust)

Hapnik	65,0	Kloor	0,10
Süsinik	18,0	Naatrium	0,03
Vesinik	10,0	Magneesium	0,02
Lämmastik	3,0	Raud	0,01
Kaltsium	2,0	Tsink	0,0003
Fosfor	1,0	Vask	0,0002
Väävel	0,2	Jood	0,0001
Kaalium	0,15	Fluor	0,0001

Tabelist näeme, et kõige rohkem sisaldab rakk hapnikku, seejärel süsinikku, vesinikku, lämmastikku, kaltsiumi, fosforit. Tunduvalt vähemal hulgal on rakkudes kaaliumi, väävlit, kloori, magneesiumi, rauda, vaske, koobaltit, tsinki, joodi ja teisi elemente. Mendelejevi perioodilise süsteemi 104 elemendist on rakkude koostises avastatud 60 elemendi ümber. Mingeid erilisi elemente, mida võiks lugeda iseloomulikuks ainult elusale loodusele, ei ole olemas. Raku koostisse kuuluvad needsamad elemendid, mis esinevad eluta kehades. See viitab elusa ja eluta looduse seosele ja ühtsusele.

Kuid siiski on olemas erinevused elusorganismide ja eluta kehade keemilise koostise vahel. Neid saab, tõsi küll, leida mitte aatomite tasemel, vaid nende ühendites, s. t. molekulaarsel tasemel. Elusorganismides ja nende elutegevuse produktides on leitud suur hulk ühendeid, mis on iseloomulikud ainult organismidele. Neid ühendeid nimetataksegi sellepärast *orgaanilisteks ühenditeks*. Orgaaniliste ühendite esinemine rakkudes ja nende elutegevuse produktides on sedavõrd iseloomulik, et kui neid kusagil looduses leitakse, võib olla kindel, et on tegemist surnud rakkude jäänustega.

Pika aja jooksul ei õnnestunud keemikuil sünteesida laboratooriumitingimustes orgaanilisi ühendeid. Seetõttu loodi teooria, mille järgi orgaanilised ühendid võivad tekkida ainult elusates rakkudes erilise «elujõu» mõjul. Vastavalt sellele teooriale pidi iga orgaaniliste ühendite sünteesimise katse olema lootusetu. Kuid 1828. a. saksa keemik Wöhler sai katseklaasis anorgaanilist ainet ammooniumtsüanaati kuumutades ootamatult kusiaine. Kusiaine kujutab aga endast tüüpilist orgaanilist ainet. Wöhleri avastusega kaotas «elujõu» teooria oma tähtsuse. Keemikud hakkasid julgemini katsetama ja suhteliselt lühikese aja jooksul sünteesiti palju erinevaid orgaanilisi, sealhulgas ka kõige keerulisemaid aineid.

Põhiliste rakus avastatud keemiliste ühendite sisaldus on toodud tabelis.

Keemiliste ühendite sisaldus rakus (%%-des toorkaalust)

Vesi	80,0
Valgud	10,0
Rasvad	5,0
Süsivesikud	2,0
Nukleiinhapped	1,0
ATF ja teised madalmolekulaarsed ained	0,5
Anorgaanilised ained	1,5

Tabelist on näha, et elusa raku ainete seas on kaalult esikohal vesi, mille sisaldus on rakus umbes 80%. Kõiki ülejäänud orgaanilisi ja anorgaanilisi aineid on kokku umbes 20%.

V e s i. Raku suur veesisaldus on ta elulise aktiivsuse vajalikuks tingimuseks. Mida intensiivsem on raku elutegevus, seda rohkem on temas vett. Nii on inimese ja loomade emakasisese loote kiiresti kasvavate rakkude veesisaldus umbes 95%. Täiskasvanud organismi rakkudes langeb veesisaldus 80%-ni, vanaduses aga isegi 60%-ni. Kõrge aktiivsusega ajurakud sisaldavad umbes 85%, väheaktiivsed rasvkoe rakud ainult 40% vett. Paljusid rakke võib ettevaatlikult kuivatada. Seejuures on näha, kuidas vee kaotamisega rakk muutub üha vähem ja vähem aktiivseks. Pärast suurema osa vee äraandmist rakk nagu kaotaks kõik elu tunnused. Sellist olekut nimetatakse anabioosiks. Anabioosi seisundis võivad rakud püsida väga pika aja (aastate) jooksul. Raku niisutamisel ta «ärkab» ja muutub uuesti aktiivseks.

Missugune on vee tähtsus rakus? Eelkõige on vesi lahustiks. Paljud ained sisenevad rakku vesilahuses ning vesilahuses viiakse välja ka läbitöötatud ained. Enamik rakus toimuvaid reaktsioone võib aset leida ainult vesilahuses. Ja lõpuks võib vesi võtta otseselt osa paljudest rakus toimuvatest keemilistest reaktsioonidest. Nii näiteks kujutab valkude, rasvade, süsivesikute ja teiste ainete lõhustumine endast nende ainete vastastikust toimet veega. Seetõttu nimetatakse selliseid reaktsioone hüdrolüüsireaktsioonideks (kreeka k. *hydōr* — vesi, *lysis* — lahustamine).

60 kg kehakaaluga inimene võtab oma organismi päevas umbes 2 liitrit vett. Niisama palju vett eraldatakse ööpäeva jooksul uriini, higi ja väljahingatava õhuga. Neist andmetest järeldub, et 30 päevaga viib inimene organismi oma kaaluga võrdse hulga vett. Amööbil toimub veevahetus kiiremini. Ta neelab oma kaaluga võrdse hulga vett 7 päevaga. Kaamelil läheb selleks protsessiks rohkem aega, umbes 3 kuud, kilpkonnal umbes 1 aasta, kaktusel 29 aastat.

Raku anorgaanilised koostisosad. Raku koostisse kuuluvatest elementidest on süsinik, vesinik, hapnik ja lämmastik orgaaniliste ainete alatised koostisosad. Ülejäänud elemendid on rakus osalt ioonidena, osalt seotud orgaaniliste ühenditega.

Rakus leiduvaist katioonidest on kõige tähtsamad K^+, Na^+, Ca^{++} ja Mg^{++}, anioonidest — HPO_4^{2-}, $H_2PO_4^-$, Cl^-, HCO_3^-. Raku katioonide ja anioonide sisaldus erineb alati tunduvalt nende sisaldusest raku elukeskkonnas.

Näiteks on rakus küllaltki kõrge kaaliumioonide ja väga madal naatriumioonide kontsentratsioon. Rakku ümbritsevas keskkonnas (veri, merevesi) on aga vähe kaalium-, kuid palju naatriumioone. Kuni rakk on elus, püsib see K^+ ja Na^+ kontsentratsioonide erinevus raku ja keskkonna vahel kindlalt. Pärast raku surma tasandub K^+ ja Na^+ sisalduse erinevus raku ja keskkonna vahel kiiresti.

Anorgaaniliste ioonide (K^+, Na^+, Ca^{++} ja Mg^{++}) sisaldus rakus ja teda ümbritsevas keskkonnas on raku normaalse funktsioneerimise jaoks olulise tähtsusega. Seetõttu peab neid ioone olema ka igas vereasendajas. Nende puudumisel kaotab rakk erutuvuse ja hukkub.

Mineraalaineid esineb peale lahustunud oleku rakus ja kudedes ka tahkel kujul, näiteks on luukoe ning limuste kodade tugevus ja kõvadus tingitud lahustumatu kaltsiumfosfaadi sisaldusest.

Ülejäänud mineraalsed koostisosad on rakus seotud mitmesuguste orgaaniliste ainetega. Väävel kuulub paljude valkude koostisse. Peale selle, et fosfor esineb luukoes, on ta ka rakutuumas esinevate ainete koostisosa. Raud esineb hemoglobiinvalgu molekulis, magneesium klorofüllimolekulis, vaske on leitud paljude hapendusfermentide koostises. Jood esineb kilpnäärme hormooni türoksiini molekulis, tsink insuliini koostises jne.

Kui inimese, loomade ja taimede toidus ei ole piisavalt mineraalseid komponente — fosforit, kaaliumi, rauda, vaske, joodi jt., siis on häiritud luukoe moodustumine, pidurdub selliste ühendite süntees, nagu hemoglobiin, klorofüll, türoksiin ja hapendusfermendid, mistõttu ilmnevad mitmesugused haigusnähtused, pidurdub kasv ja arenemine.

32. Valgud

Raku kuivainest, mis säilib pärast vee eemaldamist, on esikohal niihästi hulgalt kui tähtsuselt valgud. Valke on rakus umbes 10% toorkaalust ja umbes 50% kuivainest.

Suurepärase iseloomustuse andis valkudele F. Engels. «Elu,» kirjutas ta, «on valkkehade eksisteerimise viis. ... Kõikjal, kus

kohtame elu, näeme, et kõikjal, kus me puutume kokku valkkehaga, mis ei ole lagunemisprotsessis, me leiame eranditult ka eluavaldusi».

Valkude tähtsus eluprotsessis on suur ja mitmekesine. Eelkõige täidavad valgud rakus katalüütilisi funktsioone. Igat rakus toimuvat reaktsiooni katalüüsib eriline valk — ferment. Niipalju kui rakus on reaktsioone, niipalju on ka valkfermente. Kui võtta arvesse, et igal rakul on oma biokeemiliste reaktsioonide spetsiifiline kompleks: närvirakul üks, rasvkoerakul teine, luukoerakul kolmas jne., siis on selge, et raku keemilise elu omapära määratakse rakus sisalduvate valkfermentide kompleksi poolt.

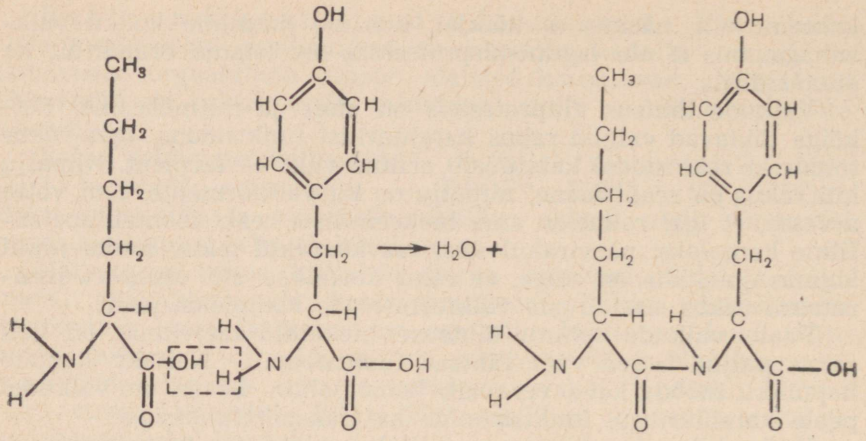
Peale valkude tohutu tähtsuse biokatalüsaatoritena on neil rakus paljud teised väga tähtsad funktsioonid. Näiteks kannab hapnikku mööda keha verevalk hemoglobiin. Seega on valkudel peale katalüütiliste funktsioonide ka transportfunktsioon.

Kõiki liikumisreaktsioone, milleks rakud ja organismid on võimelised, eelkõige aga lihaste kokkutõmmet, täidavad erilised kontraksioonivalgud. Ja lõpuks on valgud rakkude põhiliseks ehitusmaterjaliks. Valgust koosnevad rakutuum, tsütoplasma ja kõik raku organoidid. Nii on valkudel peale *katalüütilise, transport-* ja *liikumisfunktsiooni* veel *ehitusfunktsioon.*

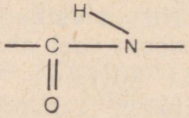
V a l g u m o l e k u l i e h i t u s. Valkude molekulid on väga suured, koosnedes paljudest tuhandetest aatomitest. Enamikul teistel orgaanilistel ainetel on võrreldamatult väiksem molekul. Näiteks on etüülpiirituse molekulkaal 46, äädikhappel 60, kusiainel 60. Munavalgu molekulkaal on aga 44 000, ühel lihasevalgul 350 000 ning ühel hapendusfermendil isegi 1 000 000. Sellisele suurele molekulkaalule vaatamata on valgumolekuli ehitus suhteliselt lihtne.

Valgud kuuluvad polümeerideks nimetatavate ainete hulka. 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 kirjutada järgmiselt: -A-A-A-A--A-A-. Looduses esineb peale valkude veel palju teisi polümeere, näiteks tselluloos, tärklis, kautšuk, nukleiinhapped. Viimastel aastatel on keemikud loonud palju kunstlikke polümeere: polüetüleen, kaproon jt. Enamik looduslikke polümeere ja kõik kunstlikud polümeerid on ehitatud ühesugustest monomeeridest ja nende struktuur on selline, nagu eespool toodud skeemil. Erinevalt tavalistest polümeeridest on aga valgud ehitatud üles küll struktuurilt sarnastest, kuid mitte päris ühesugustest monomeeridest.

Valgu monomeeriks on a m i n o h a p p e d. Valgu polümeeride koostises on leitud 20 erinevat aminohapet. Igal aminohappel on oma nimetus — leutsiin, türosiin, histidiin jt. Selleks, et mõista, milles seisneb sarnasus aminohapete vahel ja mille poo-

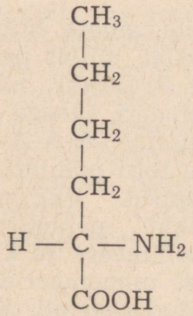


Valgufragmendi moodustumise skeem aminohapetest; iga külgneva aminohapete paari vahel kujuneb side:

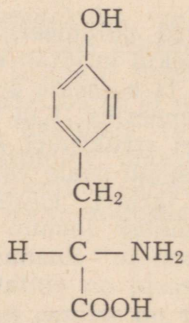


Joon. 107. Aminohapete omavahelise ühinemise skeem valgumolekulis.

lest nad üksteisest erinevad, toome järgnevalt kahe aminohappe struktuurvalemid:



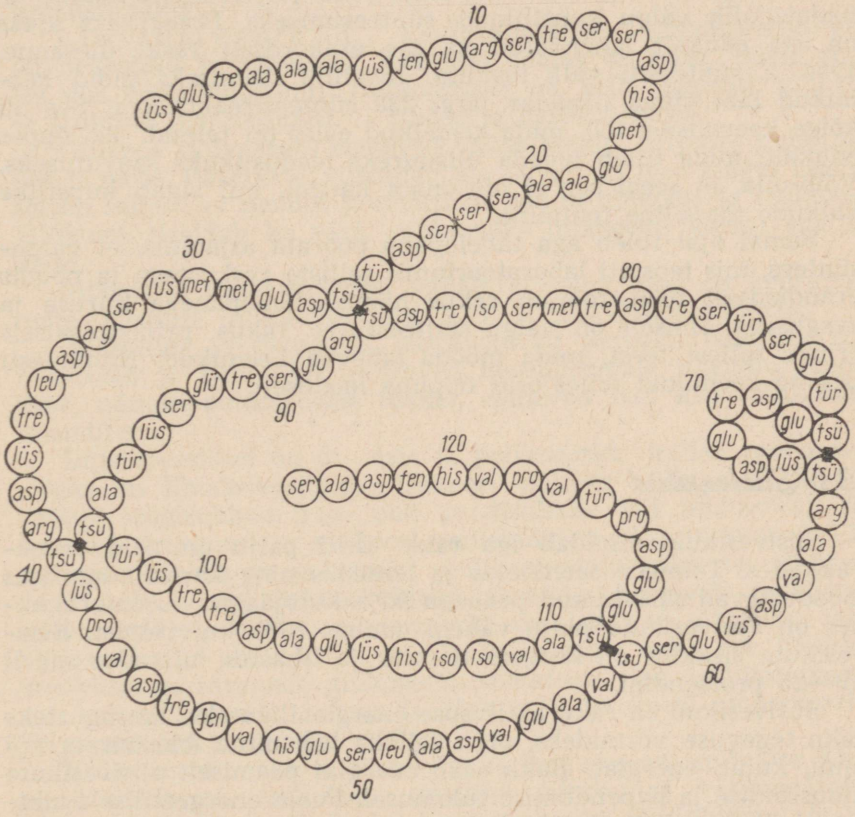
Leutsiin



Türosiin

Nagu nähtub valemeist, on igas aminohappes samasugune rühmitus — H — C(COOH) — NH_2. Selle rühmituse moodustavad amino-

rühm NH_2 ja karboksüülrühm $-C\begin{matrix}O\\OH\end{matrix}$. Kirjeldatud rühmituse esinemine aminohapetes annab neile amfoteersed omadused, kuna aminorühm NH_2 on aluseliste, karboksüülrühm $-C\begin{matrix}O\\OH\end{matrix}$ aga happeliste omadustega. Peale selle rühmituse koosnevad aminohapped erinevatest struktuuriühikutest. Aminohapete omavaheline seostumine toimub nii, nagu on näha joonisel 107. Ühe aminohappe aminorühma ja teise aminohappe karboksüülrühma arvel eraldub vee molekul ja aminohapete jäägid ühinevad. Kahest monomeerist saadakse dimeer. Kolmest aminohappest tekkis samal viisil trimeer, neljast tetrameer ja paljudest aminohapetest polümeer.



Joon. 108. Valgu ribonukleaasi ehitus.

Looduslik valk kujutabki endast aminohappelist polümeeri, s. t. ahelat mõnesajast lülist, milles aminohapped paiknevad igas valgus kindlas järjestuses. Eri valgud erinevad üksteisest nii aminohappeliselt koostiselt kui ka nende järjestuselt ahelas. Kui tähistada igat aminohapet tähega, siis saame kahekümne tähega tähestiku. Püüdke nüüd koostada neist tähtedest sõnu, mille pikkus oleks 100—300 tähte. Iga selline sõna vastabki mingisugusele kindlale valgule. Kergesti võib endale ette kujutada, missugune tohutu arv variante sealjuures tekib! Ja tõesti, loomade ja taimede kudedes leiduvate erinevate valkude arv on erakordselt suur.

Praeguseks ajaks on tehtud kindlaks rea valkude aminohapete paiknemise järjestus. Joon. 108 on kujutatud ühe valgu struktuur. See on valk-ferment, mida nimetatakse ribonukleaasiks. Ribonukleaasi molekul koosneb 124 aminohappe jäägist.

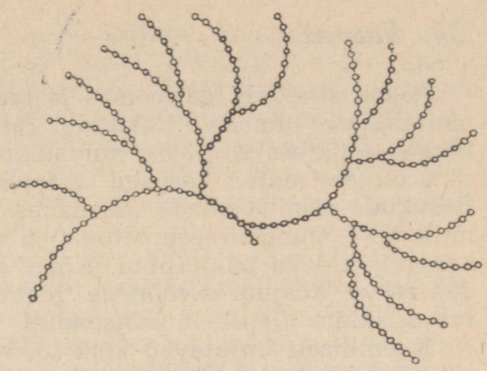
Aminohapete järjestuse selgitamine valgus kujutab endast keerulist ja kauakestvat tööd, kuid selle järjestuse tundmine on hädavajalik valgu kunstlikuks sünteesimiseks. Praeguseks ajaks on aga edukalt lahendatud ka see erakordselt raske ülesanne. 1956. a. sünteesiti valk insuliin. Insuliini saamiseks pidid keemikud läbi viima üksteise järgi 228 sünteesireaktsiooni. See oli kõige keerulisem töö, mida keemikud eales on teinud. Ta lõppes edukalt, mida tuleb lugeda ülisuureks teaduslikuks saavutuseks. Võib-olla, et seegi aeg ei ole enam kaugel, mil algab kunstlike valkude massiline tootmine.

Samal ajal tuleb aga tähelepanu pöörata asjaolule, et valgusüntees, mis teostati laboratooriumis selliste raskustega ja nõudis grandioosset tööd, toimub rakus hämmastamapaneva kiiruse ja kergusega. Ilmselt on valgu sünteesi tee rakus printsipiaalselt erinev sellest teest, mida mööda lähevad keemikud. Nähtavasti peavad keemikud selles osas õppima looduselt.

33. Süsivesikud

Süsivesikuid sisaldab iga rakk. Eriti palju on neid taimerakkudes. Taimede seemnetes ja lehtedes ning kartulimugulates moodustavad süsivesikud peaaegu 90% kuivjäägist. Loomarakkudes on süsivesikuid palju vähem, umbes 10% kuivjäägist. Süsivesikute sisaldus on kõrgem maksas ja lihastes, ulatudes sageli 10—25 protsendini.

Süsivesikud on raku aktiivsuse energiaallikateks. Igasugusteks raku tegevuse vormideks, olgu selleks liikumine, biosüntees või muu, kulub energiat. Rakk saab energiat peamiselt süsivesikute lõhustumise ja hapendumise tulemusel. Peale energeetilise funktsiooni täidavad süsivesikud ka ehitusfunktsiooni: süsivesikust tselluloosist on ehitatud taimerakkude puiduosa ja rakukestad.



Joon. 109. Tärklisemolekuli ehituse skeem.

Süsivesikud jagatakse kahte rühma: liht- ja liitsüsivesikuteks. Lihtsate ja liitsüsivesikute vahelised suhted meenutavad suhteid aminohapete ja valkude vahel. Teiste sõnadega, liitsüsivesikud kujutavad endast polümeere, milles monomeeride osa mängivad lihtsüsivesikud.

L i h t s ü s i v e s i k u d. Levinenumateks lihtsüsivesikuteks on heksoosid ja pentoosid. Esimeste ahelas on kuus, teiste ahelas viis süsinikuaatomit. Heksoosidest on eriti tähtsad glükoos ja fruktoos, pentoosidest — riboos ja desoksüriboos.

Glükoos ja fruktoos esinevad vabas olekus paljudes puuviljades ja mees. Vaarikate, viinamarjade ja samuti mee magus maitse sõltub sellest, et nendes produktides leidub glükoosi ja fruktoosi. Glükoosi sisaldab ka veri, suhkurtõve (diabeedi) korral aga ka uriin.

Riboosi ja desoksüriboosi vabalt ei esine, nad on keerulisemate ühendite (nukleiinhapete, ATF ja teiste) koostisosaks.

Heksoosid ja pentoosid moodustavad kergesti tsükleid. Kui heksoosid ja pentoosid kuuluvad keerulisemate ühendite koostisse, näiteks polümeeride tekkel, esinevad nad alati tsükliliste ühenditena.

Liitsüsivesikud on di-, tri- ja polümeerid, milles monomeerideks on lihtsüsivesikud. Dimeeri näiteks võib tuua kõigile tuntud söögisuhkru (roo- ehk peedisuhkur või sahharoos). Ta koosneb fruktoosi ja glükoosi molekulidest. Laialt tuntud liitsüsivesik tärklis on polümeer, mille monomeeriks on glükoos. Joon. 109 leiame tärklise ehituse skeemi. Erinevalt tavalistest polümeeridest, milles monomeerid on liitunud üksteise järel väljavenitatud ahela kujul, on tärklis hargnev polümeer. Tärklise struktuuriga sarnaneb glükogeeni struktuur. See on liitsüsivesik, mis esineb loomade maksas ja lihastes. Glükogeeni monomeeriks on samuti kui tärkliselgi glükoos.

Kõige levinumaks liitsüsivesikuks looduses on tselluloos. Oma struktuurilt on tselluloos tavaline pikisuunas väljavenitatud ahelaga polümeer. Tselluloosi monomeeriks on glükoos ja iga tselluloosi molekul koosneb umbes 100—150 glükoosi molekulist.

34. Rasvad

Rasvu sisaldab iga looma- ja taimerakk. Taimerakkude rasvu nimetatakse õlideks. Rakkude rasvasisaldus ei ole tavaliselt kõrge — umbes 20—30% kuivkaalust. Esineb aga rakke, mis on sõna otseses mõttes rasvaga täidetud. Sellised on rasvkoe rakud. Rasvkude asub loomade alusnahas. Taimedel võib vahel suur hulk õli koguneda seemnetesse ja viljadesse, näiteks päevalillel, kanepil, kreeka pähklipuul. Kõigi imetajate loomade piim sisaldab rasva, kusjuures mõnede loomade (näiteks delfiini) piima rasvasisaldus ulatub 40 protsendini.

Keemiliselt kujutavad kõik looduslikud rasvad endast kolmealuselise alkoholi glütseriini ühendeid kõrgmolekulaarsete orgaaniliste hapetega (oleiinhape, palmitiinhape, stearіinhape).

Rasvade bioloogiline osa on mitmekülgne. Eelkõige on rasv, nagu süsivesikudki, aineks, mille lõhustumisel vabaneb energia. Hea toitumise juures koguvad nii taimed kui loomad rasva varuks ja kasutavad seda vajaduse korral. Peale energeetilise funktsiooni on rasvadel ka ehitus- ja kaitsefunktsioon. Rasv ei lahustu vees. Sellepärast tõenäoliselt kuulubki imeõhuke rasvamolekulide kiht rakumembraanide koostisse, kus ta takistab rakusisu ja selle üksikute osade segunemist ümbritseva keskkonnaga. Rasv juhib halvasti soojust, seepärast ladestub ta alusnahasse, moodustades seal mõnedel loomadel suuri kogumikke. Näiteks on vaalal alusnaha rasvakiht kuni ühe meetri paksune ja see lubabki püsisoojast looma elada polaarmerede külmas vees. Rasvkihnuga on ümbritsetud neerud. Siin on rasvkoel nähtavasti kaitsefunktsioon — kuna ta on elastne, siis hoiab ta seda tähtsat organit põrutuste ja vigastuste eest.

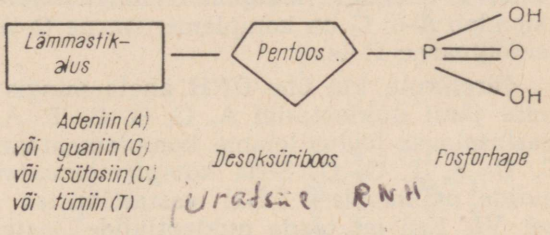
35. Nukleiinhapped. ATP

Nukleiinhapped on saanud oma nimetuse ladinakeelsest sõnast «nucleus» — tuum: esmakordselt avastati nad rakutuumas. Esineb kaht tüüpi nukleiinhappeid: desoksüribonukleiinhape (lüh. DNH) ja ribonukleiinhape (RNH). DNH sisaldub peaaegu eranditult rakutuumas, RNH-d võime leida nii rakutuumas kui ka tsütoplasmas.

Nukleiinhapete bioloogiline tähtsus on väga suur. Neil on keskne osa rakuvalkude sünteesis. Tütarrakud pärivad emaraku omadused ja tunnused. Need omadused ja tunnused on seotud põhiliselt valkudega. DNH ja RNH, nagu näeme edaspidi, kindlustavad sama struktuuri ja koostisega valkude struktuuri, mis esinevad emarakuski.

D N H. DNH molekulaarstruktuur kujutab endast midagi üsna omapärast, mis ei sarnane ühegi teise keemiast tuntud ühendiga. Värvilisel tahvlil VI näeme, et DNH molekul koosneb kahest spiraalselt teineteise ümber keerdunud ahelast. Selline DNH kaksikspiraal on väga pikk, ulatudes peaaegu 5 μm-ni. Selleks et mõista toodud arvu, tuleb meil teada, et kõige suurema valgumolekuli pikkus ulatub vaevalt 0,1 μm-ni. Järelikult on DNH molekul 50 korda pikem kõige pikemast valgumolekulist. Vastavalt sellele on hiiglaslik ka DNH molekulkaal, mis ulatub 10 miljonini. See arv kehtib kaksikspiraali kohta, iga niit on aga poole kergem, s. t. molekulkaaluga kuni 5 miljonit[1].

Keemiliselt on iga DNH ahel polümeer, mille monomeeriks on niinimetatud nukleotiid. Et saada ettekujutust nukleotiidi ehitusest, kasutame skeemi (joon. 110). Skeemilt on näha, et nukleotiid kujutab endast kolme molekuli ühinemise tulemust. Nendeks on: 1) orgaaniline lämmastikalus; 2) lihtsüsivesinik pentoos ja 3) fosforhape.



Joon. 110. Nukleotiidi ehituse skeem.

DNH polümeerse molekuli moodustamisest võtab osa neli erinevat nukleotiiditüüpi, mis erinevad üksteisest ainult lämmastikaluse struktuurilt. Ülejäänud molekuli osa on kõigil nukleotiididel ühesugune.

Ühe nukleotiiditüübi lämmastikalust nimetatakse adeniiniks. Selle järgi nimetatakse kogu nukleotiidi adeniinnukleotiidiks. Teise nukleotiidi lämmastikalus kannab nimetust guaniin ja kogu nukleotiidi nimetatakse guaniinnukleotiidiks. Kolmanda nukleotiidi lämmastikaluseks on tsütosiin ja nukleotiidi kutsutakse tsütosiinnukleotiidiks. Ja lõpuks, neljanda nukleotiidi lämmastikalus on tümiin ja nukleotiid ise — tümiinnukleotiid.

Nukleotiidide nimetuste lühendamiseks tähistatakse neid ühe tähega, nende võõrkeelse nimetuse algustähega: A — adeniinnukleotiid, G — guaniinnukleotiid, T — tümiinnukleotiid ja C — tsütosiinnukleotiid.

Igas DNH-s järgnevad nukleotiidid üksteisele rangelt kindlaksmääratud ja alati püsivas järjestuses. Erinevate DNH-de

[1] Hiljuti avastati DNH molekulkaaluga 130 000 000. Sellise molekuli pikkus on 50—60 μm.

vahe seisabki nende nukleotiidide järjestuse erinevustes. Iga nukleotiidi molekulkaal on keskmiselt 330. Kummagi DNH ahela molekulkaal on umbes 5 000 000. Siit tuletub, et iga DNH ahel koosneb umbes 15 000 nukleotiidist. Kuigi DNH ehitusest võtab osa ainult 4 nukleotiidi, võib nende suure arvu juures igas DNH ahelas esineda tohutu arv erinevaid DNH-sid.

Viimaste aastate uurimused näitasid, et kuigi üks DNH ahel erineb teisest nukleotiidse koostise poolest, sõltub ühe ahela nukleotiidide koostis rangelt teise ahela nukleotiidide koostisest. Kui mõlemad DNH ahelad on spiraalselt teineteise ümber keerdunud, siis on nad omavahel kontaktis ja ühe ahela nukleotiidid paiknevad teise ahela nukleotiidide vastas. Vastastikku paiknevate nukleotiidide asetuses pole midagi juhuslikku. Kui ühes ahelas esineb A, siis temaga kohakuti teises ahelas on alati T, kui ühes ahelas on G, siis teises esineb alati C. Mingeid teisi variante ei ole olemas. Sel viisil paaris A-T ja samuti paaris G-C üks nukleotiid nagu täiendaks teist. Sellepärast võib rääkida, et A on T täiendav (komplementaarne) nukleotiid ja vastupidi, T täiendab A-d; G on komplementaarne C-le ja vastupidi, C komplementaarne G-le.

Järelikult, kui ühe DNH ahela mingis lõigus paiknevad üksteise järel nukleotiidid A, G, G, C, T, A, C, C, siis teise ahela vastasolevas lõigus leiame komplementaarsed nukleotiidid: T, C, C, G, A, T, G, G. Seda *komplementaarsuse printsiipi* nukleotiidide paiknemises DNH vastastikustes ahelates selgitab tahvel VI. Kui on teada nukleotiidide järjestus ühes ahelas, siis selgub komplementaarsuse printsiibi järgi otsekohe ka nukleotiidi järjestus teises ahelas.

D N H r e p l i k a t s i o o n. DNH struktuuri aluseks olev komplementaarsuse printsiip annab võimaluse mõista, kuidas sünteesitakse raku jagunemisel uued DNH molekulid.

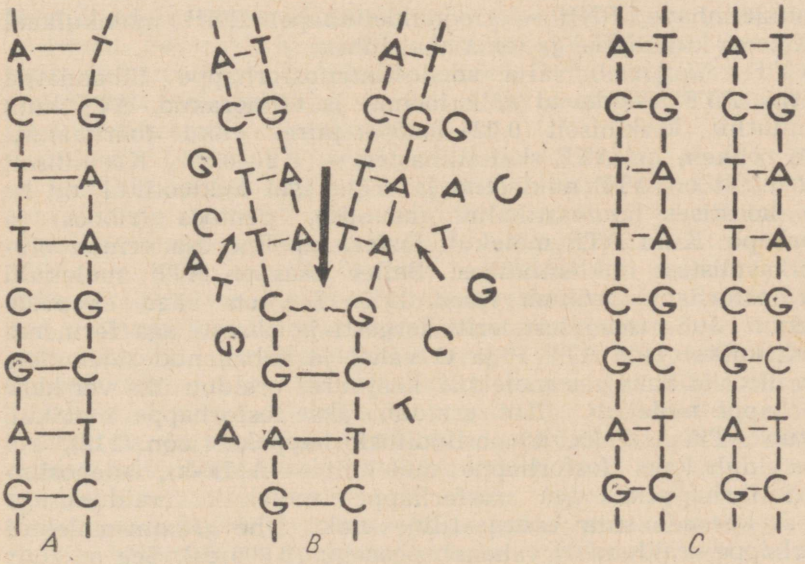
See süntees põhineb DNH suurepärasel võimel iseeneslikult kahekordistuda. Nagu näitasid viimaste aastate uurimused, on DNH isekahestumine (autoreplikatsioon) pärilike omaduste edasiandmise aluseks emasrakult järglasrakkudele. DNH isekahestumine toimub rakus vahetult enne selle jagunemist.

Kuidas see toimub, näitab joon. 111. Kaheniidiline DNH spiraalahel hakkab ühest otsast lahknema 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 T vastu A jne. Selle tulemusel tekib ühe DNH molekuli asemele kaks lähtemolekuliga täpselt samasuguse nukleotiidse koostisega molekuli. Seda protsessi nimetatakse replikatsiooniks. Üks ahel igas vastmoodustunud DNH molekulis on päritud lähtemolekulist, teine uuesti sünteesitud.

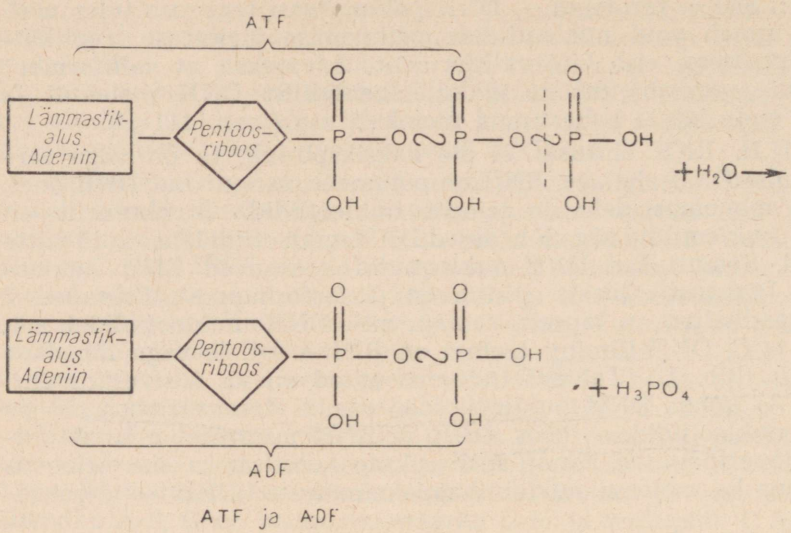
DNH süntees kujutab endast fermentatiivset protsessi, mis

toimub erilise fermendi — DNH-polümeraasi tegevuse tulemusel. DNH annab vaid nukleotiidide paiknemise järjestuse, replikatsiooniprotsessi viib läbi valkferment. Arvatakse, et valkferment otsekui «roomab» mööda pikka kaheniidilist DNH molekuli ja jätab enda järele kahestunud molekuli osa (joon. 111 B).

R N H. RNH ehituses ei ole kaksikspiraali, ta on väga sarnane ühe DNH ahelaga. RNH on polümeer, samuti kui DNH ahel. Tema monomeerideks on samuti nukleotiidid. Struktuurilt on RNH nukleotiidid väga lähedased DNH nukleotiididele, kuid mitte samad. Samuti kui DNH nukleotiidid koosnevad RNH nukleotiidid lämmastikalusest, pentoosist ja fosforhappest. Esimesed 3 lämmastikalust on täpselt samad mis DNH nukleotiididel, s. t. A, G ja C. DNH tümiini asemel on RNH-l sellele väga lähedane uratsiil (lüh. U). Tähtsusetud erinevused on ka süsivesiku ehituses — kõigis DNH nukleotiidides esineb desoksüriboos, kõigis RNH nukleotiidides riboos. DNH ja RNH uurimisel avastati esimesena erinevused nende süsivesikute koostises ja see erinevus kajastus ka mõlema nukleiinhappe nimetuses: DNH — desoksü-



Joon. 111. DNH molekuli replikatsiooni skeem: A — DNH lähtemolekul enne replikatsiooni; B — DNH molekuli ühest otsast algas replikatsioon, ahelad lähevad lahku ja kumbki ahel ehitab endale nukleotiididest uue ahela komplementaarsuseprintsiibi alusel; C — kaks replikatsiooniprotsessi tulemusel tekkinud DNH molekuli.



Joon. 112. ATF ehituse skeem, hüdrolüüs ja üleminek ADF-ks.

ribonukleiinhape, RNH — ribonukleiinhape. RNH molekulkaal on väiksem kui DNH-l ja tema ahel lühem.

A T F. Nii näeb välja adenosiintrifosforhappe lühendatud nimetus. ATF sisaldavad kõik looma- ja taimerakud. ATF hulk on muutlik, keskmiselt 0,02—0,05% piires raku toorkaalust. Kõige rohkem on ATF skeletilihastes — 0,2—0,5%. Keemiliselt struktuurilt on ATF nukleotiid ja nagu igal nukleotiidil on ka tema koostises lämmastikalus (adeniin), pentoos (riboos) ja fosforhape. Kuid ATF molekuli fosforhappeline osa erineb oluliselt tavalistest nukleotiididest. Selles osas on ATF molekulil kolm fosforhappe rühma (joon. 112). See on väga ebapüsiv struktuur. Juba iseenesest, eriti kergesti ja kiiresti aga fermendi toimel, katkeb side ATF P ja O vahel ja vabanenud sidemetele liitub üks või kaks vee molekuli, kusjuures eraldub üks või kaks fosforhappe molekuli. Kui eraldub üks fosforhappe molekul, muutub ATF ADF-ks, adenosiindifosforhappeks (joon. 112), kui aga eraldub kaks fosforhappe molekuli — AMF-ks, adenosiinmonofosforhappeks. Iga fosforhappe molekuli eraldumisega ATF-st kaasneb suur energeetiline efekt. Ühe gramm-molekuli fosforhappe eraldumisel vabaneb peaaegu 10 000 cal. See on suur energiahulk. Kõikidel teistel raku eksotermilistel reaktsioonidel vabaneb palju vähem energiat — kõige efektiivsemad neist annavad mitte üle 2000—2500 cal. Et rõhutada ATF fosfori-hapniku vaheliste sidemete eriti kõrget energeetilist efektiivsust, nimetatakse seda sidet «energiarikkaks sidemeks» ja sellist sidet ei

tähistata mitte joonekesega nagu tavaliselt, vaid märgiga ~. ATF-s on kaks energiarikast sidet.

ATF tähtsus raku elus on väga suur. Nagu näeme edaspidi, on tal keskne osa rakusisestes energiamuundumistes. Reaktsioonides, millest ATF osa võtab, kaotab ta tavaliselt ühe fosforhappe molekuli ja läheb üle ADF-ks. ADF-st sünteesitakse fosforhappe liitmisega uuesti ATF. Arusaadavalt kulgeb see reaktsioon energia neeldumisega (10 000 cal gramm-molekuli kohta).

36. *Raku aine- ja energiavahetus*

Rakus toimuvaid keemilisi reaktsioone iseloomustab kõrge organiseerituse ja korrapärasuse tase: iga reaktsioon kulgeb rangelt kindlaksmääratud raku osas. Fermentide molekulid paiknevad rakus ühemolekulaarse kihina sisemistel struktuuridel — mitokondritel ja endoplasmaatilise võrgustiku membraanidel, kattes neid nagu kahhelplaadid seina. Sealjuures ei paikne fermendid juhuslikult, vaid selles järjestuses, milles toimuvad reaktsioonid. Niiviisi kujutavad fermendimolekulidega vooderdatud sisemembraanid endast «katalüütilist konveierit», millel keemilised reaktsioonid toimuvad erakordse kiiruse ja täpsusega.

Näeme, et rakk kujutab endast keerulist kõrge korrapärastatusega struktuuri, milles plaanipäraselt, organiseeritult ja materjalide, energia ning aja kulu osas erakordselt ökonoomselt toimuvad keemilised reaktsioonid.

Plastiline ainevahetus (assimilatsioon). Rakus on kindlaks tehtud umbes 700 fermendi esinemine. Selle võimsa katalüütilise aparaadi abil toimub keeruline ja mitmekülgne keemiline tegevus. Raku keemiliste reaktsioonide tohutust arvust võib esile tõsta kaht 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 rakuosade, organoidide, eritiste, fermentide ja varuainete ehitamiseks. Sünteesireaktsioonid toimuvad eriti intensiivselt kasvavas rakus, kuid ka kasvu ja arenemise lõpetanud täiskasvanud rakus toimub pidevalt ainete süntees molekulide ja nende osade asendamiseks, mis on muutunud kõlbmatuks funktsioneerimise protsessis või hävinud raku kahjustamisel.

Iga hävinud valgu- või mõne muu aine molekul asendub uuega. Sel teel säilitab rakk püsivalt oma kuju ja keemilise koostise, vaatamata nende pidevale muutumisele eluprotsessides.

Rakus toimuvat ainete sünteesi nimetatakse tema eristami-

seks keemikute poolt laboratoorsetes tingimustes läbiviidavatest sünteesireaktsioonidest bioloogiliseks sünteesiks või lühendatult biosünteesiks.

Kõikide biosünteesireaktsioonide juures neeldub teatud hulk energiat.

Biosünteesireaktsioonide kompleksi nimetatakse plastiliseks ainevahetuseks ehk assimilatsiooniks. Esimene nimetus põlvneb kreekakeelsest sõnast *plastos* — voolitud, kujundatud. Nagu kujur vormib savist või marmorist kujutise, nii loob rakk biosünteesi käigus sünteesitud ainetest oma keha. Teine nimetus, assimilatsioon ehk sarnastamine, pärineb ladinakeelsest sõnast *similis* — sarnane. Selle termini mõte seisab selles, et biosünteesi materjaliks on ained, mis laekuvad väliskeskkonnast, s. t. toitained, nagu hapnik, vesi, orgaanilised ühendid. Toitained erinevad oma keemiliselt koostiselt loomulikult teravalt raku ainetest. Biosünteesi tulemusel moodustuvad rakuainetele mittesarnastest toitainetest ained, mis on rakuainetega sarnased. Sellepärast nimetataksegi seda protsessi assimilatsiooniks ehk sarnastamiseks.

Teine tüüp raku keemilisi reaktsioone on lõhustumisreaktsioonid. Keerulised ained lõhustuvad lihtsamateks, kõrgmolekulaarsed — madalmolekulaarseteks. Valgud lagunevad aminohapeteks, tärklis — glükoosiks. Need ained lõhustuvad omakorda veel lihtsamateks ühenditeks ja lõppude lõpuks moodustuvad täiesti lihtsad ja energiavaesed ained — CO_2 ja H_2O.

Lõhustumisreaktsioonidega kaasneb enamikul juhtudel energia eraldumine. Nende reaktsioonide bioloogiline tähtsus seisab raku kindlustamises elutegevuseks vajaliku energiaga. Iga aktiivsuse vorm — liikumine, sekretsioon, biosüntees ja teised — vajab energiat, mis laekub keemiliste lõhustumisreaktsioonide tulemusel vabanevast energiast.

Lõhustumisreaktsioonide kompleksi nimetatakse sellepärast raku energiavahetuseks ehk dissimilatsiooniks. Esimene termin ei vaja nähtavasti selgitamist ja selles valguses, mida eespool kuulsime assimilatsiooni kohta, peaks olema mõistetav ka teine. Dissimilatsioon on assimilatsiooni otsene vastand: lõhustumise tulemusel kaotavad ained sarnasuse raku ainetega.

Plastiline ja energeetiline ainevahetus ehk assimilatsioon ja dissimilatsioon on omavahel lahutamatult seotud. Seos seisab selles, et biosünteesireaktsioonid vajavad toimumiseks energiat, mida saadakse lõhustumisreaktsioonidest. Teisest küljest tekivad dissimilatsiooni käigus pidevalt produktid, mida kasutatakse biosünteesi lähtematerjaliks.

Aine- ja energiavahetus. Keerukad reaktsioonidesüsteemid, millest koosnevad assimilatsioon ja dissimilatsioon, 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.

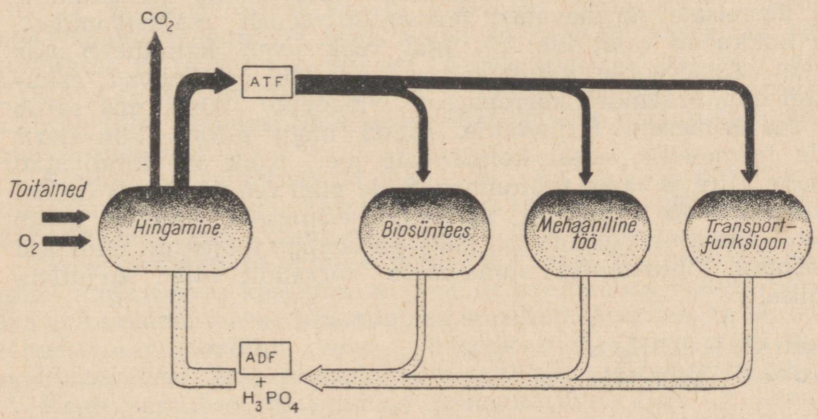
Kogu rakus toimuvate omavahel ja väliskeskkonnaga seotud fermentatiivsete reaktsioonide summat, s. t. plastilise ja energeetilise ainevahetuse ehk assimilatsiooni ja dissimilatsiooni kompleksi, nimetatakse aine- ja energiavahetuseks. See protsess on raku elu säilitamise põhitingimuseks, raku kasvu, arenemise ja funktsioneerimise allikaks.

ATF kui ühtne ja universaalne energeetiline aine. Iga elutegevuse avaldus, iga raku funktsioon nõuab energia kulutamist. Energia on vajalik liikumiseks, biosünteesireaktsioonideks ja mitmesugusteks teisteks raku aktiivsuse avaldumisvormideks.

Missugusel kujul kasutab rakk lõhustumisreaktsioonide energiat oma erinevate funktsioonide jaoks?

Uurimused näitasid, et raku ükskõik milline funktsionaalne tegevus langeb ajaliselt alati täpselt kokku igas rakus leiduva ATF lagunemisega.

Lühiajalise pingelise töö korral (mille näiteks võib tuua lühimaajooksu) töötavad lihased peaaegu eranditult neis leiduva ATF arvel. Suurenenud sekretsiooni korral toimub näärmerakkudes samuti intensiivne ATF lõhustumine. Keerulise ehitusega ainete sünteesil, nagu liitsüsivesikud või valgud, toimub üheaegselt sünteesireaktsiooniga ka ATF lagunemine. Nende faktide alusel on tehtud järeldus, et vahetuks energiaallikaks niihästi lihaste kokkutõmbel, sekretsioonil kui ka keeruliste ühendite sünteesil rakus on ATF lõhustumisel vabanev energia. Kuna ATF varud rakus on piiratud, on selge, et pärast ATF lagune-



Joon. 113. ATF süntees energiavahetuse protsessis.

mist peab leidma aset ka selle taastumine. Nii see ka tegelikkuses toimub. Selles ongi ülejäänud dissimilatsioonireaktsioonide bioloogiline mõte. Nendel reaktsioonidel on üks funktsioon: nende käigus vabanev energia kasutatakse ATF taastamiseks (joon. 113). Sellepärast on ka mõistetav, et pikaajalise töö vältel raku ATF sisaldus oluliselt ei muutu, mida võib seletada sellega, et süsivesikute ja teiste ainete lõhustumisreaktsioonid kindlustavad kulutatud ATF kiire ja täieliku taastumise. Seega on ATF raku funktsionaalse tegevuse ainuke ja universaalne energiaallikas. Siit tuleneb järeldus, et energiat võib üle anda ühtedest rakuosadest teistesse. ATF süntees võib toimuda rakus ühes kohas ja ühel ajal, selle kasutamine aga võib toimuda hoopis teises kohas ja teisel ajal. Põhiliseks kohaks rakus, kus toimub ATF süntees, on mitokondrid. Siin moodustunud ATF suundub mööda endoplasmaatilise võrgustiku kanaleid neisse kohtadesse rakus, kus tekib energiavajadus.

Energiavahetuse kolm etappi. Raku energiavahetuse uurimiseks on kasulik jaotada see kolmeks järjestikuseks etapiks. Vaatleme neid etappe loomaraku näitel.

Esimene ehk ettevalmistav etapp. Sellel etapil lagunevad süsivesikute, rasvade, valkude ja nukleiinhapete suured molekulid väiksemateks: tärklisest moodustub glükoos, rasvadest — glütseriin ja rasvhapped, valkudest aminohapped ja nukleiinhapetest nukleotiidid. Ainete lagunemisega sellel etapil kaasneb tühine energeetiline efekt ja kogu siinjuures vabanev energia hajub soojuse näol.

Teine energiavahetuse etapp on anaeroobne ehk mittetäielik. Ettevalmistaval etapil moodustunud ained — glükoos, glütseriin, kõrgmolekulaarsed orgaanilised happed, aminohapped ja muud jätkavad lagunemist. See on keeruline paljuastmeline protsess. Nii näiteks koosneb glükoosi anaeroobne lõhustumine reast üksteisele järgnevatest fermentatiivsetest reaktsioonidest, mida kokku on veidi üle 10. Igat reaktsiooni katalüüsib oma ferment. Anaeroobse lõhustumise 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 täpse toimumise. Selle pika rea üksikutel lülidel peatumata võib öelda, et konveieri esimesele astmele astub glükoos, viimaselt aga lahkub kaks piimhappe molekuli. Glükoosi anaeroobse lõhustumise summaarse võrrandi võib kirjutada järgmiselt:

$$C_6H_{12}O_6 = 2C_3H_6O_3$$
glükoos piimhape

Võrrandist näeme, et glükoosi muundumine piimhappeks toimub hapniku osavõtuta, mispärast seda protsessi nimetatakse ka

anaeroobseks lõhustumiseks. Selgub ka, miks seda lõhustumist nimetatakse mittetäielikuks — glükoosi täielik lõhustumine oleks tema lagunemise lõpuni, s. t. muutumine lihtsaimateks ühenditeks — süsihappegaasiks ja veeks vastavalt üldvalemile

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$$

Glükoosi anaeroobse lõhustumise protsess toimub kõigis loomarakkudes ja mõnedes mikroorganismides.

Peaaegu kõik glükoosi anaeroobse lõhustumise vahereaktsioonid kulgevad energia eraldamisega. Iga üksik reaktsioon annab vähe energiat, kogusummas aga saame küllaltki suure hulga: 1 gramm-molekuli glükoosi (180 g) lagunemisel kaheks piimhappe molekuliks vabaneb peaaegu 50 000 cal. Kui selline energiahulk vabaneks korraga, ühe reaktsiooni tulemusel, siis võiks see viia ohtlikule ülekuumenemisele ja kutsuks esile raku kahjustumise. Protsessi jagunemine reaks vahelülideks aga tingib energia järkjärgulise eraldumise, mis kaitseb rakku soojakahjustusest. Paralleelselt glükoosi anaeroobse lõhustumisega toimub alati veel üks teine reaktsioon — ATF süntees. ATF sünteesitakse ADF-st ja fosforhappest, mis rakus alati esinevad. ADF liitub ühe fosforhappe molekuliga ja moodustub ATF molekul:

$$ADF + H_3PO_4 = ATF + H_2O$$

Glükoosimolekuli muutumisega kaheks piimhappe molekuliks kaasneb kahe ATF molekuli moodustumine.

Kuna ATF süntees on endotermiline protsess, siis tähendab toodud asjaolu seda, et mitte kõik glükoosimolekuli anaeroobsel lõhustumisel vabanev energia ei muutu soojuseks. Osa sellest energiast läheb kahe energiarikka fosfaatsideme sünteesiks.

Teeme lihtsa arvestuse: gramm-molekuli glükoosi anaeroobse lõhustumise käigus vabaneb kokku 50 000 cal. Ühe energiarikka sideme moodustumiseks kulub 10 000 cal. Anaeroobse hapendumise käigus moodustub kaks sellist sidet. ATF energiaks läheb järelikult $2 \cdot 10\,000 = 20\,000$ cal. Niisiis säilib 50 000 cal ainult 20 000 ATF kujul, 30 000 cal aga hajub soojusena. Järelikult säilitab rakk glükoosi anaeroobse lõhustumise käigus 40% vabanenud energiast.

Kolmas energiavahetuse etapp on *aeroobse* ehk täieliku lõhustumise 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. Igat reaktsiooni katalüüsib eriline ferment.

Kogu aeroobse lõhustumise fermentatiivne rida on koondatud mitokondritesse. Aeroobse lõhustumise fermendid paiknevad mitokondrite membraanidel korrapäraste ridadena, moodustades

«fermentide konveierliini». Iga reaktsiooni olemus seisab orgaanilise molekuli hapendumises, mis iga astmega järk-järgult laguneb ja muutub hapendumise lõpp-produktideks — süsihappegaasiks ja veeks.

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 aeroobne lõhustumine hiiglasliku energiahulga: 650 000 cal kahe piimhappe gramm-molekuli kohta. Kui selline energiahulk vabaneks hetkeliselt, ühe reaktsiooni tulemusel, ähvardaks rakku soojakahjustuse oht. Protsessi hajutamisel reaks vahelülideks sellist ohtu ei ole.

Aeroobse staadiumi üksikasjaline uurimine näitas, et samuti nagu anaeroobse protsessi käigus, nii toimub ka sellel staadiumil ATF moodustumine ADF-st. Kahe piimhappemolekuli aeroobse lõhustumise käigus sünteesitakse 36 ATF molekuli, s. t. 36 energiarikast fosfaatsidet.

Nüüd peaks olema selge ka energiavahetuse kolmanda staadiumi — piimhappe aeroobse lõhustumise staadiumi tähtsus. Kui anaeroobse lõhustumise käigus vabaneb 50 000 cal gramm-molekuli glükoosi kohta, siis aeroobse lõhustumise staadiumil vabaneb veel 650 000 cal. Kui anaeroobse protsessi käigus sünteesitakse kaks ATF molekuli, siis aeroobsel lõhustumisel sünteesitakse veel 36 ATF molekuli. Teiste sõnadega, aeroobse lagunemise staadiumil moodustub üle 90% sellest energiast, mida rakk saab glükoosi lõhustumise protsessis. Tabelis on toodud kokkuvõtlikud andmed glükoosi lõhustumise etappide ja nende energeetilise efektiivsuse kohta.

Teeme jälle arvutuse. Kokku sünteesitakse glükoosi lõhustumisel süsihappegaasi ja veeni, s. t. anaeroobse ja aeroobse lõhustumise protsesside käigus $2 + 36 = 38$ ATF molekuli. See tähendab, et ATF potentsiaalsesse energiasse läheb üle $38 \times 10\,000 = 380\,000$ cal. Glükoosi lõhustumisel (anaeroobses ja aeroobses staadiumis) vabaneb aga $50\,000 + 650\,000 = 700\,000$ cal. Järelikult hoiab rakk peaaegu 55% kogu glükoosi lõhustumisel vabanevast energiast alal ATF 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 $\sim$ 35%. Nii ületab energia muundumise efektiivsuse seisukohalt elus rakk kõiki tehnikas tuntud energiamuundajaid.

