P. H. Balan, J. H. Vervesz

BIOLÓGIA

11

Standard és akadémiai szint

Tankönyv az általános oktatási rendszerű tanintézetek számára

Ajánlotta
Ukrajna Oktatási és Tudományos Minisztériuma

ЛЬВІВ
Видавництво "СВІТ"
2011

УДК 57(075.3)
ББК 28.0я721
Б20

Перекладено за виданням:
Балан П. Г. Біологія : підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закл. : рівень стандарту, академ. рівень / П. Г. Балан, Ю. Г. Вервес. – К. : Генеза, 2011.

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ МОН України № 235 від 16.03.2011 р.)

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Наукову експертизу проводив
Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України

Психолого-педагогічну експертизу проводив
Інститут педагогіки НАПН України

Балан П. Г.

Б20 Біологія : підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закл. із навчанням угорською мовою : рівень стандарту, академ. рівень / П. Г. Балан, Ю. Г. Вервес ; переклад угорською мовою А. А. Варга. – Львів : Світ, 2011. – 304 с. : іл.

ISBN 978-966-603-712-4

УДК 57(075.3)
ББК 28.0я721

© Балан П. Г., Вервес Ю. Г., 2011
© Видавництво "Генеза", оригінал-макет, 2011
© Варга А. А., переклад, 2011

ISBN 978-966-603-712-4 (угор.)
ISBN 978-966-11-0061-8 (укр.)

Kedves tizenegyedikesek!

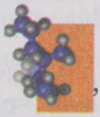
Az előző tanévben megismertétek az élő anyag szerveződésének molekuláris, sejtes és szervezeti szintjeit, a sejtek kémiai összetételét és felépítését, a plasztikus anyagcsere-folyamatokat és az energiaforgalmat, a többsejtű szervezetek szerkezeti sajátosságait és az életfolyamataikat szabályozó mechanizmusokat. Megtanultátok, hogyan kell végezni a biokémiai kísérleteket, megoldani a molekuláris biológiai feladatokat.

A 11. osztályban befejezitek a biológia tanulását. Általános elképzelést kaptok az élőlények szaporodásának főbb formáiról, megismeritek a szervezetek öröklődésének, változékonyságának a törvényszerűségeit, a genetika alaptörvényeit. Elsajátítjátok az élő anyag magasabb szintű szerveződési formáiról (faj, populáció, ökoszisztéma, bioszféra) szóló alapismereteket.

Megértitek, miért fontos az ember számára az élőlények fajgazdagságának, változatosságának megőrzése, a természet törvényeinek tiszteletben tartása. Környezetbarát gondolkodásmódra tesztek szert, s ezt a fejlett tudást a gyakorlati életben is alkalmazni tudjátok majd. Megismerkedtek a biológia olyan korszerű eredményeivel, mint a génsebészet, a sejt- és biotechnológia. Ezeknek a fejlődésétől függ az emberiség olyan jelentős problémáinak a megoldása, mint a megfelelő mennyiségű élelmiszertermelés, új gyógyszerkészítmények előállítása, hatékony környezetvédelmi módszerek kidolgozása, az emberi élettartam meghosszabbítása.

Nagyon fontos, hogy az életről szóló tudomány elválaszthatatlan része legyen minden egyes tanuló világnézetének, függetlenül attól, hogy milyen hivatást választ. A jövő menedzserének, építészének, technológusának, vízügyi szakemberének a biológiai ismeretek ugyanolyan fontosak, mint az orvosnak vagy az agronómusnak. A szakemberek ugyanis csak ennek a tudásnak a birtokában tudják felmérni, milyen következményekkel jár szakmai tevékenységük a környezetre és az emberek életére nézve. A humán szakterületek képviselői és az egyházak papjai számára a biológia mint az általános kulturális örökség része lehet érdekes.

A laboratóriumi és gyakorlati munkák segítségetekre lesznek abban, hogy elmélyítsétek elméleti ismereteiteket, és alapvető gyakorlati jártasságra tegyetek szert a biológia különböző ágazataiban. Az elvégzésükre vonatkozó rövid útmutatók az egyes témák végén találhatók.

A tankönyv a standard oktatási szint esetében kötelező tudásanyagon kívül a biológiát akadémiai szinten tanulók számára is tartalmaz ismereteket. Ez a tananyag kiemeléssel szerepel a szövegben  , s azok is érdeklődéssel olvashatják, akiknek standard szinten kell elsajátítaniuk a biológia alapjait.

A tankönyv használatát segíti és a szakkifejezések, fogalmak megértését könnyíti a kötet végén található szakszótár.

Sok sikert az élő szervezetek bonyolult és érdekes világának tanulmányozásához!

4. téma A szervezetek szaporodása

A téma tanulása során megismeritek a szervezetek szaporodásának alapvető formáit, a megtermékenyítés típusait a szervezetek különböző csoportjainál, és ezek biológiai jelentőségét.

1. §. A SZERVEZETEK SZAPORODÁSI FORMÁI. IVARTALAN SZAPORODÁS

A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása érdekében idézzétek fel: milyen biológiai jelentősége van a szaporodás folyamatának? A szervezetek milyen szaporodási formáit ismeritek? Hogyan megy végbe a mitotikus osztódás? Mik az őssejtek és a differenciált sejtek?

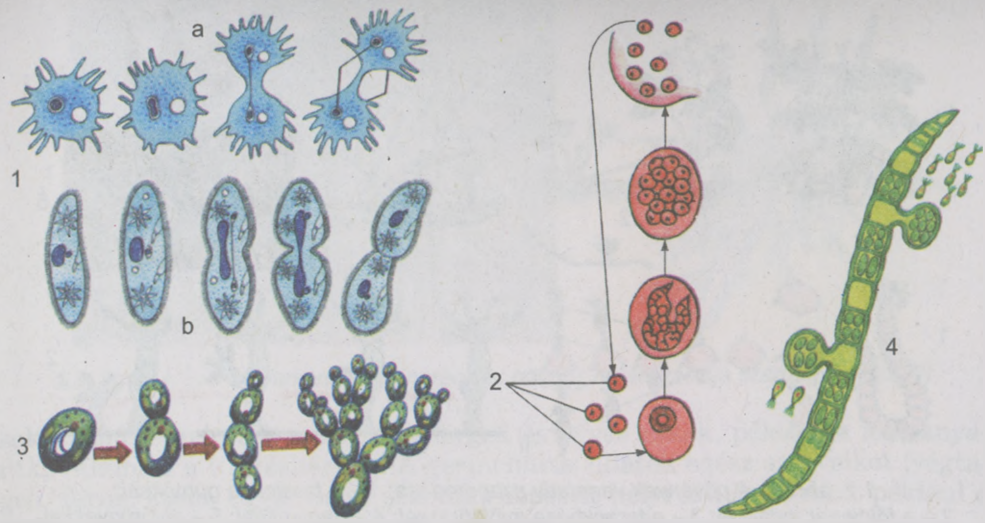
A ***szaporodás*** – minden szervezetre jellemző sajátosság, az élőlények ennek köszönhetően hoznak létre magukhoz hasonló utódokat, s biztosítják az élet folytonosságát és öröklődését. Az élő szervezetek fő szaporodási formái: az ivartalan és az ivaros szaporodás.

Mi jellemzi az ivartalan szaporodást?

Ivartalan szaporodás az egysejtű és egyes többsejtű szervezeteknél (algák, gombák, magasabbrendű spórások) figyelhető meg. A szervezetek ivartalan szaporodása nem ivarsejtekkel – más néven: *szomatikus* vagy *testi* sejtekkel (kettéosztódás, sokszoros osztódás, bimbózás) – vagy spórákkal történik. Az ivartalan szaporodás egyik formája a vegetatív (lat. *vegetativus* – növényi vagy *vegeto* – élesztem) szaporodás, amikor az anyaszervezettől sejtcsoportok különülnek el.

Az ivartalan szaporodás a sejtek kettéosztódásával, sokszoros osztódásával, bimbózással (sarjadzással), spóraképzéssel történhet (1.1. ábra).

Sejtosztódásakor (1.1., 1. ábra) két leánysejt keletkezik feleakkora mérettel, mint az anyasejt. Először a sejtmag osztódik, majd a citoplazma. Az anyasejt szervecskéi többé-kevésbé egyenlően oszlanak meg a leánysejtek között. Ha valamely sejtszervecskéből egy van az anyasejtben, akkor az a leánysejtek egyikébe kerül, míg a másikban újonnan képződik, mint például a zöld szemesostoros (Euglena viridis) hosszú ostora. A keletkezett leánysejtek táplálkoznak, nőnek, és egy bizonyos nagyságot elérve szaporodni kezdenek. Az eukarióta sejtek főként mitotikusan osztódnak.



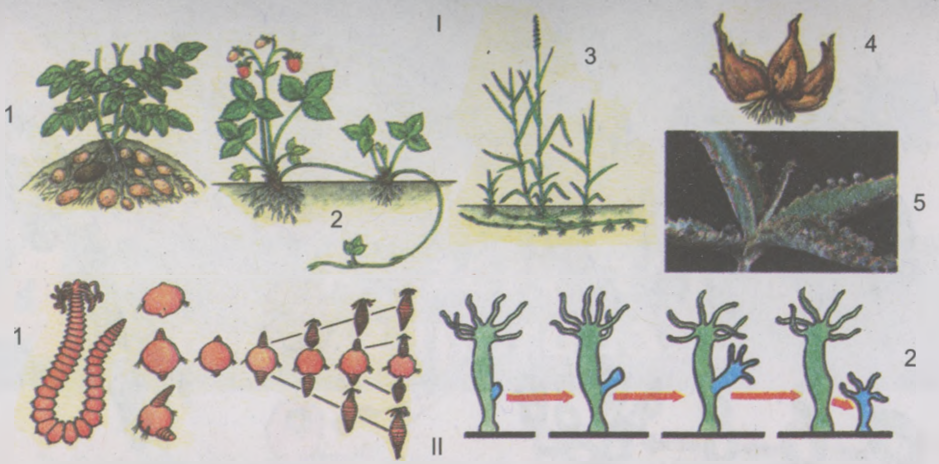
1.1. ábra. Ivartalan szaporodás: 1 – a sejt kettőződése (a – amőba, b – papucsállatka); 2 –sokszoros sejtosztódás a malária-plazmódiumnál; 3 – élesztő sejtsarjadzása (bimbózása); 4 – spóraképződés az Ulotrix algánál

Sokszoros sejtosztódáskor kezdetben az anyasejt magja többször osztódik, és ennek következtében sokmagvúvá válik. Ezt követően osztódik a citoplazma, és megfelelő számú leánysejt keletkezik (1.1., 2. ábra).

Sarjadzáskor (**bimbózáskor**) az anyasejtről kisebb méretű leánysejt válik le. **Egyszerű sarjadzás** esetén a sejtmag rendszerint feleződik, majd ezt követően az egyik leánymag a sejtfelszínhez távozik, és a citoplazma egy részével együtt leválik az anyasejtről (1.1., 3. ábra). **Többszörös sarjadzáskor** a sejtmag többször osztódik, s a leánymagok mindegyike citoplazmával együtt elkülönül az anyasejttől (például a helyhez kötött életformát folytató papucsállatkák).

Spórákkal szaporodik sok egy- és többsejtű eukarióta: gombák, algák, mohák, zsurlók, korpafüvek, páfrányfélék. A spórák védőburokkal rendelkező specializálódott sejtek, szerepük nem korlátozódik csak a szaporodásra, sok esetben a kedvezőtlen létfeltételek átvészelését és a szervezetek terjedését szolgálják. Előfordulnak ostoros (Chlamydomonas, Ulotrix) és ostor nélküli (kolera) spórák. Az ostoros spórák (zoospórák) (1.1., 4. ábra) aktív mozgásra képesek. Az ostor nélküli spórákat a víz, a szél és különböző szervezetek terjesztik. A zoospórák élettartama általában nem jelentős, de a tömör védőburokkal körülvett, mozgásképtelen spórák életképességüket évekig, sőt évtizedekig megőrzik.

A **vegetatív szaporodásnak** több módja ismert. A fragmentáció során a testről többsejtű részek válnak le (fűz szárhajtása vagy az afrikai ibolya, csuporka levélhajtása). Szaporodásra szolgáló módosult hajtások a burgonya vagy a csicsóka gumói, a földieper indája, a zsurlófű, gyöngyvirág, tarackbúza (1.2. I., 1–3. ábra) gyökértörzse, a vörös- és fokhagyma hagymája (1.2. I., 4. ábra). Az anyaszervezetről leválni képes különleges alvórügyei vannak a korallvirágnak és a harmatfűnek (1.2. I., 5. ábra). Gyökérről szaporodik a málna,



1.2. ábra. I. A növények vegetatív szaporodása: 1 – a burgonya gumókkal; 2 – a földieper indákkal; 3 – a tarackbúza gyöktörzzsel; 4 – hagymával; 5 – alvórügyekkel. II. Az állatok vegetatív szaporodása: 1 – a dodecaceria féreg fragmentációja; 2 – a hidra sarjadzása

meggy, szilva, rózsa (a mellékrügyekből fejlődő gyökérhajtással), dália és batáta (gumógyökérről).

Az állatok vegetatív szaporodási módjai is különbözők. **Rendezetlen osztódásnál** a szervezet változó számú és méretű részre esik szét (szivacsok, űrbelűek, laposférgek, gyűrűsférgek, tüskésbőrűek). **Rendezett osztódás** esetén a részek (fragmentumok) száma és mérete többé-kevésbé állandó (tengeri csillagok, űrbelűek). Például a dodecaceria nevű soksertéjű féreg szelvényeire (szegmentumaira) eshet szét. Idővel mindegyik szelvény négy leányegyedet választ le magáról, aminek következtében feléli a tápanyagait és elpusztul (1.2. II., 1. ábra).

Bimbózáskor az anyaszervezetről leválik egy vagy több bimbó, amelyek később önálló egyedekké fejlődnek (űrbelűek, egyes gyűrűsférgek). Ha a bimbók állandó kapcsolatban maradnak az anyaszervezettel, akkor telepek alakulnak ki (szivacsok, korallpolipok) (1.2. II., 2. ábra).

A regenerációnak köszönhető a vegetatív szaporodás.

Regenerációnak (*lat. regeneratio* – újraképződés) **nevezzük azt a folyamatot, amikor a szervezet helyreállítja vagy visszanöveszti elveszített, vagy károsodott részeit, vagy amikor az egész egyed újraképződik egyes részeiből.**

A regenerációnak köszönhető, hogy a szervezet folyamatosan lecseréli az életműködésüket befejező sejteket (bélhám mirigysejtjei, vérsejtek).

Az olyan többsejtű víziállatoknak, mint a szivacsok, nincsenek szöveteik. Szervezetük újraképződhet a sejtjeik szétdörzsölt masszájából is. Az űrbelűek (hidra) egyedei 1/200 részükből is újraképződhetnek, míg egyes örvényférgeknél 1/100 lehet ez az arány. Egész szerveiket újraképezik az örvényférgek, a

1.3. ábra. A gyík (1) farkának regenerációja; növény regenerációja szárdugványból (2)

soksertéjű férgek, a kevéssertéjű férgek és egyes rákok, például a tarisznyarák, valamint a tüskésbőrűek. A gerinchúros állatok egész szerveiket (végtagok, farok, szem, egyes belső szervek) képesek helyreállítani, mint például a farkos kétéltűek, gyíkok (levetett farokrész) (1.3. ábra).

A madaraknál és emlősöknél – így az embernél is – a regeneráció a sebgyógyulásban, a csontok összeforrásában, a sejtek és szövetek megújulásában nyilvánul meg. A *reparációs* (lat. *reparatio* – helyreállítás) *regenerációnak* köszönhetően állnak helyre a véletlen károsodás következtében elveszített struktúrák, míg az *élettani* (*fiziológiai*) *reparáció* egyes testrészek, mindenekelőtt a sejtállomány újraképződését jelenti.

Az állatoknál a regeneráció a differenciálatlan (például az emlősök csontvelőjének őssejtjei vagy a hidra köztes sejtjei) és differenciált (például a farkos kétéltűek szemlencséje a szivárványhártya sejtjeiből regenerálódik) sejtek közreműködésével történik. A regenerációs folyamatok a sejtek és a szövetek közötti kölcsönhatás révén, továbbá a biológiailag aktív anyagok (hormonok, neurohormonok), az ideg- és immunrendszer, valamint örökletes tényezők hatására mennek végbe.

Jól fejlett a regeneráció jelensége a növényeknél is. A növények képesek újraképezni károsodott szöveteiket és szerveiket, vagy akár egész szervezeteiket bizonyos részeikből. Sok növény egyedei dugványokból (gyökér-, szár (1.3., 2. ábra) vagy levéldugványok) vagy módosult hajtásokból fejlődnek ki. A magasabbrendű növények regenerációja során fontos szerepet játszik a képzőszövet. Sejtjei osztódhatnak és különböző szervkezdeményeket hozhatnak létre. Bizonyos feltételek mellett egyes érett sejtek megújíthatják mitotikus osztódási képességüket. A regenerációt a növényi hormonok szabályozzák, amelyek a károsodás helyén serkentik a sejtek osztódását és differenciálódását.

A szervezetek szaporodásának különleges formája a **poliembrionia** (gör. *polis* – számos, sok és *embrion* – magzat) – több embrió fejlődése egy megtermékenyített petesejtből (zigótából). A barázdálódás stádiumának egy bizonyos pillanatában az embrió külön sejtekre esik szét. Ezek mindegyikéből önálló szervezet képződik. A poliembrionia következtében keletkező élőlényeket ***egypetéjű ikreknek*** nevezzük. Valamennyi egypetéjű iker neme azonos és egyforma örökletes információkészlettel rendelkezik.

1.4. ábra. A poliembrióna állandó jelenség a fürkészdarazsaknál (egyetlen zigótából 3000 embrió képződhet) és a tatuknál (12-ig)

A poliembrióna meglehetősen elterjedt a különböző állatcsoportok között (hengeresférgeknél, gyűrűsférgeknél, néha az ízeltlábúaknál, halaknál, madaraknál és emlősöknél). Állandó jelenségként egyes rovarok (például fürkészdarazsak) és emlősök (például tatuk) sajátossága (1.4. ábra). Az embernél a poliembrióna véletlenül fordul elő. A statisztikai adatok szerint az embernél 80 születésre jut egy egypetéjű ikerpár, 6500 születésre – egy hármasiker-, 510 000 születésre egy négyesiker-terhesség. Az idősebb nők esetében növekszik az egypetéjű ikrek születésének valószínűsége (40 éves korban háromszor akkora az esélye, mint 20 évesen).

Előfordul a poliembrióna növényeknél is, amikor egy magban több csíra képződik (tulipán. liliom, tündérrózsa, földieper). A többletcsírák a magban nem csupán a megtermékenyített petesejtből, hanem a mag más sejtjeiből is keletkezhetnek.

Mi az ivartalan szaporodás biológiai jelentősége?

A szervezetek egyes csoportjainál az ivartalan szaporodás az egyetlen lehetőség utódok létrehozására. Az ivaros szaporodásra képes fajoknak a valamilyen okból kifolyólag egymástól izolált egyedei ezzel a módszerrel tudnak utódokat produkálni. Ennek a szaporodási módnak köszönhetően a faj egyedei rövid idő alatt jelentősen növelhetik a populációt. Például a csorbóka gyöktörzséből a talaj egy négyzetméterén 1800 hajtás képződhet. Ezenkívül ivartalan szaporodás esetén az új egyed rendszerint gyorsabban fejlődik, mint ivaros szaporodáskor.

Az ivartalan szaporodással keletkezett utódok örökletes információkészletüket tekintve a szülői szervezetek pontos másolatai. Az ember kihasználja ezt a sajátosságot a kultúrnövények szaporításakor, nemzedékről nemzedékre megőrizve ezzel a fajták értékes tulajdonságait.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Ivartalan és vegetatív szaporodás, regeneráció, poliembrióna.*

Ismétlő kérdések. 1 Mi a szaporodás biológiai jelentősége? 2. A szervezetek szaporodásának milyen formáit ismeritek? 3. Milyen sajátosságai vannak az ivartalan szaporodásnak? 4. Az ivartalan szaporodás milyen módjait ismeritek? 5. A vegetatív szaporodás miben különbözik az ivartalan szaporodástól? Jellemezzétek a vegetatív szaporodás alapvető formáit! 6. Mi a poliembrióna lényege? 7. A regeneráció milyen formáit ismeritek? 8. Mi az ivartalan és vegetatív szaporodás és a poliembrióna biológiai jelentősége?

Bonyolult feladat. 1. Ismeretes, hogy a prokarióták és egyes elosztódó egysejtű állatok spórákat képezhetnek. Azonban a spóraképződés ezekben a szervezetekben nem tekinthető szaporodásnak. Milyen szerepük van a spóráknak ezeknél a szervezeteknél? 2. Gondolkodjatok el azon, hogy miért csökken a szervezetek regenerációs képessége szervezettségi szintjük növekedésével? Képes lesz-e az ember a jövőben elveszített szerveinek újraképzésére?

2. §. A SZERVEZETEK IVAROS SZAPORODÁSA

A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása érdekében idézzétek fel: milyen sajátosságai vannak az ivaros szaporodási formának az ivartalannal összehasonlítva? Mi a zigóta, a haploid, diploid és poliploid kromoszómakészlet? Hogyan megy végbe ez a folyamat a prokariótáknál? Milyen a kromoszómák szerkezete és funkciója? Mik a centriólumok?

Az *ivaros szaporodás* – két sejt örökletes anyagának egy sejtben való egyesülése.

Az ivaros szaporodás biztosítja az utódok örökletes anyagának és az egész populáció génállományának változatosságát. Minél változatosabb a populáció génállománya, annál több esélye van arra, hogy megfelelő módon alkalmazkodjon a környezet változásaihoz. Az ivaros szaporodás folyamata jellemző az eukarióta fajok többségére (egyes egysejtű szervezetek – amőbák, zöld szemesostoros (Euglena viridis), Chlorella alga – esetében ismeretlen ez a jelenség). Az eukarióták ivaros szaporodásának folyamata konjugáció és kopuláció formájában megy végbe.

Mi a konjugáció?

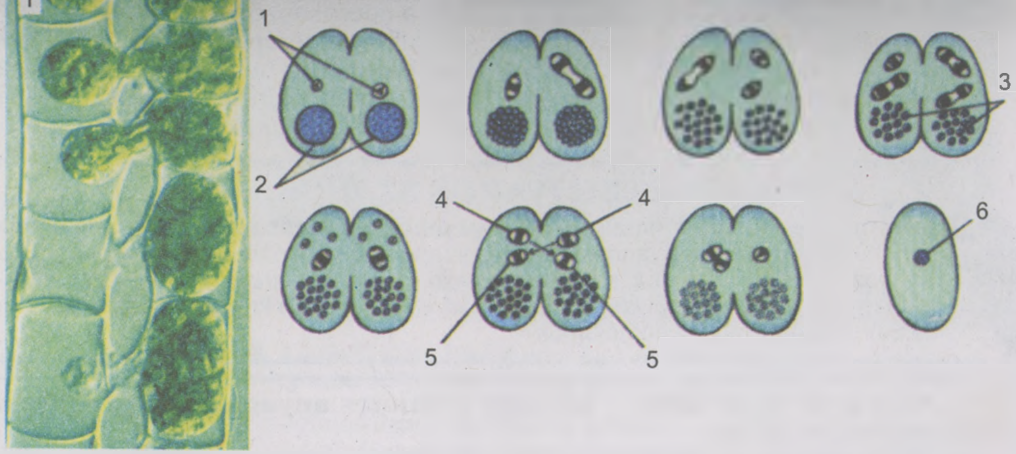
Konjugáció (lat. *conjugatio* – egyesülés) – azoknak az ivaros folyamatoknak az elnevezése, amelyek esetén az egysejtű (a baktérium-, alga- és állatfajok egy része) vagy többsejtű (egyes gombák, fonalas zöldmoszatok) szervezetek sejtjei kicserélik örökletes anyagukat.

Egyes algákban és gombákban az ideiglenes citoplazmahidakon keresztül az egyik sejt állománya (nevezzük feltételesen hím sejtnek) átmegy a másik sejtbe (a női sejtbe). Így zigóta keletkezik, amely bizonyos nyugalmi periódus után meiotikus osztódásba kezd (2.1., I. ábra).

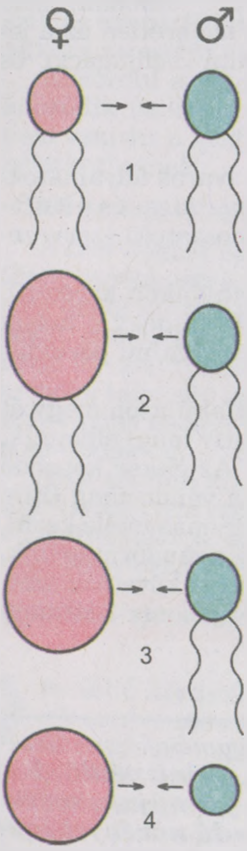
A papucsállatkában a konjugáció folyamán bonyolult átalakuláson megy át a mag (2.1., II. ábra). A konjugáció előtt a nagymag (vegetatív mag) elbomlik, a kismag (generatív mag) ugyanakkor többször osztódik. Az ekkor képződő magok egy része felszívódik; mindössze két mag marad: a vándormag (hím mag) és a maradó mag (női mag). A továbbiakban két sejt egymás mellé kerül, és a közöttük kialakuló plazmahídon keresztül kicserélődnek a vándormagvaik, amelyek ezután összeolvadnak a maradó magokkal. A sejtek ezt követően szétválnak, és néhány osztódás után helyreáll a papucsállatkára jellemző sejtmagkészlet.

Mi a kopuláció?

Kopuláció *(lat.* ***copulatio*** *– egyesülés) – két ivarsejt (gaméta) egyesülésének folyamata.* ***Az ivarsejtek lehetnek egyformák (mint például a Chlamydomonas esetében, vagy különbözhetnek formájuk, méretük, felépítésük sajátosságai szerint. (magasbbrendű növények, gerinces állatok).***



2.1. ábra. *I. A Spirogyra zöldmoszat konjugációja. II. Papucsállatka konjugációja: 1 – kismagok; 2 – nagymagok; 3 – eltűnő nagymagok; 4 – vándormagok; 5 – maradó magok; 6 – vándormag és maradó mag egybeolvadásából keletkezett sejtmag*



A kopuláció legegyszerűbb formája az *izogámia* (gör. *izos* – egyforma) – két egyforma gaméta egyesülése, mint például a Chlamydomonas és az Ulotrix zöldmoszatok esetében (2.2., 1. ábra).

Anizogámiáról akkor beszélünk, amikor két különböző méretű, alakú és szerkezetű hím és női ivarsejt olvad össze (magasabbrendű növények és többsejtű állatok) (2.2., 2., 3. ábra).

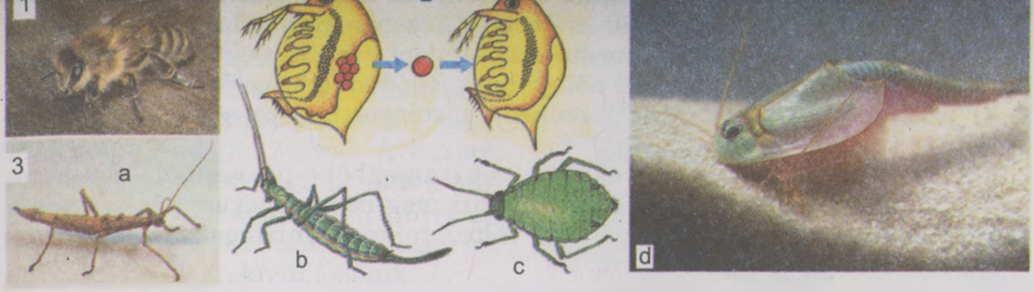
Az anizogámia legelterjedtebb módjára az *oogámiára* (gör. *oon* – tojás) apró, mozgékony (spermatozoidok) vagy mozdulatlan (spermiumok) hím és mozdulatlan női (petesejtek) gaméták jellemzők (2.2., 3. ábra). A nagy petesejtek az embrió vagy a csíra fejlődéséhez szükséges tápanyagokat raktároznak.

Mi a partenogenezis?

Partenogenezis (gör. *parthenos* – szűz és *genesis* – származás, eredet) vagy ***szűznemzés*** – *leányszervezetek kifejlődése megtermékenyítetlen petesejtből*, jóllehet a megtermékenyítés az ivaros szaporodás jellemzője.

Ha a petesejt fejlődése során meiózis megy végbe, akkor a partenogenezis révén kifejlődő szervezetek haploid kromoszómakészletet kapnak (például a mézelő méhek hím egyedei, a herék). Ha a petesejt fejlődésekor nem történik meiózis, mint a vízibolha esetében, akkor a leányegyedek az anyaszervezetéhez hasonló kromoszóma-

2.2. ábra. *A kopuláció formái: 1 – izogámia; 2 – anizogámia; 3–4 – különböző oogámiaformák*



2.3. ábra. 1. A herék megtermékenyítetlen petesejtekből fejlődnek (idővel a kromoszómakészletük megduplázódik). 2. A vízibolha nőstényei megtermékenyítetlen petesejteket rakhatnak le, amelyekből az életciklusuk folyamán végbemenő nemzedékváltás különböző szakaszaiban mindkét nem egyedei vagy csak nőstények fejlődnek ki. 3. Szűznemzéssel is szaporodni képes szervezetek: botsáskák (a), fűrészlábú szöcskék (b), levéltetvek (c), pajzsos levéllábú rákok (d)

készlettel fognak rendelkezni. Vannak szervezetek, melyeknél a partenogenezis a szaporodás egyetlen módja (egyes rovarok, mint a tölgymakkormányos), míg más szervezetek esetében (ezüstkárász, fürge gyík, sóféreg) léteznek váltivarú és partenogenetikus populációk. A levéltetvek és a vízibolhák életciklusában törvényszerűen váltják egymást az ivarosan és szűznemzéssel szaporodó nemzedékek (2.3. ábra). A partenogenezis jelensége előfordul a magasabbrendű spórás és virágos növényeknél (2.4. ábra).

Stresszhelyzetben, magas láz vagy egyéb tényezők hatására az embernél is elkezdődhet a megtermékenyítetlen petesejt osztódása. Az ilyen petesejt azonban elpusztul, új egyed nem fejlődik belőle.

A természetes partenogenezisen kívül létezik mesterséges is. ***Mesterséges partenogenezist*** sok állatfajnál előidéztek (tengeri sünök és csillagok, gyűrűsférgek, rovarok, puhatestűek, békák, nyulak). 2002-ben a tudósoknak sikerült előállítaniuk több makákóembriót. Néhány évvel később japán kutatóknak partenogenezissel sikerült olyan egeret „előállítaniuk", amely képes volt ivarosan szaporodni, és termékeny utódokat világra hozni. Ráadásul egyharmadával hosszabb ideig élt, mint a normális egéregyedek.

2.4. ábra. A növények képesek a partenogenezissel való szaporodásra: 1 – oroszlánfog; 2 – hölgymál

A mesterséges partenogenezist a növény- és állatnemesítésben alkalmazzák. Például a múlt század 30-as éveinek közepén Borisz Lvovics Asztaurov (1904–1974) ismert orosz nemesítő a selyemlepke petesejtjeinek melegítésével elérte, hogy partenogenezissel női egyedek fejlődjenek ki belőlük. Ennek rendkívüli gazdasági jelentősége volt, mivel a nőstények hernyói a bábozódás során több selyemfonalat termeltek.

Partenogenezis esetén az új szervezet ivarsejtből – petesejtből – jön létre, ám a leányegyedek kifejlődését nem előzi meg megtermékenyítés. Vagyis a partenogenezis az ivaros szaporodás változata, mechanizmusa mégis az ivartalan szaporodáséra emlékeztet.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Konjugáció, kopuláció, partenogenezis.*

Ismétlő feladatok. 1. Miben nyilvánul meg az ivaros folyamat sajátossága? Milyen formában fordulhat elő? 2. Hogyan megy végbe a konjugáció a szervezetek különböző csoportjainál? 3. A kopuláció milyen formái ismeretesek? Ezekre mi a jellemző? 4. Mi a partenogenezis biológiai jelentősége?

Bonyolult feladat. Gondolkodjatok el azon, hogy mi a közös és az eltérő a tipikus ivartalan szaporodásban és a partenogenezisben!

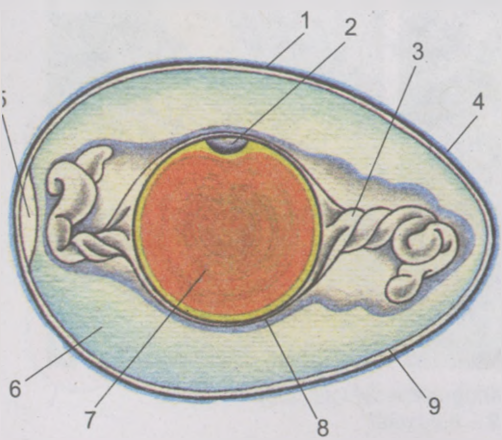
3. §. AZ IVARSEJTEK SZERKEZETE. GAMETOGENEZIS

A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása érdekében idézzétek fel: a megtermékenyítés milyen módjai ismeretesek a növényeknél és az állatoknál? Mi a mitózis? Mit tudtok az ember szaporodásáról?

Milyen az ivarsejtek felépítése?

Az ivarsejtek (gaméták) funkciója – a szülői szervezetek örökletes információjának átadása az utódoknak. Az ivarsejtek a szomatikus (testi) sejtek kromoszóma-készletének felét tartalmazzák (haploid kromoszómaszámúak). Az adott szervezet testi sejtjeire jellemző kromoszómaszám a megtermékenyített petesejtben (zigótában) áll vissza.

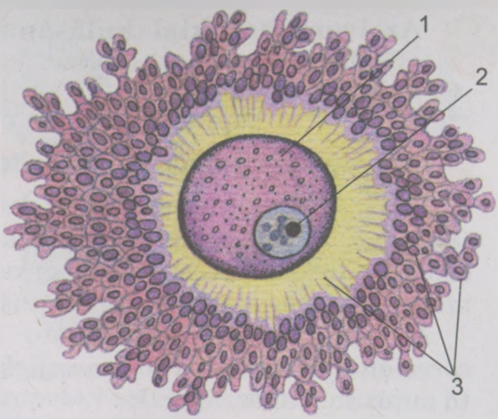
A petesejtekben jelentős mennyiségű tartaléktápanyag található, és több burok veszi őket körül. Például a madarak petesejtje (tojása) vastag fehérjeburokkal, két belső héj alatti hártyával, kemény mészhéjjal, vékony, hártyaszerű külső kutikuláris bevonattal van borítva. A felszíni burkok védőfunkciót látnak el, a fehérjeállo-



3.1. ábra. *A madártojás szerkezete:*
1 – mészhéj; 2 – csírakorong; 3 – jégzsinór; 4 – külső héjhártya; 5 – légkamra; 6 – fehérjeburok; 7 – sárgaszik; 8 – szikhártya; 9 – belső héjhártya

mány pedig vízforrásként szolgál a fejlődő embrió számára.

Az emlősök petesejtjét is több burok veszi körül, ezeknek védő és tápláló funkciójuk van (3.2. ábra). A burkok száma ugyanakkor kisebb, mint a hüllőknél vagy a madaraknál, mivel az utóbbiak embriója hosszú ideig az anyai szervezeten kívül fejlődik.



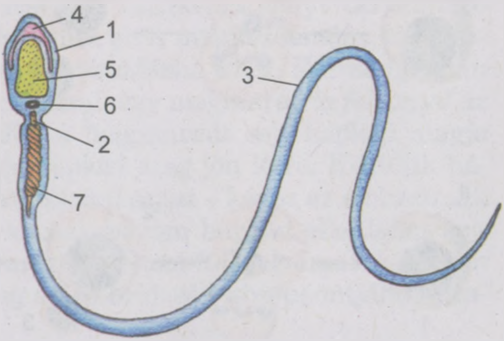
3.2. ábra. *1. Emlősök petesejtje. 2. Mag. 3. Külső burkok*

A petesejt mérete a citoplazmában tárolt tartalék tápanyagok mennyiségétől függ. Például az emlősök többségénél, amelyek embriói az anyaszervezettől kapják a tápanyagokat a méhlepényen keresztül, a petesejt mérete (a külső burok nélkül) 50 μm (egérféle rágcsálók – mezei egér) és 180 μm (birkák) között váltakozik. Az ember petesejtje 90 μm átmérőjű. Ha a petesejtben jelentős mennyiségű tartalék tápanyag halmozódik fel, a petesejt átmérője (a külső burok nélkül) elérheti a néhány centimétert: a cápánál 5–7 cm, a struccnál 8 cm. A külső burokkal együtt az ilyen petesejtek átmérője még nagyobb. Például az afrikai strucc tojása meghaladhatja a 15 cm hosszúságot, tömege 1,5–2 kg lehet.

A hím ivarsejtek (spermiumok) mérete kisebb, mint a petesejteké, hosszuk 10–800 μm. A *spermiumoknak* nevezett hím gaméták sok esetben ostorral (farokkal) vannak ellátva (zöldmoszatok, magasabbrendű spórás növények, az állatok többsége), amelyekkel képesek aktívan mozogni. A vörösmoszatoknál, fenyőféléknél és nyitvatermőknél, gombáknál, az állatok egy részénél (gyűrűsférgek, folyami rákok, tarisznyarákok) a hím gamétáknak nincs ostoruk. Egyes állatok spermiumai amöboid mozgásra képesek (orsóféreg).

Az emlősök spermiumainak rövid fejrészében (3.3. ábra) sejtmag és kevés citoplazma található. Az örökletes információ igen tömör állományú: az érett spermium magjának térfogata közel 30-szor kisebb annál, mint amilyen az elődsejté volt.

A fej elülső részén sajátságos sejtszervecske – *akroszóma* – található (3.3., 4. ábra). Ez enzimeket tartalmaz, ami feloldja a petesejt burkát, s ezáltal segíti a spermium behatolását a petesejtbe. Ennek alapján valamennyire a lizoszómára emlékeztet. A fej után a szűk nyak következik, ebből ered a farokszerű ostor. A spermium valamennyi részét plazmamemrán borítja. A fej membránja speciális fehérjéket tartalmaz. Ezek némelyike a spermiumok mozgását a petesejt felé irányítja, míg a többi a petesejt burkához való tapadásukat biztosítja.



3.3. ábra. *Az emlősök spermiumának felépítése: 1 – fej; 2 – nyak; 3 – farok; 4 – akroszóma; 5 – mag; 6 – centriólum; 7 – mitokondrium*

Az ivarsejtek kialakulásának folyamatát *gametogenezisnek* nevezzük (*gör. gamete* – feleség vagy *gametes* – férj, *genesis* – eredet, származás).

Hogyan képződnek az ivarsejtek?

Megvizsgáljuk az ivarsejtek keletkezésének menetét az emlősök példáján (3.4. ábra). A petesejtek és a spermiumok az ivarmirigyekben keletkeznek elsődleges diploid ivarsejtekből, egymás utáni szakaszok láncolatán keresztül: szaporodás, növekedés, érés és formálódás.

A **szaporodási szakaszban** a hím ivarsejtek diploid elősejtjei, a *spermatogoniumok* és a női ivarsejtek elősejtjei, az *ovogoniumok* egymást követő mitózisokkal osztódnak.