Glükoosi anaeroobse ja aeroobse lõhustumise käigus vabanevate energiahulkade ning samuti mõlemal staadiumil sünteesitavate ATF molekulide arvu vastandamisel näeme, et hapnikuga kulgev protsess on võrreldamatult efektiivsem kui anaeroobne.

Glükoosi lõhustumise etapid ja nende energeetiline efektiivsus

Energiavahetuse etapid	Summaarne reaktsioon	Vabanev energia (cal)	Süntee-sitavate ATF molekulide arv	ATF sünteesiks kuluva energia hulk (cal)	Kasutatud energia %
Anaeroobne lõhustumine	$C_6H_{12}O_6 = 2C_3H_6O_3$	50 000	2	2·10 000 = 20 000	40
Aeroobne lõhustumine	$2C_3H_6O_3 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$	650 000	36	36·10 000 = 360 000	55
Kokku:	$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$	700 000	38	38·10 000 = 380 000	54

Anaeroobse lõhustumise staadiumis vabaneb umbes 1/20 sellest energia hulgast, mis vabaneb aeroobsel protsessil. Seepärast on täiesti mõistetav, et normaalsetes tingimustes raku energiaga varustamiseks kasutatakse alati nii anaeroobset kui aeroobset lõhustumisviisi. Kuid sageli võivad tekkida olukorrad, kus aeroobse protsessi toimumine on raskendatud või täiesti võimatu, näiteks hapnikunälja korral. Siis jääb elu alalhoiuks üle üks tee — kasutada energia saamiseks ainult anaeroobset protsessi. Nagu nägime eespool, annab anaeroobne lõhustumisprotsess võrreldes aeroobsega väga vähe ATF. ATF saamiseks elutegevuseks vajalikul hulgal peab rakk lõhustama väga suurel hulgal glükoosi, mis ei ole kasulik. Kuid ebasoodsates tingimustes ei jää elu alalhoiuks muud võimalust peale anaeroobse lõhustumisviisi kasutamise.

Hingamine ja põlemine. Rakus toimuvat orgaaniliste ainete lõhustumist võrreldakse sageli põlemisega. Juba XVIII sajandi lõpul avastas Lavoisier sarnasuse elusorganismide hingamise ja orgaaniliste ainete — õli, piirituse, puidu — põlemise vahel: mõlemal juhul toimub hapniku neeldumine ja hapendusproduktide CO_2 ja H_2O eraldumine. Selle alusel tegi suur keemik järelduse, et hingamine ja põlemine on ka mehhanismilt ühesugused. Lavoisier oletas, et need protsessid erinevad ainult kvantitatiivselt, s. o. intensiivsuselt. Siit tekkis ka teaduses kaua püsinud ettekujutus hingamisest kui aeglasest põlemisest. Kuid

ühelt poolt põlemisprotsesside ja teiselt poolt bioloogilise hapendumise üksikasjaline uurimine näitas, et nende protsesside vahel on sügav printsipiaalne erinevus. Põlemisproduktide koostis on määramatu ja ebapüsiv, muutub sõltuvalt hapendatava aine ja hapniku suhtest, sõltub temperatuurist ja muudest tingimustest. Vastupidiselt sellele kujutab bioloogiline hapendumine endast korrapärast ja kõrgeltorganiseeritud protsessi, järjestikuste spetsialiseerunud fermentatiivsete reaktsioonide rida.

37. Autotroofsed ja heterotroofsed rakud. Fotosüntees. Kemosüntees

A u t o t r o o f s e d r a k u d. 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 — süsivesikuid, valke jt. Rakke, mis on võimelised sünteesima orgaanilisi ühendeid anorgaanilistest, nimetatakse a u t o t r o o f s e t e k s rakkudeks ehk autotroofideks. Põhilisteks autotroofideks maakeral on roheliste taimede rakud. Autotroofne toitumisviis iseloomustab ka väikest osa mikroorganisme.

H e t e r o t r o o f s e d r a k u d. 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 h e t e r o t r o o f s e t e k s rakkudeks või heterotroofideks. Kõigi loomade, inimese, enamiku mikroorganismide ja ka mõnede taimede (näiteks seente) rakud on heterotroofsed.

F o t o s ü n t e e s. Orgaaniliste ühendite sünteesiks lihtsatest energiavaestest ainetest on vaja väljastpoolt tulevat energiat. Rohelised taimed kasutavad selleks päikese valgusenergiat. Taimerakkudel on eriline mehhanism, mis annab neile võimaluse muundada valgusenergiat keemiliste sidemete energiaks. Seda protsessi nimetatakse fotosünteesiks.

Fotosünteesiprotsessi võib kujutada järgmise üldvõrrandiga:

$$6CO_2 + 6H_2O = C_6H_{12}O_6 + 6O_2.$$

Fotosünteesi võrrandist on näha, et selle protsessi tulemusel energiavaesed ained CO_2 ja H_2O muutuvad keeruliseks orgaaniliseks aineks — süsivesikuks, mille hapendumisel rakus vabaneb ligi 700 000 cal. Fotosünteesi tulemusel vabaneb molekulaarne hapnik.

Fotosünteesi tähtsust iseloomustas väga hästi K. Timirjazev: «See on protsess, millest lõpptulemusena sõltuvad kõik elu avaldused meie planeedil.» Sellel kinnitusel on täielik alus, sest fotosüntees on põhiline orgaaniliste ühendite tootja ja ainuke vaba hapniku allikas maakeral.

Fotosünteesi üldvõrrand ei anna pilti selle protsessi mehhanismist. See on väga keeruline protsess, mida uuritakse juba üle poole sajandi, kuid kaugeltki pole kõik vahereaktsioonid veel välja selgitatud.

Põhiline osa fotosünteesi protsessis kuulub klorofüllile — keerulisele rohelist värvi orgaanilisele ainele, mis on struktuurilt sarnane punase verepigmendi hemoglobiiniga. Nagu hemoglobiini molekulis, nii on ka klorofülli molekulis metalli aatom. Hemoglobiin sisaldab raua aatomi, klorofüll magneesiumi aatomi. Klorofüll paikneb taimerakkude tsütoplasmas erilistes struktuurides — kloroplastides. Kloroplasti ehitus elektronmikroskoobis on toodud mikrofotol (joon. 106). Klorofülli on roheliste lehtedes umbes 1% kuivkaalust. Klorofüll lahustub piirituses ja teda on kerge eraldada, lastes lehti piirituses seista. Klorofülli piirituslahus on roheline ja fluorestseeruvate omadustega. Klorofüllilahuse valgustamisel neelavad ta molekulid valgust (footoneid) ja lähevad füüsikute keeles üle «ergastatud olekusse». See tähendab, et klorofülli elektronid lähevad üle kõrgemale energeetilisele tasemele. Nad püüavad aga taastada oma esialgse püsiva, «rahuliku» oleku. Sealjuures annavad nad ära neeldunud energia, mis hajub fluorestsentsvalguse näol. Klorofüll ei ole võimeline lahuses varuma valgusenergiat. Teistsugune pilt esineb rakus, kus klorofüllimolekulid on lülitunud kloroplastistruktuuri, kus klorofüll ei ole vabas olekus, vaid on seotud fermentide ja teiste ainete molekulidega.

Neeldunud energia ei haju, vaid muudetakse keemiliste sidemete energiaks. Selle muundumise mehhanism ei ole veel täpselt teada, kuid on tehtud kindlaks, et üheks tema produktiks on ATF, teiseks aga heksoos ($C_6H_{12}O_6$), mida varutakse tärklise näol.

Nagu kõik teised rakud, nii hingavad ka taimerakud pidevalt, s. t. neelavad hapnikku ja eraldavad CO_2, kasutades selles protsessis vabanevat energiat oma funktsioonide täitmiseks. Paralleelselt sellega muundavad taimerakud päeval klorofüllisisal-

dava mehhanismi abil valgusenergiat keemiliseks energiaks, sünteesides ATF ja süsivesikut (heksoosi). Sealjuures eraldub reaktsiooni kõrvalproduktina molekulaarne hapnik. Uurimised näitavad, et 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, öösel aga eraldavad hingamisprotsessis moodustuvat süsihappegaasi.

Kemosünteesis. Peale roheliste taimede on autotroofideks ka mõned bakterid. Nende rakkudel ei ole klorofülli ja viis, kuidas nad mobiliseerivad energiat sünteesireaktsioonide jaoks, erineb põhimõtteliselt taimerakkude omast.

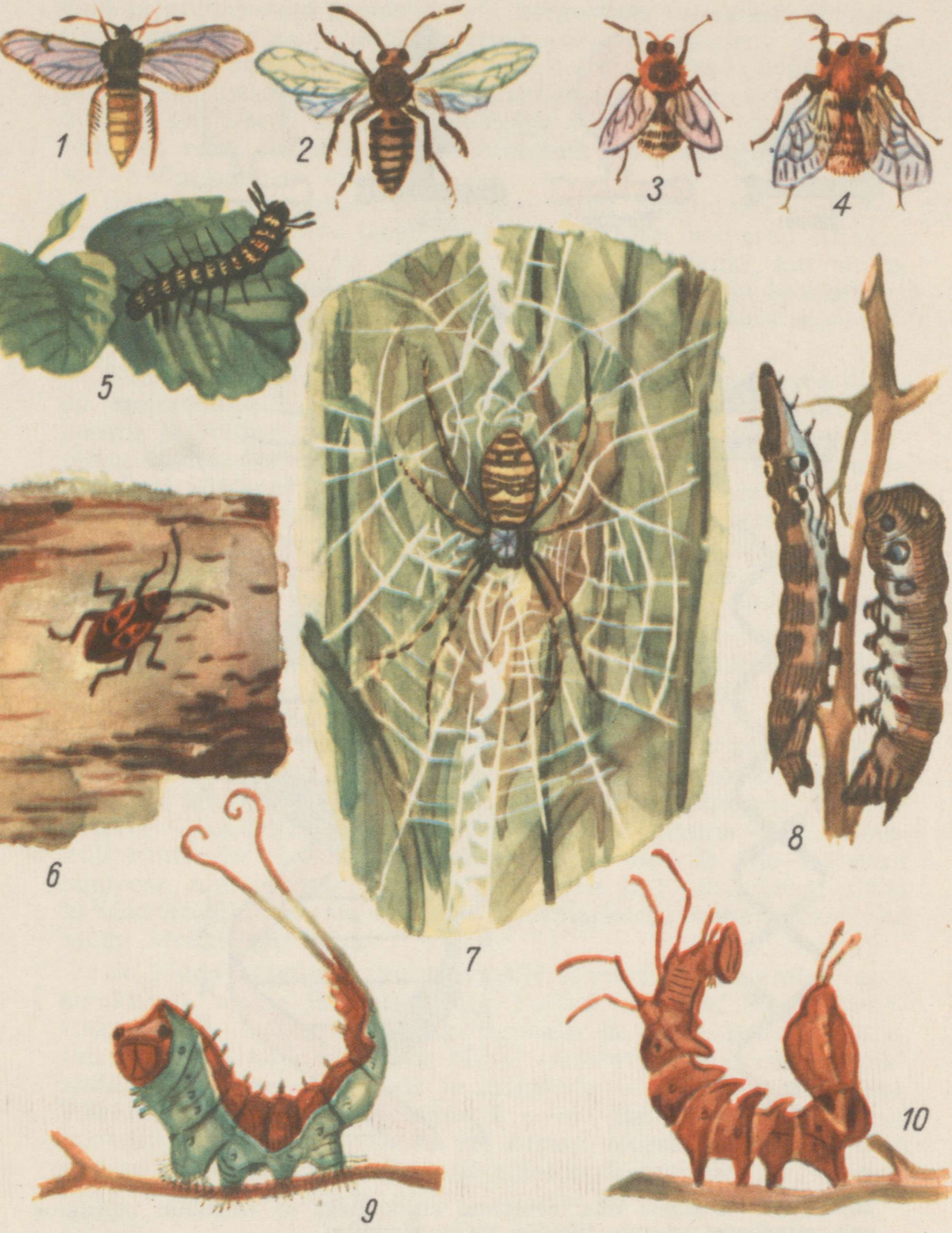
Uue autotroofide tüübi avastas kuulus vene teadlane-mikrobioloog S. Vinogradski. Tema poolt avastatud autotroofid kasutavad sünteesireaktsioonideks keemiliste reaktsioonide energiat. Nendel rakkudel on eriline, väga keeruline ja seni väheuuritud fermentaparaat, mis lubab neil muuta keemiliste reaktsioonide (eriti anorgaaniliste ainete hapendumisreaktsioonide) energiat sünteesitavate orgaaniliste sidemete keemiliseks energiaks. Seda protsessi kutsutakse kemosünteesiks.

Kõige tuntumateks autotroofideks, mis kasutavad kemosünteesi, on nitrifitseerivad bakterid. Energiaallikaks kasutab nende bakterite üks liik ammoniaagi hapendumisreaktsiooni lämmastikushappeks; teine nitrifitseerivate bakterite rühm kasutab 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.

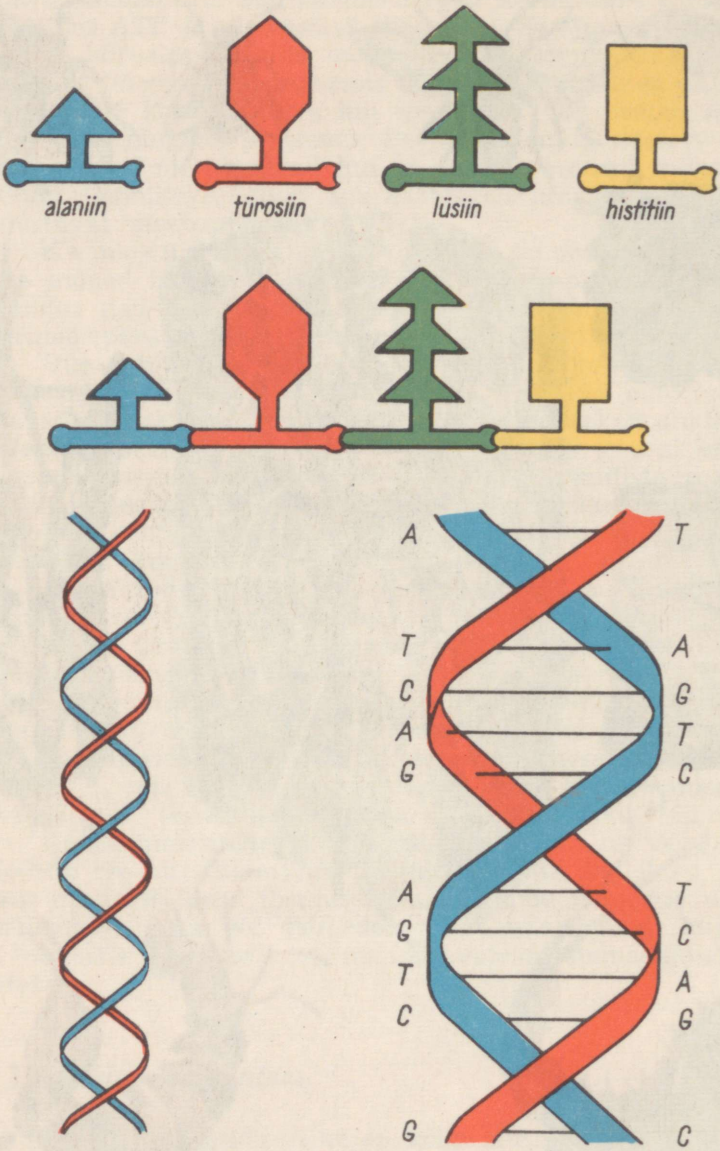
Kemosünteesivate autotroofide osatähtsus on väga suur. Eriti kehtib see nitrifitseerivate bakterite kohta, kellel on suur tähtsus mullaviljakuse tõstmisel, kuna nende bakterite elutegevuse tulemusel vaba või taimedele mitteomastataval kujul esinev lämmastik seotakse hästi omastatavateks lämmastikhappe sooladeks.

38. Valgu biosüntees

Võime sünteesida valke on kõigi elusate rakkude tähtsaim ja iseloomulikem omadus. See omadus tuleb selgesti esile rakkude kasvamisel ja arenemisel. Autotroofsed rakud sünteesivad valku anorgaanilistest ühenditest, heterotroofsed rakud aga aminohapetest, mida rakk saab teiste loomade ja taimede valkude lõhustamisel. Iga rakk sünteesib valke kogu elu jooksul, kuna pidevalt tekib vajadus täiendada, uuendada ja asendada puudu-



Tahvel V. Mimikri, hoiatusvärvus ja ähvarduspoosid mitmesugustel putukatel. Mimikri näited: paju-klaastiib (1) matkib vapsikut (2); õiekärbes (3) matkib kimalast (4). Hoiatusvärvuse näited: lepalainelase röövik (5); tavaline punalutikas (6); ämblik *(Argyrope)* (7); tapusuru röövikud (8). Ähvarduspoosid: tuttkedriklaste röövikud — suur harksaba *(Dicranura)* (9) ja pöökpuu harksaba *(Stauropus)* (10).



Tahvel VI. Ülemine rida: erinevate kujunditega on tinglikult tähistatud neli aminohapet (alaniin, türosiin, lüsiin, histidiin).
Teine rida: aminohapete ühendumine polüpeptiidahelas; all vasemal — DNH molekuli ehituse skeem; paremal — DNH molekuli lõik; kaks spiraalselt keerdunud ahelat on omavahel ühendatud lämmastikalustega (A — adeniin, T — tümiin, G — guaniin, C — tsütosiin).

vaid ja elutegevuse protsessis või kahjustuse tulemusel kõlbmatuks muutunud raku üksikosi, organoide ja fermente.

Iga rakk sarnaneb niihästi väliselt kui ka funktsionaalsetelt ja biokeemilistelt omadustelt oma vanemaga. Kuna rakkude omadusi ja tunnuseid määravad eelkõige valgud, siis tähendab see seda, et rakk on võimeline sünteesima niisamasuguseid valke, mida sünteesis ta emarakk.

Öeldu annab meile ettekujutuse valgu biosünteesi erakorralisest tähtsusest raku jaoks. Sellest protsessist sõltuvad niihästi raku omadused kui ka selle elutegevus, arenemine, kasvamine ja pärilikud omadused. Sellepärast huvitavad valgu biosünteesi küsimused väga erinevaid bioloogia harusid ja nendele küsimustele pööratakse kaasaja teaduses suurt tähelepanu.

Valgud kujutavad endast polümeere, mille monomeerideks on aminohapped. Iga valku iseloomustab kindel aminohapete koostis ja eriline, ainult sellele valgule omane aminohapete järjestus molekulis. Kuidas aga toimub sellise suure ja keerulise molekuli süntees? Kuidas valitakse vajalikke aminohappeid, rivistatakse ja ühendatakse kindlaksmääratud, ranges järjekorras? Veel hiljuti ei osatud neile keerulistele küsimustele vastata, praegu on nad aga põhiliselt lahendatud ja nende lahendamist võib lugeda XX sajandi 50.-te aastate lõpu ja 60.-te aastate alguse bioloogia ja biokeemia suursaavutuseks.

Põhiline osa valgu struktuuri määramisel kuulub DNH-le. Me teame juba, et DNH molekul on väga suur, ületades pikkuselt kõige suuremate valgu molekulide pikkuse kümneid ja isegi sadu kordi. DNH ahelasse mahub pikkuselt üksteise järel kümneid ning isegi sadu valgu molekule. Praeguseks ajaks on kindlaks tehtud, et DNH eri osad määravad erinevate valkude sünteesi. Üks DNH molekul võtab osa mõnekümne valgu molekuli sünteesist. Iga DNH piirkonda, mis määrab ühe molekuli sünteesi, nimetatakse geeniks. Iga geen kujutab endast DNH kaksikspiraali osa, mis sisaldab informatsiooni mingisuguse ühe valgu struktuuri kohta.

Et jõuda selgusele, kuidas DNH struktuur määrab valgu struktuuri, toome järgmise näite. Paljud tunnevad Morse tähestikku, mille abil antakse üle signaale ja telegramme. Morse tähestikus on kõik tähestiku tähed tähistatud lühikeste ja pikkade signaalide — punktide ja kriipsude — kombinatsioonidega. Tähte A tähistatakse ·—, tähte B ——· jne. Tinglike tähistuste kogumit nimetatakse koodiks või šifriks. Morse tähestik kujutab endast koodi näidet. Saades telegraafilindi punktide ja kriipsudega, võib Morse koodi tundev inimene kirjutatu kergesti dešifreerida.

DNH molekul, mis koosneb mitmest tuhandest järjestikku paigutatud nelja tüüpi nukleotiidist, kujutab endast valgu struktuuri määravat koodi. Nii nagu Morse koodis igale tähele

vastab punktide ja kriipsude kombinatsioon, nii vastab DNH koodis igale aminohappele teatud kindel järjestikku seotud nukleotiidide kombinatsioon.

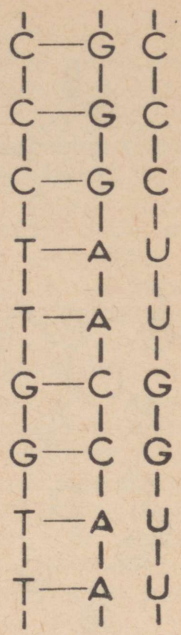
DNH kood. DNH koodi on õnnestunud peaaegu täielikult dešifreerida. See ei olnud kerge töö. Esimese ettekande selles küsimuses tegi biokeemikute kongressil Moskvas 1961. a. ameerika biokeemik Nirenberg. DNH koodi olemus on järgmine. Igale aminohappele vastab kolmest järjestikku paiknevast nukleotiidist 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 (tripleetideks) dešifreerime me 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. DNH kood on lihtsam. Erinevaid nukleotiide on 4. Nelja elemendi võimalike kombinatsioonide arv kolmekaupa on 4^3 ehk 64. Erinevaid aminohappeid on kokku 20. Nii piisab erinevatest tripleetidest kõigi aminohapete kodeerimiseks ning kombinatsioone jääb veel ülegi.

Informatiivne RNH. Nagu on selgunud, ei võta DNH ise vahenditult osa valgu sünteesist. DNH asub rakutuumas, valgu süntees toimub aga ribosoomides, rakuplasma vähimates struktuurides. DNH ainult sisaldab ja hoiab alal informatsiooni valgu struktuuri kohta. Valgu sünteesiks saadetakse ribosoomidesse selle informatsiooni täpsed koopiad. See toimub RNH abil, mis sünteesitakse DNH-l ja kopeerib täpselt viimase struktuuri. RNH nukleotiidide järjestus kordab täpselt nukleotiidide järjestust ühes geeni ahelas. Niiviisi nagu kirjutatakse antud geeni struktuuris sisalduv informatsioon ümber RNH-le. Igast geenist võib saada suvalise arvu RNH koopiaid. Seda RNH, mis kannab ribosoomidesse informatsiooni valgu koostise kohta, nimetatakse informatiivseks RNH-ks.

Selleks et mõista, kuidas nukleotiidide koostis ja paiknemise järjestus geenis «kirjutatakse ümber» RNH-le, meenutame DNH kahespiraalilise molekuli ehitust (tahvel VI). Me rääkisime juba sellest, et ühe ahela nukleotiidid määravad nende vastas paiknevate nukleotiidide iseloomu teises ahelas (vt. lk. 148). 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 informatiivse RNH sünteesil. Kuidas see toimub,



Joon. 114. Informatiivse RNH sünteesi skeem.

võib näha joon. 114. Iga nukleotiidi vastu ühes ahelas asetub teda täiendav nukleotiid informatiivses RNH-s. G_{DNH} vastu asetub C_{RNH}, C_{DNH} vastu G_{RNH}, A_{DNH} vastu U_{RNH}[1], T_{DNH} vastu A_{RNH}. Selle tulemusel on moodustuv RNH ahel oma nukleotiidide koostiselt ja järjestuselt ühe DNH ahela koostise ja nukleotiidide järjestuse täpne koopia.

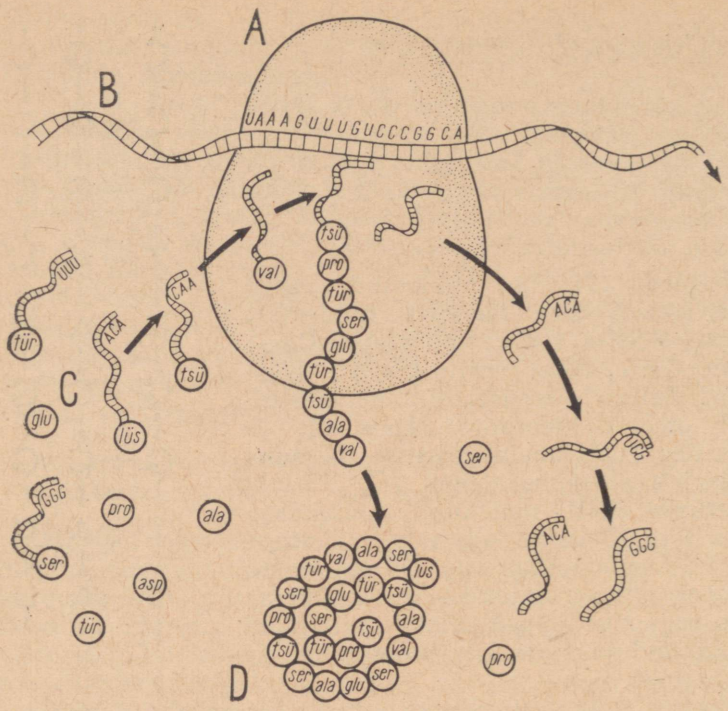
Informatiivse RNH molekulid suunatakse kohale, kus toimub valgu süntees, s. t. ribosoomidesse. Sinna suundub ka tsütoplasmast materjali vool, millest ehitatakse valk. Selleks materjaliks on aminohapped. Raku tsütoplasmas on alati toiduvalkude lõhustumisel tekkinud aminohapped.

Aminohapped ei satu ribosoomi pinnale iseseisvalt. Neid saadavad erilised RNH molekulid, mis on spetsiaalselt kohastunud aminohapete transportimiseks ribosoomide juurde. Neid nimetataksegi t r a n s p o r t - R N H -ks. Transport-RNH 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 tripleet, mis koodilt vastab antud aminohappele. Näiteks transport-RNH molekulil, mis on kohastunud aminohappe lüsiini transpordiks, on ühel otsal lüsiini «maandumisväljak», teisel aga («koodiotsal») nukleotiidide tripleet U—U—U. Kuna esineb üle 20 erineva aminohappe, siis peab esinema ka vähemalt 20 erinevat transport-RNH-d. Igale aminohappele vastab oma transport-RNH.

K u i d a s t ö ö t a b r i b o s o o m. Jääb üle teha selgeks, kuidas töötab ribosoom. Arvatakse, et pikka informatiivse RNH molekuli veetakse läbi ribosoomi nii, et igal momendil on ribosoomis vaid väike informatiivse RNH lõik (joon. 115).

Seda protsessi võib võrrelda lindi liikumisega kirjutusmasinas või padrunilindiga kuulipildujas. Koos informatiivse RNH-ga sisenevad ribosoomi transport-RNH molekulid nendega seotud

[1] Meenutame (vt. lk. 149), et RNH-s on tümiinnukleotiidi (T) asemel uratsiilnukleotiid (U).



Joon. 115. Valgu sünteesi skeem ribosoomis: A — ribosoom; B — informatiivne RNH; C — transport-RNH aminohapetega; G — valk.

aminohapetega. Nad liiguvad, nagu näha jooniselt, puudutades ühes («koodi-») otsas oleva tripleediga informatiivset RNH-d, mis antud momendil asetseb ribosoomis. Teine transport-RNH ots temale kinnitunud RNH-ga liigub sellel kohal, kus ribosoomis toimub valgu «monteerimine». Juhul kui «koodi» tripleet on täiendav (komplementaarne) sellele informatiivse RNH tripleedile, mis antud momendil asub ribosoomis, satub aminohape transport-RNH-ga täpselt valgu moodustumise kohta. Aminohape vabaneb transport-RNH küljest ja liitub valgumolekuli koostisse. Otsekohe liigub informatiivne RNH ribosoomis ühe tripleedi võrra paremale, aminohappeta transport-RNH aga heidetakse ribosoomist välja tsütoplasmasse. Siin seob transport-RNH uuesti aminohappe ja suundub uuesti ribosoomi. Nii liigub informatiivne RNH üks tripleet teise järel järk-järgult ribosoomis paremale ja aminohapped liituvad üksteise järel sünteesitavasse valgu molekulisse. Kui informatiivse RNH molekul läbib ribosoomi täielikult, lõpeb ka valgu molekuli ehitamine,

mille struktuur täpselt vastab informatiivses RNH-s sisalduvale informatsioonile. Nii töötab imepärane raku organoid ribosoom, mida võib nimetada valgu sünteesi «molekulaarseks automaadiks».

Me rääkisime juba hiljuti keemikute poolt laboratooriumitingimustes teostatud valgu sünteesist. See kunstlik süntees nõudis suuri jõupingutusi, palju aega ja vahendeid. Elusas rakus aga kestab ühe valgumolekuli süntees 2—3 sekundit. See on näiteks, kui palju täiuslikumalt töötab elusa raku sünteetiline aparaat.

Fermentide osa valgu biosünteesis. Ei tohi unustada, et ükski samm valgu sünteesi protsessis ei toimu fermentide osavõtuta. Kõiki valgu sünteesireaktsioone katalüüsivad spetsiaalsed fermendid. Informatiivse RNH sünteesi juhib spetsiaalne ferment, mis «libiseb» mööda DNH molekuli geeni algusest kuni lõpuni ja jätab endast maha valmis informatiivse RNH molekuli. Geen annab selles protsessis ainult informatsiooni sünteesiks, protsessi enese aga teostab ferment. Fermendid võtavad osa ka aminohapete ühinemisest transport-RNH-ga. On olemas erilised fermendid, mis kindlustavad aminohapete «püüdmise» ja liitmise vastava transport-RNH-ga. Ja lõpuks töötab ribosoomis ferment, mis seob aminohappeid omavahel.

Valgu biosünteesi energeetika. Veel üheks tähtsaks valgu biosünteesi küljeks on 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) informatiivse RNH süntees; 2) aminohapete ühinemine transport-RNH-ga ja 3) valgu «monteerimine». Kõik need reaktsioonid vajavad energiakulu. Valgu sünteesiks vajalik energia saadakse ATF lõhustumisreaktsioonis. Iga biosünteesi lüli on seotud ATF lagunemisega.

39. Raku keemilise talitluse reguleerimine

Keemiliste reaktsioonide kiirus ja suund rakus muutub pidevalt sõltuvalt raku olelustingimustest. Reaktsioonide kiirus kasvab järsult (kümneid ja sadu kordi) siis, kui rakk sooritab mingit talitlust (näiteks lihase kokkutõmbe korral) ja väheneb siis, kui rakk läheb aktiivsest olekust üle puhkeseisundisse. Kui näiteks rakk asetada anaeroobsesse keskkonda, suureneb otsekohe järsult glükoosi anaeroobse lõhustumise protsesside kiirus. Raku viimisel hapnikku sisaldavasse keskkonda pärsitakse anaeroobne lõhustumine ja aktiviseerub aeroobse lõhustumise protsess (vt. lk. 142). Raku jahutamisel aktiviseeruvad tugevasti reaktsioonid, mille käigus eraldub energia, s. t. lõhustumisreaktsioonid.

Vastupidi, ümbritseva keskkonna temperatuuri tõustes selliste reaktsioonide kiirus langeb.

Paneb hämmastama see suurepärane täpsus, kooskõlastatus ja otstarbekus, millega töötab nii keeruline süsteem kui seda on rakk. Võib oletada, et peab eksisteerima selle keerulise talitluse täpne regulatsioon, mis tekkis ja täiustus orgaanilise maailma pikaajalise evolutsiooni käigus. Keemilise talitluse reguleerimine toimub rakus suurel määral automaatselt. See saavutatakse rea protsesside abil, mille seas eriline tähtsus on protoplasma enda struktuuri ja samuti valkfermentide struktuuri ja aktiivsuse muutumisel.

Kõik rakus toimuvad keemilised reaktsioonid kannavad fermentatiivset iseloomu. Ei tule aga arvata, et fermentatiivse reaktsiooni teostamiseks piisab ainult fermendi ja selle aine olemasolust, millele ferment toimib. On tehtud kindlaks, et fermentide aktiivseks tööks on vaja rida tingimusi — kindlat temperatuuri ja happesust, teatud aine(e esinemist lahuses jne.

Kuidas seletada seda, et organism töötab ainult teatud tingimustes, aga teistes, mis neist mõnevõrra erinevad, ei tööta? Seletus on selline, et kõik fermendid on valgud, valgu struktuur aga on keeruline ja kergesti muutuv. Igaüks on näinud valgu kalgestumist kuumutamisel, kui muna läbipaistev ja vedel sisu muutub kõvaks, läbipaistmatuks massiks, või veresoontest väljalastud vere hüübimist, kui vedel veri mõne sekundi jooksul moodustab tihke, elastse hüübe. Need valgu omaduste ja struktuuri muutused, mis esinevad munavalgu kalgendumisel või vere hüübimisel on muidugi väga tugevad ja pöördumatud. Valkfermentide struktuuri ja omaduste muutused, mis toimuvad rakus tavalistes tingimustes, on võrreldamatult nõrgemad, peaasi on aga see, et nad on pöörduvad. Kui eemaldada põhjus, mis neid esile kutsus, siis tekkinud valgustruktuuri ja omaduste muutused pöörduvad ja valgu esialgne struktuur ja omadused taastuvad täielikult. Need muutused tekivad tühistest põhjustest — väikestest happesuse muutustest, mõnede ainete esinemisest või, vastupidi, puudumisest. Fermentatiivse aktiivsuse muutumise pöörduvuse avastas I. Pavlov. Tema katsed näitasid, et pepsiin on aktiivne happelises keskkonnas, keskkonna aluseliseks muutmisel aga ta aktiivsus kaob ning taastub täielikult hapestamisel. Valkfermentide võime kergesti muutuda on põhjuseks, miks ferment on aktiivne ühtedes tingimustes ja ei ole aktiivne siis, kui need tingimused kas või veidi kalduvad kõrvale normist. Analüüsime öeldut mingil näitel. Me teame juba, et igasugune raku aktiivsus on seotud ATF kulutamisega (lk. 153). Puhkeseisundis olevas elusas rakus hoitakse ATF kontsentratsioon kindlal tasemel. Raku aktiivsuse tõustes algab ATF kulutamine. Selle kontsentratsioon langeb. See langemine on nagu «signaaliks» nendele fermentidele, mis lagundavad glükoosi. Kuni ATF kontsentrat-

sioon oli normaalne, oli nende fermentide katalüütiline aktiivsus nõrgenenud. ATF kontsentratsiooni langemisel muutub automaatselt fermentide struktuur, nad aktiviseeruvad ja glükoosi lõhustumisreaktsioonid lülituvad käiku. Selle protsessi tulemusel sünteesitakse ATF (lk. 154). Kuni raku aktiivne tegevus jätkub, kulutatakse ATF. Selle kontsentratsioon langeb pidevalt ja samal ajal käib täie kiirusega glükoosi lõhustumise protsess, mis kindlustab vajaliku ATF hulga taastumise. Kui aga raku aktiivne tegevus katkeb või väheneb, siis tõuseb ATF kontsentratsioon rakus, sest glükoosi lõhustumise protsess jätkub veel mõne aja jooksul. Peatselt jõuab ATF kontsentratsioon rakus normaalsele tasemele. Kui see moment saabub, muudavad glükoosi lõhustavad fermendid oma struktuuri, muutuvad väheaktiivseteks ja ATF tootmisreaktsioon lülitub välja.

Peale ülalkirjeldatud raku keemilise tegevuse autoregulatsiooni mooduse esinevad rakus ka teised analoogilised kohastumised, kuid see meetod, mis põhineb fermentide struktuuri ja funktsiooni muutumisel, tegutseb kiiresti ja efektiivselt ja on kõige rohkem levinud.

KÜSIMUSI JA ÜLESANDEID.

1. Milles on sarnasus ja erinevus rakkude ja eluta looduse kehade keemilises koostises?
2. Kui suur on raku veesisaldus ja missugune on selle osatähtsus rakkude elutegevuses?
3. Millised on valkude funktsioonid rakus?
4. Mida nimetatakse fermentideks ja missugune on nende osa rakus?
5. Mida nimetatakse polümeeriks?
6. Mille poolest valgud kui polümeerid erinevad tavalistest polümeeridest?
7. Milline on rasva osa rakus?
8. Jutustage süsivesikute tähtsusest raku elus.
9. Rääkige desoksüribonukleiinhappe (DNH) ehituse iseärasustest.
10. Milles seisab komplementaarsuse printsiip DNH nukleotiidide asetuses?
11. Milles peitub sarnasus ja erinevus DNH ja RNH ehituse vahel?
12. Miks nimetatakse DNH «pärilikkusaineks»?
13. Mispärast nimetatakse sidet ATF fosforhappejääkide vahel energiarikkaks sidemeks?
14. Missugust kaht iseloomult vastupidist keemilist reaktsiooni võib jälgida raku ainevahetuse protsessis?
15. Mispärast nimetatakse rakus toimuvaid lõhustumisreaktsioone energeetilisteks reaktsioonideks?
16. Milles peitub side raku lõhustumisreaktsioonide ja sünteesireaktsioonide vahel?
17. Mida kujutab endast ATF ja milles seisab ta osa rakus?
18. Iseloomustage raku energiavahetuse staadiume.
19. Mis toimub rakus tärklisega selle lõhustumise ettevalmistaval staadiumil?
20. Kuidas kulgeb glükoosi anaeroobse lõhustumise protsess rakus?
21. Iseloomustage selle protsessi energeetilist külge ja kirjutage ta võrrand.

22. Missugust tähtsust omab raku jaoks glükoosi aeroobse lõhustumise protsess? Kirjutage selle protsessi võrrand.
23. Võrrelge glükoosi anaeroobse ja aeroobse lõhustumise protsesside energeetilist külge rakus.
24. Miks nimetatakse mitokondreid raku «jõujaamadeks»?
25. Mis on heterotroofsed ja autotroofsed rakud?
26. Mida nimetatakse fotosünteesiks ja missugune tähtsus on sellel protsessil looduses?
27. Mis on valgu biosüntees ja missugune tähtsus on tal raku elus?
28. Mida nimetatakse DNH koodiks?
29. Missugune tähtsus on DNH-l valgumolekuli struktuuri «informatsiooni» edasiandmisel?
30. Kuidas toimub valgu süntees rakus?
31. Millistel rakustruktuuridel toimub valgu süntees?
32. Kuidas reguleerib ATF kontsentratsioon rakus selle fermentatiivsete reaktsioonide kiirust?

40. Rakkude erutuvus ja liikumine

E r u t u v u s. Igale elusorganismile toimivad pidevalt mitmesugused väliskeskkonna tegurid, nagu valgus, temperatuur, rõhumine, elekter, raskusjõud jm. Kõigile väliskeskkonna muutustele vastab rakk vastavate reaktsioonidega, mille aluseks on rakkude erutuvus.

Erutuvuseks nimetatakse elusorganismide ja elusate rakkude võimet vastata väliskeskkonna mõjutustele kindlate reaktsioonidega. Erutuvust leiame kõikide rakkude ja organismide juures. Nii näiteks reageerivad amööb, silmviburlane, infusoor ja bakter väliskeskkonna muutmisele asukoha muutmisega ärrituse allika suhtes — liikumisega. Selliseid üherakuliste organismide liikumisi nimetatakse taksisteks.

Ainuraksete liikumist valguse mõjul nimetatakse f o t o t a k s i s e k s. Esineb negatiivne ja positiivne fototaksis. Positiivset fototaksist võib näha silmviburlastel, näiteks rohelistel silmviburlastel, kes alati kogunevad akvaariumi valgustatud ossa. Keemiliste ainete poolt põhjustatud ainuraksete liikumist nimetatakse k e m o t a k s i s e k s. Positiivset kemotaksist hapniku suhtes võib näha infusooridel ja teistel ainuraksetel: nad kogunevad alati hapnikurikkamasse ülemisse veekihti. Temperatuuri muutumise toimel tekkivat ainuraksete liikumist nimetatakse t e r m o t a k s i s e k s.

Erutumise nähtused on hästi täheldatavad ka taimerakkude juures. Kõige sagedamini esineb taimedel erutuvus aeglaste liigutusreaktsioonide kujul. Selliseid aeglasi ja kindlasuunalisi reaktsioone nimetatakse tropismideks. Laialdaselt on taimedel levinud fototropismid — valguse mõjul toimuvad liikumised. Taimed sirutuvad valguse poole, painduvad selle suunas ja selle reaktsiooni aluseks on rakkude erutuvus.

Vahel reageerivad taimerakud ärritusele ka kiiresti. Selle

Joon. 116. Häbeliku mimoosi oksake: vasemal — tavalises olekus; paremal — pärast ärritust.

näiteks võib tuua kiire reaktsiooni taimel, mis on tuntud häbeliku mimoosi nime all (joon. 116). Ükskõik millise puudutuse korral, pimedusse või kõrge temperatuuri kätte üleviimisel langevad ta lehekesed kiiresti kokku ja nagu närbuksid. Kui aga lakkab ärritaja toime, võtavad mimoosi lehed endise asendi. Ka mimoosi kiire reaktsiooni aluseks on ta rakkude erutuvus.

Võrreldes keeruliste hulkraksete loomadega on ainuraksete, bakterite ja taimede erutuvusreaktsioonid suhteliselt lihtsad. Nende rakud on vahetus seoses väliskeskkonnaga. Keerulistel hulkraksetel loomadel on evolutsiooniprotsessis närvisüsteem saanud peamiseks vahendajaks organismi ja ümbritseva keskkonna vahel. Inimene ja loomad saavad informatsiooni välis- ja sisekeskkonna muutustest retseptorite abil, s. t. eriliste rakkude abil, mis on kõrge tundlikkusega mitmesuguste ärrituste toime suhtes. (Inimesel on 5 liiki meele-elundeid, need on teada füsioloogia kursusest; nimetage need.)

Inimese kehas on hulgaliselt 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 sidemes ümbritseva maailmaga, annab võimaluse kohastuda selle maailmaga.

L i i k u v u s. Erutuvusega on tihedalt seotud rakkude ja

organismide liikumisvõime. Liigutuste aluseks on rakkude tsütoplasma struktuuride kokkutõmbuvus — kontraktiilsus. Kontraktiilsus on üks elusate rakkude tsütoplasma põhilistest omadustest.

Taimed tavaliselt ei liigu, vaid kasvavad liikumatult ühel kohal. Erandiks on mõned üherakulised vetikad, kes on võimelised iseseisvalt edasi liikuma. Me nägime juba, et selliste väliste ärrituste toimele, nagu näiteks valgus jt., vastavad taimed lehtede ja võrsete liigutustega.

Kõikide taimede rakkudes liigub pidevalt tsütoplasma. Selliseid liikumisi nimetatakse tsütoplasmavooludeks. Neid on kerge jälgida mikroskoobiga vetikate ja tradeskantsia leherakkudes. Tsütoplasmavoolud esinevad ka ainuraksete rakkudes (näiteks amööbidel ja infusooridel).

Liikumisvõime keskkonnas esineb paljudel bakteritel, ainuraksetel ja enamikul hulkraksetel loomadel. Eristatakse nelja tüüpi rakkude liikumist: amöboidset, ripsmelist, viburilist ja lihaselist liikumist.

Tooge näiteid kõigi rakkude ja organismide liikumistüüpide kohta.

KÜSIMUSI JA ÜLESANDEID.

1. Mida nimetatakse rakkude erutuvuseks?
2. Jutustage erutuvuse vormidest ainuraksetel ja taimedel.
3. Mida kujutavad endast loomade retseptorrakud? Tooge näiteid väliste ja sisemiste retseptorite kohta. Jutustage retseptorrakkude tähtsusest loomade ja inimese elutegevuses.
4. Missugune elusate rakkude omadus on kõigi liikumistüüpide aluseks?
5. Mis on protoplasmavoolud ja missugustes rakkudes võib neid jälgida?
6. Millistele rakkudele on iseloomulik amöboidne, ripsmeline ja viburiline liikumine?
7. Missuguste rakkude kokkutõmbumine on kõigi hulkraksete loomade ja inimese liigutuste aluseks?

6. peatükk

PALJUNEMINE JA INDIVIDUAALNE ARENEMINE

41. Rakkude jagunemine

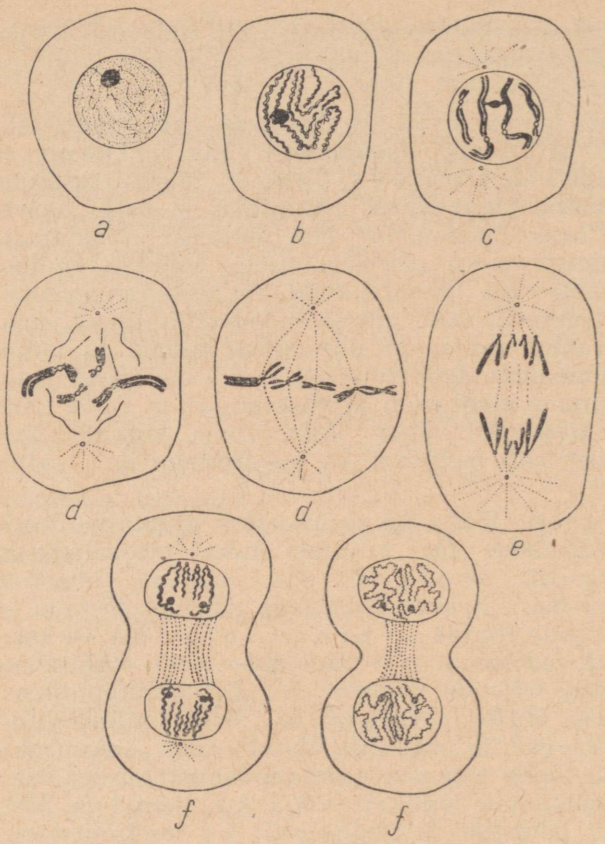
Hulkraksete organismide kasvamine ja arenemine on alati seotud rakkude jagunemisega. Täiskasvanud inimesel ja loomadel surevad rea kudede rakud pidevalt ja asenduvad uute, jagunemise teel moodustunud rakkudega. Järelikult on just jagunemine selleks protsessiks, mis hoiab ülal rakkude eksisteerimist

ennast ja lõpptulemusena ka elu pidevust. Elu pidevuse kõrval kindlustab rakkude paljunemine ka pärilike omaduste järgivuse vanematelt lastele.

Raku jagunemisviisid. Eraldatakse kaht tüüpi rakkude jagunemist: 1) kaudne jagunemine ehk mitoos ja 2) otsene jagunemine ehk amitoos. Neist on täisväärtuslikum ja enamlevinud kaudne jagunemine ehk mitoos ja palju harvemini võib kohata otsest jagunemist ehk amitoosi. Vaatamata mõningale jagunemisprotsessi varieeruvusele kujutab mitoos endast niihästi looma- kui taimerakkude universaalset jagunemisviisi. Sellise jagunemisviisi juures moodustub ühest emarakust kaks tütarrakku, millel on ühesugune tuuma ja tsütoplasma ehitus. Jagunemine algab tuumast ja alles seejärel jaguneb tsütoplasma. Mitoos kindlustab kromosoomide ja DNH täpse jaotumise mõlema tütarraku vahel. Rakutuuma kõrval võtab loomarakus mitoosist aktiivselt osa ka tsentrosoom oma tsentrioolidega.

Mitoosi faasid. Kogu mitoosiprotsess jagatakse nelja faasi (joon. 117). Esimene faas kujutab endast ettevalmistust jagunemiseks ja kannab profaasi ehk eelastme nimetust (joon. 117, b). Selles faasis hakkab rakutuum paisuma ja muutub nähtavaks üsna paksude niitide — kromosoomide — kera. Tsentrioolid eemalduvad samal ajal teineteisest raku vastasotste ehk pooluste suunas. Nende ümber kujuneb tsütoplasmast peente niitide kääv. Alguses on need niidid lühikesed, siis aga pikenevad ja osa neist ulatub ühelt rakupooluselt teisele. Profaas lõpeb tuumamembraani lahustumisega. Selleks ajaks on kromosoomid lõplikult välja kujunenud ja hästi nähtavad. Tuumake lahustub ja kogu DNH on kontsentreerunud kromosoomidesse. Järgmises staadiumis — metafaasis ehk keskastmes (joon. 117, c) — kromosoomid lühenevad ja paksenevad, mistõttu on kerge neid loendada ja nende kuju määrata. Metafaasis kogunevad kromosoomid raku ekvatoriaaltasapinda. Sel ajal on näha, et nad on juba kahekordsed (joon. 117, d). Igas kromosoomis on vöökujuline primaarsoonis, mis paikneb rangelt kindlaksmääratud kohal (joon. 119). Metafaasi ajal venivad kääviniidid tugevasti välja, kusjuures osa niite ühendab katkemata üht poolust teisega. Teine osa niite kinnitub primaarsoonistele. Sealjuures kummalegi paarilisele kromosoomile kinnituvad vastandlikelt poolustelt lähtuvad niidid.

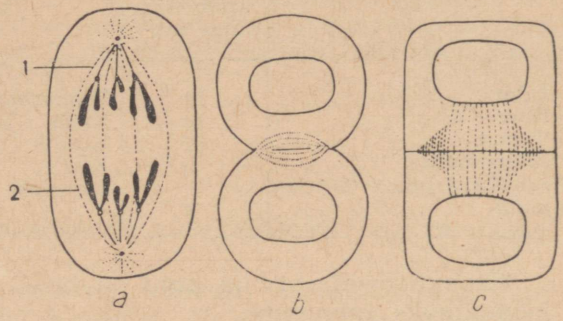
Edasi algab kolmas faas — anafaas ehk vaheaste (joon. 117, e). Kromosoomide primaarsoonistele kinnituvad kääviniidid hakkavad lühenema ja veavad kromosoome erinevatele poolustele. Sealjuures üks kromosoom igast paarist liigub ühele poolusele ja teine teisele. Rakk venib sel ajal tavaliselt välja, kromosoomidele kinnitunud niidid aga lühenevad. Tulemusena moodustub rakus kaks kromosoomide rühma, kusjuures kumbki



Joon. 117. Loomaraku mitoos: a — mittejaguneva raku tuum, milles on näha suur tuumake; b ja c — kaks profaasi staadiumi; tsentrioolid on lahknenud eri poolustele, selgesti on näha pikaksveninud kromosoomid; d — kaks metafaasi staadiumi: tuumakest on lahustunud, käävi vedavad niidid kinnituvad kromosoomide primaarsoonistele, mis joonisel on kujutatud valgete ringikestena; e — anafaas, kromosoomid on lahknenud eri poolustele; f — kaks telofaasi staadiumi: tuumade rekonstruktsioon ja raku jagunemise algus.

erinevale poolusele liikuv rühm sisaldab võrdsel arvul kromosoome. Vastupidistele poolustele jõudes kogunevad kromosoomid kerasse, nende piirjooned hakkavad järk-järgult kaduma ja algab kahe uue tuuma moodustumine — t e l o f a a s (joon. 117, f). Kummagi tütartuuma ümber moodustub tsütoplasma arvel tuumamembraan. Tsütoplasmas ilmub soonis, mis jagab raku pooleks. Loomadel tekib selline soonis tsütoplasma sees. Taime-

del tekib lisaks veel ekvatoriaaltasapinnas tselluloosist vahesein, mis ühineb raku membraaniga (joon. 118). Kromosoomide lahknemist esile kutsuvad kääviniidid kaovad. Loomadel kujuneb tsentriooli ümber heledam tsütoplasma — tsentrosoom. Mitoosi tulemusel moodustub ühest rakust kaks. Mõlemad tütarrakud sisaldavad võrdse arvu kromosoome ja ühesuguse hulga DNH-d.



Joon. 118. Loomaraku anafaas — a: 1 — pidevad jooned — vedavad kääviniidid; 2 — punktiirjooned — katkematud kääviniidid; b — loomaraku tsütoplasma jagunemine telofaasis; c — vaheseina moodustumine taimeraku jagunemise telofaasis.

Kromosoomid. Kõik kromosoomid on samalaadse ehitusega. Vaatamata sellele on neil aga erinevusi kujus, mõõtmetes, primaarsooniste asukohas ja sekundaarsooniste esinemises. Seega on kromosoomidel väljakujunenud individuaalsus (joon. 119). Kromosoomide arvu uurimine näitas, et kõikide loomade ja kõrgemate taimede rakkudes peale sugurakkude on nad paarikaupa. Nii on joon. 120 toodud korvõieliste sugukonda kuuluva koertubaka kromosoomigarnituur. Kokku on kromosoome 6 ja kui jälgida nende ehitust, näeme, et nad moodustavad kolm paari.

Joon. 119. Kromosoomi ehitus: a — primaarsoonis.

Joon. 120. Diploidne kromosoomigarnituur rakkudes: a — koertubakal; b — sääsel; c — kanal.

Samal joonisel on toodud sääse kromosoomid. Ka neid on kolm paari, kuid paaridevahelised erinevused on nõrgalt väljendunud. Kromosoomide arv võib erineda, kuid on alati paarisarv. Selline paariline kromosoomigarnituur on iseloomulik somaatilistele, s. t. keharakkudele (kuid mitte sugurakkudele) ja teda nimetatakse diploidseks garnituuriks.

Liik	Diploidne kromosoomide arv	Liik	Diploidne kromosoomide arv
Oder	14	Toakärbes	12
Kaer	42	Kana	78
Tomat	24	Küülik	44
Koertubakas	6	Kits	60
Äädikakärbes (*Drosophila*)	8	Lammas	54

Kromosoomide arv ja kuju on igale organismide liigile iseloomulikuks tunnuseks.

Arvu püsivuse kõrval on igal kromosoomipaaril veel kindlad ehituse iseärasused.

Keemiliselt koostiselt koosnevad kromosoomid DNH-st ja valgust.

M i t o o s i j a i n t e r f a a s i k e s t u s. Mitoos on raku elus suhteliselt lühiajaline protsess. Mitoosi kestus varieerub mõnest minutist 2—3 tunnini. Ka mitoosi üksikute faaside kestus on erinev:

profaas	20—30 min.;
metafaas	6—15 min.;
anafaas	8—14 min.;
telofaas	9—12 min.

Perioodi kahe rakujagunemise vahel nimetatakse interfaasiks. Interfaas kestab erinevate paljunevate rakkude juures 10 tunnist 20 päevani. Interfaasi ajal rakud talitlevad ja valmistuvad ette jagunemiseks. Mitoos algab ainult siis, kui rakk on selleks täiesti ette valmistunud, kusjuures pooldumine ise toimub suurel määral automaatselt. Kuna kromosoome interfaasilises tuumas tavaliselt näha ei ole, siis kerkib loomulikult küsimus: mis kujul on nad interfaasilises tuumas ja milles seisnevad põhilised rakujagunemiseks ettevalmistumise protsessid?

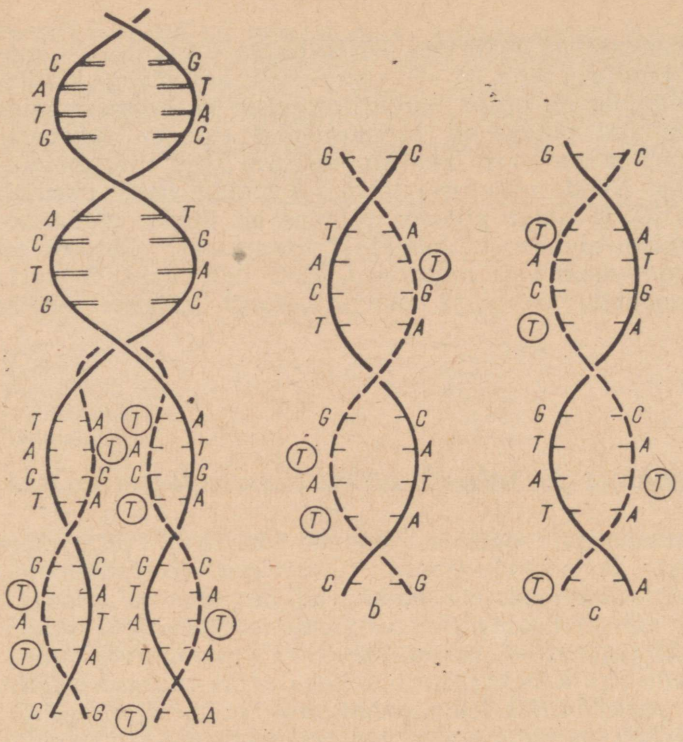
Tuuma tähtsaimaks keemiliseks koostisosaks on D N H, m i s m ä ä r a b ä r a p ä r i l i k u d o m a d u s e d. Mitoosi ajal paikneb DNH kromosoomides. Sellepärast on küsimus kromosoomide olemasolust interfaasilises tuumas kõige tihedamalt seotud küsimusega DNH olemasolust ja seisundist selles tuumas.

Täpsete meetoditega määrates DNH hulka üksikutes tuumades õnnestus kindlaks teha, et selle aine hulk antud liigi kindlatüübilistes rakkudes on püsiv. Samuti on püsiv ka kromosoomide arv. Interfaasi ajal pikenevad kromosoomid tuumas tugevasti, paisuvad kohati ja kaotavad oma korrapärase kuju ning põimuvad üksteisega. Nende muutuste tõttu on igaüht neist üksikult raske jälgida. DNH hulga püsivus tuumas on üheks kromosoomide jagunemistevahelise katkematuse tõestuseks. Mitoosi eel lühenevad kromosoomid ja muutuvad hästi nähtavaks. Seetõttu võib kromosoomide arvu ja individuaalsust jälgida endise selgusega.

42. DNH süntees ja rakkude valmistumine jagunemiseks

Pärast jagunemise lõppemist lähevad mõlemad tütarrakud üle interfaasi. Äsjamoodustunud tütarrakud on mõõtmetelt lähterakkudest väiksemad, nad hakkavad kasvama ja funktsioneerima ning võivad hakata ette valmistuma järgmiseks mitoosiks. Enne uut jagunemist rakud kasvavad emarakkude suuruseks, peale selle aga kahekordistub selleks ajaks tuumades DNH hulk. Ainult pärast DNH kahekordistumise protsessi lõppemist võivad rakud hakata jagunema. Nagu eespool näidati, koondub DNH mitoosi ajal kromosoomidesse. Mõlemad tütarrakud saavad mitoosi tulemusel ühesuguse arvu kromosoome ja võrdse hulga DNH-d. Kogu interfaasi võib jagada kolmeks perioodiks: 1) mitoosijärgne periood, 2) DNH sünteesi (reduplikatsiooni) periood ja 3) DNH sünteesi-(reduplikatsiooni-)järgne periood, mis on vahetuks üleminekuks mitoosi. Interfaasis suurenevad rakkude mõõtmed, mis on seotud valgu sünteesiga (lk. 160). Nii on interfaas raku aktiivse funktsioneerimise perioodiks. Tuuma erakordse tähtsuse tõttu raku talitluses on DNH sünteesil esmajärguline tähtsus raku ettevalmistamisel jagunemiseks.

Enne reduplikatsiooni lahkneb vana kahekordne DNH molekul (lk. 148) kaheks ühesuguseks niidiks ja kumbki niit ehitab enda kõrvale uue, täpselt samasuguse niidi. See DNH molekuli kahekordistumine toimub rangelt seaduspäraselt: seal, kus vanas molekulis asub adeniin, moodustub uues tümiin, seal, kus oli tümiin, paikneb aga uues adeniin. Sama täpselt vastab guaniinile tsütosiin ja tsütosiinile guaniin. Selles kahekordistumise protsessis tuleb ilmsiks DNH unikaalne iseärasus, mis seisneb DNH võimes täpselt toota iseennast (lk. 148). Selle raku jagunemise eel toimuva protsessi tõttu jääb pidevaks DNH hulk ning säilib ka kindel suhe ja järjestus lämmastikaluste paiknemises (joon. 121).



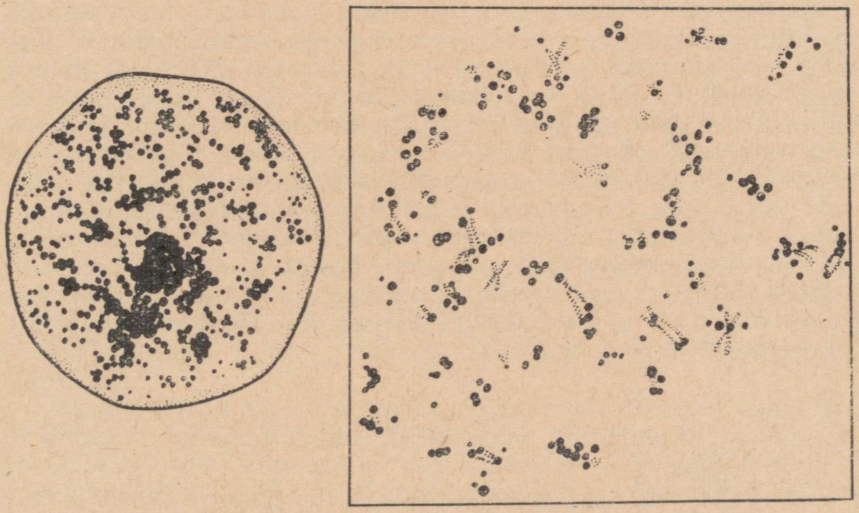
Joon. 121. DNH makromolekuli kahekordistumise skeem. Lämmastikalused: A — adeniin; T — tümiin; G — guaniin; C — tsütosiin; a— kahekordne DNH makromolekul; b — DNH replikatsioon: vana DNH niiti tähistab katkematu joon, uudikmoodustunud komplementaarset niiti punktiirjoon. Triitiumiga märgitud tümidiin uues niidis on tähistatud rõngastega; c — moodustunud DNH makromolekul, mis koosneb kahest niidist.

DNH sünteesikiiruse määramiseks ja selle protsessi täpseks analüüsimiseks kasutatakse viimasel ajal teaduses laialdaselt märgitud aatomite meetodit (radioaktiivseid isotoope). Selleks et märgitud aatom satuks just nimelt DNH koostisse, tuleb võtta selline radioaktiivne ühend, mida rakud saaksid vahetult kasutada DNH sünteesiks.

Nagu eespool üksikasjaliselt näidati, sisaldab DNH nelja lämmastikalust: tümiini, adeniini, guaniini ja tsütosiini. Neist on spetsiifiliseks DNH-le (selliseks, mida ei leidu RNH koostises) t ü m i i n, mis organismis moodustub tümidiinist. Teiste sõnadega, t ü m i d i i n on tümiini vahetuks eellaseks. Sellest lähtudes kasutatakse uurimistöös tümidiini, mille molekulis üks vesinikuaatom on asendatud triitiumiga (märgitud aatomiga, mis

lagunemisel kiirgab elektrone). Viime loomale sisse tümidiini, mis sisaldab märgitud aatomi (triitiumi). Kui selliselt loomalt võetud koest või rakkudest teha õhukesed lõigud ja neile kanda spetsiaalset fotoemulsiooni, mõjuvad elektronid fotoemulsioonile nagu valgus. Mõne aja möödudes ilmutatakse klaas, mis oli kaetud fotoemulsiooniga, nagu tavaline foto. Kohtadel, mida on läbinud elektronid, leitakse tumedad terad. Triitiumi märgitud aatomit sisaldavat tümidiini kasutab rakutuum ainult DNH sünteesi perioodil ja selline tuum muutub märgistatuks (joon. 122, a). Nagu tavaliselt, interfaasilises tuumas sel ajal kromosoome näha ei ole. Kui aga jälgida radioaktiivse märgistuse paiknemist edaspidi, kui selline varemmärgistatud tuum hakkab jagunema, siis selgub, et kõik mustad punktid (elektronide jäljed emulsioonis) on kromosoomide kohal, s. t. vastsünteesitud DNH koostises olevad märgitud aatomid on kõik sattunud kromosoomidesse (joon. 122, b). See fakt näitab, et kromosoomid on olemas ka interfaasilises tuumas, kuigi nad ei ole seal nähtavad.

Mitoosi profaasis kromosoomid lühenevad ja muutuvad jällegi selgesti nähtavaiks. DNH ja tuumavalkude hulk on selleks ajaks juba kahekordistunud. Kahekordistunud on ka iga kromosoom ja mõlemad tütarrakud saavad mitte ainult võrdse hulga



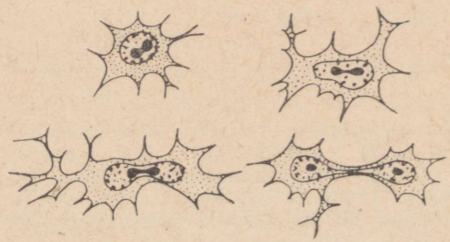
Joon. 122. Märgistatud rakutuumad interfaasis ja mitoosis: a — interfaasiline tuum, mille uus, sünteesitud DNH sisaldab triitiumiga märgitud tümiini. Mustad terad tuumas on tümiini triitiummärgistuse jäljed; b — sama tuum jagunemise ajal metafaasis. Kromosoomid asetsevad ühes tasapinnas. On näha, et kõik radioaktiivsuse jäljed (mustad terad) paiknevad kromosoomide kohal.

kromosoome ja DNH-d, vaid ka selle DNH täpse koopia, mis esines emarakus.

Järelikult kindlustab mitoos, mille skeemi me vaatlesime, suurima täpsusega reduplitseerunud DNH molekulide võrdse jaotumise tütarrakkude vahel. Sellega kindlustab mitoos ühtlasi ka DNH-s šifreeritud informatsiooni ülekandmise. Selle informatsiooni jaotumise täpsus määratakse kolme momendiga: 1) DNH sünteesiviisiga interfaasis; 2) kromosoomide katkematusega; 3) kromosoomide jaotumise täpsusega mitoosi käigus.

A m i t o o s. Amitoos kujutab endast jagunemist ilma tuumaaine ümberkorraldumiseta ja kromosoomide moodustumiseta, s. t. et jagunemisperioodil on tuum interfaasi seisundis. Näiteks võib tuua sidekoe rakud, kus tuum venib välja, tema keskkohta tekib soonis, mis hiljem katkeb ja tekib kahe tuumaga rakk (joon. 123). Nähtavasti võib amitoosi korral DNH jaotuda tütartuumade vahel ka ebaühtlaselt. Amitoos esineb sageli pärast raku mõjutamist mitmesuguste välisteguritega (madala temperatuuri, röntgenikiirte jms.), mis takistavad raku paljunemist mitoosi teel. Vaatamata mitoosi keerulisusele on see rakkude jagunemise meetod primaarne, enam levinud ja füsioloogiliselt täisväärtuslik, amitoos aga tema muutunud kuju. Amitoosi tulemusel tekivad sageli kahe- või hulgatuumalised rakud, kuna tuuma jagunemisele ei järgne alati tsütoplasma jagunemist.

R a k k u d e e l u i g a. Paljunevate rakkude eluea määrab ära interfaasi pikkus, s. t. ajavahemik ühest jagunemisest teiseni. Kuid real juhtudel kaotavad rakud paljunemisvõime ja elavad oma funktsiooni täites kas pikema või lühema aja. Näiteks satuvad erütrotsüüdid vereringesse pärast tuuma kaotamist ja elavad ning talitlevad tuumata olekus umbes 120 päeva. Vananevad erütrotsüüdid hukkuvad ja asendatakse luuüdis paljunevate rakkude arvel uutega. Inimesel sureb sekundi jooksul ja asendub uutega umbes kaks miljonit erütrotsüüti. Kudede näiteks, mille funktsioon on seotud rakkude uuenemisega, võib tuua mitmesugused epiteelid ehk kattekoed. Nahaepiteeli pinnalt kooruvad pidevalt surnud rakud, mida asendavad epiteeli sügavates kihtides pooldumise teel tekkinud rakud.



Joon. 123. Amitoosi järjestikulised staadiumid. Tuuma nöördumine, millele järgneb raku nöördumine.

Toodud näited kinnitavad, et rakkude mitootiline jagunemine on seotud rakkude normaalselt kulgeva uuendumisega, s. t. füsioloogilise regeneratsiooniga, mis kindlustab rea organismi kudede talitluse. Täpselt samuti kindlustab rakkude jagunemine ka kudede taastumise (regeneratsiooni) haavade, põletuste või muude vigastuste korral. Inimese ja imetajate närvirakud ei paljune ja seega on nende eluiga võrdne organismi elueaga.

43. Organismide paljunemisviisid

Kõigi elusorganismide üheks põhiliseks omaduseks on paljunemine. Paljunemise teel säilitatakse järgivust vanemate ja järglaste vahel. Paljunemine kindlustab üksikute isendite säilimise liigi sees. Eristatakse mitut paljunemisviisi.

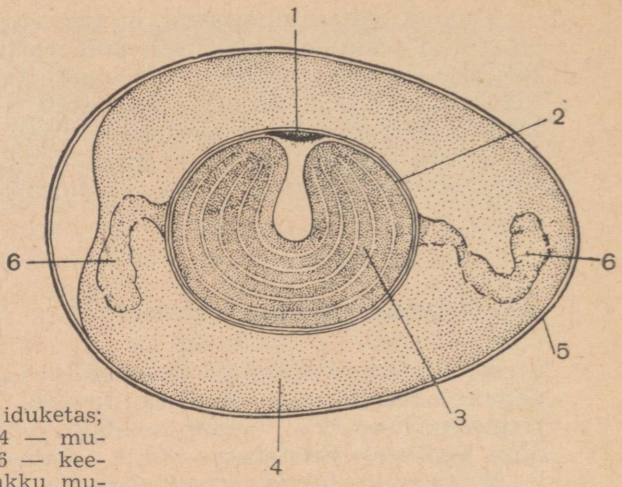
Mittesuguline ja vegetatiivne paljunemine. Mittesuguline paljunemine on looduses taimedel ja loomadel laialt levinud. Mittesugulise paljunemise näiteks ainurakseil on raku pooldumine. Mittesuguline paljunemine on laialt levinud eostaimedel: sammaldel ja sõnajalgadel, kus ta toimub üherakuliste eoste abil (meenutage sammalde ja sõnajalgade elutsüklit).

Hulkraksetel loomadel ja taimedel esineb vegetatiivne paljunemine, mis toimub hulkraksete algete eraldumise teel emasorganismist. Meenutage, kuidas toimub pungumine mageveehüdral. Kehal ilmub väljakasv — pung, mis seejärel venib välja, eesmisel otsal moodustuvad kombitsad ja tekib suuava. Kogu protsess lõpeb väikese tütarhüdra moodustumisega, mis eraldub ja hakkab iseseisvalt elama. Eriti laialt on vegetatiivne paljunemine levinud taimedel. Nii näiteks juurduvad suured pajuoksad ja panevad aluse uutele taimedele. Aedmaasika maapealsed varreosad hakkavad kasvama ja venivad välja, moodustades võsundid, mis juurdudes annavad alguse uutele taimedele. See on vegetatiivse paljunemise tüüpiline näide. Seda paljunemisvormi iseloomustab uue tütarorganismi teke somaatiliste rakkude rühma arvel, mis sisaldavad diploidse kromosoomigarnituuri.

Suguline paljunemine. Erinevalt vegetatiivsest paljunemisest toimub suguline paljunemine nii taimedel kui ka loomadel alati spetsialiseerunud sugurakkude — spermatosoidide ja munarakkudega. Sugurakud moodustuvad sugunäärmetes. Munarakud erinevad spermatosoididest tunduvalt niihästi suuruselt kui ka ehituselt.

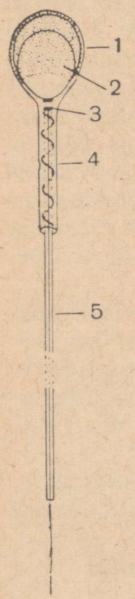
Erinevalt somaatilistest rakkudest on sugurakkudel poole väiksem arv kromosoome ja vastavalt poole vähem DNH-d. Sellist kromosoomide arvu kutsutakse haploidseks.

Erinevate loomade munarakud sisaldavad tsütoplasmas rebu,



Joon. 124. Kanamuna: 1 — iduketas; 2 — rebukest; 3 — rebu; 4 — munavalge; 5 — munakoor; 6 — keerised, mis hoiavad munarakku muna keskosas.

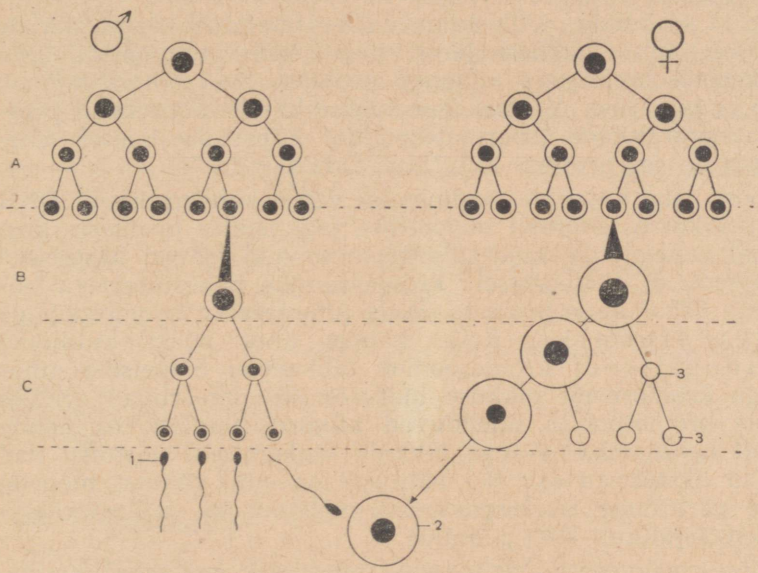
mis on varutoitaine. Rebu võib munarakus olla vähe ja siis on ka kogu munarakk väikesemõõtmeline, nagu näiteks süstikkalal või imetajatel. Kõige suuremad munarakud, mille läbimõõt ulatub sentimeetritesse, on lindudel (joon. 124). See on viljastamata muna too osa, mida tavaliselt kutsutakse munarebuks. Rebu ühel küljel on näha väike valge laiguke — aktiivse tsütoplasma kogum, milles paikneb ka tuum. Sellest väikesest moodustisest arenebki loode, kogu ülejäänud mass aga sisaldab varutoitaineid, mis kindlustavad tibu arenemise munas. Kaladel ja kahepaiksetel on munarakud väiksemad, kuid ka need sisaldavad suurel hulgal munarebu. Imetajate veel väiksema munaraku läbimõõt on vaid umbes 0,2 mm. Munarakke katab mitu kesta. Rebukest on muna tsütoplasma väliskiht. Munavalget eritavad munajuhad. Munarakk ei ole tavaliselt liikumisvõimeline. Munaraku keskkohas või mõnel äärel paikneb suhteliselt suur tuum.



Spermatosoid on munarakust alati palju kordi väiksem. Tüüpilise kujuga spermatosoide leiame imetajatel, kuigi samasuguse ehitusega spermatosoide võib kohata ka paljude teiste loomade juures.

Joon. 125. Imetajate spermatosoid: 1 — pea; 2 — tuum; 3 — tsentriool; 4 — kael; 5 — saba.

Spermatosoid (joon. 125) koosneb kolmest osast: 1) peast, 2) kaelast ja 3) sabast. Peas asetseb tuum. Kogu pea on kaetud õhukese, kuid tihke kestaga, mis eesosas mõnevõrra pakseneb. Kaelaks nimetatakse kitsenenud osa pea taga. Kael sisaldab tsentriooli ja läheb üle peeneks pikenenud niidiks — sabaks. Saba meenutab oma ehituselt viburloomade viburit või infusooride ripsmeid. Tänu saba liikuvusele võivad spermatosoidid aktiivselt liikuda. Nii spermatosoid kui ka munarakk on järelikult rakud, mille arenemise (küpsemise) käigus omandatud ehituse iseärasused on vahetult seotud nende talitlusega.



Joon. 126. Spermatogeneesi ♂ ja ovogeneesi ♀ skeem: A — paljunemistsoon; B — kasvutsoon; C — küpsemistsoon. 1 — spermatosoid; 2 — munarakk; 3 — juhtkeha.

Sugurakkude arenemine. Sugunäärmetes paiknevad primaarsed sugurakud muutuvad rea keeruliste muundumiste läbi spermatosoidideks ja munarakkudeks. Kogu protsess on skemaatiliselt kujutatud joonisel 126. Esimeses tsoonis ja vastavalt sugurakkude elu esimesel perioodil toimub paljunemine. Selles tsoonis rakud jagunevad tavalise mitoosi teel, mistõttu nende arv kogu aja kasvab. Seejärel rakkude paljunemine lakkab — rakud lähevad üle teise perioodi ehk kasvutsooni. Teine periood on paremini väljendunud emassugurakkude arenemiskäigus —

ovogeneesis ja nõrgemini — isassugurakkude arenemisel — spermatogeneesis.

Kasvutsooni rakkudes suureneb tsütoplasma mass, suureneb aga ka tuum. Real loomadel suurenevad rakud ovogeneesi kasvuperioodil rebusse varutoitainete kogunemise arvel sadu ja tuhandeid kordi. Nii näiteks moodustub 30—50 µm läbimõõduga raku kasvamise tulemusel konna munarakk, mille läbimõõt on 3—4 mm. Väga tugevasti suurenevad rakud kaladel ja eriti lindudel. Erinevused munarakkude kasvus ja mõõtmetes määrab ära tsütoplasmas sisalduva rebuaine hulk. Peale rakumassi kasvu toimub tuumas rida protsesse, mis kindlustavad kolmanda — küpsemisperioodi — kiire läbimise.

Sugurakkude küpsemine — meioos. Sugurakkude küpsemisel toimub üksteise järel kiiresti kaks jagunemist, mille käigus kromosoomide arv väheneb poolele. See nähtus kannab meioosi nimetust. Vaatleksime sugurakkude küpsemise protsessi isassugurakkude (spermatosoidide) küpsemise näitel. Skemaatiliselt on see protsess kujutatud värvitahvlil VII.

Meioosi kahe küpsemis-jagunemise vältel kahekordistub DNH ainult ühe korra. Esimese meiootilise jagunemise profaasis kromosoomid kahestuvad, kuid tütarkromosoomid jäävad üksteisega tihedalt seotuks. Samaaegselt kromosoomide kahestumisega toimub teine väga tähtis protsess, mida nimetatakse kromosoomide konjugatsiooniks. Selle käigus ühte paari kuuluvad (homoloogilised) kromosoomid lähenevad üksteisele tihedalt kogu kromosoomi pikkuse ulatuses (konjugeeruvad). Selles protsessis kromosoomid ühenduvad niivõrd kindlalt, et nende järgneval lahknemisel võivad tekkida katkemised, mistõttu nad vahetavad üksteisega osi. Sel nähtusel on suur tähtsus mõnede tunnuste päritavuse seaduspärasuste mõistmiseks. Sellest räägitakse üksikasjalikult VIII peatükis.

Esimese meiootilise jagunemise anafaasis omavahel konjugeerunud homoloogilised kromosoomid lahknevad erinevatesse tütarrakkudesse. Tänu sellele saab kumbki neist ühe kahest paarilisest (homoloogilisest) kromosoomist. Otsekohe pärast seda toimub teine meiootiline jagunemine. Selle käigus kumbki kromosoom, mis kahestus juba esimese meiootilise jagunemise profaasis, lahkneb erinevatesse tütarrakkudesse, mis saavad seega ühe kromosoomi igast homoloogilisest paarist. Nii tekib igast primaarsest sugurakust kahe meiootilise jagunemise tulemusel neli rakku, millel kõigil on poolik (haploidne) arv kromosoome. Järelikult peitub meioosi olemus kromosoomide arvu ja DNH hulga vähenemises poole võrra. Eriti oluline on see, et igast homoloogiliste kromosoomide paarist saab küps sugurakk ainult ühe. Suguraku kromosoomigarnituuris on esindatud kõik kromosoomid, kuid erinevalt somaatilistest rakkudest on sugurakus igast kromosoomipaarist üks kromosoom.

Edasises arenemiskäigus muutuvad kõik neli meioosi tulemusel moodustunud rakku spermatosoidideks. Rakutuum surutakse sealjuures tugevasti kokku, tsütoplasma arvel tekivad kael ja saba ning liigne tsütoplasma heidetakse välja.

Munaraku küpsemine kulgeb kromosoomide käitumise osas sarnaselt spermatogeneesiga. Erinevus on selles, et ovogeneesis ei teki nelja ühesugust rakku, vaid üks suur (küps munarakk) ja kolm väga väikest. Viimaseid kutsutakse juhtkehadeks. Selle nähtuse põhjuseks on asjaolu, et meiootiliste jagunemiste ajal tsütoplasma jaotub ebaühtlaselt ning juhtkehadesse satub väga vähe tsütoplasmat (joon. 126). Sellel ovogeneesi ja spermatogeneesi vahelisel erinevusel on suur bioloogiline tähtsus. Seetõttu säilib kogu kasvuprotsessis kogutud toitainete varu rebu, rasva ja muul kujul ühes rakus, mille arenemisel tekib uus organism.

Tabelis on toodud näited kromosoomide arvu ja DNH hulga suhete kohta kassi ja kodujänese somaatilistes rakkudes ning sugurakkudes.

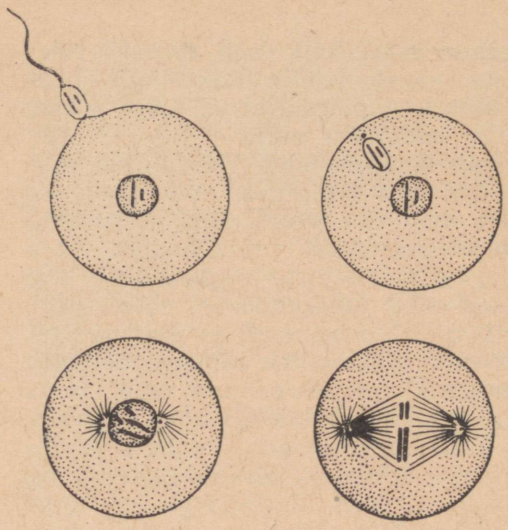
Loomaliik	DNH hulk[1]		Somaatiliste rakkude diploidne kromosoomigarnituur	Sugurakkude haploidne kromosoomigarnituur
	somaatiliste rakkude diploidses tuumas	sugurakkude haploidses tuumas		
Kass	6,4—6,8	3,3	38	19
Kodujänes	6,75	3,2	44	22

44. Viljastamine

Vedelas keskkonnas aktiivselt liikuvad spermatosoidid suunduvad munaraku poole ja ümbritsevad teda. Kui munarakk on kaetud kestaga, siis on selles väike ava, mille kaudu spermatosoid sisse tungib. Eesmise vaheda otsaga puurib spermatosoid läbi munaraku pinna, heidab ära saba ning pea koos kaelaga ja liigub munaraku tuuma suunas. Spermatosoidi ja munaraku tuumad ühinevad. Selles seisabki viljastamisprotsessi olemus. Viljastatud rakk ehk s ü g o o t sisaldab kahekordse kromosoomigarnituuri ja muutub uuesti d i p l o i d s e k s (joon. 127).

Pärast viljastamist saavad kõik kromosoomid diploidses garnituuris jällegi paarilisteks, kusjuures i g a s p a a r i s ü k s k r o m o s o o m o n p ä r i t u d i s a l t, t e i n e e m a l t, s. t. taastub esialgne kromosoomide arv, nende paarilisus ja DNH hulk.

[1] DNH hulga ühikuks on 10^{-12} g.



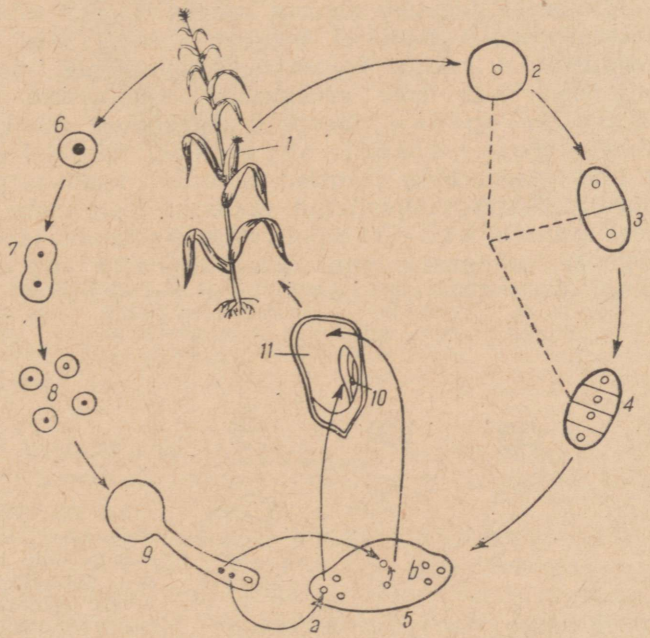
Joon. 127. Kahe kromosoomiga munaraku viljastamise järjestikulised staadiumid. Ka spermatosoidil on kaks kromosoomi. Pärast viljastamist ja tuumade ühtumist taastub diploidne kromosoomide arv, mis koosneb kahest homoloogilisest paarist.

Real juhtudel tungib munarakku mitte üks, vaid palju spermatosoide, kuid ainult ühe spermatosoidi tuum ühineb munaraku tuumaga.

Õistaimede kahekordne viljastamine. Sugurakkude moodustumine ja viljastamine kulgevad taimedel põhimõtteliselt samuti nagu loomadel. Kuid sarnasuse kõrval esineb ka rida iseärasusi, mis on seotud taimede ehituse omapäraga. Vaatleksime mõningaid erinevusi katteseemnetaimede juures, millel esineb kahekordne viljastamine. Emarakk teeb läbi meioosi, mille tulemusel tekib neli haploidse kromosoomide arvuga rakku. Kolm rakku neljast tavaliselt degenereeruvad, üks aga jaguneb ja moodustab mitmerakulise lootekoti (joon. 128). Üks lootekoti rakkudest ongi munarakk. Tavaliselt liitub kaks lootekoti keskosas paiknevat haploidset tuuma, moodustades diploidse raku. Tolmuterad satuvad emakasuudmele ja hakkavad «idanema». Selle tulemusel moodustuv tolmutoru sisaldab tuumi, millest kaks on haploidset spermiumi tuuma. Tolmutoru kasvab lootekotini, sellega kokku puutudes ta lõhkeb ja spermiumid satuvad lootekoti sisemusse. Üks spermium ühineb munarakuga, mis annab diploidseks muutudes alguse lootele. Teine spermium ühineb diploidse tuumaga. Selle tulemusel moodustub triploidse tuumaga (s. t. tuumaga, mis sisaldab kolm haploidset kromosoomigarnituuri) rakk, millest areneb eriline embrüonaalne organ — endosperm, millesse kogunevad varutoitained (joon. 128). Viljastatud munarakust kujuneb loode, mille kasvamiseks kuluvad endospermi varutud toitained.

P a r t e n o g e n e e s. Mõnedel loomadel areneb munarakk ilma viljastamata. Sellist nähtust nimetatakse partenogeneesiks. Real putukatel (lehetäid), alamatel vähkidel (*Daphnia*) ja teistel loomadel toimub arenemine ilma viljastamiseta looduslikes tingimustes. Sellist partenogeneesi nimetatakse loomulikuks. Tavaliselt toimub sel juhul munarakus üksainus jagunemine ja seetõttu ei vähene kromosoomide arv rakkudes.

Paljude loomade munarakke võib sundida arenema viljastamata ühe või teise välismõjutusega: sellist k u n s t l i k k u p a r t e n o g e n e e s i on kutsutud esile peaaegu kõikide loomade juures. Isegi imetajate munarakku õnnestub sundida arenema viljastamata, kui teda hoida erilises toitekeskkonnas termostaadis 37° juures. Munaraku arenemine võib veel toimuda ka ilma munaraku tuuma osavõtuta, ainult spermatosoidide tuumade arvel. Siidikedrikul tungib munarakku tavaliselt palju spermatosoide, munaraku tuumaga ühineb aga ainult üks. Kui enne viljastamist aga munaraku tuum hävitada (näiteks röntgenikiir-



Joon. 128. Katteseemneliste taimede teisviljastamine: 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 — loode; 11 — endosperm.

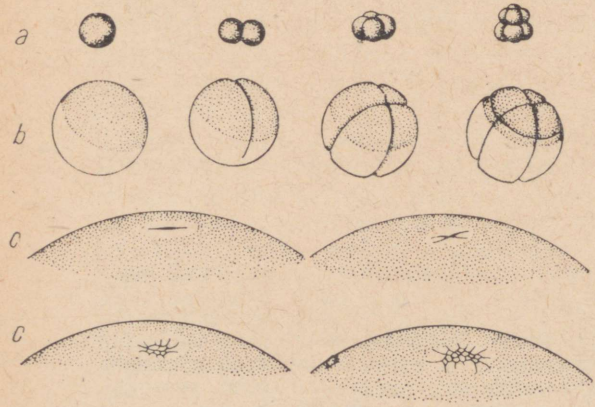
tega), siis ühinevad viljastamisel kahe spermatosoidi tuumad ja kogu arenemine sünnib isastuumade arvel.

Spermatosoidi toimes rakule tuleb eristada kaht momenti: 1) isaskromosoomide ja isa DNH sissetoomine ja 2) jagunemist ja arenemise algust stimuleeriv toime, mille võib asendada väliste mõjutustega.

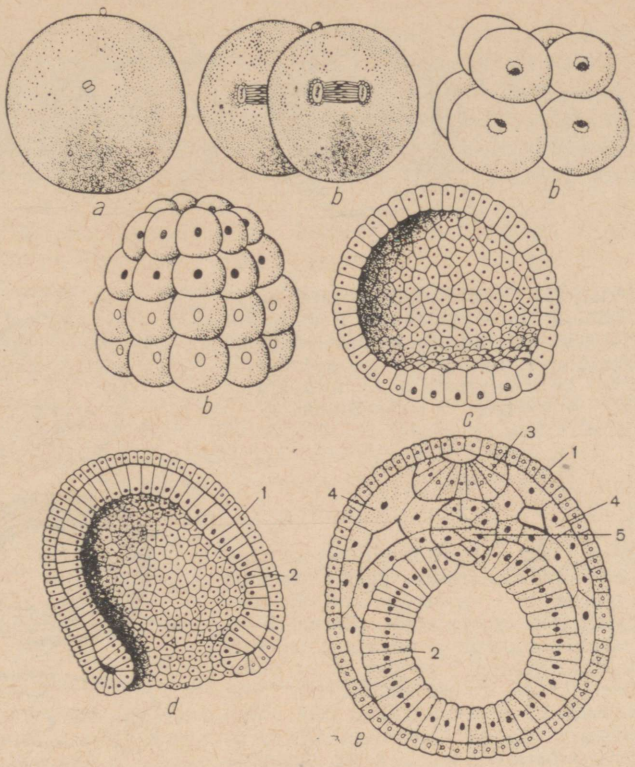
45. *Viljastatud muna arenemine*

Embrüonaalne arenemine. Viljastatud munarakk kujutab endast ühetuumalist rakku, milles on hulgaliselt tsütoplasmat. Pärast viljastamist algavat munaraku jagunemist nimetatakse lõigustumiseks. Need jagunemised on sarnased tavalise mitoosiga, kuid esiteks toimuvad nad väga kiiresti üksteise järel ja teiseks, jagunemiste vahel rakud ei kasva, millest pärinebki nimetus lõigustumine (joon. 129).

Munarakk jaguneb alguses kaheks rakuks, mida nimetatakse blastomeerideks. Seejärel jaguneb kumbki neist veel korra ja moodustub 4 rakku. Pärast 5—8 jagunemist moodustub loote sees õõs. Seda loote arenguastet nimetatakse blastulaks ehk põislooteks. Seejärel algab teise rakukihi moodustumine — gastrulatsioon. Paljudel juhtudel see toimub nii, et ühe, vegetatiivse pooluse nimetust kandva pooluse rakud sopistuvad sisse. Sopistunud rakukiht jääb loote sisse, mis sel moel muutub kahekihiliseks. Vastavalt sellele kutsutakse järgmist arengustaadiumi gastrulaks ehk karikllooteks. Gastrulas eristatakse kaht lootelehte — välimist ehk



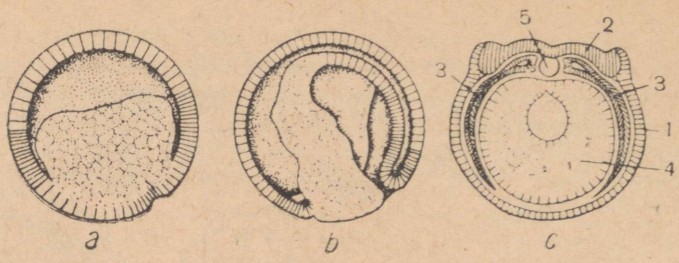
Joon. 129. Erinevate loomade munaraku lõigustumise algstaadiumid: a — süstikkalal; b — konnal; c — linnul. Vastavalt munaraku ehitusele on näha lõigustumise järjestikused staadiumid — 2,4 ja 8 blastomeeriga. Konna munarakk lõigustub erineva suurusega blastomeerideks. Lindude munarakus lõigustub ainult pindmine aktiivse tsütoplasma lõik, milles paikneb rakutuum.



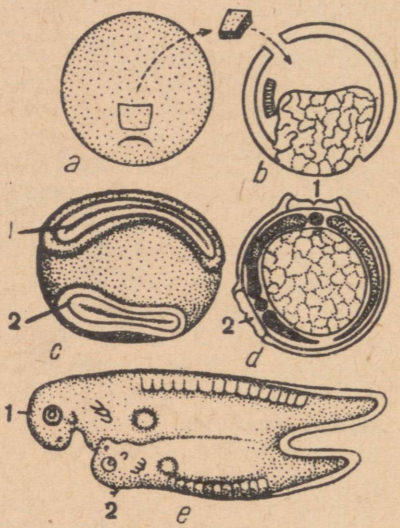
Joon. 130. Süstikkala varajased arengustaadiumid: a — munarakk, b — 2,8 ja 32 blastomeeri staadiumid; c — blastula; d — gastrulastaadium: 1 — ektoderm; 2 — entoderm; e— telgelementide kompleksi moodustumine: 1 — ektoderm; 3 — neuraalplaat; 4 — mesoderm; 5 — seljakeelik.

ektodermi ja sisemist ehk entodermi. Nende vahel moodustub edasises arengus kolmas, vahelmine lootekiht — mesoderm (joon. 130).

Selgroogsetel areneb ektodermist edaspidi katteepiteelkude, närvisüsteem ja meeleelundid. Entodermist kujunevad sooleepiteelkude, kopsud, maks, kõhunääre. Mesodermist kujuneb luukude, kõhrkude, lihased ja ringeelundkond. Pärast gastrulatsiooni lõppemist algab tulevasel seljaküljel ektodermi sissesopistumine, mis moodustab närvitoru. See on seljaaju alge, keha eesmises osas aga peaaju alge. Närvitoru all paikneb kordomesoderm, mis koosneb seljakeeliku ja selle külgedel paiknevate selgroolülide ja lihaste algetest. Kogu see algete kompleks määrab ära loote peatelje, mis jagab loote keha paremaks ja vasemaks pooleks. Sellepärast kutsutaksegi neid organeid telg-



Joon. 131. Vesiliku arenemine: a — blastula; b — gastrula; c — loote ristlõik telgelundite kompleksi moodustumise hetkel: 1 — ektoderm; 2 — neuraalplaat; 3 — mesoderm; 4 — entoderm; 5 — seljakeelik.



Joon. 132. Kordomesodermaalalge osa siirdistutamine gastrulatsiooni alguses: a — gastrula, millelt võetakse kordomesodermi tükike; b — varane 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; 2 — täiendav loode.

elunditeks. Joon. 131 võib näha, et närvitoru moodustub ektodermist seljakeeliku kohal. Närvitoru asukoha ja moodustumisaja täpse kokkulangemise määrab ära seljakeeliku alge mõju (joon. 132). Kui päris gastrulatsiooni alguses välja lõigata tükike tulevast kordomesodermi ja istutada see ümber ektodermi alla keha küljel, siis moodustub selles kohas ektodermist teine närvitoru. Kordomesodermaalse alge mõju ektodermile kujutab endast induktsiooniprotsessi. Sel ajal eraldavad kordomesodermaalse alge rakud keemilisi aineid, mis toimivad ektodermile. Ühest algest eritunud keemilised ained kutsuvad teises alges esile neuraaltoru moodustumise. Selles seisnebki induktiivne toime (joon. 132).

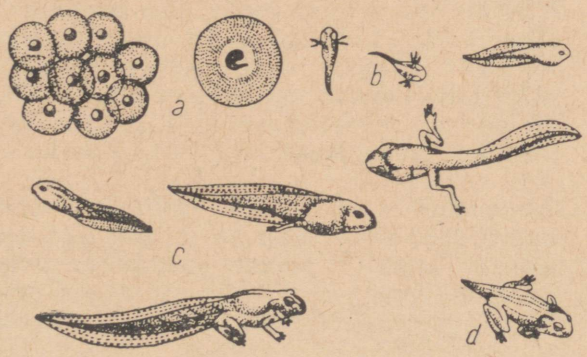
Indutseerivad toimed, mille ühe näitega me praegu tutvusime, kindlustavad üksikute algete arenemise koordinatsiooni, s. t. üksikosade sellise vastastikuse toime, mille alusel kasvab proportsionaalselt arenenud terviklik loode.

Arenemine metamorfoosi ehk moondega. Lisaks munarebule on munarakk kaetud veel rea täiendavate kestadega, mille kaitse all arenebki loode. Juba väljakujunenud, iseseisvaks eluks võimeline organism purustab need kestad ja väljub. Nii väljub näiteks kanapoeg munast siis, kui ta on juba võimeline iseseisvalt toituma. Konna munarakke ümbritseb samuti rida kesti, millest välimine moodustab sültja massi (joon. 133). Kesti lõhkudes väljub konna munast vette kulles. Koorumisega lõpeb embrüonaalne arenemine ja algab postembrüonaalne arenemine. Konna ja putukate munadest kooruvad vastsed, kes suuremal või vähemal määral erinevad täiskasvanud organismist. Selle tunnuse järgi eristatakse kaht postembrüonaalse arenemise tüüpi: I — otsene, kui sünnib täiskasvanud organismiga sarnane loom; II — moondega ehk metamorfoosiga arenemine, kui embrüonaalse arenemise tulemusel moodustub vastne, mis järk-järgult moondub täiskasvanud organismiks.

Näiteks võib tuua putukate arenemise, mis on tuntud juba zooloogia kursusest. Nii koorub liblikamunast vastne — röövik. See toitub, kasvab, kestub, suureneb mõõtmetelt ja läheb üle puhkestaadiumi — nukkub. Nukust lendab välja juba täiesti arenenud liblikas.

Kogu postembrüonaalse arenemise protsess vastsest liblikani kujutab endast metamorfoosi. Teiseks näiteks võib tuua konna arenemise. Munast koorub lõpustega hingav ning sabaga kulles, kellel puuduvad jäsemed. Seejärel kaovad lõpused, arenevad jäsemed ning redutseerub saba. Kahepaiksete metamorfoosis on põhilise tähtsusega ained, mida eritavad sisesekretsiooninäärmed. Kullesel hakkab arenemiskäigus funktsioneerima kilpnääre, mille poolt eristatav hormoon kutsub esile kullese moondumise (joon. 133).

Metamorfoosiga arenemisel on suur bioloogiline tähtsus. Real juhtudel kujutab vastne endast sellist staadiumi, mis on spetsiaal-



Joon. 133. Konna moondumise (metamorfoosi) järjestikused staadiumid: a — munarakud; b — lõpustega kulles; c — kulles, millel lõpused on juba redutseerunud ja arenenud tagajäsemed; d — väike konn sabajäänustega.

selt kohastunud aktiivseks toitumiseks ja kasvuks, mida võib täheldada näiteks putukatel. Väga sageli on vastsed ja täiskasvanud loomad kohastunud eluks erinevates tingimustes ning seetõttu ei konkureeri nad omavahel elukoha ja toidu pärast. Näiteks võib tuua kulleste metamorfoosi. Sageli võivad väheliikuvate loomade vastsed soodustada liigi levikut. Nii näiteks meredes kinnistunult elavate primitiivsete keelikloomade astsiidide ehk merituppede vastne ujub vabalt vees, levitades seega neid täiskasvanud olekus liikumatuid loomi.

KÜSIMUSI JA ÜLESANDEID.

1. Nimetage mitoosi faasid.
2. Milliseid rakkude jagunemisviise tuntakse?
3. Missugune jagunemisviis on kõige enam levinud?
4. Mida nimetatakse diploidseks kromosoomigarnituuriks ja millega see erineb haploidsest kromosoomigarnituurist?
5. Milles peitub DNH molekuli reduplikatsiooni olemus?
6. Missuguseid perioode läbivad rakud spermatosoidide ja munarakkude arenemiskäigus?
7. Milles on meioosi olemus ja kuidas käituvad sealjuures homoloogilised kromosoomipaarid?
8. Milles peitub viljastamise ja diploidse kromosoomigarnituuri moodustumise olemus?
9. Millega tagatakse püsiv DNH hulk ja kuidas säilitatakse püsivat kromosoomide arvu kõigis keharakkudes ja järglaskonnas?
10. Mida annab kunstlik partenogeneesi uurimine spermatosoidide toimemehhanismi mõistmiseks munarakule?
11. Mida annab närvitoru induktsiooni nähtuse tundmine rakkudevaheliste vastastikuste toimete mehhanismi mõistmiseks?
12. Missugune erinevus on mitoosi ja meioosi vahel?
13. Missugune tähtsus on sisesekretsioonil amfiibide postembrüonaalsele arenemisele?
14. Missugune erinevus on otsese ja moondega arenemise ehk metamorfoosi vahel?

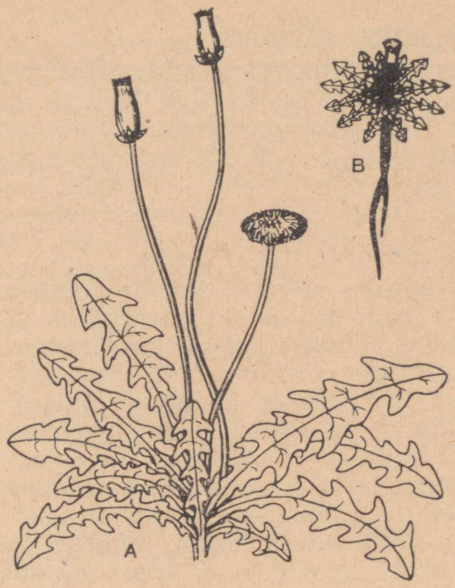
3. Geneetika ja selektsiooni alused

Darwini evolutsiooniõpetust uurides nägime, kuivõrd olulise tähtsusega evolutsiooni seaduste mõistmiseks on pärilikkuse ja muutlikkuse protsessid. XIX sajandi teisel poolel, kui Darwin lõi oma teooria, olid selle elunähtuste valdkonna põhilised seaduspärasused veel vähe uuritud. Praeguseks ajaks on olukord põhjalikult muutunud. On tekkinud ja areneb edukalt geneetika — bioloogia tähtis haru, mis uurib pärilikkuse ja muutlikkuse seadusi. Pärilikkust võib defineerida kui organismide omadust üle anda oma tunnuseid ja arenemise iseärasusi järgnevatele põlvkondadele. See omadus lubab loomadel, taimedel ja mikroorganismidel säilitada põlvkonnast põlvkonda liigi, tõu või sordi iseloomulikke jooni. Öeldust selgub, et pärilikkus on lahutamatult seotud paljunemisega ja organismide individuaalse arenemisega.

Sugulisel paljunemisel tekivad uued põlvkonnad viljastamise tulemusel, mis kujutab endast isas- ja emassugurakkude ühinemist. 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, mille uurimisega samuti tegeleb geneetika, 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. Hea söötmise ja hooldamise juures annavad lehmad rohkem piima kui halbades tingimustes.

Joon. 134 on kujutatud võilillega tehtud katse tulemused. Võeti üks võilillejuurikas ja lõigati pooleks. Üks pool isutati lauskmaale kõrge niiskusesisaldusega mulda. Sellest kasvas suurte lehtede ja pikkade õievartega taim. Teine pool juurikast istutati mägedesse. Kasvas väike taim rosetikujulise väikeste,



Joon. 134. Ühest juurikast kasvatatud võilille muutlikkus: A — lauskmaal, B — mägedes.

maad ligi litsutud lehtede kimbu ja lühikeste õievartega. Samal ajal on aga nende pärilikkus ühesugune, kuna mõlemad taimed arenesid ühest ja samast juurikast. Toodud näitest selgub, et tunnuste kujunemine sõltub suuresti organismi ümbritseva väliskeskkonna tingimustest.

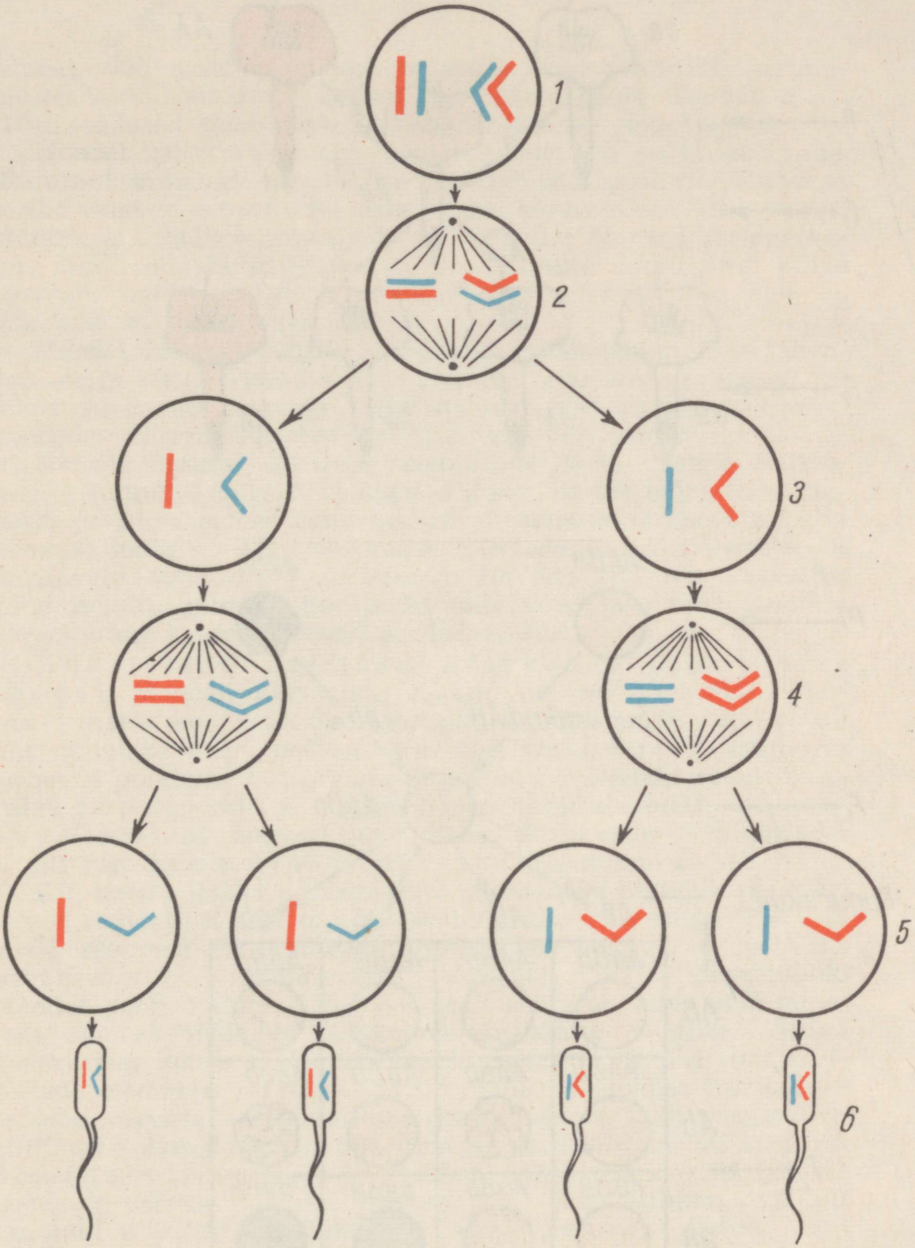
Geneetikal on suur praktiline tähtsus. Koduloomade ja kultuurtaimede pärilike tunnuste muutmine inimesele soovitavas suunas ja uute kõrge produktiivsusega tõugude ja sortide loomine põhineb geneetika seaduspärasustel. Suur on geneetika tähtsus ka arstiteaduses. On tehtud kindlaks, et mõned inimese haigused on pärilikud.