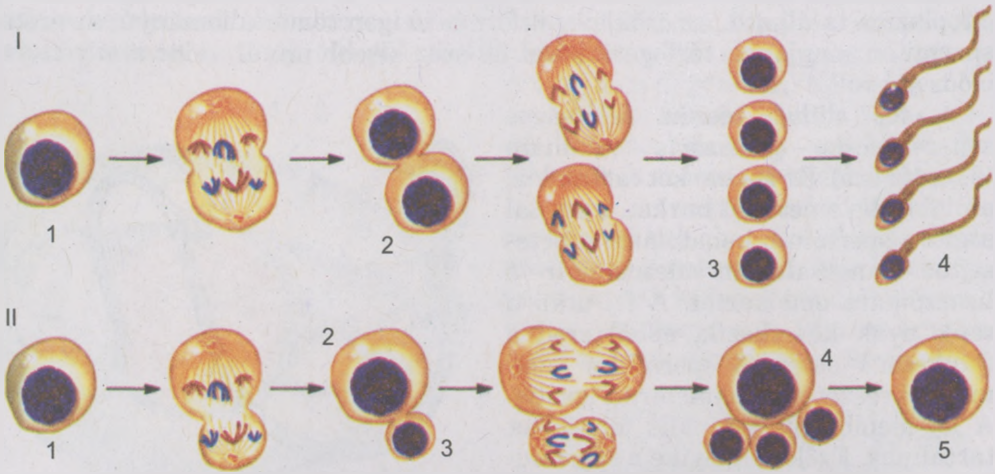
A **növekedési szakaszban** a keletkezett sejtek bizonyos méretig növekednek. A spermiumok elősejtjeit *I. rendű spermatocitá*knak, a petesejtek elősejtjeit *I. rendű ovocitá*knak nevezzük.

Az **érési szakaszban** a diploid I. rendű spermatociták és I. rendű ovociták meiotikusan osztódnak, és haploid, éretlen gamétákká alakulnak.

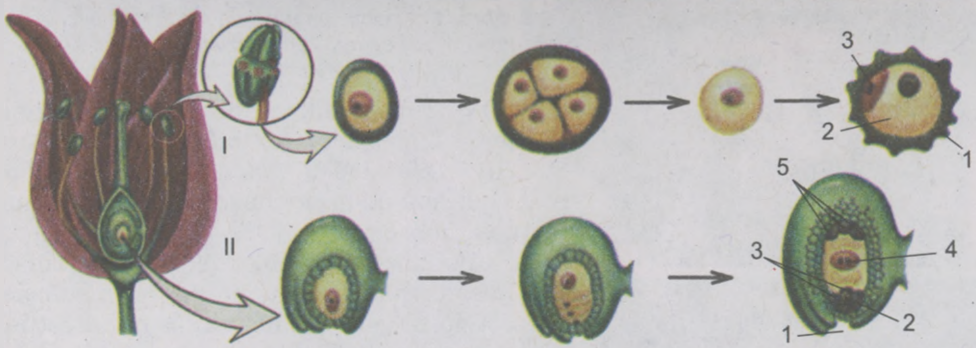
A hím és a női gaméták képződési folyamatának megvannak a maga sajátosságai.

A hím ivarsejtek érésekor két egymás utáni meiotikus osztódás eredményeként négy egyforma haploid sejt keletkezik. Az első meiotikus osztódás után *II. rendű spermatocitáknak*, a második után *spermatidáknak* nevezzük őket. A **formálódás szakaszában** ezeknek a sejteknek a magja és citoplazmája tömörül, ennek következtében csökken a méretük, és *spermiumok* képződnek. A folyamat mintegy 80 napig tart. A spermiumok csak ezt követően válnak képessé az önálló mozgásra és a petesejt megtermékenyítésére.

A női ivarsejtek érésekor az első meiotikus osztódás után két különböző méretű haploid sejt keletkezik: egy nagy, amely az embrió fejlődéséhez szüksé-



3.4. ábra. *Az emlősök gametogenezise: I. Spermatogenezis: 1 – I. rendű spermatocita; 2 – II. rendű spermatocita; 3 – spermatidák; 4 – spermiumok. II. Ovogenezis: 1 – I. rendű ovocita; 2 – II. rendű ovocita; 3 – sarki testecske; 4 – petesejt; 5 – érett petesejt*



3.5. ábra. *A virágos növény ivarsejtjei. I. Virágporszemcse: 1 – hártyák; 2 – vegetatív sejt; 3 – reproduktív sejt. II. Embriózsák a magkezdeményben: 1 – mikropile; 2 – petesejt; 3 – kísérő sejtek; 4 – központi sejt diploid maggal; 5 – ellenlábas (antipoda) sejtek*

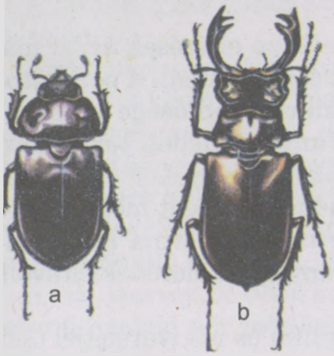
ges tartalék tápanyagokat tartalmazza (*II. rendű ovocita*), és egy kicsi (úgynevezett *sarki testecske*). A második meiotikus osztódás után négy haploid sejt jön létre: egy nagy *petesejt* és három kis sarki testecske, amelyek egy idő után eltűnnek.

A spermiumok és petesejtek képződésében mutatkozó eltérések azzal magyarázhatók, hogy az előbbiek a megtermékenyítés során csupán a petesejtbe juttatják örökítő anyagukat, ezért tömegüknek nincs jelentősége a leendő embrió fejlődését tekintve. A petesejt a saját örökítő anyaga mellett tartalmazza az összes sejtszervecskét és tartalék tápanyagokat, amelyeket az embrió fejlődése során felhasznál. A maximális citoplazma-mennyiséget megtartva a petesejt haploiddá válik. Ez két egymás utáni, de nem egyforma meiotikus osztódással történik: a sarki testecskék az örökítő anyag többletének eltávolítására szolgálnak.

Némileg másként képződnek a virágos növények hím és női ivarsejtjei (3.5. ábra). A porzók portokjában két hártyával bevont pollenszemcsék (virágporszemcsék) képződnek. A pollenszemcsében két haploid sejt található: egy nagy vegetatív és egy kisebb reproduktív. Éréskor a reproduktív sejtből két haploid spermium képződik.

A virágos növények petesejtje a belsejében magkezdeményt tartalmazó embriózsák egyik pólusa közelében helyezkedik el. A magkezdemény kialakulását követően a diploid anyasejt meiotikus osztódásba kezd. Ennek nyomán négy haploid sejt jön létre. Közülük három elhal, egy megmarad *(a folyamat az emlősök ovogenezisére emlékeztet)*. Később a megmaradt sejt haploid magja mitózissal háromszor osztódik. Így nyolc haploid mag jön létre. Közülük három haploid sejteket – egy petesejtet és két kísérő sejtet – képez az embriózsák egyik pólusánál. A másik pólusnál ugyancsak három haploid ellenlábas sejt jön létre. Ezek nem vesznek részt sem a megtermékenyítés folyamatában, sem a mag kialakításában. Az utóbbi két mag az embriózsák középpontjához vándorol, s ott diploid maggá olvad össze.

Az ivaros szaporodás folyamatában rendszerint két egyed vesz részt. Sok állatnál különleges nemi vagy ivarmirigyben fejlődnek ki a hím vagy a női ivarsejtek. Azokat az állatokat, amelyeknek vagy hím (herék), vagy női (pete-



3.6. ábra. *1. A nemi dimorfizmus megjelenési formái: nőstény (a) és hím (b) oroszlán (1), fácán (2), szarvasbogár (3)*

fészek) ivarmirigyeik vannak, és csak egyféle ivarsejtet képeznek, ***váltivarúaknak*** nevezzük. Ilyen a gyűrűsférgek és a soksertéjű férgek, ízeltlábúak, gerinchúrosok, fejlábú puhatestűek többsége.

A különböző nemű állatok egyedei külsőleg hasonlíthatnak egymásra (a medúzák, soksertéjű férgek, két héjteknős puhatestűek zöme) vagy különbözhetnek egymástól. Ezt a jelenséget ***nemi dimorfizmusnak*** nevezzük. A nemi dimorfizmus a nemi érettség időszakában mutatkozik meg teljes egészében. Ez a nemi vagy ivarszervek eltérő felépítésének és a másodlagos nemi jelleg kifejlődésének köszönhető (3.6. ábra).

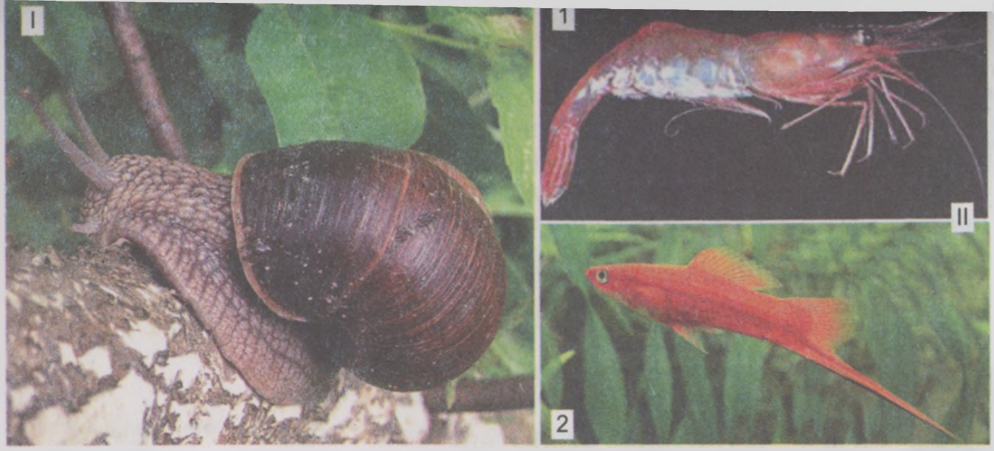
A ***másodlagos nemi jelleg*** olyan sajátosságok összessége, amelyek a nemi szervek különbözősége mellett egyéb módokon is megkülönbözteti egymástól az eltérő ivarú egyedeket. A másodlagos nemi jelleg kialakulása a nemi hormonok hatására történik. A másodlagos nemi jelleggel kapcsolatos külső jegyek megnyilvánulhatnak a testméretekben, az egyes testrészek felépítésében és egymáshoz való arányában, a színben, és véglegesen megmaradhatnak vagy csak a párzási időszakra korlátozódhatnak (mint egyes madarak, halak nászidőszakban megjelenő színe). Ezek az eltérő jellegek megkönnyítik a különböző nemű egyedek számára egymás felismerését és megtalálását, egyúttal szabályozzák a szexuális viselkedést.

A hím és a női ivarmirigyek kifejlődése egy egyeden belül is lehetséges. Az ilyen állatokat – a görög mitológia kétnemű lénye, Hermesz és Afrodité fia nyomán – ***hermafroditáknak*** nevezzük (3.7. ábra). Az éti csigának például csak egy ivarmirigye van, amely váltakozva hol női, hol hím ivarsejteket termel.

Előfordulnak esetek, amikor a szervezet először az egyik nemhez tartozó egyedként működik, majd bizonyos idő múlva a másik nem képviselőjeként (bohóchalak és kardhalak, garnélarákok; 3.7. II. ábra) mutatkozik. Elvétve a hermafroditizmus előfordul a váltivarú állatok különböző csoportjainál, sőt az emlősöknél is.

Mi a hermafroditizmus biológiai jelentősége?

A hermafrodita szervezetek esetében megnő az utódnemzés valószínűsége, mert nem kell energiát fordítani a partner felkutatására. Ebből kifolyólag a hermafroditizmus elsősorban azokra az állatokra jellemző, amelyek helyhez kötött vagy kevéssé aktív, esetleg élősködő életmódot folytatnak (bizonyos rák-



3.7. ábra. I. A hermafrodita éti csiga. II. Az életük folyamán a nemüket váltogató szervezetek: 1 – garnélarák; 2 – kardhal

félék, kétteknőjű puhatestűek). Például a galandférgek teste több ezer ízből állhat, s ezek mindegyikében együtt vannak a női és a hím ivarmirigyek. Ez rendkívüli szaporaságot biztosít számukra: a szarvasmarha galandféreg egy-egy ízében 125–175 ezer pete található. Egy hónap alatt ez a parazita 50 millió petét termel, egy év alatt 400 milliót, tíz év alatt 4 milliárdot.

Az önmegtermékenyítés nem kedvez az örökletes jelleg változatosságának, ezért a hermafroditák többségénél olyan mechanizmusok alakultak ki, amelyek ezt kiküszöbölik: különböző időben érnek meg a hím és a női ivarsejtek, az állatok esetében sajátságos az ivarszervek felépítése, a növényeknél pedig kétlakiság figyelhető meg.

Hogyan történik a szaporodás ütemének szabályozása?

Kedvezőtlen létfeltételek (mostoha éghajlati viszonyok, táplálékhiány, a termő- vagy a fészkelő hely hiánya) esetén a szervezetek egyedszáma csökken, kedvező feltételek esetén ellenkezőleg – növekszik. A szükséges források bősége kedvez a szaporodásnak, de az egységnyi területre vagy térségre eső egyedszám növekedése kimeríti a tápanyag- és egyéb forrásokat. Ezért léteznek olyan mechanizmusok, amelyek fékezik a túlszaporodást és a populáció sűrűségének növekedését. Az állatoknál:

- csökken a termékenység;
- késik az ivarérés;
- megnő a pusztulás szintje (a fajon belüli konkurencia erősödése, a paraziták hatása, a ragadozók elszaporodása következtében);
- módosulnak a viselkedési reakciók.

A növényeknél ***önritkulás*** történik: a hajtások túl nagy sűrűsége esetén lelassul a növekedés és az egyedek egy része elpusztul. Nagy jelentősége van a növényfajok közötti, a természeti erőforrások (fény, megfelelő táplálást biztosító talajrész) megszerzéséért folytatott versengésnek.

A ragadozók szabályozzák a zsákmányukul szolgáló állatok populációjának nagyságát, a paraziták a gazdaállatok számát, a növényevő állatok a növények mennyiségét.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Gaméták, gametogenezis, váltivarú állatok és hermafroditák.*

Ismétlő kérdések. 1. Mi jellemzi a női ivarsejtek felépítését? 2. Milyen a hím ivarsejtek felépítése? 3. Mi a gametogenezis? Milyen szakaszok különböztethetők meg a gametogenezis során? 4. Miben különbözik egymástól a női és a hím ivarsejtek kialakulásának folyamata? 5. Milyen szervezeteket nevezünk hermafroditáknak? Miben áll a hermafroditizmus biológiai jelentősége?

Bonyolult feladat. Gondolkodjatok el azon, hogy a hermafroditizmus miért jellemző elsősorban az élősködő vagy helyhez kötött életmódot folytató állatokra!

1. SZ. LABORATÓRIUMI MUNKA

Téma: Az ivarsejtek szerkezete

Cél: *Ismerkedés az emlősök ivarsejtjeinek szerkezeti sajátosságaival.*

Eszközök és anyagok: mikroszkópok, petesejtek és spermiumok mikroszkópos készítményei és elektronmikroszkópos fényképfelvételei, szemléltető eszközök emlősök ivarsejtjeinek szerkezeti vázlatával, táblázatok, tankönyvek.

A munka menete:

1. Készítsétek elő a mikroszkópot a munkához!
2. A mikroszkóp gyenge nagyítása mellett keressétek meg a mikroszkópos készítményen a spermiumokat (például a tengeri malac spermasejtjeit)!
3. A mikroszkóp erős nagyítása mellett keressétek meg a spermiumok alapvető részeit: fejet, nyakat, farkat! A fejrészen keressétek meg a magot és az akroszómát!
4. Hasonlítsátok össze a látottakat más emlősfajok spermiumairól készült mikroszkópos felvételekkel és szerkezeti vázlatokkal!
5. A mikroszkóp gyenge nagyítása mellett keressétek meg a petefészek mikroszkópos készítményén a petesejteket (a tengeri malac petesejtjeit)!
6. A mikroszkóp erős nagyítása mellett keressétek meg a petesejt alapvető részeit: a sejtmagot a magocskákkal, az inhomogén citoplazmát, a hártyákat!
7. Hasonlítsátok össze a látottakat a különböző emlősfajok petesejtjeiről készült mikroszkópos felvételekkel és szerkezeti vázlatokkal!
8. Megfigyeléseitek eredményeit írjátok be a füzetetekbe!

TEMATIKUS TUDÁSSZINTFELMÉRÉS

I. A megadott válaszok közül válasszátok ki az egy helyest:

1. Jelöljétek meg a gametogenezisnek azt a stádiumát, amelyben végbemegy a meiózis: a) szaporodás; b) növekedés; c) érés; d) alakulás (formálódás)!

2. Mutassátok meg az I. rendű ovocitából létrejövő petesejtek számát: a) egy; b) kettő; c) három; d) négy!

3. Állapítsátok meg, mi a gaméták összeolvadásának a neve: a) kopuláció; b) poliembrióniа; c) partenogenezis; d) konjugáció!

II. Megfelelési feladat.

1. Állapítsátok meg a megfelelést az emlősök gametogenezise és az ennek során végbemenő események között:

A gametogenezis stádiuma	Esemény
A. Szaporodás B. Növekedés C. Érés D. Alakulás (formálódás)	1. A spermiumok citoplazmájának tömörülése, a petesejt külső hártyarészeinek képződése 2. Az elsődleges ivarsejtek egymást követő mitotikus osztódásai 3. Megtermékenyítés 4. Meiózis 5. Növekedés

2. Állapítsátok meg a megfelelést a szaporodásformák és azok mechanizmusai között:

Szaporodásformák	Mechanizmusok
A. Ivartalan szaporodás B. Vegetatív szaporodás C. Partenogenezis D. Konjugáció	1. Örökletes információcsere a papucsállatkánál 2. Alvórügyekről való szaporodás 3. Megtermékenyítetlen petesejtből való fejlődés 4. Többszörös sejtosztódás 5. Oogámia

3. Állapítsátok meg a megfelelést a szervezetek és a szaporodásformák között:

Szervezetek	Ivaros szaporodásformák
A. Papucsállatka B. Chlamydomonas C. Elefánt D. Egyes levéltetvek	1. Oogámia 2. Partenogenezis 3. Konjugáció 4. Poliembrióniа 5. Izogámia

III. Nyitott kérdések.

1. Mi a közös és az eltérő az emlősök és a virágos növények spermatozoidjainak (spermiumainak) és petesejtjeinek képződésében?

2. Milyen kapcsolat áll fenn a vegetatív szaporodás és a regeneráció között? Feleleteteket indokoljátok meg!

3. Mi a közös és az eltérő a vegetatív és egyéb ivartalan szaporodásformákban?

5. téma Az örökletesség törvényszerűségei

A téma tanulása során megismerkedtek az örökletesség alapvető törvényszerűségeivel; a genetika kutatási módszereivel; a kapcsolt öröklődés jelenségével és az örökletesség kromoszómaelméletével; az allél és nem allél gének kölcsönhatásának jellegével; a sejtmagon kívüli öröklődés sajátosságaival. Megtanuljátok, hogyan kell megoldani a mono- és dihibrid keresztezéssel kapcsolatos feladatokat.

1. §. A GENETIKA MINT A SZERVEZETEK ÖRÖKLETESSÉGÉRŐL ÉS VÁLTOZÉKONYSÁGÁRÓL SZÓLÓ TUDOMÁNY

A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása érdekében idézzétek fel: mi az öröklődés, a változékonyság, a kromoszómák, a gén, a genóm, a kariotípus? Mi a mutáció? Mik az emberi vércsoportok? Miben áll a lényegük? Milyen a plazmamembrán szerkezete? Milyen funkciókat láthatnak el a sejtmembránok receptormolekulái?

Miért hasonlítanak a gyermekek a szüleikre? Mi az oka annak, hogy egyzon faj egyedei többé-kevésbé hasonlítanak egymásra, míg a különböző fajok gyedei nem? Az ok abban rejlik, hogy minden szervezet univerzális tulajdonága az ***örökletesség, vagyis az a sajátosság, hogy tovább tudják adni ajat jegyeiket és egyedfejlődésük tulajdonságait az utódoknak***.

Ugyanakkor az élet folyamán minden szervezet, így az emberi szervezet is áltozik. Ráadásul rendkívül nehéz lenne két teljesen egyforma embert találi. Ennek oka egy másik univerzális biológiai törvényszerűség: a ***változónyság,*** vagyis ***az a sajátosság, hogy a szervezetek új jegyekre tehetek szert egyedfejlődésük során***.

Az örökletesség és változékonyság – az élő szervezetek ellentétes tulajdonigai. Az örökletességnek köszönhető a biológiai fajok állandósága. A változónyság eredményeként keletkeznek az új jegyek és változataik, azaz lehetővé ilik új fajok létrejötte és a bioszféra egészének történelmi fejlődése.

A két általános biológiai jelenség, az örökletesség és a változékonyság kézi a ***genetika*** (gör. *genesis* – eredet, származás) tudományának vizsgálati rgyát. Születésének dátumát 1900-ra teszik, amikor három tudós, a holland ugo de Vries, a német Karl Erikh Korrens és az osztrák Erich von Tscherak növényi hibridizációs kísérlet során – egymástól függetlenül – újra feltár-

ták a genetika törvényeit, amelyeket korábban Gregor Mendel cseh tudós fedezett fel. Kísérleteinek eredményeit a *Növényi hibridekkel folytatott kísérletek* (1865) című munkájában tette közzé. A genetika elnevezést az új tudománnyal kapcsolatban William Bateson angol tudós javasolta 1906-ban.

Melyek a genetika alapfogalmai?

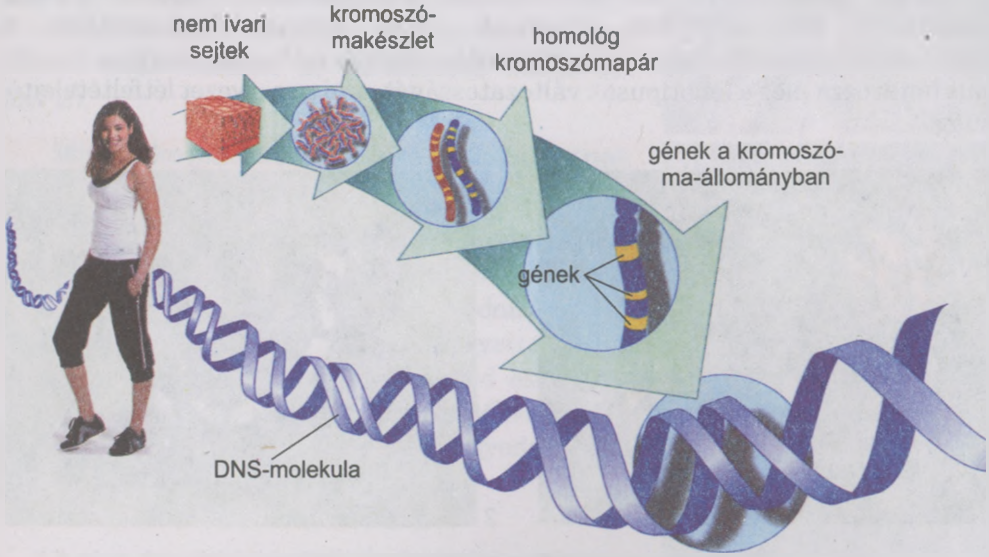
Az emberi szervezet testi sejtek milliárdjaiból áll, ezek mindegyikének teljesen azonos a génkészlete. Mindegyik nem ivari sejtben (egyes sejteket leszámítva; *nevezzétek meg őket*) diploid kromoszómakészlettel rendelkező mag található. Mindegyik kromoszómapárban az egyik kromoszóma az anyától, a másik az apától származik. Mindegyik kromoszóma egy hosszú DNS-molekulát tartalmaz, ez kódolja a fehérjemolekulákat és az RNS-molekulát (4.1. ábra).

A nukleinsav-molekulák szervezetek örökletes jegyeinek fejlődését meghatározó szakaszát* genomnak *nevezzük (*gör. genos* – nem, származás).

A „gén" szakkifejezés bevezetését 1909-ben Wilhelm Ludwig Johannsen (1857–1927) dán tudós javasolta. A polipeptid-molekula, a fehérje és a meghatározott típusú RNS elsődleges szerkezetét kódoló géneket *strukturális* vagy *szerekezeti* géneknek nevezzük. Más típusúak a *szabályozó* gének, amelyek kölcsönhatnak a biológiailag aktív anyagokkal, és befolyásolják a strukturális géneket.

A gének bizonyos *jellegeket* (*jegyeket*) kódolnak, mint például a termések alakja, a szervezetek nagysága, szemszín. A paradicsom termése lehet gömbölyű és ovális, az ember hajszíne lehet világos vagy sötét, a növények lehetnek magasak vagy alacsonyak. Ez azt bizonyítja, hogy meghatározott gének különböző állapotban lehetnek.

Valamely gén különböző strukturális állapotait allél géneknek vagy alléleknek nevezzük (*gör. allelon* – kölcsönös).



4.1. ábra. *A gén – az öröklődés alapegysége*

Az allél gének a kromoszómapárnak (*homológ kromoszómáknak*) ugyanazon helyén találhatók. Az ilyen helyet ***lókusznak*** (lat. *locus* – hely) nevezzük.

Egy meghatározott gén különböző alléljei valamely jelleg különböző változataiért felelnek. Valamely jelleg egyes változatait **féneknek nevezzük**. Az egyes fének példája a veteményborsó szemeinek sárga vagy zöld színe, az ember kék vagy barna szemszíne. Önálló tudományágként létezik a ***fenetika***, amely a fének különböző fajok populációiban való megjelenését és elterjedésének törvényszerűségeit vizsgálja.

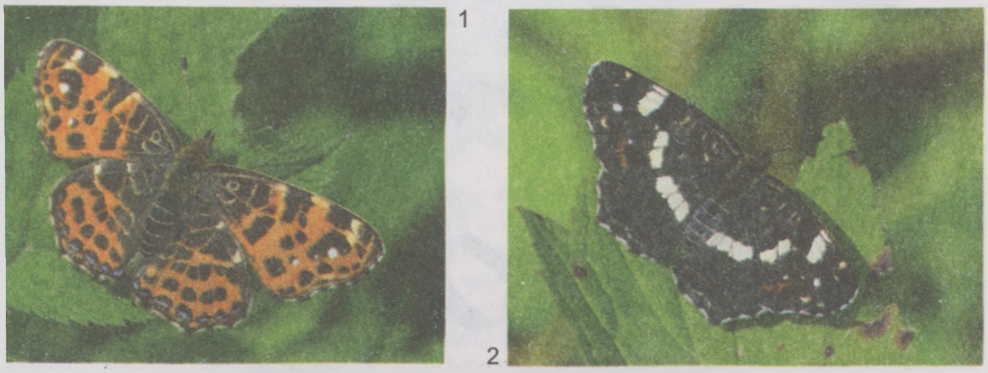
Megjegyzendő, hogy a jellegek lehetnek mennyiségiek és minőségiek. A mennyiségi jelleg példája az emberi kéz és láb ujjainak vagy valamely állatfaj fogainak száma. Minőségi jelleg a szem- és hajszín, a virágpárta vagy a terméshéj színe, a termés alakja.

Egy adott fajhoz tartozó szervezet haploid kromoszóma-készletében lévő DNS-szekvenciák összességét **genomnak** ***nevezzük. Az egyes sejtek vagy az egész szervezet génjeiben kódolt örökletes információ összessége a*** **genotípus.**

A genóm a faj összességét jellemző mutató, míg a genotípus egy különálló egyed jellemzője (attól függően, hogy haploid, diploid vagy poliploid a kromoszómakészlete).

A genotípus és a környezeti tényezők kölcsönhatása következtében alakul ki a **fenotípus**, azaz ***a szervezet valamennyi jegyének és sajátosságainak összessége***. A 4.2. ábrán a nappali pókhálós lepke két fenotípusa látható. Ha a lepke alacsony hőmérsékleten fejlődött és kelt ki a bábból (tavaszi forma), akkor szárnyának az alapszíne (1) téglavörös lesz. Ha a báb magas hőmérsékleten (nyári forma) fejlődött, a pillangó szárnyának alapszíne sötét árnyalatú (2).

Az élet során a szervezetek genómja nem módosul, változások csak mutációk következtében jöhetnek létre benne. Ugyanakkor a szervezetek fenotípusa az egyedfejlődés közben változik. Vagyis a genotípus határozza meg a fenotípusok változatosságát, ami a szervezet létfeltételeitől függ.



4.2. ábra. *A pókhálós lepke tavaszi (1) és nyári formája (2)*

Milyen az allél gének kölcsönhatása?

Egyes gének mutációja új allélek megjelenésével jár, amelyekből több tucat vagy még több is lehet. Eközben az egyes gének alléljei elnyomhatják más allélek megjelenését. A diploid (amikor minden kromoszómának van párja) szervezet meghatározott génjének két egyforma vagy eltérő allélje lehet. Gyakrabban jelennek meg olyan változatok, amelyeket a két különböző allél egyike határoz meg, miközben a másik változat mintha eltűnne.

A lóherének önsterilitást meghatározó génje van (lehetetlenné teszi az önbeporzást) és mintegy 200 allélje lehet.

Azt az allélt, amelyik a másik jelenlétében mindig megjelenik a jelleg egy adott állapota formájában,* dominánsnak, *a meg nem jelenőt pedig* recesszívnek *nevezzük. Az egyik allél másik általi elnyomását* dominanciának *nevezzük.

Például a paradicsom termésének piros színét meghatározó allél dominál a sárga színt megjelenítő allél felett; az embernél a fekete szemszínt hordozó gén dominál a kék szemszínt hordozó gén felett. A domináns alléleket a latin ábécé nagybetűivel (***A, B, C, D***), a megfelelő recesszív alléleket kis betűkkel (***a, b, c, d***) jelöljük.

Minél több allélje létezik egy génnek, annál több változata van a populáción belül egy meghatározott jellegnek. Például a nyulak esetében több allél határozza meg a prém színét (4.3. ábra). A vad szín allélja (***C***) dominál az összes többi felett. A csincsilla (c^{ch}) és himalája (c^h) színeket meghatározó allél dominál az albinizmus allélja fölött (c).

Milyen kombinációkban kapcsolódhatnak az allél gének a szervezetek genotípusában?

A diploid szervezetben egy adott génnek csak két allélja lehet – egy domináns (***A***) és egy recesszív (***a***). Ez a két allél háromféle módon kapcsolódhat: ***AA***, ***Aa*** és ***aa***. Amint észrevettétek, az első és a harmadik kapcsolódási mód esetén az egyed genotípusában két egyforma allél van jelen: az ***AA*** és ***aa*** genotípusok. Az ilyen egyedeket homozigótáknak nevezzük.

4.3. ábra. *A nyulak különböző típusú színei: 1 – szürke; 2 – csincsilla; 3 – himalája; 4 – albinó*

Homozigótának *nevezzük azt a diploid vagy poliploid sejtet (egyedet), amelynek homológ kromoszómái meghatározott gének azonos alléljeit hordozzák.*

Esetünkben két domináns ***A*** vagy két recesszív ***a*** allélről van szó. Azokat az egyedeket, amelyekben két különböző – egy domináns (A) és egy recesszív (a) – allél található, heterozigótának nevezzük

Heterozigótának (*gör. heteros* – más és *zigotos* egyesített) ***nevezzük azt a diploid vagy poliploid sejtet (egyedet), melynek homológ kromoszómái meghatározott gének különböző alléljeit hordozzák.***

Vannak esetek, amikor valamely jelleg meghatározott változatának kialakításában mindkét allél gén részt vesz. Példaként az ember vércsoportjainak öröklődése említhető (4.1. táblázat).

Mint emlékezhettek, a vörös vérsejtek membránjában receptorfehérjék lehetnek, amelyeket **A** és **B** betűkkel jelölnek. A vérplazmában α és β betűkkel jelölt antigének fordulhatnak elő. Ha **A** és α vagy **B** és β molekulák találkoznak egymással, akkor antigén-antitest típusú reakció játszódik le közöttük. Az I^A és az I^B jelölésű allélek határozzák meg, hogy milyen receptor-molekulák jelenjenek meg a vörös vérsejtek membránjában, az i^0 allél a megfelelő gén inaktív alakja. Az I^A és az I^B allélek teljesen dominálnak az i^0 allél fölött, ezért az $I^A i^0$ vagy az $I^B i^0$ genotípusú embereknél csak domináns allélek jelennek meg, és ennek megfelelően náluk második (**A**) vagy harmadik (**B**) vércsoport alakul ki. De az I^A és az I^B allélek nem dominálnak egymás fölött. Ezért abban az emberben, akinek a genotípusában I^A és I^B allélek találhatók, négyes vércsoport (**AB**) alakul ki, vörös vérsejtjeinek membránjaiban pedig mindkét típusú receptor-molekula képződik (4.4. ábra).

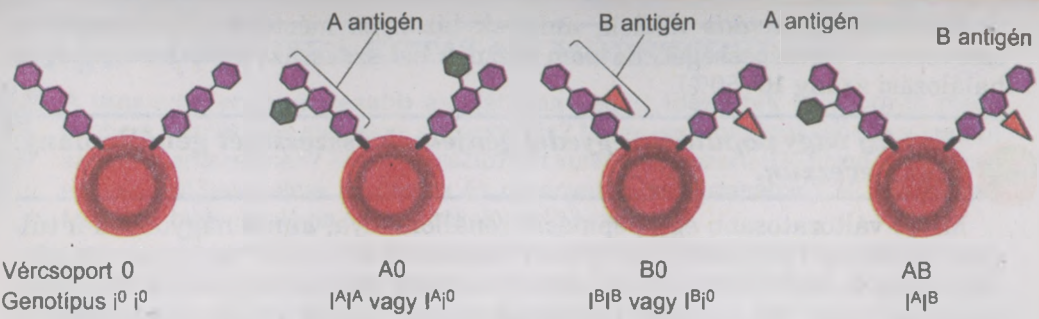
4.1. táblázat

Az ember vércsoportjai

Emberi vércsoportok	A vörös vérsejt membránjaiban lévő fehérjemolekula-típusok (aglutinogének)	A vérplazmában lévő fehérjemolekula-típusok (aglutinogének)
I (0)	Hiányoznak	α i β
II (A)	**A**	β
III (B)	**B**	α
IV (AB)	**A** és **B**	hiányoznak

Mindkét allél gén részvételét egy heterozigóta egyed valamely jellegállapotának meghatározásában* kodominanciának *vagy együttes dominanciának nevezzük.

Abban az esetben, ha egyik allél sem dominál a másik fölött, *intermedier köztes) öröklődés* figyelhető meg. Például az éjszépe vörös és fehér virágú ho-



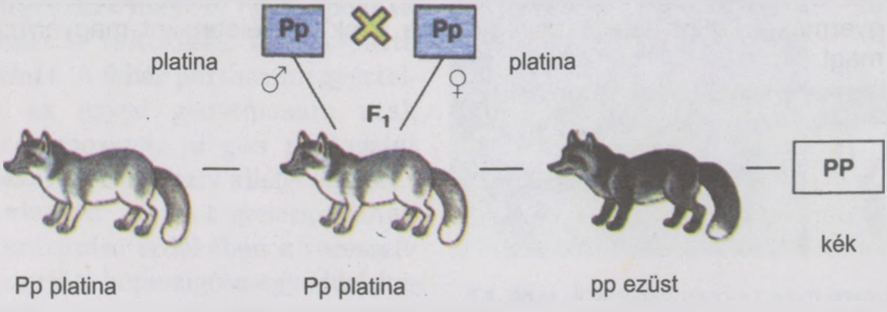
4.4. ábra. *Különböző receptorvariánsok az emberi vörös vérsejt membránjaiban*

mozigóta egyedeinek kereszteződése következtében az első hibridnemzedék virágai rózsaszínűek lesznek (4.5. ábra).

Az intermedier öröklődés esetei állatoknál is ismertek. Például az andalúziai tyúk homozigóta egyedeinek tollazata fekete vagy fehér, míg a heterozigóta utódoké szürke lesz a homozigóta szülők kereszteződése folytán.

Vannak olyan allélek, amelyek a fenotípusban megnyilvánulva a szervezet pusztulását okozzák a fejlődés valamelyik szakaszában. Ezeket *letális* (lat. *letalis* – halálos) alléleknek nevezzük. Például a platina színű rókaprémet nagyra értékelik a szőrcsiparban. Ezt a színt egy domináns allél (***P***) határozza meg. A platina színű rókákat egymással keresztezve utódaik között a platina színűek mellett ezüst színűek is megjelentek. A platina színt hordozó génre nézve a homozigóta egyedek kitenyésztésének kísérletei nem jártak sikerrel. Kiderült, hogy a platina színt tekintve homozigóta egyedek nem léteznek, mivel az ilyen genotípusú (***PP***) embriók még a fejlődés korai szakaszában elpusztulnak (4.6. ábra). Leggyakrabban a letális allélek recesszívek, ezért a fenotípusban rendszerint csak homozigóta állapotban jelenhetnek meg.

4.5. ábra. *Intermedier öröklődés: 1, 2 – homozigóta szülők; 3 – első hibrid nemzedék*



4.6. ábra. *A rókaprém platina színének öröklődése*

Léteznek *szubletális* allélek, amelyek bizonyos mértékben csökkentik a szervezetek életképességét, de nem idéznek elő százszázalékos halálozást (a halálozási arány 10–50%).

Egy faj vagy populáció egyedei génjeinek összességét* génállománynak *nevezzük.

Minél változatosabb egy populáció génállománya, annál nagyobbak a túlélési lehetőségei az élőhely környezeti változásai közepette. Az egyforma génállománnyal rendelkező egyedek ugyanis azonos módon reagálnak a környezeti változásokra. Ha az ilyen változások kedvezőtlenek rájuk nézve, akkor a populáció egyedszáma jelentős mértékben lecsökkenhet, sőt idővel a populáció is megszűnhet. Változatos génállomány esetén az élőhely környezeti változásai az egyféle genotípusú változatokra nézve kedvezőtlenek, míg egyéb genotípusú változatok esetében semlegesek vagy kedvezőek lehetnek. Következésképpen, minél változatosabb az egyes ökoszisztémák populációinak génállománya, az annál stabilabb. Ez vonatkozik az egész bioszférára, azaz bolygónk globális ökoszisztémájára: minél változatosabb a génállománya, annál stabilabb.

A génállomány változatosságának megőrzése bolygónkon a természetvédelem egyik elsőrendű feladata.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Öröklődés, változékonyság, allél gének, a jelleg domináns állapota, a jelleg recesszív állapota, homozigóta, heterozigóta, genotípus, fenotípus, génállomány.*

Ismétlő kérdések. 1. Mi az öröklődés és a változékonyság? 2. Magyarázzátok meg, mi a jelleg és jellegváltozatok lényege! 3. Mondjatok példákat mennyiségi és minőségi jellegekre! 4. Milyen géneket nevezünk alléleknek? Mi jellemző rájuk? 5. Milyen kölcsönhatásba léphetnek egymással az allél gének? 6. Milyen szervezeteket nevezünk homozigótáknak és heterozigótáknak? Mi a közös és az eltérő a genotípus és a genóm fogalmakban?

Bonyolult feladatok. 1. Az általános biológiai törvényszerűség szerint a heterozigóták életképesebbek, mint a homozigóták. Gondolkodjatok el azon, miért van így! 2. Milyen összefüggés van a bioszféra mint egységes globális ökoszisztéma stabilitása és a génállomány között? Feleleteteket indokoljátok meg!