7. peatükk

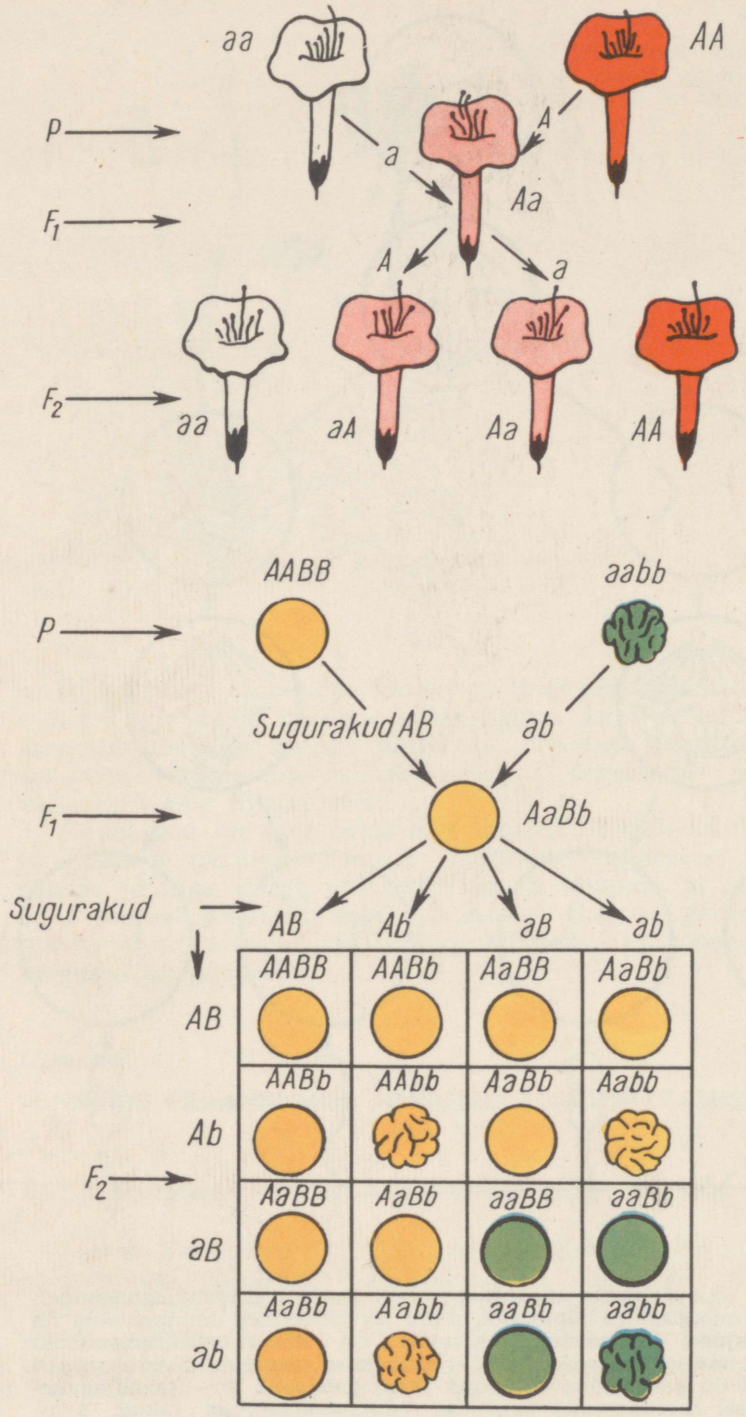
TUNNUSTE PÄRANDUMISE PÕHILISED SEADUSPÄRASUSED

46. Pärilikkuse uurimise hübridoloogiline meetod

M o n o h ü b r i i d n e r i s t a m i n e. Kaasasündinud tunnuste pärandumise põhilised seaduspärasused sugulisel paljunemisel reas üksteisele järgnevates põlvkondades tegi esimesena kindlaks tšehhi õpetlane Gregor Mendel ja avaldas nad 1865. a. Tema katsed jäid kauaks ajaks praktiliselt vähetuntuks. Alles 35 aasta



Tahvel VII. Sugurakkude küpsemise skeem (meioos ja taandjagunemine): 1 — nelja kromosoomiga lähterakk, mille homoloogilised kromosoomid on ühesuguse kujuga; isalt saadud kromosoomid on punased, ema kromosoomid sinised; 2 — meioosi esimese (taand-)jagunemise metafaas, homoloogilised kromosoomid on paarikaupa ühinenud (konjugatsioon); 3 — taandjagunemise tulemusel moodustunud haploidse kromosoomiarvuga rakud; 4 — meioosi teine jagunemine, mille käigus kõik kromosoomid kahestuvad; 5 — 6 — haploidse kromosoomiarvuga küpsete sugurakkude moodustumine.



Tahvel VIII. Ülal — *Mirabilis*'e monohübriidne ristamine. All — herne dihübriidne ristamine.

pärast, 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 tunnustelt 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 tunnustepaari ja jälgis nende ilmnemist rea üksteisele järgnevate põlvkondade jooksul. Mendeli katsete iseloomustavaks jooneks oli uuritavate tunnuste ilmnemise täpne kvantitatiivne arvestus kõigi isendite juures. See andis talle võimaluse teha kindlaks pärandumise kvantitatiivseid seaduspärasusi.

Hübriidide esimese põlvkonna ühtlikkuse reegel. Mendeli uurimused algasid nn. monohübriidse ristamise analüüsist. See tähendab, et ristamiseks võeti ainult ühe tunnuste paari poolest erinevad vanemvormid, kusjuures erinevus puudutas üht organismi iseärasust. Näiteks ristati omavahel purpurpunaste ja valgete õitega herneid, kollaste ja roheliste seemnetega herneid jne. Reas järgnevates põlvkondades jälgiti just nimelt antud tunnustepaari pärandumist.

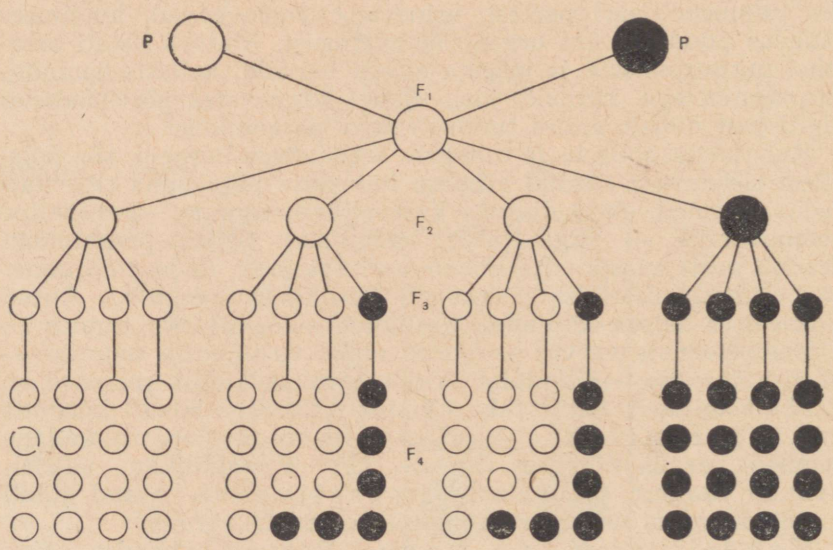
Kui ristata kollaste ja roheliste seemnetega herneid, siis kõigi sellest ristamisest saadud esimese hübriidse põlvkonna (F_1)[1] taimede seemned on kollased. Vastupidine tunnus — roheline seemnevärvus — nagu jääks kadunuks. Selles peegeldubki Mendeli poolt avastatud esimene seaduspärasus, mida võib nimetada esimese hübriidse põlvkonna ühtlikkuse reegliks. Antud konkreetses katses väljendub ühtlikkus selles, et üks tunnus — kollane seemnete värvus — surub maha vastupidise tunnuse — rohelise värvuse — ilmumise ja ristandtaimede kõik seemned on ühtlikult kollased. Sellist ühe tunnuse valdamist hakati kutsuma domineerimiseks. Vaadeldud näites domineerib kollane seemnete värvus rohelise värvuse üle. Vastandlikku, väliselt kadunud tunnust kutsutakse retsessiivseks. Antud juhul on retsessiivseks tunnuseks roheline seemnete värvus.

Mendeli esimene seadus. Esimese hübriidse põlv-

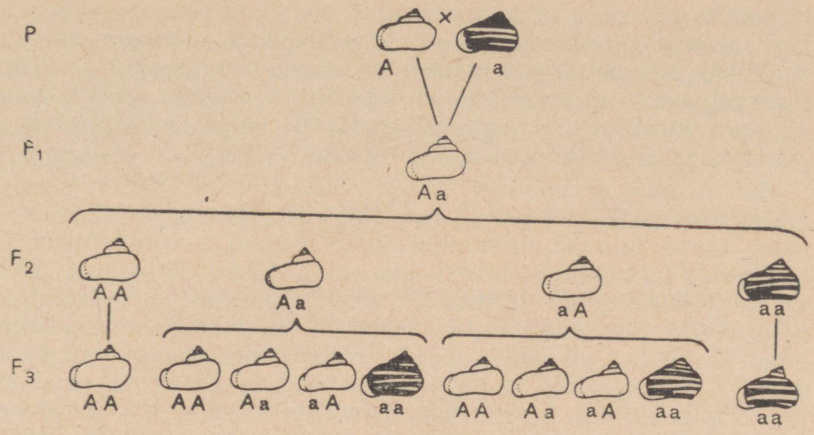
[1] Kokkuleppeliselt tähistatakse vanempõlvkonda tähega P, esimest hübriidset põlvkonda — F_1, teist hübriidset põlvkonda — F_2 jne.

konna 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 seemnete suhe on ligikaudu 3:1. Mendeli katses oli kvantitatiivne suhe järgmine: kollaseid — 6022, rohelisi — 2001. Täpselt analoogilisi tunnuseid andis ka teiste tunnuste paaride uurimine. Selgus, et õie 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. Monohübriidsel ristamisel väljendub ta selles, et teises hübriidses põlvkonnas ilmuvad kindlates arvulistes suhetes uuesti vanemvormidele iseloomulikud tunnused.

Kuidas aga avalduvad tunnused kolmandas, neljandas ja järgmistes põlvkondades? Sellele küsimusele vastamiseks analüüsis Mendel teise põlvkonna hübriidide isetolmlemisest saadud järglasi (joon. 135).



Joon. 135. Monohübriidne lahknemine. Heledad ringid — dominantse tunnusega organismid, tumedad ringid — retsessiivse tunnusega organismid.



Joon. 136. Kahe teotõu ristamine. Dominantne tunnus — sile koda, retsessiivne tunnus — vöödiline koda.

Retsessiivse tunnusega taimed ei lahknenud edaspidi ükskõik kui suure arvu põlvkondade jooksul. Nende järglaste seas ei ilmunud kunagi dominantsete tunnustega taimi. Teisiti käitusid need teise põlvkonna hübriidid, millel esines dominantne tunnus. Siin avastati iga taime järglaste individuaalse analüüsi korral kaks rühma. Esimene rühm, millesse kuulus üks kolmandik kõigist dominantsete tunnustega taimedest, ei lahknenud järgnevates põlvkondades nagu retsessiivse tunnusega taimede järglasedki. Selle rühma taimede kõik järglased niihästi kolmandas kui ka neljandas ja järgmistes põlvkondades on ainult dominantse tunnusega. Teisiti aga käituvad teise põlvkonna teise rühma isendid, mis moodustavad kokkuvõttes $^2/_3$ dominantse tunnusega taimede üldarvust. Nende järglaskonnas esineb lahknemine samas suhtes, 3:1 (kolm neljandikku dominantseid ja üks neljandik retsessiivseid), kui teise põlvkonna hübriididel (joon. 135). Samasuguse tulemuse annab järgmiste põlvkondade uurimine. Retsessiivse tunnusega taimede järglased ei lahkne. Dominantse tunnusega isendite seas võib järeltulijate käitumise järgi jällegi eraldada kaks rühma: üks kolmandik ei lahkne, ülejäänud kahe kolmandiku järglased aga lahknevad samades arvulistes suhetes: kolm dominantset ühe retsessiivse kohta.

Mendeli poolt herne ristamiskatses avastatud lahknemiseseadusel on üldine tähtsus. Kõigi taimede ja loomade sugulisel paljunemisel esineb hübriidide järeltulijatel lahknemine. Joon. 136 on toodud näiteks aedteo kahe pärilikult erineva rassi ristamise tulemused. Ühel neist on ühtlaselt värvunud kollane sile koda. Teisel on mustade vöötidega koda. Ka siin on tegu mono-

hübriidse ristamisega, s. t. vanemad erinevad üksteisest ühe paari kontrastsete tunnuste poolest. Alates teisest põlvkonnast toimub tunnuste lahknemine samades arvulistes suhetes, 3:1. Täpselt samasuguseid tulemusi annab hallide ja valgete hiirte, valgete angoora küülikute ja siledakarvaliste valgete küülikute ning ohetega ja oheteta nisusortide ristamine jne.

Me nägime eespool, et väliselt sarnastel isenditel võivad olla erisugused pärilikud omadused. Näiteks annavad «kollaste» herneste teises hübriidpõlvkonnas ühed taimed isetolmlemisel järglaskonnas lahknemise, teised aga mitte. Ühed oleks oma pärilike algete poolest nagu «puhtad», teised aga mitte. 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 äsjaesitatud 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». Pöörame tähelepanu asjaolule, et retsessiivse tunnusega taimed kunagi ei ole selle tunnuse suhtes heterosügootsed. See on täiesti mõistetav, kuna dominantse tunnuse arenemist määrava alge olemasolu teeks võimatuks retsessiivse tunnuse avaldumise.

Vahepealse iseloomuga pärandumine. Eespool vaadeldud näidetes väljendus esimese hübriidse põlvkonna ühtlikkuse seadus 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 VIII on toodud dekoratiivtaime *Mirabilis*'e kahe rassi ristamise tulemused. Ühel rassil on punased õied, teisel valged. Kõik esimese põlvkonna hübriidid on roosad, s. t. neil on mõlema vanemvormi suhtes 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 küll lähedased ühele vanematest, kuid ei vasta talle täielikult.

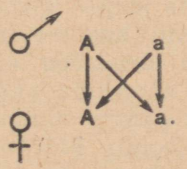
Sugurakkude puhtuse hüpotees. Mis on lahkne-

mise põhjuseks? Miks ei teki tavaliselt vastupidiste tunnustega organismide ristamisel püsivaid vahepealseid hübriide, vaid ilmuvad vanematega sarnased vormid, liiatigi veel rangelt kindlates arvulistes suhetes? Nähtuse vaatlemisest ja kirjeldamisest ei piisa. Palju olulisem on mõista nähtuse põhjust.

Lahknemise nähtuse ja sealjuures vaadeldavate arvuliste suhete seletamiseks pani Mendel ette hüpoteesi, mida tuntakse nimetuse all «sugurakkude puhtuse hüpotees». Vaatleme selle olemust.

Põlvkondadevahelist sidet peetakse sugulisel paljunemisel sugurakkude (gameetide) kaudu. On ilmne, et sugurakkudes on mingid materiaalsed pärilikkusetegurid (kaasaja geneetikas kutsutakse 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: $A \times a \rightarrow Aa$. 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.

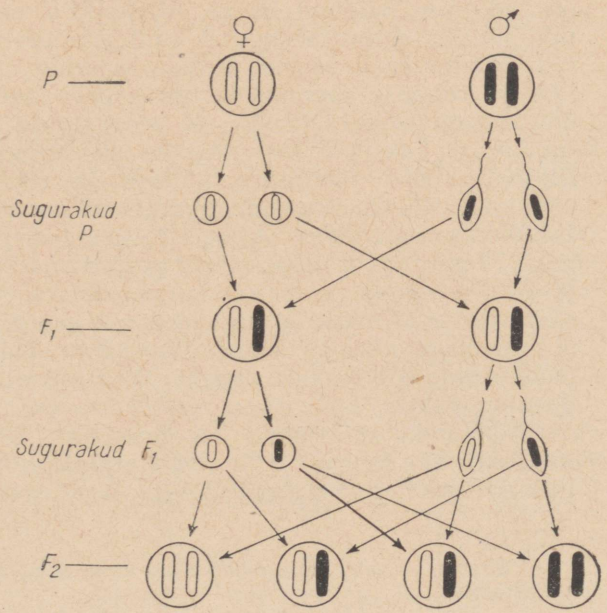
Dominantsete tunnustega isendid on oma pärilikult olemuselt ebaühtlikud. Üks igast kolmest (AA) annab ilmselt ainult üht tüüpi sugurakke (A) ega lahkne järelikult ei isetolmlemisel ega ristamisel endasarnastega. Mis puutub kaht teist (Aa), siis need annavad kaht tüüpi sugurakke ja nende järglaskonnas esineb lahknemine samades arvulistes suhetes mis teise põlvkonna hübriididelgi. Neil juhtudel, kui domineerimist ei ole ja hübriididel on vahepealne iseloom, erinevad isendid päriliku koostisega Aa homosügootsetest vormidest mitte ainult päriliku struktuuri, vaid ka välistunnuste poolest. See on ilma täiendavate seletusteta näha tahvlist, mis kujutab *Mirabilis*'e ristamist, kus koos taimede joonistega on esitatud ka pärilikkuse valemid.

Sugurakkude puhtuse hüpoteesist lähtudes võib täpsustada ülaltoodud homosügoodi ja heterosügoodi mõisteid. Homosügootideks antud tunnuste paari suhtes võime ilmselt nimetada selliseid isendeid, mis moodustavad ainult üht tüüpi sugurakke ning sellepärast isetolmlemisel või endasarnastega ristamisel ei lahkne. Heterosügoodid annavad erinevaid sugurakke, mis kannavad antud paari eri geene ja sellepärast esineb nende järglaskonnas lahknemine.

Äsjavaadeldud 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), 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. Selliste statistiliste seaduspärasuste hulka kuulub ka Mendeli lahknemisseadus, mille määrab erinevate sugurakkude kohtumise võrdne tõenäosus. Öeldust 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 suhtearvud seda lähedasemad nendele suhetele, mida suurem on vaatluste arv. Vastupidi, väikese vaatluste arvu juures võivad esineda tunduvad kõrvalekaldumised oodatavast tulemusest.

«Sugurakkude puhtuse» hüpoteesi tsütoloogilised alused. Sel ajal kui G. Mendel formuleeris «sugurakkude puhtuse» hüpoteesi, ei olnud veel midagi teada raku mitootilisest jagunemisest, sugurakkude arenemisest, meioosist ja taandjagunemisest. Praeguseks ajaks on Mendeli seadused tänu tsütoloogia edusammudele saanud kindla materiaalse aluse protsesside näol, mis toimuvad sugurakkude küpsemisel ja viljastamisel. Igal taime- ja loomaliigil on 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 VII). Seetõttu on sugurakkude kromosoomide arv poole väiksem kui keharakkudes, kusjuures igast kromosoomipaarist säilib üks kromosoom. Somaatiliste rakkude kromosoomigarnituuri nimetatakse diploidseks, sugurakkude garnituuri — haploidseks. Seda protsessi vaatlesime üksikasjaliselt eelmises peatükis. Viljastumisel taastub uuesti diploidne (paariline) kromosoomigarnituur, milles iga kromosoomipaar koosneb ühest isa ja teisest ema poolt saadud kromosoomist. Neid kromosoomide käitumise vaatlusi on kerge siduda tunnuste lahknemise nähtusega ristamisel.

Oletame lihtsuse mõttes, et organismil, mida me uurime, on ainult üks paar kromosoome (joon. 137) ning et geenid on kromosoomide osad. Paarilised geenid asetsevad homoloogilistes kro-



Joon. 137. Monohübriidse lahknemise tsütoloogilised alused. Dominantse tunnusega kromosoomid on heledad, retsessiivse tunnusega — tumedad.

mosoomides. On kerge mõista, et meioosis, kui igast homoloogiliste kromosoomide paarist sugurakkudesse jääb üks, siis on neis ka vastavalt üks geen igast paarist. Diploidse kromosoomigarnituuri moodustumisel sügoodis[1] 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, milliest 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. Öeldust nähtub, et kromosoomide saatuse uurimisel sugurakkude moodustumise ja viljastamise käigus sai «sugurakkude puhtuse» hüpotees tsütoloogilise põhjenduse. Nii tekkis geneetikas tugevasti juurdunud ettekujutus kromosoomidest kui geenide kandjatest. Selles peitub kromosoomilise pärilikkuseteooria olemus.

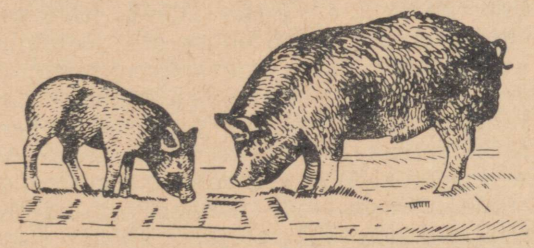
Raku jagunemisel, nagu nägime eelnevalt, kahestuvad kromosoomid. Sellele eelneb kromosoomide põhilise keemilise komponendi — DNH molekuli replikatsioon. See protsess on seotud ka geenide kahekordistumisega, mis kujutavad endast DNH molekuli osi.

Alleelsed geenid. Fenotüüp ja genotüüp. 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. Sellíste paaride näiteks võib tuua kollase ja rohelise seemnevärvuse geenid hernel, valge ja punase õievärvuse geenid *Mirabilis*'el jt. Selliseid paarilisi geene nimetatakse alleelseiks, geenide paari aga alleeliks. Järelikult on herne seemnete 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 seaduste järgi. Nii näiteks ei esine lahknemist seemne värvuse ja õie värvuse vahel. Need geenid ja nende poolt määratavad tunnused ei moodusta alleeli. Geneetika küsimuste edasisel vaatlemisel peame pidevalt tegema ranget vahet alleelsete ja mittealleelsete geenide vahel.

Tähtsateks mõisteteks on geneetikas fenotüübi ja genotüübi mõisted. Genotüübiks nimetatakse tervet geenide (pärilikkusetegurite) kompleksi, mille organism saab paljunemisprot-

[1] Sügoot — rakk, mis moodustub kahe suguraku (gameedi) ühinemisel viljastamisel.

sessis vanematelt. On selge, et genotüüp või teiste sõnadega organismi pärilik alus määrab ära viljastatud munast 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 võilille arenemisest (lk. 192, joon. 134). 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 nimetataksegi lühidalt fenotüübiks. Toome veel ühe näite, kus sarnase genotüübi juures fenotüüp teravalt erineb. Joonisel 138 on kujutatud kaks ühe pesakonna (järelikult sarnase genotüübiga) põrsast, kes üksteisest teravalt erinevad. Selle erinevuse on esile kutsunud erinevad söötmise ja pidamise tingimused. Antud juhul on tegemist sarnase genotüübi ja teravalt erinevate



Joon. 138. Ühest pesakonnast pärinevad põrsad, keda kasvatati erinevates pidamise ja söötmise tingimustes.

fenotüüpidega. Järelikult selleks, et selgitada koduloomade häid tõu- või kultuurtaimede kasulikke sordiomadusi, tuleb luua arenemiseks soodsad tingimused, et genotüübis olevad positiivsete tõu- või sordiomaduste alged võiksid fenotüübis esile tulla.

Vahel võivad sarnaseid fenotüüpe anda erinevad genotüübid. Meenutame lahknemise tulemusi teises hübriidses põlvkonnas kollaste ja roheliste seemnetega herneste ristamisel, mida me eespool üksikasjaliselt analüüsisime. Dominantse tunnusega (kollased seemned) taimede seas kohtame nii homosügoote (AA) kui heterosügoote (Aa). Genotüübilt on nad erinevad, fenotüübilt aga neid eristada ei saa. Genotüübiliste erinevuste olemasolu näitab lahknemine järgmistes põlvkondades. Vormid päriliku koostisega AA ei lahkne isetolmlemisel, kuna aga vormid heterosügootse genotüübiga Aa annavad tüüpilise lahknemise suhetes 3:1.

47. Dihübriidne ja polühübriidne ristamine

Monohübriidseid ristamisi võib kergesti teha katsetingimustes. Looduses aga ristuvad tavaliselt isendid, mis erinevad üksteisest mitte ühe, vaid paljude tunnuste poolest. Millised on pärandumise seaduspärasused nendel keerulisematel juhtudel? Et vastata sellele küsimusele, vaatleme dihübriidset ristamist, kus lähtevormid erinevad üksteisest kahe päriliku tunnuse poolest. Näite saamiseks pöördume jälle Mendeli katsetes uuritud hernesortide poole. Katse tulemused on kujutatud tahvlil VIII. 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 geenid (kollane — roheline), teine seemnete kuju geenid (sile — kortsuline). Katse näitab, et 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.

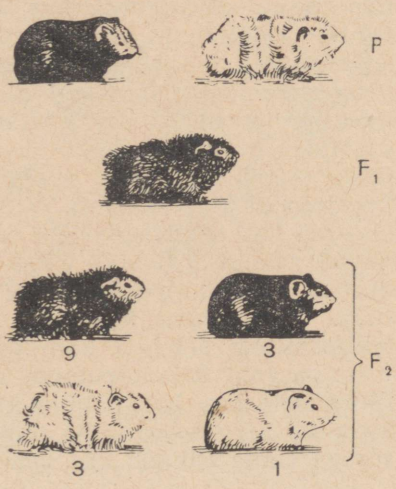
Vaatleme detailsemalt ristamise ja lahknemise käiku (vt. tahvel VIII). Kasutades kokkuleppelisi tähistusi, tuleb homosügootseid vanemaid tähistada AABB ja aabb. Lähtudes sugurakkude puhtuse hüpoteesist teame, et nende sugurakkudel on kummalgi üks geen igast alleelist, s. t. et sugurakud on ühel vanemal 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 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 vastavate isendite fenotüübid.

Tabelist saab kergesti loendada eespool toodud F_2 lahknemise tulemuse.

Kui ristamisest võtavad osa organismid, mis erinevad üksteisest täielikult dominantsete tunnuste poolest, siis on teise põlvkonna hübriididel erinevate genotüüpide arv tunduvalt suurem kui fenotüüpide arv. Nagu äsja nägime, esineb dihübriidsel lahknemisel neli erinevat fenotüüpi. Enamik neist hõlmab mitte ühe, vaid mitu genotüüpi. Kollaste ja siledaseemneliste herneste 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 herned (fenotüüp Ab) on esindatud kahe genotüübiga: homosügootsega — AAbb ja heterosügootsega — Aabb. Kaks genotüüpi «peitub» ka roheliste siledaseemneliste herneste fenotüübi aB taga, nimelt aaBB ja aaBb. Mis puutub puhtalt retsessiivseisse 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 (meie juhul üheksaga). Sellist juhtu me eraldi ei analüüsi. Igaüks, kes saab hästi aru ülaltoodud dihübriidse lahknemise käigust, võib seda kergesti teha ise.

Dihübriidset lahknemist võib uurida ka loomadel. Joon. 139 on kujutatud kahe meriseatõu dihübriidset ristamist: musti siledakarvalisi ristatakse valgete sassiskarvalistega. Antud



Joon. 139. Ristamine ja lahknemise käik kahe meriseatõu esimestes hübriidsetes põlvkondades. Tõud erinevad kahe alleeli poolest, milleks on karvkatte värvus ja kuju (dihübriidne ristamine).

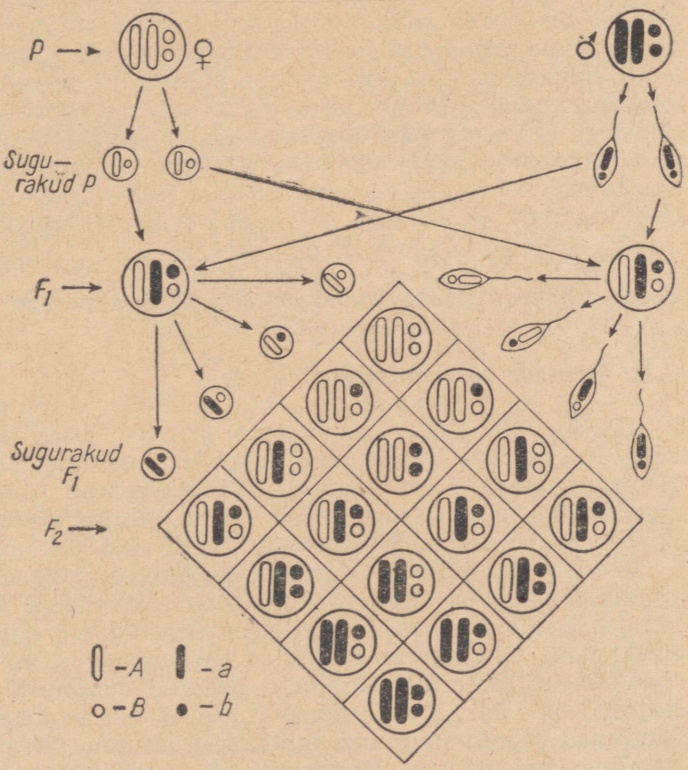
juhul domineerib must värvus valge üle ja sassis karv sileda üle. Jooniselt on ilma edasiste selgitusteta mõistetav ristamise käik, mis on täiesti analoogiline vaadeldud herne dihübriidse ristamisega. Märgiksime ainult, et antud juhul erineb esimese põlvkonna hübriid mõlemast vanemast, kuna tal on kaks dominantset tunnust, mis on päritud erinevatelt vanematelt. Teises põlvkonnas saame teiste vormide kõrval ka puhta retsessiivi — valge siledakarvalise. See vorm erineb mõlemast vanemast. Nagu iga retsessiivne vorm on ta homosügootne. Ristamisel endataolistega ta ei lahkne ning võib säilida puhtal kujul piiramatu arvu põlvkondade jooksul.

Mendeli teine seadus. Võrdleme dihübriidse ja monohübriidse lahknemise tulemusi. Kui võtta arvesse kummagi alleeli lahknemist eraldi, siis on kerge märgata, et monohübriidsele lahknemisele 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 me Mendeli teise väga tähtsa seaduse formuleerimiseni, mida võib nimetada pärilikkusetegurite sõltumatu jaotumise seaduseks. See seadus väidab, et iga paari tunnuste (alleeli) lahknemine toimub sõltumatult teistest tunnuste paaridest (alleelidest).

Dihübriidse lahknemise tsütoloogilised alused. Kuidas siduda seda seaduspärasust nende protsessidega, mis toimuvad sugurakkude küpsemisel ja viljastamisel? Neid suhteid selgitab juuresolev skeem (joon. 140). 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 F_1 kahekordses heterosügoodis igas kromosoomidepaaris ühe alleeli erinevad geenid (skeemil valge ja must). Taandjagunemisel moodustub esimese põlvkonna (F_1) hübriidil võrdsel hulgal nelja tüüpi sugurakke, mis on tingitud sellest, et kromosoomide lahknemisele eelneva konjugatsiooni ajal erinevate homoloogiliste paaride kromosoomide 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 tõenäosusega 16 sügoodikategooriat. Skeemil on kõik võimalikud kromosoomide kombinatsioonid joonistatud ruutudesse. Toodud kombinatsioonid vastavad neile geenirühmitustele, mis panevad aluse juba hästituntud lahknemispildile F_2-s suhtes 9:3:3:1. Soovitame iseseisva ülesandena kirjutada kõigi sügootide ja sugurakkude juurde pliiatsiga välja neile vastavad tingtähistused. Need tähistused leiame skeemil vasemal all, kromosoomide joonise juures. Näeme, et õpetus kromosoomidest kui geenide materiaalsetest kandjatest on heas kooskõlas katsete tulemustega niihästi monohübriidse kui ka dihübriidse lahknemise korral.

Teades, et alleelsed geenid paiknevad homoloogilistes kromosoomides, võime senisega võrreldes veidi muudetud kujul tähistada dihübriidse ristamise ja lahknemise käiku, kujutades vale-



Joon. 140. Dihübriidse ristamise tsütoloogilised alused. Dominantse geeniga kromosoomid on heledad, retsessiivsega — tumedad.

mites 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:

$\frac{A}{A}\,\frac{B}{B}$ (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), $\frac{A}{a}\,\frac{b}{b}$ (Aabb), $\frac{a}{a}\,\frac{b}{b}$ (aabb).

Sellise kirjutamisviisi eeliseks on asjaolu, et ta viitab geenide sidemele kromosoomidega.

Lahknemise üldvalemid. Mendeli seadustest lähtudes ei ole raske 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 pärilikkusevalem AaBbCc (või $\frac{A}{a}\,\frac{B}{b}\,\frac{C}{c}$). Soovitame sugurakkude puhtuse reeglist lähtudes iseseisvalt analüüsida lahknemist F_2-s.

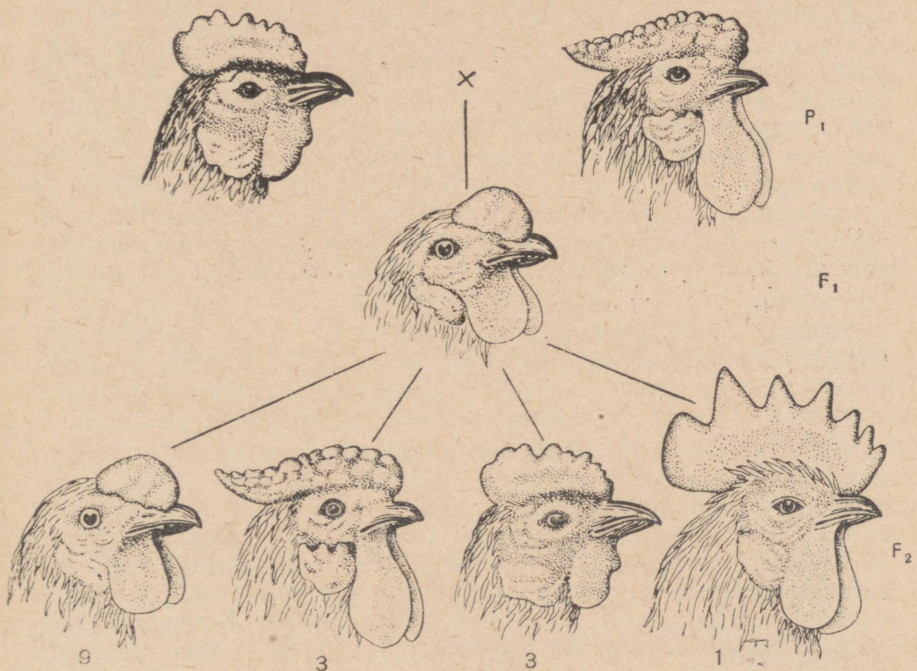
48. Geenide vastastikune toime

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 määravatest geenidest. Nende näidetega tutvumisel võib tekkida arvamus, et organismi genotüüp koosneb üksikute sõltumatult toimivate geenide summast. Selline ettekujutus on väär. Kuigi mõnel juhtumil erinevatesse alleelidesse kuuluvad geenid toimivad suhteliselt sõltumatult, esinevad sagedamini nende vahel mitmesugused vastastikused toimed. Organismi ühe või teise tunnuse arenemist kontrollib tavaliselt mitu geeni. Vaatleme üksikuid geenide vastastikuse toime näiteid.

Erinevatel kanatõugudel on erisugune harja kuju. Joonisel

141 on kujutatud neli harjatüüpi — roosikujuline, hernekujuline, pähklikujuline ja lihtne.

Roosikujulise ja lihtsa harjaga lindude ristamisel domineerib 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 linde hernekujulise ja lihtsa harjaga. F_2-s esineb lahknemine suhtes kolm hernekujulist harja ühe lihtsa harja kohta. Kuidas aga näevad välja hübriidid siis, kui ristata omavahel linde pähklikujulise ja roosikujulise harjaga, s. o. kahe erineva, mitte-alleelse dominantse tunnusega? Katse näitab (joon. 141), et sel juhul on kõigil järglastel F_1-s pähklikujuline hari. 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



Joon. 141. 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.

sügoodis esineb üheaegselt kaks dominantset geeni. Järelikult on pähklikujuline hari kahe mittealleelse dominantse geeni koosmõju tulemus. Lihtne hari on kahe retsessiivse geeni koosmõju tulemus.

Mittealleelsete geenide üheaegse toime nähtus on laialt levinud. Enamiku organismi tunnuste arenemist määrab mitte üks geen, vaid mitu ja vahel isegi palju geene. Näiteks määrab näriliste (hiirte, kodujäneste) halli värvuse palju mittealleelseid geene. Kõik teavad, kui mitmekesine on erinevate küülikutõugude värvus (hallid, tšintsilja-, hermeliin-, valged ja paljud teised küülikud). Nende tunnuste geneetiline analüüs on läbi viidud väga üksikasjaliselt. See lubab vanemate genotüüpi teades ennustada ristamiste tulemusi ja saada arvukalt uudikmoodustisi.

Geeni mitmesuunaline toime. Vaadeldud 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 lillaka lehtede varjundi, pikema varre ja suurema seemnete kaalu. Palju võib sarnaseid näiteid tuua ka loomariigist. Piirdume ainult ühega. Geneetikute armastatud uurimisobjektil, äädikakärbsel (*Drosophila*), mille genotüüpi on uuritud väga põhjalikult, kahandab silmades pigmendi puudumist määrav geen samaaegselt ka viljakust, mõjutab mõnede siseelundite värvust ja lühendab eluiga.

Praegu olemasolev laialdane materjal kõige erinevamate organismide pärilikkuse uurimisel räägib selle kasuks, et geeni mitmesuunaline toime on laialt levinud nähtus, mis on võib-olla suuremal või vähemal määral iseloomulik kõikidele geenidele.

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 genotüübil on katkeline iseloom. Üksikud genotüübi komponendid, mida me kutsume geenideks, võivad teineteisest eralduda ja päranduda sõltumatult (meenutage Mendeli teist seadust). Kõrvuti katkelisusega on genotüübil ka terviklikkus ja teda ei saa vaadelda üksikute geenide lihtsa mehhaanilise summana. Genotüübi terviklikkus väljendub eelkõige selles, et ta üksikud komponendid (geenid) on üksteisega tihedates vastastikes seostes. Organismi tunnuste arenemine määratakse paljude geenide koosmõjuga. Teiselt poolt on igal geenil mitmesuunaline toime ja ta mõjub

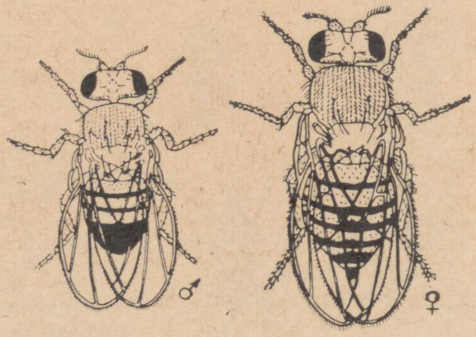
mitte ühe, vaid paljude organismi tunnuste arenemisele. Organismi genotüüp on seotud kindlate rakustruktuuridega, selle kromosoomiaparaadiga. Küsimuse juurde geenide ja genotüübi materiaalsest loomusest tuleme veel tagasi.

49. Liitelise pärandumise nähtus

Eespool vaatlesime üksikasjaliselt dihübriidse lahknemise käiku ja selle tsütoloogilisi aluseid (lk. 205, joon. 140). Me nägime, et pärilikkusefaktorite sõltumatu jaotumine (Mendeli teine seadus) põhineb sellel, et erinevatesse alleelidesse kuuluvad geenid paiknevad erinevates homoloogiliste kromosoomide paarides. Loomulikult kerkib küsimus: kuidas jaotuvad erinevad geenipaarid reas põlvkondades sel 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, mis tavaliselt ei ole eriti suur (lk. 173). On ilmne, et ühes kromosoomis paiknevate geenide kohta sõltumatu jaotumise 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 äädikakärbes (*Drosophila*) (joon. 142). See putukas on geneetiliseks uurimistööks erakordselt kohane. Kärbest on kerge kasvatada laboratooriumitingimustes, ta on kõrge sigivusega, andes uue põlvkonna iga 20—25 päeva jooksul, tal on palju mitmesuguseid pärilikke muutusi ja väike kromosoomide arv (diploidses garnituuris 8 kromosoomi). Praegusel ajal kasvatatakse äädikakärbest kõikides geneetikaga tegelevates laboratooriumides maailmas.

Arvukad katsed näitasid, et ühes geenis lokaliseeritud kromo-

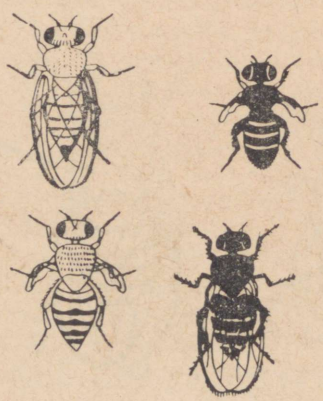


Joon. 142. Isane (vasemal) ja emane äädikakärbes.

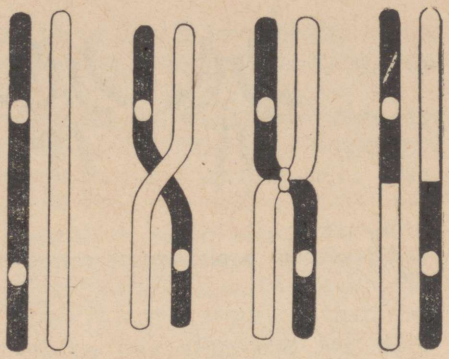
soomid on liitelised, s. t. päranduvad peaasjalikult koos ega allu sõltumatule lahknemisele Mendeli teise seaduse järgi. Vaatleme konkreetset näidet. Kui ristata halli kehavärvuse ja normaalsete tiibadega äädikakärbest tumeda kehavärvuse ja lühenenud tiibadega (könttiivalise) kärbsega, siis on esimeses põlvkonnas kõik kärbsed hallid ja normaalsete tiibadega. F_1 hübriidide omavahelisel ristamisel ei esine teises põlvkonnas sõltumatut tunnuste lahknemist kahe alleeli («hall keha — tume keha» ja «normaalsed tiivad — könttiivad») järgi suhtes $(3:1)^n$ (vt. lk. 206).

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. 143). Me näeme sellel näitel, et geenid, mis määravad tunnused «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 üksteisest, vaid päranduvad koos. Ühes kromosoomis paiknevate geenide liitelisuse nähtust tuntakse M o r g a n i s e a d u s e nime all.

Miks aga siiski teise põlvkonna hübriidide seas ilmub väike arv isendeid, mille juures vanemate liitelised tunnused on ümberkombineerunud? Miks geenide liitelisus ei ole absoluutne? Uurimused näitasid, et geenide ümberkombineerimine on tingitud sellest, et meioosiprotsessis homoloogiliste kromosoomide konjugeerumisel (lk. 182) toimub teatud protsendil kromosoomitükkide vahetus — krossingover ehk siirdristumine (joon. 144). On selge, et kui sealjuures esialgselt ühes kromosoomis paiknenud geenid satuvad erinevatesse kromosoomidesse, toimub nende vahel ümberkombineerumine.



Joon. 143. Erinevad äädikakärbse pärilikud vormid. Ülal vasemal — hall keha, normaalsed tiivad; ülal paremal — must keha, mandunud tiivad; all vasemal — hall keha, mandunud tiivad; all paremal — must keha, normaalsed tiivad. Viimased kaks vormi on vanemvormide tunnuste ümberkombineerumise tulemus, mille aluseks on kromosoomide krossingover (siirdristumine).



Joon. 144. Kromosoomide siirdristumise skeem. Kaks ühes kromosoomis paiknevat geeni (heledad ringid mustade kromosoomide foonil) satuvad siirdristumise tulemusel erinevatesse homoloogilistesse kromosoomidesse.

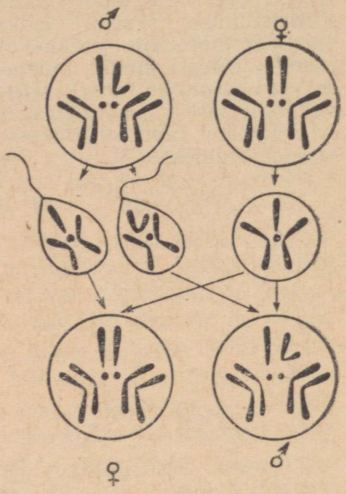
Käesolevaks ajaks on geenide liitelisuse nähtust uuritud paljudel objektidel. Taimede seast on selles suhtes eriti hästi uuritud maisi. Seda tüüpi süvendatud geneetilisel analüüsil on suur tähtsus sordiaretuses. Peale maisi on hästi uuritud ka tomatit, hernest ja mõningaid teisi taimi. Inimesel on praeguseks ajaks kindlaks tehtud alles vähe liitelisi tunnuseid.

50. 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 erinevustega konkreetsel näitel, milleks kasutame jällegi meile juba hästi tuntud äädikakärbest. Joon. 145 on kujutatud isas- ja emaslooma kromosoomigarnituurid. Nii ühel kui ka teisel sool on diploidses garnituuris 8 kromosoomi. Kuid nad ei ole täiesti ühesugused. Kolmes kromosoomipaaris ei ole isas- ja emasloomade vahel erinevusi. Need on kaks paari suuri kaheõlgseid kromosoome ja üks paar päris väikesi tilgakujulisi kromosoome. Ühes paaris on aga olulised erinevused. Emasloomadel on kaks ühesugust kepikujulist kromosoomi, isasloomal aga ainult üks, teisel aga, mis emasel täiesti puudub, on hoopis erisugune kuju. Neid kromosoome, mis isastel ja emastel isenditel on ühesugused, nimetatakse autosoomideks. Kromosoome, mille poolest isased ja emased üksteisest erinevad, nimetatakse sugukromosoomideks. Äädikakärbse kromosoomigarnituur koosneb seega kuuest auto-

Joon. 145. Emase (vasemal) ja isase äädikakärbse kromosoomigarnituurid.



Joon. 146. Soo määramise mehhanism äädikakärbsel. Isasel moodustub kaht tüüpi sugurakke. Ühtedel on haploidses garnituuris X-kromosoom, teistel Y-kromosoom.

soomist ja kahest sugukromosoomist. Kepikujulist kromosoomi, mida emastel on kaks ja isastel üks, nimetatakse X-kromosoomiks. Teist sugukromosoomi, mis emasel puudub, nimetatakse Y-kromosoomiks.

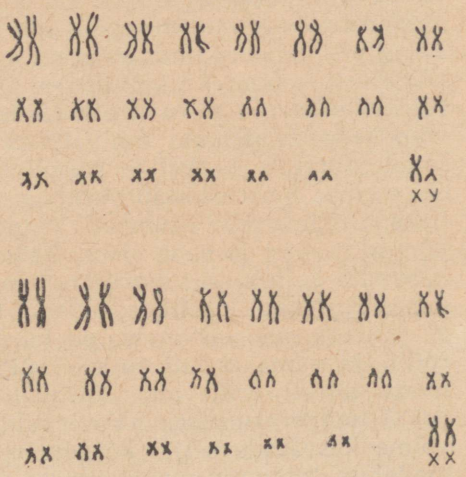
Kuidas säilitatakse kirjeldatud sugulisi erinevusi emaste ja isaste kromosoomigarnituurides paljunemisel? Sellele küsimusele vastamiseks tuleb selgitada kromosoomide käitumist meioosis ja viljastamisel. Toimuvate protsesside olemust näitab joon. 146. Sugurakkude küpsemisel saab emasloomal iga sugurakk (muna) meioosi tulemusel haploidse garnituuri, mis koosneb neljast kromosoomist. Nende seas on üks X-kromosoom. Isasloomal moodustub meioosis kaht tüüpi sugurakke (spermatosoide). Kõigis spermatosoidides on kolm autosoomi. Sugukromosoomid lahknevad käävi vastupidistele poolustele. X-kromosoom liigub seega ühele poolusele, Y-kromosoom — teisele. Seetõttu moodustub võrdsetes hulkades kaht tüüpi spermatosoide. Ühtedel on kolm autosoomi ja X-kromosoom, teistel — kolm autosoomi ja Y-kromosoom. Viljastamisel 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. Soo määramise mehhanism on veelkordseks veenvaks kinnituseks kromosoomilise pärilikkuseteooria õigsusele.

Inimesel esineb niisamasugune soo määramise kromosoomimehhanism kui äädikakärbselgi. 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. 147). Vastavalt sellele moodustub meestel kaht tüüpi spermatosoide kas X- või Y-kromosoomidega.

Mõningatel lahksugulistel organismidel (näiteks mõnedel putukatel) puudub Y-kromosoom üldse. Sel juhul on isasloomal üks kromosoom vähem (kahe X-kromosoomi asemel üks). 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 soo määramise näidetes on isastel kaht tüüpi spermatosoidid: kas X- ja Y-kromosoomiga nagu äädikakärbsel 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



Joon. 147. Mehe (ülal) ja naise (all) kromosoomikompleks. Mehel on näha X- ja Y-kromosoomid, naisel kaks X-kromosoomi.

määrab loote soo see, kas munarakk viljastati X- või Y-kromosoomiga.

Emaste heterogameetsus esineb mõnedel putukatel, nimelt liblikatel. Selgroogsetest on ta iseloomulik lindudele ja roomajatele.

8. peatükk

MUUTLIKKUSE SEADUSPÄRASUSED

51. *Modifikatsiooniline muutlikkus*

Organismi fenotüübi kujunemist määrab tema päriliku aluse — genotüübi vastastikune toime väliskeskkonna tingimustega. Ühe ja sama genotüübi kasvatamisel erinevates tingimustes võivad organismi tunnused suuresti erineda, millel on oluline praktiline tähtsus põllumajanduse jaoks.

Tuleb rõhutada, et organismi erinevad tunnused ei reageeri ühtmoodi välistingimuste muutmisele. Ühed neist on suurel määral plastilised ja muutlikud, teised vähem muutlikud, kolmandaid aga muundavad keskkonna tingimused vaid õige vähesel määral. Toome mõned näited selle kohta, kuidas tunnused erineval määral muutuvad tingimuste mõjul. Veistel sõltub piimaand suurel määral söötmisest ja pidamisest. On üldiselt teada, et piimaandi võib suuresti tõsta vastava söödaratsiooniga, söötade andmisega vajalikes hulkades jms. Vähemal määral kui piimatoodang sõltub söötmise ja pidamise tingimustest piimarasvasus. Piima rasvaprotsent on küllaltki püsiv tõuomadus, kuigi söödaratsiooni muutmisega võib ka seda mõnel määral muuta. Palju püsivamaks tunnuseks on aga värvus. Värvus ei muutu ka kõige erinevamates tingimustes. Ei tule aga arvata, et karvkatte värvus üldse ei sõltu arenemistingimustest. Mõnedel imetajatel võib kergesti näidata ümbritseva keskkonna temperatuuri mõju sellele tunnusele. Sellise sõltuvuse heaks näiteks on küülikud. On olemas hermeliinküülikutõug. Seda tõugu iseloomustab harilikes tingimustes enamasti valge karvkate, mustad on ainult kõrvad, käpad ja saba (joon. 148). Kui pügada või kitkuda välja karvkate seljalt, siis harilikes tingimustes kasvab ta uuesti valgena. Kui aga küülikut pidada madalas temperatuuris (umbes 0° juures), siis kasvab valge karva asemele must. Sama genotüübi ja sama isendi juures võib pigmendi moodustumine toimuda täiesti erinevalt, sõltuvalt arenemistingimustest (antud juhul temperatuurist). Võib öelda, et pärilik on antud näites võime kasvatada seljal kõrgete temperatuuride juures valget ja madalate temperatuuride juures musta karva.

Joon. 148. Pigmentatsiooni arenemise sõltuvus temperatuurist hermeliinküülikul. Madala temperatuuri juures areneb tume pigment (parempoolne joonis).

Modifikatsiooniline muutlikkus ja reaktsiooninorm. Nagu nägime, sõltub organismidel geenide ja terve genotüübi toime väljendumine keskkonna tingimustest. Seda muutlikkuse vormi, mis ei ole seotud genotüübi muutumisega, nimetatakse modifikatsiooniliseks. Nagu tõestasid vaadeldud näited, võivad modifikatsioonilise muutlikkuse piirid eri tunnuste jaoks erinevates tingimustes olla väga erisugused. 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. Ei ole näiteks mõnel veisetõul sellist pärilikku tunnust, kui võime anda 4000 liitrit piima aastas. See tunnus tuleb esile ainult kindla söötmis- ja pidamisrežiimi juures.

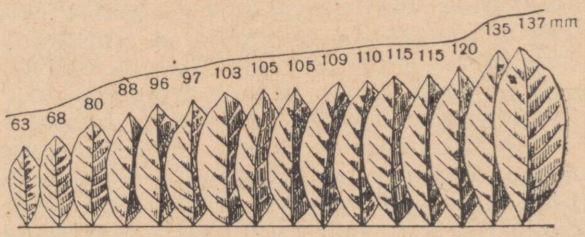
Lai reaktsiooninorm (lai kohastumisvõime) võib looduslikes tingimustes olla väga tähtis liigi säilimiseks ja õitsenguks. Modifikatsiooniline muutlikkus on ise pärilikult määratud. Kuid väliste arenemistingimuste poolt esile kutsutud hälbed ei muuda genotüüpi, vaid on selle reaktsiooninormi piirides.

Domineerimise juhtimine. Eespool puutusime korduvalt kokku dominantse ja retsessiivse tunnuse mõistega. Neid omadusi määravad eelkõige geeni iseärasused ja tema mõju tunnuse arenemisele. Kuna aga fenotüüp on alati kahe alge — genotüübi ja arenemistingimuste — ühtsus, siis võib oletada, et muutes arenemistingimusi, õnnestub mõjutada ka tunnuse domineerimist hübriididel. Real juhtudel on erinevatel objektidel tõestatud domineerimise astme sõltuvus arenemistingimustest. Kõige täielikumalt uuris domineerimise juhtimise ja organismi individuaalse arengu suunamise võimalusi viljapuudel I. Mitšurin. Kindlate keskkonnatingimuste loomisega võib geenide toimet laiades piirides suunata inimesele soovitavas suunas. I. Mitšurin kirjutas selle kohta: «Kogusummas on kogu välistingimuste kompleksi mõju hübriidide organismi ehitusele niivõrd suur, et enamikul juhtudel allutab ta enesele tunduval määral vanemtaimede omaduste pärilіku edasiandmise toime.» Mitšurin tegi kindlaks tunnuste domineerimise tähtsa seaduspärasuse hübriididel. Ta näitas viljapuude hübridiseerimisel real juhtudel, et hübrii-

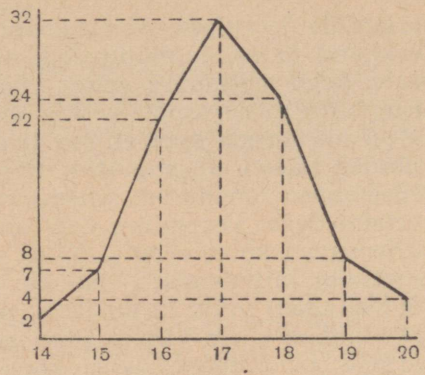
didel domineerivad peaasjalikult need tunnused, mille arenemiseks ümbritsevas keskkonnas on kõige paremad tingimused. Mitšurin ristas palju kordi pehme kliimaga maadest põlvnevaid Lääne-Euroopa viljapuusorte karmi kontinentaalse kliimaga Tambovi oblasti kohalike sortidega ja kasvatas hübriide mitte kasvuhoones, vaid avamaal. Neis tingimustes kujunesid domineerivateks kohalikele kõrge talvekindlusega sortidele iseloomulikud tunnused. Seda seaduspärasust kasutas ta laialdaselt uute viljapuusortide loomisel.

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 oleksid absoluutselt ühesugused. Tunnuste arenemine toimub genotüübi ja keskkonnatingimuste vastastikuse toime alusel. 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. 149). See muutlikkus on lehtede erinevate arenemistingimuste mõju tulemus puu okstel; kõigil nendel on sama genotüüp, kuna nad on ühe taime organid. Kui võtta mingi hulk lehti ja paigutada nad tunnuse (näiteks pikkuse) suurenemise või vähenemise järjekorras, nagu on tehtud joon. 149, saame antud tunnuse (lehtede pikkuse) muutlikkuse rea, mida nimetatakse variatsioonireaks. Nagu näeme, koosneb see rida üksikutest variantidest, antud konkreetses näites lehtedest. 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 (kõige suuremate ja kõige väiksemate variantide suunas) aga langeb variantide esinemissagedus.

Vaatleme seda küsimust üksikasjalikult pähikute arvu muut-



Joon. 149. Loorberkirsipuu lehtede variatsioonirida.



Joon. 150. Pähikute paaride arvu variatsioonikõver nisupeas. Abtsissteljel — variandid, ordinaatteljel — esinemissagedus.

likkuse 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 taimel	2	7	22	32	24	8	5

Ülemises reas on ära toodud variandid ülenevas järjestuses — 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 abtsissteljel märgime võrdsetel kaugustel ära üksikud variandid tõusvas järjestuses (joon. 150). 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, kui neid väljendada kvantitatiivselt, võib saada äsjavaadeldüga analoogilised variatsioonikõverad, millel on ühetipuliste kõverate kuju keskmiste variantide kõige suurema esinemissagedusega. Mida suurem on vaatluste arv, seda korrapärasem (sümmeetrilisem) on variatsioonikõver.

Missugused 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 kõik see peegeldub 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 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 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 nähtavasti piirduda ühe või väheste isendite uurimisega. Peab tegema kindlaks muutlikkuse ulatuse ja ehitama variatsioonikõvera. Peale selle on tunnuse arenemise objektiivseks väljenduseks 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 variatsioonirea liikmete üldarvuga. Seda võib väljendada järgmise valemiga: $m = \frac{\Sigma(v \cdot p)}{n}$, kus m = keskmine väärtus, v = variandid, p = variandi esinemissagedus, Σ = summa märk ja n = variatsioonirea liikmete üldarv. Leiame ülaltoodud nisu pähikute arvu variatsioonirea keskmise väärtuse. Korrutame kõiki variante nende esinemissagedustega. Saame: $14 \times 2 = 28$; $15 \times 7 = 105$; $16 \times 22 = 352$; $17 \times 32 = 544$; $18 \times 24 = 432$; $19 \times 8 = 152$; $20 \times 5 = 100$. Edasi liidame kõik need tuletised ning saame antud juhul 1713. Jagades selle summa variatsioonirea liikmete arvuga, mis antud juhul on 100, saame keskmiseks väärtuseks 17,13. Keskmine väärtus on teatud abstraktne arv ning sellepärast ei tule imestada, et meie näites ta pole täisarv, vaatamata sellele, et pähikute arvu igal üksikul juhusel loomulikult ei saa väljendada murdarvuga.

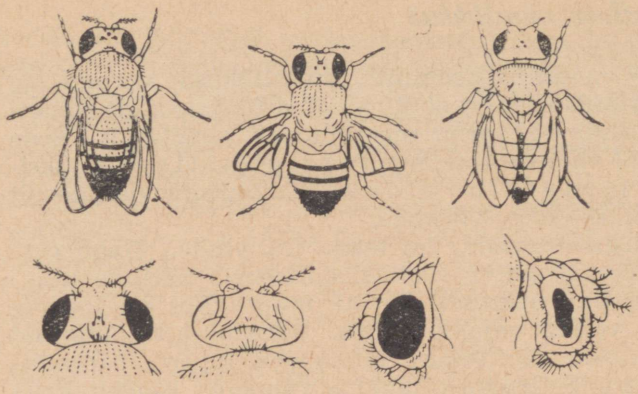
52. Mutatsiooniline muutlikkus

Mitmesugused modifikatsioonilise muutlikkuse vormid ja nähud ei puuduta organismi genotüüpi. Modifikatsioonide kõrval esineb teine muutlikkuse vorm, mis muudab genotüüpi. Seda muutlikkuse vormi nimetatakse mutatsiooniliseks, üksikuid muutusi aga mutatsioonideks. Tutvuksime järgnevalt lühidalt selle muutlikkuse vormiga.

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 pärandumise seaduspärasusi. Sellepärast puudus võimalus rangelt eristada erinevaid muutlikkuse vorme nende pärandumise suhtes. Muutlikkuse vormide 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. 151). Saadi kuningakepi kääbusvormid, laialehelised, punaste leheroodudega ja rida teisi vorme. 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 äädikakärbsel (joon. 152) tiibade kuju mutatsioone (kuni nende täieliku kadumiseni välja), kehavärvuse, kehal olevate harjaste arvu, silmade kuju ja värvuse (punased, kollased, valged, kirsivärvi jms.) ning samuti ka paljude füsioloogiliste tunnuste (eluea, viljakuse, kahjustustele vastupidavuse jms.) mutatsioone. De Vriesi esialgsed ettekujutused, mille järgi mutat-

Joon. 151. Kuningakepi mutatsioon. Vasemal — normaalne taim, paremal — kääbusvorm.



Joon. 152. Mitmesugused äädikakärbse mutatsioonid: ülemine rida — tiibade kuju ja suuruse muutused; alumine rida — silmade pigmentatsiooni ja kuju muutused.

sioonid pidid alati olema suured pärilikkuse muutused, ei leidnud edasistes uurimistes kinnitust. Järskude pärilike hälvete kõrval võib palju sagedamini kohata pisimutatsioone, mis ainult veidi erinevad lähtevormist. Sellest hoolimata jääb jõusse juba de Vriesi näidatud mutatsiooni tunnus — selle hüppeline iseloom. Mutatsioonid toimuvad erinevates suundades. Nad ei ole kohastumuslikud muutused. Vastupidi, enamik üksikult võetud mutatsioone isegi nõrgendab organismi eluvõimet. Esinevad isegi sellised pärilikud muutused, mis homosügootses seisundis kutsuvad esile organismi hukkumise. Selliseid mutatsioone kutsutakse letaalseteks. Meenutame, et Darwin ehitas orgaanilise looduse evolutsiooniteooria pärilike muutuste loodusliku valiku alusel, kusjuures peatähelepanu osutati ebamäärasele, juhuslikule muutlikkusele. See, mida Darwin nimetas ebamääraseks muutlikkuseks, kujutabki kaasaja geneetika seisukohalt põhiliselt mutatsioone. Seega tuleb mutatsioone vaadelda kui evolutsiooniprotsessi põhilist, primaarset materjali. Kuid üksikud mutatsioonid ei vii veel liikide muutumisele. Paljud neist ei ole kasulikud ning on sageli isegi kahjulikud organismi kohastumise mõttes ümbritseva keskkonna tingimustega. Üksikud indiviidid — mutatsioonide kandjad — ristuvad teiste isenditega, kellel neid muutusi ei ole või kellel on teised muutused. Selle tulemusel tekivad arvukad uued geenide kombinatsioonid — uued genotüübid. See muutlikkus annab materjali loodusliku valiku jaoks, mis viib liikide ümberkujunemisele, alamliikide ja uute liikide moodustumisele, mis on kohastunud ümbritseva keskkonna tingimustega. Seega ei vii pärilikkuse muutlikkus ise-

enesest liikide kujunemisele, vaid on liikide evolutsiooni materjaliks loodusliku valiku loova tegevuse tulemusel.

Milliste muutustega sugurakkude kromosoomaparaadis on mutatsioonid seotud? Selle tunnuse järgi võib eraldada mitu mutatsioonitüüpi. Kõige levinumaks on sellised mutatsioonid, mis ei ole seotud mikroskoobis nähtavate kromosoomide ehituse muutustega. Sellised mutatsioonid kujutavad endast üksikute geenide kvalitatiivseid muutusi ja neid nimetatakse geenmutatsioonideks. Viimasel ajal peaasjalikult mikroorganismidel läbi viidud uurimuste tulemusel on tehtud kindlaks, et sellised mutatsioonid on seotud kromosoomi koostisse kuuluva DNH keemilise struktuuri muutumisega. Eespool vaatlesime küsimust DNH molekuli struktuurist ja saime teada, et see koosneb kahest monomeeride-nukleotiidide ahelast, mis on üksteisega seotud lämmastikaluste vahendusel (lk. 146). Lämmastikaluste järjestus määrab kindlaks DNH-l moodustuva RNH struktuuri, see omakorda aga aminohapete järjestuse valgumolekuli sünteesil (lk. 162). Valk on aga kõigi organismi funktsionaalsete ja muude tunnuste aluseks.

Kromosoommutatsioonid. Geenmutatsioonide kõrval tuntakse rida teisi kromosoomide muutusi, mida võib uurida vahetult mikroskoobis. Esinevad mutatsioonid, mis on tingitud kromosoomide nähtava struktuuri muutustest ja ümberpaiknemisest. Selliste muutuste hulka kuulub näiteks kromosoomi osa sattumine teise kromosoomi, mis ei ole esimesele homoloogiline, kromosoomi osa 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 tütarrakkude vahel mõlemad homoloogilised kromosoomid liiguvad ühele poolusele. Tavaliselt on sellised muutused ebasoodsad, viivad eluvõime langusele, kuna sealjuures rikutakse geenide normaalseid suhteid genotüübi süsteemis.

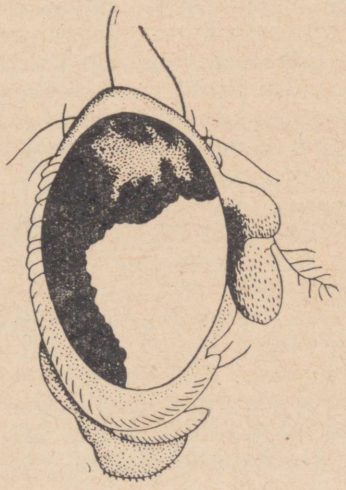
Erilaadset pärilike muutuste tüüpi kujutab endast polüploidia nähtus, mis seisneb kromosoomide arvu mitmekordistumises. Polüploidide tekkimine on tavaliselt seotud mitoosi- või meioosiprotsessi häirega. Need häired seisnevad selles, et kromosoomid läbivad normaalse mitoositsükli, kääv aga, mille ülesandeks jagunemisel on kromosoomide «laialivedu» vastaspoolustele, ei funktsioneeri. Selle tulemusel kromosoomid ei lahkne tütarrakkudesse, 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 gar-

nituuri asemel on neil järelikult neli. 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. Kui aga mõlemad sugurakud on diploidsed, siis tekib tetraploidne sügoot. Polüploidseid liike esineb üsna sageli taimedel ja väga harva loomadel. Polüploidsed mutatsioonid taimedel pakuvad praktilist huvi, kuna neid iseloomustab sageli diploididega võrreldes võimsam kasv, seemnete suuremad mõõtmed ja kaal jms. Polüploidia nähtust kasutatakse praktikas laialdaselt sordiaretuses kõrge viljakusega taimesortide saamisel. Üksikasjaliselt jutustatakse sellest vastavas peatükis.

Nägime, et mutatsioonid on alati seotud muutustega kromosoomides. Kui need muutused toimuvad sugurakkudes, siis tulevad nad esile selles põlvkonnas, mis areneb sugurakkudest. Kuid nad võivad esineda ka somaatilistes rakkudes. Sel juhul nimetatakse neid somaatilisteks mutatsioonideks. Nende tulemusel muutub tunnus ainult selles organismi osas, mis areneb muutunud rakkudest. Joon. 153 on kujutatud valgesilmalisuse somaatiline mutatsioon, mis haarab osa äädikakärbse silmast. Inimesel võib juustes vahel esineda valge juuksesalk. Tavaliselt on ka see somaatilise mutatsiooni tulemus.

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. Kerge on taibata, et sugurakk, mis kan-



Joon. 153. Silma pigmentatsiooni somaatiline mutatsioon äädikakärbsel. Silma alumises parempoolses osas pigment puudub.

nab värskelt tekkinud retsessiivset mutatsiooni, ühineb viljastamisel sugurakuga, millel sellist mutatsiooni ei ole, kuna ühesuguste mutatsioonide üheaegne sõltumatu tekkimine organismi erinevate sugurakkude ühes ja samas kromosoomis ei ole praktiliselt tõenäoline. Seetõttu ei tule vastmoodustunud retsessiivne mutatsioon fenotüüpiliselt nähtavale. Järgnevates põlvkondades aga paljuneb mutatsiooni kandev kromosoom ja levib antud liigi isendite seas. Alles siis, kui kaks ühesugust retsessiivset mutatsiooni kandvat sugurakku ühinevad, tuleb muutus ilmsiks fenotüübis. Geneetikutel tuli palju jõudu kulutada spetsiaalsete keeruliste tekkivate mutatsioonide arvestamise meetodite väljatöötamiseks. Nende meetoditega me ei tutvu.

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 mõnituhat geeni, nii et mutatsioonide üldarv on küllaltki suur. On arvutatud, et 5% juba tuttava äädikakärbse sugurakkudest kannavad mingisugust mutatsiooni. Otsesed mutatsioonide leviku uurimised 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. Püsivate välistingimuste juures võivad liigid säilida muutumatult palju miljoneid aastaid ja see liikide suhteline püsivus on organismide ümbritseva keskkonnaga kohastumise tähtis tingimus.

Muteerumisvõime on üks geeni põhiomadustest. Endastmõistetavalt on igal üksikul mutatsioonil mingi põhjus, mis viib DNH struktuuri muutumisele. Enamikul juhtudel jäävad need põhjused meile tundmatuks. Võib kinnitada, et mutatsioonid on seotud väliskeskkonna muutustega. Seda tõestab veenvalt asjaolu, et mitmesuguste välisteguritega õnnestub järsult tõsta tekkivate mutatsioonide arvu. Eriti efektiivselt toimivad need mutatsioonide saamise tegurid, mis mõjuvad nukleiinhapetele. See on ka täiesti mõistetav, kuna geeni materiaalseks aluseks on DNH.

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 mikroorganismi-

dest ja viirustest ja lõpetades imetajate ja õistaimedega. Peale röntgenikiirte ja teiste ioniseerivate kiirguste võib mutatsioone esile kutsuda kõige erinevamate keemiliste ja füüsikaliste mõjutustega (temperatuur, gaasirežiimi muutmine jms.). Kahtlemata on mutatsioonid seotud sugurakkude füsioloogiliste protsessidega. Seetõttu avaldavad igasugused ainevahetuse protsessi puudutavad muutused mõju ka mutatsiooniprotsessile. Senised tulemused mutatsioonide kunstlikul saamisel piirduvad nende arvu suurendamisega. 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 kunstlikul saamisel on mitte ainult tohutu teoreetiline tähtsus, vaid see meetod pakub ka 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. Toome mõned näited. Rukkil tuntakse kestaga ja paljateralisi sorte, mis on tekkinud mutatsioonide valiku alusel. Sellised vormid on ka nisul, odral, kaeral, hirsil, maisil, riisil ja orasheinal. Kõik need taimed kuuluvad kõrreliste sugukonda. Päriliku muutlikkuse homoloogilisi ridasid võib kergesti avastada ka samade kõrreliste teiste tunnuste juures. Tera värvus võib olla valge, punakas, rohekas, tume. Need pärilikud seemnevormid esinevad peaaegu kõikidel kultuurkõrrelistel ning on teada ka paljude metsikute liikide juures. Ka loomadel kohtame me sellele seaduspärasusele alluvate nähtustega. Näiteks esinevad närilistel karvkatte värvuse homoloogilised read.

Päriliku muutlikkuse homoloogiliste ridade seadusel on praktiline tähtsus selektsioonis, kuna ta kergendab pärilike hälvete otsinguid uute sortide ja tõugude loomisel.

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 lahkne-

misel; 2) muutumise (muteerumise) võime. Geeni põhiliste omaduste hulka kuulub tema võime kahekordistuda raku jagunemisel (kromosoomide kahestumine). 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 DNH ja valgud (vt. lk. 174). Geeni eespool loetletud omaduste biokeemiliseks (molekulaarseks) aluseks on DNH replikatsioonivõime. Geeni toime aluseks organismi arenemisprotsessis on ta võime RNH vahendusel juhtida valgusünteesi. Selleks tähelepanuväärseks mehhanismiks, mis määrab valgumolekuli struktuuri, on eespool üksikasjalikult vaadeldud orgaaniliste aluste järjestus DNH ja RNH molekulis. DNH 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 viirusest ja bakteritest kuni imetajate ja õistaimedeni. See tõestab, et nukleiinhapete bioloogiline osa kujunes välja juba väga varastel elu evolutsiooni etappidel ning võimalik, et isegi elutu üleminekumomendil elusaks (vt. lk. 61).

Vaatamata suurtele edusammudele geneetika arengus, eriti viimase kümne aasta jooksul — pärast DNH ehituse avastamist ja tema osa selgitamist valgu sünteesis —, 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 DNH-ga kromosoomide koostises.

T s ü t o p l a s m a a t i l i n e p ä r i l i k k u s. Kõik kaasaja geneetika andmed kinnitavad kromosoomide juhtivat osa pärilikkuses. Kromosoomiteooria põhineb tohutu suurele faktide hulgale, 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 lootekoti 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. Üheks selliseks muutuseks 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 rohelise pigmendi ja muutuvad heledaks. See pärilik iseärasus pärandub peaaegu eranditult emaliini mööda, lootekoti kaudu ning on seotud muutunud kloroplastide vahetu edasiandmisega. Rakutuum selle iseärasuse määramisest osa ei võta.

Käesolevaks ajaks on teada ka rida teisi fakte, mis viitavad tsütoplasmaatilise pärilikkuse esinemisele. Selle iseloomulikuks jooneks on edasiandmine emaliini mööda. Seletus peitub asjaolus, et munal on rikkalikult tsütoplasmat, spermatosoidil aga see peaaegu puudub. Tsütoplasmaatilise pärilikkuse aluseks on alati rakuorganoidide isepaljunemine, mis sellisel juhul ongi pärilikkuse materiaalseks kandjaks. See omadus on näiteks mitokondritel, millel on oluline tähtsus raku füsioloogias.

Edusammud pärilikkuse ja muutlikkuse seaduste tunnetamises aitasid inimest neid nähtusi juhtida. Eriti laia kasutamist leiab geneetika põllumajanduses uute kultuurtaimede sortide ja koduloomade tõugude loomisel. See aga kuulub selektsiooni valdkonda, mille põhialustega me järgnevalt tutvumegi.

KÜSIMUSI JA ÜLESANDEID.

1. Mida uurib geneetika?
2. Jälgige monohübriidset lahknemist kolmes põlvkonnas purpurpunaste (dominantne tunnus) ja valgete õitega herneste ristamisel.
3. Milles seisnevad sugurakkude puhtuse seaduse tsütoloogilised alused?
4. Missuguseid geene nimetatakse alleelseteks?
5. Defineerige mõisteid «fenotüüp» ja «genotüüp». Tooge neid selgitavaid näiteid.
6. Defineerige mõisteid «homosügoot» ja «heterosügoot». Selgitage neid näidetega.
7. Õpitud pärilikkuse valemeid ja sugurakkude puhtuse seadust kasutades analüüsige, kuidas toimub lahknemine kolmekordse heterosügoodi AaBbCc ristamisel retsessiivse homosügoodiga aabbcc.
8. Joonistage soo määramise skeem lindudel (analoogiline joon. 146 toodule), lähtudes sellest, et heterogameetseks sooks on antud juhul emased.
9. Koguge ilma valikuta 100 pihlakalehte (kasutage sügisel valmistatud herbaarmaterjali). Koostage liitlehe lehekeste paaride variatsiooni-

rida ja variatsioonikõver. Leidke keskmine väärtus, kasutades lk. 218 toodud valemit.

Tehke samasugune töö päevalille või kummeli õisiku äärisõite arvu kohta.

10. Milliseid mutatsioonilise muutlikkuse vorme te tunnete? Mis on polüploidia?

11. Milles seisneb päriliku muutlikkuse homoloogiliste ridade seaduse sisu? Selgitage seadust näidetega.

12. Milles on kromosoomilise pärilikkuseteooria olemus?

13. Mis on geeni materiaalseks aluseks?

14. Kuidas seostada geeni kahestumisvõimet rakutuuma jagunemisel DNH molekuli ehituse ja replikatsiooni kohta käivate faktidega?

9. peatükk

TAIMEDE, LOOMADE JA MIKROORGANISMIDE SELEKTSIOON

53. Kaasaegse selektsiooni ülesanded

Selektsiooni ülesanded seisavad uute taimesortide, loomatõugude ning meditsiini ja tehnika eesmärkidel kasutatavate 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 tõuge ja sorte. Kuid inimese majandusliku tegevuse selle külje teaduslikud alused andis alles XIX sajandi teisel poolel Charles Darwin oma õpetusega muutlikkusest, pärilikkusest ja kunstlikust valikust. Eriti suur tähtsus selektsioonile oli pärilikkuse seaduspärasuste tundmaõppimisel.

Selektsioon tähendab tõlkes valikut. Kaasajal mõistetakse selektsiooni all laialdast kompleksteadust, mis on põhiliselt suunatud põllumajandusliku tootmise tootlikkuse tõstmisele ja baseerub mitte ainult valikuõpetusel, vaid ka teistel bioloogilistel teadusharudel.

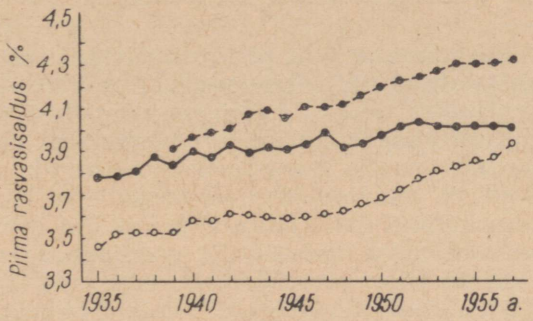
N. Vavilov (1887—1943).

Väljapaistev nõukogude geneetik ja selektsionäär akadeemik N. Vavilov näitas kaasaja selektsiooni sisu ja eesmärke, määratledes, 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 kinnistumiseni.

Mis on sort või tõug? Me kasutame neid mõisteid sageli, kuid ei kujuta kaugeltki alati ette nende täpset mõtet ja sisu. Tõuks ja sordiks nimetatakse sellist isendite rühma (populatsiooni), mis on inimese poolt kunstlikult loodud, millel on kindlad iseloomulikud pärilikud iseärasused, pärilikult kinnistunud produktiivsus, struktuursed ja morfoloogilised tunnused. Igat 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 konkreetsete 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 kaugeltki alati kohased teise maa jaoks.

Öeldust 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. Sordivõrdluspunktid on kõigis kliimatsoonides. Alles pärast aprobeerimist ja kontrollimist Riiklikus Sordivõrdluskatsepunktide võrgus saab sort «küpsustunnistuse» pääsemiseks meie kodumaa põldudele. Loomakasvatuses teevad analoogilist tööd spetsiaalsed tõumajandid.

Nõukogude võimu olemasolu aastatel on aretatud sadu kõrsviljade, liblikõieliste, õlikultuuride, kiudtaimede, puuviljade ja teiste kultuurtaimede sorte. Juba ainult nisusorte on Riikliku



Joon. 154. Kõverad näitavad piima rasvasisalduse järkjärgulist tõusu kolmel rootsi veisetõul rea aastate jooksul plaanipärase tõuaretuse tulemusel.

Sordivõrdluskatsete Komisjoni poolt aprobeeritud ja rajoonitud (näidatud nende kasvatusrajoonid) üle kolmesaja. Nende seas võib nimetada näiteks akadeemik P. Lukjanenko suurepärast sorti 'Ohtetu l', 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. Sellel saavutusel on meie maa jaoks suur tähtsus.

Sama olulisi tulemusi on saadud ka kõrge suhkrusisaldusega suhkrupeedisortide aretamisel. Selle kultuuri juurikate suhkrusisaldus ei ulatanud XIX saj. alguses üle 8,0%. NSV Liidus kasvatatavate kaasaegsete kõrgesaagiliste sortide suhkrusisaldus on umbes 20%.

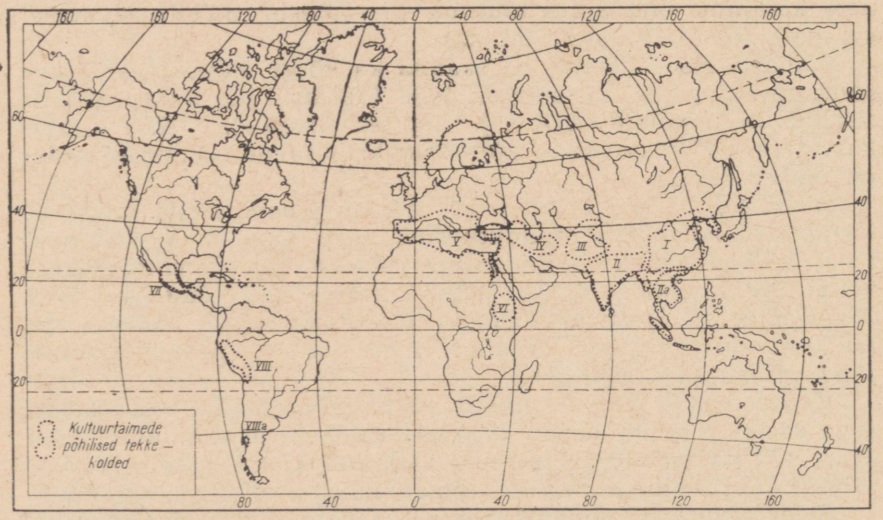
Arvukaid näiteid selle kohta, kuidas plaanipärane aretustöö tõstab majanduslikku produktiivsust, võib tuua ka loomakasvatuse valdkonnast. NSV Liidus on rida kõrge produktiivsusega veisetõuge: holmogorõ, jaroslavli, ukraina hall tõug ja teised. Akadeemik M. Ivanovi töödega loodi nõukogude korra ajal kõrge produktiivsusega ukraina valge seatõug, peenvillalambatõug ja paljud teised tõud.

Koduloomade tõugude parandamine ja aretamine on pikemat aega kestev töö, mis nõuab sügavaid teadmisi ja sihikindlat tööd. Joon. 154 on toodud arvud, mis näitavad, kui aeglaselt ja järkjärgult tõusis piimarasvasus kolmel rootsi päritoluga veisetõul.

Selektsioonitöö võimalused ei ole kaugeltki veel ammendatud ja just selles suunas peab teiste suundade kõrval tõusma põllumajandusliku tootmise tootlikkus NSV Liidus.

54. Kultuurtaimede vormirikkuse ja tekke kolded

Sordiaretuse edu põhineb selektsioonitöösse haaratava materjali esialgsel mitmekesisusel. Mida ulatuslikum on lähtematerjali muutlikkus, seda rohkem on võimalusi valikuks ja ristamiseks. Kultuurtaimede uurimine võimaldas akadeemik N. Vavilovil avastada nende geograafilise muutlikkuse olulised seaduspärasused. N. Vavilov, kes rea aastate jooksul kahekümnendatel ja kolmekümnendatel aastatel juhtis üht Nõukogude Liidu suurimat teaduslikku uurimisasutust — Üleliidulist Taimekasvatuse Instituuti, sooritas oma kaastöölistega rea ekspeditsioone maakera erinevatesse rajoonidesse. Peale Nõukogude Liidu territooriumi haarasid need ekspeditsioonid Iraani, Afganistani, Vahemeremaid, Abessiiniat, Kesk-Aasiat, Jaapanit, Põhja-, Kesk- ja Lõuna-Ameerikat. Juba see mittetäielik loetelu näitab, et need ekspeditsioonid hõivasid peaaegu terve maakera. Ekspeditsioonide ajal koguti tohutu materjal kõige erinevamate kultuurtaimede, nende sordilise mitmekesisuse ja muutlikkuse kohta. Ekspeditsioonid tõid Nõukogude Liitu tuhandeid kultuurtaimede seemneproove, mis külvati meie maa erinevates piirkondades asuvatele



Joon. 155. Kultuurtaimede vormirikkuse ja tekke kolded: I — Hiina; II — India; IIa — India-Malai; III — Kesk-Aasia; IV — Ees-Aasia; V — Vahemereäärne; VI — Abessiinia; VII — Lõuna-Mehhiko ja Kesk-Mehhiko; VIII — Lõuna-Ameerika; VIIIa — Tšiili.

Taimekasvatuse Instituudi katsepõldudele. Instituudi unikaalsed kollektsioonid on kuni meie ajani hinnaliseks sordiaretuse lähtematerjaliks, sest nad sisaldavad hiiglasuure hulga kultuurtaimede sorte ja vorme.

Kogutud materjali uurimise tulemusel tegi N. Vavilov kindlaks, et kultuurtaimede mitmekesisus ei ole kõigis geograafilistes vööndites kaugeltki võrdne. Erinevatel kultuuridel on oma vormirikkuse kolded, kuhu on koondunud suurem hulk sorte, alamliike ja mitmesuguseid pärilikke hälbeid. Selliseid koldeid on kokku kaheksa. Nende tekkimine on seotud taimede põlvnemisega ja inimkultuuri ürgsemate kolletega. Me ei hakka siinkohal neid vormirikkuse koldeid üksikasjalikult käsitlema — nende asukohad ja nimetused on toodud lisatud kaardil (joon. 155). Nisu põlvnemine on seotud Kesk-Aasia, India, Vahemereäärse ja Abessiiniaga. Maisi vormirikkuse ja tekkekolleteks on Lõuna-Mehhiko ja Kesk-Ameerika ning osalt ka Lõuna-Ameerika. Lõuna-Ameerika on ka kartuli tekkekolle.

55. Taimede sordiaretus

Taimede sordiaretuse põhimeetoditeks on hübridiseerimine ja valik. Praktilises aretustöös kasutatakse neid meetodeid tavaliselt kombineeritult. Lähtudes meile juba tuntud geneetika põhiseaduspärasusest, ühendatakse ristamisega soovitud tunnused ja kinnistatakse valiku teel soovitavad kombinatsioonid.

Valikumeetodid võivad olla erisugused. Meetod sõltub 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). Meetod leiab sagedat kasutamist näiteks kohalike madalasaagiliste sortide parandamisel.

Massvalikut kasutatakse kõige sagedamini risttolmlejate juures. Nende hulka kuulub näiteks rukis. Rida laialdaselt levinud rukkisorte (näiteks tuntud sort 'Vjatka') on aretatud selle meetodiga. Massvalik ei saa anda genotüüpiliselt ühtlikku materjali. Seetõttu vajavad massvalikuga 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, homosügootide arv aga suureneb (vt. lk. 193). 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. Lahknemist ei esine, kuna vegetatiivne paljunemine ei ole seotud sugurakkude moodustumise ja kromosoomide arvu reduktsiooniga. Endastmõistetavalt lähevad sugulisel paljunemisel selliste heterosügootsete sortide omadused kaduma ja esineb keeruline lahknemine.

Risttolmlejate isetolmlemine (inbriiding). Heteroos. Isetolmlemine tõstab homosügootsust ja kinnistab sellega pärilikke omadusi. Kas võib risttolmlejate sordiaretuses kasutada isetolmlemist puhaste liinide saamiseks? Geneetikas ja selektsioonis nimetatakse lähissugulusristamist (taimede isetolmlemine, suguluses olevate loomade ristamine) inbriidinguks. Juba Darwinile oli hästi teada, et inbriiding viib nii taimede kui ka loomade juures tavaliselt ebasoovitavale tulemusele: väheneb elujõulisus ja produktiivsus, toimub mandumine. Seda kinnitavad arvukad uurimused rukkil, maisil ja paljudel teistel taimedel. Maisiga sooritatud katsed näitasid, et kümneaastase isetolmlemise jooksul langes saagikus umbes poole võrra. Analoogiline tulemus saadi ka rukkiga.

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 kujutab endast ebasoodsaid pärilikke muutusi (lk. 221). 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. Sageli avaldub sealjuures heteroosi ehk teiste sõnadega hübriidjõu efekt. Nähtuse 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. Heteroossete hübriidide edasisel paljundamisel heteroosi efekt tavaliselt langeb. Heteroosi geneetilised põhjused ei ole veel lõplikult selgitatud, kuid kahtlemata on siin positiivne osa inbredliinide ristamisel saadavate 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 praktikas tohutut majanduslikku efekti. Inbredliine kasvatavad spetsiaalsed seemnekasvatusmajandid, mis varustavad põllumajandust tootmiseks vajalike hübriidseemnetega.

Sordiaretuse efektiivsus. Millised põhjused 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. Üheks teeks on geograafiliselt põlvnemiselt mitmekesise materjali kasutamine. Me nägime juba, missugune suur tähtsus sordiaretusele on Üleliidulise Taimekasvatuse Instituudi maakera erinevates rajoonides kogutud kultuurtaimede kollektsioonil. Teiseks sordiaretuse lähtematerjali mitmekesisuse suurendamise teeks on hübriidiseerimine. Ristamise ja valiku kombineerimine on üks efektiivsemaid sordiaretustöö meetodeid. Ja lõpuks võib pärilikku muutlikkust suurendada mutatsioonilise muutlikkuse esilekutsumisega mitmesuguste välistegurite toimel (lk. 223).

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.

Polüploidia ja taimede kaughübridiseerimine. Üheks taimede päriliku muutlikkuse vormiks on kromosoomide arvu mitmekordistumine, mida nimetatakse polüploidiaks (lk. 221). Kultuurtaimede põlvnemises on sellel nähtusel

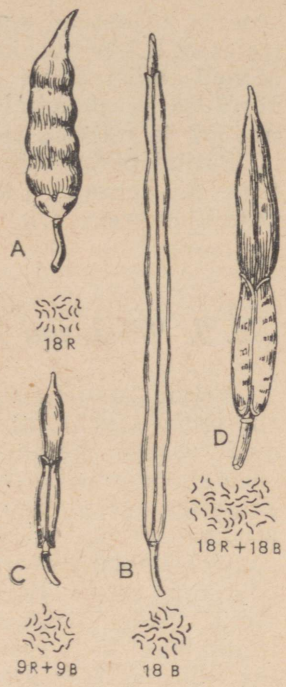
tähtis osa. Paljud kultuurtaimed on metsikute sugulasliikidega võrreldes polüploidid. Selliste hulka kuuluvad nisu, kartul, mõned suhkrupeedi-, suhkruroo- ja tubakasordid ning paljud viljapuud.

Geneetikas ja sordiaretuses on praeguseks ajaks välja töötatud rida meetodeid polüploidide eksperimentaalseks saamiseks. See tee on praktilises suhtes sageli väga perspektiivne, kuna 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, millel on diploidsete sortidega võrreldes kõrgem suhkrusisaldus.

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 palju 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. Kaughübriidide viljatus säilitab liikide suhtelist püsivust.

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 häiritud ja hübriidid viljatud.

Kas on olemas mingeid meetodeid kaughübriidide viljakuse taastamiseks? Kaasaja geneetika ja selektsiooni üheks väljapaistvaks saavutuseks 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. Kar-



Joon. 156. Rõika ja kapsa vahelised hübriidid (G. Karpetšenko töödest): A — rõika vili ja diploidne kromosoomigarnituur; B — kapsa vili ja diploidne kromosoomigarnituur; C — rõika ja kapsa vahelise viljatu hübriidi vili, mille kromosoomigarnituur koosneb 9-st rõika haploidse garnituuri ja 9-st kapsa haploidse garnituuri kromosoomist; D — rõika-kapsahübriidi vili, mille viljakus taastus pärast kromosoomide arvu kahekordistamist: kromosoome on 36, neist 18 «rõika» kromosoomi (diploidne garnituur) ja 18 «kapsa» kromosoomi (diploidne garnituur).

petšenkol õnnestus hübriidi kromosoomide arvu kahekordistada. Tulemuseks oli 36 kromosoomiga hübriidne organism, mille garnituur koosnes 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). Sügoodis oli jällegi 36 kromosoomi. Hübriid muutus viljakaks ja hakkas täiesti normaalselt paljunema. Nii viis hübridisatsiooni kombineerimine kromosoomide arvu kahekordistamisega (polüploidiseerimisega) viljakuse täielikule taastumisele.

Saadud hübriid oli püsiv, s. t. ei lahknenud vanemvormide suunas, kuna rõika ja kapsa kromosoomid jäid alati kokku. See inimese poolt loodud uus taim, mis ei meenutanud ei rõigast ega kapsast, paistis silma vegetatiivsete osade lopsaka kasvuga. Uue taime kõdrad hõivasid nagu vahepealse asendi ja koosnesid kahest poolest, millest üks meenutas kapsast, teine aga rõigast (joon. 156).

Kaughübridiseerimise teel on loodud palju kultuurtaimi. Meenutaksime neist mõningaid. Akadeemik N. Tsitsini ja tema kaastöötajate paljuaastase töö tulemusel on saadud väärtuslikud teraviljasordid nisu ristamisest umbrohu — orasheinaga. Nende

seas on selliseid vorme, mis orasheinalt on pärinud mitmeaastasuse ja kujutavad endast mitmeaastast nisu. Viimast 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.

56. I. Mitšurini töömeetodid

Väljapaistev nõukogude õpetlane ja sordiaretaja Ivan Mitšurin (1855—1935) pühendas uute viljapuu- ja teiste kultuurtaimede sortide aretamisele 60 aastat pingsat 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 ja nõukogude võim andis talle vahendeid ja abilisi tööde laialdaseks arendamiseks. 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 oma tegevuse alguses nendele vaadetele ja meetoditele, mis tõid talle suurt edu — ta aretas mitusada uut kultuurtaimede sorti ja vormi. Oma tegevuse esimesel perioodil kulutas ta palju aega ja jõudu parimate lõunapoolse päritoluga sortide aklimatiseerimiskatseteks Tambovi kubermangu suhteliselt karmis, külmade talvedega kliimas. Need katsed lõppesid edutult. Kõik lõunapoolsed sordid külmusid talvel. Lihtsa tingimuste muutmisega ei saa soovitavas

I. Mitšurin (1855—1935).

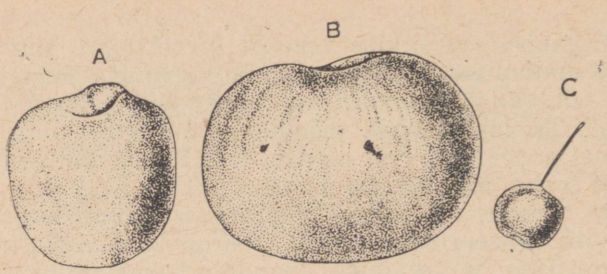
suunas ümber teha organismi pärilikku loomust (genotüüpi). Kui I. Mitšurin jõudis veendumusele lihtsa aklimatiseerimise meetodi viljatuses, asus ta välja töötama oma meetodeid taimede loomuse muutmiseks. Ta läks mööda originaalseid radu, kuna XIX saj. lõpul ei olnud geneetikat veel olemas ja XX saj. alguses sai noorelt teaduselt vähe abi sordiaretustöös.

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.

Üheks teeks oli kohalike pakasekindlate sortide ristamine parimate lõunapoolse päritoluga, sealhulgas ka välismaiste sortidega. Saadud ristandite juures viidi läbi range valik. I. Mitšurin näitas, et sel teel saadud ristandeid tuleb kasvatada mitte viljakal mullal, vaid suhteliselt karmides tingimustes. Ta kirjutas: «... ühelgi juhul ei tohi seemikuid istutada rammusasse mullasegusse, veel rohkem tuleb aga vältida mingite seemikute kasvu tugevdavate väetiste kasutamist. Vastasel juhul hakkavad organismide ehituses liiga tugevalt domineerima arengukäigus pärilikud omadused, mis on saadud soojematest maadest võetud sortidelt. Selle tulemusel muutuvad seemikud õrnaks ja puitkoe ehitus hõredaks. Seemikud ei jõua sügiseks õigeaegselt valmida ja kasvu lõpetada, mille tulemusel nad külmuvad peaaegu eranditult.» I. Mitšurin näitas sellega, et tunnuste domineerimist hübriidi arenemisel saab juhtida (vt. lk. 215), 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 vanemvormide valimisele ristamiseks geograafiliselt päritolult kaugete vormide hübridiseerimisel, mis ei kasva selles ümbruses, kus ristamine läbi viiakse. Ta kirjutas selle kohta: «Mida kaugemad on ristatavate vanemtaimede paarid oma kodumaa ja keskkonnatingimuste poolest, seda kergemini kohanevad uue asukoha keskkonnatingimustega hübriidseemikud.» Selline vanemate valik loob suurema vastupanuvõime välistingimustele, annab võimaluse juhtida hübriidi arenemist ja mõjutada tunnuste domineerimist. Sel teel lõi I. Mitšurin esmaklassilisi viljapuusorte. Nende hulka kuulub õunapuusort 'Belflöör-kitaika', mis saadi Siberi päritoluga 'Kitaika' ristamisel Ameerika sordiga 'Kollane Belflöör' (joon. 157). 'Kitaikat' iseloomustab pakase- ja haiguskindlus, 'Belflööri' — viljade suurepärased maitseomadused. I. Mitšurini aretatud uuel sordil on suurepärased maitseomadused ja pakasekindlus.



Joon. 157. Mitšurini õunasort 'Belflöör-kitaika'. A — 'Belflöör'; B — 'Belflöör-kitaika'; C — 'Kitaika'.

Joon. 158. Mitšurini pirnisort 'Mitšurini talivõipirn'. Oksad viljadega.

Mitšurini pirnisort 'Mitšurini talivõipirn' (joon. 158) saadi metsiku ussuuri pirni ristamise tulemusel lõunapoolse prantsuse sordiga 'Beurré royal'. See sort on väga vastupidav madalatele temperatuuridele ja suurepäraste viljadega.

I. Mitšurini poolt väljatöötatud «kasvatusmeetodite» hulgast tuleb esile tõsta mentori meetodit. Selle olemus seisneb areneva hübriidi tunnuste muutmises poogendi või pookealuse mõjul. Mitšurin kasutas seda meetodit kahes teisenduses. Esimene neist seisneb selles, et hübriidseemik oli poogendiks ja poogiti täiskasvanud viljakandvale puule kui pookealusele, mille omaduste suunas sooviti muuta hübriidi omadusi. Teine mentorimeetodi teisendus seisis 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

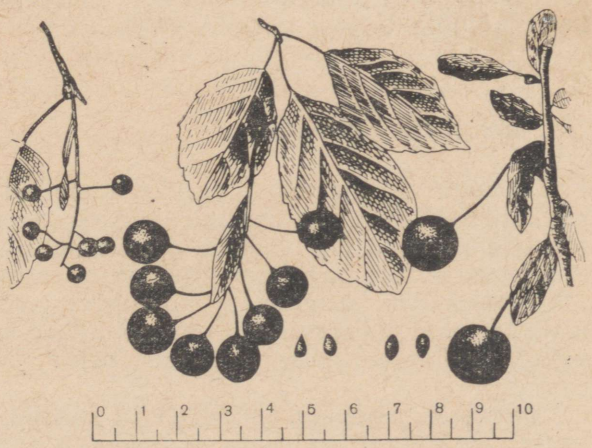
hapud viljad. Et suunata vajalikult hübriidi edasist arengut, poogiti noorte hübriidide krooni 'Belflööri' pistoksad. Nende mõjul kujunesid hübriidi tunnused järgmistel aastatel 'Belflööri' viljade kõrgete maitseomaduste omandamise suunas. Seda meetodit kasutas I. Mitšurin ka mõnede teiste sortide aretamisel, kuid laialt see levinud ei ole. Mentori mõju tuleb nähtavasti seletada domineerimisomaduste muutumisega hübriidi arenemisprotsessis.

I. Mitšurin kasutas oma töös ka kaughübridiseerimist — erinevate liikide ning isegi perekondade vahelist ristamist ja sai sel teel mitu uut hinnalist viljapuukultuuri. Eredaks näiteks on tserapaaduseks ristitud taime saamislugu (joon. 159). See vorm saadi liikidevahelisel ristamisel ja ta vanemad olid Jaapani toomingas ja stepikirss. Käesoleval juhul mentori osa mänginud hübriidseemikud poogiti toomingale. Saadud kirsstoomingal *(Cerapadus)* olid kirsse meenutavad viljad, mis aga paiknesid kobaratena.

Kaughübridiseerimist kasutas I. Mitšurin ka real teistel juhtudel. Ta sai hübriidid muraka ja vaarika, ploomipuu ja laukapuu, pihlaka ja siberi viirpuu vahel ja rea teisi.

Kaughübridiseerimise kergendamiseks töötas ta välja rea erimeetodeid, mida me aga siinkohal ei vaatle.

Enamik I. Mitšurini saadud sorte kujutas endast keerulisi heterosügoote. Nende omaduste säilitamiseks paljundati neid vegetatiivselt (võrsikutega, pookimisega jms.).



Joon. 159. Tserapaadus. Vasemal — amuuri toomingas (tserapaaduse isavorm); keskel — tserapaaduse viljad; paremal — stepikirss 'Ideaal' (tserapaaduse emavorm).

Kõiki vaadeldud töömeetodeid kasutas Mitšurin koos mitmekordse range valikuga. Hübriidseemikud andsid materjali valiku ja «kasvatamise» jaoks. Puukooli jäid ainult need seemikud, mis kasvu iseärasustelt, lehtede ja juurestiku omadustelt jms. olid kultuursordi tunnustega. Kõik ülejäänud, mis neid nõudeid ei rahuldanud, hävitati. Valiku olulist tähtsust sordi loomisel rõhutas I. Mitšurin oma töödes korduvalt.

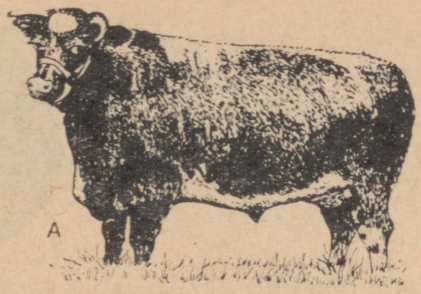
57. Kunstlik ja looduslik valik taimede sordiaretuses

Pärilikule muutlikkusele tuginev kunstlik valik on organismide muutmise põhivahendiks ja viib uute suuresaagiliste sortide loomisele, mis teenivad inimese vajaduste rahuldamise huve. 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. Sellest näeme, et paralleelselt kunstliku valikuga tegutseb ka looduslik valik. Seetõttu kulgeb samaaegselt inimesele kasulike tunnuste kujundamisega loodusliku valiku kaudu ka uute loodavate sortide kohastumise protsess ümbritseva keskkonna tingimustele. Seepärast on iga uus sort alati kahe üheaegselt toimiva tegurite rühma tulemus, millest üks on inimese tegevus (ristamine, kunstlik valik), teine aga looduslik valik. See on ka üheks põhjuseks, miks ühes kliimavööndis aretatud sordid ei ole tavaliselt kõlblikud teise vööndi jaoks.

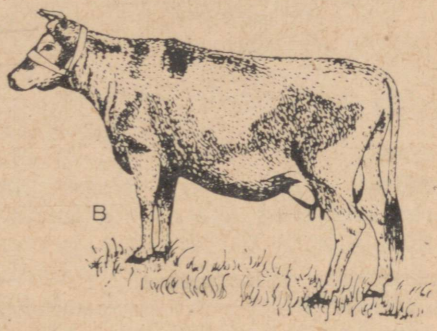
58. Loomade tõuaretus

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 endi omadustest ja millel me lühidalt peatume.

Aretustöö meetodid (lk. 231) ja saadud tulemused sõltuvad suurel määral organismide paljunemisvormist (risttolmlemine, isetolmlemine, vegetatiivne paljunemine). Koduloomadel esineb aga ainult lahksuguline paljunemine. Sellepärast langevad siin täiesti ära isetolmlemise ja vegetatiivse paljunemisega seotud aretusvõtted.



Joon. 160. Veiste tõuaretuse liha- ja piimasuund: A — šorthorni (lihatõug); B — džärsi (piimatõug).

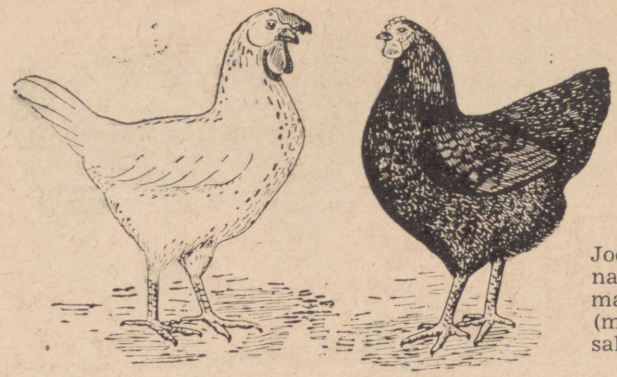


Teine loomade tõuaretuse tähtis iseärasus seisneb selles, et siin on raske saada sellist massilist materjali, millega töötatakse taimede juures, ning iga üksik isend kujutab endast omaette väärtust. Isendite arv järglaskonnas on suhteliselt väike.

Koduloomade (imetajate ja lindude) tõuaretus on alati seotud suguloomade valikuga majanduslikult väärtuslike tunnuste alusel. Valikut teostatakse kindla ristamiste süsteemiga, mida kasutatakse loomade aretamisel.

Loomade tõuaretuses on suur tähtsus välimiku (eksterjööri) tunnuste arvestamisel. Eksterjööri all mõistame loomade väliskuju, kehaehituse ja kehaosade mõõtmete suhete kogu kompleksi. Organism kujutab endast tervikut, 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. 160 on selgesti näha erinevused kahe veisetõu eksterjööris — lihatõu šorthorni ja piimatõu džärsi vahel. Selged erinevused eksterjööris on ka munatõu valge leghorni ja lihakanatõu langšani vahel (joon. 161). 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. Järelikult erinevad eri tõud üksteisest mitte ainult eksterjöörilt, vaid ka reaktsiooni iseloomult väliskeskkonna muutumisele.

Tõuaretustöös on tähtis selgesti silmas pidada aretaja lõppees-



Joon. 161. Kanade muna- ja lihatõud: vasemal — valge itaalia (munatõug); paremal — saksa langsani (lihatõug).

märki. 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 ainult 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 heterosügootide arvu kahanemisele ja homosügootide arvu kasvule. Selle põhjused saime teada Mendeli seadustega tutvudes (§ 46). Inbriidinguga peab käima koos range valik nende isendite suu-

nas, kellel on vajalikud majanduslikud tunnused. Kuid inbriidingut tuleb kasutada ettevaatlikult, selgelt nähes püstitatud eesmärki, kuna lähissugulusaretuses peitub rida väga negatiivseid momente. 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 depressiooniks. Üksteisele järgnevate inbriidingu teel paljundatavate põlvkondade rida nimetatakse inbredliiniks. Inbriidingu ebasoodsa toime põhjustega tutvusime taimede juures (lk. 232).

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 positiivseks küljeks on soodsate, majanduslikult väärtuslike tunnuste kinnistamine. Need tunnused säilivad edasises aretustöös juhul, kui nad esinevad mõlemal vanemal.

Vaatleme konkreetsel näitel, kuidas kasutatakse inbriidingut ja autbriidingut koduloomade tõugude loomisel.

M. Ivanovi tööd. Väljapaistev nõukogude teadlane akadeemik M. Ivanov lõi kõrge produktiivsusega seatõu — ukraina valge stepisea (joon. 162). Need tööd toimusid Ukraina lõunaosas, Askaania-Nova Loomade Aklimatiseerimise ja Hübridiseerimise Instituudis.

Ukrainasse sisseveetud kõrge produktiivsusega inglise suurt valget tõugu sead ei olnud Ukraina lõunaosa liiga kuiva ja kuuma suvega kliimaga kohastunud. Nende kodumaal, Inglismaal, olid täiesti teistsugused tingimused. 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 omadustega kult Askani I. Tema järglaskonnas

Joon. 162. Akadeemik M. Ivanovi aretatud ukraina valge stepisiga.

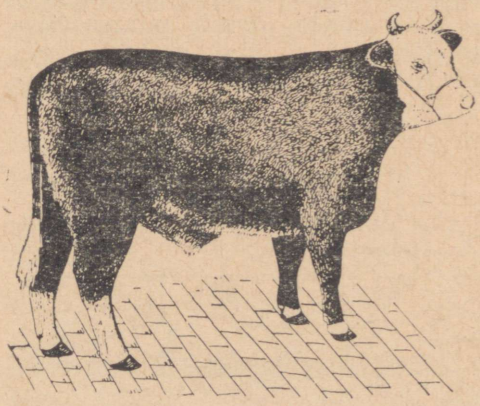
kasutati tihedalt inbriidingut, mis viis loodava tõu tunnuste ühtlustamisele ja kinnistamisele. Lähissugulusristamiste käigus kasutati pidevalt väga ranget valikut. Praagiti välja kõik vähemategi puudustega loomad. Askani I alguse saanud liini aretamisega analoogilise meetodiga loodi teisi liine, nende seas kult Zadornõi ja veel mitu inbredliini. Edaspidi ristati omavahel liine, millega samuti kaasnes 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.

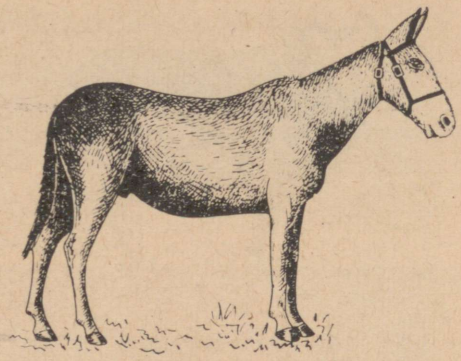
Tõuaretustöös osutas M. Ivanov alati suurt tähelepanu loomade pidamis- ja söötmistingimustele, rõhutades keskkonnatingimuste suurt tähtsust tõuomaduste ilmsikstulekul.

Heteroos koduloomadel. Nagu taimedelgi, nii esineb ka koduloomadel hübriidjõu ehk heteroosi nähtus (lk. 232). Nähtuse olemus peitub selles, et erinevaid tõuge ning isegi liike ristates esineb vahel hübriidide esimeses põlvkonnas eriti võimas arenemine ja üldise 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 majanduslikel eesmärkidel. Näiteks kasutatakse varavalmivate sigade saamiseks djurokdžärsi ja berkširi tõugude ristamist. Selgesti väljendunud heteroos esineb aberdiin-anguse ja šorthorni ning herefordi ja šorthorni veisetõugude ristamisel (joon. 163).

Suguloomade hindamine järglaste alusel. Koduloomade tõuaretuses on tähtis hinnata isasloomа pärilikke



Joon. 163. Heteroos herefordi ja šorthorni veisetõugude ristamisel.



Joon. 164. Muul (mära ja eeslitäku hübriid).

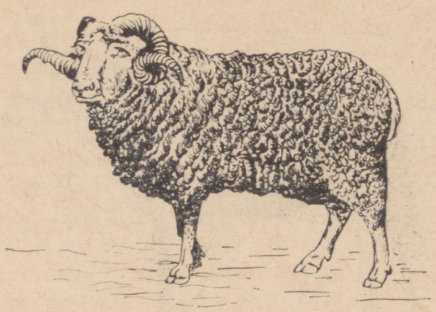
omadusi tunnuste osas, mis isaslooma juures vahetult esile ei tule, nagu piimaand ja piima rasvasisaldus pullidel või munevus kodulindudel. Isasloomalt võib saada palju järglasi, eriti kui kasutada kunstliku seemenduse meetodeid. Sellepärast on tõu parandamiseks väga oluline teada, millised geenid määravad 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 isaslooma kõrgeväärtuslikkusele ning viimast tuleb laialdaselt kasutada tõu edasiseks parandamiseks.

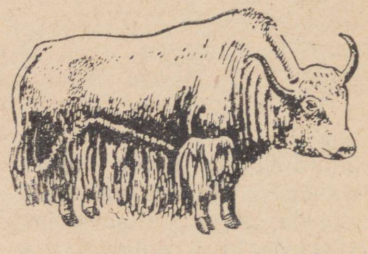
Järglaste järgi hindamise meetodit kasutatakse loomade tõuaretuses laialdaselt.

K o d u l o o m a d e k a u g h ü b r i d i s e e r i m i n e. 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 liinidevahelistes 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 (joon. 164). Vanemvormidega võrreldes on muulad heteroossed: nad on väga vastupidavad, suure füüsilise jõuga, nende eluiga ületab tunduvalt vanemvormide oma. Muulad on täiesti sigimatud. Heteroos esineb ka ühe- ja kaheküürulise kaameli ristamisel. Ka sel juhul on hübriidid erakordselt tugevad ja vastupidavad.

Nõukogude Liidus tehakse suurt tööd loomade liikidevahelisel hübridiseerimisel. Mõnedel senisaadud tulemustel on suur praktiline tähtsus.



Joon. 165. Arhaarmeriino. Tõug, mille aretamiseks ristati lambaid metsiku arhaaroinaga.



Joon. 166. Pamiiri elanik — jakk.

Edukalt lõppes Kasahstanis uue lambatõu loomine peenvillalammaste ristamise teel metsiku mägilamba arhaariga. Hübriidid osutusid täiesti sigivateks. Sellest ristamisest lähtudes loodi erinevaid valikumeetodeid kasutades uus peenvillalamba tõug — arhaarmeriino (joon. 165). 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. 166). Jakk annab vähe, kuid väga kõrge rasvasisaldusega piima. Liha maitseomadused jäävad maha veiseliha omast. Jaki ja veise hübriide 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.