Alkotói feladat. Egy egypetéjű férfi ikerpár egypetéjű iker nőket vett feleségül. Ugyanúgy fognak-e hasonlítani egymásra a két házasságból származó gyermekek, mint a teljesen egyforma ikrek? Feleleteteket magyarázzátok meg!

5. §. A GENETIKA KUTATÁSI MÓDSZEREI

A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: hogyan megy végbe a mitotikus és meiotikus sejtosztódás? Milyen sajátosságai vannak a kromoszóma szerkezetének? Mi a populáció? Mit kutat a rendszertan? Milyen taxonómiai egységeket használnak az állatok és növények rendszertanában? Mi a katalízis? Melyek a biotechnológia és sugárökológia fő feladatai?

Minden tudománynak megvannak a saját kutatási módszerei. Az összehasonlító-leíró, kísérleti, monitoring, modellezési módszerrel már korábban megismerkedtetek. Megvizsgáljuk azokat a főbb módszereket, amelyeket a genetikusok alkalmaznak kutatásaikban.

Milyen módszereket alkalmaznak a genetikusok kutatásaikban?

A genetikai kutatásokban elsőként a **hibridizációs módszert** kezdték alkalmazni. Ennek lényege az, hogy olyan szervezeteket kereszteznek (hibridizálnak) egymással, amelyek egy vagy több jelleg állapotában különböznek egymástól. Ennek eredményeként ***hibrid*** utódokat kapnak. A hibridizáción alapul a ***hibridizációs elemző módszer*** – *a jellegállapotok öröklődési sajátosságainak vizsgálata keresztezési rendszerek segítségével.*

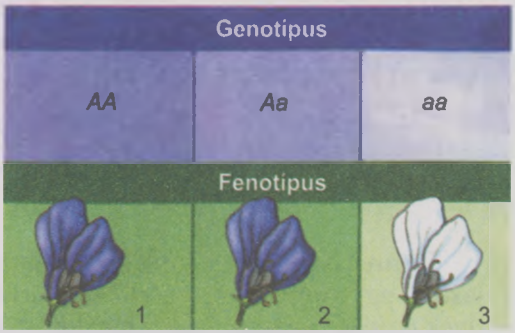
A keresztezés – *különböző egyedek genetikai anyagának egy egyedben való egyesítése.*

A keresztezés lehet monohibrid, dihibrid és polihibrid. *Monohibrid keresztezésről* beszélünk, amikor olyan szülői egyedeket hibridizálnak, amelyek a vizsgált örökletes jellegek egyetlen állapotában különböznek egymástól (például a mag színében); *dihibrid keresztezéskor* két állapotban (például a mag színe és felszínének szerkezete), *polihibrid keresztezéskor* három és több állapotban térnek el egymástól

Milyen jelölést használnak a keresztezés folyamatában?

Tekintsétek meg az 5.1. ábrát, amelyen a veteményborsó három, eltérő genotípusú egyedének virágai láthatók. Teljes dominancia mellett két genotípusváltozat – ***AA*** (az ***A*** allél szerinti homozigóta) és ***Aa*** (heterozigóta) – határozza meg a fenotípusnak ugyanazt a változatát: a virágpárta lila színét. A fehér pártaszín egyértelműen az egyed genotípusára utal, amely homozigóta a gén pártaszínt meghatározó recesszív allélje szerint.

A vizsgált egyedet genotípusának meghatározása érdekében a recesszív allél szerinti homozigóta egyeddel keresztezik. Ezt *elemző* keresztezésnek nevezzük.



5.1. ábra. *A veteményborsó három egyedének genotípusa és fenotípusa lila (1, 2) és fehér (3) pártaszínnel*

Az ilyen keresztezés azon alapul, hogy egy meghatározott gén ecesszív alléljét tekintve homozigóta egyedeknek mindig csak meghatározott fenotípusvariánsuk lehet és egyféle gamétákat képeznek.

Tegyük fel, hogy a veteményborsó populációja ***AA***, ***Aa*** és ***aa*** genotípusú egyedekből állnak. A domináns allél határozza meg a magas, a recesszív az alacsony szárat. Ebből adódóan a magas szárú egyedek genotípusa ***AA*** és ***Aa*** lehet, míg az alacsony szárúaké csak ***aa***. A magas szárú egyedek genotípusának meghatározásához ezeket olyan egyedekkel kell keresztezni, amelyeknek alacsony a száruk. A keresztezés menete vázlatosan lejjebb látható.

Ha az egyed, amelynek meg kell állapítani a genotípusát, a domináns allél szerinti homozigóta volt, a keresztezés menete a következő lesz:

P	♀	***AA***	×	♂	***aa***
gaméták		***A*** ***A***			***a*** ***a***
F_1		***Aa*** ***Aa***			***Aa*** ***Aa***

Figyeljétek meg a jelölést! A szülői egyedek **P** betűvel (lat. *parenthes* – szülők) vannak jelölve, a ♀ és ♂ jelképek rendre a női és a hím nemnek felelnek meg. Ha a szervezetek hermafroditák (egyes állatok) vagy kétnemű virágaik vannak (különböző növények), akkor tetszés szerint jelölhető az egyedek egyike hímneműként, a másik pedig nőneműként.

A keresztezés folyamatát a Punnet-táblázat (Reginald Crundall Punnett (1875–1967) angol genetikus tiszteletére nevezték el) segítségével célszerű ábrázolni. Először Punnet javasolta a keresztezés menetének ilyen jelölését. A vízszintes sorba valamely egyed – váltivarú szervezetek esetében az apa – gamétáit írják, míg a függőleges sorba a másik – az anyai – egyedét. A vízszintes és függőleges sorok metszéspontjaiban az utódok genotípusait tüntetik fel. Az első utódnemzedék jelölése: F_1 (lat. *filii* – fiúk). Punnet-táblázat segítségével leírjuk a domináns és recesszív alléleket hordozó homozigóta szülői egyedek keresztezésének menetét.

♀ / ♂	***a***	***a***
A	***Aa***	***Aa***
A	***Aa***	***Aa***

Ha az elemző keresztezés nyomán kapott utódok között nincs fenotípus szerinti hasadás, akkor a szülői egyed, amelynek a genotípusát ellenőriztük, domináns allélt hordozó homozigóta volt. Ha heterozigóta lett volna, akkor az elemző keresztezés a következő képet mutatná:

P	♀	***Aa***	×	♂	***aa***
gaméták		***A*** ***a***			***a*** ***a***
F_1		***Aa*** ***aa***			***Aa*** ***aa***

Punnet-táblázat segítségével lejegyezzük a szülői egyedek keresztezésének menetét, amelyek egyike recesszív allélt hordozó heterozigóta, a másik homozigóta.

♀ / ♂	***a***	***a***
A	***Aa***	***Aa***
a	***aa***	***aa***

Ha az elemző keresztezés eredményeként az utódok között **1 : 1** arányban fenotípus sze-

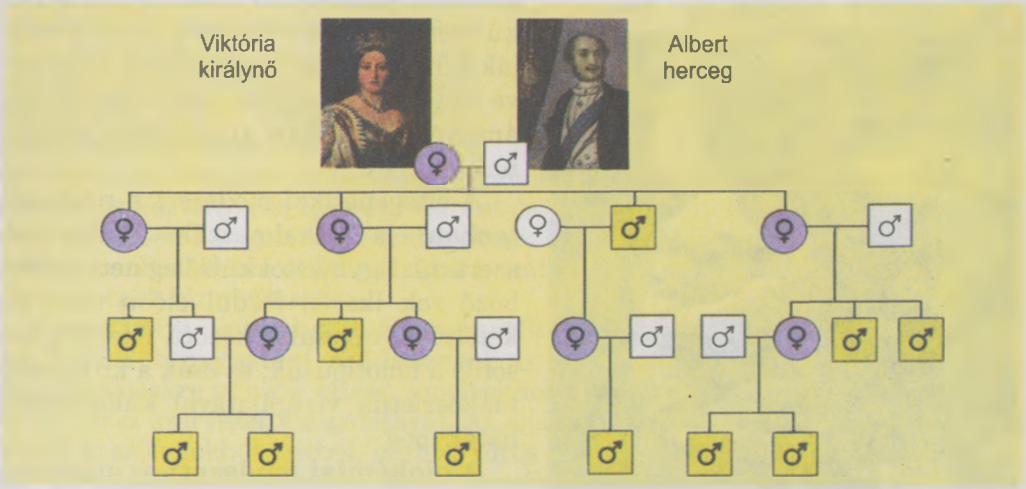
rinti hasadás figyelhető meg, akkor az az egyed, amelynek genotípusát meg kellett határoznunk, heterozigóta volt.

Az elemző keresztezést széleskörűen alkalmazzák a nemesítésben, mivel meghatározott fenotípussal rendelkező utódok előállítását teszi lehetővé.

A genealógiai módszer (gör. *genealogia* – családfa) az élőlények származási kapcsolatainak vizsgálatán alapul. A módszer lehetővé teszi meghatározott jellegek átörökítésének nyomon követését a különböző nemzedékekben. Alkalmazása széleskörűen elterjedt az orvosi genetikában és a nemesítésben. Segítségével megállapítható az egyed genotípusa, kiszámítható egyik vagy másik jelleg megnyilvánulásának valószínűsége a következő nemzedékekben. A családfákat a genetikai kutatásokban sémák formájában állítják össze meghatározott szabályok alapján: a nőket körrel, a férfiakat négyzettel jelölik. Az egyazon nemzedék tagjait jelölő szimbólumokat azonos sorban helyezik el, és vízszintes vonallal, az elődöket és utódokat pedig függőleges vonallal kötik össze. Azokat az egyedeket, amelyek a vizsgált jelleggel (például betegséggel) rendelkeznek, kiszínezik. Az emberek vagy más szervezetek minél több nemzedékét foglalja magában a családfa, annál teljesebb és megbízhatóbb a genealógiai elemzés eredménye.

Az 5.2. ábrán Viktória angol királynő családfájának részlete látható, akinek leszármazottai között orosz cárok is voltak. A családfát vizsgálva nyomon követhető egy súlyos betegség, a hemofília (vérzékenység) átörökítése (*idézzétek fel, milyen tényezők határozzák meg a véralvadást*). Tehát a genealógiai módszernek két fő szakasza van: családfa összeállítása és valamely jellegállapot átörökítésének genealógiai elemzése.

A **populáció-statisztikai módszer** lehetővé teszi a különböző allélek és allélkombinációk előfordulási gyakoriságának tanulmányozását a szervezetek populációiban, valamint a *populációk genetikai szerkezetének vizsgálatát*, vagyis azt, hogy valamely fajhoz tartozó szervezetek összes génjének mely lehetséges alléljei milyen gyakorisággal és milyen kombinációkban fordulnak elő. Ezt



5.2. ábra. *Viktória királynő családfájának részlete: ♂ – egészséges férfi; ♂ – vérzékenységben szenvedő férfi; ♀ – egészséges nő; ♀ – a betegséget meghatározó recesszív allél hordozója*

5.3. ábra. Albinó személy

a módszert használják az orvosi genetikában is meghatározott (elsősorban örökletes betegségeket hordozó) allélek elterjedésének tanulmányozására a lakosság különböző csoportjaiban. Ebből a célból egy adott területen szúrópróbaszerűen vizsgálják a lakosság egy részét, és a kapott adatokat statisztikailag feldolgozzák. Például ennek a módszernek a segítségével állapították meg, hogy a daltonizmus (színtévesztés, színvakság – a színek érzékelésével kapcsolatos látáshiba) recesszív allélje a nők 13%-ánál, a férfiak 7%-ánál fordul elő (a betegség csak a nők 0,5%-ánál nyilvánul meg, míg a recesszív allélt hordozó férfiak valamennyien színtévesztők). Az albinizmusért (a bőr és a szem szivárványhártyájának pigmenthiánya) felelős recesszív allél 0,0001–0,00005 (10 000–20 000 normális pigmentációjú személyre jut egy albinó) (5.3. ábra).

A **citogenetikai módszer** a szervezetek kromoszóma-készletének (kariotípusának) a vizsgálatán alapul. Az eljárás alkalmazásával kimutathatók a kromoszómák számának és szerkezetének változása következtében létrejövő mutációk. Az ilyen elváltozások az ember fejlődésének korai szakaszában (például a Down-kór) (5.4. ábra) diagnosztizálása kimutathatók. Megállapították, hogy a 21. kromoszóma szakaszának átkerülése a másik (13., 14., 15., vagy 22.) pár kromoszómájára a szülők egyikénél, 33%-ra növeli annak valószínűségét, hogy beteg gyerek születik. A sejtek kariotípusát a metafázis szakaszában tanulmányozzák, mivel a kromoszómák szerkezete a legpontosabban a sejtciklusnak ebben a periódusában mutatkozik meg. E célból az embertől minden károsodás okozása nélkül perifériás vért vesznek, abból kivonják a limfocitákat, és táptalajon tenyésztve mesterséges sejtosztódást idéznek elő, amelyet a metafázis állapotában leállítanak.

5.4. ábra. A Down-kór okozója a fölösleges 21. kromoszóma

A citogenetikai módszert a rendszertanban is alkalmazzák (kariorendszertan). Egymástól külsőleg nem különböző sok ikerfaj fordul elő a rovarok, kétéltűek, rágcsálók között. Ezeknek hasonló a fenotípusuk, és csak a kromoszómakészletük vizsgálatával különböztethetők meg.

A **biokémiai módszert** az anyagcserezavarokkal kapcsolatos örökletes betegségek diagnosztizálására alkalmazzák. A segítségével a szervezet normális

állapotára nem jellemző fehérjéket mutatnak ki, ami mutáns gének meglétét jelzi. Több mint 1000 olyan emberi betegség ismeretes, amelyeket mutációk okoznak (például a diabétesz).

5.5. ábra. Egypetéjű ikerpár

Az **ikerkutatási módszer** lényege az egypetéjű ikrek (egy zigótából kifejlődő szervezetek) vizsgálata. Az egypetéjű ikrek mindig egyneműek és azonos a genotípusuk. Rajtuk tanulmányozható a környezeti tényezők hatása a fenotípus kialakulására. Ezeknek a hatásoknak a különbözősége meghatározza az eltéréseket valamely jellegek megjelenésében. Kiderítették, hogy az egypetéjű ikreknél gyakrabban fejlődik ki ugyanaz a típusú rákos daganat, mint a kétpetéjűeknél (vagyis a különböző zigótákból fejlődő ikreknél). Az egypetéjű ikreknél gyakran más közös betegségek is megfigyelhetők: bronchiális asztma, kanyaró (az egybeesés több mint 90%-os), tudathasadás, diabétesz (közel 50%), tébécé (több mint 50%). Vagyis az ikerkutatási módszer révén lehetővé válik annak a kérdésnek a megválaszolása, hogy valamely betegség milyen mértékben örökletesen meghatározott, vagy mennyire függ a környezeti tényezők hatásától.

A **dermatoglífiai módszer** az ujjbegyek, a tenyér és a talp bőrlécrendszerének vizsgálatán alapul (5.6. ábra). Az emberek már nagyon régen észrevették, hogy a bőr rajzolata az említett testrészeken egyénileg meghatározott, és nem található két olyan ember, akinek a bőrrajzolata megegyezne. A dermatoglífiai módszer lehetővé teszi az emberek közötti rokoni kapcsolat fokának meghatározását, mivel bebizonyosodott, hogy a bőrrajzolat egyes elemei öröklődhetnek. Alkalmazzák az eljárást egyes örökletes betegségek diagnosztizálására (például a Down-kórban szenvedők tenyerén csak egy haránt és egy hosszanti hajlatbarázda található, miközben az egészséges embereknek két harántbarázdájuk van). Ezt a módszert széleskörűen alkalmazzák a kriminalisztikában a bűncselekmények elkövetésének bizonyítására.

5.6. ábra. Az ember ujjbegyének bőrrajzolata egyedi

A **nem ivari emberi sejtek (szomatikus vagy testi sejtek) szervezeten kívüli tenyésztési módszerrel** az emberi öröklődéssel kapcsolatos olyan kérdésekre adható válasz, amelyeknek a megoldása nem lenne lehetséges az egész szervezet vizsgálatával. Az eljáráshoz a sejteket különböző szervekből és szövetekből (vérből, bőrből, vörös csontvelőből) veszik, és mesterséges táptalajokon tenyésztik őket. Ennek köszönhetően meghatározható például egyes gének helye a kromoszómákban.

A modern genetika a molekuláris biológia eredményeire épül. Ezekkel a vívmányokkal vannak kapcsolatban a **génsebészeti módszerek**. A segítsé-

gükkel a tudósok a szervezetekből egyes géneket különítenek el vagy mesterségesen állítják elő őket, átalakítanak és más sejt vagy szervezet genómjába építenek be géneket. Ezenkívül a tudósok megtanulták, hogyan egyesíthetők különböző fajok génjei egy sejtben, vagyis hogyan lehet egy egyedben egyesíteni ezeknek a fajoknak az örökletes jellegeit. Az így kapott élőlényeket *transzgenikus* vagy *génmódosított szervezeteknek* nevezzük.

A genetikai kutatásokban a molekuláris biológiát is alkalmazzák. Mára megfejtették sok faj DNS-molekuláinak nukleotid-szekvenciáit. A különféle fajok DNS-molekuláinak szekvenciáit összehasonlítva a kutatók meg tudják állapítani a fajok rokonsági fokát. A közös őstől származó két faj (egy nemzetség két faja) örökletes anyaga jobban hasonlít egymásra, mint két olyan fajé, amelyek egymáshoz közeli, de különböző nemzetségekhez tartoznak. Az emberi öröklődést illetően ezzel a módszerrel állapítják meg az egyes emberek közötti rokoni kapcsolatokat.

A molekuláris biológiai kísérletekben DNS-klónozást alkalmaznak. A DNS tudósokat érdeklő szakaszát olyan DNS-molekulába ültetik be, amelyet baktériumsejtbe juttatnak. A sejtet ezután szaporítják. A szükséges DNS-fragmentumok előállítása érdekében úgynevezett „genómkönyvtárakat" – azaz nagyszámú genómfragmentum-gyűjteményt – hoznak létre, s ezek között keresik a szükséges darabot.

Ezenkívül a szervezetek rokoni kapcsolatainak kiderítése végett alkalmazzák a nukleinsavak hibridizációjának módszerét. Ehhez a szervezeten kívül teremtenek megfelelő feltételeket a DNS-molekulák denaturációjához és a komplementer nukleotidok közötti hidrogénkötések felhasításához. Később attól függően, hogy egy egyed a DNS-molekulaszálának mekkora számú nukleotidja képez hidrogénkötéseket egy másik egyed DNS-szálának komplementer nukleotidjaival, a kutatók következtetéseket vonnak le örökletes anyaguk hasonlóságának fokáról.

Az Emberi jogok nyilatkozata és más nemzetközi megállapodások tiltanak bármilyen beavatkozást az ember örökletes információrendszerébe különböző kísérleti kutatási módszerekkel, még abban az esetben is, ha az humánus célokat szolgál. Ez azzal kapcsolatos, hogy az ilyen beavatkozásnak beláthatatlan következményei lehetnek.

Milyen kapcsolatban van a genetika az ember gyakorlati tevékenységével?

A genetikai kutatások képezik az elméleti alapját sok gyakorlati kérdés megoldásának, köztük a korszerű ***nemesítésnek*** (új növény- és állatfajták kialakítása), ***orvosi genetikának*** (örökletes betegségek diagnosztikája, gyógyítása, mutációkat okozó tényezők kutatása az emberi genóm tőlük való megóvása érdekében), ***génsebészetnek*** (gének mesterséges előállítása, gének kivonása a szervezetből, gének átültetése egyik szervezetből a másikba).

Új szakkifejezések és fogalmak. *Elemző keresztezés, hibridizáció, hibridek.*

Ismétlő kérdések. 1. Min alapul a hibridizációs módszer? Mi a mono-, di- és polihibrid kereszteződés? 2. Milyen célból alkalmazzák az elemző kereszteződést? 3. Milyen célból alkalmazzák a genealógiai módszert? 4. Jellemezzétek a citogenetikai módszert! 5. Milyen célból alkalmazzák a genetikai kutatásokban a populáció-statisztikai, ikerkutatási és biokémiai módszert? 6. Min alapulnak a génsebészet módszerei?

Bonyolult feladat. Gondolkodjatok el azon, milyen genetikai kutatási módszerek alkalmazhatók a humángenetikában, és milyenek nem!

Alkotói feladat. Vizsgáljátok meg a genetika és az előző osztályokban megismert biológiai tudományok közötti kapcsolatokat!

6. §. AZ ÖRÖKLŐDÉS GREGOR MENDEL ÁLTAL MEGÁLLAPÍTOTT TÖRVÉNYSZERŰSÉGEI. AZ ÖRÖKLŐDÉSI TÖRVÉNYEK STATISZTIKAI JELLEGE ÉS CITOLÓGIAI ALAPJA

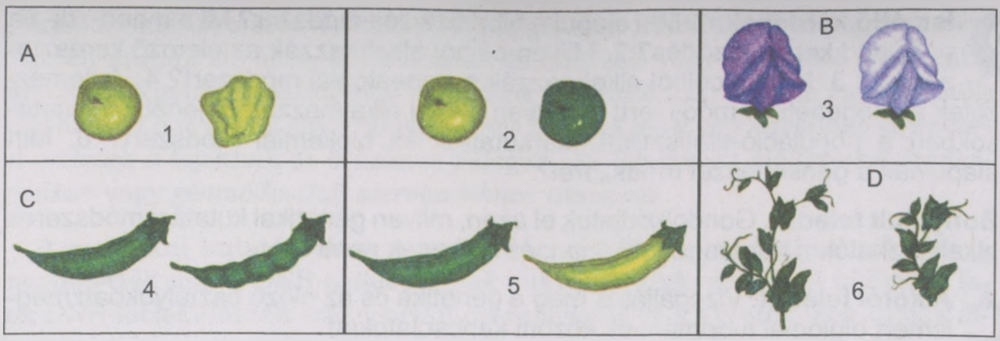
A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása érdekében idézzétek fel: milyen jellegállapotot nevezünk dominánsnak, és milyet recesszívnek? Mi a genotípus és a fenotípus? Milyen kromoszómakészletet nevezünk haploidnak, diploidnak és poliploidnak? Milyen kereszteződést nevezünk mono-, di- és polihibridnek? Miben áll a genetikai kutatások hibridológiai jellege? Milyen célból alkalmazzák az elemző keresztezést? Hogyan megy végbe a meiotikus osztódás és a gametogenezis?

Az öröklődés alapvető törvényszerűségeit a kiemelkedő cseh tudós, Gregor Mendel fedezte fel (6.1. ábra). Amint ez sokszor előfordul, a tudósok zseniális ötletei megelőzik korukat. Mendel esetében sem volt ez másként, hiszen amikor a kísérleteit végezte, még nem ismerték a géneket, kromoszómákat, az örökletes anyag megosztási mechanizmusait a sejtosztódás során.

6.1. ábra. *Gregor Johann Mendel (1); a Szent Tamás kolostor Brnoban (Csehország), ahol a tudós a kísérleteit végezte (2)*

Mit kutatott Gregor Mendel?

Kísérleteit Gregor Mendel a pillangósvirágúak családjába tartozó veteményborsóval végezte. Ez a növény sikeres alanynak bizonyult öröklástani kísérletekhez. Először is azért, mert ennek a kultúrnövénynek nagyon sok fajtája ismert, s ezek örökletes jellegeik eltérő állapotaiban különböznek egymástól (mag- és virágszín, szárhosszúság, magfelületi szerkezet) (6.2. ábra). Másodsorban, a borsó életciklusa meglehetősen rövid, ennek köszönhetően sok nemzedéken át megfigyelhető, hogyan adódnak át az örökletes információk az utódoknak. Harmadsorban, a veteményborsó önmegporzó növény, s az önmegporzással szaporodó növények minden egyedének utódai tiszta vonalak.



6.2. ábra. *A veteménybors*óra jellemző különböző jellegkombinációk:
A. Mag: 1 – sima vagy ráncos felszín; 2 – sárga vagy zöld szín; B. Virágok:
3 – a virágpárta lila vagy fehér színe; C. Termések:
4 – a hüvelytermések simán domborúak vagy befűződésesek;
5 – a hüvelyek zöld vagy sárga színűek; D. Szár: 6 – hosszú vagy rövid

Tiszta vonalak – egyetlen egyed genotípusukat tekintve egyforma utódai, amelyek homozigóták a vizsgált géneket tekintve.

Tiszta vonalakat növények önbeporzásával vagy közeli rokonságban álló állatok több nemzedéken át történő keresztezésével állítanak elő. A borsónál azonban keresztmegporzás is lehetséges. Ez lehetővé teszi a tiszta vonalak hibridizációját (*gondolkodjatok el azon, hogyan előzhető meg a virágos növények önmegporzása*).

Mendel elődei a tudományban szintén törekedtek arra, hogy megfigyeljék a vizsgált szervezetek jellegkombinációinak öröklődését, ám nem jártak sikerrel. Velük ellentétben a cseh tudós figyelmét nem az örökletes jellegek összességére összpontosította, hanem csak azok egyikére-másikára. Mendel példáján illusztrálható, ***mennyire fontos a tudományban a vizsgálat céljának, valamint a vizsgálati módszereknek az alapos és pontos meghatározása***.

Még egy fontos sajátossága van Mendel kísérleteinek: a tudományos kísérlet tisztasága. A növények keresztezésének elkezdése előtt a tudós meggyőződött róla, hogy nem tiszta vonalakkal van dolga. Emellett Mendel kutatásának eredményeit statisztikai módszerekkel dolgozta fel, mindegyik hibrid nemzedékben kiszámította a különböző jellegkombinációkat hordozó utódok mennyiségét (*idézzétek fel, hogyan nevezik ezeket a módszereket*). Ez lehetővé tette az örökletes jellegek különböző kombinációinak átadásával kapcsolatos törvényszerűségek megállapítását az ivarosan szaporodó hibridnemzedékek sorában.

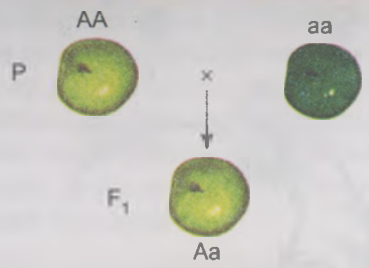
Milyen törvényszerűségeket állapított meg Mendel?

Kísérleteit *monohibrid keresztezéssel* kezdte: két tiszta vonalú, sárga maghéjú és zöld maghéjú veteménybors*ót* keresztezett (**P** – szülői egyedek). A keresztezés eredményeként létrejött utódok ($\mathbf{F_1}$ – első hibridnemzedék) mindegyike egyöntetűen sárga maghéjú lett (6.3. ábra). Mendel felfedezte **az első hibridnemzedék egyformaságának törvényét:** ***az első hibridnemze-***

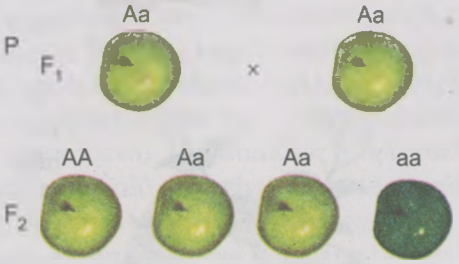
dék fenotípusában a jelleg két állapota közül csak a domináns jelenik meg. Ezt a törvényszerűséget ***dominanciatörvénynek*** is nevezik.

A veteményborsó tiszta vonalainak keresztezésével Mendel heterozigóta (hibrid) alakokat kapott. Vagyis *hibridizációs kutatási módszert* alkalmazott.

Ezután Mendel az első hibridnemzedék egyedeit keresztezte egymással. Ebből utódként 8023 magot ($\mathbf{F_2}$ – második hibridnemzedék) kapott, közülük 6 022 sárga, 2 001 pedig zöld maghéjú lett. Tehát a második hibridnemzedékben újra megjelent a zöld maghéjszín (recesszív jelleg). A zöld magok az összmennyiség körülbelül 1/4 részét képezték, míg a sárgák (domináns jelleg) a 3/4 részét (6.4. ábra).



6.3. ábra. *Monohibrid keresztezés: az első hibridnemzedék egyformaságának törvénye*

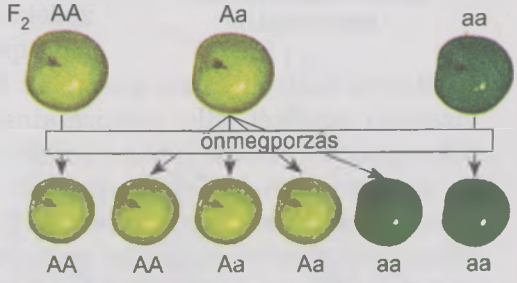


6.4. ábra. *A hasadás törvényének megnyilvánulása*

Mendel vizsgálta más jellegek öröklődését is, és mindegyik esetben hasonló eredményre jutott. Ezt a törvényszerűséget a **hasadás törvényének** nevezte el: ***az első hibridnemzedék egyedeit egymással keresztezve az utódok között a jellegek hasadása figyelhető meg; a második hibridnemzedék fenotípusában 1/4 részben a recesszív, 3/4 részben pedig a domináns jelleg jelenik meg.***

Hasadás *– a jelleg mindkét (domináns és recesszív) állapotának megjelenése a második hibridnemzedékben az őket meghatározó allélek meiozis közbeni szétválása következtében.*

Mendel nyomon követte a jelleg domináns vagy recesszív állapotának öröklődését a következő hibridnemzedékekben is (6.5. ábra). Megfigyelte, hogy a zöld maghéjú borsóból olyan növény lett, ami önmegporzással kizárólag zöld maghéjú termést hozott. Ugyanakkor a sárga maghéjú borsóból kikelt növények „másként viselkedtek". Egy részük, a sárga magból kikelt növények 1/3-a, önmegporzással csak sárga maghéjú termést hozott, másik részük, a növények 2/3-a mind sárga, mind zöld maghéjúakat, 3 : 1 arányban. Mendel arra a következtetésre jutott, hogy a jelleg domináns állapotát (sárga maghéj) mutató magok azonos fenotípusuk ellenére genotípusuk-



6.5. ábra. *Az F_2 veteményborsó genotípus szerinti hasadása önmegporzás esetén*

6.6. ábra. *A veteménybors jellegállapotainak fenotípus szerinti hasadása hibrid keresztezéskor*

ban különbözhetnek egymástól. Ezzel szemben a jelleg recesszív állapotát (zöld maghéj) mutató magvak genotípusa is azonos. Tehát a jelleg recesszív állapotát mutató magvak homozigóták voltak a maghéj színét meghatározó génre nézve. A jelleg domináns állapotát mutató magvak között voltak mind homozigóták, mind heterozigóták.

További kutatásai során Mendel bonyolultabb kísérleteket folytatott: olyan növényeket választott kísérleti alanyokként, amelyek az örökletes jellegek két (*dihibrid keresztezés*) vagy több (*polihibrid keresztezés*) állapotában különböztek egymástól. Veteménybors olyan tiszta vonalait keresztezte egymással, amelyek egyike sárga, sima maghéjú, a másika zöld, ráncos héjú volt (6.6. ábra). Az első hibridnemzedék (F_1) valamennyi egyede sárga, sima maghéjú lett (mindkét vizsgált jelleg domináns állapota). Tehát *Mendel megfigyelte, miként nyilvánul meg az első hibridnemzedék egyformaságának törvénye.*

Az első hibridnemzedék egyedeit egymással keresztezve a tudós az alábbi eredményeket kapta: a második hibridnemzedék (F_2) egyedei között négy fenotípuscsoport volt megfigyelhető a következő megoszlásban: a magok körülbelül 9 része sárga, sima héjú volt (315 mag), 3 része sárga, ráncos héjú (101 mag), 3 része zöld, sima héjú (108 mag) és 1 része zöld, ráncos héjú (32 mag). Ebből azt a következtetést vonta le, hogy a magok színét és héjuk felszínének jellegét meghatározó gének függetlenül öröklődnek. De hogyan jelentek meg a második hibridnemzedékben a szülői formákra nem jellemző fenotípus-változatok?

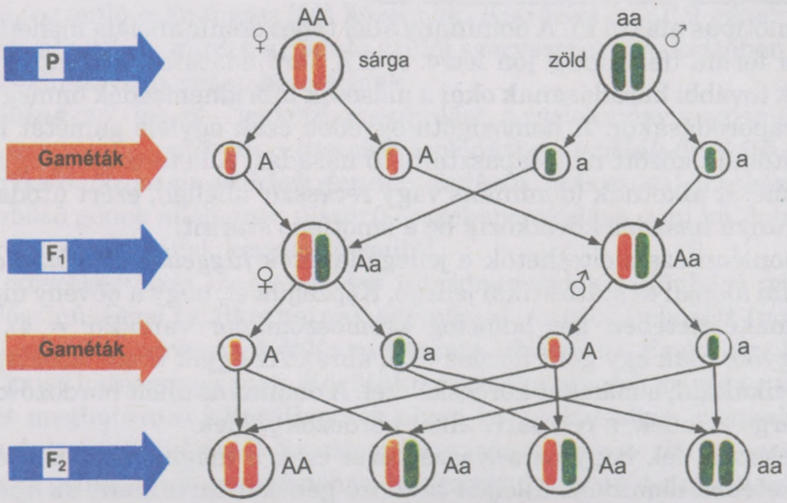
Magyarázatot keresve ezekre az eredményekre Mendel külön-külön megvizsgálta mindkét jelleg változatainak öröklődését. A második hibridnemzedék egyedeinek maghéjszíne az alábbiak szerint alakult: a magok 12 része sárga, 4 része zöld volt. Tehát a hasadás a színt mint jelleget tekintve olyan volt, mint a monohibrid keresztezésnél: 3 : 1. Ugyanezt figyelte meg a magfelület jellegének öröklődését illetően is: 12 rész sima héjú magra 4 rész ráncos felületű jutott. Vagyis a magfelület jellegét tekintve a hasadás ugyancsak 3 : 1 arányban történt.

A kapott eredmények alapján Mendel megfogalmazta **a jellegek független kombinálódásának törvényét:** ***di- vagy polihibrid keresztezéskor a jellegek hasadása független egymástól.*** (Az egyes tulajdonságok egymástól függetlenül öröklődnek. *A fordító.*) Vagyis a dihibrid keresztezés abban az esetben, amikor az allél gének egyike teljesen dominál a másik felett, lényegében két monohibrid keresztezésnek tekinthető, amelyek mintha egymásra rakódnának, s ugyanígy van a trihibrid keresztezés esetén is.

Melyek az öröklődés törvényszerűségeinek sejttani alapjai, és milyen azok statisztikai jellege?

Idővel a Mendel által felvetett hipotézist kísérletileg is bizonyították. Ennek megfelelően *a hibrid (heterozigóta) szervezetek gamétái „tiszták", vagyis valamennyi ilyen gaméta csak egy allél gént tartalmazhat, nem hordozhat egyidejűleg két vagy több allélt.* Mendel nézeteit William Bateson angol tudós fejlesztette tovább, s azok a **gaméták tisztaságának törvényeként** váltak ismertté.

A homozigóta szervezet csak egyféle ivarsejtet képez (egy meghatározott gén vagy domináns, vagy recesszív alléljját hordozza). Ugyanakkor a heterozigóta szervezetekben kétféle ivarsejt jön létre egyenlő arányban, egy adott gén 50%-ban domináns, 50%-ban recesszív alléljával. A 6.7. ábra segítségével kövessük nyomon a homológ kromoszómákat a veteményborsó homozigóta egyedeinek keresztezésekor. Az egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy ezeknek az egyedeknek csak egy pár homológ kromoszómájuk van (tehát diploid kromoszómakészletük kettő: $2n = 2$), és mindegyik csak egy gént hordoz. A domináns allélt (***A***) hordozó kromoszóma az ábrán sárga színnel van jelölve, a recesszív (***a***) allélt hordozó zölddel. Ismeretes, hogy a domináns és recesszív géneket hordozó homozigóta egyedek keresztezésekor létrejött utódok (első hibridnemzedék) heterozigóták (genotípusuk – ***Aa***). Ez azzal magyarázható, hogy egyik kromoszómájukat a domináns alléllel az egyik szülőtől kapták, a



6.7. ábra. *A monohibrid keresztezés citológiai alapjai*

recesszív allélt hordozó másikat a másik szülőtől. Tehát ezek a növények egyformák lesznek fenotípusukban és genotípusukban egyaránt.

A szülőktől eltérően az első hibridnemzedék kétféle gamétát képez. A gaméták egyik fele domináns allélt hordozó kromoszómát tartalmaz, másik fele recesszív allélt hordozót. Az első hibridnemzedék egyedeinek egymással való keresztezésekor (a második hibridnemzedék egyedei) háromféle genotípus figyelhető meg az utódok között: az egyedek egynegyed része csak domináns alléleket hordozó kromoszómákat tartalmaz (homozigóta a domináns allélt tekintve – ***AA***), fele egy kromoszómát domináns, egyet recesszív alléllel (heterozigóták – ***Aa***), egynegyed részének pedig csak recesszív alléleket hordozó kromoszómái (homozigóta a recesszív allélt tekintve – ***aa***) vannak. A fenotípust illetően a második hibridnemzedék magvainak háromnegyed része sárga héjú volt (homozigóták a domináns allélt tekintve és heterozigóták), egynegyed részük pedig zöld héjú (homozigóták a recesszív allél szerint).

Ha jelentős mennyiségű, azonos életképességű gaméta keletkezik, akkor érthetővé válik a hasadás törvényének statisztikai jellege. Ezt a különböző gaméták találkozásának azonos valószínűsége határozza meg. A keresztezés menete legegyszerűbben a Punnet-táblázat segítségével ábrázolható, vízszintesen beírjuk az egyik (a váltivarú szervezeteknél az apai) egyed gamétáit, függőlegesen a másik (anyai) egyed gamétáit.

♀ / ♂	***A***	***A***
a	***Aa***	***Aa***
a	***Aa***	***Aa***

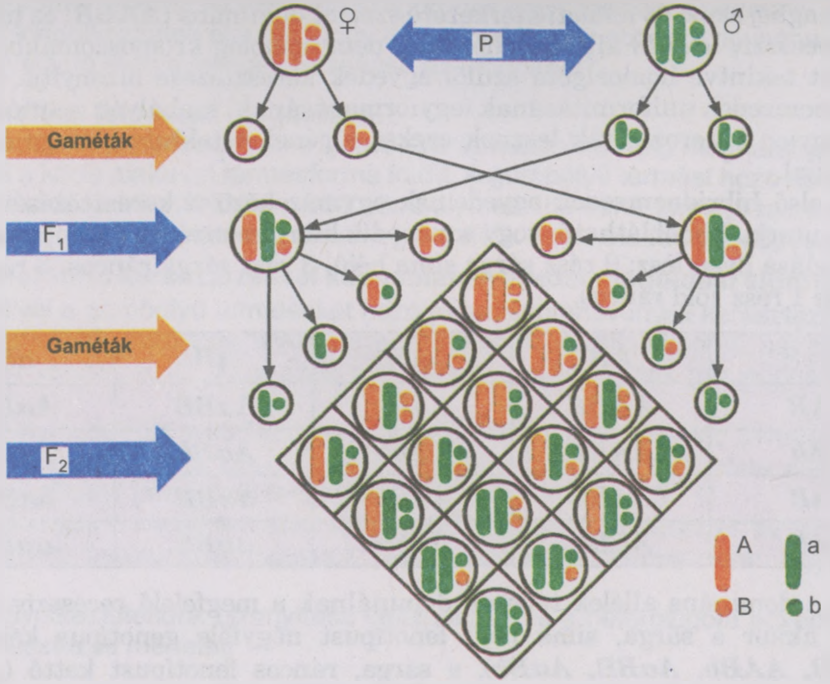
Az egyedek keresztezésének eredményeként kapott – a domináns és a recesszív alléleket tekintve homozigóta – egyedek egyformák, azaz heterozigóták lesznek. Az első hibridnemzedék egyedeinek egymással való keresztezése után ilyen eredményt kapunk.

♀ / ♂	***A***	***a***
A	***AA***	***Aa***
a	***Aa***	***aa***

A második hibridnemzedékben három genotípus alakul ki. A domináns allél teljes dominanciája mellett két megjelenési forma (fenotípus) jön létre. A 6.7. ábra adataiból érthetővé válnak a jellegek további hasadásának okai a második hibridnemzedék önmegporzással való szaporodásakor. A homozigóta egyedek csak egyféle gamétát képeznek, ezért utódaik között nem tapasztalható hasadás. A heterozigóta egyedek kétféle gamétát alkotnak (domináns vagy recesszív alléllel), ezért utódaik között 3 : 1 arányú hasadás következik be a fenotípus szerint.

Hasonlóan szemléltethetők a jellegállapotok *független kombinálódásának* citológiai alapjai és statisztikai jellege. Képzeljük el, hogy a növény diploid kromoszómakészletében két homológ kromoszómapár van (2n = 4), amelyek mindegyike csak egy gént hordoz (6.8. ábra). Az egyik kromoszómapárt jelöljük pálcikákkal, a másikat köröcskékkel. A domináns allélt hordozó kromoszómák sárga színűek, a recesszív allélt hordozók zöldek.

Tételezzük fel, hogy az anyaszervezet csak a maghéj színének és felületi szerkezetének domináns alléljeit hordozó géneket tartalmaz, az apai pedig a megfelelő recesszíveket. Az ilyen homozigóta szervezetek csak egyféle ivarsej-



6.8. ábra. *A jellegállapotok független kombinálódásának citológiai alapjai hibrid keresztezéskor: domináns allélt hordozó kromoszómák (sárga szín), recesszív allélt hordozó kromoszómák (zöld)*

teket képeznek vagy domináns, vagy recesszív allélekkel. Ezeknek a szülői formáknak a keresztezésekor az utódok (első hibridnemzedék) két kromoszómát örökölnek az anyaszervezettől a megfelelő domináns allélekkel, kettőt az apaitól a recesszív allélekkel. Ennek megfelelően valamennyien heterozigóták lesznek a maghéj színét és felületi szerkezetét meghatározó géneket tekintve, és négyféle, egyenlő számú gamétát képeznek. Kettőben az allél gének olyan kombinációt alkotnak, mint a kiinduló szülői szervezetekben, kettőben pedig újrakapcsolódnak, azaz rekombinálódnak.

Rekombináció (lat. *re* – igekötő, megújulást, a cselekmény megismétlődését jelenti, valamint *combinatio* – összekapcsolódás) – ***a szülők örökítő anyagának újraelosztása az utódok genotípusában***. Más szóval, a rekombináció a különböző gének alléljeinek újszerű összekapcsolódása, ami különbözik a szülői ivarsejtek alléljeinek kapcsolódásaitól.

Annak következtében, hogy az első hibridnemzedék különböző gamétái azonos valószínűséggel találkozhatnak egymással, az utódok között (második hibridnemzedék) a genotípusok kilenc változata lehetséges. Ezek négy különböző fenotípust határoznak meg. Közülük kettőnél a maghéj színét és felületi szerkezetét meghatározó jellegállapotok olyan kapcsolódásban jelennek meg, mint a kiindulási szülői formák fenotípusában (sárga sima és zöldráncos maghéj), kettőnél pedig új rekombinációban (sárga ráncos és zöld sima maghéj). *A rekombinációk jelentik a szervezetek változékonyságának egyik forrását.*

A maghéj színe és felületi szerkezete szerint domináns (***AABB***) és megfelelően recesszív (***aabb***) alléleket hordozó, nem homológ kromoszómákban lévő géneket tekintve homozigóta szülői egyedek keresztezése bizonyítja az első hibridnemzedék uniformitásának (egyformaságának) szabályát: az utódok valamennyien heterozigóták lesznek ezeket a géneket tekintve, sárga és sima maghéjjal.

Az első hibridnemzedék egyedeinek egymás közötti keresztezését a 6.6. ábra mutatja. Ebből látható, hogy a második hibridnemzedék fenotípus szerinti hasadása ilyen lesz: 9 rész sárga sima héjú, 3 rész sárga ráncos, 3 rész zöld sima és 1 rész zöld ráncos.

♀/♂	***AB***	***Ab***	***aB***	***ab***
AB	***AABB***	***AABb***	***AaBB***	***AaBb***
Ab	***AABb***	***AAbb***	***AaBb***	***Aabb***
aB	***AaBB***	***AaBb***	***aaBB***	***aaBb***
ab	***AaBb***	***Aabb***	***aaBb***	***aabb***

Ha a domináns allélek teljesen dominálnak a megfelelő recesszív allélek felett, akkor a sárga, sima héjú fenotípust négyféle genotípus képezheti (***AABB, AABb, AaBB, AaBb***), a sárga, ráncos fenotípust kettő (***AAbb, Aabb***), a zöld simát szintén kettő (***aaBB, aaBb***), a zöld ráncost egy (***aabb***).

Jegyezzétek meg! *A második hibridnemzedékben megjelenő fenotípuscsoportok száma a szülői egyedek által hordozott, függetlenül öröklődő gének számától függ.* **Idézzétek fel**, hogy monohibrid keresztezésnél a második generációban két fenotípusváltozat (sárga sima, sárga ráncos, zöld sima és zöld ráncos felületű mag) jelent meg!

Minden új gén, amely részt vesz a keresztezésben, az első nemzedék hibridjeit képező gamétaváltozatok számát kétszeresen, míg a második nemzedék hibridjeit alkotó genotípus-változatok mennyiségét háromszorosan növeli. **Idézzétek fel**, hogy monohibrid keresztezés esetén a második nemzedék hibridjeinek három genotípus-változata volt, míg dihibrid keresztezéskor kilenc!

Vagyis azoknak a gamétatípusoknak a száma, amelyeket heterozigóta létrehozhat, 2^n lesz, a fenotípuscsoportoké ugyancsak 2^n, a genotípus-csoportoké pedig 3^n, ahol n – azoknak az allélpároknak száma, amelyekkel a szülők különböznek egymástól.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Tiszta vonalak, hasadás.*

Ismétlő kérdések. 1. Hogyan jönnek létre a tiszta vonalak? 2. Fogalmazzátok meg az első hibridnemzedék egyformaságának törvényét! Érvényes-e ez a törvény a di- és polihibrid keresztezés esetén? 3. Mit bizonyít a hasadás törvénye? 4. Fogalmazzátok meg a jellegek független kombinálódásának törvényét! 5. Mit bizonyít a gaméták tisztaságának törvénye? 6. Miben nyilvánul meg az öröklődési törvények statisztikai jellege? 7. Milyen citológiai alapokon nyugszanak az öröklődés törvényei? 8. Miben áll a rekombináció biológiai jelentősége?

Bonyolult feladat: az ivartalan szaporodás egyik formája a vegetatív szaporodás. Gondolkozzatok el azon, hogy a szaporodásnak ebben a típusában miért nem figyelhető meg a jellegek hasadása az utódoknál?

Genetikai feladatok megoldása.

Feladat. A paradicsomnál a gömbölyű termésformát (***A***) meghatározó allél dominál a körte alakú (***a***) termésforma fölött. A gömbölyű termést hozó növények kereszteződése következtében 489 gömbölyű és 183 körte formájú termést adó utódnövény jön létre. Határozzátok meg a szülők és az utódok genotípusait!

Monohibrid keresztezéssel kapcsolatos feladat megoldási algoritmusa

1. Mivel a gömbölyű terméseket hozó paradicsomnövények keresztezéséből mind gömbölyű, mind körte alakú terméseket hozó utódokat kaptak, azt a következtetést vonhatjuk le, hogy ezek a növények heterozigóták (genotípusuk ***Aa***) voltak.
2. Elemezzük az első hibridnemzedéken (F_1) belüli hasadás jellegét: 489, gömbölyű termést hozó növény (domináns fenotípus), és 183, körte alakú termést adó növény (recesszív fenotípus), az arány körülbelül: 3 : 1!
3. Levonjuk a következtetést: ilyen jellegű hasadás (a hasadás törvényének megfelelően) heterozigóta egyedek (***Aa*** × ***Aa***) keresztezése során figyelhető meg.
4. Következtetésünk bizonyítása céljából írjuk le a heterozigóta egyedek közötti keresztezés menetét!

7. §. A KAPCSOLT ÖRÖKLŐDÉS JELENSÉGE. AZ ÖRÖKLŐDÉS KROMOSZÓMA-ELMÉLETE

A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása érdekében idézzétek fel: mi a crossing over és az elemző keresztezés? Mit értünk homológ és nem homológ kromoszómákon? Hogyan megy végbe a meiózis? Milyen a DNS szerkezete?

A tudósok, amikor Mendel kísérleteit különböző szervezetekkel – nem csak növényekkel, hanem állatokkal – próbálták megismételni, gyakran szembesültek olyan hasadási jelenségekkel, amelyek nem feleltek meg az öröklődés törvényei szerinti elvárásoknak. Az okok közül néhányat, mint például az intermedier öröklődés, kodominancia, letális allélek hatása, már korábban vizsgáltunk. A hasadási jelenségek öröklődési törvényektől való eltérésének egyik fő okát azonban – mint kiderült – a *kapcsolt öröklődés jelenségében* kell keresni.

Hogyan nyilvánul meg a kapcsolt öröklődés jelensége?

A *jellegállapotok független kombinálódásának törvénye* a következő tételeken alapul:

- a jellegek különböző állapotainak kialakulását a homológ kromoszómákban azonos helyet elfoglaló allél gének határozzák meg;
- a gaméták és más haploid sejtek, amelyekben mindegyik homológ kromoszómapárból csak egy kromoszóma van, a meghatározott számú allélből csupán egy allélt hordoznak;
- az egymástól függetlenül öröklődő jellegek kialakulását ellenőrző gének a nem homológ kromoszómákban vannak.

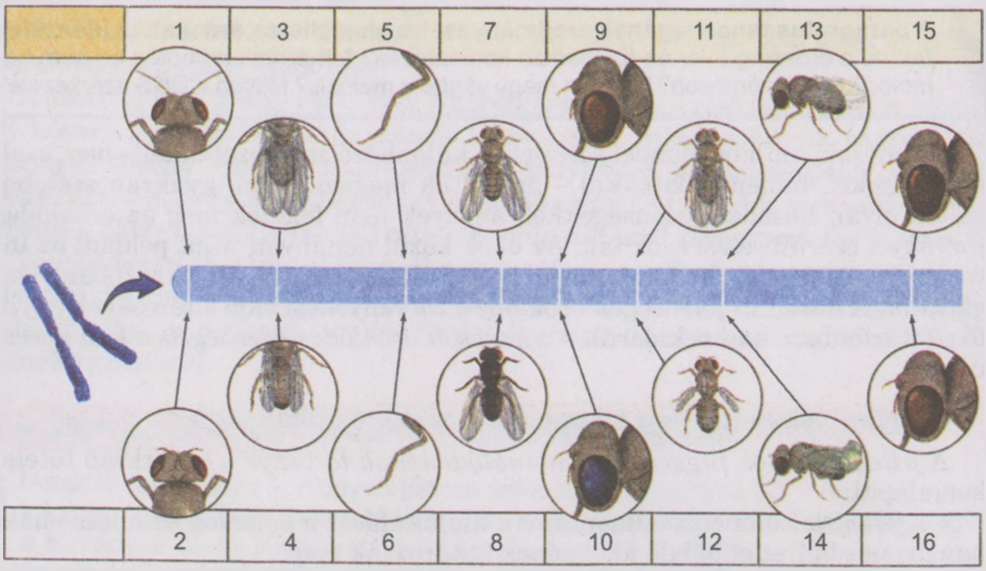
Amikor az öröklődés Mendel által felfedezett törvényeinek statisztikai jellegét bizonyítottuk, az egyszerűség kedvéért feltételeztük, hogy mindegyik kromoszóma csak egy gént hordoz. Azonban a kutatók már régen felfigyeltek arra, hogy a szervezetek örökletes jellegeinek száma jelentősen meghaladja a haploid kromoszómakészletükben lévő kromoszómáik számát. Így a genetikai kísérletek klasszikus alanyává vált muslica (gyümölcslégy) haploid kromoszómakészletében csupán négy kromoszóma van. Azonban az örökletes jellegek, köztük természetesen az ezeket meghatározó strukturális gének száma közel 14 ezer. Ugyanakkor mindegyik kromoszómában nem egy, hanem sok gén van.

A függetlenül öröklődő jellegek mellett vannak olyanok, amelyek egymással összekapcsolódva öröklődnek, mivel egy kromoszómán belül elhelyezkedő gének határozzák meg őket.

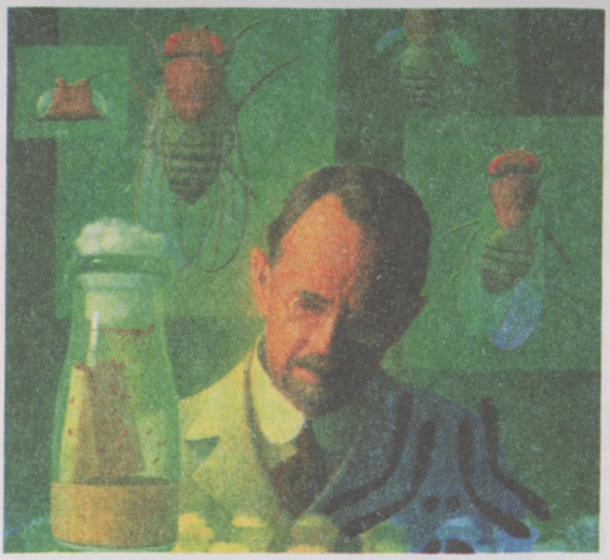
Az egy kromoszómában lévő gének külön kapcsolási csoportot alkotnak.

A 7.1. ábrán a muslica genetikai térképének a részlete látható, amelyen meg vannak jelölve a kapcsolási csoportok. Valamely fajhoz tartozó szervezetekben ezeknek a csoportoknak a száma megegyezik a nem ivari kromoszómák (autoszómák) és ivari kromoszómatípusok számával. Például a nőstény muslicánál a kapcsolási csoportok száma 4, míg a hímek esetében 5 (mivel az *X*- és az *Y*-kromoszómák génkészletükben különböznek egymástól). Hasonlóképpen, a nőknél a kapcsolási csoportok száma 23, a férfiaknál 24.

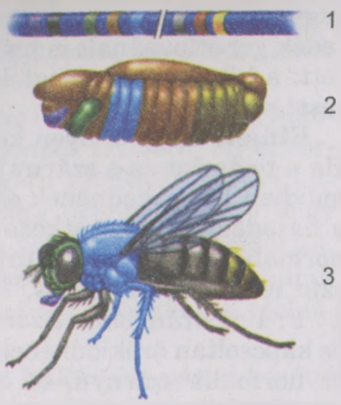
A kromoszómák ***genetikai térképeinek*** nevezzük a kromoszómában elhelyezkedő gének szekvenciáját (sorrendjét) és a köztük lévő távolságot jelölő grafikai ábrázolást. Az ilyen térképeknek nem csak elméleti jelentőségük van, hanem széleskörűen alkalmazzák őket a nemesítésben és a génsebészetben.



7.1. ábra. *Kapcsolási csoportok jelölése a muslica genetikai térképén: 1 – hosszú csápok; 2 – rövid csápok; 3 – hosszú szárnyak; 4 – rövid szárnyak; 5 – hosszú lábak; 6 – rövid lábak; 7 – szürke test; 8 – fekete test; 9 – vörös szemek; 10 – lila szemek; 11 – normális szárnyak; 12 – csökevényes szárnyak; 13 – egyenlő szárnyak; 14 – görbe szárnyak; 15 – vörös szemek; 16 – barna szemek*



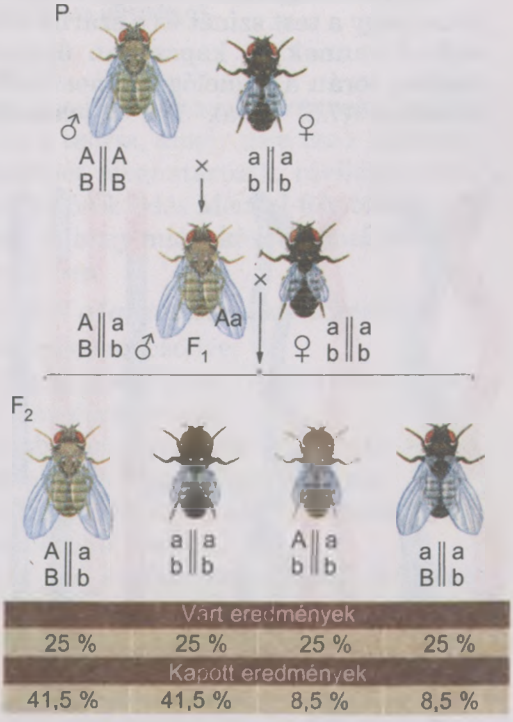
7.2. ábra. *Thomas Hunt Morgan (1866–1945)*



7.3. ábra. *A közönséges muslica a genetikai kutatások klasszikus kísérleti alanya: 1 – kromoszómaszakasz; 2 – báb; 3 – kifejlett rovar (színek jelölik a géneket és azokat a jellegeket, amelyeknek a fejlődését meghatározzák)*

A kapcsolt öröklődés jelenségét a kiváló amerikai genetikus, Thomas Hunt Morgan (7.2. ábra) kutatta. Mint annak idején Mendel tette a veteményborsóval, Morgan is sikeresen választotta ki kísérleteihez alanyként a közönséges muslicát (7.3. ábra). A muslica könnyen tenyészthető laboratóriumban, mert nagyon szapora, nemzedékei gyors ütemben váltják egymást (optimális körülmények között az újabb nemzedékek másfél-két hét alatt jelennek meg), kromoszómáinak száma nem nagy (a diploid készletben 8 a számuk), ami jelentős mértékben leegyszerűsíti a kísérletek végzését. A teljes átalakulással fejlődő muslicánál ugyanis a fejlődés különböző stádiumaiban vizsgálható a gének aktivitása.

A kapcsolt öröklődés jelenségét Morgan a következő kísérlettel állapította meg (7.4. ábra). A tudós a testszínt (szürke) és a szárnyformát (normális) tekintve homozigóta muslicahímeket keresztezett a megfelelő recesszív allélek (fekete testszín, csökevényes szárny) szerint homozigóta nőstényekkel. Az első hibridnemzedék valamennyi egyedének szürke lett a testszíne és normális alakú a szárnya,



Várt eredmények			
25 %	25 %	25 %	25 %
Kapott eredmények			
41,5 %	41,5 %	8,5 %	8,5 %

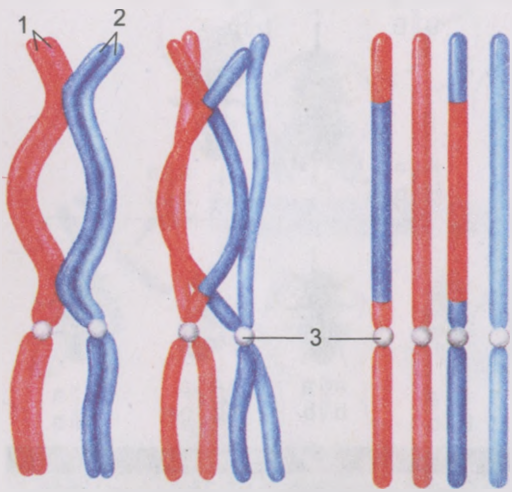
7.4. ábra. *A muslica egyes jellegeinek kapcsolt öröklődése*

vagyis mindkét gén vonatkozásában heterozigóták voltak. Az első hibridnemzedék genotípusának megállapítása céljából Morgan elemző keresztezést végzett: a hibrideket a megfelelő recesszív allélekkel rendelkező egyedekkel keresztezte.

Elméletileg az ilyen keresztezéstől a hasadás két változata volt várható. Ha a testszínt és a szárny formáját meghatározó gének a homológ kromoszómákban helyezkednének el, azaz egymástól függetlenül öröklődnének, akkor a hasadásnak a következő módon kellene alakulnia: 25% szürke testszín és normális szárny, 25% szürke testszín és csökevényes szárny, 25% fekete testszín és normális szárny, 25% fekete testszín és csökevényes szárny (vagyis 1 : 1 : 1 : 1 arányban). Azonban ha ezek a gének egy kromoszómában lennének és kapcsoltan öröklődnének, akkor az utódok között 50%-ban szürke testszínű és normális szárnyú, és 50%-ban fekete testszínű és csökevényes szárnyú egyedre lehetne számítani (vagyis az arány 1 : 1 lenne).

A **valóságban kapott eredmények** a következők voltak: az utódok 41,5%-a szürke testszínű és normális szárnyú, 41,5%-a fekete és csökevényes szárnyú, 8,5% szürke és csökevényes szárnyú, 8,5% fekete és normális szárnyú lett. Tehát a fenotípus szerinti hasadási arány megközelítően 1 : 1 (mint a kapcsolt öröklődés esetében). De az utódok között volt két másik fenotípus-változat, amelyek megjelenése abban az esetben lett volna várható, ha a test színét és a szárny alakját meghatározó gének nem homológ kromoszómákban lettek volna, és öröklődésük egymástól függetlenül történt volna. A számuk azonban túl kicsinek bizonyult.

Hogyan magyarázta Morgan ezeket az eredményeket? A tudós azt feltételezte, hogy a test színét és a szárny alakját meghatározó gének egy kromoszómában vannak és kapcsoltan öröklődnek. Az ivarsejtek keletkezésekor a meiózis során a homológ kromoszómák képesek arra, hogy kicseréljék egyes részeiket (7.5. ábra). Ezt a jelenséget génkicserélődésnek vagy másként crossing over-nek nevezzük. A crossing over fokozza a változékonyságot, elősegíti az allélkombinációk új változatainak kialakulását. Ilyenkor bekövetkezhet néhány gén vagy egy gén, vagy a két, illetve az egyik DNS-szál részeinek kicserélődése.



7.5. ábra. *A crossing over folyamata vázlatosan: 1 – egy homológ kromoszóma leánykromatidái; 2 – egy másik homológ kromoszóma leánykromatidái; 3 – centroméra*

A crossing over jelenségét különböző szervezeteken vizsgálták, s ennek alapján a következő törvényszerűségeket állapították meg:

A gének a kromoszómában hosszanti irányban, lineárisan, azaz egymás utáni sorrendben helyezkednek el.

Az egy kromoszómában lévő két gén közötti kapcsolódás erőssége fordítottan arányos a közöttük levő távolsággal. Minél nagyobb ez a távolság, annál gyakrabban megy végbe crossing over.

A hosszú kromoszómákban vannak olyan gének, amelyek a különböző pó-

lusaikon helyezkednek el. *Az általuk meghatározott jellegek egymástól függetlenül öröklődhetnek*, ugyanúgy, mint a nem homológ kromoszómákban található gének által meghatározott jellegek.

Az egy kromoszómában lévő két gén közötti crossing over előfordulási gyakorisága viszonylag állandó érték mindegyik konkrét génpár esetében. Az előfordulás gyakoriságát azonban befolyásolhatják a külső és a belső környezet különböző tényezői (egyes kromoszómáknak a crossing over-t nehezítő vagy lehetetlenné tévő szerkezetváltozásai, a magas vagy az alacsony hőmérséklet, röntgensugárzás, bizonyos kémiai vegyületek). Egyes szervezetekben kimutatták, hogy a crossing over előfordulási gyakorisága függ az életkortól (például a muslicáknál) vagy a nemtől (egerek, tyúkok).

Az egyazon kapcsolódási csoportba tartozó gének különböző párjai közötti crossing over előfordulási gyakoriságának viszonylagos állandóságát az egyes gének közötti távolság mutatójaként alkalmazzák és a kromoszómán belüli génsorrend meghatározására használják. A különböző génpárok közötti crossing over előfordulási gyakoriságának meghatározását felhasználják a kromoszómák genetikai térképének összeállításánál (7.1. ábra).

Az egyazon kromoszómában lévő gének közötti távolságot a nagy genetikus tiszteletére centimorganban (cM) mérik: 1 centimorgan a két gén közötti olyan távolságnak felel meg, amelyen a crossing over folyamata százból 1 gamétában megy végbe, azaz a valószínűsége 1% : 1 cM = 1%. Megjegyzendő, hogy 50 és nagyobb centimorgannak megfelelő távolság mellett a gének függetlenül öröklődnek, mintha nem homológ kromoszómákban lennének.

Mi az öröklődés kromoszómaelmélete?

Morgan és munkatársai kutatási eredményeikre támaszkodva megalkották az öröklődés **kromoszóma-elméletét**. Ez a teória, amely nem csak a genetika, hanem az egész biológia további fejlődését meghatározta, rávilágít arra, hogy milyen anyagi alapokon nyugszanak az öröklődés Mendel-féle törvényei, és magyarázattal szolgál arra vonatkozóan is, hogy miért következnek be eltérések egyik vagy másik jelleg öröklésmenetében.

Az ***öröklődés kromoszóma-elméletének alaptételei*** a következők:

- a gének a kromoszómákban sorba vannak rendeződve;
- a különböző kromoszómák génkészlete nem egyforma, azaz a nem homológ kromoszómák mindegyikének egyedi génkészlete van;
- a kromoszómában mindegyik gén meghatározott helyet – lókuszt – foglal el; az allél gének a homológ kromoszómák azonos lókuszaiban vannak;
- egy kromoszóma összes génje kapcsolódási csoportot alkot, s ennek eredményeként egyes tulajdonságok kapcsoltan öröklődnek;
- az egy kromoszómában található két gén közötti kapcsolódás erőssége fordítottan arányos a közöttük lévő távolsággal;
- az egy csoportba tartozó gének közötti kapcsolódás megbomlik a homológ kromoszómák egyes részlegeinek kicserélődése folytán a meiotikus osztódás első profázisában (a crossing over folyamata).

Új szakkifejezések és fogalmak. *Kapcsolt öröklődés, kapcsolási csoport.*

Ismétlő kérdések. 1. Milyen feltételek mellett érvényesül a jellegek független kombinálódásának törvénye? 2. Mi az oka a jellegek kapcsolt öröklődésének? 3. Mi határozza meg a kapcsolódási csoportok számát egy fajon belül? 4. Mi a crossing over biológiai jelentősége? Milyen törvényszerűségeket állapítottak meg a kutatók a crossing over folyamatának vizsgálata során? 5. Melyek az öröklődés kromoszóma-elméletének alaptételei?

Bonyolult feladat. Magyarázzátok meg, hogyan bizonyítható, hogy a gének lineárisan helyezkednek el a kromoszómában! Hogyan készítik a kromoszómák genetikai térképét?

Alkotói feladat. Gondolkozzatok el azon, milyen állatok felelnének még meg a genetikai kutatások klasszikus alanyaiként!

Genetikai feladat megoldása.

Feladat. Laboratóriumban szürke, hosszú szárnyú, heterozigóta nőstény muslicákat kereszteztek fekete, rövid szárnyú hímmel, s az utódok közt 83 szürke, hosszúszárnyú, 79 fekete, rövid szárnyú, 18 fekete, hosszú szárnyú és 17 szürke, rövid szárnyú egyed jelent meg. Határozzátok meg a szülők és az utódok genotípusát! Magyarázzátok meg, mi az oka a négy fenotípuscsoportba tartozó egyedek megjelenésének!

Kapcsolt öröklődésre vonatkozó feladat megoldási algoritmusa.

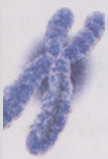
1. A feladat feltételeinek elemzésével megállapíthatjuk a szülők genotípusát: diheterozigóta nőstény kereszteződik mindkét recesszív allélt tekintve homozigóta hímmel.

2. A keresztezés eredményeként létrejött utódok közötti hasadás jellegét elemezve megállapítható: 42,1% szürke, hosszú szárnyú, 41,6% fekete, rövid szárnyú, 9,5% fekete, hosszú szárnyú és 8,9% szürke, rövid szárnyú muslica jelent meg. Levonható a következtetés, hogy kapcsolt öröklődéssel van dolgunk, amelyen belül az eltérés a crossing over miatt jött létre, s ennek köszönhetően jelentek meg az új jellegkombinációval rendelkező egyedek: 18 fekete, hosszú szárnyú (9,5%) és 17 szürke, rövid szárnyú (18,9%) muslica.

Következtetés: az utódok genotípusa a következő:

$$\frac{Aa}{Bb}, \frac{aa}{bb}, \frac{Aa}{bb}, \frac{aa}{Bb}.$$

8. §. IVARGENETIKA. IVARHOZ KAPCSOLÓDÓ ÖRÖKLŐDÉS



A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása érdekében idézzétek fel: milyen a muslica kariotípusa? Miben különbözik a férfiak és a nők kromoszómakészlete? Mik az ivari kromoszómák és az autoszómák, mi a partenogenezis? Milyen növényeket neveznek kétlakiaknak? Milyen nemi hormonok képződnek az emberi szervezetben?

A biológia egyik legnagyobb érdeklődésre számot tartó problémája az, hogy mi határozza meg egyik vagy másik szervezet nemét az individuális fejlődés során.

Mi határozza meg az ivart a különböző szervezetekben?

A kutatók már a XIX. század végén felfigyeltek arra, hogy a hímek és a nőstények kromoszómakészletében egy kromoszómapárnak eltérő a szerkeze-

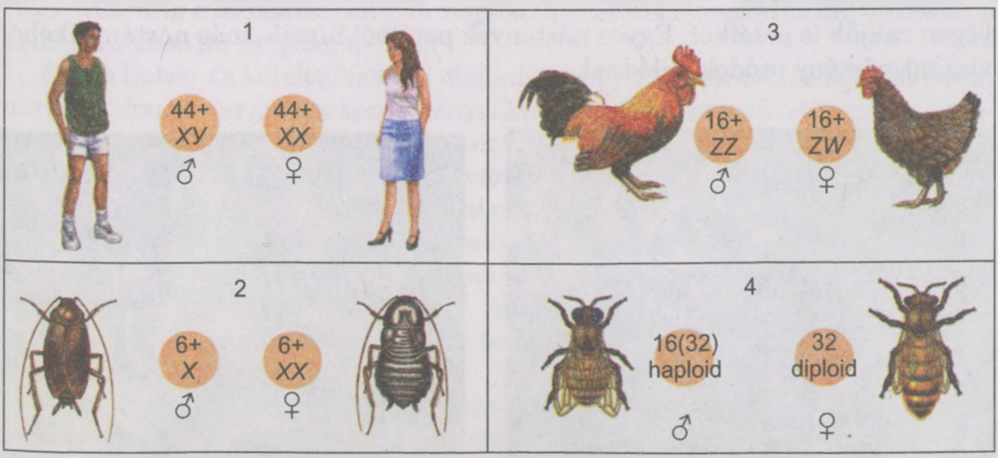
te. Sok állatfaj nőstényei diploid szomatikus (nem ivari) sejtjeiben mindegyik kromoszómapár azonos felépítésű, ugyanakkor a hímek egy kromoszómapárja nem egyforma. Az ilyen kromoszómákat *ivari* vagy heterokromoszómáknak nevezzük. A muslica hímjének egyik ivari kromoszómája pálcika alakú (ez az úgynevezett *X-kromoszóma*), a másik horogszerű (*Y-kromoszóma*). Vagyis a muslica nőstényeinek kariotípusa egyezményesen így jelölhető: $6A + XX$, a hímeké: $6A + XY$ (a mindkét nemnél azonos szerkezetű nem ivari kromoszómák, azaz *autoszómák* jelölése: „*A*"). Az eltérő komoszómakészletek a kétlaki növényekre is jellemzők.

Mivel meióziskor a homológ kromoszómák különböző ivarsejtekbe kerülnek, ezért az egyik nem egyedeinek az ivarsejtjei egyfélék (***homogaméta ivar***), míg az ellenkező nemű egyedekéi kétfélék (***heterogaméta ivar***).

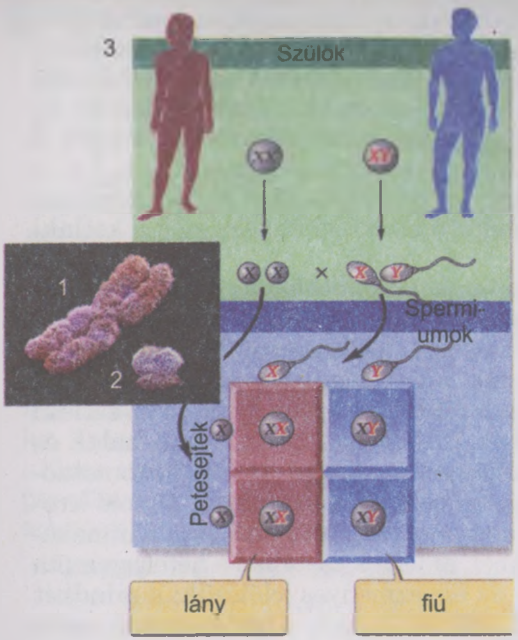
Sok élőlénynél a homogaméta ivar a női, a heterogaméta pedig a hím (legyek, poloskák, bogarak, emlősök, a halak többsége, egyes kétéltűek, kétlaki növények), más esetekben fordítva (lepkék, hüllők, madarak, egyes halak és kétéltűek) (8.1. ábra). Bizonyos fajok különnemű egyedei az ivari kromoszómák számában különböznek. A szöcskéknél például a nőstények diploid kromoszómakészletében mindkét ivari kromoszóma megtalálható, míg a hímekében csak az egyik. Azoknál a szervezeteknél, amelyek esetében a heterogaméta ivar női, az ivari kromoszómáknak más az egyezményes jelölésük: a mindkét nemnél megtalálható kromoszómákat *Z* betűvel, a csak a heterogaméta (női) nemnél meglévőket pedig *W* betűvel jelölik.

A váltivarú szervezetek többségénél már a megtermékenyítés pillanatában eldől a majdani egyed neme. Ez attól függ, hány és milyen ivari kromoszómák egyesülnek a zigótában. Az ivarnak ezt a fajta maghatározását, amely az emlősöknél figyelhető meg, **szingámiának** nevezik.

Az emlősök esetében az ivarfejlődés folyamatában két főbb szakasz különböztethető meg. A zigóta kromoszóma-állománya határozza meg az ivarmirigyek fejlődési irányát. Ha a zigóta kariotípusában jelen vannak mind az *X*-, mind az *Y*-kromoszómák, úgy az ivarmirigy-kezdemények herékké fejlődnek.



8.1. ábra. *Az ivar meghatározásának mechanizmusa: 1 – X–Y az emlősöknél; 2 – X–0 egyes rovaroknál; 3 – Z–W a madaraknál; 4 – haploid-diploid a méheknél (kezdetben a hímeknél haploid (16), majd a kromoszómaszám megduplázódik (32)*



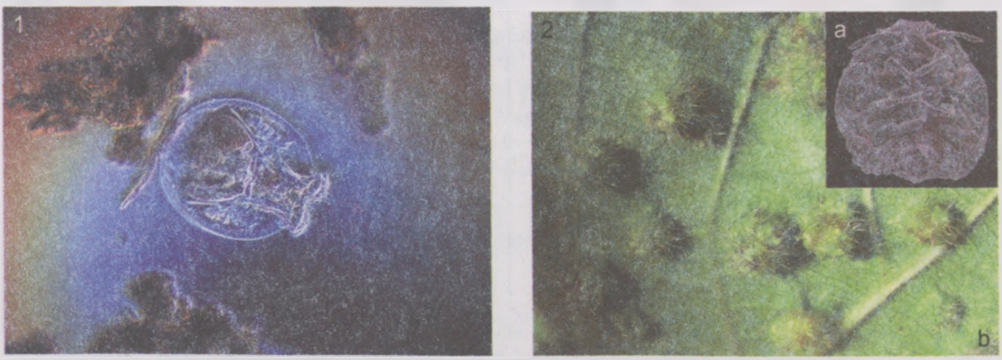
8.2. ábra. *Az ivar meghatározásának mechanizmusa az embernél: 1 – X-kromoszóma; 2 – Y-kromoszóma; 3 – az ivar meghatározása az embernél*

A herék hím nemi hormont, tesztoszteront termelnek, amely az embrióban keringve hím irányba tereli annak fejlődését. Ha a zigóta kariotípusában két *X*-kromoszóma egyesül, akkor az ivarmirigy-kezdemények petefészkekké fejlődnek. Az ilyen embrió női szervezetté alakul (8.2. ábra).

Megjegyzendő, hogy az ivar meghatározásának genetikai alapjai még azoknál a szervezeteknél is különbözhet, amelyeknél a hím ivar heterogaméta. Például az ember esetében a 44 autoszómát és egyetlen *X*-kromoszómát (*X0*) tartalmazó kariotípusú zigótából testileg és pszichikailag sérült női szervezet fejlődik. Az ilyen nők terméketlenek. A muslicánál ugyanakkor az egy *X*-kromoszómát tartalmazó zigótából szaporodásra alkalmatlan hímek fejlődnek.

A szingámián kívül vannak más ivarmeghatározási mechanizmusok is. Egyes gerinctelenéknél (örvényférgek, egyes soksertéjű férgek) (8.3. 1. ábra) például az utód neme még a megtermékenyítés előtt eldől. Ezek az állatok kétféle petesejtet képeznek: sárgaszikben gazdag nagy petesejteket és viszonylag kevés tápanyagot tartalmazó kicsiket. A nagy petesejtekből nőstények, a kicsikből hímek fejlődnek.

Egy másik példa, a filoxéra rovar (8.3. 2. ábra), amelynek a nőstényei nyár végén rakják le petéiket. Egyes nőstények petéiből hímek, más nőstényeikéből viszont nőstény utódok fejlődnek.



8.3. ábra. *Gerinctelen állatok, amelyeknél az ivar már a megtermékenyítés előtt kialakul: 1 – örvényféreg; 2 – filoxéra (a – rovar, b – filoxéra által károsított szőlőlevél)*

8.4. ábra. *Állatok, amelyeknél az ivar kialakulását biológiailag aktív anyagok befolyásolják: 1 – villásormányú féreg; 2 – spongicola garnélarák*

Egyes teknősöknél, gyíkoknál és krokodiloknál az ivar kialakulását befolyásolja az a hőmérséklet, amelyen a tojásaik fejlődnek. A krokodilok és a gyíkok esetében a környezet hőmérsékletének növekedésével a tojásokból több hím, míg a teknősöknél több nőstény kel ki.