59. *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 paljude orgaaniliste hapete tootmine, veinitööstus ja paljud teised põhinevad mikroorganismide tegevusel. Suur tähtsus inimese tervisele on antibiootikumidel — erilistel ainetel, mis tapavad tõvestavaid mikroorganisme. Tänu antibiootikumidele on paljude haiguste ravimine muutunud suhteliselt kergeks. Antibiootikumid on mikroorganismide tegevuse produk-

tid. Inimesele nii 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. Nagu teistel organismidel, nii esineb ka mikroorganismidel 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 sel teel saavutanud antibiootikumide tööstus. Nõukogude teadlased S. Alihhanjan ja teised said arvukalt röntgenimutatsioone (röntgenikiirte poolt esile kutsutud pärilikud muutused), mis tootsid lähtekultuuridega võrreldes kümneid kordi rohkem antibiootikume (penitsilliini, terramütsiini, streptomütsiini ja paljusid teisi). 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 tõusule, millel võivad inimese suhtes olla ebasoovitavad tagajärjed.

60. Geneetika ja meditsiin

Taimedel, loomadel ja mikroorganismidel vaadeldud pärilikkuse seadused kehtivad täiel määral ka inimese kohta. Sellel geneetika valdkonnal on suur tähtsus meditsiinis ja inimühiskonna heaolus. Praeguseks ajaks on kindlaks tehtud, et mõned haigused sõltuvad pärilikest teguritest. Nende haiguste tundmaõppimine on erakordselt oluline profülaktiliste ja raviürituste organiseerimiseks.

Inimese pärilikkuse uurimisel esineb palju raskusi. Inimese juures ei saa näiteks kasutada eksperimentaalse geneetika meetodeid. Inimene paljuneb väga aeglaselt ja igal abielupaaril on suhteliselt vähe lapsi. Missuguseid meetodeid siis kasutab inimese geneetika ja inimese pärilikke haigusi uuriv meditsiiniline genee-

tika. Selliseid meetodeid on kolm: 1) genealoogiline, 2) kaksikute ja 3) tsütoloogiline meetod. Iseloomustaksime lühidalt neid kõiki.

Genealoogiline meetod seisneb inimeste sugupuude uurimises võimalikult paljude põlvkondade jooksul. Sel teel õnnestus kindlaks teha paljude inimese tunnuste ja pärilike haiguste pärandumise iseloomu. On tehtud näiteks kindlaks, et tume juuksevärvus domineerib heleda üle, lokkis juuksed siledate juuste üle, mustale rassile iseloomulik tume nahavärvus domineerib mittetäielikult valge pigmenteerumata nahavärvuse üle. Sama meetodiga on tehtud kindlaks paljude haiguste pärandumine. Nende hulka kuuluvad näiteks mõned ainevahetuse häired, nagu suhkurtõbi (diabeet). See raske haigus pärandub retsessiivselt. Haigusele on iseloomulik vere suurenenud suhkrusisaldus. Sugupuude analüüs annab võimaluse ennustada päriliku suhkurtõve tõenäosust ja õigeaegselt tarvitusele võtta ravivahendid.

Geneetilisest seisukohast kujutavad inimese pärilikud haigused endast mutatsioone, millest enamik, nagu teame, on retsessiivsed. Need tekivad sugurakkudes ja levivad fenotüübis esile tulemata inimühiskonnas. Seda on tähtis teada selleks, et õigeaegselt võtta kasutusele ravivahendeid pärilike haiguste vastu.

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 üksteisega samal määral sarnased, kui üksikult sündinud tavalised vennad ja õed. Vahel võib aga üks munarakk anda alguse kahele lootele. See toimub neil suhteliselt harvadel juhtudel, kui arenev munarakk jaguneb kõige varajasematel arengustaadiumidel kahte ossa ja igast osast areneb täisväärtuslik ja normaalne loode. Sel juhul on meil tegemist ühemunarakuliste kaksikutega, kes on alati üht sugu ja üksteisega 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. 167). Selliste ühemunarakuliste kak-

Joon. 167. Ühemunarakulised kaksikud 18 aasta vanuses.

sikute uurimine kogu nende elu vältel, eriti siis, kui nad elavad erisugustes tingimustes, annab palju väärtuslikke ja objektiivseid andmeid keskkonna osa mõistmiseks inimese füüsiliste ja psüühiliste omaduste arenemises.

Suure tähtsuse on viimaste aastate jooksul omandanud tsütogeneetiline meetod, mis on andnud palju eriti väärtuslikke andmeid rea inimese pärilike haiguste põhjuste selgitamiseks. Eespool nägime, et esinevad mutatsioonid, mis ei piirdu üksikute geenidega, vaid haaravad terveid kromosoome. Nende esinemist saab kindlaks teha kromosoomigarnituuride mikroskoopilisel uurimisel, mida on kõige parem näha mitoosi metafaasi staadiumis. Kuni viimase ajani oli inimese kromosoomide uurimine väga raske, kuna inimesel on kromosoome palju (diploidne arv — 46, joon. 147) ja nad on väikesed. Viimastel aastatel on välja töötatud uued meetodid, mis lubavad kergesti ja lihtsalt uurida iga inimese kromosoomigarnituuri. Meetodi olemus seisneb järgmises. Võetakse väike hulk verd. Steriilsetes tingimustes tsentrifuugimisega eraldatakse vere punalibled valgelibledest. Valged verelibled paigutatakse termostaati 37° juurde (inimese kehatemperatuur) erilisse toitekeskkonda. Leukotsüüdid hakkavad energiliselt poolduma. Neist valmistatakse eriliste meetodite abil preparaadid, mille kromosoomide arv ja ehitus on selgesti näha.

Selle meetodi laialdane juurutamine lubas kindlaks teha, et rida inimese raskeid pärilikke haigusi on seotud kromosoomide arvu või struktuuri muutustega. Tooksime näite. On teada juhuseid, kui kromosoomigarnituuris võib leida ühe liigse väikese kromosoomi ning kromosoomide üldarv on seega 47. Sellel näilikult tühisel muutusel on äärmiselt rasked tagajärjed. Areneb haigus, mida tuntakse Downi haiguse nime all. Haigus väljendub selles, et haigel on väike pea, kitsad silmaavad, lame nägu ja teravalt väljendunud vaimne arenematus. Kõigi ülalmainitud hälvete põhjuseks on nähtavasti kromosoomide normaalse jaotumise häired meioosis.

Kuigi kõik nimetatud haigused kuuluvad pärilike haiguste hulka, ei tähenda see veel, nagu oleks meditsiin võimetu nende vastu võitlema. Kui õigeaegselt (võimalikult noorelt) avastada üks või teine kõrvalekaldumine normaalsest kromosoomide arvust, võib real juhtudel kasutada ravivahendeid. Kõige sagedamini seisab ravi hormoonide kasutamises, mis osaliselt või täiesti kõrvaldavad raskete haigustunnuste esinemise.

KÜSIMUSI JA ÜLESANDEID.

1. Mis on selektsioon? Millist tähtsust selektsiooni jaoks omavad Darwini teooria ja kaasaegne geneetika?
2. Mis on sort ja tõug? Seletage seda näidete abil.
3. Missuguseid valikumeetodeid kasutatakse taimede sordiaretuses? Kuidas on need seoses paljunemistüüpidega? Selgitage näidetega.

4. Mis on inbriiding? Milles on ta positiivsed ja negatiivsed küljed taimede sordiaretuse seisukohalt?

5. Kuidas kasutatakse sordiaretuses kaughübridiseerimist? Missuguste meetoditega saab kaughübridiseerimisel taastada viljakust?

6. Loetlege I. Mitšurini peamisi töömeetodeid ja illustreerige neid näidetega.

7. Millistest printsiipidest lähtus I. Mitšurin hübriidseemikute «kasvatamisel»?

8. Milles seisneb loomade tõuaretuse omapära taimede sordiaretusega võrreldes?

9. Milliseid põhilisi ristamistüüpe kasutatakse tõuaretuses?

10. Kuidas kasutatakse tõuaretuses inbriidingut? Tooge näiteid M. Ivanovi töödest!

11. Mis on heteroos? Kuidas kasutatakse heteroosi loomakasvatuses?

12. Tooge näiteid kaughübriidide kohta loomadel. Missugune on nende praktiline tähtsus?

13. Missuguste meetoditega uuritakse inimese pärilikkust?

14. Missuguseid pärilikke haigusi te tunnete?

15. Missugune praktiline tähtsus on inimese geneetika uurimisel meditsiinile?

4. Organismi ja keskkonna vastastikused suhted

10. peatükk

ORGANISM JA KESKKOND

Ükskõik millist elusorganismi vaadeldes pöörame alati eelkõige tähelepanu selle organismi kohastumisele elutingimustega. See kohastumine väljendub peale loomade ja taimede kehaehituse ka elusorganismide võimes paljuneda ja areneda ainult kindlates väliskkeskkonna tingimustes. Evolutsiooniõpetus lubab meid mõista, kuidas need kohastumised on loodusliku valiku alusel ajalooliselt kujunenud, kuid tuleb ka selgitada, kuidas nimelt praegusel ajal reaalses looduslikus miljöös eksisteerivad elusorganismid on seotud omavahel ja eluta looduse tingimustega. Nende seoste selgitamine on vajalik looduslike ressursside ratsionaalseks kasutamiseks ning praktiliste ülesannete lahendamiseks metsanduses, põllumajanduses ja kalanduses.

Vastastikuste suhete uurimisega elusorganismide ja neid ümbritseva keskkonna vahel tegeleb ökoloogia. Järgnevalt tutvume selle bioloogiaharu põhialustega.

61. Keskkond ja ökoloogilised tegurid

Organism ja keskkonna tegurid. 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 inimesel, keda võib vaadelda erilise ökoloogilise tegurina.

Erisugused ökoloogilised tegurid, nagu näiteks temperatuur, atmosfääri gaasiline koostis ja parasiidid, mõjutavad organismi täiesti erinevaid teid mööda. Nende toime tulemused on aga võrreldavad, kuna nad väljenduvad alati organismide eluvõime ja arvukuse muutustes. Esilekutsutud muutuste astme järgi võib teguri toimet kvantitatiivselt hinnata.

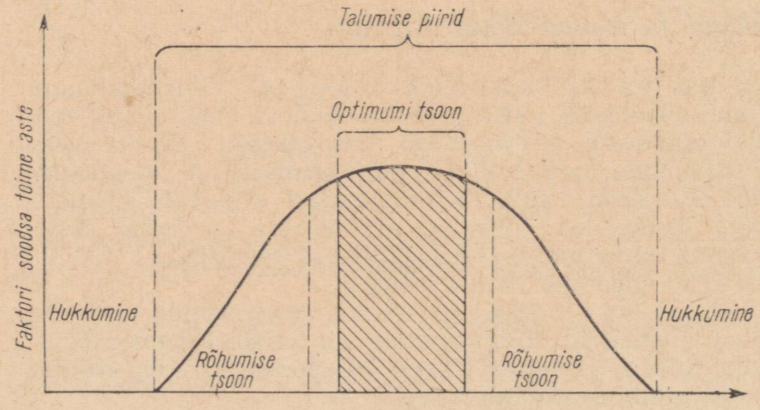
Looduses on välistingimused alati sel või teisel määral muutlikud. Sellepärast on iga liik evolutsiooniprotsessis kohastunud teatud ökoloogiliste tegurite taseme ja kõikumistega.

Sellist ökoloogilise teguri intensiivsust, mis on kõige soodsam elutegevuseks, nimetatakse optimaalseks või optimumiks.

Skeemilt (joon. 168) on näha, et mida enam ökoloogilise teguri intensiivsus kaldub optimaalsest kõrvale, seda tugevamini pidurdub elutegevus. Piire, millest väljaspool organism eksisteerida ei saa, nimetatakse ülemiseks ja alumiseks talumispiiriks.

Mõned liigid on võimelised taluma ainult väikesi ökoloogiliste tingimuste muutusi. Neid nimetatakse kitsalt kohastunud liikideks. Vastavalt sellele, missugune teguri tase on kõige soodsam, eristatakse sooja- ja külmalembesi, niiskuse- ja kuivalembesi, suure või väikese veesoolsusega kohastunud liike jne.

Laia kohastumisega liikideks nimetatakse selliseid liike, mis on võimelised taluma suuri välistegurite muutusi. Mida laiemad on liigi talumispiirid, seda erinevamates tingimustes võib ta looduses eksisteerida. Näiteks on enamik merede elanikke kitsalt



Joon. 168. Ökoloogilise faktori toime skeem.

kohastunud suhteliselt suure vee soolsusega ja soolade kontsentratsiooni langemisel nad hukkuvad. Magevee-elanikud on samuti kitsalt kohastunud, kuid väikese soolade kontsentratsiooniga. Esineb aga liike, mis on võimelised taluma väga suuri vee soolsuse muutusi. Selliste liikide hulka kuulub näiteks ogalik, kes võib elada nii meredes ja soolajärvedes kui ka mageveekogudes.

Üks ja sama liik võib olla kitsalt kohastunud ühe keskkonnateguri suhtes (näiteks soolsus) ja laia kohastumisega teise suhtes (näiteks temperatuur või toit).

Tegurite vastastikune toime. Piirav tegur. Organismile mõjub üheaegselt väga keeruline tingimuste kompleks. Sealjuures sõltuvad ühe keskkonnateguri optimum ja talumispiirid teatud määral teiste tegurite tasemest. Näiteks on soodsal temperatuuril vastupidavus niiskusele või toidupuudusele kõrgem kui ebasoodsal temperatuuril. Kuid ühtki elu jaoks vajalikest faktoritest ei saa asendada teisega. Sellepärast piirab liigi elutegevust erinevates tingimustes see tegur, mis kaldub optimumist kõige kaugemale kõrvale. Kui kas või ühe keskkonnateguri kvantitatiivne väärtus väljub talumispiirist, ei saa liik enam eksisteerida, ükskõik kui soodsad ka poleks ülejäänud tingimused. Keskkonna muutmisel muutub ülejäänud tegurite vahekord. Seetõttu võivad erinevates kohtades piiravad tegurid olla erinevad. Polaartingimustes näiteks on piiravaks tavaliselt soojuse vähesus, lõunas aga niiskuse vähesus.

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 ning muudavad keskkonda. Taimede fotosünteetiline tegevus viis kaasaegse atmosfääri tekkele, mis sisaldab rikkalikult hapnikku. Hapnik on aga enamiku kaasaegsete organismide eksisteerimise põhiliseks tingimuseks. Organismide elutegevuse tagajärjel tekkis muld, mille koosseisu ja iseloomuga kohastusid evolutsiooniprotsessis taimed ja loomad. Elu mõjul muutus tunduval määral kliima, kujunesid selle kohalikud iseärasused (mikrokliima).

62. Põhilised klimaatilised tingimused ja nende mõju organismile

Maismaataimede ja -loomade elus on kõige suurema tähtsusega kolm kliimaelementi: valgus, soojus ja niiskus. Nende tegurite muutlikkus looduses on niivõrd suur, et väljub sageli kaugele normaalset elutegevust soodustavatest piiridest. Nimetatud tegurite oluliseks iseärasuseks on seaduspärane muutlikkus niihästi aasta ja ööpäeva jooksul kui ka sõltuvalt geograafilisest

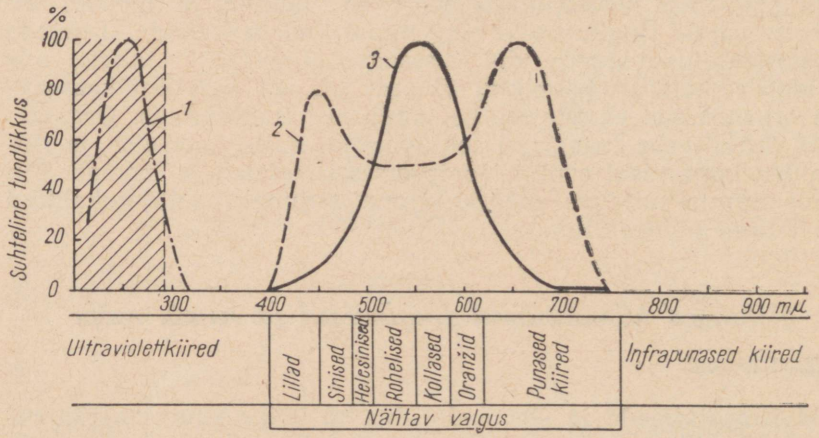
tsonaalsusest. Seepärast on ka nende teguritega kohastumistel seaduspärane tsonaalne iseloom ja nad on suurel määral sarnased erinevate taime- ja loomarühmade juures. Vaatleme neid faktoreid ja nende toime iseärasusi organismile.

V a l g u s. Päikesekiirgus on kõigi Maal kulgevate protsesside põhiliseks energiaallikaks. Ilma päikese soojuse ja valguseta oleks elu Maal võimatu. 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. 169).

Ultravioletttkiired lainepikkusega alla 290 mμ mõjuvad kõigele elavale hävitavalt. Elu Maal on võimalik ainult tänu sellele, et seda lühilainelist kiirgust neelab stratosfääri 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. Samal ajal on aga ultraviolettkiired väikestes annustes inimesele ja selgroogsetele loomadele vajalikud, soodustades D-vitamiini moodustumist organismis. Mõned loomad, näiteks putukad, eristavad ultraviolettkiiri nägemisorganiga.

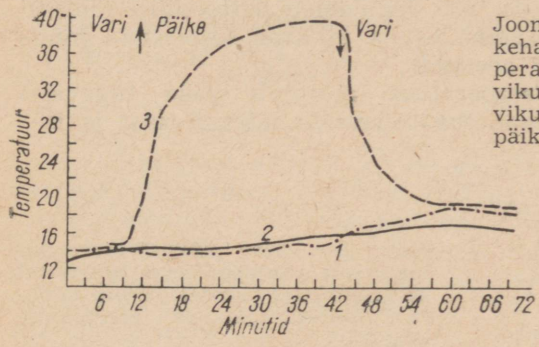
Väga tähtsad kohastumised on taimedel ja loomadel tekkinud nähtavate kiirte suhtes lainepikkusega 400—800 mμ. Rohelised taimed sünteesivad nähtava valguse energia arvel orgaanilist ainet, millest toituvad kõik teised organismid.



Joon. 169. Erinevate päikesekiirguse spektri 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.

Loomade ja klorofüllita taimede jaoks ei ole valgus tingimata vajalik eksisteerimiseks ning paljud mullas, koobastes ja süvavees elutsevad liigid elavad täielikus pimeduses. Kuid valgusel on suur mõju loomade käitumisele ja orienteerumisele. Valgus on tugev ärritaja. 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 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.



Joon. 170. Koerliblika rööviku kehatemperatuur: 1 — õhutemperatuur; 2 — varjus oleva rööviku kehatemperatuur; 3 — rööviku kehatemperatuur varjus ja päikese käes.

Inimese jaoks nähtamatute infrapunaste kiirte ala lainepikkusega üle 800 mμ on soojusenergia põhiallikaks. Eriti rikkad on nendest kiirtest otsesed päikesekiired. Paljud kõigusoojased loomad, nagu sisalikud, maod ja putukad kasutavad päikesevalgust oma kehatemperatuuri tõstmiseks. Joon. 170 on näha, kuidas koerliblika rööviku kehatemperatuur varjus on lähedane õhutemperatuurile, otseste päikesekiirte mõjul aga tõuseb enam kui 20° võrra.

Valgusrežiimil looduses on selgelt kujunenud päevane ja aastane perioodilisus, mis on tingitud Maa pöörlemisest ja tiirlemisest. Sellel perioodilisusel on sügav mõju loomade ja taimede elutegevusele.

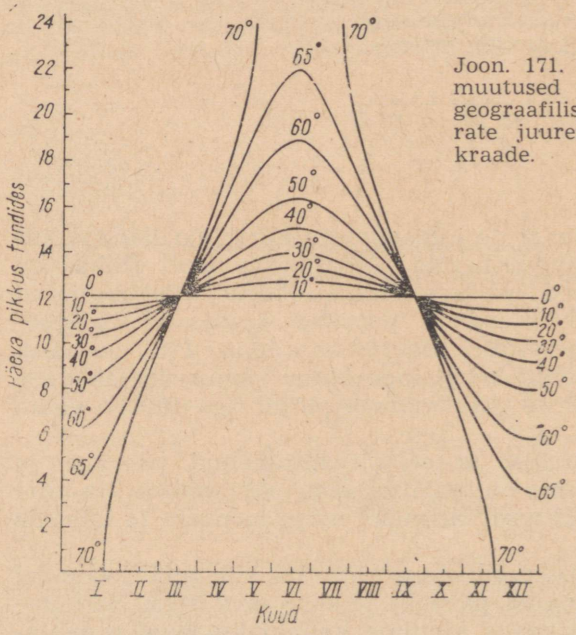
Ööpäevane valgustuse muutumise rütm on kutsunud loomadel esile arvukaid kohastumusi päevase ja öise eluviisiga. Sealjuures langeb iga liigi aktiivsus kindlale kellaajale. Kindlal kella-

ajal avanevad ka paljude taimeliikide õied. Mõnedel taimedel, näiteks aedoal, esinevad ööpäevased lehtede liikumised. Peaaegu kõikidel taimede ja loomade sisemistel füsioloogilistel protsessidel on ööpäevane rütm maksimumi ja miinimumiga kindlatel kellaaegadel. Seda rütmi saab jälgida ka rakkude talitluses. Reeglipäraselt toimub päevase eluviisiga liikidel rakkude jagunemine öösel, öise eluviisiga liikidel aga päeval, s. t. organismide suhtelise puhkeseisundi ajal. Sellised elutegevuse ööpäevased rütmid muutuvad sageli automaatseteks ja võivad säilida mõne aja jooksul isegi pideva valgustamise tingimustes.

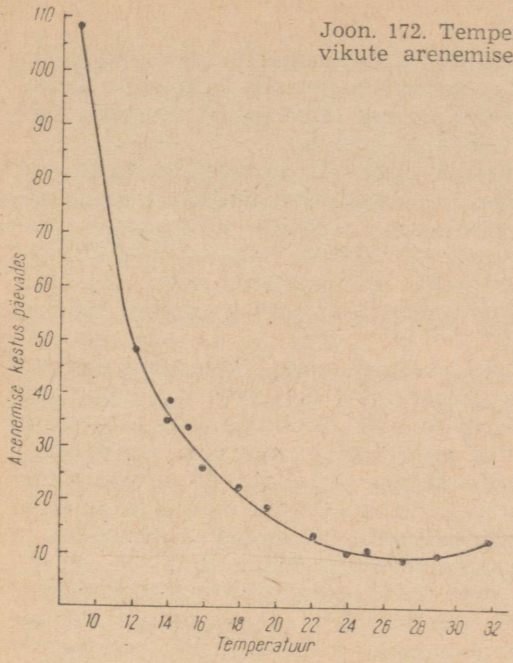
Suur ökoloogiline tähtsus on päeva pikkusel. See näitaja muutub tunduval määral sõltuvalt geograafilisest laiusest ja aastaajast (joon. 171).

Joonisel on näidatud päeva pikkuse muutumine aasta jooksul sõltuvalt geograafilisest laiusest. Kuna päeva pikkusest ja päikese kõrgusest sõltub maapinnale langeva päikeseenergia hulk, siis on sesoonsete valgusrežiimi muutustega tihedalt seotud ka temperatuuritingimused. Seetõttu on päeva pikkus tähtsaks ökoloogiliseks faktoriks, mis reguleerib perioodilisi nähtusi looduses. Detailsemalt vaatleme päeva pikkuse sesoonsete muutuste ökoloogilist tähtsust edaspidi.

T e m p e r a t u u r. Temperatuur mõjutab väga tugevasti organismis kulgevate ainevahetusprotsesside intensiivsust ja ise-



Joon. 171. Päeva pikkuse sesoonsed muutused põhjapoolkeral erinevatel geograafilistel laiustel. Arvud kõverate juures näitavad põhjalaiuskraade.



Joon. 172. Temperatuuri toime kapsaliblika röövikute arenemise kestusele.

loomu. Seepärast kajastuvad temperatuuri muutused alati kasvamises, arenemises ja teistes elutegevuse avaldustes. Eriti selgesti on sõltuvus välistemperatuurist väljendunud neil organismidel, kes ei ole võimelised säilitama keha pidevat temperatuuri, s. t. kõigil taimedel ja enamikul loomadel peale lindude ja imetajate. Selliste organismide kasv ja arenemine on võimalik suhteliselt kitsastes temperatuuripiirides. Enamik maismaataimi ja -loomi ei talu aktiivse elutegevuse perioodil negatiivseid temperatuure.

Arenemise ülemine temperatuuripiir on samuti erinevate liikide jaoks erisugune, kuid ulatub harva üle 40—45°. Ainult üksikud liigid on kohastunud eluga väga kõrge temperatuuri juures. Kuumades allikates võib näiteks mõningaid limuseliike kohata veetemperatuuri juures kuni 53°, ühe kärbseliigi vastseid temperatuuril kuni 60°, mõningaid sinivetikaid ja baktereid aga isegi 70—90° juures.

Optimaalne arenemistemperatuur sõltub liigi elutingimustest, kuid tavaliselt on see 15—30° piirides.

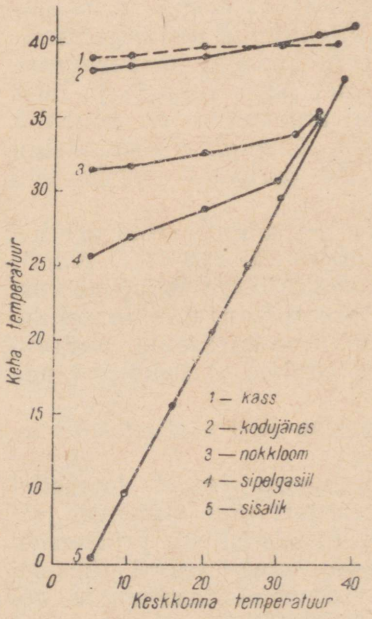
Poikilotermsetel ehk kõigusoojastel loomadel ei ole kehatemperatuur püsiv. Temperatuuri tõus elunormi piirides kutsub nende juures esile kõigi füsioloogiliste protsesside tugeva kiirenemise. Sellepärast lüheneb temperatuuri tõusuga võrdeliselt aeg, mis kulub üksikute arenemisstaadiumide või kogu elutsükli läbimiseks. Nagu näha joon. 172, on sel sõltuvusel

väga korrapärane 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 oma temperatuuri vee aurustumise intensiivistamisega läbi õhulõhede. Seepärast on lehe temperatuur päeval sageli märksa madalam õhutemperatuurist.

Ka kõigusoojased loomad võivad oma kehatemperatuuri mõnel määral alandada vee aurustumise abil läbi hingamiselundite ja kattekudede. Kehatemperatuuri tõstmise võimalused on neil väga piiratud ja esinevad 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 30—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 temperatuurist. Ainult mõnedel ühiselulistel putukatel, eeskätt mesilastel, on kujunenud välja efektiivsem temperatuuri säilitamise meetod kollektiivse termoregulatsiooni näol. Iga mesilane ei ole üksikult võimeline säilitama püsivat temperatuuri, kuid pere moodustavate mesilaste suur hulk eraldab nii palju soojust, et tarus hoitakse pidevalt vastsete arenemiseks vajalikku temperatuuri (34—35°).



Joon. 173. Erinevate loomade kehatemperatuuri sõltuvus õhu temperatuurist: 1 — kass; 2 — kodujänes; 3 — nokkloom; 4 — sipelgasiil; 5 — sisalik.

Kõige täiuslikum termoregulatsioon on püsisoojastel loomadel — imetajatel ja lindudel. Enamikul lindudel on kehatemperatuur veidi üle 40°, imetajatel aga veidi madalam sellest. Kehatemperatuur säilib väga püsival tasemel, vaatamata temperatuuri kõikumistele ümbritsevas keskkonnas. —40°-se pakase juures oli polaarrebase kehatemperatuur 38°, laanepüül aga 43°, s. t. peaaegu 80° võrra ümbritsevast keskkonnast kõrgem. Tuleb aga märkida, et primitiivsete austraalia imetajate (nokklooma ja sipelgasiili) termoregulatsioon on veel nõrgalt arenenud ja nende kehatemperatuur kõigub suurel määral vastavalt ümbruskonna tingimustele (joon. 173).

Loomade eksisteerimiseks muutlikes keskkonnatingimustes on tähtis mitte ainult termoregulatsioonivõime, vaid ka kohastumuslik käitumine — soodsama kehatemperatuuriga 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 samad liigid valivad oma asukohaks vastupidiselt kõige soojemad ja päikesepaistelisemad kohad.

Temperatuur muutub seaduspäraselt vastavalt aastaajale ja geograafilisele laiusele koos valgusrežiimiga, millest ta sõltub. Joon. 174 on näidatud temperatuuri aastakõver mitmes erinevas geograafilises laiuses asetsevas punktis Ekvatoriaal-Aafrikast kuni põhja polaarjooneni. Punktiiriga on joonisel tähistatud temperatuuritase, millest allpool enamiku taimede ja kõigusoojaste loomade kasv ja arenemine enam ei saa toimuda.

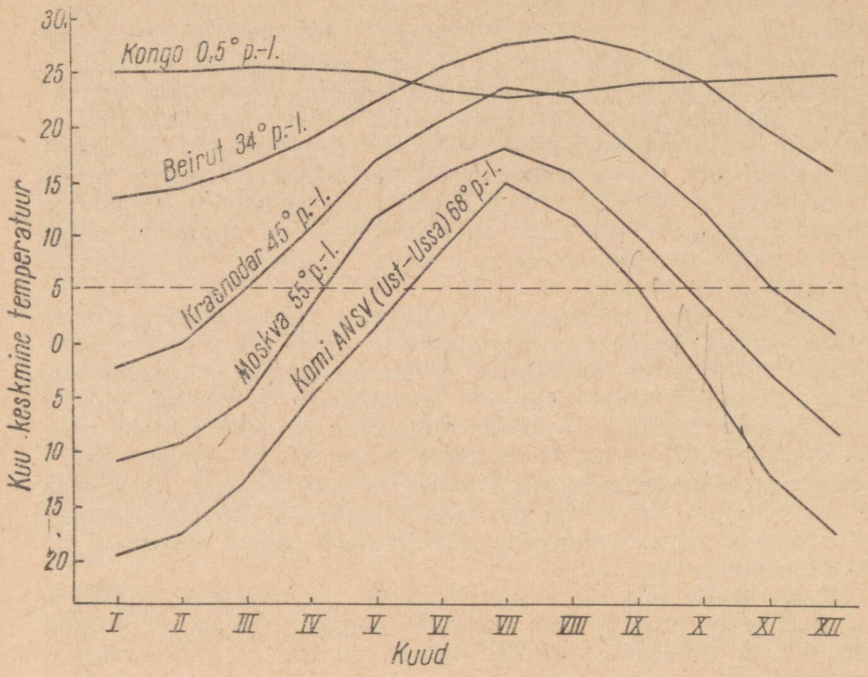
Ekvaatoril on temperatuur väga püsiv ja on aasta läbi 25° lähedasel tasemel. Ekvaatorist kaugenedes suureneb temperatuuri aastaamplituud tugevasti. Sealjuures muutub suvine temperatuur tunduvalt vähem kui talvine.

Joon. 174 on näha, et suvine temperatuur on peaaegu igal pool tavalise normi piires, mis on vajalik enamiku organismide kasvuks ja arenemiseks. Järelikult on loomade ja taimede eksisteerimiseks paras- ja põhjavöötme laiuste kliimas põhiline tähtsus mitte kohastumisel suve temperatuuritingimustega, vaid talviste negatiivsete temperatuuridega.

Niiskus. Vee säilitamiseks kudedes on organismidel kujunenud mitmesugused kohastumised.

Loomi kaitseb liigse aurustumise eest kattekudede läbilaskvuse vähenemine ja hingamiselundites toimuva aurustumise reguleerimine. Näiteks on niisketes kohtades elava rohukonna naha läbilaskvus palju suurem kui kuivemates kohtades elaval kärnkonnal. Putukatel sulguvad kuivas õhus hingamisavad. Taimedel reguleerivad vee aurustumist lehepinnalt õhulõhed.

Pikaajalistel põuaperioodidel ei suuda aga loomade ja taimede



Joon. 174. Temperatuuri aastakõver erinevates geograafilistes laiustes.

sellised kohastumused kindlustada vee säilimist kehas. Mõned elusorganismid võivad kaotada tunduval määral vett ja samal ajal säilitada eluvõime. On hästi teada, et taimeloode vajab idanemiseks vett, kuni selle ajani aga võib seeme olla kuivas kohas kuid ja aastaid idanevust kaotamata ning elutegevuse tundemärke ilmutamata. Samblas elavad selgrootud loomad — keriloomad ja mõned lülijalgsed — kuivavad looduslikes tingimustes sageli ära koos samblaga.

Üldiselt võttes on enamik loomi ja taimi niiskuselembesed. Seetõttu piirab vähene sademete hulk sageli organismide geograafilist levikut. Aasta jooksul langev sademete hulk on Maa pinnal ebaühtlaselt jaotatud. Kõige ebasoodsamad elutingimused on kõrbevööndis, kus sajab vähe ja peaasjalikult talveperioodil. Kõrbeloomad väldivad kuivuse ja kõrgete temperatuuride toimet sel teel, et otsivad päevaks varju urgudes, liivas ja mitmesugustes peidupaikades. Taimed aga kasvavad maapinnal ning kujundavad sellepärast välja mitmesugused kohastumused veekaotuse vastu. Nii näiteks on paljudel kõrbetaimedel kas väga sügavale ulatuv või erakordselt tugevasti hargnenud juu-

restik, mille abil nad koguvad vett suurest hulgast mullast. Selliste taimede maapealsetes osades torkab silma tunduv lehepinna vähenemine või isegi lehtede täielik kadumine. Mõned kõrbetaimede liigid, näiteks kaktused ja ogamaltsad koguvad oma kudedesse suurel hulgal vett. Mõnedele kõrbetüüpidele on iseloomulikud efemeersed taimed, mis kevadel arenevad väga kiiresti talvel kogunenud mulla niiskusevarude arvel ning seejärel kuivavad ära.

63. Taimede ja loomade kohastumused välistingimuste sesoonse rütmiga

Eelmises osas tutvusime üksikute kliimafaktorite mõjuga organismile. Nüüd aga jälgime keerulisemaid kohastumisi välistingimuste kompleksi muutumisega aasta jooksul. Sesoonne perioodilisus on üks elusa looduse kõige levinumatest nähtustest. Eriti selgesti on ta väljendunud meie parasvöötmes ja põhjalaiustes. 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 keskrajooniде sesoonse perioodilisuse (joon. 175). Siin on juhtiv tähtsus aastasel temperatuurikõveral. Arenemiseks soodne periood kestab umbes kuus kuud. Selle suhteliselt lühikese 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 kindlalt $+3 — 5°$, algab kogu taimkatte kiire arenemine.

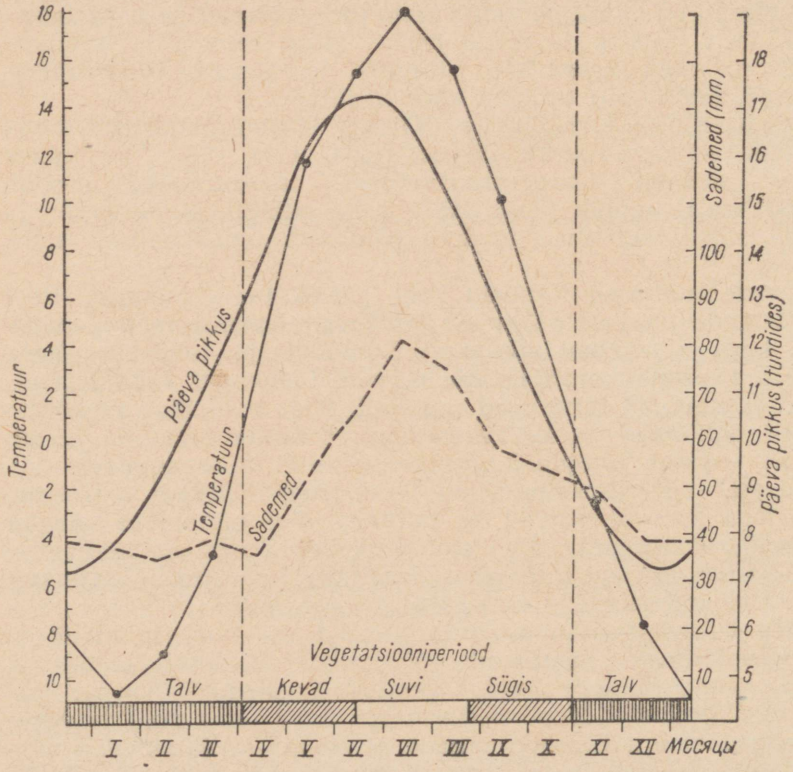
Sel ajal on taimedele kahjulikud isegi nõrgad öökülmad. Taimedega koos hukkuvad ka putukad. See näitab, et enamik kõigusoojaseid organisme ei suuda aktiivse kasvu ja arenemise seisundis taluda isegi lühiajalist negatiivsete temperatuuride toimet, kuigi nad talvel talusid tugevaid pakaseid.

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 pesitsemine. Suve teine pool ja varasügis on enamiku taimede viljade ja seemnete küpsemise ning taimekudedesse toitainete kogunemise perioodiks.

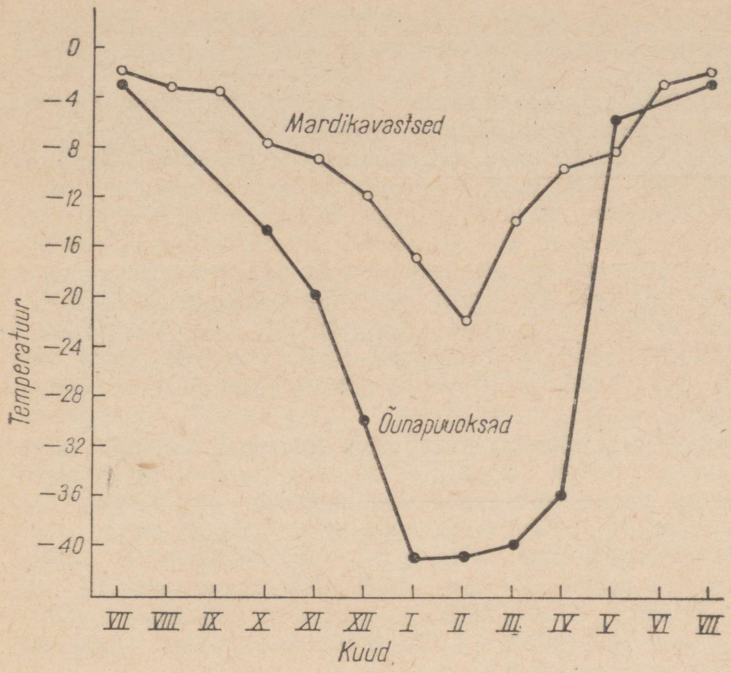
Sel ajal võib juba märgata talveks ettevalmistamise tunnuseid. Puudel formeeruvad talvepungad ja puituvad sellekeva-

dised võrdsed. Suureneb toitainete juurdevool lehtedest vartesse, juurtesse ja teistesse talvituvatesse organitesse. Lindudel ja imetajatel algab sügisene sulg- ja karvkattevahetus; rändlinnud kogunevad parvedesse. Talveks ettevalmistamine lõpeb taimelehtede kuivamise ja langemisega, paljud linnud lendavad ära, kaovad putukad ja teised selgrootud. Juba enne püsivate külmade saabumist algab looduses talvine puhkeperiood.

T a l v i n e p u h k e s e i s u n d. K ü l m a k i n d l u s. 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 juurelähe-



Joon. 175. Päeva pikkuse, temperatuuri ja sademete hulga sesoonsed muutused Moskva ümbruses.



Joon. 176. Õunapuuokste ja mardikavastsete külmakindluse muutumine talvitumise jooksul.

dased 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. Puhkavate organismide koed sisaldavad palju varutoitaineid, eriti rasvu ja süsivesikuid. Tavaliselt väheneb kudede veesisaldus, eriti taimede seemnetes ja talipungades. Kehamahlades tõuseb selliste ainete sisaldus, mis suurendavad talvituvate organismide vastupidavust külmumisele ja kaitsevad tsütoplasmat negatiivsete temperatuuride kahjustuse eest. Nende iseärasuste tõttu on talvituvad staadiumid erinevalt suvistest staadiumidest võimelised pikema aja jooksul elama karmides talvitumistingimustes. Talvised

puhkestaadiumid on üheks kõigusoõjaste loomade põhiliseks kohastumuseks paras- ja põhjavöötme kliima temperatuuride sesoonsusega.

Vaatlused näitavad, et taimede ja putukate pakasekindlus talve jooksul tõuseb (joon. 176).

Talve jooksul kohastuvad organismid järk-järgult madalate temperatuuridega. Seda nähtust nimetatakse külmaga karastumiseks. Karastumise esimene etapp toimub veel positiivsete temperatuuride juures (0 ja +6° vahel). Sealjuures muutub taimedes tärklis suhkruteks ja õlideks, mis suurendavad pakasekindlust. Kergete külmade (kuni —5°) saabumisega algab karastumise teine etapp. Sel ajal moodustuvad rakkudevahelistes valendikes jääkristallid, mis võtavad ära rakkudest vaba vee. Tänu sellele muutuvad rakud veelgi vastupidavamateks tugevatele pakastele.

Samalaadseid karastumisnähtusi võib jälgida ka paljude talvituvate putukate juures. Madalatel temperatuuridel moodustub nende kudedes palju külmumise eest kaitsvat glütseriini. Seetõttu võivad putukad talvel olla ülejahutatud olekus ja nende keharakkudes ei teki jääd. Nii ei külmu kapsaliblika nukud temperatuuri juures —20 — 25°, ühe kooreüraski vastsed aga isegi —53° juures. Ainult üksikud putukad, näiteks maisikoi röövikud, jäävad ellu pärast külmumist, s. t. 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. Vastupidavad on ka bakterite eosed. Isegi mõned putukaliigid talusid pärast karastamist temperatuuri kuni —196°.

Nii madalate temperatuuride juures ei saa organismis esineda ainevahetust. Järelikult kutsub sügav jahtumine esile elu ajutise pöörduva katkemise. Sellist eluprotsesside pöörduva lakkamise seisundit kutsutakse anabioosiks. Selle imepärase nähtuse uurimine on eriti tähtis seoses kosmilise bioloogia probleemiga.

Talvitumiskohastumused püsisoojastel loomadel. Püsisoojastel loomadel — lindudel ja imetajatel — ei õnnestu esile kutsuda täieliku anabioosi seisundit. Nad ei talu üldse külmumist ja sellepärast esinevad neil 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 heledaks või isegi valgeks, mis on talvel vähem märgatav (meenutage jänest, oravat, nirki, kärpi, rabakana ja teisi).

Talikarva ja talisulestiku väike soojusjuhtivus lubab paljusid liike 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. Talvel püsib ainevahetus sügisel kogutud rasvade arvel. Mõned liigid aga koguvad toiduvarud ja toituvad perioodiliselt.

Veelindudel, 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.

Sesoonset arenemist juhtivad tegurid. Fotoperiodism. Taimedel ja loomadel toimuvad aasta jooksul sügavad füsioloogilise seisundi muutused, mis on seotud kliimatingimuste sesoonse vaheldumisega. Igal liigil on välja kujunenud iseloomulik aastatsükkel intensiivse kasvu ja arenemise, paljunemise, talveks ettevalmistumise ja talvitumisperioodide kindla järjestuse ja kestusega. Iga elutsükli faasi kokkulangemisel aastaajaga, mille tingimustega see faas on kohastunud, on otsustav tähtsus liigi eksisteerimisele. Kui näiteks pakasekindlad puhkefaasid ei jõua talveks formeeruda, siis sellised isendid hukkuvad. Samuti on vaja, et taimed õigeaegselt õitseksid ja viljuksid.

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. Me nägime, et talveks ettevalmistumine algab juba suvel, kui temperatuur on küllalt kõrge. Sesoonsete nähtuste vähest sõltuvust temperatuurist näitab ka spetsiaalne katse. Kui kasvatada kase või teiste puutaimede seemikuid kasvuhoones pideva kõrge temperatuuri ja loodusliku valgustuse juures, siis lähevad nad sügisel üle puhkeseisundisse ja heidavad lehed ära. Taliviljad sellistes tingimustes ei loo. Putukad langevad talvitusseisundisse ning linnud hakkavad sul-

gima 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 fotoperiodismiks.

Fotoperiodismi tähtsus selgub joon. 177 kujutatud katsest. Ööpäevase kunstliku valgustuse või üle 15 tunni kestva päeva juures kasvavad katseseemikud kasvuhoones pidevalt ega heida lehti ära. 10—12-tunnise valgustuskestuse korral ööpäevas lakkab seemikute kasvamine, hiljem langevad lehed ja saabub talvine puhkeseisund, nagu lühikese sügispäeva juures. Paljud meie puutaimed, millel sügiseti langevad lehed ära, nagu pajud, harilik robiinia, tamm, valgepöök ja pöökpuu muutuvad pika päeva tingimustes igihaljaks.

Joon. 177. Päeva pikkuse mõju kaseseemnete kasvule: vasemal — katkematu (24-tunnise) päeva tingimustes ei lähe seemikud puhkeseisundisse ega lase maha lehti. Paremal — lühipäevatingimustes (10 tundi valgust) katkeb kasv ja seemikult langevad lehed.

Joon. 178. Päeva pikkuse mõju krüsanteemi õitsemisele: 1) katkematu päeva tingimustes kasvatamisel taimed ei hakka õitsema; 2) lühipäevatingimustes õitsevad taimed rikkalikult.

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. Kultuurtaimedest kuuluvad nende hulka rukis, kaer, enamik nisu- ja odrasorte, lina. Mõned, enamasti lõunapoolse päritoluga taimed vajavad aga õitsemiseks lühikest päeva, näiteks krüsanteemid (joon. 178) ja daaliad. Sellepärast hakkavad nad 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 pikapäeva tingimustes (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 juba esimeses põlvkonnas talvituvad nukud, mis ei hakka arenema mõne kuu jooksul isegi kõrge temperatuuri tingimustes. 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 üldiseks ja tähtsaks kohastumuseks, 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. Kahtlemata kannavad nad kohastumuse iseloomu selleks, et üle elada külm aastaaeg, kuid ettevalmistus talviseks puhkeperioodiks võtab palju aega ja peab 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 sellele: 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.

«Bioloogiline kell». Taimede ja loomade fotoperiodismi uurimine näitas, et see reaktsioon ei põhine lihtsalt 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 inimesega.

Peale fotoperiodismi juhib «bioloogiline kell» paljusid bioloogilisi nähtusi, mille olemus alles hiljuti oli saladuseks. 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. On tõestatud, et nad jätavad tarust välja lennates meelde lennunurga päikese suhtes ja veel enam, tagasi tulles teevad sellele paranduse vastavalt muutunud päikese asendile.

Talvituvate taimede, putukate ja muude organismide arenemise uuendamiseks peavad nad pika aja jooksul viibima külma käes. Talvitumise ajal toimuvad organismis sisemised füsioloogilised protsessid, mille tulemusel osutub jällegi võimalikuks intensiivne arenemine. Uurimused näitasid, et talvise puhkeperioodi füsioloogiline läbimine toimub kõige kiiremini madalate positiivsete temperatuuride juures (0 kuni 10°) ja pidurdub negatiivsete ja kõrgete temperatuuride juures. Puhkeseisundi läbimiseks vajab iga liik talvise jahtumise kindlat kestust ja sügavust. Külmaga toimuvate protsesside tulemusel on talvitunud taimed ja loomad valmis intensiivseks arenemiseks kevadel, kui vaid saabuvad kasvuks soodsad temperatuurid.

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 toimele, leiavad juba laialdast praktilist rakendamist mitmesugustes taimekasvatuse harudes. Neid kasutatakse juurviljade ja dekoratiivtaimede aastaringsel kasvatamisel kunstliku valgustuse juures, talvisel ja varakevadisel lillede ajatamisel ja istikute kiirendatud kasvatamisel.

Jaroviseerimist kasutades saadakse taliviljade õitsemine kevadise külvi korral ning samuti ka paljude kaheaastaste taimede õitsemine ja viljumine esimesel aastal. Juba ammu kasutatakse puude ja põõsaste seemnete külmaga mõjutamist puhkeperioo-

dist väljaviimiseks ja idanemise kiirendamiseks. Analoogilised võtted esinevad ka loomakasvatuses. Nii suureneb täiendavat valgustamist kasutades tunduvalt kanade, veel rohkem aga hanede ja partide munevus. Valgustuse kestuse muutmisega õnnestus kiirendada väärtuslike karusloomade paljunemist ja parandada karusnaha omadusi.

Suur tähtsus on päevapikkusele ja temperatuurile reageerimise iseärasuste arvestamisel taimeliikide ja -sortide ning loomatõugude õigel rajoonimisel ning aklimatiseerimisalade valimisel.

64. Organismide toitumissuhted ja ökoloogilised süsteemid

Looma- ja taimeliikide levik looduses ei ole juhuslik, vaid nad moodustavad alati kindlaid ja suhteliselt püsivaid komplekse. Neid komplekse tunneme hästi igapäevasest elust, kus me neid nimetame metsaks, niiduks, sooks või stepiks. Selliste komplekside koostise tingib nii temasse kuuluvate liikide nõuete sarnasus, mida need esitavad elukoha füüsikalistele tingimustele kui ka nende tihe vastastikune sõltuvus, mis tekib eelkõige toitumissidemete baasil.

Me teame juba, et energia ja toitainete saamise ja kasutamise viisi järgi jagatakse kõiki organisme kahte suurde rühma — autotroofideks ja heterotroofideks. Nende kahe organismiderühma vastastikused suhted viivad biogeensete keemiliste elementide ringkäigule.

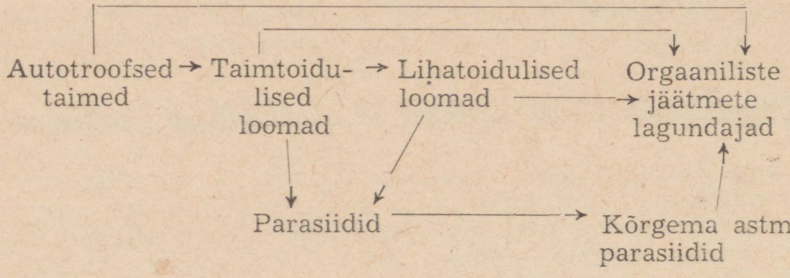
Selle protsessi liikumapanevaks jõuks on rohelistes taimedes transformeeritud päikeseenergia (vt. fotosüntees, lk. 159).

Toitumisahelad. Kui ainete ringkäigu üldine skeem on suhteliselt lihtne, siis tegelikes looduslikes tingimustes võib see protsess võtta väga keerulise kuju. Mitte ükski heterotroofne organism ei ole võimeline korraga hapendama taimede orgaanilist ainet mineraalseteks lõpp-produktideks — veeks, süsihappegaasiks ja mineraalsooladeks. Iga liik kasutab ainult osa orgaanilises aines peituvast energiast, lagundades selle kindla staadiumini. Selle liigi jaoks kõlbmatuid jäänuseid kasutavad teised organismid.

Nii on evolutsiooniprotsessis kujunenud püsivad vastastikku seotud liikide ahelad, millesse kuuluvad liigid ammutavad järjestikuliselt materjali ja energiat lähtetoitainetest. Selle tulemusel tekkis biogeensete ainete ringkäik.

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 roisk-

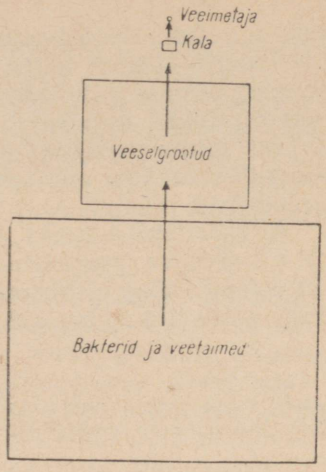
bakterid. Looduslikus olukorras koosnevad aga ahelad suuremast arvust lülidest, kuna neisse lülituvad lihatoidulised loomad — kiskjad ja parasiidid. Toitumissuhteid ahelates teeb keeruliseks ka see, et liigid ei ole alati kitsalt kohastunud ühele toidutüübile, sageli võib kohata segatoidulisi liike, kes võivad toituda nii taimedest kui ka loomadest. Tuleb silmas pidada ka seda, et surnud orgaanilised jäätmed, millest toituvad saprofaagid, moodustuvad kõigi ahela liikmete elutegevuse tulemusel. Järgmine skeem näitab toitumisseoseid organismide vahel toitumisahelas.



Energia kasutamine toitumisahelates. Kõik toitumisahelat moodustavad liigid eksisteerivad roheliste taimede poolt sünteesitud biomassi arvel. Sealjuures esineb tähtis seaduspärasus, mis on seotud energia muundumisega ja kasutamise efektiivsusega toitumisprotsessis. Selle seaduse olemus on järgmine.

Ainult 2—3% taimedele langevast päikese kiirgusenergiast muundatakse sünteesitud biomassi keemiliste sidemete energiaks, mida võivad edaspidi kasutada heterotroofsed organismid. Kui loom sööb taimset toitu, siis kasutatakse suurem osa toidus sisalduvast energiast mitmesugustele eluprotsessidele, muutub sealjuures soojuseks ja hajub. Ainult 5—20% toidu energiast läheb üle looma keha uuesti sünteesitud ainetesse. Kui looma söövad ära teised, 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 5—6 järjestikusest lülist.

Energiakaotuse tõttu väheneb igas järjestikuses lülis moodustuva orgaanilise aine hulk järsult. Kui arvestada, et looma keha ainesse läheb üle keskmiselt 10% söödud toidus sisalduvast energiast, siis võib ilmselt ühe tonni taimse massi arvel moodustuda ainult 100 kg taimtoidulise looma kehamassi ja viimase arvel ainult 10 kg kiskja kehamassi. Tegelikud suhted võivad sellest mõnel määral erineda, kuna säiliva energia protsent ei ole eri liikide juures ühesugune. Kuid toitumise põhilüliks oleva taimse aine produktsioon on alati mitu korda suurem kui taimtoiduliste loomade üldmass ning toitumisahela iga järgmise lüli mass vähe-



Joon. 179. Orgaanilise aine aastaproduktsioon Kaspia mere toitumisahelate põhilülides.

neb samuti progresseeruvalt (joon. 179). Seda seaduspärasust kutsutakse arvude püramiidi reegliks. See on väga tähtis reegel, kuna sellega on seotud erinevate liikide isendite arvukus looduses ja nende paljunemiskiirus.

Biotsönoos. Toitumisahelad on vastastikuste seoste aluseks elusas looduses. Nendes valitsevad keerulised omavahelised suhted püsivad tänu liikide mitmekülgsele kohastumisele üksteisega ja ümbritsevate eluta looduse tingimustega.

Igas konkreetses kohas koosnevad toitumisahelad oma kindlatest liikide kompleksidest, mis moodustavad koos ümbritseva füüsikalise keskkonnaga süsteemi, mille suhtelist püsivust hoitakse iseregulatsiooniga. Selliseid isereguleeruvaid, püsivaid ökoloogilisi süsteeme nimetatakse biotsönoosideks. Mets, niit, veekogu koos selle elanikega, stepp ja teised looduslikud rühmitused kujutavad endast biotsönooside näiteid.