Egyes szervezeteknél az ivar kialakulását biológiailag aktív anyagok befolyásolják. A villásormányú féreg (8.4., 1. ábra) nevű tengeri állat fenéken megtelepedő lárváiból nagyméretű – 1 m hosszúra is megnövő – nőstények fejlődnek. Azokból a lárvákból, amelyek a nőstények ormányára kerülnek, az utóbbiak hormonjainak hatására apró (1–3 mm hosszú) hímek lesznek. Hasonló jelenség figyelhető meg egyes rákféléknél. Például a szivacsok belsejében élő spongicola garnélarák lárva stádiumban kerül oda, majd miután kifejlődik, nem tud kiszabadulni belőle. A szivacs belsejébe elsőként bekerülő lárva mindig nőstény egyeddé, a másodikként bejutó – az első által termelt biológiailag aktív anyagok hatására – hímmé fejlődik (8.4., 2. ábra).

Társas rovaroknál, mint például a mézelő méheknél (8.1., 4. ábra), poszméheknél, hangyáknál a nőstények kétféle – megtermékenyített és megtermékenyítetlen (partenogenetikus) – petéket raknak. Az első típusból nőstények, a másodikból hímek fejlődnek. A nőstényeknek ezáltal diploid kromoszómakészletük lesz, míg a hímeknek először haploid a kromoszómakészletük, de idővel a kromoszómaszám megduplázódik.

Egyes halak- és kétéltűfajoknál előfordul, hogy az embrionális fejlődés során mindkét típusú ivarmirigy kezdeményei kialakulnak (hermafroditizmus). Azonban a további fejlődés során csak az egyik típusú ivarmirigy fejlődik tovább. Hasonló jelenség figyelhető meg a tisztogató hal esetében (8.5. ábra), amelynek a hímjei valóságos „háremet" tartanak. Ha a hím elpusztul, akkor a nőstények egyike veszi át a szerepét, és a nem differenciálódott ivari kezdeményből herék fejlődnek ki.

8.5. ábra. *A tisztogató hal „munka" közben*

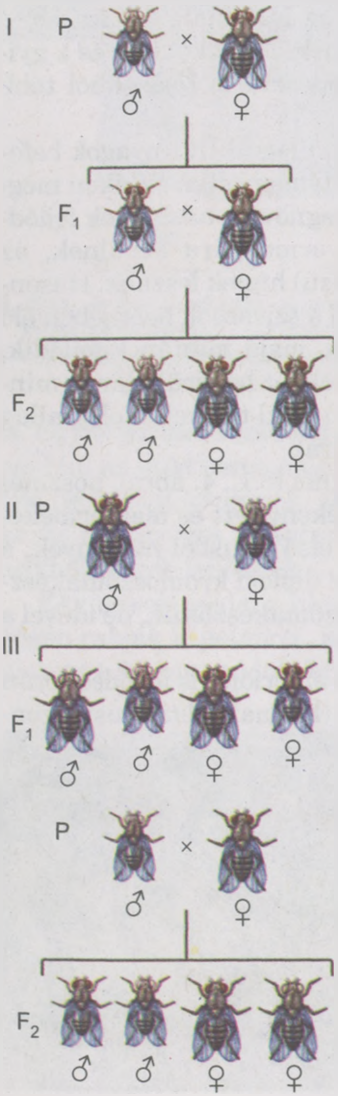
Az egyedfejlődés közbeni ivarváltás jelensége megfigyelhető az Ophryotrocha nevű gyűrűsféregnél. Az állat fiatal egyedei először hímek, majd bizonyos méret elérése után nőstényekké változnak. Hason-

ló ivarváltás végbemegy egyes rákféléknél és halaknál is az életük folyamán (például az akváriumi kardhal nőstényei meghatározott kor elérését követően hímekké változhatnak).

Mi határozza meg a nemek arányát a populációkban?

Azoknak a szervezeteknek a populációiban, amelyeknél az ivar a megtermékenyítés pillanatában eldől, a hímek és nőstények aránya a hasadás törvényének megfelelően 1 : 1.

♀ / ♂	*X*	*Y*
X	*XX*	*XY*
X	*XX*	*XY*



8.6. ábra. Ivarhoz kapcsolódó öröklődés a muslicánál

A természetben azonban ez az ivararány ritkán alakul ki a hímek és nőstények különböző mértékű pusztulási szintje miatt. A pusztulási arány a heterogaméta szervezeteknél a legnagyobb, mivel az *Y*-kromoszómából annak kisebb mérete miatt hiányoznak bizonyos allél gének, amelyek az *X*-kromoszómákban jelen vannak. Ezért a heterogaméta ivar egyedeinek fenotípusában kifejthetik hatásukat a letális vagy félletális recesszív allélek. Például a selyemlepkéknél több a hím, mint a nőstény, mivel egy sajátságos vírusbetegség következtében zömmel azok a selyemhernyók pusztulnak el, amelyekből nőstények fejlődtek volna (heterogaméta ivar).

Miben nyilvánul meg az ivarhoz kapcsolódó öröklődés?

Vannak olyan jellegek, amelyek az egyed nemével kapcsolódva öröklődnek. Ez az *X*- és *Y*-kromoszómák eltérő génösszetételével magyarázható.

Az ivarhoz kapcsolódó öröklődés jelenségét Thomas H. Morgan vizsgálta. Vörös szemszínű muslicák tiszta vonalú nőstényeit olyan hímekkel keresztezte, amelyek szeme nem tartalmazott vörös pigmentet (fehér szemszín) (8.6., I. ábra). Az első hibridnemzedék egyedeinek vörös volt a szemük. A második hibridnemzedék egyedeinél, amelyek az első hibridnemzedék egyedeinek kereszteződéséből jöttek létre, minden nőstény esetében vörös volt a szemszín, míg a hímeknél felefele arányban volt jelen a vörös és a fehér szemszín. Egyidejűleg fehér szemszínű nőstényeket kereszteztett vörös szemű hímekkel (8.6., II. ábra). Az első hibridnemzedék egyedei között a következő, fenotípus szerinti hasadás ment végbe: minden nősténynek vörös, minden hímnek fehér volt a szemszíne. Az első hibridnemzedék egyedeinek egymás közötti keresztezésekor az utódok között

8.7. ábra. A teknősbéka szőrszín meghatározása a macskánál

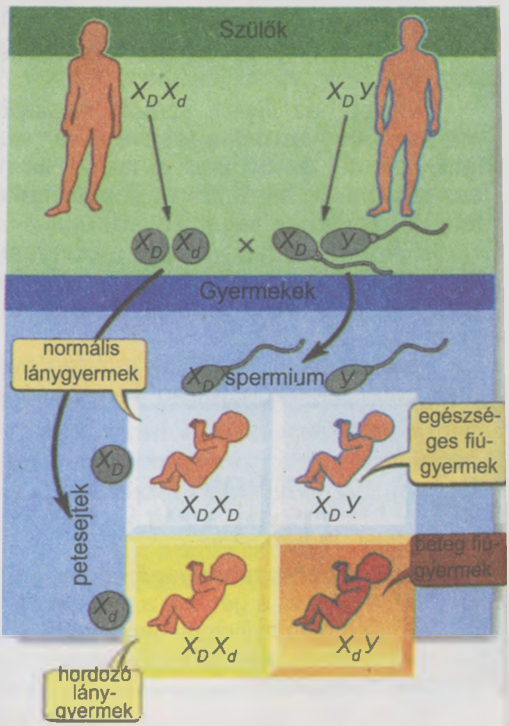
másfajta hasadást figyelt meg: mindkét nem egyedeinél 50%-ban vörös, 50%-ban fehér volt a szemszín (8.6., III. ábra).

A kétféle keresztezés eredményét Morgan azzal magyarázta, hogy a szem pigmentációját meghatározó gén az *X*-kromoszómában található, míg az *Y*-kromoszómából hiányzik, ezért nem lehet hatása ennek a jellegnek az öröklődésére.

A macskáknál ivarhoz kapcsoltan öröklődnek egyes szőrszínek. A kandúroknál nem fordul elő az úgynevezett teknősbéka szőrszín (vörös és fekete foltok fehér alapon), vagy csak sötét, vagy csak vörös foltok vannak a szőrzetükben. Ez azzal magyarázható, hogy a vörös és fekete szőrszínt meghatározó allél gének csak az *X*-kromoszómákban lokalizálódnak. Egyik allél sem dominál a másik felett. Ezért a nőstény macskák, amelyek ezt a gént tekintve heterozigóták, teknősbéka szőrszínűek lesznek (8.7. ábra).

Az embernél közel 150 jelleg, köztük egyes betegségek (színvakság, vérzékenység) öröklődnek nemhez kapcsoltan. A daltonizmus (színtévesztés vagy színvakság esetén a szem képtelen megkülönböztetni a vörös és zöld színeket és árnyalataikat) az *X*-kromoszómában lokalizált recesszív gén által öröklődik, az Y-kromoszómából hiányzik. Ezért az a férfi, akiben jelen van ez az allél, színvakságban szenved. A nőknél ez a betegség csak akkor jelenik meg, ha az egyén homozigóta ezt a recesszív allél tekintve; a heterozigóta nők fenotípusosan egészségesek, jóllehet hordozói ennek az allélnek, ám a daltonizmus nem jelentkezik náluk (8.8. ábra).

Hasonló módon öröklődik a hemofília (kóros vérzékenység, amikor a vér alvadásképtelensége miatt az érrendszer legkisebb sérülései is halálosak lehetnek a szervezet kivérzése következtében). A hemofíliát okozó recesszív allélt a heterozigóta nők örökítik nemzedékről nemzedékre, mivel a hemofíliás homozigóta nők nem érik el a szaporodóképes kort.



8.8. ábra. A daltonizmus és hemofília öröklődési mechanizmusa az embernél

Új szakkifejezések és fogalmak. *Homogaméta és heterogaméta ivar.*

Ismétlő kérdések. 1. A szervezetek ivar-meghatározásának milyen módjait ismeritek a váltivarú szervezeteknél? 2. Mely ivart nevezik heterogamétának, és melyet homogamétának? 3. Mi határozza meg az ivarhoz kapcsolódó öröklődést? 4. Mivel magyarázható, hogy a heterogaméta ivar esetében nagyobb a halandóság, mint a homogaméta ivarnál?

Bonyolult feladat. Az embernél megfigyelték az ivari kromoszómát érintő mutációt, amikor a sejtek csak egy *X*-kromoszómát tartalmaznak, vagyis a kromoszóma-állomány nem 45-tel, hanem 46-tal egyenlő. Miért nem léteznek olyan emberek, akiknél csak *Y*-kromoszóma fordul elő, *X*-kromoszóma nélkül? Feleleteket magyarázzátok meg!

Alkotói feladat. Derítsétek ki, milyen módszerrel határozható meg az állatok neme, ha a hímek és a nőstények nem különböztethetők meg a felépítésük alapján!.

Genetikai feladat megoldása.

Feladat. Határozzátok meg, milyen a valószínűsége annak, hogy az alábbi esetekben hemofíliás fiú vagy lány születik: a) az apa egészséges, az anya hordozza a hemofília recesszív alléljét; b) az apa hemofíliás, az anya homozigóta a megfelelő domináns allélt tekintve!

Kapcsolt öröklődésre vonatkozó feladat megoldási algoritmusa.

1. Meghatározzuk a szülők genotípusait: az egészséges apa genotípusa X_HY, a heterozigóta anya genotípusa X_HX_h.

2. Leírjuk a keresztezés menetét: $P♀X_HX_h \times ♂X_HY$.

Felelet: az ilyen szülők esetében minden lánygyermek egészségesen születik, jóllehet az 50%-uk a hemofília recesszív alléljét hordozza; a fiúgyermekek fele hemofíliában fog szenvedni.

3. Amikor az apa beteg, a domináns allél szerint a homozigóta anya egészséges, a keresztezés menete a következő lesz: $P♀X_HX_H \times ♂X_hY$.

♀ / ♂	X_H	Y
X_H	X_HX_H	X_HY
X_h	X_HX_h	X_hY

♀ / ♂	X_h	Y
X_H	X_HX_h	X_HY
X_H	X_HX_h	X_HY

Felelet: az ilyen szülők minden gyermeke egészséges, de minden lánygyermek heterozigóta, a hemofília recesszív alléljának hordozója lesz.

9. §. A GENOTÍPUS MINT EGYSÉGES RENDSZER. CITOPLAZMÁS ÖRÖKLŐDÉS

A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása érdekében idézzétek fel: mi a gén, a genom, a genetikai kód, a rekombináció, a transzkripció, a crossing over? Miben nyilvánul meg a mitokondriumok és plasztiszok autonómiája a sejtben? Mik a strukturális és a szabályozó gének? Mik a plazmidok és a nukleoidok?

Milyen a genom szerveződése a különböző szervezetekben?

Hosszú ideig, egészen a nukleinsavak szerkezetének és a genetikai kódnak a feltárásáig, a gént az örökletes információ, a rekombináció és a mutáció oszt-

hatatlan egységének tekintették. Később azonban kiderítették, hogy vannak változások, amelyek nem a teljes gént, hanem annak csupán meghatározott részét érintik. A crossing over során a homológ kromoszómák között kicserélődhetnek egész gének vagy csupán azok egyes részei. A nukleinsav legkisebb része, amely a crossing over alkalmával kicserélődhet, mindössze 1–2 nukleotidpárból áll.

A gén teljes funkcionális egység, mivel szerkezetének bármilyen sérülése megváltoztatja a benne kódolt információt vagy annak elvesztéséhez vezet.

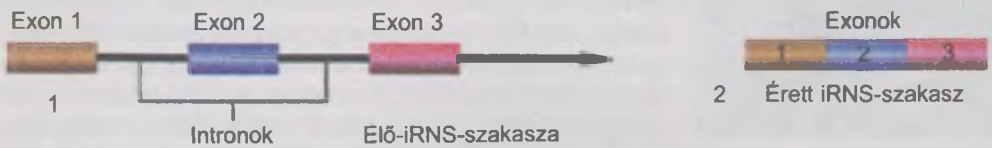
Különböző szervezetekben a gének száma jelentős mértékben változhat a genomban. A genom szerkezete a vírusoknál a legegyszerűbb: a gének száma egy és több száz között ingadozhat benne. A prokarióták genomja bonyolultabb, tartalmaz mind szerkezeti, mind szabályozó géneket. Például a kólibaktérium DNS-molekulája $4{,}6 \cdot 10^6$ nukleotidpárból áll, szerkezeti génjeinek száma körülbelül 4100. Az eukarióták genomja még bonyolultabb, a muslica genomjában mintegy $1{,}1 \cdot 10^8$ nukleotidpár és közel 14 000 strukturális gén található. Az újabb kutatások szerint az ember genomjában a strukturális gének száma közel 20 000–25 000.

A különböző eukarióta szervezetek genomjának vizsgálata kiderítette, hogy a sejtmagban 10-szer több DNS van, mint amennyire az összes strukturális gén kódolásához lenne szükség. Ez a jelenség különböző okokra vezethető vissza. Először: az eukarióták DNS-molekulája nagyszámú nukleotidszekvenciákat tartalmaz, amelyek mindegyike százezerszeres nagyságrendben ismétlődik. Másodszor: a DNS-molekulák jelentős része nem hordoz genetikai információt. Harmadszor: sok az olyan regulátorgén, amelyek nem kódolnak fehérje- vagy RNS-szerkezetet.

Az eukarióták génjei blokkokból épülnek fel, közülük egyesek, az ***exonok*** bizonyos vegyületek (például fehérjék) szerkezetére vonatkozó információt hordoznak, míg mások, az ***intronok*** nem rendelkeznek ilyen tulajdonsággal (9.1. ábra). Az egyes intronok 100 és 1 000 000 közötti vagy még több nukleotidpárt tartalmazhatnak. Az egyes génekben az intronok száma eltérő lehet (a hemoglobin szerkezetét kódoló génben 2, a tojásfehérjét kódolóében 7, a tyúk fehérje-kollagénjét kódolóében 51). Az intronok száma minden génre nézve specifikus.

A gének az iRNS előmolekulájában (az iRNS-t a modern tudományos irodalomban gyakrabban mRNS-ként használják) másolódnak, ahonnan az intronokat különleges enzimek kivágják, míg az exonok ott maradnak, és meghatározott sorrendben kovalens kötésekkel kapcsolódnak egymáshoz. Így képződik az érett iRNS. Ezt a folyamatot angol szóval ***splicingnak*** (szplájszingnak), azaz kapcsolódásnak nevezik (9.1. ábra).

A genetikában hosszú ideig létezett az a szabály, amely szerint minden gén egy meghatározott fehérje (egy gén – egy fehérje) szintéziséért felel. Azonban



9.1. ábra. *Az iRNS szerkezete a splicing előtt (1) és után (2)*

a későbbi kutatások kiderítették, hogy a gén-jelleg viszony sokkal bonyolultabb, mint azt korábban gondolták. Ez a nem allél gének és a gének többszörös hatásának jelenségével áll összefüggésben.

Milyen a nem allél gének egymás közötti kölcsönhatása?

Korábban már vizsgáltuk az allél gének kölcsönhatásának különböző változatait: a teljes és részleges dominanciát, az intermedier öröklődést. Azonban egy adott jellegállapot kialakulását gyakran befolyásolja ***két vagy több nem allél gén kölcsönhatása***. Az ilyen kölcsönhatás különböző formákat ölthet.

A nem allél gének kölcsönhatása úgy is jelentkezhet, hogy az egyik gén allélje elnyomja a másik, nem allél gén alléljének fenotípusban történő megnyilvánulását.

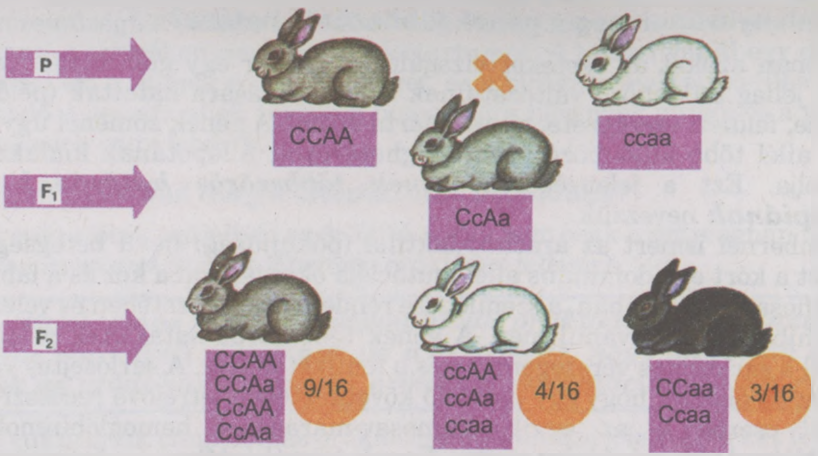
A tyúkokban van egy gén, amely a tollazat színét határozza meg: a *CC* vagy *Cc* genotípusú tyúkoknak bizonyos színű a tollazatuk, míg a *cc* genotípusúaké fehér. De létezik egy nem allél gén, amelynek domináns allélje elnyomja a tollazat színét meghatározó másik nem allél gént. Ezért az allél gént tekintve homozigóta (*II*) vagy heterozigóta (*Ii*)) tyúkoknak fehér a tollazatuk, a másik nem allél gén alléljeinek jelenlétére (9.2. ábra).

Azt a jelenséget, amikor az egyik gén alléljei elnyomják a másik, nem allél gén megnyilvánulását a fenotípusban, episztázisnak nevezzük (*gör. epistasis* – leállítás, akadály).

A nem allél gének kölcsönhatásának másik elterjedt formája abban mutatkozik meg, hogy egy adott jellegállapot fenotípusos megjelenéséhez két vagy több nem allél gén domináns alléljeinek kölcsönhatása szükséges. A padlizsán termésének ibolyaszínét két nem allél gén domináns alléljeinek kölcsönhatása határozza meg. Ennek eredményeként termelődik a megfelelő pigment (antocián). Ha a gének közül akár egy is homozigóta a recesszív allélre nézve, a pigment nem termelődik, és a termések színtelenek lesznek. Hasonló jelenség figyelhető meg az illatos bükköny esetében, amikor két nem allél gén domináns alléljei határozzák meg a párta piros színét. Ha azonban az egyik gén homozigóta a recesszív allélt tekintve, a párta fehér lesz.

9.2. ábra.
Leghorn tyúkfajta

Az állatok (egerek, nyulak) esetében a sötét szőrszín megjelenését két nem allél gén domináns alléljei okozzák, amelyek közül az egyik a pigment meglétét, a másik a szőrszálban való eloszlását határozza meg. A házinyulaknál a sötét pigment szintéziséért a domináns *C* allél felel. Egy másik nem allél gén a pigment szőrszálban való eloszlását szabályozza. Ha a nyúl genotípusában ennek az (*A*) génnek a domináns allélje található, akkor a pigment a szőrszál tövénél összpontosul, és az állatnak szürke lesz a prémje. Ha a házinyúl homozigóta a recesszív allél szerint (a genotípusa *CCaa*, *Ccaa*), akkor a pigment egyenletesen oszlik el a szőrszálban és a nyúl fekete lesz. Ha a sötét pigment termeléséért felelős gén homozigóta a re-



9.3. ábra. *Nem allél gének kölcsönhatása házinyulak prémszínének a kialakulásánál*

cesszív allélt tekintve, akkor nem termelődik pigment, és fehér egyedek (albinók) születnek (9.3. ábra).

Emberben a normális hallás kialakulását szintén két nem allél gén domináns alléljei határozzák meg, közülük az egyik a csiga normális fejlődéséért felelős a belső fülben, a másik a hallóideg normális fejlődését határozza meg. Ha csak az egyik gén is homozigóta a recesszív allélt tekintve, az utód születésétől fogva süket lesz.

Azokat a nem allél géneket, amelyeknek a domináns alléljei valamely, mindegyik génre egyenként nem jellemző jellegváltozat kialakításához szükségesek, komplementereknek nevezzük.

A komplementer géneken kívül léteznek ***polimer*** gének is. Ezek kölcsönhatása (polimeria) abban áll, hogy valamely jellegváltozat megléte attól függ, miként kapcsolódnak egymáshoz e nem allél gének bizonyos alléljei a genotípusban.

Egyes esetekben elegendő bármely gén egyetlen domináns allélje azok közül, amelyek hatással vannak a jellegre, hogy a megfelelő jellegváltozat a fenotípusban megjelenjen. Például az egyik pásztortáska fajnál csak két, a recesszív allélek szerint homozigóta gén jelenléte esetén képződik ovális termésforma, más esetekben (amikor van legalább egy domináns allél), a termés háromszög alakú.

Az állatoknál a nem allél gének polimer kölcsönhatása határozza meg a növekedés intenzitását, a termékenységet, tejzsírtartalmat, az embernél a magasságot, testtömeget, artériás vérnyomást. A polimeriának fontos biológiai jelentősége van, mivel a szervezetek változékonyságát biztosítja. Ezenkívül a nem allél gének által meghatározott jellegállapotok stabilabbak, mint azok, amelyek egy gén különböző alléljei által determináltak. Egyebek mellett ez a tény kiegyenlíti bizonyos mutációk megjelenését a fenotípusban.

Megjegyzendő, hogy nem mindig lehet pontosan meghatározni a nem allél gének kölcsönhatásának a típusát, különösen ha ismeretlen a vizsgált jelleg megjelenésének biokémiai mechanizmusa.

Hogyan nyilvánul meg a gének többszörös hatása?

Korábban azokat az eseteket vizsgáltuk, amikor egy gén alléljei csupán egyetlen jelleg különböző változatainak a kialakulására hatottak (például a mag színe, felületi szerkezete, a virágpárta színe). A gének zöménél ugyanakkor egy allél több különböző jelleg meghatározott állapotának kialakulását befolyásolja. Ezt a jelenséget a ***gének többszörös hatásának*** vagy ***pleiotropiának*** nevezzük.

Az embernél ismert az arachnodaktilia (pókujjúság) nevű betegség (9.4. ábra). Ezt a kórt egy domináns allél mutációja okozza, ami a kéz és a láb ujjainak meghosszabbodásában, a szemlencse rendellenes helyzetében és veleszületett szívhibákban nyilvánul meg. A gének többszörös hatásának példája az embernél a sarlósejtes vérszegénység és a fenilketonuria. A sarlósejtes vérszegénységet az okozza, hogy egy mutáció következtében létrejövő recesszív allél másikkal cseréli le az egyik aminosav-maradékot hemoglobinmolekula polipeptidláncának szintézise során. Ennek következtében a vörös vérsejtek szabálytalan sarló alakot öltenek (9.5. ábra), és rendellenességek keletkeznek a szív-érrendszerben, az emésztő, kiválasztó szervekben és az idegrendszerben.

A gének többszörös hatását az okozza, hogy mindegyik gén az anyagcsere meghatározott szakaszát ellenőrzi. Mivel az anyagcsere legkülönfélébb folyamatai gyakran kölcsönösen kapcsolódnak egymáshoz, ezért a valamely szakaszában bekövetkező rendellenesség óhatatlanul kihat a következő szakaszokra, és végeredményben kihat a szervezet jellegeinek alakulására.

9.4. ábra. Arachnodaktilia

9.5. ábra. Egészséges (1) és sarlósejtes vérszegénységben szenvedő (2) ember vörös vérsejtje

Egy veszélyes emberi betegség, a fenilketonuria okozója szintén egy bizonyos gén recesszív allélje okozza. Ha a beteg kezelése nem kezdődik el idejében, azaz koragyermekkorában, akkor a vérében fenilalanin aminosav halmozódik fel, s jelentkeznek a betegség tünetei: a kisméretű fej, a szellemi fejlődés visszamaradottsága, a haj és a szem szivárványhártyájának gyenge pigmentáltsága. A megfelelő gén normális allélja kódolja azt az enzimet, amely a fenilalaninból egy másik aminosavat, tirozint szintetizál. A fenilketonuriában szenvedő betegekben nem termelődik ez az enzim, s a vérben fenilalanin halmozódik fel. Ez agyfejlődési zavarokat idéz elő, aminek a következménye a kis fejméret és a szellemi visszamaradottság.

A többszörös génhatás megnyilvánulásai mind a növényi, mind az állati szervezeteknél megfigyelhetők. A muslicánál az egyik gén recesszív allélje határozza meg a szem pigmenthiányát

(fehérszeműség), a világos testszínt, megváltoztatja az ivarszervek felépítését, csökkenti a termékenységet és az élettartamot. A burgonyánál egy domináns allél idézi elő a gumók rózsaszínűségét, és a virágszirmok piros-lilás színét (a megfelelő recesszív allélt tekintve homozigóta növények gumói és a virágszirmai kékesek vagy fehérek)..

Miben nyilvánul meg a citoplazmás öröklődés?

Az eukarióták sejtjeiben az örökítő anyag nem csak a sejtmagban található. Az ilyen szervezetekre citoplazmás öröklődés jellemző.

A citoplazmás vagy sejtmagon kívüli öröklődés a citoplazma bizonyos szerkezeti elemeinek az a képessége, hogy megőrzik és átadják az utódoknak a szülők örökletes információinak egy részét.

Az eukarióták citoplazmás öröklődése a genetikai jelenségek két formájával kapcsolatos:

- a meghatározott sejtszervecskékben (mitokondriumokban, plasztiszokban) található sejtmagon kívüli génekben kódolt jellegek öröklődésével;
- a sejtmag génjei által kódolt jellegek megjelenésével az utódokban, amelyek kialakulására azonban hatással van a petesejt citoplazmája.

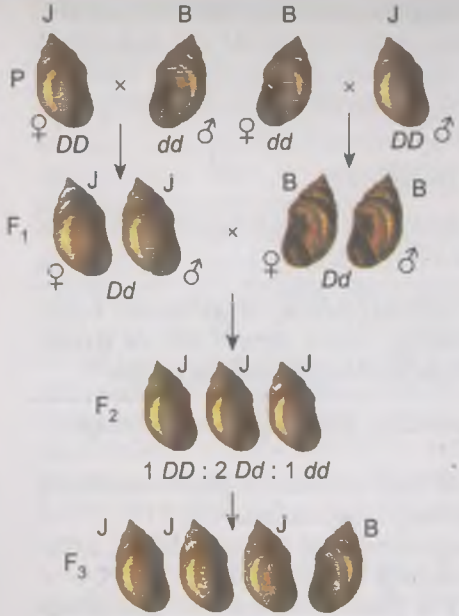
A 10. osztályos biológiából tudjátok, hogy a plasztiszoknak és mitokondriumoknak saját örökítő anyaguk – gyűrűs DNS-molekulájuk – és saját fehérjék előállítására képes apparátusuk van. A prokarióták sejtjeiben kromoszómán kívüli öröklődési tényezők, úgynevezett plazmidok találhatók. A sejtmagon kívüli gének kölcsönhatnak a sejtmag génjeivel, és a sejtmag DNS-e ellenőrzi őket.

A plasztiszok génjeihez kötődő citoplazmás öröklődés különböző növényfajokra (oroszlánszáj, tátika) jellemző. Az ilyen növények között előfordulnak tarka levelű formák. Ez a jelleg anyai ágon öröklődik. A levéltarkaság azért alakul ki, mert a plasztiszok egy része nem tud klorofillt képezni. A színtelen plasztiszokat tartalmazó sejtek osztódása után a leveleken egymást váltó fehér és zöld foltok jelentkeznek (9.6. ábra). Az osztódással szaporodó plasztiszok genetikailag folytonosak: a zöld plasztiszok zöld, a színtelenek színtelen plasztiszokat képeznek. Mivel sejtosztódáskor a plasztiszok megoszlása véletlenszerű, ezért keletkeznek színtelen vagy zöld plasztiszokat tartalmazó, vagy mindkét színtesttípust egyidejűleg hordozó sejtek.

A mitokondriumok génjeihez kapcsolódó citoplazmás öröklődést élesztőkön vizsgálták. Ezeknek a mikroorganizmusoknak a mitokondriumaiban olyan géneket fedeztek fel, amelyek a légzőenzimek hiányáért vagy meglétéért, illetve bizonyos antibiotikumokkal szembeni ellenálló képességért felelnek.

Azt a jelenséget, hogy az anyai szervezet sejtmaggénjei miként hatnak a petesejt citoplazmájának közve-

9.6. ábra. *Citoplazmás öröklődés a növényeknél*



9.7. ábra. A citoplazmás öröklődés megnyilvánulása a mocsári csigánál: a csigaház jobbra (J) és balra (B) csavarodásának átörökítése

títésével meghatározott jellegállapotok kialakulására, a mocsári csiga példáján követhetjük nyomon (9.7. ábra). Ennek az édesvízi csigának előfordulnak olyan alakváltozatai, amelyek az örökletes jellegek különböző állapotában, így a csigaház jobbra vagy balra való csavarodásában különböznek egymástól. A ház jobbra csavarodását előidéző allél (***D***) dominál a balra csavarodásért felelő allél (***d***) felett, de a ház csavarodási irányát meghatározó géneket az anyaszervezet hordozza. A balra csavarodás recesszív génjét illetően homozigóta egyed háza lehet jobbra csavarodó (***dd***), ha az anyában megvolt a jobbra csavarodás domináns allélje. Ezért a csigaház csavarodásával kapcsolatos jellegállapot hasadása a mocsári csiga fenotípusában egy nemzedékkel később jelenik meg.

Minden faj egyedeinek genotípusa egységes rendszer, jóllehet különböző génekből tevődik össze, amelyek képesek arra, hogy egymástól elkülönüljenek és függetlenül öröklődjenek. A genotípusnak a történelmi fejlődés során kialakult egységes volta abban mutatkozik meg, hogy a szervezet jellegállapotai zömmel az allél és a nem allél gének kölcsönhatásának eredményeként alakulnak ki. A gének többségének alléljei néhány jelleg meghatározott állapotának fejlődésére hatnak. Ezenkívül a szervezetek fenotípusának alakulása függ a citoplazmás öröklődéstől.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Episztázis, komplementer gének, polimeria, többszörös génhatás, citoplazmás öröklődés.*

Ismétlő kérdések. 1. Mi a gén biokémiai és genetikai értelemben? 2. Mik a strukturális gének és a regulátorgének? 3. Milyen géneket neveznek modifikátoroknak? 4. A nem allél gének kölcsönhatásainak milyen típusait ismeritek? 5. Milyen a gének többszörös hatásának biokémiai alapja? 6. Mi a citoplazmás öröklődés, és mi okozza? 7. Miben nyilvánul meg a genotípus egységes volta?

Bonyolult feladat. Gondolkodjatok el azon, melyek a citoplazmás öröklődés evolúciós alapjai!

Alkotói feladat. 1. A sarlósejtes vérszegénység nem teljesen domináns jellegként öröklődik. A homozigóta egyedek gyakran (90%) elpusztulnak, míg a heterozigóták ezzel szemben életképesek, jóllehet módosulnak a vörös vérsejtjeik. Azt gondolhatnánk, hogy az ilyen letális allél eltűnik az evolúció folyamán, mivel az ezt hordozó homozigóta egyedek nagyon korán elpusztulnak és nem örökítődnek át az utódokra. Ugyanakkor a trópusi Afrikában, ahol magas a maláriás megbetegedések száma, az adott gén szerinti heterozigóták aránya 20%-tól 40%-ig terjed. Magyarázzátok meg ezt a jelenséget! Indokoltan állítha-

tó-e ebben az esetben, hogy a mutáció teljes mértékben káros? Feleleteteket magyarázzátok meg!

2. Fehér tollazatú tyúkokat kereszteztek egymással. Egy részük genotípusa *IICC* volt, a másik részüké – *iicc*. A keresztezés menete alapján határozzátok meg, milyen színű lesz az első hibridnemzedék (F_1) és a második hibridnemzedék (F_2) tollazata!.

1. sz. gyakorlati munka

Típusfeladatok megoldása genetikából
(mono- és dihibrid keresztezés)

1. feladat. 1. Egy gén recesszív allélje szerint homozigóta foxterrier kutyák vakon születtek. A normális szülői egyedeknek hét kiskutyája született, amelyek közül ötnek normális volt a fenotípusa, míg kettő vakon jött világra. Állapítsátok meg a kutyaszülők és kölykeik genotípusát!

2. feladat. A paradicsom domináns allélja (*A*) határozza meg a magas, a recesszív (*a*) az alacsony szárat. Növénynemesítők magas és alacsony szárú egyedek tiszta vonalát keresztezték egymással. Az első hibridnemzedék (F_1) egyedei magas szárúak voltak, a második hibridnemzedékben (F_2) 19 651 egyednek magas, 6237 egyednek alacsony volt a szára. Határozzátok meg a szülői formák, az első és a második hibridnemzedék genotípusát!

3. feladat. A Wyandotte fajtájú tyúkok rózsaszerű taraját a domináns, egyszerű taraját a recesszív allél határozza meg. Az egyszerű tarajú tyúkok keresztezésekor minden utód ezt a tarajformát örökli, míg a rózsatarajú egyedek keresztezéséből származó utódok között mindkét tarajforma előfordult. Milyen keresztezési módot kell alkalmaznia a tenyésztőnek, ha kizárólag rózsatarajú tyúkokat szeretne utódokként kapni?

4. feladat. Egy farmon három fenotípusba sorolható nyérceket tartanak: fehéreket, feketéket és fehér préműeket, amelyek hátán fekete kereszt található. A fehér nyércek egymás közötti keresztezéséből kizárólag fehér utódok születtek; a feketék keresztezése csak fekete prémű egyedeket eredményezett. A fekete és fehér nyércek keresztezésének eredményeként csakis fehér prémű, fekete keresztes utódok jönnek világra. Határozzátok meg:

1. Milyen jelenség figyelhető meg az első hibridnemzedékben?
2. Milyen lesz a fehér prémű, fekete keresztes egyedek egymással való keresztezéséből kapott utódok fenotípusa?
3. Milyen fenotípusú utódok születnek a fehér prémű, fekete keresztes és fehér egyedek keresztezéséből?
4. Milyen fenotípusú utódok születnek a fehér prémű, fekete keresztes és fekete egyedek keresztezéséből?

5. feladat. A paradicsom termésének gömbölyű formáját meghatározó allél dominál a körte formájú termést meghatározó allél fölött, míg a magas szárformáért felelős allél az alacsony szárért felelős allél fölött dominál. A termésformát és a szármagasságot meghatározó gének a nem homológ kromoszómákban találhatók. Két tiszta vonalat kereszteztek: magas szárú, gömbölyű termésű növényeket rövid szárú, körte termésű növényekkel. Az első hibridnemzedék összes egyedének magas volt a szára és gömbölyű a termése. Az első hibridnemzedék egyedeinek egymással való keresztezéséből 4893 egyedet kaptak. Határozzátok meg, milyen genotípus- és fenotípusváltozatok fordul-

nak elő a második hibridnemzedékben! A fenotípusok milyen egymáshoz viszonyított aránya figyelhető meg (százalékosan) a második hibridnemzedékben?

6. feladat. A veteményborsó virágpártájának vörös színe dominál a fehér pártaszín, a hosszú szár – a rövid szár fölött. Nemesítők a borsó két olyan vonalát keresztezték, amelyek közül az egyikben vörös virágpártájú és rövid szárú, a másikban fehér virágpártájú és hosszú szárú egyedek voltak. Az első hibridnemzedékben 4672 vörös virágpártájú és hosszú szárú, valamint 4421 vörös pártájú és rövid szárú növényt kaptak.

1. Határozzátok meg a szülői formák genotípusát!
2. Milyenek lesznek az első hibridnemzedék egyedeinek egymás közötti keresztezéséből kapott utódok genotípusai?

TEMATIKUS TUDÁSSZINTFELMÉRÉS

I. A megadott válaszok közül válasszátok ki az egy helyest:

1. Jelöljétek meg, hogyan nevezik valamely szervezet haploid kromoszómakészlete DNS-szekvenciáinak összességét: a) genotípus; b) genom; c) génállomány; d) kariotípus!

2. Jelöljétek meg, mit képeznek az egy kromoszómában elhelyezkedő gének: a) genom; b) kariotípus; c) kapcsolási csoport; d) plazmid!

3. Nevezzétek meg valamely jellegek kapcsolt öröklődési zavarát: a) többszörös génhatás; b) crossing over; c) citoplazmatikus öröklődés; d) jelleghasadás!

4. Gondolkozzatok el azon, mi a neve a két jelleg különböző állapotaiban különböző egyedek kereszteződésének: a) monohibrid; b) dihibrid; c) polihibrid; d) rokon!

5. Jelöljétek meg az allél gének helyét: a) homológ kromoszómák azonos szakaszai; b) homológ kromoszómák különböző szakaszai; c) nem homológ kromoszómák azonos szakaszai; d) nem homológ kromoszómák különböző szakaszai!

6. Jelöljétek meg, mennyivel egyenlő valamely faj szervezeteinek kariotípusában található kapcsolási csoportok száma: a) a kromoszómák számával a haploid készletben; b) a kromoszómák számával a diploid készletben; c) az ivari kromoszómák számával; d) az autoszómák számával!

7. Határozzátok meg, milyen feltételek mellett jelenik meg a hibrid egyedek genotípusának minden variánsa a fenotípusban: a) teljes dominancia; b) intermedier öröklődés; c) többszörös génhatás; d) nem allél gének kölcsönhatása!

II. Megfelelési feladat.

1. Határozzátok meg a monohibrid keresztezésnek azokat a típusait, amikor intermedier öröklődés esetén a genotípus szerinti hasadás következő változatai figyelhetők meg:

Keresztezéstípusok	A genotípus szerinti hasadás változatai
A. AA × aa B. Aa × aa C. Aa × Aa	1. 1 : 1 2. 3 : 1 3. 1 : 2 : 1 4. Nincs hasadás

2. Határozzátok meg a monohibrid keresztezésnek azokat a típusait, amikor intermedier öröklődés esetén a fenotípus szerinti hasadás következő változatai figyelhetők meg:

Keresztezéstípusok	A fenotípus szerinti hasadás változatai
A. AA × aa B. Aa × aa C. Aa × Aa	1. 1 : 1 2. 1 : 2 : 1 3. Nincs hasadás 4. 3 : 1

3. Határozzátok meg a dihibrid keresztezésnek azokat a típusait, amikor teljes dominancia esetén a genotípus szerinti hasadás különböző változatai figyelhetők meg:

Keresztezéstípusok	A genotípus szerinti hasadás változatai
A. AABB × aabb B. AaBb × AaBb	1. Nincs hasadás 2. 9 : 3 : 3 : 1 3. 4 : 2 : 2 : 2 : 2 : 1 : 1 : 1 : 1

4. Határozzátok meg a dihibrid keresztezésnek azokat a típusait, amikor a fenotípus szerinti hasadás különböző változatai figyelhetők meg:

Keresztezéstípusok	A fenotípus szerinti hasadás változatai
Teljes dominancia: A. AABB × aabb B. AaBb × AaBb **Intermedier öröklődés**: C. AaBb × AaBb	1. Nincs hasadás 2. 9 : 3 : 3 : 1 3. 4 : 2 : 2 : 1 4. 4 : 2 : 2 : 2 : 2 : 1 : 1 : 1 : 1

5. Határozzátok meg a gének kölcsönhatásának típusa és példái közötti megfelelést:

A gének kölcsönhatásának típusai	Példák
A. Az allél gének kölcsönhatása, teljes dominancia B. Nem allél gének kölcsönhatása C. Kapcsolt öröklődés D. Allél gének kölcsönhatása, intermedier öröklődés	1. Az éj szépe pártaszíne 2. A róka prémjének platinaszíne 3. A házinyulak prémszíne 4. A muslica test- és szárnyformája 5. A veteményborsó pártaszíne

III. Nyitott kérdések.

1. Milyen kapcsolat van a Gregor Mendel által felfedezett öröklődési törvények és a meiózis folyamata között? Feleleteteket indokoljátok meg!
2. Mi a biológiai jelentősége annak, hogy bizonyos gén sok alléllal nyilvánulhat meg?
3. Milyen feltételek mellett öröklődhet egymástól függetlenül két olyan gén, amely egy kapcsolódási csoportba tartozik?
4. Milyen esetekben fordulhatnak elő az egy fenotípuscsoportba tartozó szülői egyedek keresztezéséből származó utódok között más fenotípusok? Feleleteteket indokoljátok meg!
5. Miért recesszívek általában a letális és szubletális gének?

6. téma A változékonyság törvényszerűségei

A téma tanulása során megismeritek a változékonyság alaptörvényeit; az örökletes tényezők és a környezet szerepét a fenotípus alakításában; a mutagén tényezőket és hatásukat a szervezetek örökletes anyagára; az örökletes változékonyság jelentőségét az élő természet történelmi fejlődése, a gazdaság és az emberi egészség szempontjából. Ugyancsak megtanuljátok, hogyan kell variációs sorokat és variációs görbéket készíteni, mutációval és örökletes változékonysággal kapcsolatos feladatokat megoldani.

10. §. MODIFIKÁCIÓS VÁLTOZÉKONYSÁG – A GENOTÍPUS ÉS A KÖRNYEZET KÖLCSÖNHATÁSÁNAK KÖVETKEZMÉNYEI

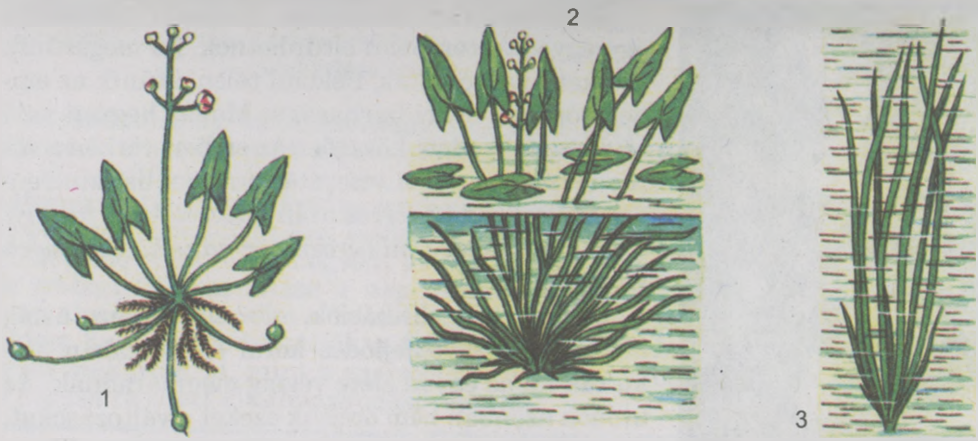
A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: mi jellemzi az egypetéjű ikreket? Mit értünk állat- és növényfajtákon? Mik a mennyiségi és a minőségi jellegek?

A genetika egyik fő problémája az, hogy feltárja a genotípus és a környezeti tényezők együttes szerepét a fenotípus kialakulásában. Az egypetéjű ikrek különbözni fognak fenotípusukban, ha egymástól eltérő környezeti feltételek között nőnek fel. Ez a nem örökletes változékonyság megnyilvánulása. A nem örökletes változékonyság vizsgálatával kideríthető, hogy a különböző létfeltételek között miként érvényesülnek az örökletes információk.

Milyen tulajdonságai vannak a nem örökletes változékonyságnak?

***Modifikációs változékonyság* – a szervezet fenotípusának a létfeltételek hatására bekövetkező és a genotípus-módosulásoktól független változásai.**

A modifikációs változások (modifikációk) a szervezetnek azok a reakciói, amelyeket a környezet bizonyos tényezőinek hatásszintváltozásaira ad. A modifikációs változékonyságot nem a DNS-molekulák nukleotid-szekvenciáinak módosulásai, hanem az örökletes információk megvalósulásának jellege határozza meg. Ezek valamennyi azonos fenotípusú szervezet esetében egyformák.

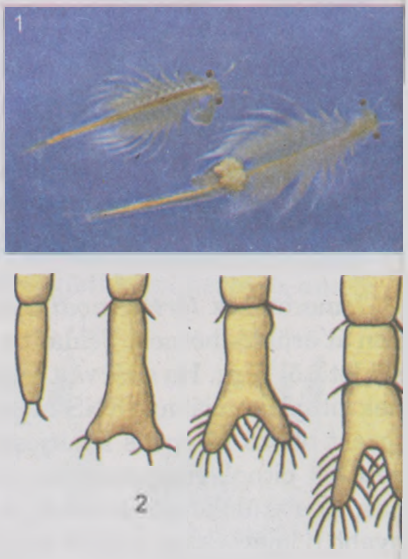


10.1. ábra. *A nyílfű (1) levélformájának függése a környezeti viszonyoktól: 2 – a víz fölötti levelek nyíl alakúak; 3 – a víz alatti levelek szalagszerűek*

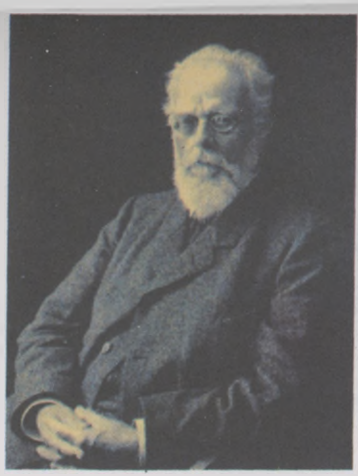
Bármely szervezet örökletes programja nem csupán a gének irányításával valósul meg, hanem a külső környezet is hatással van rá. Sokszor a környezettől függ az örökletes jelleg megjelenési foka. Például a nyílfű (10.1. ábra) valamennyi víz alatti egyedének hosszúak és vékonyak a levelei. A parton növő növények levelei nyíl alakúak. A félig vízben álló egyedeknél mindkét levéltípus megtalálható. Az ember és az állatok esetében az elfogyasztott táplálék mennyisége és minősége kihat a testméretre.

A modifikáció kifejezettségének mértéke attól függ, hogy egy meghatározott tényező mekkora intenzitással és mennyi ideig hat a szervezetre. Így a sóféreg szőrösségének mértéke a víz sótartalmától függ: minél kisebb a sótartalom, annál erősebb a szőrösség (10.2. ábra). Saját tapasztalatotok alapján tudjátok, hogy minél hosszabb ideig tartózkodtok a napon, annál erősebben barnul a bőrötök. Minél magasabban tartózkodik az ember a hegyekben, annál több lesz a vérében a vörös vérsejt. A lenvirág élénkebb, ha magasabb a környezet hőmérséklete, s a ballagófű annak arányában változtatja hajtásainak színét a zöldtől a pirosig, ahogy a nátrium-klorid töménysége növekszik a talajoldatban.

A tudósok közt hosszú ideig vita tárgyát képezte, hogy öröklődnek-e a szervezetek egyedfejlődése során szerzett jellegek. Elsőként August Weismann (10.3. ábra) német zoológus bizonyította be, hogy a modifikációk nem öröklődnek. Kísérletekben egerek farkát távolították el nemzedékeken át, de a farok nélküli szülőknek mindig farkos utódaik születtek.



10.2. ábra. *1. A sóféreg szőrösségé függése a víz sótartalmától. 2. A sófé szőrözöttsége különböző sókoncentrác közegben (balról jobbra: nagyobb sóta lomtól a kisebb irányában)*



10.3. ábra. *August Weismann (1834–1914)*

10.4. ábra. *Méhkirálynő (középen) és dolgozó méhek*

Kísérletek sora bizonyítja, hogy a modifikációk egy egyed életén belül eltűnhetnek, ha megszűnik az őket kiváltó hatás. Például télen eltűnik az ember bőrének nyári barnasága. Magas hegyen való rövid tartózkodást követően az emberi vérben a vörös vérsejtek száma visszatér a normális szintre a völgybe való visszatérés után (*idézzétek fel, mennyi vörös vérsejt van 1 ml vérben normális körülmények között*).

Bizonyos modifikációk, de elsősorban azok, amelyek az egyedfejlődés korai szakaszában alakultak ki, az egyed élete végéig megmaradnak. Az utódok azonban nem öröklik ezeket a változásokat. Az alsó végtagok angolkór következtében kialakult görbülete például egész életen át megmarad. A gyermekkorukban angolkóros szülők gyermekei viszont egészségesek lesznek, ha fejlődésük során megfelelő mennyiségű D-vitamint kapnak.

Az egész életen át megmaradó modifikáció másik példája lehet az, ahogyan a mézelő méh lárvája anyává vagy dolgozóvá alakul (10.4. ábra). A tágas anyabölcsőben fejlődő lárvából anya lesz, ha azt csak a dolgozók különleges mirigyei által termelt méhpempővel táplálják. A pempő, méz és virágpor keverékével táplált lárvából ellenben dolgozó fejlődik. A dolgozó csökevényes, szaporodásképtelen nőstény. Tehát a nőivarú lárva differenciációja a tápláléktól függ. Ha a fejlődés korai stádiumában felcserélik a lárvák fejlődési helyét, akkor az anyabölcsőben anya, a lépsejtben pedig dolgozó fejlődik. Ha a cserét a fejlődés későbbi szakaszában hajtják végre, akkor ez a fejlődés már nem következik be.

Ismeretesek *tartós modifikációk*, amelyek több egymást követő nemzedéken át öröklődhetnek. Például a burgonyabogár sötét színe a környezet hőmérsékletétől függ. Ha a lárváit magas hőmérsékleten tartják, akkor egyes sejtjeinek citoplazmájában iRNS-molekulák halmozódnak fel, amelyek a testszínváltozást okozó bizonyos fehérjestruktúrára vonatkozó információt tárolnak. A petesejt citoplazmájával ezek az iRNS molekulák továbbadódnak az utódoknak, és a szülőkével azonos színt hoznak náluk létre, jóllehet ők maguk alacsonyabb hőmérsékleten fejlődtek. Néhány nemzedékkel később azonban csökken az ilyen iRNS-molekulák koncentrációja, míg végül nem lesz elegendő a mennyiségük a sötét testszín megjelenítéséhez. A növényeknél minden modifikáció öröklődhet a vegetatív szaporodás során. Ezen a sajátosságon alapul sok kultúrnövényfajta létezése.

10.5. ábra. A burgonya nem alkalmazkodó jellegű modifikációja: gumók képződése a talajfelszín fölött a szár alsó részének elsötétítése során

A modifikációs változékonyság biztosítja környezet változó feltételeihez való alkalmazkodást. Például a vízben álló nyílfű levelének hosszú vékony alakja óvja a levéllemezt attól, hogy kárt tegyen benne a víz áramlása. Az emlősök szőrzete az őszi vedlést követően sűrűbbé és tömöttebbé válik, ami megvédi az állatokat a hidegtől. Az emberi bőr barnulása a nap káros sugaraitól véd. Ezek alapján jogos lehet a feltételezés, hogy az említettekhez hasonló modifikációk a faj történelmi fejlődése során alakultak ki, mint a szervezeteknek a környezet változásaira adott alkalmazkodási reakciói.

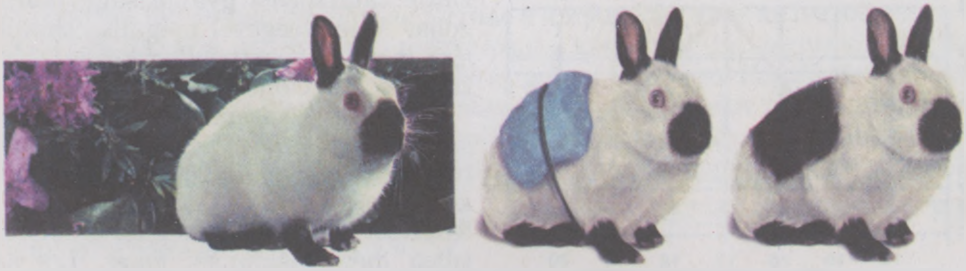
A szervezetek alkalmazkodását az élettér feltételeihez *adaptációnak* nevezzük.

Nem minden modifikáció alkalmazkodó jellegű. Például, ha elzárják a fénytől a burgonya szárának alsó részét, azon föld feletti gumók fejlődnek (10.5. ábra). Van egy olyan tátikafaj, amit ha vízbe merítve, sötétben tartanak, akkor csúcsvirágzata gumóvá alakul. Tehát nem alkalmazkodó jellegű modifikációk csak akkor alakulnak ki, ha a szervezetek számukra teljesen szokatlan körülmények közé kerülnek, melyekkel elődeik állandó jelleggel nem kerültek kapcsolatba.

Melyek a modifikációs változékonyság statisztikai törvényszerűségei?

A modifikációs változékonyság bizonyos statisztikai törvényszerűséget mutat. Vagyis bármely jelleg csak bizonyos határok között változhat. A modifikációs változékonyság korlátait a szervezet genotípusa határozza meg. Ezt a sajátosságot ***reakciónormának*** nevezzük.

Vannak jellegek, melyek különböző állapotait majdnem teljes egészében a genotípus határoz meg (a szemek elhelyezkedése, a végtagok ujjainak száma, vércsoport, a levélerezet jellege). Azonban más jellegek (a szervezet méretei és tömege, a levéllemezek mérete) megnyilvánulási fokára jelentős mértékben hatnak a környezeti feltételek. Például a nyulak hermelinszínű prémjének megjelenése a hőmérséklettől függ (10.6. ábra). A sziámi macskáknál a bőrfelület minden egyes részének megvan a saját hőmérsékleti küszöbértéke, amely meghatározza a szőrzet színét.



10.6. ábra. A nyulak prémjének hermelinszíne: a háton leborotváltak egy foltnyi szőrzetet, és ezt a helyet jéggel borogatták; az alacsony hőmérséklet hatására nem fehér, hanem sötét prém nőtt a borogatás helyén

10.7. ábra. A babérmeggy leveleinek variációs sora

Minden egyes jelleg esetében megvannak a reakciónorma saját határai. Legszűkebb a reakciónorma azoknál a jellegeknél, amelyek a szervezet élettevékenységével kapcsolatosak (a belső szervek egymáshoz viszonyított elhelyezkedése). Azon jellegek esetében, amelyeknek kisebb a jelentőségük, a reakciónorma szélesebb határok között mozog (testtömeg, termet, szőrszín).

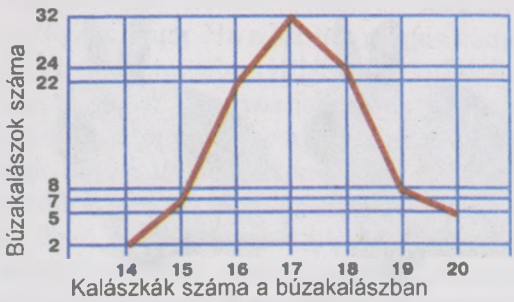
Hogy egy meghatározott jelleg változékonyságát vizsgálhassák, úgynevezett ***variációs sort*** állítanak fel. ***Variációs sor* – valamely jelleg megnyilvánulásának mennyiségi mutatói növekedő vagy csökkenő sorrendbe rendezve** (10.7 ábra). A variációs sor hossza a modifikációs változékonyság amplitúdóját (kilengését) jelöli. Ezt a szervezetek genotípusa határozza meg, de függ a környezeti viszonyoktól is. Minél stabilabbak a környezeti viszonyok, annál rövidebb a variációs sor és fordítva.

Ha megvizsgáljuk az egyes változatok eloszlását a variációs sor közepén, azt vesszük észre, hogy a közepes méretű levelekből van legtöbb, tehát ezek a jelleg közepes értékei. Az ilyen eloszlásnak az a magyarázata, hogy egy jelleg maximális vagy minimális értékei akkor alakulnak ki, ha a környezeti tényezők többsége egy irányban hat: vagy a legkedvezőbb, vagy a legkedvezőtlenebb feltételek felé. De a szervezet rendszerint érzékeli különböző hatásaikat: egyes tényezők elősegítik a jelleg kialakulását, mások akadályozzák azt. Éppen ezért egy jelleg kifejlődése a faj egyedeinek többségénél közepes értékű. Így például az emberek többsége közepes termetű, csak elenyészően kis részben fordulnak elő óriások és törpék.

A változatok eloszlása a variációs sor közepén grafikusan variációs görbével ábrázolható (10.8 ábra).

***Variációs görbe* – valamely jelleg változékonyságát jelölő mennyiségi mutatók grafikus ábrázolása.**

A variációs görbe a modifikációs változékonyság határait és az egyes változatok találkozási gyakoriságát ábrázolja. A segítségével megállapíthatók egy meghatározott jelleg közepes értékei és reakciónormája.



10.8. ábra. A búzakalászban lévő kalászkák számának variációs görbéje

Mivel az élő szervezet nyitott rendszer, ezért örökletes programja a genotípus és a környezet kölcsönhatásának köszönhetően valósul meg. Az élettér feltételei határozzák meg az örökletes jelleg megnyilvánulási fokát. Így az azonos genotípussal rendelkező egyedeknél különböző körülmények hatására eltérő fenotípusok alakulhatnak ki.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Modifikációs változékonyság, reakcióno ma, variációs sor, variációs görbe.*

Ismétlő kérdések. 1. Mi a modifikációs változékonyság, és miért nem örök lődik? 2. Milyen tulajdonságai vannak a modifikációs változékonyságnak' 3. Miért van adaptációs jelentősége a modifikációk többségének? 4. Mi a reakciónorma, mi határozza meg? 5. Mi a variációs sor, mi a variációs görbe' 6. Mi a genotípus és a környezeti viszonyok szerepe az egyed fenotípusának ki alakulásában? 7. Mi a modifikációs változékonyság biológiai jelentősége?

Bonyolult feladat. Gondolkodjatok el azon, miért maradnak meg az egyec korai fejlődési szakaszában kialakult modifikációk az egész élet folyamán!

11. §. MUTÁCIÓS VÁLTOZÉKONYSÁG

A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: mi a haploid, a diploid és a poliploid kromoszómakészlet? Mi a rekombináció, reparáció, stop-kodonok, autoszómák, heterokromoszómák, homo- és heterozigóták? Mi a DNS reparációja?

Az élő anyag egyik általános tulajdonsága a genetikai információ viszonylagos konzervativizmusa. A váltivarú szervezetek utódai az allél gének egy részét az anyától, másik részét az apától kapják, ami meghatározza a szülők és utódaik hasonlóságát. Az ivartalan szaporodás következtében az utódok gyakran az anyaszervezet genetikai másolatai. Azonban létezik a genotípus módosulásával kapcsolatos örökletes változékonyság is. Az örökletes változékonyság lehet kombinációs és mutációs.

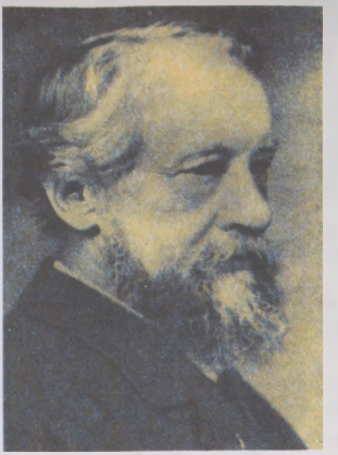
Milyen sajátosságai vannak a kombinációs változékonyságnak?

A ***kombinációs*** vagy ***kombinatív változékonyság*** az allél gének különböző kombinációinak kialakulásával (rekombinációjával) kapcsolatos. Az allél gének új kombinációi létrejöhetnek crossing over következtében a homológ kromoszómák konjugációja során a profázisban, illetve az egymástól való eltávolodásuk idején az első meiotikus osztódás anafázisában, továbbá az allél gének véletlenszerű egyesülése nyomán a gaméták megtermékenyítéskor történő összeolvadásakor. Vagyis a kombinációs változékonyság következtében jelennek meg a különböző fenotípus-változatokkal rendelkező egyedek. Tulajdonképpen ez tekinthető a változékonyság egyik forrásának.

A kombinációs változékonyság forrása a konjugáció, azaz az ivaros szaporodás egyik formája, amely során megvalósul a két egyed (baktériumok, ázalékállatok, algák, gombák) közötti örökletes információcsere. Kombinációs változékonyság megfigyelhető az ivartalanul vagy vegetatív úton szaporodó szervezeteknél is. Például a prokariótáknál előfordul, hogy az örökletes információ átadása sejttől sejtnek bakteriofág vírusok közreműködésével történik.

Milyen sajátosságai vannak a mutációs változékonyságnak? Milyen mutációtípusok léteznek?

Mutációk – a genotípus váratlanul fellépő, a szervezet egyik vagy másik örökletes jellegét véglegesen módosító változásai. A mutációk vizsgálatának alapjait Hugo de Vries holland tudós (11.1. ábra) fektette le, tőle származik



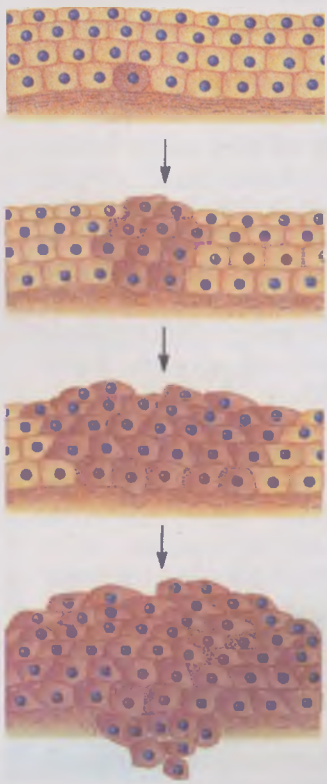
11.1. ábra. Hugo de Vries (1885–1935): a Mendel-féle genetikai törvényeket bizonyító három tudós egyike

maga a kifejezés is. A későbbi kutatások bebizonyították, hogy a mutációra való hajlam az élőlények univerzális tulajdonsága.

Mutációk a szervezet bármelyik sejtjében bekövetkezhetnek, és különböző változásokat idézhetnek elő az örökítő anyagban, illetve ennek megfelelően az egyedek fenotípusában. Az ***ivari mutációk*** ivarsejtekben jönnek létre, és az ivaros szaporodás során öröklődnek.

A ***szomatikus*** (nem ivari) ***mutációk*** csak ivartalan vagy vegetatív szaporodáskor örökítődnek át, ivaros szaporodáskor nem öröklődnek. A szomatikus mutációk súlyos megbetegedésekhez vezetnek, például a vörös csontvelő sejtmutációi az embernél leukózist (az atipikus leukociták és más szövettípusok rosszindulatú daganatai) idéznek elő (11.2. ábra).

A szervezet életműködésére gyakorolt hatás alapján megkülönböztetnek letális, szubletális és neutrális (semleges) mutációkat. A fenotípusban megnyilvánuló ***letális mutációk*** a szervezet pusztulását okozzák még a születés vagy a szaporodóképes kor elérése előtt. A ***szubletális mutációk*** az egyedek csökkent szintű élettevékenységét és egy részük (10–50%) elhalását eredményezik.



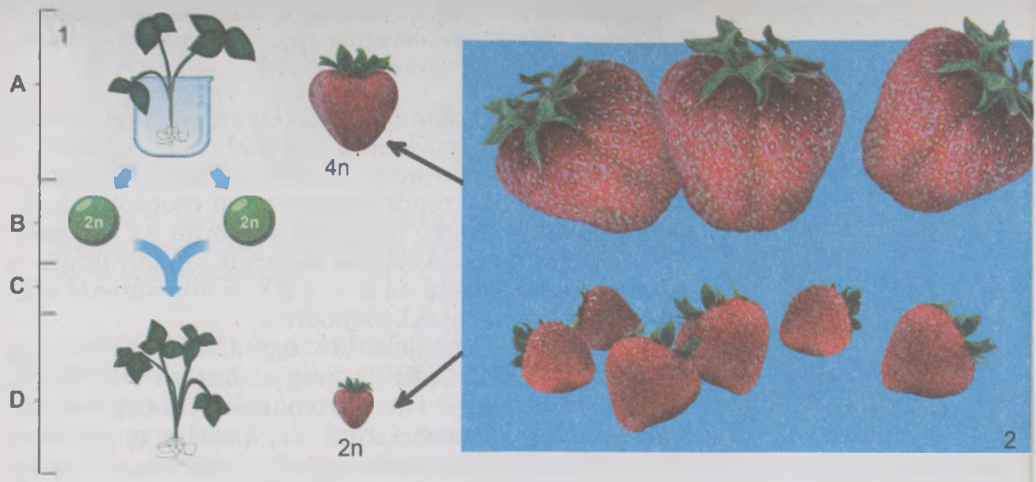
A ***neutrális mutációk*** megszokott környezeti feltételek mellett nincsenek hatással a szervezetre. Bizonyos esetekben, leginkább a létfeltételek megváltozásakor, a neutrális mutációk hasznosak lehetnek a szervezetre nézve. Azonban kicsi a valószínűsége annak, hogy az éppen kialakult mutáció hasznos a szervezetre.

Az örökítő anyagban bekövetkezett változások jellegétől függően megkülönböztetnek a kromoszómakészlet többszörös számbeli növekedésével vagy csökkenésével; az egyes homológ kromoszómák számának változásával; az egyes kromoszómák szerkezeti és pontszerű változásával; a nukleinsav-molekulákban lévő nukleotid-szekvencia zavarával kapcsolatos mutációkat.

A kromoszómaszám növekedése ***poliploidiát*** idéz elő. Poliploidia leggyakrabban a növényeknél figyelhető meg, az állatoknál (zömmel az egysejtűeknél, ritkábban a többsejtűeknél, főleg a vegetatív úton vagy a szűznemzéssel szaporodóknál) ritkábban fordul elő.

A poliploidia különféleképpen alakulhat ki: a kromoszómaszám megduplázódásával, amit nem követ

11.2. ábra. Szomatikus sejt mutáció következtében kialakuló daganata (figyeljétek meg a sejtek ellenőrizetlen növekedését)



11.3. ábra. *1. Poliploid földieper kialakulásának vázlata: a kolchicin alkaloid alkalmazásával diploid kromoszómakészletű gaméták jönnek létre. Összeolvadásukkor tetraploid zigóta keletkezik, amelyből növény fejlődik. 2. Diploid (2n) és poliploid (4 n) földiepertermések*

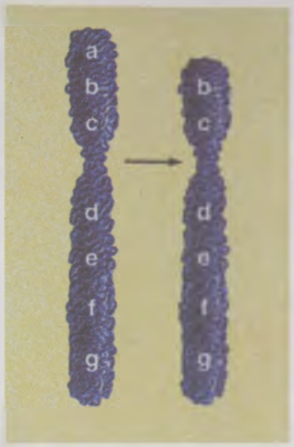
sejtosztódás; gaméták keletkezésével nem számfelező sejtosztódás eredményeként, a meiózis folyamatának hibája folytán. Poliploidiát eredményezhet, ha nem ivarsejtek vagy azok sejtmagjai olvadnak egybe.

A poliploidia gyakran méretnagyobbodást, az életfolyamatok felgyorsulását és termékenység-növekedést idéz elő (11.3. ábra). Ez azzal magyarázható, hogy a fehérjék bioszintézisének intenzitása a magban lévő homológ kromoszómák számától függ. Minél nagyobb a kromoszómaszám, annál több fehérjemolekula keletkezik egy időegység alatt valamennyi fehérjefajtából. Azonban a poliploidia csökkentheti is a termékenységet a meiózis folyamatának megbomlása következtében: a poliploid szervezetekben különböző számú kromoszómakészlettel rendelkező gaméták (különösen a páratlan számú, 3n, 5n kromoszómakészletű szervezetekben) keletkezhetnek. Az ilyen gaméták rendszerint nem képesek az egybeolvadásra.

A poliploidia fontos szerepet játszik a növények evolúciójában, mert ez az új fajok keletkezésének egyik mechanizmusa. Felhasználják a növénynemesítésben új, nagy hozamú fajták (lágybúza, cukorrépa, szamóca) előállítására.

A kromoszómakészlet számcsökkenésével járó mutációk éppen ellentétes hatásúak: a haploid változatok a diploidokhoz viszonyítva kisebb méretűek, alacsonyabb a produktivitásuk és a termékenységük. Az ilyen típusú mutációkat a nemesítésben használják fel olyan változatok előállítására, amelyek valamennyi gént tekintve homozigóták: először haploid változatokat alakítanak ki, majd megkettőzik a kromoszómák számát.

Az egyes homológ kromoszómák szám- vagy szerkezetváltozásai által okozott kromoszóma-mutációk. Egyes homológ kromoszómák számának eltérése a normától jelentős mértékben kihat a mutáns szervezetek fenotípusára. Például az emberi magzat 44 autoszómából – (*A*) + *X*-kromoszó-



11.4. ábra. A kromoszóma valamely szakaszának elvesztését deléciónak (tőrlődésnek) nevezzük. Keressétek meg az ábrán az elveszett szakaszt

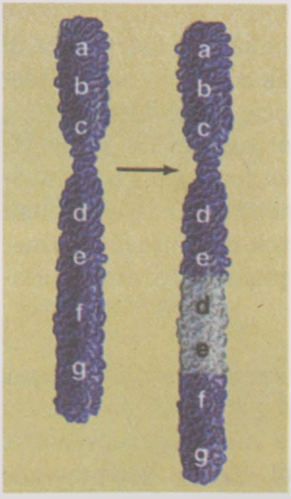
ma – álló kromoszómakészlete olyan női szervezetté fejlődik, amelynek jelentős mértékben károsodott a felépítése és életfunkciói (szárny alakú gyűrődés a nyakon, születési rendellenességek a csontok, az érés a vizeletkiválasztó rendszer, valamint az ivarszervek fejlődésében). Azok az embriók, amelyeknek a kromoszómakészlete $44A + XXX$, a normálistól alig eltérő női szervezetekké fejlődnek.

A férfiaknál megjelenhet egy (*XXY*, *XYY*), két (*XXXY*, *XYYY*, *XXYY*) vagy három (*XXXXY*, *XXXYY*) fölösleges ivari kromoszóma. Leggyakrabban az *XXY* változat fordul elő. Ezzel a mutációval 500–700 születésre esik egy fiúgyermek. Az ilyen szindrómával rendelkező férfiakra magas növés, megnyúlt végtagok, viszonylag rövid törzs, meddőség, hízási hajlam, gyengeség és gyakran szellemi visszamaradottság jellemző. A fölösleges 8. kromoszóma megjelenése nem jelentős zavart idéz elő (kancsalság, rövid kézujjak, nagyméretű orr, fül, kisebb szellemi visszamaradottság). Idézzétek fel, hogy a fölösleges 21. kromoszóma megjelenése Down-kórt okoz.

A mutáció különleges fajtája, amikor megváltozik az egyes kromoszómák száma összeolvadásuk vagy szétválásuk folytán. A kromoszómák összeolvadása azt jelenti, hogy két nem homológ kromoszóma egy kromoszómává egyesül. Ritkán megfigyelhető egy kromoszóma kettéhasadása.

Előfordulhatnak **a kromoszómán belüli átrendeződések különböző formái**: letörik és elvész a kromoszóma egy darabja, illetve egy másik, homológ vagy nem homológ kromoszómához tapad, visszaforr, de 180°-kal elfordul. Az ilyen mutációkra a DNS nukleotid-szekvenciájának jelentős módosulása, egymillió vagy több nukleotidpárból álló szakasszal való bővülése jellemző.

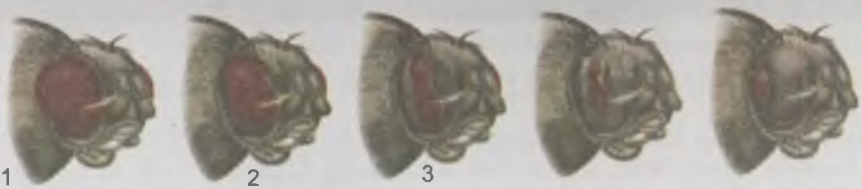
A kromoszóma egy darabjának elvesztése megrövidíti a kromoszómát és megfosztja bizonyos génektől (11.4. ábra). Ilyen mutáció eredményeként a heterozigóta szervezetek fenotípusában megnyilvánulhatnak az elveszett darabbal homológ szakaszban lévő recesszív allélek. Az embernél az 5. kromoszóma rövidebb karjának elvesztése úgynevezett „macskasírás" szindrómát okoz. Az ebben a betegségben szenvedő gyermekek sírása a macskák nyávogására emlékeztet, fejméretük kicsi, lassan növekednek és szellemileg visszamaradottak. Ha az ember 21. kromoszómájából elvész egy szakasz, az súlyos fehérvérűséghez vezet.



Vannak esetek, amikor a kromoszómába homológ vagy nem homológ kromoszómából származó pótszakasz épül be (11.5. ábra).

A kromoszóma bizonyos szakaszának elvesztését vagy megkettőződését a homológ kromoszómák konjugációjának meiózis közbeni zavara és a kromoszóma szétszakadása okozhatja (11.6. ábra).

11.5. ábra. Pótszakasz beépülése a homológ kromoszómába. A mutációnak ezt a formáját duplikációnak nevezzük

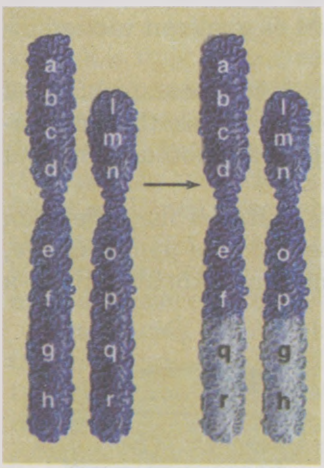


11.6. ábra. *A muslica mutációja, amely az X-kromoszóma egyik szakaszának megkettőződése következtében alakul ki; a normális nőstények (1) szeme 800 faszettából áll; a mutáns allél szerinti heterozigótáknál (2) – 350-ből; a mutáns allél szerinti homozigóta nőstényeknél (3) – mindössze 70-ből*

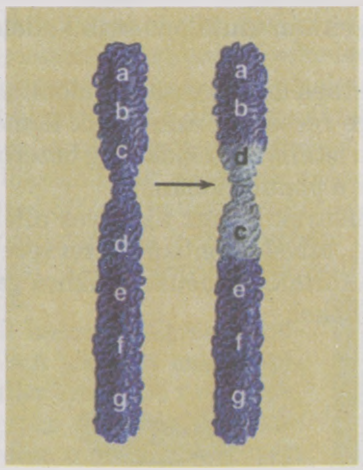
Azok a mutációk, amelyek két nem homológ kromoszóma szakaszainak kicserélődése következtében jönnek létre (11.7. ábra), ivaros szaporodásképtelenséget idézhetnek elő.

A kromoszómán belüli átrendeződés másik változata, amikor megváltozik a gének sorrendje: a kettős törés következtében levált kromoszómaszakasz 180°-kal elfordul, majd enzimek közreműködésével visszaépül a kromoszómába (11.8. ábra). A génszám eközben változatlan maradhat. Azonban a génszekvencia módosul. Az ilyen mutációk következménye a szervezetek terméketlenségével járhat.

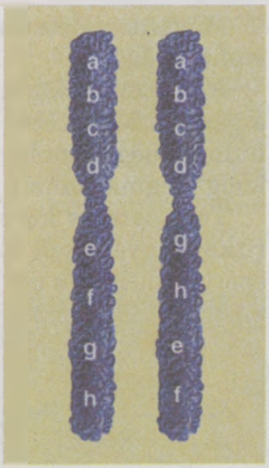
Valamely szakasz elmozdulása a kromoszómán belül vagy egy másik kromoszómába történő beépülése a nukleotid-szekvencia változását idézi elő (11.9. ábra). Például a muslica *X*-kromoszómájának génje át tud menni az autoszómába. A tudósok kiderítették, hogy a mozgékony genetikai elemek megléte a



11.7. ábra. *Azokat a mutációkat, amelyek során két nem homológ kromoszóma kicseréli a szakaszait, transzlokációknak nevezzük. Keressétek meg az ábrán azokat a szakaszokat, amelyek a nem homológ kromoszómák közötti csere folytán jönnek létre*



11.8. ábra. *Azt a mutációtípust, amikor a két szakadás nyomán létrejött kromoszómaszakasz 180°-kal elfordul, majd enzimek közreműködésével visszaépül a kromoszómába, inverziónak nevezzük. Keressétek meg az ábrán azt a szakaszt, amelynek a helyzete a kromoszómában 180°-kal megváltozott*



11.9. ábra. *Transzpozíciónak nevezzük a kromoszómán belüli szakasz-elmozdulást vagy a kromoszóma-szakasz másik kromoszómába való beépülését. Keressétek meg az ábrán azt a szakaszt, amely elmozdul a kromoszómán belül*

prokarióták és eukarióták univerzális tulajdonsága. Feltételezések szerint ezek a kromoszóma-mutációk kedveznek az új gének genomba való beépülésének, ami gazdagítja a faj genetikai állományát, ökológiailag plasztikussá teszi azt.

A kromoszómák szerkezetváltozásával kapcsolatos mutációk megzavarhatják a meiózis folyamatát, különösen a homológ kromoszómák konjugációját. Például a homológ kromoszómák nem válnak szét a konjugáció után, hanem bekerülnek az egyik gamétába, miközben a másikból hiányoznak. Így alakulnak ki az eltérő kromoszómakészletű ivarsejtek.