Kõigil biotsönoosidel on sarnane struktuur. Nende aluseks on rohelised taimed — elusa aine tootjad. Alati kuuluvad biotsönoosi ka loomad — elusa orgaanilise aine tarbijad. Ja lõpuks kuuluvad sinna surnud orgaaniliste jäänuste lagundajad, eeskätt mikroorganismid, kes viivad orgaanilise aine lagunemise lõpuni — lihtsate anorgaaniliste ühenditeni.

Looduslikud biotsönoosid on väga keerulised. Neis on alati palju paralleelseid ja ristuvaid toitumisahelaid ning iga ahela lüli sisaldab mitmeid liike. Üldine liikide arv biotsönoosis ulatub sadadesse ja isegi tuhandetesse. 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 akvaariumiga kokku puutunud, teab, et ainult veega täidetud anumasse paigutatud kalad ei ela kuigi kaua isegi regulaarse toitmise juures. Ainuüksi nende käitumine räägib tingimuste kiirest halvenemisest akvaariumis. Kalade hingamise tagajärjel tekkinud vees lahustunud hapniku defitsiit ja süsihappegaasi kogunemine sunnivad kalu hoiduma veepinna lähedale ja ahmima õhku. Toidujääkide ja kalade eritistega saastatud

vesi muutub läbipaistmatuks ja hakkab roiskuma. See näide illustreerib tähtsat üldist seaduspärasust: organism, võttes keskkonnast temale vajalikke aineid ja eritades kahjulikke ainevahetuse produkte, halvendab paratamatult omaenese olelustingimusi, kui ei toimu pidevat ainete täiendamist ja kahjulike ainete eemaldamist. See ongi põhjuseks, miks liigid ei saa eksisteerida isoleeritult.

Akvaariumi seisund muutub oluliselt pärast seda, kui me oleme sellesse paigutanud taimed. Kui kala on taimtoiduline, siis saame kõige lihtsama võimalikest ökoloogilistest süsteemidest, mille liikmed avaldavad üksteisele soodsat mõju.

Taim neelab fotosünteesiprotsessis veest CO_2 ja eraldab kalade hingamiseks vajalikku O_2

Kalad toituvad taimede poolt sünteesitud orgaanilisest ainest, hingamisel neelavad O_2 ja eraldavad taimedele vajalikku CO_2

Kuid selline elementaarne süsteem ei ole kuigi püsiv. Omastamata toidujäänuseid ja muid eritisi taimed ei saa 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 neid ebasoovitavaid nähtusi ja tõsta süsteemi püsivust, on vaja viia süsteemi sisse puuduvad toitumisahela lülid. Olulist kohta nende seas hõivavad bakteritest toituvad infusoorid, keriloomad ja molluskid. Viimased toituvad bakterite limast ja mitmesugustest orgaanilistest jäätmetest ning puhastavad sellega taimi ja akvaariumi seinu. Nende tegevuse tõttu muutub vesi jälle läbipaistvaks. Kui vett mitte vahetada ja hoida ära vee saastumist tolmuga, siis kujuneb akvaariumis järk-järgult välja süsteem, mis on võimeline suhtelises tasakaaluseisundis püsima pikemat aega.

Näilisele lihtsusele vaatamata koosneb see süsteem küllalt suurest arvust liikidest. Peale kalade, molluskite ja kõrgemate taimede esineb siin vähemalt kaks-kolmkümmend liiki mikroorganisme: mitmesuguseid ainurakseid, mikroskoopilisi 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 jäätmete järgi.

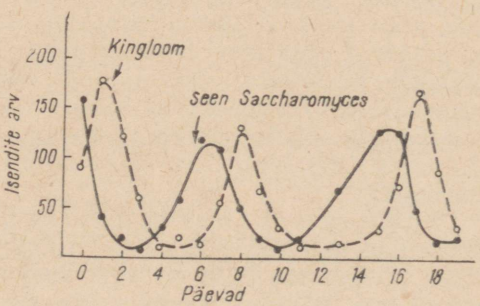
Akvaariumis tuleb esile biotsönoosi tähtis omadus — iseregulatsioon. Akvaariumis elutsevad liigid ei hävita üksteist täielikult, vaid piiravad ainult vastastikku isendite arvukust. Põhiliselt kehtib see mikroorganismide suhtes. Arvukuse reguleerimise mehhanism seisneb järgmises. Orgaanilistel jäätmetel paljunevad bakterid. Nende arvu kasv loob soodsad tingimused infusooride kiireks paljunemiseks. Need hävitavad bakterid ja kui viimaseid jääb järele vähe, hakkab toidu vähesuse tõttu langema ka infusooride arvukus. Sellised kõikumised korduvad katkematult ning neil on vahel väga regulaarne iseloom. Nende näiteks võib tuua infusoori — kinglooma ja tema toiduobjekti — pärmiseene arvukuse omavahel seotud kõikumised (joon. 180). Paljudest komponentidest koosnevates keerulistes süsteemides tasanduvad tavaliselt üksikute liikide arvukuse kõikumised või muutuvad ebaregulaarseks.

Et liigid võiksid üheskoos eksisteerida, peab röövlooma ja saagi paljunemiskiiruste vahel valitsema kindel suhe. Välised mõjutused võivad kujunenud suhteid muuta. Tugeva valgustuse juures läheb akvaariumis vesi sageli «õitsema», s. t. vetikate paljunemiskiirus kasvab ülemäära ja teised organismid ei jõua neid hävitada. Vahel võib esineda ka bakterite arvukuse järsk suurenemine.

Nii toimub kooselutsevate liikide arvukuse reguleerimine ökoloogilises süsteemis «automaatselt», põhinedes tagasiseostuse printsiibil. Mida rohkem on liigid üksteisega kohastunud, seda püsivam on süsteem.

Isegi parimas akvaariumis jääb ökoloogiline süsteem puudulikuks. Puudub kaladele vajalik loomne toit. Seda tuleb juurde anda vesikirpude, sääsevastsete või muu sööda kujul.

Miks ei saa vesikirpe lülitada ökoloogilise süsteemi koostisse ja luua sellist toitumisahelat, milles kalad oleksid pidevalt varustatud elusa söödaga? Põhiline häda on selles, et akvaariumi pii-



Joon. 180. Infusoori — kinglooma arvukuse kõikumiste sõltuvus toitobjekti — pärmiseene arvukusest.

ratud mahus hävitaksid kalad vesikirbud kiiremini, kui need paljuneda jõuaksid. Järelikult poleks toitumisahela põhilülid siin arvukuselt tasakaalus. Seepärast on akvaariumis toit alati kalade jaoks piiravaks teguriks.

Kui sööta kalu piisavalt, siis hakkab antud akvaariumis olevate kalade üldarvu piirama juba teine tegur — hapniku hulk. Seda 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 selles ökoloogilises süsteemis.

Akvaariumi formeerumisel 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 vaatlemisele, mis tekivad looduses. Analüüsime kaht looduslike ökoloogiliste süsteemide näidet — mageveekogu ja lehtmetsa.

65. *Looduslikud ökoloogilised süsteemid*

1. Mageveekogu biotsönoos. Iga looduslik veekogu, näiteks järv või tiik oma taimsete ja loomsete elanikega, kujutab endast iseseisvat ökoloogilist süsteemi ehk biotsönoosi. Akvaariumist kui mudelist eraldavad sellist süsteemi mitte ainult mõõtmed, vaid ka rida tähtsaid iseärasusi.

See looduslik süsteem on kahtlemata püsivam ja võib paljude aastate jooksul eksisteerida ilma oluliste muutusteta. Teiste sõnadega, sellel süsteemil on palju täiuslikum iseregulatsioon ja võime katkematuks iseenda taastootmiseks.

Looduslike veekogude biotsönoos on meie mudelist võrreldamatult rikkam ja mitmekesisem. Isegi väikestes järvedes ja tiikides ulatub taime- ja loomaliikide arv mitte enam kümnetesse, vaid juba sadadesse.

Veekogu asustavad liigid 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, mille liikmed on omavahel seotud tihedamini kui teiste liikidega. Looduslikud ökoloogilised süsteemid koosnevad alati paljudest alluvatest liigirühmadest, mida võib nimetada teise astme biotsönoosideks.

Veekogu biotsönoosirühmitused. Kõige mitmekesisemad ja eluks soodsamad tingimused kujunevad kaldalähedases piirkonnas. Siin on vesi 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, nagu näiteks paljud molluskid ja mõnede ööliblikate röövikud. Teised ujuvad aktiivselt veekihis, nagu kalad, rööveluviisiga veeputukad — ujurid ja vesilutikad. Paljud loomad elutsevad veekogu põhjas, nagu jõe- ja järvekarbid, paljude putukate vastsed (puruvanad, kiilide ja kiilkärbseliste vastsed), rida ussiliike jt. Isegi veepind on spetsiaalselt kohastunud liikide elukohaks. Vaiksetes seisuveekogudes jooksevad veepinnal mitmesugused lutikalised ja ujuvad veemardikad. Toiduküllus meelitab 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 siin 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. Siin arenevad arvukalt erinevad mikroskoopilised vetikad; vetikatest ja bakteritest toituvad arvukad kingloomad ning keriloomad. Rikkalikult on siin väikesi vähilaadseid.

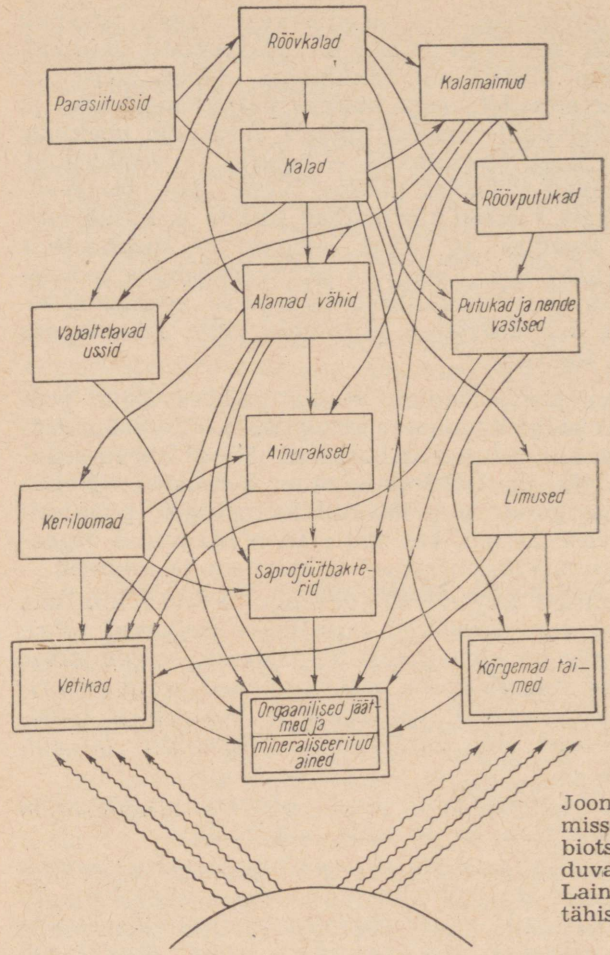
Kogu seda väikeste, passiivselt vees ujuvate organismide kompleksi nimetatakse planktoniks ehk hõljumiks.

Planktoniorganismide hulk (kaasa arvatud bakterid) võib ühes liitris ulatuda kümnete miljonite isenditeni ning veekogu planktoni üldine biomass on väga suur. Seetõttu kuulub planktonile ainete ringkäigus ja veekogu elus väga tähtis osa ja sageli võib ta olla orgaanilise aine peamiseks tootjaks.

T o i t u m i s s i d e m e d j a r e g u l a t s i o o n. Vaatame, mille arvel eksisteerib kogu veekogu elanike süsteem. Joon. 181 on näha, et kogu veekogu elanikkond on omavahel kaudselt või otseselt seotud vastastikuste toitumissuhetega. Skeemil on toodud vaid organismide rühmitused. Kui saaks kujutada eraldi iga üksikut liiki, oleksid sidemed veel võrreldamatult keerulisemad.

Toitumissidemetest koosneb mitme järjestikuse lüliga toitumisahel. Nii näiteks toituvad taimejäätmetest ja neil arenevatest bakteritest ainuraksed, keda omakorda söövad pisivähilaadsed; vähilaadsed on kalade toiduks, kellest toituvad röövkalad. Selliseid ahelaid esineb palju.

Iga toitumisahel veekogus algab alati kas autotroofsetest tai-



Joon. 181. Põhiliste toitumisseoste skeem mageveebiotsönoosis. Nooled suunduvad tarbijalt toidule. Lainelised jooned allosas tähistavad päikeseenergiat.

medest või orgaanilistest jäätmetest, mis lõppkokkuvõttes kujutavad endast samuti taimede elutegevuse tulemust.

Enamik liike toitub mitte ühe kindlat tüüpi toiduga, vaid võib kasutada ka teisi, täiendavaid söötasid. Kalad võivad toituda mitte ainult vähilaadsetest, vaid ka mitmesugustest putukatest, ussidest, taimtoidust ja orgaanilistest jääkidest ning vahel võivad süüa ära isegi oma liigi maime. Sellepärast on toitumisahelate vahel keerulised sidemed. Selle tagajärjel ei katke süsteem ühe või teise biotsönoosi liikme väljalangemisel, vaid hakatakse kasutama teisi toiduallikaid. Selles seisneb üks biotsönooside püsivuse põhjustest.

Nagu igas ökoloogilises süsteemis, nii on ka veekogu biotsönoosis esialgseks energiaallikaks päikesevalgus, mille arvel taimed sünteesivad orgaanilist ainet.

On selge, et kõigi veekogudes elutsevate organismide arvukus ja biomass sõltub täielikult taimede biomassist. Mida suurem see on, seda suurem võib olla ka kõigi heterotroofsete liikide biomass. Seoses energia hajumisega toitumisahelates langeb liikide summaarne biomass iga toitumistüübiga vastavalt arvude püramiidi reeglile (lk. 270). Näiteks toome arvutuste tulemused kahe mageveejärve kohta.

Organismid	Kuivaine hulk grammides ühe ruutmeetri veepinna kohta	
	Järv nr. 1	Järv nr. 2
Autotroofsed taimed	96	170
Taimtoidulised organismid .	11	22
Loomtoidulised organismid .	4	2,3

Sellised biomasside suhted on iga konkreetse veekogu kohta üsna püsivad ja kõiguvad piiratud ulatuses. Iga toitumistaseme biomass peegeldab seda antud veekogus kujunenud suhet paljunemise intensiivsuse ja üksikute liikide hukkumise vahel, mille juures need liigid võivad üheskoos eksisteerida. See on liikide evolutsiooniprotsessis kujunenud tugeva vastastikuse kohastumise tulemus.

Isegi lähestikku asuvates veekogudes võib kohata kas rikkalikku erinevate organismide asustust või vähest elanikkonda. Ülaltoodud tabelist on näha, et näiteks biomassi hulk pinnaühiku kohta on esimeses järves peaaegu kaks korda väiksem kui teises. Veekogu pinnaühiku kohta moodustuv orgaanilise aine üldhulk iseloomustab selle veekogu bioloogilist produktiivsust. Produktiivsust määravate põhjuste tundmine on hädavajalik veekogude biotsönooside ratsionaalseks kasutamiseks, eriti kalamajanduslikel eesmärkidel.

2. Lehtmetsa biotsönoos. Maismaa biotsönoosidest on üheks keerulisemaks laialeheline 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, mille seas eriti palju on putukaid.

Erinevalt veebiotsönoosidest, kus tähtsat osa orgaanilise aine primaarse tootmise lülis mängivad alamad taimed — mikroskoopilised vetikad, on maismaa biotsönoosides biomassi põhili-

seks tootjaks kõrgemad autotroofsed taimed. Metsas on nendeks valdavalt mitmeaastased puutaimed. Ka siin võib leida alamaid autotroofseid taimi, kuid nende osa on väike.

T a i m e d. Lehtmetsa iseloomustab suur taimeliikide mitmekesisus. Metsas käib teravnenud konkurents põhiliste elutingimuste — ruumi, valguse, vee ja selles lahustunud mineraalainete pärast.

Pikaajalise evolutsiooni tulemusel on tammikutaimedel kujunenud sellised kohastumused, mis lubavad erinevatel liikidel eksisteerida üheskoos. See väljendub selgesti tammikule iseloomulikus rindelisuses.

Ülemise rinde moodustavad valguslembesed puutaimed — 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. Ja kõige alt leiame rohurinde.

Mida madalam on rinne, seda vähem valguslembesed on rinnet moodustavad taimed, s. t. nad on võimelised fotosünteesima valguse väiksema intensiivsuse juures. Mõned 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 kasutada sügavate mullakihtide vett ja mineraalaineid. Pinnalähedase juurestikuga rohttaimed kasutavad peamiselt suviste sademete niiskust.

Valgustingimused vahelduvad laialehises metsas aasta jooksul järsult. Seoses sellega võib rohttaimede seast eraldada tammikule väga iseloomuliku niinimetatud kevadiste efemeeride rühma. Sellesse rühma kuuluvad liigid õitsevad varakevadel enne 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 paljudel efemeeridel ära kõik maapealsed osad, maa-alused osad aga jäävad puhkeseisundisse kuni järgmise kevadeni.

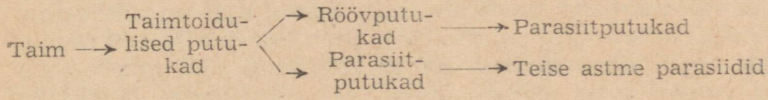
Tammikute suvised rohttaimed on väga varjulembesed. Nende õied on enamasti valged ja paistavad seetõttu tolmeldajatele tumedal metsafoonil hästi silma. Kuna aga aktiivseid tolmelda-

jaid on metsas vähe, siis paljuneb enamik liike peaasjalikult vegetatiivselt.

L o o m a d. Taimede rikkalikkus ja mitmekesisus ning nende poolt toodetava toiduks kõlbliku orgaanilise aine tohutu hulk põhjustab seda, et tammikus on arenenud arvukate loomariiki kuuluvate tarbijate hulk alates ainuraksetest ja lõpetades kõrgemate selgroogsete — lindude ja imetajatega. Kõige arvukamad on siin lülijalgsed, eriti putukad. Selle põhjuseks on putukate hea kohastumisvõime kõige erinevamate elutsemiskohtadega, mis teistele organismidele on vähekõlblikud.

Enamik putukaid on taimtoidulised ning ei ole niisugust taimeosa, mille söömisega poleks kohastunud üks või teine putukaliik.

Taimtoidulised putukad on toiduks arvukatele röövputukatele, näiteks jooksiklastele, ja ämblikele. Esineb ka rikkalik parasiitputukate fauna, kelle hulka kuuluvad peamiselt käguvaablased ja tahhiinikärbsed. Tuntakse isegi teise astme parasiite, s. t. selliseid, kes arenevad parasiitidel. Nii võib selles rühmas jälgida pikki, 4—5 lülist koosnevaid toitumisahelaid:



Keerulised toitumisahelad tekivad ka teistes loomarühmades. Putukad on põhitoiduks putuktoidulistele lindudele, kelle hulka kuuluvad lehelinnud, põõsalinnud, tihased, rästad ja käod. Neist toituvad omakorda röövlinnud, näiteks kullid. Imetajate seas moodustavad toitumisahela taimtoidulised hiirelaadsed närilised ja jänesed ning kabjalised, 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 sellistele 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 aga isegi lopsakais metsades ühe hektari kohta vaid 30—40 paari, röövlinde aga ainult üksikuid.

Toitumisahelad metsas on keeruliselt põimunud, sellepärast ei kahjusta mingi ühe liigi väljalangemine oluliselt kogu süsteemi.

Liigid ei ole biotsönoosis ühesuguse tähtsusega. Nii näiteks

ei peegeldunud terve suurte taimtoiduliste kabjaliste rühma — piisoni ja põtrade kadumine enamikust meie tammikutest oluliselt üldisel ökoloogilisel süsteemil, kuna nende suurtele mõõtmetele vaatamata ei olnud nende biomass kunagi eriti suur ega mänginud biotsönoosis erilist osa. Kui aga oleksid kadunud taimtoidulised putukad, oleksid tulemused kujunenud väga tõsisteks, kuna putukatel on biotsönoosis tähtis osa ning nad on paljude järgmiste tähtsate biotsönoosi lülide — rööv- ja parasiitlülijalgsete, lindude ja teiste eksisteerimise aluseks.

Iseregulatsioon biotsönoosis. Nagu teisteski ökoloogilistes süsteemides, nii väljendub ka metsabiotsönoosi isereguleerimise protsess selles, et kogu mitmekesine metsaelanikkond eksisteerib üheskoos, ei hävita üksteist täielikult, vaid piirab iga liigi isendite arvukust teatud kindla keskmise 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 hävitab väikese osa lehestikust ega kahjusta puud oluliselt. Samal ajal on aga 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.

Kuna normaalsetes tingimustes liigi arvukus kõigub mingi keskmise taseme ümber, siis on ilmne, et igas põlvkonnas elab iga paari järglastest üle 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 järglastest hukkub ebasoodsate ilmastikutingimuste toimel. Põhimassi aga hävitavad teised biotsönoosi liikmed — rööv- ja parasiitputukad, linnud, tõvestavad mikroorganismid.

Ökoloogilise süsteemi piirav toime ei väldi ikkagi täiel määral kahjurite masspaljunemise juhuseid. Aeg-ajalt ilmuvad mõned putukaliigid, nagu paaritukedrik ja okkaliblikas, nii suurtes hulkades, et hävitavad puulehed täielikult.

Orgaaniliste jäätmete mineraliseerimine. Väga suur tähtsus on metsa elus kuivanud lehtede, puidu, loomade jäänuste ja nende elutegevuse produktide massi lagundamisel ja mineraliseerimisel.

Tammiku iga-aastane produktiivsus on umbes 5—6 tonni taimset kuivainet hektarilt. Umbes 4 tonni sellest langeb varisenud lehtede arvele, millega mulda pöördub tagasi tunduv osa taimede poolt kasutatud tuhkaineid ja lämmastikku.

Mahalangenud lehed 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 neid aineid hüdrolüüsivad kergesti omastatavateks suhkruteks.

Arvukate putukate ja teiste lülijalgsete, usside, alamate seente ja rea bakterite järjestikune tegevus viib orgaaniliste jääkide peaaegu täielikule hapendumisele, kusjuures moodustub suurel hulgal süsihappegaasi, vett ja muldasattuvaid mineraalaineid, mida taimed uuesti kasutavad.

Üldiselt saab metsa biotsönoosis selgesti jälgida ainete ja energia ringkäiku ja selle põhietappe. See ringkäik algab taimede fotosünteetilise tegevusega. Osa nende orgaanilisest ainest kasutatakse veel elusana ära taimtoiduliste loomade ja seejärel ka teiste toitumisahela lülide poolt. Teine osa taimsest ainest elab oma aja üle ja moodustab koos loomade jäänustega kõdu, mis mineraliseeritakse kõdukihi ja mulla elanike poolt süsihappegaasi, vee ja taimedele omastamiseks kõlblike mineraalsooladeni. Kasutamata orgaanilisi jääke tammikus ei kogune. Nägime, et metsa ainete ringkäik on peaaegu täielik. Selles ongi metsa biotsönoosi suure püsivuse peamine põhjus.

66. *Biotsönoosides toimuvad muutused*

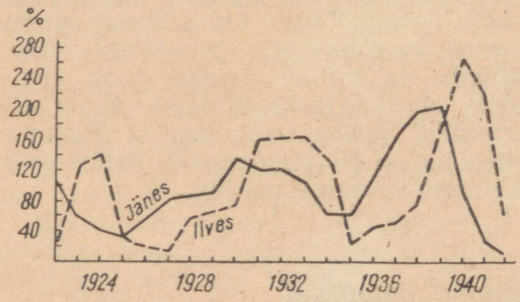
Kuigi biotsönoos kujutab endast isereguleerivat süsteemi, mis püüdleb püsivale olekule, ei saavuta ta seda kunagi täielikult. Püsiva oleku saavutamist takistavad pidevad välistingimuste (näiteks klimaatiliste) kõikumised ning samuti biotsönoosi moodustavate organismide elutegevuse tagajärjel tekkivad 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. 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 esile kutsuvate põhjuste tundmine on eriti tähtis kasulike, aga ka kahjulike liikide 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.

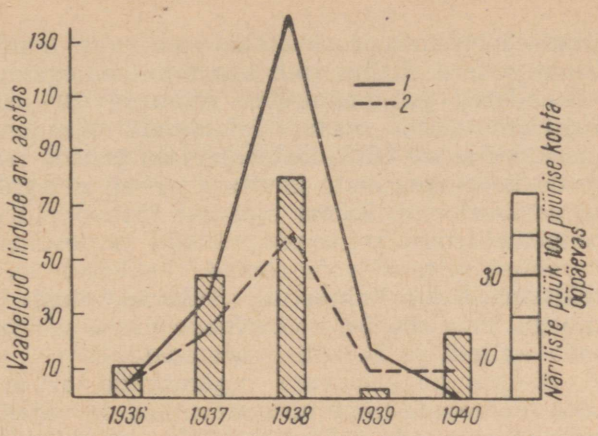
Vaatleme mõningaid näiteid. Paljude loomaliikide arvukus sõltub toiduhulga muutustest. Selline seos on eriti märgatav kitsalt kindla toiduga kohastunud liikidel. Orav toitub peaasjalikult okaspuude seemnetest ning seetõttu sõltub tema arvukus tugevasti käbide saagist.



Joon. 182. Valgejänese ja ilvese arvukuse kõikumised Komi ANSV-s; protsentides keskmisest tasemest.

Toit on põhiliseks piiravaks teguriks ka enamiku röövloomade juures. Näiteks on joon. 182 toodud valgejänese ja ilvese arvukuse vastastikku seotud kõikumised Komi ANSV-s. Jooniselt on selgesti näha, et jäneste arvu suurenemisele järgneb ka ilveste arvu tõus. Samasugust sõltuvust saakloomade arvust võib jälgida ka rebase, röövlindude (joon. 183) ja veel paljude teiste kiskjate juures.

Kuid kaugeltki alati ei ole toidumuutused liigi arvukuse kõikumiste peamiseks põhjuseks. Näiteks võivad jänesed toituda erinevatest taimedest ning kannatavad sellepärast harva toidupuuduse all. Nende arvukuse määrab peaasjalikult röövloomade ja parasiitide tegevus. Röövloomade osa näitab joon. 182. Jäneste arvukuse kasv soodustab nende seas mitmesuguste bakterite, ainuraksete ja parasiitusside poolt esile kutsutavate nakkushaiguste levikut, mille tagajärjel võib sageli esineda mainitud näriliste massilist hukkumist.



Joon. 183. Röövlindude arvukuse sõltuvus näriliste (hiirlaste) arvukusest Lapimaa looduskaitsealal: 1 — võõtkakkude arv; 2 — karvasjalgviude arv; tulbad näitavad hiirlaste arvukust.

Nagu nägime, pidurdavad taimtoiduliste putukate paljunemist samuti põhiliselt röövloomad, parasiidid ja tõvestavad mikroorganismid. Kui aga normaalsed suhted taimtoiduliste putukate ja nende vaenlaste vahel saavad häiritud, võib esimeste arvukus tõusta kümneid ja sadu kordi. Siis kahjustavad putukad tugevasti või isegi hävitavad oma söödataime.

Kahjurputukate masspaljunemine teeb eriti suurt kahju põllumajandusele. Äkilisi intensiivseid masspaljunemisi esineb ka looduslikes biotsönoosides. Mitmesuguste putukate paljunemise all kannatavad eriti metsad.

Kahjurite intensiivse paljunemise perioodid on erineva tugevusega ja kestavad tavaliselt lühikest aega. Pärast maksimumi saavutamist langeb kahjuri arvukus järsult. Arvukuse langemise põhjused on enamikul kahjuritel ühesugused ja seisnevad röövloomade ja parasiitide kiirendatud paljunemises ning samuti mitmesuguste viirus-, bakteriaalsete ja seenhaiguste ilmumises. Nende bioloogiliste faktorite toimet soodustab massilisel paljunemisel tekkiv toidupuudus.

Raskem on määrata intensiivse paljunemise puhanguid esile kutsuvaid põhjusi. Tavaliselt on need seoses ilmastikutingimuste otsese või kaudse mõjuga. Näiteks esinevad seedrikedriku masspaljunemised tavaliselt pärast kuivi ja sooje aastaid. Sellised tingimused soodustavad röövikute arenemist ja säilimist, eriti talvitumisperioodil.

Väga suur mõju liikide suhetele biotsönoosis on inimese tegevusel. On üldiselt teada, et kitsendusteta jahipidamine viis kohati paljude hinnaliste ulukloomade ja -lindude peaaegu täie-

likule hävitamisele. Näiteks võib tuua kopraid, kabjalisi, veelinde ja teisi. Vahel võib aga inimese tegevus viia kahjurliikide kiirendatud paljunemisele. Viimase 20 aasta jooksul hakati kahjurputukate vastu laialdaselt kasutama klooorgaanilisi insektitsiide — DDT, heksakloraani ja rida teisi. Varsti selgus, et peale kahjurputukate hävitavad need mürgid ka enamiku röövja parasiitloomi. Samal ajal aga mõned mürkidele vastupidavad taimemahladest toituvad putukad ja lestalised, kelle arvukust varemini piirasid röövloomad, hakkasid kiiresti paljunema ja tekitama suuri kahjustusi. Selliseid «uusi» kahjureid tuntakse praegu juba üle 50 liigi. 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.

Biotsönoosi de vahetumine. Biotsönoosi kuuluvate organismide elutegevus muudab järk-järgult ja pidevalt elutingimusi — mulda, veerežiimi, mikrokliimat jne. Tekkivad muutused mõjuvad 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 muutumine või inimese vahelesegamine oma majandusliku tegevusega.

Sellega seletub suurel määral loodusliku seisundi mitmekesisus.

Biotsönooside vahetumises on juhtiv osa taimedel, kuid nende tegevust ei saa lahutada süsteemi ülejäänud liikmete tegevusest, ning biotsönoos elab ja 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.

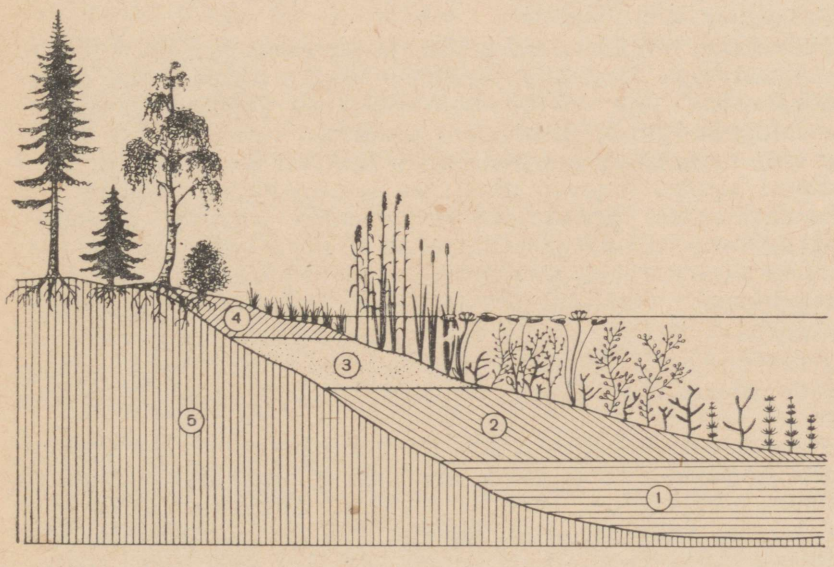
Mida täielikum on ainete ringkäik biotsönoosis, seda püsivam on biotsönoos. Looduses toimub biotsönooside vahetumine suunaga vähempüsivatelt enampüsivatele.

Vaatleksime mõningaid looduslikke biotsönooside vahetusi.

Ebapiisavalt tasakaalustatud süsteemi muutumise näiteks võib olla veekogu kinnikasvamine. Nägime, et hapnikupuuduse tagajärjel vee põhjakihtides jääb osa orgaanilist ainet hapendamata ning langeb välja edasisest ainete ringkäigust. Orgaanilised jäätmed setivad põhja ning moodustavad sügavates kohta-

des peeneteralise planktonimuda, kaldaäärse taimestiku tsoonis aga turbaladestused (vt. joon. 184). Selle tagajärjel väheneb paratamatult veekogu sügavus, mida soodustab vooluvetega kaasatoodava savi ja liiva ladestumine. Selle järgi, kuidas veekogu sügavad osad täituvad mudaga, nihkuvad kaldaäärsed veetaimed üha edasi veekogu keskme poole ja nende peale moodustuvad turbaladestused (joon. 184). Järk-järgult järv soostub. Sealjuures muutub tugevasti biotsönoosi liigiline koostis. Kaovad avaveealade plankton ja kalad, paljud taimed ja loomad asenduvad teistega, mis on rohkem kohastunud sootingimustega. Ümbritsev 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 — pajulill, jäneskastik ja teised. Varsti ilmuvad arvukad



Joon. 184. Veekogu kinnikasvamise skeem: 1 — peeneteraline sapropeelmuda; 2 — turbamuda; 3 — pillirooturvas; 4 — tarnturvas; 5 — järvesäng.

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 vähemalt sada aastat, kusjuures iga järgmine biotsönoos on eelnevast pikemaealisem.

Biotsönooside vahetumine on väga levinud nähtus ja on üheks biotsönooside loodusliku mitmekesisuse põhjuseks. Looduslikes tingimustes lõpevad sellised vahetused alati pikaajaliste biotsönooside moodustumisega, mis on kõige paremini kohastunud antud füüsikalis-geograafiliste tingimustega. Selliseid biotsönoose nimetatakse põhilisteks.

Inimese vahelesegamine võib muuta vahetuste looduslikku suunda või pidurdada nende arenemist siis, kui biotsönoos on majanduslikult väärtuslikumas staadiumis.

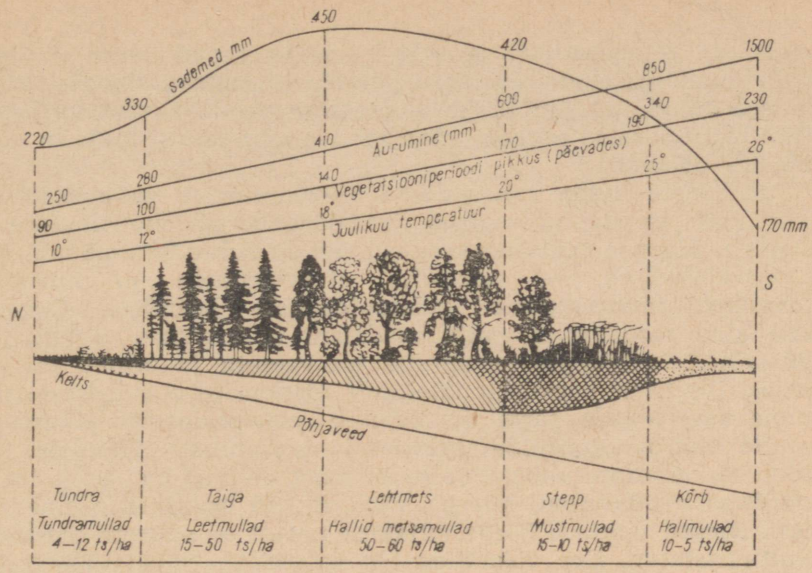
Biotsönooside geograafiline tsonaalsus. Kuna biotsönoosid on nendesse kuuluvate liikide kohastumise tulemuseks kindlate väliskeskkonna tingimustega, siis peavad erisugustes klimaatilistes tingimustes kindlasti tekkima erinevad biotsönoositüübid. See väljendub selgesti ökoloogiliste süsteemide geograafilises tsonaalsuses.

NSV Liidu territooriumil esineb järjestusega põhjast lõunasse rida looduslikke vööndeid: tundra-, taiga-, lehtmetsade, stepi- ja kõrbevöönd. Igat 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. Joon. 185 on skemaatiliselt kujutatud biotsönooside tsonaalsete tüüpide sõltuvus temperatuurist ja niiskusest.

Kaug-Põhjas, tundravöödis, 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 pindmisse mullakihti, mis jõuab rohkem soojeneda katkematu suvepäeva jooksul.

Nende karmide tingimustega on suutnud kohastuda vähe



Joon. 185. Biotsönooside tsonaalsete tüüpide ja klimaatiliste tingimuste muutumise skeem.

organisme, kes moodustavad omapäraseid liigivaeseid biotsönoose. 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, areneb laialdane taigavöönd, mille 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 taiga biotsönoosides on 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 lehtmetsad, mis eriti mitmekesised on Euroopas ja Kaug-Idas. Rikkalike sademete (üle 450 mm),

mõõduka temperatuuri ja selgelt väljendunud suve ja talve vaheldumisega aladel esinevad laialehised metsad. 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 lahtiste aladega — 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 15—20 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. Nende muldade kõrge viljakuse pärast on suurem osa steppe kultuuristatud. 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 väga vastupidavad niiskuse vähesusele.

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 maadele. Rajoonides, kus veepuudus ei ole terav, näiteks Ida-Aasias, stepi- ja kõrbevöönd puudub ja lehtmetsad 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 0,5—0,6° võrra, sademete hulk aga tavaliselt suureneb kõrgusega. Seepärast meenutab

mägede kliima põhjapoolsete alade kliimat. Vastavalt kliimale muutuvad tõustes ka taimevööndid samas järjestuses, kui põhja poole liikudes. Nii vahetuvad Kaukasuses mäejalamil laiuvad stepid ja poolkõrbed tamme- ja pöögimetsadega; kõrgemal on okasmetsad, seejärel aasad. Lumejoone lähedal areneb rusukaldel madalakasvuline alpitaimestik, mis teatud määral meenutab tundrat. Väärib tähelepanu, et alpiaasade vööndis võib kohata taimi ja loomi, mis on levinud tundras ja puuduvad teistes vöön-dites.

KÜSIMUSI.

1. Milliseid põhilisi ökoloogilisi faktoreid te tunnete?
2. Milles on arvude püramiidi reegli olemus?
3. Mis on biotsönoos? Tooge looduslike biotsönooside näiteid.
4. Mida kujutab endast veekogude bioloogiline produktiivsus?
5. Mis on veekogude produktiivsuse muutumise peamiseks põhjuseks?
6. Milles on metsabiotsönooside püsivuse põhjused (ainevahetus, süs-teemi isereguleerimine)?
7. Kuidas seletada biotsönooside mitmekesisust looduses?
8. Milliseid biotsönoose nimetatakse põhilisteks?
9. Missugused põhjused määravad biotsönooside eksisteerimise kestust?
10. Milles väljenduvad taimede ja loomade talvitumiskohastumised?
11. Millised faktorid juhivad taimede ja loomade sesoonset arenemist ja miks?
12. Mida teate «bioloogilisest kellast» ja milliseid sellesse kuuluvaid nähtusi olete tähele pannud?
13. Millal ja missuguses järjestuses saabuvad teie kodukohta rändlinnud ja millal nad lendavad ära? Millega seletada lindude saabumise ja lahkumise järjestikulisust?
14. Kas inimese majanduslikus tegevuses kasutatakse fotoperiodismi nähtust?

11. peatükk

BIOSFÄÄR JA INIMENE

67. *Biosfäär ja biomassi omadused*

Biosfäär ja selle piirid. Orgaanilise maailma vormide mitmekesisuse ja nende arenemise seaduspärasuste uurimine viib vajadusele määrata kindlaks elusorganismide koht ja tähtsus Maal.

Kõigi elusorganismide kogusumma annab meie planeedi pidevalt suureneva biomassi[1]. Biomassil on tohutu energia. Biomass on muutunud ja muudab maakoort ja atmosfääri. Miljardite aastate jooksul moodustus evolutsiooniprotsessis Maa ümber

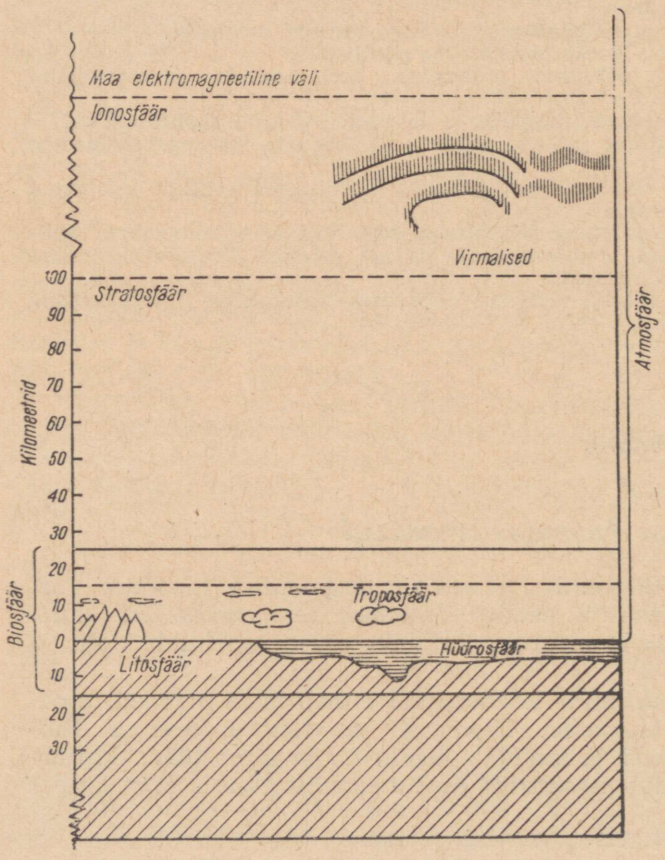
[1] Biomass ehk V. Vernadski järgi «elusaine».

eriline kest või sfäär, mida asustavad elusorganismid. See Maad ümbritsev kest või elu valdusala kannab biosfääri nimetust (*bios* — kreeka k. elu, *sphaira* — kreeka k. kera). Esimest korda kasutas seda nimetust J. B. Lamarck. Õpetuse biosfäärist lõi aga akadeemik Vladimir Vernadski.

Planeedil Maa eristatakse mitut sfääri.

Maakoor ehk litosfäär (*lithos* — kreeka k. kivi) kujutab endast maakera välimist tahket kesta, mille paksus on kuni 30 km, mägistel aladel — kuni 70 km. See koosneb kahest kihist — ülemisest graniidikihist (10—40 km), millel lasuvad settekivimid, ja alumisest basaldikihist (30 km).

70,8% Maa pinnast katavad ookeanid, mered, järved ja jõed, mis kõik üheskoos moodustavad hüdrosfääri. Hüdrosfääri paksus maailmameres on keskmiselt 4 km, tema üksikute nõgude sügavus aga kuni 11,5 km.



Joon. 186. Maa geosfäär.

V. Vernadski (1863—1945)

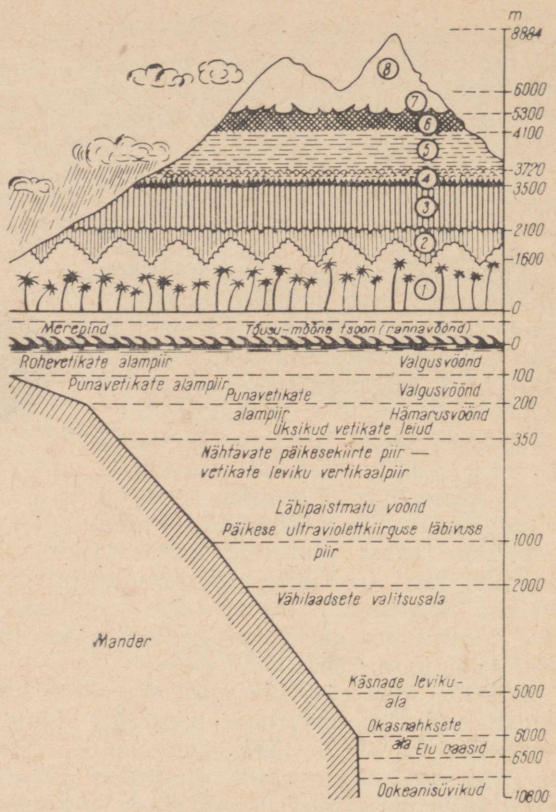
Atmosfääri alumine, maapinnaga kokkupuutuv osa kannab **troposfääri** nimetust (*tropos* — kreeka k. pööre). Troposfäär sisaldab veeauru, mille hulk eri kohtades on erinev. Troposfääri kohal eristatakse teist õhkkesta — kuni 100 km kõrgusega **stratosfääri** (lad. k. *stratum* — kate). Atmosfääri ülemises osas on osooniekraan — osoonikiht, mis peegeldab tagasi elusatele organismidele hävitavalt mõjuvaid kosmilisi kiiri ja Päikese ultraviolettkiirgust. Ülevalpool jätkub 500 km kõrguseni **ionosfäär** — ioniseeritud aatomitest koosneva hõrendatud gaasi kiht, sellest edasi aga Maa elektromagnetiline väli (joon. 186).

Kõikide Maa sfääride seas on eriline koht **biosfääril**. Ta haarab endasse maapinna, litosfääri ülemise osa, hüdrosfääri, troposfääri ja stratosfääri alumise osa. Biosfääri piirid määrab ära erinevate organismide eluvõime. Biosfääri piire — ülemist atmosfääris ja alumist litosfääris ja hüdrosfääris — tähistab elusolendite esinemine. Biosfääri äärmistes osades leiame ainult madalamaid organisme — baktereid. Bakterite ja seente eosed kantakse õhuliikumistega stratosfääri 22 km kõrgusele, anaeroobseid baktereid aga leitakse maakoore hapnikuta keskkonnas üle 3 km sügavusel.

Kõrgemad taim- ja loomorganismid esinevad maapinna ümbruses (joon. 187). Biosfääri ülemise piiri määrab kindlaks kiirgusenergia, alumise — maasügavuste kõrge temperatuur ($T = 100^\circ$ C).

Biosfäär ja ainete ning energia ringkäik. Maa biomass mitte ainult ei sõltu elutingimustest, vaid haarab endasse kõik biosfääri keemilised protsessid ja muudab nende suunda. Energeetilises mõttes on Maa avatud süsteem, milles üheaegselt toimub energia juurdevool ja kadumine. Maa saab energiat erinevatest allikatest. Peamised neist on päikese energia ja radioaktiivse lagunemise energia. Maa evolutsiooni käigus radioaktiivne aine lagunes. 3 miljardit aastat tagasi tekkis radioaktiivse lagunemise arvel 18 korda rohkem soojust kui praegu.

Peamist osa Maa elusorganismide energiavarustuses mängib



Joon. 187. Elu piirid biosfääris: 1 — troopilised ja subtroopilised metsad; 2 — laialehised metsad; 3 — mägiokasmetsad; 4 — mägipõõsastikud ja -aasad; 5 — alpiaasad; 6 — külmad mägikõrbed; 7 — kaljud; 8 — kõrgmägede igijää.

pidevalt laekuv päikeseenergia ($1{,}26 \cdot 10^{24}$ cal aastas)[1]. 42% sellest energiast peegeldub maailmaruumi, 58% neeldub atmosfääris ja pinnases. Neeldunud osast kiirgab Maa tagasi 20%. Üle 10% kulub vee aurustamiseks maailmamere pinnalt (519 000 km^3 aastas). Maapinnale langevast päikeseenergiast akumuleerivad õistaimed umbes 1,5—2,0% ja vetikad kuni 3,5% ja see energia satub biosfääri energiaringkäiku.

Päikeseenergia abiga omastavad maakera maismaa- ja veetaimed aastas 145 miljardit tonni süsinikku. Sealjuures neelavad nad umbes 400 miljardit tonni CO_2 ja eraldavad umbes 300 miljardit tonni O_2 — selle maht ületab Vahemere mahu. Taimede poolt eraldatud vaba hapnik moodustab stratosfääri ülapiiril, 45 km kõrgusel ookeanipinnast pikalainelise päikesekiirguse mõjul osooniekraani ($O_2 \rightarrow O_3$).

[1] Selles peatükis toodud arvud on ligikaudsed, kuna teaduslikud uurimused täpsustavad neid pidevalt.

Roheliste taimede fotosünteesiga samaaegselt toimub mastaabilt peaaegu sellele võrdne orgaaniliste ainete hapendumine hingamise, põlemise, käärimise ja mädanemise protsessides. Nendes protsessides eraldub soojus, H_2O ja CO_2. Osaliselt kuhjub päikeseenergia miljoneid aastaid tagasi elanud taimede jäänustes — kivisöes, naftas, sapropeelis ja turbas.

Ainete ringkäigu tohutu ulatus ja vastastikune sõltuvus Maal selgub järgmisest arvestusest. Ilma taimede fotosünteesiva tegevuseta suureneks 100 aasta jooksul CO_2 sisaldus õhus 1%-ni, mis viiks inimeste ja loomade lämbumisele. Sealjuures algaks Maa kliima üldine soojenemine. Arktise ja Antarktise jääd sulaksid. Selle tulemusel tõuseks maailmamere pind 50 m võrra, mis kutsuks esile osa mandrite üleujutamise.

Biosfääris toimub vee, süsiniku, lämmastiku ja kõigi teiste elusorganismide koostisse kuuluvate ainete ringkäik.

Enam kui 2 miljardi aasta jooksul on biosfääris toimunud kliimaatilised muutused. Biosfääri maht suureneb, haarates planeedi uusi, varem elutuid osi.

Elu tihedus ja biotsönoosid. Suurim elusa massi kontsentratsioon esineb Maa ja ookeani pinna lähedal. Eriti palju on elusorganisme õhukeses alumises atmosfäärikihis ja mullapinnas. Elu vajalikuks tingimuseks on pidevas ringkäigus olev vesi, mis moodustab kaalult üle $^2/_3$ elusast mateeriast; samuti hapnik, mis on vajalik hingamiseks ning soodustab elu ja paljunemise intensiivsust. Vajalikud on organismide koostisse kuuluvad elemendid (meenutage organismide keemilist koostist V peatükist).

Päike on Maa energiaallikas. Seda energiat transformeerivad fotosünteesi protsessis taimed, kusjuures moodustuvad orgaanilised ained ja vabaneb hapnik.

Biomassi kogunemist biosfääris määrab see planeedi osa, millele langevad valguskiired. Biomass «valgub laiali» mööda planeeti, kuhjudes seal, kus valitsevad valgus, soojus ja vesi. Poolustelt kuni ekvaatorini suureneb biomass järk-järgult. Kõige tihedamalt on taimi ja loomi niisketes troopikametsades (joon. 188).

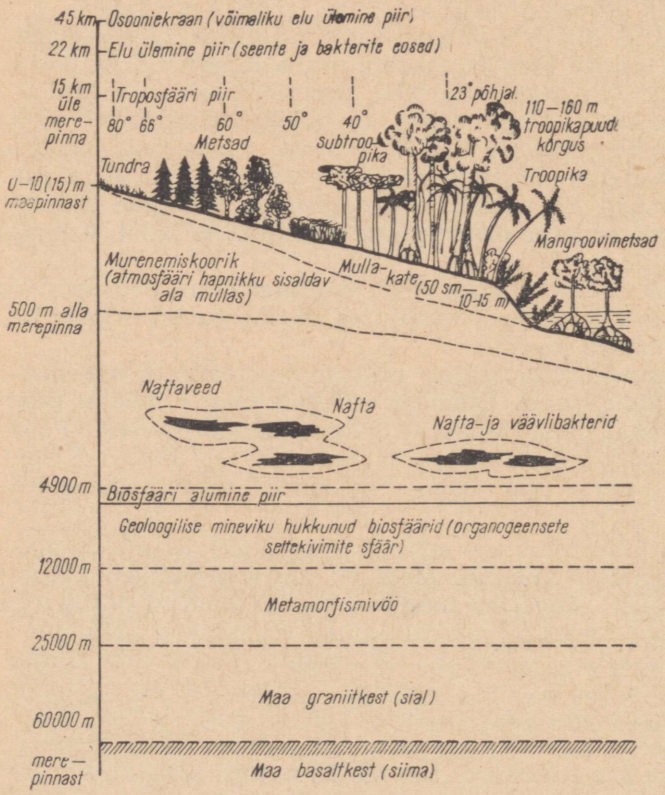
Biomassil on tohutu taastootmise (paljunemise) ja mööda planeeti «laialivalgumise» energia. Mõnedel aastatel puhkeb paljunemisenergia sellise jõuga, et tungivad peale tohutud putukate, näriliste ja teiste loomade massid, mida kutsutakse «elulaineteks». Biosfääris esineb «elurõhk» (Vernadski järgi), mis täidab ruumi elusolenditega. Ruumi haaramist erinevate organismide poolt tingib ebaühtlane põlvkondade vaheldumise kiirus. Eriti vees elavad pisiorganismid paljunevad ja levivad väga kiiresti. Mõnede bakterite arv kahekordistub iga 22 minuti jooksul, s. t. 65 korda ööpäevas.

Elu tihedus sõltub organismide mõõtmetest ja nende eluks vaja-

likust pindalast. Lemmelde ja klorella-vetika jaoks vajalik pind on võrdne nende mõõtmetega. Elevant vajab toitumiseks 30 km^2 suurust pindala, mesilane vajab mee kogumiseks 200 m^2, mesilaspere aga 10 km^2, kõrreline taim kasvamiseks 30 cm^2 pinnast.

Organismid elavad piiratud ruumis ja nende levimist ei takista niivõrd eluta looduse tingimused kuivõrd teised organismid. Biosfääris käib julm konkurents organismide vahel ruumi, toidu, valguse ja hapniku pärast. Organismide erinev keskkonnatingimustega kohastumise aste määrab ära elu tiheduse biotsönoosides.

E l u m u l l a s. Muld kujutab endast maakoore kobedat pealiskihti, mida muudavad atmosfäär ja organismid. Seda kihti täiendavad pidevalt orgaanilised jäätmed. Muld on moodustunud biosfääri toimel. Mullakihi paksus suureneb poolustelt ekvaatorile liikudes 5 cm-lt 10 m-ni. Põhjalaiustes on eriline



Joon. 188. Elu levik biosfääris.

tähtsus huumuskihil, mille paksus leetmuldades on 5—10 cm, mustmuldades 1—1,5 m. 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 (kuni 6—7 m sügavusel) ja teiste suurte loomade urud, usside käigud, putukate ja nende vastsete kogumid. Kõik need loomad tambivad, kaevavad ja uuristavad mulda. Ühe või teise loomaliigi üksikindiviidi tegevus on tähelepandamatu, kõik koos aga teevad ära tohutu töö. Näiteks viivad vihmaussid mulda pinnale, kusjuures muld läbib nende sooltoru. C. Darwini vaatluste järgi moodustavad vihmaussid igal aastal 0,5 cm paksuse mullakihi, mis kaalub 1 ha kohta 25 tonni.

1 g leetmullas leiame:

baktereid	—	kuni 400 000 000
seeni	—	2 000 000
vetikaid	—	100 000
ainurakseid	—	10 000

Kõik need organismid teevad tohutut tööd ainete muundamisel. Mullas kulgevad pidevalt ainete muundumisprotsessid. Vesi, mis satub mulda vihmadega ja lume sulamisel, rikastab mulda hapnikuga ja lahustab mineraalsooli. Osa lahuseid jääb mulda, teine osa voolab jõgedesse ja ookeani. Samal ajal aurustub mullast pidevalt kapillaarsuse tõttu ülespoole tõusvat põhjavett. Toimub lahuste ringkäik ja soolade sadestumine erinevates mullahorisontides. Mullas toimub ka gaaside vahetus. Varakevadine vetikate paljunemine mullapinnal rikastab mulda hapnikuga. Suur hulk õhku tungib mulda öösel, kui gaaside ruumala temperatuuri langedes väheneb. Õhuhapnikku neelavad mullas elutsevad taimed ja loomad ning ta satub keemiliste ühendite koostisse. Mulla kuumenedes päeval eralduvad gaasid: süsihappegaas, väävelvesinik ja ammoniaak. Koos õhuga mulda sattunud lämmastikku seovad mõningad bakterid.