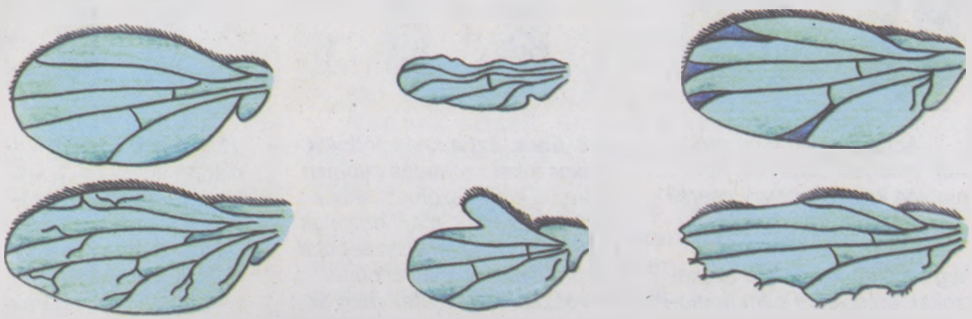
Pontmutációk – egyes gének stabil változásai, amelyeket a nukleotidok szokásos szekvenciájának módosulása okoz a nukleinsavak molekuláiban. A mutációknak ez a leggyakoribb típusa (11.10. ábra) érintheti a szervezet bármely jellegét, és korlátlan ideig öröklődik nemzedékről nemzedékre. A pontmutációkat gyakran a DNS-molekula kettőződése vagy reparációja során kialakuló hibák okozzák.

A pontmutációk két csoportba sorolhatók. Az első csoportba azok tartoznak, amikor a nukleinsavban egyik nitrátbázis másikkal cserélődik fel. A másik csoport mutációi úgy jönnek létre, hogy a nukleinsavból eltűnik valamely nukleotidpár vagy új nukleotidpárok épülnek bele. Idézzétek fel, hogy a nukleotid-szekvenciákkal kódolt genetikai információ leolvasása meghatározott helyről kezdődik, és tripletről tripletre folytatódik. Egyes nukleotidpárok eltűnése vagy újak megjelenése megzavarja ezt a folyamatot, és ennek megfelelően megváltozik a szintetizálódó fehérje szerkezete. A nukleotid cseréje a nukleinsavban stop-kód megjelenését idézheti elő, ami azzal jár, hogy megrövidült, működésképtelen polipeptid képződik.

Megkülönböztetnek ritkán mutálódó stabil alléleket és gyakran változó instabil alléleket.

A pontmutációk lehetnek dominánsak, féldominánsak és recesszívek. Mivel a génmutációk többsége recesszív, ezért csak homozigóta változatban nyilvánulnak meg. Azonban a letális mutációk még heterozigóta állapotban is hosszú ideig megmaradhatnak a populációban.

Természetes körülmények között az egyes allélek mutációi meglehetősen ritkán figyelhetők meg. Mivel azonban a szervezetben nagy a gének száma, ezért a mutációk is gyakoriak. Például a muslica gamétáinak körülbelül 5%-a hordoz különféle mutációkat.



11.10. ábra. *A muslica szárnyát érintő pontmutációk (figyeljétek meg az erezet alakjának és helyzetének változását)*

Új szakkifejezések és fogalmak. *Kombinációs változékonyság, mutációk, poliploidia.*

Ismétlő kérdések. 1. A változékonyság mely típusa öröklétes? 2. A kombinációs és a mutációs változékonyságban mi a közös, mi az eltérő? 3. A mutációk milyen típusait ismeritek? Mi a mutáció? Milyen sajátosságai vannak a mutációnak? 4. Mik a génmutációk?

Bonyolult faladat. Gondolkozzatok el azon, miért hatnak kedvezőtlenebbül a szervezetek életképességére a kromoszómakészlet többszörös kromoszómaszám-csökkenésével járó mutációk, mint azok, amelyek a kromoszómaszám többszörös növekedését okozzák!

12. §. A MUTÁCIÓK OKAI. AZ ÖRÖKLETES VÁLTOZÉKONYSÁG HOMOLÓG SORAINAK TÖRVÉNYE

A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: milyen tényezők okozhatnak mutációt? Milyen sajátosságai vannak a genetikai kódnak? Milyen anyagokat nevezünk alkaloidoknak? Mit vizsgál a rendszertan? Milyen okai vannak a Down-szindróma emberben való megjelenésének?

Az élő szervezetekben állandóan keletkeznek ***spontán*** mutációk, például amikor hibák következnek be a genetikai kód helyreállítása során. De létrejöhetnek úgy is, hogy a DNS-molekula töredéke egyik helyről a másikra kerül. Ezenkívül okozhatja természetes radioaktív háttérsugárzás, a Földet elérő kozmikus sugárzás is. A spontán mutációk gyakorisága a sejt és a szervezet korától is függ. Az anyaszervezetek korának növekedésével nő a homológ kromoszómák szétválásának a meiózis során történő elmaradásával kapcsolatos mutációk gyakorisága. Ebből adódóan a 45 éves nőknél 2%-ra növekszik a 30 éves nők Down-szindrómával született gyermekeinek 0,1%-os aránya. A különféle spontán mutációk kialakulásának általános valószínűsége a 42 éves kor fölött szülő nők gyermekeinél 30%. A spontán mutációk gyakoriságára hatással van az apa kora is. A negyvenéves férfiak utódai körében tízszer annyi a törpenövésű, rövid végtaggal, nyeregszerű orral született gyermekek aránya, mint a húszévesek esetében.

A mutációk kiváltó okait hosszú ideig nem tudták kideríteni. Csak 1927-ben sikerült megállapítania Hermann Joseph Muller amerikai tudósnak, hogy mutációk mesterségesen is létrehozhatók. Röntgensugárzással különféle mutációkat idézett elő muslicákban. A mutációkat kiváltó tényezőket ***mutagéneknek*** nevezzük. A mutagén tényezők által okozott mutációkat *indukált* mutációknak mondjuk.

12.1. ábra. *Hermann Joseph Muller (1890–1967) kiemelkedő amerikai genetikus. Morgannal közösen kidolgozta az öröklődés kromoszómaelméletét. 1946-ban orvosi és élettani Nobel-díjat kapott*

12.2. ábra. *Szerhij Mihajlovics Hersenzon (1906–1998) – az Ukrán Nemzeti Tudományos Akadémia tagja, a szocialista munka hőse (1990); világszerte ismert a mutagén tényezők, populációgenetika és molekuláris genetika terén végzett kutatásai nyomán*

A mutagén tényezők milyen csoportjai ismertek?

Eredetüket tekintve megkülönböztetnek fizikai, kémiai és biológiai mutagéneket. A **fizikai mutagének** között legjelentősebbek az ionizáló sugárzások, különösen a röntgensugarak. Az élő anyagon áthaladva a röntgensugarak elektronokat szakítanak le az atomok és molekulák külső elektronhéjáról, amitől azok pozitív töltésűekké válnak. A kiszakított elektronok ugyanakkor ellenőrizetlen kémiai átalakulásokat idéznek elő az élő szervezetek különböző vegyületeiben.

Fizikai mutagének az ibolyántúli sugarak, a magas hőmérséklet. Ezek mindenekelőtt génmutációkhoz, ritkábban kromoszóma-mutációkhoz vezetnek.

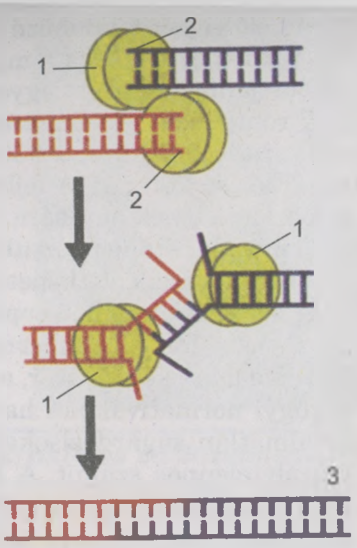
A **kémiai mutagéneket** a fizikai mutagéneknél később fedezték fel. Jelentősen hozzájárult a kémiai mutagének természetének feltárásához az ukrán genetikai iskola, Szerhij Mihajlovics Hersenzonnal (12.2. ábra) az élén. Jelenleg igen sok kémiai mutagén ismeretes, s a tudósok évről évre újabbakat fedeznek fel (akridin színezékek, salétromossav, hidrogén-peroxid, formaldehid, egyes gyógyszerkészítmények). Például a kolchicin nevű alkaloid roncsolja a magorsófonalakat, s ez a sejtek kromoszómakészletének megkettőződését okozza. A mustárgáz, amit vegyi fegyverként tartanak számon, a kísérleti egerekben kilencvenszeresen növeli a mutációk gyakoriságát. Ez a gáz igen kis mennyiségben jelentősen (több mint 7%-kal) növeli az *X*-kromoszóma letális mutációit. A salétromossav (HNO_2) a nukleotidpárok cseréjével kapcsolatos génmutációkat hozhat létre, például a GC helyére AT, az AT helyére CG kerül. Kémiai mutagének a kábítószerek, amelyek nem csak az ezeket fogyasztó egyéneket károsítják. A kábítószerek által okozott mutációk ugyanis átörökíthetődnek az utódokra is, különböző örökletes betegségeket idézve elő bennük.

A **biológiai mutagénekhez** tartoznak a vírusok és a baktériumok által termelt toxinok. A vírusfertőzött sejtekben sokkal gyakrabban fordulnak elő mutációk, mint az egészségesekben. A vírusból kiszabaduló DNS és a képződő, más sejteket megfertőző vírusrészecskék befogják a gazdaszervezet DNS-ét. A vírusok ily módon közvetítik a genetikai információt az egy fajhoz vagy különböző fajokhoz tartozó szervezetek között (horizontális génátvitel). Ennek a folyamatnak nagy jelentősége van a prokarióták evolúciójában.

Vagyis a kémiai és fizikai mutagének univerzálisak, azaz különböző típusú mutációkat idéznek elő bármilyen szervezetben.

Léteznek-e antimutációs biológiai mechanizmusok?

Az élő szervezetek bizonyos mértékben képesek arra, hogy megóvják génjeiket a mutációktól. Ennek példája lehet az, hogy az aminosavak többségét nem



12.3. ábra. *A DNS-molekula reparációja: fehérjék (1) felismerik a DNS (2) károsodott molekulájának végét és összekapcsolják őket; helyreállított DNS-molekula (3)*

egy, hanem néhány triplet kódolja; s a gének egy része sokszor ismétlődik a DNS-szálban. A sejtekben létezik hibajavító (*reparációs*) rendszer, amely a DNS-molekulák replikációja során és a bennük mutagén tényezők hatására keletkező hibákat javítja ki. A reparáció után maradó hibák száma nem jelentős, kevesebb, mint egy nukleotidcsere esik az eukarióta sejt genomjára a DNS egyszeri kettőződésekor.

A DNS mutáció hatására megváltozott szakaszait enzimek kivághatják. Ekkor a kivágott szakasz helyére másik épül be a molekula adott szakaszára jellemző nukleotidsorrenddel (12.3. ábra).

Melyek a mutációk általános tulajdonságai?

Az élő anyag univerzális tulajdonsága, hogy örökletes információja a történelmi fejlődés során képes a változásra. A mutációk hirtelen lépnek fel, a mutáció által létrejött változások állandó jellegűek és öröklődnek. Egy és ugyanaz a mutáció többször bekövetkezhet, egymástól függetlenül. A modifikációktól eltérően a mutációk nem irányítottak: lehetnek károsak, semlegesek vagy hasznosak.

A mutagének univerzálisak, tehát bármely fajhoz tartozó szervezetekben okozhatnak mutációt. Ugyanaz a tényező, amely ugyanolyan intenzitással hat a genetikailag hasonló szervezetekre (például egypetéjű ikrekre), különböző mutációkat idézhet elő bennük. Ezzel egyidejűleg jellegüknél fogva különböző mutagének genetikailag eltérő szervezetekben hasonló örökletes változásokat gerjeszthetnek.

A mutációs változások fenotípusban megnyilvánulói foka nem függ a mutagén tényező hatásának intenzitásától vagy tartamától. A rövid ideig ható gyenge mutagén néha jelentősebb változást idézhet elő a fenotípusban, mint egy erősebb. De a mutagén tényező hatásának intenzitás-növekedése csak bizonyos mértékig növeli a mutációk gyakoriságát.

A ***mutagén tényező dózisa*** a tartamának és hatásintenzitásának szorzatával egyenlő.

A mutációk gyakorisága a sugárdózis emelkedésével csak bizonyos határig növekszik: azt követően, hogy ezt meghaladta a sugárzás erőssége, s a mutációk gyakorisága még csökkenhet is, mivel sok sejt elveszti életképességét.

A mutagén tényezők hatásának nincs alsó küszöbértéke, vagyis az intenzitás-csökkenésnek nincs olyan határa, amely alatt a mutagén tényezők már nem képesek mutáció kiváltására. A mutagéneknek ez a tulajdonsága fontos elméleti és gyakorlati jelentőséggel bír, mivel nyilvánvalóvá teszi, hogy a szervezetek genotípusát védeni kell valamennyi mutagén tényező hatásától, bármennyire alacsony is a hatás intenzitása és tartama.

Az élőlények különböző fajai, sőt egy faj különböző egyedei sem egyforma mértékben érzékenyek a mutagén tényezők hatására. Az ízeltlábúak bizonyos csoportjainak kifejlett egyedei (skorpiók, százlábúak) 100 000 rad (1 rad = 1,07 röntgenegység) sugárdózist is képesek elviselni. Egyes baktériumsejtek elpusztításához közel 1 000 000 rad sugárdózis szükséges. Az ember halálos sugárdózisa 700 rad. A fejlődés korai szakaszában a szervezetek érzékenyebbek a mutagének hatására, mint a kifejlett egyedek. A rovarembriók már 200 rad sugárdózistól elpusztulnak, míg a kifejlett egyedek 10 000 rad sugárdózis felett is megőrzik életképességüket.

A különböző embercsoportoknak nem egyforma a sugárérzékenysége: az egészséges felnőtt emberrel összehasonlítva az idősek sugárérzékenysége 2-szer, a gyerekeké 5-ször, a várandós nőké 50-szer magasabb. Speciális egészségügyi normatívákban határozták meg a bizonyos embercsoportokra nézve ártalmatlan sugárdózisokat. Az emberek többsége esetében az évi 0,05 rad veszélytelennek számít. A 100 rad nagyságú sugárdózis *sugárbetegséget* idéz elő, amely a biológiai funkciók halállal végződő zavarát okozhatja. Nem szabad elfelejteni, hogy a szervezetbe került radioaktív vegyületek hatása közel 10-szer erősebb, mint a kívülről kapott ugyanilyen nagyságú sugárdózis.

Jegyezzétek meg: manapság a legidőszerűbb probléma az emberiség génállományának megóvása a mutagén tényezőktől!

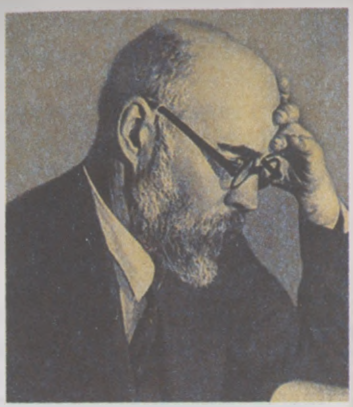
Milyen a mutációk jelentősége a természetben és az emberek életében?

A mutációk az örökletes változékonyságnak, vagyis az élő világ egyik evolúciós tényezőjének fő forrása. A mutációk eredményeként a gének új alléljei jelennek meg (ezeket mutánsoknak nevezzük). A mai és a kihalt élőlények teljes változatossága a mutációknak köszönhető.

A mutációs változékonyság következménye a sejt és összességében a szervezet genetikai programjának zavara. A mutációk zömmel károsak az élőlényekre, mert megjelennek a fenotípusban, és csökkentik a létfeltételekhez való alkalmazkodóképességüket. Kutatók számításai szerint a muslica természetes populációiban a kromoszómák több mint 20%-a hordoz legalább egy recesszív allélt. Azonban a semleges mutációk a létfeltételek bizonyos változásai esetén hasznosak lehetnek a szervezetek számára.

A mesterségesen kiváltott mutációkat széleskörűen felhasználják a növénynemesítésben, hasznos baktériumtörzsek kitenyésztésében, mivel lehetővé teszik a kapott változatok számának növelését, s ezáltal a nemesítő munka hatékonyságának fokozását. Sok kultúrnövény poliploid az ősfajokhoz képest (búza, kerti földieper, egyes cukorrépafajták).

Alkalmazzák a mutációkat a mezőgazdasági és erdei kártevők, vérszívó rovarok elleni harc genetikai módszereinek kidolgozásánál. Ennek érdekében laboratóriumban az ivarsejteket károsító mutagén tényezőkkel (például röntgensugarakkal) hatnak az emberre nézve káros rovarfaj hímjeire. A hímek így terméketlenné válnak. Kezelés után a rovarokat kiengedik a szabadba, ahol nőstényekkel párosodnak. A lerakott peték azonban életképtelenek lesznek. Ebből látható, hogy a környezetet mérgező vegyi anyagok nélkül is megfelelő hatékonysággal csökkenthető a káros rovarfajok egyedszáma. A kártevő fajok



12.4. ábra. *Alekszandr Szergejevics Szerebrovszkij (1892–1948) a XX. sz. 40-es éveinek elején kidolgozta a kártevő fajok elleni küzdelem biológiai módszereit*

elleni harc genetikai módszereit Alekszandr Szergejevics Szerebrovszkij (12.4. ábra) orosz tudós alapozta meg.

A rokon szervezetekben végbemenő mutációs folyamatoknak vannak törvényszerűségei. Ezek egyike az **örökletes változékonyság homológ sorainak törvénye**, amelyet a kiváló orosz genetikus és növénynemesítő, Mihail Ivanovics Vavilov (12.5. ábra) fedezett fel. Ennek értelmében:

a genetikailag közeli fajok és nemek az örökletes változékonyság hasonló soraival jellemezhetők olyan szabályossággal, hogy egy faj vagy nem formáinak sorozatát megvizsgálva előre jelezhető hasonló jellegegyüttessel rendelkező formák előfordulása a közeli fajokon és nemeken belül.

Ezt a törvényt Vavilov ugyan a növényekre vonatkoztatva állapította meg, de általános érvényűnek bizonyult valamennyi szervezetre nézve. Minél közelebbi a rokonság a szervezetek között, annál hasonlóbbak az örökletes változékonyságok sorai (12.6. ábra).

A törvény genetikai alapja az, hogy a szervezetek történelmi rokonságának foka egyenesen arányos közös génjeik számával. Ezért ezeknek a géneknek a mutációi is hasonlóak lehetnek. Fenotípusosan ez a jelenség sok jelleg hasonló változékonyságában nyilvánul meg a közeli fajoknál és nemeknél.

Az örökletes változékonyság homológ sorainak törvénye (Vavilov törvénye) magyarázatot nyújt a rokon élő szervezetek történelmi fejlődésének irányára. A nemesítő munkában ennek és a közeli fajok örökletes változékonyságának vizsgálata

12.5. ábra. *Mihail Ivanovics Vavilov (1887–1943) híres orosz genetikus és nemesítő*

12.6. ábra. *Két hüvelyes növényfaj magvainak színével és alakjával kapcsolatos örökletes változékonyság homológ sorai: 1 – bükköny; 2 – lencse*

alapján tervezik a meghatározott örökletes jellegekkel bíró új növény- és állatfajták előállítását. Az élőlények rendszerezésében ez a törvény lehetővé teszi a jellegek meghatározott összességével rendelkező, a tudomány számára ismeretlen rendszertani csoportok (fajok, nemek) létezésének előrejelzését, ha a rokon csoportokban kimutattak hasonló jellegegyüttesekkel rendelkező formákat.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Mutagének, spontán mutációk, örökletes változékonyság homológ sorai.*

Ismétlő kérdések. 1. Mi okozza a mutációkat? 2. Mik a mutagén tényezők? 3. Mi a mutációk biológiai jelentősége? 4. Milyen mechanizmusokkal óvják az élőlények genotípusukat a mutációktól? 5. Milyen sajátosságai vannak a mutációs változékonyságnak? 6. Mi az örökletes változékonyság homológ sorait leíró törvény lényege? Mi a törvény elméleti és gyakorlati jelentősége?

Bonyolult feladat. Gondolkodjatok el azon, mi a közös és az eltérő a mutációs és modifikációs változékonyságban!

2. sz. LABORATÓRIUMI MUNKA

Téma: A muslica normális és mutáns alakjainak megfigyelése és összehasonlítása.

Eszközök és anyagok: fénymikroszkópok, muslica normális és mutáns alakjainak kész preparátumai.

A munka menete:

1. A mikroszkóp előkészítése a munkához.
2. A mikroszkóp kis nagyítása mellett vizsgáljátok meg a normális muslica preparátumát! Figyeljétek meg a muslica színét, a szárnyak meglétét és méretét!
3. Vizsgáljátok meg a mutáns muslica preparátumát! Figyeljétek meg a színét, a szárnyak meglétét, alakját és méretét!
4. Hasonlítsátok össze a normális és mutáns muslicák fenotípusát!
5. Összegezzétek megfigyeléseitek eredményeit!

3. sz. LABORATÓRIUMI MUNKA

Téma: A növények változékonyságának vizsgálata. Variációs sorok és variációs görbék szerkesztése.

Eszközök és anyagok: kultúrnövények (búza, árpa, kukorica) herbáriumi példányai, különböző növények (bab, kukorica, napraforgó) magvai, fák (tölgy, juhar, hárs) levelei, vonalzó vagy milliméterpapír.

A munka menete:

1. Hasonlítsátok össze egy növényfaj (3–5) egyedét vagy a részeiket (pázsitfűfélék, babszemek, burgonyagumók) fenotípusuk szerint (külalak, méret)!
2. Keressétek meg a faji jellegeket a különböző növényeknél!
3. Mutassátok ki a különbségeket az egy fajhoz tartozó növények felépítésében, hasonlítsátok össze ezeket más növényfajok képviselőivel! Magyarázzátok meg az eltérések okait!

4. Válasszátok ki egy növényfaj legalább 10 egyedét (vagy részeiket) meghatározott jellegek alapján (rügyek száma a burgonya gumóin, sötét foltok a fehér színű babszemen)!
5. Számoljátok meg a kiválasztott jellegek számát valamennyi növény esetében, és írjátok táblázatba a kapott adatokat, feltüntetve valamennyi előfordulási gyakoriság számbeli értékét és a jelleg középértékét!
6. A kapott eredmények alapján szerkesszetek variációs sort és variációs görbét: az abszcissza tengelyen jelöljétek a variációkat, az ordináta tengelyen pedig a jelleg előfordulási gyakoriságának számbeli mutatóit! Jellemezzétek a sort és a normális eloszlás görbéjét!
7. Vonjatok le következtetéseket, és ezeket jegyezzétek be a füzetetekbe!

2. sz. gyakorlati munka

(a biológiát akadémiai szinten tanulók végzik)

Típusfeladatok megoldása mutációtípus meghatározására

1. feladat. A vad változat alléljában a következő mutáció ment végbe:

vad allélforma	C C C G G T G G T A C C C C C
	G G G C C A C C A T G G G G G
mutáns allél	C C C G G T A C C C C C
	G G G C C A T G G G G G

Határozzátok meg a mutáció típusát! Hasonlítsátok össze a normális és mutáns gének által kódolt polipeptid-töredékeket! Milyen fenotípusos megnyilvánulásai lehetnek ennek az eseménynek?

2. feladat. A vad változat alléljában a következő mutáció ment végbe:

vad allélforma	C C C G G T A C C C C C
	G G G C C A T G G G G G
mutáns allél	C C C C C A T G G C C C
	G G G G G T A C C G G G

Határozzátok meg a mutáció típusát! Hasonlítsátok össze a normális és mutáns gének által kódolt polipeptid-töredékeket! Jelöljétek számokkal az aminosavak helyzetét! Milyen fenotípusos változásokat idézhet elő ez a mutáció?

3. feladat. A dohánymozaik-vírus (DMV) a következő aminosav-maradékszekvenciájú fehérjeszakaszt szintetizálja: Ala-Tre-Ser-Glu-Met. Mutagén tényező – salétromsav HNO_3 – hatására a citozin aminvesztés következtében uracillá alakul. Milyen szerkezetű lesz a DMV fehérjeszakasza abban az esetben, ha a citidil nukleotidok a jelzett kémiai átalakuláson mentek keresztül? Jegyezzétek meg, hogy a DMV DNS helyett RNS-t tartalmaz!

4. feladat. A felnőtt ember hemoglobinjának (HbA – $\alpha_2\beta_2$) β-globinláncát meghatározó gén első exonjában a kezdeti, kódoló DNS-szálat képező nukleotidok szekvenciája (a DNS 3′. és 5′. vége) a következő:

1	2	3	4	5	6	7	8	
3′	CAC	GTA	AAT	TGA	GGA	CTC	CTC	TTT	5′.

Hogyan módosul a fehérje β-polipeptidláncának összetétele, ha egy mutáció megy végbe: a) a harmadik tripletben a második bázis T-re cserélődik; b) a negyedik tripletben a harmadik bázis G-re cserélődik; c) az ötödik tripletben az első bázis kiesik (delecia megy végbe)?

TEMATIKUS TUDÁSSZINTFELMÉRÉS

I. A megadott válaszok közül válasszátok ki az egyetlen helyest:

1. Jelöljétek meg azokat a sejteket, amelyekben mutációk jöhetnek létre: a) csak ivarsejtek; b) nem ivarsejtek; c) bármilyen sejt!

2. Jelöljétek meg, hogyan nevezik a jelleg modifikációs változékonyságának határát: a) variációs sor; b) variációs görbe; c) átlagérték; d) reakciónorma!

3. Mutassátok meg, melyik változékonyság öröklétes: a) modifikációs; b) korral járó; c) mutációs; d) szezonális!

4. Jelöljétek meg, hogy a változékonyság milyen formája határozza meg az egypetéjű ikrek fenotípusának eltérését: a) korrelációs; b) kombinációs; c) modifikációs; d) mutációs!

5. Nevezzétek meg a kombinációs változékonyság forrásait: a) a gaméták véletlenszerű kapcsolódása megtermékenyítéskor; b) tápanyagmennyiség a petesejtben; c) mutagén tényezők hatása; d) az élőhely környezeti viszonyainak hatása!

II. Megfelelési feladat.

1. Válasszátok ki a változékonyság különböző formáira jellemző tulajdonságokat:

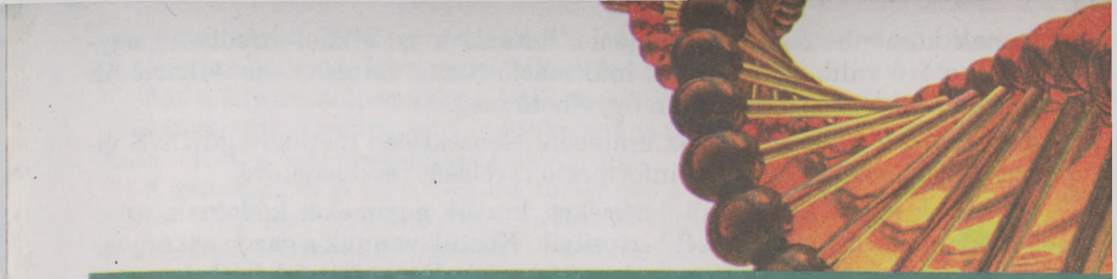
Változékonyságtípus	Tulajdonságok
A. Modifikációs B. Mutációs C. Kombinációs D. Korrelációs	1. A szerzett jellegek öröklődhetnek 2. Új allélkapcsolódások az utódok genotípusában 3. Valamennyi allél gén egyidejű megjelenése a fenotípusban 4. A szerzett változások eltűnhetnek az élet során 5. Egyes jellegek változása hozzájuk kapcsolódó más jellegek módosulásával jár

2. Válasszátok ki a modifikációkra, mutációkra és kombinációs változékonyságra jellemző tulajdonságokat:

Változékonyságtípus	Tulajdonságok
A. Modifikációs B. Mutációs C. Kombinációs	1. Új allélkapcsolódások a kromoszómában a crossing over lezajlásának köszönhetően 2. Az anyaszervezet génjeinek a petesejt citoplazmáján keresztül kifejtett hatása 3. A szerzett változások rendszerint adaptív jellegűek 4. A változások megjelenési foka nem függ a tényező erejétől és hatásának tartamától

3. Állapítsátok meg a megfelelést a mutagéntípusok és a velük kapcsolatos példák között:

Mutagéntípus	Tulajdonságok
A. Kémiai B. Fizikai C. Biológiai	1. Ultraibolya sugarak 2. Nukleotidok kromoszómán belüli, helyváltoztatásra képes mobil csoportjai 3. Vírusok 4. Mustárgáz



7. téma A genotípus mint egységes rendszer

A téma tanulása során megismerkedtek a prokarióták és eukarióták génjeinek működési alaptörvényeivel; a humángenetika kutatási eredményeivel; a genotípus és a környezet szerepével a fenotípus alakulásában; a sejtdifferenciáció törvényszerűségeivel; a nemesítés genetikai alapjaival; a génmódosított és transzgenikus szervezetekkel; a modern biotechnológia főbb irányaival. Megtanuljátok, hogy csak kellő óvatossággal fogyaszthatjátok a genetikailag módosított szervezetekből készített élelmiszereket; megtanuljátok a modern biotechnológiák felhasználása következményeinek felmérését.

13. §. A VÍRUSOK ÉS PROKARIÓTÁK GENOMJÁNAK ALAPTULAJDONSÁGAI

A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: mi a gén, genom, genotípus, szabályozó és szerkezeti gének, exonok, intronok? Milyen szervezési és működési sajátosságai vannak a bakteriofágoknak? Mik a plazmidok?

Az élet nem sejtes formáihoz (vírusok, viroidok) és a szervezetek különböző csoportjaihoz kötődő genomok szerveződésének kutatása és a génműködés törvényszerűségeinek vizsgálata fontos elméleti és gyakorlati jelentőséggel bír. Az így szerzett ismereteket a tudósok sikerrel alkalmazzák a szervezetek nemesítésében és a biotechnológiában.

Milyen sajátosságokkal rendelkeznek a vírusok genomjai?

Meglehetősen ismert az egyik bakteriofág, a φX-174 genomja. A gyűrűs DNS-molekulája csak 10 gént tartalmaz. A gének ilyen kis száma azzal ellensúlyozódik, hogy az örökletes információ ugyanazokról a génekről különböző módokon olvasható le. Például:

AUG_GAC_CGU_AAC_CGG_UAA – az örökletes információ leolvasásának egyik módja

A_UGG_ACC_GUA_ACC_GGU_AA – az örökletes információ leolvasásának másik módja

Annak köszönhetően, hogy a gének határai a széleikkel átfedhetik egymást, lehetővé válik az örökletes információ tömör tárolása. Az eukarióták esetében ez a jelenség csak ritkán figyelhető meg.

Jegyezzétek meg: a vírusok esetében jelentéktelen mennyiségű DNS viszonylag lényeges nagyságú információ tárolását teszi lehetővé.

A vírusok génjei különböző fehérjéket, köztük enzimeket kódolnak, amelyek nukleinsavaik kettőződését biztosítják. Köztük vannak a gazdasejt anyagcsere-folyamatait befolyásoló szabályozó fehérjék. Ezek vírusfehérjék és a gazdasejt falát oldó fehérjék szintézisét serkentik. A β-bakteriofág esetében a DNS-molekula összetételében olyan gének is találhatók, amelyek a transzkripció folyamatát befolyásolják. Ezek elnyomják vagy serkentik más gének aktivitását.

Mi jellemzi a prokarióták örökletes anyagát?

A prokarióta sejtek genomja jelentős mennyiségű DNS-t, s a vírusokhoz képest sok gént tartalmaz. Például a kólibaktériumban több mint 4100 gén található, ezek fehérjemolekulákat és RNS-molekulákat kódoló közel 120 gént kódolnak. A DNS-ben a géneket génközi szakaszok választják el egymástól. A kólibaktérium szerkezeti génjeinek jelentős része csoportokat képez. Minden egyes csoporton egy több fehérjét kódoló iRNS-molekula szintetizálódik. Ezek a molekulák részt vesznek a biokémiai folyamatokban, például bizonyos vegyület szintézisét biztosítják. Ezenkívül a kólibaktérium nagy mennyiségű, a szerkezeti géneket szabályozó gént tartalmaz.

Jegyezzétek meg: a prokarióták és eukarióták szerkezeti génjei három fő csoportot alkotnak. Az első csoport génjei a fehérjemolekulák szerkezetét kódolják, a második csoport tRNS-t, a harmadik rRNS-t. Az iRNS-molekulák csak az egyik DNS-szálon szintetizálódnak. Eközben az iRNS-molekulák nukleotid-szekvenciája komplementer annak a DNS-szálnak a szekvenciájával, amelyen szintetizálódott, és a nukleotid-szekvenciát tekintve egybevág a másik szállal, amelyet *kódolónak* vagy *tartalminak* neveznek.

AUG_GCG_AUC_CGG – iRNS-molekulaszakasz
TAC_CGC_TAG_GCC – a transzkripció helyéül szolgáló DNS-molekulaszakasz
ATG_GCG_ATC_CGG – második, kódoló vagy tartalmi DNS-szál

A prokarióták sok faja esetében a genom egy DNS-molekulából áll, amely a sejt magzónájában – nukleoidjában – összpontosul. Ennek haploid génkészlet felel meg, és a recesszív allélek megjelenhetnek a fenotípusban. Ezenkívül a baktériumsejtek citoplazmájában plazmidok vagy kromoszómán kívüli örökletes tényezők vannak. Ezek nagy, gyűrűs DNS-molekulák, amelyeknek az összetételében több gén található.

Hogyan valósul meg a génexpresszió szabályozása?

A szerkezeti gének állandó aktivitása nem lehetséges, ezért a működésük egyszer gyorsul, másszor lassul. Azonban a prokarióták esetében, amelyeknél nagy az anyagcsere-intenzitás, a gének többsége állandóan aktív: ezeken iRNS

vagy más típusú RNS szintetizálódik. Ez lehetővé teszi, hogy a prokarióta sejt gyorsan reagáljon a környezeti változásokra.

Azt a folyamatot, amikor a DNS-molekula nukleotid-szekvencia alakjában kódolt genetikai információból funkcionális termék – fehérje- vagy RNS-molekula – lesz, ***génexpressziónak*** nevezzük.

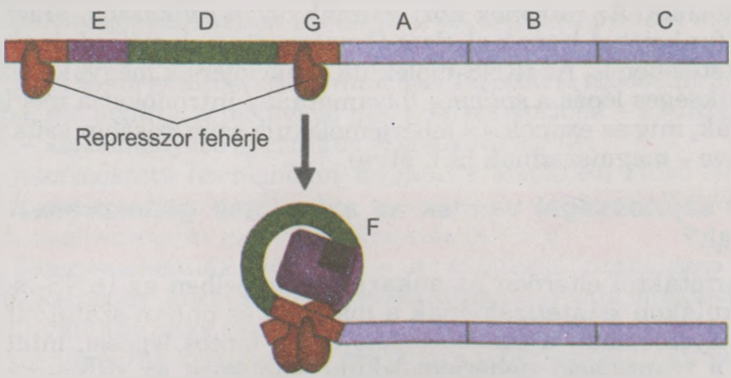
A génexpresszió szabályozása történhet a transzkripció, transzláció, a fehérje- vagy RNS-szerkezetben lejátszódó végleges változások során, aminek köszönhetően ezek a molekulák funkcionálisan aktívakká válnak.

A prokarióta és eukarióta sejtek képesek hatékonyan szabályozni a génexpressziót. Bizonyos feltételek mellett egyes gének inaktívak maradnak, míg a többi aktivitása nő vagy csökken. A környezeti feltételek változása előidézheti az inaktív gének aktivitását, az aktívakét pedig elnyomhatja.

A génaktivitás szabályozási mechanizmusai változatosak. Mindenekelőtt az RNS-molekulák szintézisének szintjén valósulnak meg. Az ilyen szabályozás fehérjék segítségével történik, amelyek közül egyesek elnyomják a transzkripciót, míg a többi a folyamat beindításához szükséges. Az első esetben a transzkripció folyamatai csak akkor indulnak be, amikor a depresszor (elnyomó) fehérje elveszti a tulajdonságát. Másik esetben a transzkripció folyamatai addig tartanak, amíg el nem veszítik az aktivitásukat az aktivátor fehérjék.

A génexpressziót befolyásolni képes fehérjemolekulák először a *promotorhoz*, azaz a gén kódoló része előtti nukleotid-szekvenciához kapcsolódnak. Minden gén vagy géncsoport rendelkezhet egy vagy több promotorral, amelyek mindegyikének szabályozása külön-külön történik

A 13.1. ábrán baktérium DNS-szakasza látható. Az összetételében három szerkezeti gén (**A**, **B**, **C** betűkkel vannak jelölve) található. Ezek kódolják a tejcukor, azaz a laktóz (*idézzétek fel, a szénhidrátok melyik csoportjába tartozik ez a vegyület*) vegyületcsoport hasításában részt vevő enzimstruktúrákat. Ez a funkcionálisan egységes géncsoport egy közös promotorral (**D**) rendelkezik, amelyet két szabályozó nukleotid-szakasz (**E**, **F**) határol. Tejcukorhiány esetén ennek a két nukleotid-szakasznak és egy speciális szabályozófehérjének a részvételével DNS-hurok (**G**) képződik. A szerkezeti gének inaktívakká válnak, mivel a hurok közepébe került promotorhoz nem kapcsolódhatnak az iRNS-szintézist biztosító enzimek. Azt követően, hogy a tejcukor koncentrációja növekedésnek indul, a szabályozó fehérje elveszti a kapcsolatot a DNS-sel, a hurok eltűnik és a promotor aktiválódik: a szerkezeti gének ismét képesekké válnak az enzimszintézis biztosítására.



13.1. ábra. *A kólibaktérium génaktivitásának szabályozása*

Jegyezzétek meg: a prokarióták génexpresszió-szabályozásában fontos szerepet játszik a szabályozó fehérjék és a DNS-molekula megfelelő nukleotid-szekvenciájának kölcsönhatása.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Génexpresszió.*

Ismétlő kérdések. 1. Minek köszönhető a vírusok genetikai információ-kódolásának tömörsége? 2. Melyek a prokarióták genomjának jellemző tulajdonságai? 3. Mi a promotor? 4. Melyek a prokarióták génexpressziójának mechanizmusai? 5. Milyen külső tényezők hathatnak a prokarióták génexpressziójára?

Bonyolult feladat. Gondolkozzatok el azon, miről tanúskodhat a bakteriofág vírusok genetikai információjának az a képessége, hogy beépülhet a baktériumsejt DNS-ébe?

14. §. AZ EUKARIÓTÁK GÉNMŰKÖDÉSÉNEK FŐBB TÖRVÉNYSZERŰSÉGEI

A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: mi a gén, genom, szabályozó és szerkezeti gének, exonok, intronok, splicing? Hogyan történik a fehérjemolekulák szintézise? Mely emberi hormonoknak van szteroid- és fehérjetermészete? Milyen mechanizmusok szabályozzák a génaktivitást a prokariótákban? Milyen a kromoszómák szerkezete? Milyen a hemoglobin szerkezete?

Milyen sajátosságai vannak az eukarióta-genom szerveződésének?

Az eukariótáknál a genom jelentős része olyan nukleotid-szekvenciákból áll, amelyek nem kódolnak fehérjemolekula- és RNS-szerkezetet. A tudósok kiderítették, hogy az eukarióták génjeinek 20–50%-a esetében egy, a többinek néhány, rendszerint nem azonos másolata van. A DNS összmennyiségének több mint 50%-a ismétlődés. A másolatoknak köszönhetően az egyes gének mutációi kevéssé hatnak a fenotípusra. Az ismétlődő nukleotid-szekvenciák főként a kromoszómák végeinél és a magorsó rögzülési övezetében (centroméra) összpontosulnak.