Muld on keskkond, mis reageerib välistingimuste muutumisele. Kõik mullas toimuvad protsessid mõjutavad biosfääri elu.

Mikroorganismide osa biosfääris. Mikroorganismide laialdase leviku tõttu atmosfääris, litosfääris ja hüdrosfääris, nende kiire paljunemise ja võime tõttu kõige erinevamates tingimustes avaldada aktiivse elutegevusega mõju ainete ringkäigule, on neil biosfääris tohutu tähtsus.

Mõnede bakterite eoste eluvõime säilib temperatuuride juures —253° C ja +160° C. Tühiste mõõtmete ja kaaluga mikroorganismid ja nende eosed kanduvad troposfääri piiride taha.

Bakterite laia levikut soodustab nende kiire paljunemine.

Üks gramm baktereid sisaldab 636 miljardit isendit. Ühe bakteri järeltulijad täidaksid segamatult paljunedes 5 ööpäeva jooksul maailmamere.

Suhtumise järgi hapnikusse jagatakse bakterid aeroobseteks ja anaeroobseteks. Viimased ei vaja oma elutegevuseks vaba hapnikku ning nad võivad elutseda litosfääri ja hüdrosfääri sügavustes. Nende energiaallikaks on anorgaaniliste ühendite keemilised reaktsioonid.

Toitumise tüübilt ja energia kasutamiselt jagatakse bakterid kemobakteriteks, saprofüütideks ja parasiitideks. Mikroorganismide elutegevuse kitsas «spetsialiseerumine» viib ühtede vormide vahetumisele teistega. Piimhappebakterid hapendavad piimasuhkrut ning hukkuvad iseenda loodud piimhappe keskkonnas, nende asemele tulevad aga võihappebakterid. Mulla mädanemist esile kutsuvad mikroorganismid lagundavad orgaanilisi jäänuseid ning eraldavad sealjuures ammoniaaki, mida teised bakterid muudavad alguses lämmastikus- ja seejärel lämmastikhappeks. Väävelbakterid hapendavad roiskumisel eralduvat väävelvesinikku väävli ja väävelhappeni. Lämmastik- ja väävelbakterid kasutavad sealjuures CO_2 ilma valguse osavõtuta.

Nitrifitseerivate bakterite tegevuse tulemusel kogunevad mulda lämmastikühendid. Samal ajal toimub mullas ka vastupidine protsess — denitrifitseerivad bakterid eraldavad õhku ammoniaaki.

L. Pasteur nimetas baktereid «looduse suurteks hauakaevajateks». Igas minutis sureb miljoneid organisme. Taimede ja loomade surnud kehade kõdunemine on suurim protsess biosfääris, mis uuesti muudab keerulised orgaanilised ühendid lihtsateks elementideks. Kõdunemisel eraldub atmosfääri suurel hulgal CO_2 ja H_2S. Kui rohelised taimed on orgaanilise aine tootjateks, siis on loomad selle tarbijateks ja mikroorganismid lagundajateks.

68. Elementide migratsioon biosfääris

Elementide ringeprotsessid ja toitumisahelad. Kõdunemisel vabanevad elemendid satuvad mulda või atmosfääri ning lülituvad uuesti biosfääri ainete ringkäiku, haaratakse elusorganismide poolt «elukeerisesse».

Uurimused näitavad, et biosfääri elementide ringkäigus kuuluvad elusorganismide koostisse ühed ja needsamad elemendid (C, H, O, S), mida nimetatakse biofiilseteks (elulembesteks) elementideks. Eluta loodusest lähevad nad taimede koostisse, taimedest — loomadesse ja inimesesse. «Elukeerise» (V. Vernadski) poolt haaratud aatomid lähevad organismist organismi ja püsivad eluringis sadu miljoneid aastaid. Orgaaniliste ainete koostisse kuuluvad 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 iso-

toop — ^{16}O. Orgaanilises looduses on valdav süsinikuisotoop ^{12}C, anorgaanilises ^{13}C.

Nii toimub biosfääris biofiilsete elementide ringkäik. Need elemendid lähevad üle ühest organismist teise.

Biosfääri elementide migratsioon organismist organismi toimub toitumisahelate kaudu (meenutage X peatüki materjali).

M a a i l m a m e r i. Maa hüdrosfäär ehk maailmameri hõlmab suurema osa planeedi pinnast. Vee üldmaht maailmameres on 1370 miljonit km^3. See on 15 korda suurem kui merepinnast kõrgemal oleva maismaa maht (91 milj. km^3).

Kogu merede veemass on asustatud elusorganismidega. Veeelanike arvele langeb 90% kogu planeedi biomassist. See on kõige võimsam elu avaldumisvorm biosfääris.

Veel on erilisi omadusi, mis on organismidele tähtsad. Vee suur soojusmahtuvus pehmendab äärmiste temperatuuride mõju suvel ja talvel ning ühtlustab ookeanide ja merede temperatuuri. Vee soojusjuhtivus ületab õhu oma 20 korda. Ookeanid külmuvad ainult pooluste läheduses, kuid ka siin moodustub jää ainult pinnal ja selle all eksisteerivad elusorganismid.

Vesi on hea lahusti. Ookeanide vee koostisse kuuluvad mineraalsoolad ja umbes 60 keemilist elementi. Mis on aga eriti tähtis taimede ja loomade elutegevuse seisukohalt — vees on lahustunud O_2 ja CO_2. Peale selle eraldavad CO_2 hingamisel ka arvukad vetikad. Vetikate fotosüntees rikastab vett O_2-ga.

Maailmameredes on püsiv soolade kontsentratsioon — 3,45%. Merevees lahustunud soolad ja nende suhe on lähedased imetajate vere koostisega.

Soolade koostis %%-des

Ioonid	Merevesi	Veri
Na	30,59	39,00
Mg	3,76	0,40
Ca	1,20	1,00
K	1,11	2,70
Cl	55,27	45,00
SO_4	7,66	—
CO_3	0,21	12,00
Br	0,19	—
P_2O_5	—	0,40

Maailmamere vee füüsikalised omadused ja keemiline koostis on väga püsivad ja kujutavad endast eluks soodsat keskkonda. Pöörake tähelepanu ookeani vee läbipaistvusele. Päikesekiired tungivad selles 200 m sügavusele. Roheliste vetikate fotosüntees toimub kuni 100 m sügavuses vees. Kogu sellest sügavusest ülevalpool asuv veekiht on täidetud mikroskoopiliste üheraku-

liste rohevetikatega, mis peaasjalikult kuuluvad ränivetikate hulka. Merede arvele langeb 80% kogu maapinnal toimuvast fotosünteesist. Merede pindkihi vetikad on peamised päikeseenergia keemiliseks energiaks transformeerijad. Maailmamere floora kogub igal aastal 325 miljardit tonni orgaanilist ainet.

Vees hõljuvad vetikad moodustavad erilise biotsönoositüübi — planktoni e. hõljumi (*plankton* — kreeka k. ekslev). Ränivetikate mass meelitab kokku suurel hulgal mikroskoopilisi ja pisiloomi. Siin toituvad ka loomade vastsed, kes arenedes laskuvad ookeanisügavustesse. Planktonil on valdav tähtsus merede loomariigi toitumisel. Ookeanis tulevad kõige selgemalt esile elusorganismide toitumisahelad. Ränivetikatest toituvad aerjalalised, kes omakorda on heeringa ja teiste kalade toiduallikaks. Heeringatest toituvad röövkalad ja kajakad. Mikroplanktonist toituvad ka tursamaimud. Suuremaks kasvades kasutab tursk toiduks algul vähilaadseid, molluskeid ja usse, hiljem heeringat ja teisi kalu. Planktonist toituvad näiteks ka sinivaalad.

Peale planktoni ja vabalt ujuvate organismide on maailmameres oluline koht kinnitunud või roomavatel põhjaorganismidel.

Suured vetikad kasvavad ookeanide ja merede rannikute lähedal: rohevetikad ainult 50—100 m sügavusel, pruunvetikad, nagu adru, sõrmlehtadru ja suhkru-lehtadru 100—150 m sügavusel, kõige sügavamal, kuni 200 m sügavusel aga kasvavad punavetikad. Sageli kasvavad rannikuäärses meres koos rohe-, pruun- ja punavetikad. Paljud neist kasvavad väga suureks (joon. 189). Lehtadrud on kuni 4 m pikkused, pirnadru aga 300 m pikkune. Vetikate tihnikud kihavad kõikvõimalikest loomadest. «Maismaa metsad ei ole kaugeltki nii loomarikkad kui merede metsad,» kirjutas C. Darwin. Vetikate hulk suureneb poolustelt ekvaatori suunas.

Ookeanides võib samuti jälgida organismide tihedaid koondumisi: planktoni, rannikuäärse elutsooni ja avamere vetikakogumeid (näit. Sargasso mere tüüpi mariadrude kogumik). Elukogumike hulka kuuluvad ka korallmetsad.

Surnud elusorganismid sadenevad aeglaselt ookeani põhja. Paljudel neist on räni- või lubikestad ja lubikojad. Ookeani põhjas moodustuvad settekivimid. Nii leitakse mere kohal, mis 170 miljoni aasta jooksul kattis Kesk-Euroopat, maa seest kipsi, lupja ja kriiti. Kriidis võib kergesti eristada ürgsete loomade kodasid.

Kõigis ookeani veekihtides leiame baktereid, kes muundavad orgaanilisi aineid anorgaanilisteks ja koguvad veest metallide ühendeid.

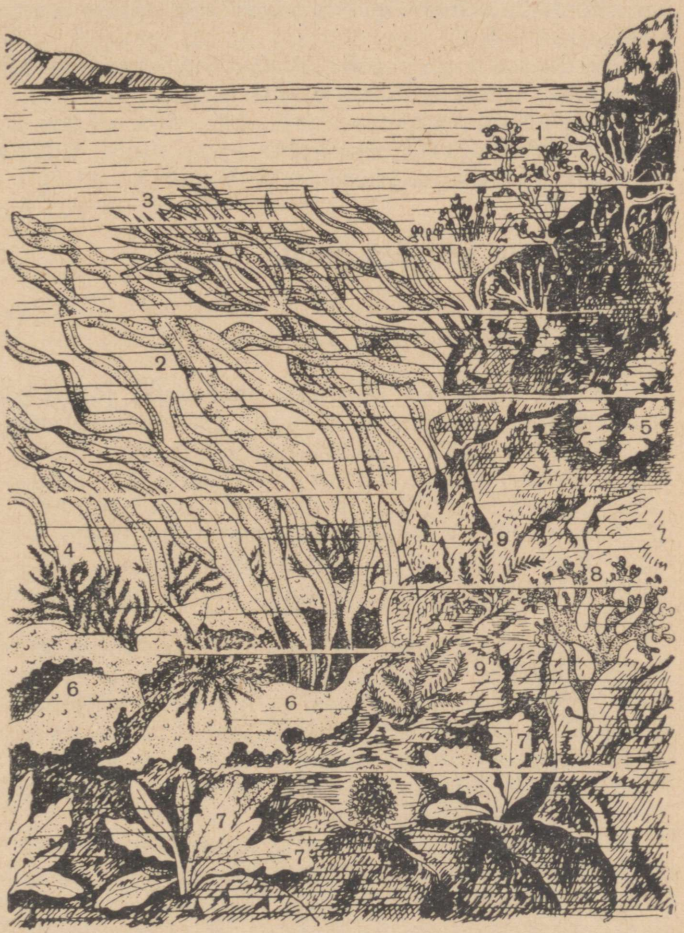
Reas maades on tõusnud küsimus ookeani toiduressursside täielikumast kasutamisest.

Maailmamerd tuleb vaadelda biosfääri osana.

Biosfäär — orgaanilise maailma evolutsiooni tulemus. Biosfäär on elu poolt hõivatud maakoore osa.

«Elu haarab tunduva osa maapinna ainet moodustavatest aatomitest. Tema mõjul satuvad need aatomid katkematusse intensiivsesse liikumisse. Neist luuakse pidevalt miljoneid kõige erinevamaid ühendeid. See protsess on kestnud pidevalt kümneid miljoneid aastaid, ürgsetest arheosoilistest aegadest kuni meie ajani... Maa pinnal ei ole keemilist jõudu, mis tegutseks püsivamalt kui tervikuna võetud elusorganismid ega ole sellepärast ka oma lõpptulemustelt võimsamat jõudu» (V. Vernadski).

Biosfäär muutus koos orgaanilise maailma evolutsiooniga. (Meenutage, kuidas tekkis atmosfäär ja elu maakeral.)



Joon. 189. Põhjamere vetikad: rohevetikad: 4 — karevetikas; pruunvetikad: 1 — adru; 2 — suhkru-lehtadru; 3 — sõrmlehtadru; punavetikad: 5 — porfira; 6 — litotamnion; 7 — delesseeria; 8 — hondrus; ptilit.

Aatomite biogeenne migratsioon erineb üherakuliste ja hulkraksete organismide juures järsult nii kiiruselt kui intensiivsuselt. Ei ole võrreldav ka nende paljunemise ja kasvu energia. Üherakuliste organismide üleolek selles suhtes on mänginud esmajärgulist ja erandlikku osa biomassi evolutsioonis.

Ainult bakterite ja vetikate — f ü t o p l a n k t o n i — baasil ilmusid ja pikendasid järk-järgult toitumisahelaid pisimad loomorganismid — z o o p l a n k t o n.

Loodusliku valiku protsessis kujunesid vormid, mis olid kohastunud erinevates keskkondades elutsemisele. Biomass hakkas «laiali valguma» mööda maapinda, täites iseenda loodud biosfääri.

Elu ülevus saab mõistetavaks, kui vaadelda tervikliku kogumina kõiki tema avaldusi planeedil Maa.

«Kõige suurem iseteadvuse väljendus on see, kui mõtlev inimene püüab määrata oma kohta mitte ainult meie planeedil, vaid ka kogu kosmose ulatuses» (V. V e r n a d s k i).

69. Inimese osa biosfääris

N o o s f ä ä r. Orgaanilise maailma evolutsiooni protsessis omandas erilise tähtsuse loomade närvisüsteemi ja eriti inimese aju arenemine.

Inimkond kui osa biosfääri biomassist sõltus pika aja jooksul ümbritsevast loodusest. Peaaju arenedes muutus aga inimene ise võimsaks edasise evolutsiooni teguriks Maal. Selleks aitas kaasa mitmesuguste kasvava võimsusega energiaallikate allutamine inimesele, millega seoses inimkond muutis tohutul määral maakoore ehitust, soodustades 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 inimese tegevusega biosfääri aatomite migratsiooni. See toimus eriti viimase sõja ajal. Sõja pidamiseks kulus aastas kümneid miljoneid tonne rauda, terast, tsementi, naftat, sadu miljoneid tonne kivisütt.

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 cal soojusenergiat. Aatomienergia alistamine viib biosfääri tunduva hulga radioaktiivseid kiirgusi.

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. V. Vernadski arvab oma biosfääriõpetuses, et käesoleval ajal loob inimkond uut Maa kesta — noosfääri (Maa «mõistuse kesta»).

Looduslike seaduspärasuste rikkumise tulemused. Maailma ajaloos on fakte, mis räägivad sellest, et kuni käesoleva ajani ei ole inimkond alati mõistlikult kasutanud oma käsutuses olevaid energialiike. Inimkond pidas hävitavaid sõdu. Ebaõige ning isegi kuritegelik oli inimese suhtumine loodusesse. Plaanimajanduse puudumine kapitalistliku ühiskonna tingimustes kiirendas looduslike ressursside ammendamist. Inimene ei tundnud looduse seaduspärasusi, rikkus neid ega kujutanud 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 Väike-Aasias ja Mesopotaamias ning samuti ka Rooma ja Kreeka kaotasid oma võimsuse, teised aga, nagu Horesm, Süüria ja Põhja-Aafrika riigid, kadusid täiesti röövelliku suhtumise pärast mullasse. Mulla kurnamine muudab maa kõrbeks. Metsade hävitamine kutsub esile muldade kuivamise, nende struktuuri kaotamise, erosiooni ja uhteorgude tekke, mis viivad viljasaakide langusele. Metsa osatähtsus looduses ja rahvamajanduses on suur. Mets hoiab kinni tuuli ja pehmendab kliimat. Samal ajal aeglustab mets lume sulamist, niisutades põlde ja säilitades jõgedes püsivat veerežiimi. Seetõttu ei ole kevaditi üleujutusi. Selles on metsa suur tähtsus omalaadse veekaitsena. Eriti kasulikud on metsad mägedes, kus puude põimunud juured kaitsevad pinnast uhtumise eest, hoiavad ära tulvavett ja laviine ning tasastel kohtadel uhteorgude teket.

Metsade röövellik hävitamine viis selleni, et XVIII saj. oli Prantsusmaal 17 milj. ha metsa, XIX saj. säilis aga ainult 8 milj. ha. Põldusid põletav tuul sirokko hakkas puhuma Itaalias pärast metsade hävitamist Apenniini mägedes. Mägedest tulevad veevood ja maalihked hakkasid tühjendama põldusid tasandikul. Üleujutused, pinnase uhtumine ja kuivatamine on metsade hävitamise tulemuseks peaaegu kõikides maades.

Ka NSV Liidus kannatavad metsade maharaiumise tagajärjel põllud erosiooni, uhtumise, tuulega ärakandmise ja mitteküllaldase väetamise all. Toodud näited ja faktid kõnelevad metsade kaitse ja uuendamise vajadusest. Kaitsta on vaja ka vete puhtust. Mõned tööstusettevõtted kasutavad vett ning lasevad jõgedesse ja järvedesse loomadele ja inimesele mürgiseid ja kahjulikke jäätmeid. Paljudes veekogudes ei saa sellepärast elada kalad, taimed ja loomad. Paisude ehitamisel jõgedele ei arves-

tata mõnikord seda, et juba miljoneid aastaid liiguvad jõgedes vastuvoolu kudemispaikadele väärtuslike kalaliikide parved. Visalt püüdes eesmärgi poole purustavad nad ennast vastu tõkkeid. Lakkab kalarikkuste taastootmine.

Tehased ja vabrikud saastavad atmosfääri suitsuga ja paiskavad õhku kahjulikke gaase ning peeni aineosakesi. Suurlinnades langeb ühele ruutkilomeetrile aastas üle 400 tonni nõge ja tolmu.

Aatomipommide katsetamine ja vastutustundetu suhtumine aatomienergiale põhinevate tööstusharude jäätmetesse viivad õhu, vee ja pinnase saastamisele radioaktiivsete ainetega. Radioaktiivsust antakse toitumisahelatega edasi nii ookeanis kui ka maismaal. Radioaktiivsusega nakatub esmajoones plankton. Kaladel muutuvad planktonist toitumise tõttu kõige radioaktiivsemaks maks, neerud ja sooltoru. Kalatoidulised linnud kannavad radioaktiivsuse kaldale. Jäätmete mädanemisel muutuvad radioaktiivseks ka bakterid. Ülemäärane õhu, vee ja pinnase radioaktiivsus ning radioaktiivsete ainete kogunemine elusorganismidesse võib kutsuda esile eluvõimetute ja haigete isendite ning väärarendite massilise ilmumise nii taimede ja loomade kui ka inimeste seas.

L o o d u s k a i t s e. 1957. aastal võttis Eesti NSV Ülemnõukogu vastu seaduse «Eesti NSV looduse kaitsest». Seadus kohustab asutusi ja üksikisikuid hoiduma kahjustamast loodust, kaitsma metsi, pinnast, maapõue, vett, taimi ja loomi. Elu taastootmise jõud on hiiglaslikud ja piisab mõistlikust tegutsemisest bioloogiliste seaduspärasuste tundmise alusel, et looduse rikkused üha suureneksid. Huvitavate biotsönooside, haruldaste taimede ja väljasurevate loomadega maastike säilitamiseks puutumatus olekus loodi looduskaitse- ja keelualad. 1948. aastal organiseeriti Looduse ja Loodusvarade Kaitse Rahvusvaheline Liit. 50 riigi vahel on sõlmitud rahvusvaheline kokkulepe vaalade ja väärtuslike kalaliikide püügi reguleerimise kohta ookeanis.

70. Bioloogia ja tehnika probleemid

B i o o n i k a. Viimastel aastatel on hakanud bioloogiliste objektide ja nähtuste vastu tundma suurt huvi täppisteadused: matemaatika, füüsika, keemia, geoloogia ja küberneetika. Tekkisid uued teadused: biofüüsika, biokeemia, biogeokeemia, radiobioloogia, kosmiline bioloogia 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 bioonika (*bion* — kreeka k. elu element) avastab elusorganismides arvu-

kalt huvitavaid näidiseid uurimiseks ja tehniliste aparaatide konstrueerimisel jäljendamiseks. Bioonika on teadus süsteemidest, mis ühendavad bioloogilisi ja tehnilisi printsiipe. Miljoneid aastaid enne kaasaja leiutusi eksisteeris looduses reaktiivliikumise printsiip (seepia) ja lokatsioon (nahkhiirte lendamine pimeduses, kalaparvede äratundmine delfiinide poolt 3 km kauguselt). Bioloogidega üheskoos töötavad insenerid on 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 aitas konstrueerida kiirusemõõtja, mis näitab lennukite liikumiskiirust. Meduusi organi ehitus, mis ennustab tormi saabumist 15 tundi ette, viis analoogilise automaadi leiutamisele 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 lihasejõul töötava lennuaparaadi kergus, konstruktiivsus, müratus ja ökonoomilisus energiakulu suhtes. Mesilase tiivad teevad 180—280 lööki sekundis. Väikesed linnud lendavad üle Sahaara kõrbe 30 tunniga, tehes 5 tiivalööki sekundis. Kui võrrelda mitte absoluutseid lennukiirusi, vaid kiirust looma kehapikkuse suhtes, võib teha järelduse, mis ei ole sugugi lennuki kasuks.

Imekspandav on ükskõik millise linnu maandumise ja pessalennu kindlus ja elegantsus. Ei ole võrreldavad kala ja allveelaeva sukeldumise ja pinnaletõusmise kiirus, kergus ja müratus. Praegusel ajal uuritakse delfiini naha elastsust, mille abil loom ületab vee pidurdusliikumise, milleks allveelaevadel kulub $^{9}/_{10}$ liikumapanevast jõust.

Lennukiirus

Lendav objekt	Lennukiirus 1 tunnis	Kehapikkus mahub ühte kilomeetrisse
Parm	55 km	30 000
Kuldnokk	70 km	10 000
Pääsuke	100 km	8 000
Lennuk	900 km	1 500

Arvutusmasinad on ajuga võrreldes erakordselt kohmakad ja ebaökonoomsed. Inimese suhteliselt väikese mahuga peaajus on üle 10 miljardi raku ja 10 triljonit närvikiudu. Samasuguse ele-

mentide arvuga küberneetiline masin kujutaks endast pilvelõhkujat, mille kõrgus oleks 100 m ja põhja pindala 100 m^2 ning vajaks elektrienergiat 1 milj. kW. Bioonika-alastel uurimustel on suur tähtsus mitte ainult tehnikale, vaid ka bioloogiale.

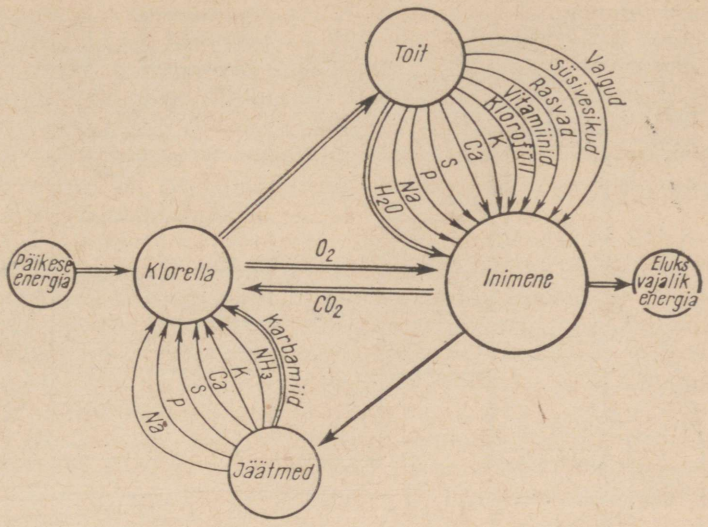
Kunstlikud ainevahetuse biosüsteemid. Inimeste eluks ebasoodsates tingimustes (Kaug-Põhjas, Antarktises, kaljusaartel, allveelaevadel, kosmoses), kus puudub muld ning ei ole võimalust saada värskeid, suure vitamiinisisaldusega taimi, tuleb neid kasvatada eriliste meetoditega. Nende meetodite aluseks on võetud ammutuntud taimede vesikultuur, millele lisandub vajalike tingimuste automaatne kindlustamine. Taimede kasvatamise süsteem ilma mullata kannab hüdropoonika nimetust. Kasulik on ehitada hüdropoonika-kasvuhooneid tehaste lähedusse, kus nende kütmiseks võib kasutada kuumaveejääke, õhu väetamiseks puhastatud CO_2 ahjudest ja mulla asemel pestud räbu. Betoonreservuaarid täidetakse šlaki või kruusaga, millesse istutataksegi taimed. Reservuaare täidetakse perioodiliselt mineraalsoolade lahusega ning samaaegselt õhutatakse taimejuuri. Talvel valgustatakse taimi loomuliku valguse lampidega ning hoitakse ühesugust temperatuuri ja CO_2 sisaldust õhus. Kõik need tingimused luuakse automaatselt. Hüdropoonika vabastab inimese mahukatest mullatöödest ja annab võimaluse põllumajanduslike produktide tööstuslikuks tootmiseks.

Eriline tähtsus on kunstlikel biosüsteemidel, mis kindlustavad ainevahetuse üherakuliste vetikate kasvatamisel.

Mikroskoopiline planktonivetikas klorella on köitnud teadlaste tähelepanu oma kõrge fotosünteesivõimega. Klorella kasutab kunstlikes tingimustes kuni 20% päikeseenergiast (õistaimed 2%). Tema saagis ulatub 700 ts 1 ha-lt, s. t. 25 korda rohkem nisusaagist ja 10 korda kartulisaagist. Kõige suuremat vetikasaaki saadakse vee küllastamisel CO_2, O_2 ja sooladega, päikese- või elektrivalgustuse juures ning lahuse segamisel fotosünteesiprotsessi ühtlaseks kulgemiseks. Sõltuvalt soolalahuse koostisest annab klorella 8—88% valku, 4—85% rasvu ja 5—37% süsivesikuid ega jäta jääke juurte, varte või lehtede näol.

Kosmilise bioloogia ülesanded. Klorella ja teiste üherakuliste vetikate iseärasustega on mingil määral seotud ka kauged kosmilised lennud. Inimene vajab tunnis 30 l hapnikku, päevas 1 l vett ja 2 kg mitmesuguseid toitaineid (ehk 500 g kuivainet). Pikaajaliste lendude korral on varude kogumaht ja -kaal seega väga suur. Sellepärast tuleb kosmoselaeva kabiinis luua atmosfääri ja toitu, s. t. peab toimuma miniatuurne ainete ringkäik (joon. 190).

Üheks sobivaks taimeks sellise ainete ringkäigu loomiseks on klorella. Kiire paljunemise korral annab ta 1 l lahuses päevas 55 g kuivtoodangut. Kümnest liitrist lahusest piisab ühe inimese toitmiseks ja hapnikuga kindlustamiseks klorella poolt neela-



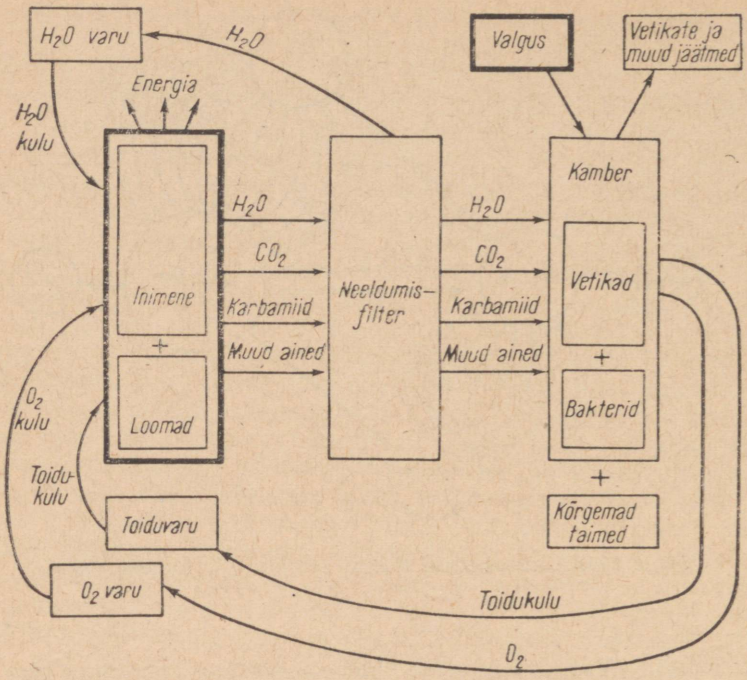
Joon. 190. Ainevahetuse skeem klorella ja inimese vahel.

tava CO_2 arvel. 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 mõningad füüsikalis-keemilised vahendid (joon. 191). Juhitava ainete ringkäigu loomine suletud ruumis võimaldab inimesel laskuda Kuule ja atmosfäärita planeetidele.

Uue teaduse — kosmilise bioloogia — ees seisab palju probleeme: inimese kindlustamine vajalike tingimustega eluks kosmoses; kiirguseohu ületamine; inimorganismi vastupidavuse tõstmine ebatavalistes tingimustes — kaaluta olekus, suurte kiirenduste ja vähese liikuvuse ning muude sarnaste faktorite juures; inimese psühho-füsioloogiliste võimaluste uurimine kosmoselaevade juhtimisel; taimede ja loomade arenemise uurimine kosmoselennu tingimustes; võimalike elusa mateeria vormide ja nende olelustingimuste uurimine kosmoses.

Bioloogia arenguperspektiivid. XX saj. esimest poolt iseloomustasid tohutud avastused füüsika valdkonnas. Seda perioodi nimetatakse aatomisajandiks. Inimühiskonna igapäevased vajadused ja bioloogia uued avastused annavad võimaluse rääkida «bioloogiasajandi» saabumisest.

Käesoleval ajal seisab NSV Liidus ja teistes sotsialismimaades päevakorral inimese elu igakülgse parandamise probleem. Seoses sellega on bioloogia kui elu teaduse edasisel arenemisel era-



Joon. 191. Ainete ringkäigu biosüsteemi skeem kosmonaudi kabiinis.

kordne tähtsus. Bioloogia peaülesanne on kindlustada toiduga inimkonda, mis 50 aasta pärast kasvab kahekordseks.

Suure hulga toitaineid sisaldab maailmameri ning avanevad laiad võimalused neid rikkusi mitte ainult kasutada, vaid ka taastoota. Kalade, limuste, vähilaadsete ja teiste mereloomade aastane juurdekasv on üle 18 miljardi tonni. Sellest püütakse ainult 0,3%, peaasjalikult kalade ja vaalade näol. Tohutut toidureservi kujutavad endast plankton ja rannikuäärsed vetikad. Bioloogial tuleb lahendada nii vetikate kui ka mereloomade plaanipärase taastootmise küsimus. Pärilikkuse juhtimine lubab saada kõrge tootlikkusega loomatõuge ja taimesorte. Aklimatiseerimine ja selektsioon mobiliseerivad üha rohkem ja rohkem kogu maailma taimseid ja loomseid ressursse.

Teine probleemide rühm haarab inimese hügieeni ja meditsiini probleeme. Seoses viimaste aastate avastustega geneetika valdkonnas hakkas eriti arenema mikroorganismide selektsioon, eriti nende tüvede osas, mida vajatakse antibiootikumide, vitamiinide ja kasvustimulaatorite tööstuslikuks tootmiseks. Raku ehituse, ainevahetuse ja pärilike aluste uurimine aitab lahen-

dada vajalike tunnuste pärandumise juhtimise ja paljude haiguste ennetamise küsimust. Bioloogia peab avaldama mõju tehnikale, et see looks looduslikke organisme jäljendades ökonoomselt ja müratult tegutsevaid masinaid, mis ei ärritaks inimese närvisüsteemi.

Bioloogia mitte ainult ei mõjuta looduse kaitset, vaid muutub möödapääsmatuks ka looduse plaanipärasel kasutamisel ning tema rikkuste taastootmisel.

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.

Looduse seaduste tundmisel baseeruvat biosfääri plaanipärast juhtimist täielikult inimese huvides võib teostada ainult kommunistlik ühiskond.

KÜSIMUSI JA ÜLESANDEID.

1. Mis on biosfäär? Biosfääri piirid?
2. Missugused on biomassi iseärasused?
3. Mida mõistetakse «elurõhu» all?
4. Iseloomustage aatomite migratsiooni biosfääris.
5. Jutustage mõne biosfääri elemendi ringkäigust, joonistage vastav skeem.
6. Iseloomustage elu tihedust ühe biotsönoosi näitel.
7. Missugune on ühe tuntud taime või looma paljunemiskiirus?
8. Koostage organismide toitumisahela skeem ookeanis.
9. Kuidas tekkis ja arenes biosfäär?
10. Milliseid energiavorme on inimkond hakanud järk-järgult kasutama?
11. Tooge näiteid inimese poolt Maal esile kutsutud geoloogiliste muutuste kohta.
12. Mis on metsade hävitamise tagajärjeks?
13. Missuguseid loomade organeid modelleerivaid aparaate tunnete raamatute ja ajakirjade järgi?
14. Missugust ainete ringkäiku kosmoselaevas vajab inimorganism?
15. Missugune tähtsus on bioloogilistel teadmistel inimese elus ja inimühiskonna tuleviku jaoks?

Adaptatsioon — organismi kohastumine olelustingimustega, mis väljendub ehituse iseärasustes või füsioloogiliste reaktsioonide iseloomus.

Adeniin — lämmastikku sisaldav orgaaniline ühend. Kuulub adeniinnukleotiidi koostisse.

ADF — adenosiindifosforhappe lühendatud tähistus.

Ainevahetus — kõigi raku omavahel ja väliskeskkonnaga seotud fermentatiivsete reaktsioonide kogum.

Alleelsed geenid — geenid, mis paiknevad homoloogiliste kromosoomide samades punktides.

Aminohapped — orgaanilised ühendid, mille molekulis esineb aluseline aminorühm ja happeline karboksüülrühm. Kujutavad endast valgu monomeere.

Amitoos — otsene rakujagunemine, mille käigus tuum jaguneb interfaasilises olekus.

Analoogilised organid — organid, mis täidavad sarnaseid funktsioone sõltumatult oma tekkimisest.

Antibiootikumid — mikroorganismide poolt moodustatavad ained, mis tapavad teist liiki mikroorganisme või suruvad maha nende arenemise.

Areaal — ühe või teise taime- või loomaliigi, perekonna või muu rühmituse levikuala.

Aromorfoos — üldist tüüpi kohastumise iseloomuga evolutsiooniline muutus, mis viib organismi organisatsioonitaseme tõusule ja funktsioonide keerulisemaks muutumisele.

Assimilatsioon — raku sünteesireaktsioonide kogum. Enamiku sünteesireaktsioonidega kaasneb energia neeldumine.

Atavism ehk kõukumine — tagasipöördumine esivanemate tunnuste juurde.

ATF — adenosiintrifosforhappe lühendatud tähistus.

Biokeemia — teadus, mis uurib rakkude ja organismide keemilist koostist ja neis toimuvaid keemilisi reaktsioone.

Biomass — kõigi Maad asustavate elusorganismide kogum.

Bioonika — bioloogia ja tehnika vaheline piiriteadus. Uurib elusate süsteemide (organismide) printsiipide ja funktsioonide tehnikas kasutamise võimalusi.

Biosfäär — planeet Maa organismidega asustatud kest.

Biosüntees (bioloogiline süntees) — elusas rakus toimuvad ainete sünteesi reaktsioonid.

Biotsönoos — olelusvõitluse ja vastastikuse kohastumise protsessis kujunenud üksteisest sõltuvate taime- ja loomaliikide kooslus, mis asustab ühtset enam-vähem ühesuguste olelustingimustega territooriumi. Biotsönoosi iseloomustab ainete ringkäik, mis tekib kooslust moodustavate liikide vaheliste toitumissuhete alusel.

Blastula — loomorganismi lootelise arenemise staadium, millel loode koosneb ühest rakukihist.

Degeneratsioon ehk mandumine — loomade ja taimede organisatsiooni lihtsustumine seoses üleminekuga lihtsamatele vastastikustele suhetele keskkonnaga (näiteks kinnitunud eluviisiga loomad ja parasiidid).

Desoksüriboos — lihtsüsivesik. Molekul sisaldab viis süsinikuaatomit. On kõigi DNH nukleotiidide koostisosaks.

Diploidne kromosoomigarnituur — kahekordne kromosoomide kompleks, milles iga kromosoom on paariline. Diploidne garnituur esineb loomade somaatilistes rakkudes ja taimede saprofüütide kudedes.

Dissimilatsioon — rakus toimuvate lõhustumisreaktsioonide kogum. Enamikus dissimilatsioonireaktsioonides vabaneb energia.

Divergents ehk lahknevus — organismide tunnuste esialgselt vaevaltmärgatavate erinevuste lahkumineku ja tugevnemise protsess.

DNH — desoksüribonukleiinhappe lühendatud nimetus. Koosneb kahest spiraalselt keerdunud niidist. Iga DNH ahel (niit) kujutab endast polümeeri, mille monomeerideks on nukleotiidid. Sisaldub rakutuuma kromosoomides. Mängib põhilist osa valkude biosünteesis.

DNH kood — nukleotiidide järjestus DNH molekuli ahelas, mis määrab vastava valgumolekuli koostisse kuuluvate aminohapete iseloomu. Igale aminohappele vastab nukleotiidide kolmik — tripleet.

DNH replikatsioon — DNH molekuli kahestumine enne raku jagunemist.

Embrüoloogia — teadus organismide lootelisest arenemisest.

Endoplasmaatiline võrgustik — taime- ja loomarakkude organoid. Paikneb tsütoplasmas ja koosneb paljudest peaasjalikult paarikaupa paiknevatest plaadikestest.

Fenoloogia — õpetus aastaaegade vaheldumisest tingitud perioodilistest nähtustest taimede ja loomade elus.

Fenotüüp — organismide kõikide välis- ja sisetunnuste summa, mis formeerub genotüübi ja keskkonnatingimuste vastastikuse toime tulemusel.

Fermendid — rakus toimuvate keemiliste reaktsioonide katalüsaatorid. Kõik fermendid kuuluvad valkude hulka.

Fotoperiodism — taimede ja loomade reaktsioon päeva ja öö pikkuse muutumisele.

Fotosüntees — orgaaniliste ainete (süsivesikute) loomise protsess süsihappegaasist ja veest päikese kiirgusenergia osavõtul. Toimub roheliste taimede rakkudes.

Fototaksis — rakkude ja organismide liikumine valgusärrituse mõjul.

Fütontsiidid — taimede poolt produtseeritavad ained, mis mõjuvad hukutavalt mõnedele teistele organismide liikidele, sealhulgas mikroorganismidele.

Gastrula — loomorganismi lootelise arenemise staadium, millel loode koosneb kahest rakukihist.

Geen — kindla orgaaniliste aluste järjestusega osa DNH molekulist. Määrab RNH vahendusel kindlaks valgumolekuli sünteesi.

Geneetika — teadus pärilikkuse ja muutlikkuse seaduspärasustest.

Genotüüp — organismi pärilikkusetegurite (geenide) kogum.

Golgi aparaat — võrgu, kepikeste, niitide jne. kujuline raku organoid, mis asub tsütoplasmas ja võtab osa sekretoorsetest protsessidest.

Gradatsioon — elusolendite organisatsiooni keerulisemaks muutumise protsess.

Guaniin — lämmastikku sisaldav orgaaniline ühend, mis kuulub guaniinnukleotiidi koostisse.

Haploidne kromosoomigarnituur — ühekordne kromosoomide kompleks, mis esineb valminud sugurakkudes (gameetides), küpsetes eostes ja taimede gametofüütide kudedes.

Heteroos — hübriidide võimsam arenemine vanemvormidega võrreldes.

Heterosügoot — rakk (sügoot), mis moodustub kahe antud geeni erinevat alleeli kandva suguraku ühinemisel.

Homoloogilised kromosoomid — ehituselt sarnased kromosoomid, mis kannavad ühesugust alleelsete geenide kompleksi.

Homoloogilised organid — organid, mis vastavad üksteisele põlvnemiselt ja suhetelt organismi teiste osadega.

Homosügoot — rakk (sügoot), mis moodustub kahe antud geeni sama alleeli kandva suguraku ühinemisel.

Hüdropoonika — taimede kasvatamine ilma mullata.

Idioadaptatsioon — organismide kohastumine evolutsiooniprotsessis mitmesuguste kindlate keskkonnatingimustega. Idioadaptatsiooniga ei kaasne üldise organisatsioonitaseme tõusu.

Inbriiding — lähissugulusristamine.

Induktsioon — rakkude arenemine teiste rakkude poolt eraldatud ainete mõjul.

Kemosüntees — üks autotroofse toitumise vormidest, mille juures orgaaniliste ainete süntees anorgaanilistest toimub keemilistes reaktsioonides vabaneva energia arvel.

Kemotaksis — rakkude ja organismide liikumine keemilise ärrituse toimel.

Klorofüll — kloroplastides sisalduv taimede roheline pigment.

Kloroplastid — taimede rohelised plastiidid, mis sisaldavad klorofülli.

Konvergents — sarnasus organismi välis- või siseehituse tunnustes, mis ei põhine põlvnemise ühtsusel, vaid sarnaste elulustingimustega kohastumisel.

Kromoplastid — erinevaid pigmente sisaldavad punast, kollast või oranži värvi plastiidid, mis esinevad taimerakkudes.

Kromosoomid — rakutuuma põhilised struktuuriosad, sisaldavad DNH-d ja valku.

Kromosoomide konjugatsioon — paariliste (homoloogiliste) kromosoomide ajutine ühinemine, mis eelneb taandjagunemisele (reduktsioonile).

Leukoplastid — taimerakkudes esinevad värvusetud plastiidid.

Lüsosoomid — loomarakkude organoidid, mis võtavad osa rakusisestest seedimisprotsessidest.

Mandunud organid — organid, mis on evolutsiooniprotsessis kaotanud oma esialgse tähtsuse ning on teel kadumisele.

Meioos — valmivate sugurakkude tuumade kahekordse jagunemise eriline vorm, mis viib kromosoomide arvu reduktsioonile.

Metamorfoos — vastse täiskasvanud organismiks muutumise protsess.

Migratsioon — loomade rändeid ja ümberasumised, mida kutsub esile olelustingimuste muutumine.

Mimikri — organismide sarnasus mittesöödavate asjade või teiste, kaitstud taimede ja loomadega.

Mitokondrid — raku kepikeste, kerakeste või niitide kujulised organoidid. Neis toimuvad hapendus- ja muud reaktsioonid, mis on seotud energia tootmisega rakus.

Mitoos — raku kaudne jagunemine, millele eelneb kromosoomide kahestumine.

Modifikatsioon — organismide muutlikkuse vorm, mis ei puuduta genotüüpi. Modifikatsioonid tekivad genotüübi ja keskkon-

natingimuste vastastikuse toime tulemusel organismi individuaalse arenemise protsessis.

Mutatsioon — genotüübi muutustest tingitud organismi muutlikkuse pärilik vorm.

Muutlikkus — liigi piirides esinevad erinevused isendite ja isendirühmade vahel.

Nukleiinhapped — keerulised orgaanilised ained, mis esmakordselt avastati rakutuumas. Ehituselt on polümeerid, mille monomeerideks on nukleotiidid. Esineb kaks nukleiinhapete tüüpi — DNH ja RNH.

Nukleotiidid — keerulised orgaanilised ained, tekivad kolme molekuli ühinemisel, milleks on orgaaniline alus, lihtsüsivesik ja fosforhape. Nukleotiididest koosnevad DNH ja RNH molekulid.

Nukleotiidide tripleet — DNH või RNH ahela kolmest järjestikku ühendatud nukleotiidist koosnev lüli. Vastab DNH koodis ühele aminohappele.

Optimum — kõige soodsamad tingimused organismi elutegevuseks või üksikute füsioloogiliste reaktsioonide kulgemiseks.

Organoidid — üksikud raku osad, mis täidavad kindlat funktsiooni.

Ovogenees — emassugurakkude (munarakkude) arenemisprotsess.

Paleontoloogia — teadus fossiilsetest (väljakaevatud) organismidest.

Partenogenees — munaraku arenemine ilma viljastamata.

Plankton ehk **hõljum** — väheliikuvate organismide kogum, mis elavad veekogude valgustatud kihtides ja liiguvad passiivselt kaasa hoovustega.

Polüploidia — kromosoomide arvu mitmekordistumine.

Populatsioon — ühe ja sama liigi isendite rühm selle liigi areaali piiratud osas.

Puhasliin — ühe isetolmleva isendi järglaskond.

Poikilotermsed ehk **kõigusoojased organismid** — ebapüsiva, ümbritseva keskkonna temperatuurist sõltuvalt muutuva kehatemperatuuriga organismid. Loomi, kes on võimelised hoidma püsivat kehatemperatuuri, nimetatakse püsisoojasteks ehk homeotermseteks.

Pärilikkus — organismi omadus anda järgmisele põlvkonnale edasi tunnuseid ja arenemise iseärasusi.

Rakk — looma- ja taimeorganismide ehituse ja arenemise aluseks olev põhiline ehituslik ühik.

Rakumembraan — kolmest kihist koosnev õhuke kest, mis katab rakku väljastpoolt. Omadus — valikuline läbilaskvus.

Rakutuum — kõigi taime- ja loomarakkude hädavajalik koostisosa, mis võtab osa kõigist raku elu- ja paljunemisprotsessidest.

Reaktsiooninorm — tunnuse modifikatsioonilise muutlikkuse piirid.

Riboos — viit süsinikuaatomit sisaldav lihtsüsivesik. On kõigi RNH nukleotiidide koostisosaks.

Ribosoomid — looma- ja taimeraku organoidid, mille pinnal toimub valgumolekuli süntees. Paiknevad endoplasmaatilise võrgu membraanide pinnal.

RNH — ribonukleiinhappe lühendatud nimetus. Kujutab endast polümeeri, mis koosneb süsivesikut riboosi sisaldavatest nukleotiididest. Võtab osa valgu biosünteesist.

Saprofaagid — organismid, mis toituvad surnud orgaanilisest ainest ja kutsuvad esile selle lagunemise (roiskumise).

Spermatogenees — isassugurakkude (spermatosoidide) arenemise protsess.

Sügoot — rakk, mis moodustub viljastamise (sugurakkude ühinemise) tulemusel.

Taksis — rakkude või organismide liikumine mingi ärritaja mõjul.

Termoregulatsioon — füsioloogiliste protsesside kompleks, mis lubavad hoida kehatemperatuuri enam-vähem ühtlasel tasemel.

Termotaksis — rakkude ja organismide liikumine temperatuuriärrituse mõjul.

Tsentromeer — kromosoomi ahenenud osa, mille külge kinnituvad käävi vedavad niidid.

Tsentrosoom — rakuorganoid, mis koosneb kahest tihenenud tsütoplasma kihiga ümbritsetud terakesest — tsentrioolist. Paikneb tuuma lähedal. Võtab osa raku jagunemisprotsessist.

Tsütoloogia — teadus raku ehitusest ja talitlusest.

Tsütoplasma — raku poolvedel keskkond, milles paiknevad tuum ja kõik rakuorganoidid.

Tsütosiin — lämmastikku sisaldav orgaaniline ühend. Esineb tsütosiinnukleotiidi koostises.

Tuumake — väike, sageli kerakujuline rakutuumas esinev kehake. Koosneb peaasjalikult RNH-st.

Tümiin — lämmastikku sisaldav orgaaniline alus. Kuulub tümiinnukleotiidi koostisse.

Uratsiil — lämmastikku sisaldav orgaaniline alus. Kuulub uratsiilnukleotiidi koostisse.

Vakuoolid — tühemikud raku tsütoplasmas, mis on täidetud rakumahlaga. On tavalised taimerakkudes.

Ärrituvus — raku või organismi võime reageerida väliskeskkonna mõjutustele.

Ökoloogia — bioloogia osa, mis uurib organismi ja keskkonna vahelisi suhteid. Põhilist tähelepanu pööratakse sealjuures: a) loomade ja taimede morfoloogilistele ja füsioloogilistele kohastumistele ümbritseva elusa ja eluta loodusega, millest sõltub organismide arenemise, paljunemise ja ellujäämise edukus; b) põhjuste ja seaduspärasuste kindlakstegemine, mis määravad üksikute taime- ja loomaliikide arvukuse ja territoriaalse jaotumise; c) organismide koosluste (biotsönooside) kujunemise seaduspärasuste ja nende produktiivsust määravate tingimuste selgitamine.

Üliparasiidid ehk **teise astme parasiidid** — parasiitide kulul elavad organismid. Näiteks parasiteerib suure kapsaliblika röövikutel käguvaablane, kellel omakorda parasiteerib rida väikesi kiletiivalisi.

Sisukord

Sissejuhatus 3

1. EVOLUTSIOONIÕPETUS

1. peatükk. **Bioloogia üldiseloomustus Darwini-eelsel perioodil**

1. Kirjeldava zooloogia ja botaanika arenemine 7
2. Esimene teooria elusa looduse evolutsiooni kohta . . . 11
3. Esimesed vene evolutsionistid 15

2. peatükk. **Charles Darwini õpetus orgaanilise maailma evolutsioonist**

4. Ajaloolised eeldused Darwini õpetuse tekkimiseks . . 17
5. Muutlikkus ja pärilikkus 22
6. Kunstlik valik 25
7. Olelusvõitlus 30
8. Looduslik valik 33
9. Organismide kohastumine ja selle suhteline iseloom . 37
10. Uute liikide ja teisendite tekkimine 40
11. Taimede ja loomade kaasaegne süsteem kui evolutsiooni peegeldus 48
12. Darwini teooria tähtsus 51

3. peatükk. **Orgaanilise maailma arenemine**

13. Võitlus elu tekkimise küsimuse ümber XIX sajandil . 55
14. Kaasaegseid vaateid elu tekkimise kohta 58
15. Paleontoloogiline kroonika 63
16. Elu arenemine Maal. Meri — elu arenemise algkeskkond 64
17. Maismaaorganismide arenemine paleosoikumis . . . 70
18. Evolutsiooni peasuunad 78
19. Orgaanilise maailma edasine kohastumine maismaaelule mesosoikumis 83
20. Orgaaniline maailm kainosoikumis 87
21. Jooni kaasaegsete loomade ja taimede ehituses, mis tõestavad nende ajaloolist arenemist 91
22. Organismide lootelise arenemise sarnasus kui tõend nende päritolu ühtluse kohta 97

4. peatükk. **Inimese põlvnemine**

23. Tõendid inimese põlvnemise kohta loomadest . . . 104
24. Töö osa ahvi kujunemisel inimeseks 111
25. Inimese paleontoloogiline ajalugu 114
26. Inimrasside päritolu ühtsus 119

2. RAKK JA ORGANISMIDE INDIVIDUAALNE ARENEMINE

5. peatükk. **Rakuõpetus**

27. Elu rakulised ja mitterakulised vormid 122
28. Raku uurimine 124
29. Rakkude mõõtmed ja kuju 126
30. Raku ehitus 128
31. Raku keemiline koostis. Vesi. Anorgaanilised koostisosad 137
32. Valgud 140
33. Süsivesikud 144
34. Rasvad 146
35. Nukleiinhapped. ATF 146
36. Raku aine- ja energiavahetus 151
37. Autotroofsed ja heterotroofsed rakud. Fotosüntees. Kemosüntees 158
38. Valgu biosüntees 160
39. Raku keemilise talitluse reguleerimine 165
40. Rakkude erutuvus ja liikumine 168

6. peatükk. **Paljunemine ja individuaalne arenemine**

41. Rakkude jagunemine 170
42. DNH süntees ja rakkude valmistumine jagunemiseks . 175
43. Organismide paljunemisviisid 179
44. Viljastamine 183
45. Viljastatud muna arenemine 186

3. GENEETIKA JA SELEKTSIOONI ALUSED

7. peatükk. **Tunnuste pärandumise põhilised seaduspärasused**

46. Pärilikkuse uurimise hübridoloogiline meetod . . . 192
47. Dihübriidne ja polühübriidne ristamine 202
48. Geenide vastastikune toime 206
49. Liitelise pärandumise nähtus 209
50. Soo geneetika 211

8. peatükk. **Muutlikkuse seaduspärasused**

51. Modifikatsiooniline muutlikkus 214
52. Mutatsiooniline muutlikkus 219

9. peatükk. **Taimede, loomade ja mikroorganismide selektsioon**

53. Kaasaegse selektsiooni ülesanded 227
54. Kultuurtaimede vormirikkuse ja tekke kolded . . . 230
55. Taimede sordiaretus 231
56. I. Mitšurini töömeetodid 236
57. Kunstlik ja looduslik valik taimede sordiaretuses . . 240
58. Loomade tõuaretus 240
59. Mikroorganismide aretus 246
60. Geneetika ja meditsiin 247

4. ORGANISMI JA KESKKONNA VASTASTIKUSED SUHTED

10. peatükk. **Organism ja keskkond**

61. Keskkond ja ökoloogilised tegurid 251
62. Põhilised klimaatilised tingimused ja nende mõju organismile 253

63. Taimede ja loomade kohastumused välistingimuste sesoonsele rütmile 261
64. Organismide toitumissuhted ja ökoloogilised süsteemid 269
65. Looduslikud ökoloogilised süsteemid 274
66. Biotsönoosides toimuvad muutused 281

11. peatükk. **Biosfäär ja inimene.**

67. Biosfäär ja biomassi omadused 289
68. Elementide migratsioon biosfääris 296
69. Inimese osa biosfääris 300
70. Bioloogia ja tehnika probleemid 302
Tähtsamate bioloogiliste terminite sõnastik 308

Александр Давыдович Браун, Николай Михайлович Верзилин, Александр Сергеевич Данилевский, Лев Николаевич Жинкин, Вера Михайловна Корсунская, Юрий Иванович Полянский, Ксения Мироновна Суханова. Общая биология. На эстонском языке. Издательство «Валгус», Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

Toimetaja J. Metsar. Kunstiline toimetaja H. Keigo. Tehniline toimetaja E. Toivere. Korrektorid A. Kalberg ja H. Kull. Laduda antud 21. IV 1967. Trükkida antud 29. V 1967. Paber 60×90/16. Trükipaber nr. 2 — Kohila Paberivabrik. Trükipoognaid 20 + 0,5 (4 kleebist). Arvestuspoognaid 21,77. Trükiarv 7000. Tellimise nr. 2800. Trükikoda «Kommunist», Tallinn, Pikk t. 2. Hind 44 kop.

44 коп.

A 28583

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00402188 9