Az eukarióták génjeire, a prokarióták génjeitől eltérően, a szerkezet mozaikossága jellemző: kódoló szakaszok (exonok) nem kódoló szakaszokkal (intronok) váltakoznak. Az intronok közt vannak olyan szakaszok, amelyek fontos szabályozó funkciókat látnak el. Szabályozó szakaszok előfordulnak a génközi DNS összetételében is. Az iRNS-molekula funkciójának megvalósulásához feltétlenül szükséges lépés a *splicing* folyamata: az intronokat a megfelelő enzimek kivágják, míg az exonok – a fehérjemolekula szintéziséhez szükséges mátrixot képezve – megmaradnak (9.1. ábra).

Milyen sajátosságai vannak az eukarióták génexpresszió-szabályozásának?

A prokariótáktól eltérően az eukarióták sejtjeiben az iRNS-molekulák a DNS-molekulákon szintetizálódnak a magban, és onnan szállítódnak a citoplazmába. Ilyenformán a génexpresszió olyan fontos lépései, mint a transzkripció és a transzláció (fehérjemolekula szintézise az iRNS-mátrixon) az eukariótáknál térben és időben elkülönülnek.

A többsejtű szervezetek génjei két funkcionális csoportba különíthetők el: az egyik, amely az élő anyag univerzális funkcióját biztosítja, valamennyi sejtben, a másik csak meghatározott sejttípusokban aktív. Különleges csoportot képeznek a *pszeudogének* – mutációk következtében megváltozott nukleotid-szekvenciák, amelyek bizonyos génekre emlékeztetnek, ám információ-olvasás nem történik róluk.

A génexpresszió szabályozó elemeihez tartoznak a promotorok (nukleotid-szekvencia, amelytől a transzkripció folyamata kezdődik), a transzkripció folyamatának hatékonyságát befolyásoló, valamint a transzkripció és a transzláció beszüntetéséért felelős nukleotid-szekvenciák.

Jegyezzétek meg: az eukarióták és prokarióták génaktivitására a hozzájuk funkcionálisan kapcsolódó bizonyos szabályozó nukleotid-szekvenciák hatnak.

Az eukarióták transzkripciós folyamatokat irányító génjei nem lehetnek állandóan aktívak. Ezért a gének és funkcionális csoportjaik bizonyos tényezők vagy sejtciklusfázisok hatására egyszer aktiválódnak, másszor bizonyos idő után inaktívvá válnak. Annak köszönhetően, hogy a sejt nem minden génje egyszerre aktív, a különböző sejttípusok nem termelik a fehérjék vagy RNS-molekulák teljesen kódolt komplexumát, csak a pillanatnyilag szükségeseket. A felnőtt ember hemoglobinjának alegység-struktúráját kódoló gének csak a vörös vérsejtek protosejtjeiben aktívak. A sejteknek az a képessége, hogy be- és ki tudják „kapcsolni" a szerkezeti géneket, nagy jelentőséggel bír az energiaforrások gazdaságos felhasználását illetően is.

Jegyezzétek meg: bármelyik szerkezeti gén aktivitása attól függ, hogy vannak-e a sejtben a transzkripció folyamatát elnyomó vagy serkentő tényezők.

Bizonyos gének aktivitásának a szabályozását olyan mechanizmus végzi, amelynek a jelenlétében speciális fehérjemolekulák megakadályozzák, hogy az iRNS szintézisét biztosító enzim felismerje azt a jelet, amely beszünteti ennek a molekulának a szintézisét. Az ilyen jel meghatározott nukleotid-szekvencia, amely a gén kódoló részének belsejében helyezkedik el (*idézzétek fel, milyen tripletek jelzik a fehérjemolekula szintézisének beszüntetését*). Annak a tényezőnek a megléte következtében, amely megakadályozza, hogy az enzim felismerje az iRNS szintézisének beszüntetésére vonatkozó jelzést, folytatódik ennek a molekulának a szintézise, s az funkcionálisan aktívvá válik.

Egyes inaktív géneket sejten kívüli jel is aktiválhat, például magas hőmérséklet vagy bizonyos hormonok. Ha szteroid hormon jut a sejtbe, ott kölcsönhat a sejtfehérjével és megváltoztatja annak szerkezetét. A módosult fehérje behatol a magba, ott leállítja a megfelelő gén transzkripcióját – az iRNS-molekula szintézisét – kezdeményező specifikus szabályozó elemet.

A fehérjetermészetű hormonokat megköti a membrán külső felületén lévő specifikus receptor. Ez aktiválja azt az enzimet, amelynek hatására elkezd működni a meghatározott gén transzkripciós faktora.

Egyes fehérjemolekulák képesek – a megfelelő szabályozó nukleotid-szekvencia „keresése" közben – a sejt belső közegében való mozgásra. Kölcsönhatásuk aktiválhatja vagy blokkolhatja a transzkripciót. Az egyes gének aktív vagy inaktív állapotba kerülhetnek ezeknek a fehérjemolekuláknak az iRNS-szintézist katalizáló kölcsönhatása során.

Jegyezzétek meg: léteznek olyan nukleotid-szekvenciák, amelyek határosak egymással, átfedik egymást vagy a promotoron kívül helyezkednek el, s amelyekkel kölcsönhatnak a szabályozó gének. Ezek a fehérjék lehetnek aktivátorok, depresszorok, vagy megszakíthatják a transzkripció befeződését.

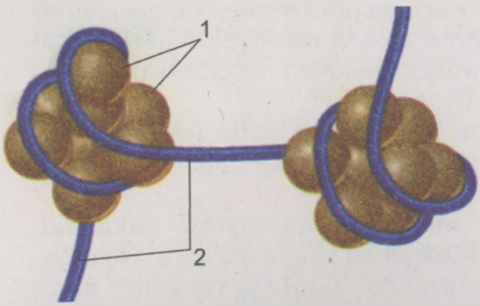
Amint emlékeztek rá, a kromoszóma szerkezeti eleme a nukleoszóma (14.1), amely a DNS-szál és fehérjék (hisztonok) kölcsönhatásának köszönhetően jön létre. A nukleoszómák a génaktivitás általános szupresszorai. A gének többsége a sejtben inaktív állapotban található, leszámítva a transzkripciós faktorok által aktiváltakat. A transzkripció aktiválásához a kromatinszálak átalakulása szükséges. Ez azzal kapcsolatos, hogy a kromatinszálak bizonyos szakaszai elvesztik tömörségüket, és a DNS-molekula adott génnel kapcsolatos szabályozó szakaszai leválnak a nukleoszómákról. Így a DNS megfelelő szakaszai elérhetővé válnak a transzkripció folyamatát biztosító tényezők számára.

A génexpresszióra hatással lehetnek a DNS kémiai összetételének változásai, de a nukleotid-szekvencia a molekulában eközben nem változik. Bizonyos szakaszokba metilcsoport ($-CH_3$) épülhet be (metilezési folyamat). A DNS-molekula ilyen változása nem jár a nukleotid-szekvencia módosulásával. A metilezési fok növekedése bizonyos szakaszokon a szomszédos gének expresszió-jának teljes vagy részleges szupresszióját okozza. És fordítva, a metilezés fokának csökkenése expressziós szintjük növekedésével jár.

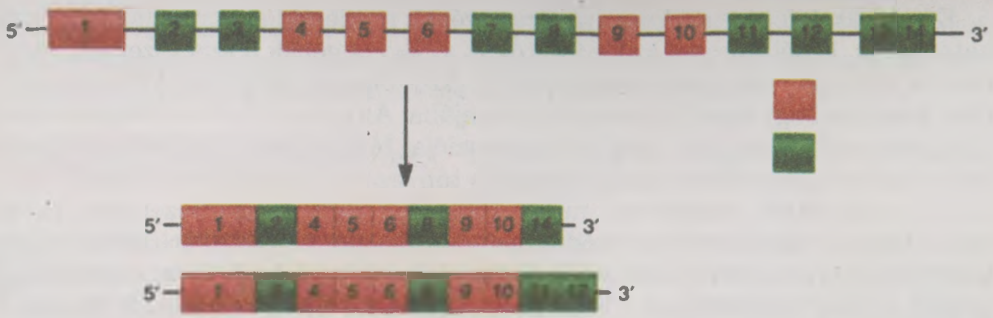
A specifikus természetes DNS-struktúrák kialakulása során a szabályozó szekvenciák és a megfelelő strukturális gének közel kerülnek egymáshoz, ami megkönnyíti a kölcsönhatásukat. Ezenkívül a transzkripciós faktorok (például bizonyos fehérjék) a szabályozó nukleotid-szekvenciákhoz kapcsolódnak, és a távoli strukturális géneket és azok szabályozó szakaszait egymáshoz közelítő szálat képezhetnek.

A génaktivitás függhet a nukleinsav-molekulák egymás közötti kölcsönhatásától. Ilyen mechanizmus a ***DNS-interferencia*** – a génexpresszió elnyomásának (szupressziójának) folyamata mikro-RNS-molekulák segítségével. A génexpresszó elnyomása a transzkripció és a transzláció vagy az iRNS bomlása során történik.

A mikro-RNS-molekulák nem kódolnak fehérjestruktúrákat, és jelentéktelen a hosszuk: 19–21 pár nukleotidból állnak. Hogyan jönnek létre? Bizonyos gének aktiválása RNS-molekulák kétszálas szintézisét idézi elő. Ezeket a kétszálas szakaszokat speciális enzimek kivágják. Belőlük képződnek a mikro-RNS-molekulák, amelyek mindegyike az RNS-szálak kibontását végző fehérjemolekulákhoz kapcsolódik. Később a mikro-RNS-molekula egyik szála az iRNS bizonyos génstruktúrák kódoló komplementer szakaszával egyesül. Az ilyen kölcsön-



14.1. ábra. *A nukleoszóma szerkezete: 1 – globuláris fehérjék; 2 – DNS-szál*



14.2. ábra. *Alternatív splicing: fenn – az α-tripomiozin fehérjét kódoló éretlen iRNS-molekula: vörös szín jelöli a feltétlenül az érett iRNS-molekulában maradó exonokat (1, 4–6, 9, 10), zölddel vannak jelölve azok az exonok, amelyek nem feltétlenül maradnak benne (2, 3, 7, 8, 11–14). Figyeljétek meg: attól függően, hogy milyen nem feltétlenül maradó exonok találhatók mégis az alternatív splicing után, különböző iRNS-molekulák képződnek: a felső a nem csíkolt izomsejtek összetételébe tartozó fehérjét kódolja, az alsó – a csíkolt izomsejtek összetételében lévőt*

hatás következményei eltérők lehetnek. *Először*: tömörebbé válhat a kromatin és bekövetkezhet a génaktivitás gátlása. *Másodszor*: a transzkripció után elbomolhat az iRNS-molekula, ami lehetetlenné teszi a fehérjeszintézist (mindenekelőtt a növényi sejtekben). *Harmadszor*: leállhat a fehérjeszintézis (mindenekelőtt az állati sejtekben). Vannak arra vonatkozó adatok, hogy a mikro-RNS-molekulák közvetlen kölcsönhatásba léphetnek a DNS-molekulákkal.

Jegyezzétek meg: a génexpresszió a nukleinsav-molekulák egymás közötti kölcsönhatásától vagy kémiai összetételük változásától függhet.

A génexpresszió másik módja – az ***alternatív splicing***. Említettük, hogy a splicing az intronoknak megfelelő iRNS-szakaszok kivágását jelenti. A folyamat azonban alternatív módon (innen az elnevezés) is végbemehet. Például bizonyos enzimek közreműködésével több exon kivágása is történhet a gén elején vagy a belsejében. Ennek következtében egy szakaszból különböző fehérjéket kódoló különféle iRNS-molekulaváltozatok szintetizálódhatnak (14.2. ábra). Az emberi genomban az egy génre jutó iRNS alternatív alakjainak átlagmennyisége 5,4.

Jegyezzétek meg: a génexpresszió elnyomása bekövetkezhet a transzkripció vagy a transzláció során. Eközben a génszekvencia nem feltétlenül módosul.

Hogyan alkalmazzák a génaktivitás kutatásának eredményeit a génsebészetben?

A génsebészet a molekuláris genetika kísérleti ága. Fő feladatai:

- gének szervezeten kívüli szintézise, elkülönítése a sejtekből, átalakítása;
- az elkülönített vagy szintetizált gének másolása és szaporítása;
- gének vagy géncsoportok beépítése más szervezetek genomjaiba;
- különböző genomok egyesítése egy sejtben.

E kutatások fontos szakasza az egyes gének nukleotid-szekvenciáinak meghatározása. E nélkül nem különíthetők el az egyes gének a szervezetből, vagy nem szintetizálhatók a szervezeten kívül. Azonban egy gént nem lehet egyszerűen beépíteni egy másik szervezet genomjába. Az egész munka értelmét veszti, ha elmarad ennek a génnek az expressziója. Márpedig ez csak akkor következik be, ha a génre ható legkülönbözőbb tényezőket számításba veszik.

Az eukarióták szabályozó nukleotid-szekvenciái a szerkezetüket és a transzkripciót kezdeményező kodonhoz viszonyított helyzetüket tekintve különböznek a prokarióta sejtekben lévő hasonló szekvenciáktól. Ha az eukarióták génjeit egyszerűen beviszik a prokarióta sejtbe, az iRNS szintézisét biztosító baktériumenzim nem ismeri fel ezeket a szekvenciákat. Ezért az eukarióták génjeinek a prokarióta sejtekben való expressziója érdekében arra van szükség, hogy ezek a gének a gazdasejt szabályozó elemeinek hatása alá kerüljenek.

Az eukarióták génjeinek átvitelekor azt is számításba kell venni, hogy sejtjeikben minden strukturális génnek saját készlete van szabályozó elemekből, amelyeket specifikus jelek aktiválnak a sejtciklus különböző szakaszaiban. Ugyanakkor a prokarióta sejtek strukturális génjei közös szabályozó elemekkel rendelkező csoportokban egyesülnek.

A különféle gének sejten belüli expresszió jával kapcsolatos problémák részletes feltárása lehetővé tette több fontos gyakorlati problémának génsebészeti úton történő megoldását. Már tudjátok, hogy súlyos betegséghez vezet, ha az emberi vagy állati szervezetben nem termelődik vagy nem elegendő mennyiségben termelődik valamilyen hormon. Megfelelő mennyiségben sikerült inzulint előállítani azáltal, hogy megfelelő géneket építettek be baktériumsejtbe.

Az RNS-interferencia felhasználható az orvostudományban és a nemesítésben. Ennek érdekében úgynevezett *antiszensz* RNS-molekulákat állítanak elő. Az összetételüket tekintve ezek megfelelnek valamely sejt iRNS-molekula nukleotid-szekvenciájának. Tételezzük fel, hogy az ilyen antiszensz RNS a szervezet számára káros vagy a nemesítő szakember számára nemkívánatos fehérjéket kódol. Ilyenkor a tudósok antiszensz RNS-molekulát szintetizálnak és juttatnak a sejtbe. Az antiszensz RNS nukleotidjai a szensz RNS nukleotidjaihoz kapcsolódnak. Ez blokkolja a szensz RNS-molekulában kódolt fehérjék bioszintézisét. Például antiszensz technológiával enyhíthetők a HIV-fertőzés tünetei, amikor is az antiszensz RNS-molekulák megkötik a vírus komplementer iRNS-ét, ami gátolja a vírusszaporodást.

Az antiszensz technológia alkalmazásával már sikerült bizonyos gyakorlati eredményeket elérni a növénynemesítésben. Ismeretesek például a paradicsom olyan enzimjei, amelyek gyorsítják az érést. A növénytermesztőknek azonban arra van szükségük, hogy a paradicsom érése fokozatos legyen, mivel nem tudnak rövid idő alatt nagy mennyiségű terméket eladni. Ezenkívül a paradicsom egyik enzimje gyorsítja a pektin poliszacharid lebontását a sejtfalban, s ennek következtében gyorsan romlik a termés. Annak köszönhetően, hogy a paradicsom genomjába antiszensz RNS-molekulákat juttatnak, gátlás alá kerül a megfelelő enzimek szintézise.

Az RNS-interferencia módszerét alkalmazzák akkor is, amikor elméleti kérdéseket kell tisztázni sejtkultúrák vagy élő szervezetek vizsgálata során. Az egyes gének aktivitására szelektíven ható kétszálas mikro-RNS-molekulák

szintézisével kideríthetők ezen gének funkciói. A mikro-RNS-molekula bejuttatása elnyomja a specifikus gén aktivitását, és ennek a folyamatnak az eredményéből a tudósok következtetéseket vonnak le a funkcióit illetően.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Az RNS-interferencia jelensége, antiszensz technológia.*

Ismétlő kérdések. 1. Miben különbözik egymástól az eukarióták és prokarióták szerveződése? 2. Milyen szerepe van a splicingnak a génaktivitásban? 3. Hogyan szabályozzák a szabályozó fehérjék a génexpressziót? 4. Milyen, a génexpressziót befolyásoló nukleotid-szekvenciákat ismertek? 5. Miben áll az RNS-interferencia jelensége? 6. Mi az alternatív splicing jelentősége?

Bonyolult feladat. Gondolkozzatok el azon, hogy mi a közös és az eltérő a vírus transzkripciós folyamataiban és az eukarióták alternatív splicingjában?

15. §. AZ EMBER GENETIKÁJA

A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: mi a genom, populáció, homozigóta és heterozigóta? Mit bizonyít a hasadás törvénye? Mi képezi a mitokondriumok örökletes anyagát?

Mit vizsgál az ember genetikája?

Az ***ember genetikája*** – a genetikának az emberi genom szerveződési és funkcionális sajátosságait, öröklődésének és változékonyságának törvényszerűségeit vizsgáló területe. Ez a tudományág az *eugenika*, vagyis az emberi egészség öröklődését és annak javítását kutató tudományág berkeiben született. Megalapítója Francis Galton (15.1. ábra), Charles Darwin unokatestvére volt. Elsőként vizsgálta az emberi öröklődést önálló kutatási tárgyként. Galton és követői úgy vélték, hogy különleges módszerekkel tökéletesíthető az emberi nem. S jóllehet az eugenikának humánus volt a célja, a többi között az, hogy az ember genotípusában növelje a „hasznos" és csökkentse a „káros" gének mennyiségét, a tételeit idővel a rasszista ideológia megalapozására használták fel.

A rasszizmus – faji (rasszista) megkülönböztetésen, azaz egyes emberi rasszok képviselőinek más rasszok képviselőivel szembeni, vele született testi és intellektuális fölényének elismerésén alapuló világnézet. A rasszista nézetek követői azt állítják, hogy az egyes emberi rasszok és népek tagjainak különbségei örökletesen meghatározottak és nem tüntethetők el teljesen neveléssel, szocializációval és egyéb kulturális módszerekkel. A rasszista ideológia ezért jogot formál egyes népek más népek általi kizsákmányolására, sőt megsem-

15.1. ábra. *Francis Galton (1822–1911), az eugenika és a daktiloszkópia (az egyén azonosítása ujjlenyomata alapján) megalapítója*

misítésére. Ez ahhoz vezetett, hogy a civilizált országokban betiltották az eugenikai kutatásokat, az e tudomány által vizsgált kérdések egy részét jelenleg az ember genetikája és az orvosgenetika tanulmányozza.

Milyen kutatási módszereket alkalmaznak az emberi genetikában?

Mint minden tudománynak, az ember genetikájának is megvannak a maga specifikus kutatási módszerei. Az ember öröklődésének és változékonyságának törvényszerűségeit, más szervezetektől eltérően, tilos az öröklődési anyagába való beavatkozást igénylő módszerekkel kutatni (például génsebészeti módszerekkel, amikor egyes géneket kioperálnak vagy megváltoztatnak). Ezért az emberi genetikában csak a genealógiai, populációs-statisztikai, ikerkutatási, citogenetikai és molekuláris-genetikai módszereket alkalmaznak.

A kutatóknak több, a Homo sapiens fajra jellemző sajátosságot is figyelembe kell venniük. Például azt, hogy az ember ivarérése viszonylag késői, ezért a nemzedékváltáshoz 20–30 évre van szükség. Ez megnehezíti az egyes jellegek elemzését. A nehézségeket ebben az esetben hosszú időtartamra elkészített családfa kutatásával küszöbölik ki. Az emberi utódok csekély száma ugyancsak megnehezíti a jellegek hasadásának statisztikai vizsgálatát.

A fenotípus alakítására gyakorolt környezeti hatások kutatása során figyelembe kell venni azt a körülményt, hogy gyakorlatilag lehetetlen azonos feltételeket (mikroklímát, élelmezést, munkakörülményeket, tanulási feltételeket) teremteni minden ember számára.

Milyen házassági formák jellemzik az embert?

Valamely fajhoz tartozó bármely szervezetek esetében különböző – rokon és nem rokon – keresztezési rendszerek léteznek. ***Rokon keresztezés*** olyan egyedek közt történik, amelyek közös ősökkel rendelkeznek legalább hat előző nemzedéken belül. ***Nem rokon keresztezésnek*** minősül az olyan egyedek keresztezése, amelyek esetében nincsenek közös ősök az előző hat nemzedékben.

Az embernél megkülönböztetnek rokon és nem rokon házasságot.

A rokon házasság egyik következménye a bizonyos allél szerinti homozigóták felszaporodása az utódok között. Eközben a recesszív (köztük letális és szubletális) allélek homozigóta állapotba kerülhetnek, és megjelenhetnek az utódok fenotípusában. Annak veszélye, hogy valamilyen örökletes betegségben szenvedő gyermek születik, annál nagyobb, minél közelebbi rokonságban állnak a házasságra lépő személyek. Ha például mindkét szülő fenotípusosan egészséges, de a süketséget okozó recesszív allél szerint heterozigóták, süket gyermekeik születhetnek. Az összes albinó közel 20%-a rokon házasságból születik. Ismeretes több letális recesszív allél, amelyek homozigóta állapotban korai halált okoznak.

A nem rokon házasságból születő utódok esetében azok a recesszív allélek, amelyek homozigóta állapotban örökletes betegségeket vagy bajokat okozhatnak, gyakran heterozigóta állapotba kerülnek, ezért nem jelennek meg a fenotípusban.

Milyen sajátosságai vannak az emberi genom szerveződésének?

Az emberi kariotípus 22 nem ivari kromoszómából (autoszómából) és két ivari (*XX* – a nőknél, *XY* – a féfiaknál) kromoszómából áll (15.2. ábra). Az ember kariotípusára 24 kapcsolási csoport (22 autoszóma, *X*- és *Y*-kromoszóma, amelyek eltérő génkészlettel rendelkeznek) jellemző.

A XX. sz. végének, a XXI. sz. elejének legnagyobb nemzetközi biológiai projektje az emberi genom megfejtése volt. A kutatók meghatározták benne a nukleotid-szekvenciákat és géntérképet készítettek, amelyen közel 15 ezer strukturális gént tüntettek fel. A tudósok becslése szerint az emberi genom 3,2 milliárd pár nukleotidból áll. Feltételezések szerint a fehérjéket kódoló gének száma nem haladja meg a 21 ezret, míg a különböző RNS-molekulákra vonatkozó információkat hordozóké meghaladja a 4 ezret. Azt, hogy milyen jellegeket kódolnak, 12,5 ezer gén esetében határozták meg. A kódoló szakaszok összhossza közel 34 millió nukleotidpárt tesz ki, s ez a genomnak mindössze az 1,2%-a. Az emberi mitokondrium gyűrűs DNS-molekulája 16 569 nukleotidpárból áll, és mindössze 37 gént tartalmaz, amelyek közül 13 mitokondrium-fehérjéket, 2 – rRNS-t és 22 – tRNS-t kódol.

15.2. ábra. *Az emberi kariotípus (keressétek meg az ivari kromoszómákat, határozzátok meg az adott kariotípus alapján az ember nemét)*

Az emberi genomra viszonylag rövid, egymástól nyújtott intronokkal (a DNS összmennyiségének közel 34%-a) elválasztott exonok jellemzők.

A genomkutatások kiderítették, hogy a különböző emberek DNS-ének nukleotid-szekvenciái 99,5%-ban hasonlítanak egymásra. Vagyis a genomnak mindössze 0,5%-a határozza meg a fenotípusok változatosságát. Az emberi genom sokszínűségét fokozzák a mutációk.

A jellegek öröklődésének mely típusai ismeretesek az ember esetében?

A nem ivari kromoszómák génjeivel kapcsolatos öröklődéstípust ***autoszómás öröklődésnek*** nevezzük. Ha valamely jellegállapotot domináns allél határoz meg, akkor az ilyen öröklődéstípust ***autoszómás-domináns***, a recesszív allél által meghatározottat ***autoszómás-recesszív öröklődésnek*** mondjuk. Figyeljétek meg a 15.1. táblázatot, amelyben bizonyos emberi jellegek domináns és recesszív állapotai vannak feltüntetve.

15.1. táblázat

Emberi jellegek domináns és recesszív állapotai

Domináns állapot	Recesszív állapot
Barna szemszín	Kék szemszín
Zöld szemszín	Kék szemszín
Hosszú szempillák	Rövid szempillák
Sötét haj	Világos hajszín
Mongoloid szemrés	Europid szemrés

A 15.1 táblázat folytatása

Domináns állapot	Recesszív állapot
Harmadik szemhéj maradványa	Harmadik szemhéj maradványának hiánya
Rövidlátás	Normális látás
Szabad fülcimpák	Hozzánőtt fülcimpák
Vastag ajkak	Vékony ajkak
Kerek arc	Hosszúkás arc
Pozitív rhesus-faktor	Negatív rhesus-faktor
Rövid ujjak	Normális ujjak
Normális pigmentáció	Albinizmus
Fejlődő látóideg-sorvadás	Normális állapot

Létezik az ivarhoz kapcsolódó öröklődés. Ha valamely gén csak az *Y*-kromoszómában található, akkor az öröklődés ivarhoz kapcsolódik. Ha valamely gén csak az Y-kromoszómában található, akkor ***Y-kapcsolódású öröklődéstípussal*** van dolgunk. Az ilyen gén által meghatározott jelleg apai ágon öröklődik.

Ha valamely gén csak az *X*-kromoszómában található, akkor ***X-kapcsolódású öröklődéstípussal*** van dolgunk. Ez lehet *X-kapcsolódású recesszív* és *X-kapcsolódású domináns* öröklődés. *X*-kapcsolódású recesszív öröklődéstípusnál a megfelelő jellegállapot túlnyomórészt a férfiakban jelenik meg (*idézzétek fel, miért*). *X*-kapcsolódású recesszív öröklődéstípus esetén a jelleg megfelelő állapota megjelenhet mind a férfiakban (az *X*-kromoszómát örökítik át a megfelelő anyai domináns alléllel), mind a nőkben. Ekkor a szülők a megfelelő allél géneket a lányoknak adják tovább, a fiúknak – soha. Az egyes, ivarhoz kapcsolódó emberi jellegállapotok a 15.2. táblázatban láthatók.

15.2. táblázat

Ivarhoz kapcsolódva öröklődő egyes emberi jellegállapotok

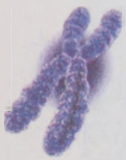
Jellegváltozat	Öröklődéstípus
Fülszőrösség	*Y*-kapcsolódású
Lábujjak közötti hártya	*Y*-kapcsolódású
Hemofília	*X*-kapcsolódású recesszív
Daltonizmus	*X*-kapcsolódású recesszív
Fejlődő izomsorvadás	*X*-kapcsolódású recesszív
Angolkór (D-vitaminhiány)	*X*-kapcsolódású domináns

Új szakkifejezések és fogalmak. *Heterózis, rokon és nem rokon kereszteződés, autoszómás-recesszív, autoszómás-domináns, X- és Y-kapcsolódású öröklődéstípus.*

Ismétlő kérdések. 1. Milyen genetikai kutatási módszereket alkalmaznak az emberi öröklődés vizsgálatára? 2. Miben nyilvánul meg a Homo sapiens fajnak mint genetikai vizsgálati objektumnak a különlegessége? 3. Mi jellemzi az emberi genomot? 5. Jellemezzétek az emberi jellegek öröklődés-változatait!

Bonyolult feladat. Úgy vélik, hogy az ember és az emberszabású majmok, mindenekelőtt a csimpánz és a gorilla génkészletében sok a közös tulajdonság. Ez milyen genetikai kutatási módszerekkel bizonyítható vagy cáfolható?

16. §. A GENOTÍPUS ÉS KÖRNYEZETI TÉNYEZŐK SZEREPE AZ EMBER FENOTÍPUSÁNAK ALAKULÁSÁBAN. ORVOSI GENETIKA



A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: milyen az allél és nem allél gének kölcsönhatása? Mi a többszörös génhatás? Hogyan valósul meg a génexpresszió, és miként történik a szabályozása? Minek köszönhető a magon kívüli öröklődés? Milyen sajátosságai vannak az emberi immunrendszer szerkezetének és működésének? Milyen mutagéncsoportok ismeretesek?

A fenotípus alakulása – genetikailag meghatározott, az élettér feltételeitől függő folyamat. A fenotípus sajátosságait az allél (teljes és nem teljes dominancia, intermedier öröklődés) és nem allél (episztázis, komplementaritás, polimeria) gének, valamint a többszörös génhatás határozza meg.

Kihat-e az emberi fenotípus alakulására a magon kívüli öröklődés?

Amint emlékezhettek rá, a mitokondriumoknak saját örökítő anyaguk – gyűrűs DNS-molekulájuk – van. Mivel a spermiumok nem adják tovább a mitokondriumaikat, a zigótába a petesejt citoplazmájának mitokondriumai kerülnek. Vagyis a mitokondriumok génjeiben kódolt jellegek mindkét nem egyedeinek a fenotípusában megjelenhetnek, azonban csak anyai ágon öröklődnek. Ilyen jelleg a látómező középpontjában lévő vakfolt vagy a vesék jóindulatú daganata.

Hogyan hatnak az élettér tényezői az emberi fenotípus alakulásra?

A környezeti feltételek szervezetre gyakorolt hatására vonatkozó adatok ikerkutatási módszerrel nyerhetők. Mivel az egypetéjű ikrek genotípusai egyformák, a fenotípusukban tapasztalható különbségeket kizárólag az élettér tényezői okozzák. Ez lehetővé teszi annak kiderítését, hogy milyen jellegek alakulását befolyásolja a genotípus, s milyenekét – az élettér tényezői (16.1 táblázat).

16.1. táblázat

Az egypetéjű ikrek egyes jellegeinek egybeesése százalékban kifejezve

Jelleg	Egybeesés, %-ban
Vércsoport	100
Szemszín	99
Hajszín	89
Szellemi visszamaradottság	97
Epilepszia	72
Tuberkulózis	56
Nyúlszáj	42
Tudathasadás	46
Bronchiális asztma	92
Diabétesz	56
Pajzsmirigy-túlműködés	47
Pikkelysömör	61
Kanyaró	97

Egyes esetekben bizonyos allélek nem a jellegek állapotát határozzák meg, hanem a megjelenési hajlamukat (például öröklődhet az elhízásra vagy a diabéteszre (cukorbetegségre) való hajlam). Eközben bizonyos jelleg megjelenésének a valószínűsége különböző tényezőktől – nemtől, életviteltől (például az elhízásra hajlamos embereknek a baj elkerülése végett aktív életmódot kell folytatniuk), táplálkozástól (a diabéteszre hajlamos embereknek csökkenteniük kell a szénhidráttartalmú ételek fogyasztását) – függ.

Jegyezzétek meg: az életkörülmények csökkenthetik, de növelhetik is az egyes betegségek vagy bajok fenotípusban való megjelenésének kockázatát.

Hogyan történik a sejtdifferenciáció genetikai szabályozása?

Az emberi szervezet fejlődése úgy történik, hogy a fejlődés kezdetét követően bizonyos időközökben szelektíven be- vagy kikapcsolódnak az egyes sejttípusokban a specifikus gének. Ezt a kérdéskört a ***fejlődésgenetika*** tudománya kutatja.

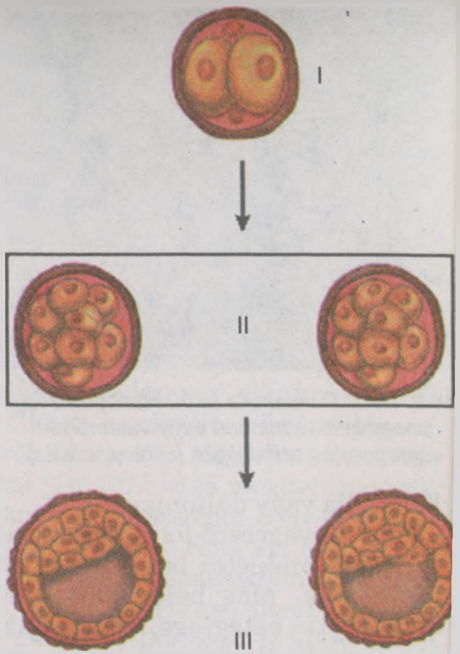
Bármely nem ivari (szomatikus) sejtnek az egész szervezetre jellemző örökletes információkészlete van. Vagyis a többsejtű szervezetek sejtjeire jellemző a teljes szervezetté való fejlődésüket lehetővé tévő differenciációjukkal kapcsolatos örökletes információ megvalósítása. Ebből adódik a következtetés, amely szerint a különböző sejttípusok teljes készletükből nem az összes, hanem csak egyes géneket használnak fel.

A tudósok javaslatára bevezették a ***differenciációs génexpresszió hipotézisét***. A zigóta osztódásának kezdeti stádiumában létrejött sejtekből teljes értékű szervezet fejlődhet ki (16.1. ábra). Így születnek az egypetéjű ikrek. Az

embrionális fejlődés későbbi szakaszaiban létrejövő sejtek elvesztik ezt a tulajdonságukat, mivel differenciálódnak.

Jegyezzétek meg: a különféle sejttípusokban kikapcsolt gének találhatók, amelyek bizonyos feltételek mellett aktivizálódhatnak.

Egyes esetekben a sejtdifferenciáció a genetikai anyag szerkezet-átalakulásával járhat. Például az emberi immunrendszer olyan sejtjei, mint a B-limfociták, az antigénnel történő kölcsönhatás után differenciálódnak, és antitestek előállítására képes sejtekké alakulnak át. Azon jelentős számú antitestből, amelyeknek a szerkezete a B-limfociták genomjában van kódolva, ezek a sejtek az aktivációt követően csak egy típust kezdenek el szintetizálni, attól függően, hogy milyen antigénnel találkoztak. Az ilyen differenciáció a DNS-molekula az antigének szintéziséért felelős egyes szakaszainak az átrendeződésével áll összefüggésben. Az immunrendszer más sejtjei, a T-limfociták, szintén elveszíthetik genomjuk egy részét a meghatározott antigénekkel való kölcsönhatásra képes receptorok kialakítása során.



16.1. ábra. *A zigóta barázdálódása (I). II és III két egypetélyű iker embrionális fejlődésének egymás utáni szakasza*

A sejtek differenciációjára ható géndifferenciációs aktivitást biológiailag aktív anyagok – hormonok, neurohormonok (*idézzétek fel a nemi hormonok hatását a fenotípus alakítására*) – befolyásolják.

Mit vizsgál az orvosi genetika?

Az ***orvosi genetika*** – az ember örökletes betegségeit és rendellenességeit kutató tudomány. Feladatkörébe tartozik az örökletes betegségek diagnosztizálási, gyógyítási és megelőzési módszereinek kidolgozása. A modern orvosi genetika mindenekelőtt az örökletes betegségek megelőzésére koncentrál, hogy a gyermekek ne szülessenek örökletes betegségekkel vagy hiányosságokkal. Ennek a tudományágnak a módszereivel állapítják meg a kétes esetekben az apaságot. Mivel a gyermek örökletes anyagának egy részét az anyától, másik részét az apától kapja, különböző módszerek felhasználásával igen nagy, 99%-os valószínűséggel megállapítható vagy kizárható, hogy apja-e egy adott gyermeknek valamely férfi.

Milyen emberi örökletes betegségek és bajok ismeretesek?

Az örökletes betegségek és hiányosságok, valamint a különféle megbetegedések iránti hajlam diagnosztizálása korunk időszerű orvosi-biológiai problémája. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) adatai szerint 100 újszülött közül 5 valamilyen súlyos örökletes betegséggel jön a világra, további 5-nek genetikai rendellenességei vannak, még további 2 halva születik örökletes za-

16.2. ábra. *Polidaktilia (a 6., ritkábban 7. ujj megjelenése minden vagy valamelyik végtagon) és szindaktilia (ujjösszenövés)*

varok következtében. Ezek a mutatók évről évre nőnek a környezet különféle mutagénekkel való szennyeződése következtében. Ma több mint 4000 örökletes betegség és betegségre való genetikai hajlam ismeretes, míg 1958-ban ez a szám még csak 500 volt.

Az örökletes betegségek különböző formában jelentkezhetnek:

- a szervezet felépítésének zavara, például a farkastorok (az orr- és szájüreget összekötő nyílás képződése a felsőajak, állcsont és szájpad széthasadása következtében); sokujjúság vagy ujjösszenövés (16.2. ábra);
- az élettani funkciók zavara, például hemofilia vagy daltonizmus;
- az anyagcsere-folyamatok zavara, diabétesz, fenilketonuria.

Egyes örökletes betegségek, például a Down-kór a születés után azonnal jelentkezik. Más betegségek, például a Huntington-kór (az idegdúcsejtek degeneratív betegsége, amelyet akaratlan mozgások és fejlődő gyengeelméjűség kísér), csak bizonyos korban jelentkeznek.

Különböző örökletes betegségek és genetikai bajok okozói lehetnek a kromoszómák szerkezeti változásai (16.2. táblázat).

16.2. táblázat

Valamely emberi kromoszóma szakaszának elvesztése következtében esetleg kialakuló fenotípusos változások

Megjelenés a fenotípusban	A szakaszát vesztett kromoszóma száma (jelölése „+")		
	4.	5.	18.
Macskasírás szindróma	–	+	–
Gyengeelméjűség	+	+	+
Agyfejlődési zavarok	+	–	–
Fejméret csökkenése	+	+	+
Kancsalság	+	+	+
Fejletlen orr és felső állcsont	–	–	+
Fülkagylók fejlődési rendellenessége	+	+	+
Szájpadhasadék	+	–	–
Szívbaj	+	–	+

A valamely kromoszómaszakasz vagy teljes kromoszóma elvesztése által okozott zavarok ritkán örökítődnek tovább. Az ilyen típusú mutációk olyan súlyos következményekkel járnak, hogy az ilyen embereknek rendszerint nincsenek utódaik. Csak azok az embriók élnek túl, amelyeknek csak kis kromoszómaszakaszaik vesznek el vagy kettőződnek meg.

A rákos megbetegedések egy része (5–20%) az iránt uk való örökletes hajlam következtében alakul ki. A Környezetvédelmi és Természeti Erőforrás Minisztérium adatai szerint Ukrajnában jelenleg minden 50. lakos (a népesség 2%-a) szenved rosszindulatú daganatos megbetegedésben. A Csernobili Atomerőmű balesete következtében szétszóródott sugárzó anyagok jelentős mértékben megnövelték a pajzsmirigy, a nyirokmirigyek és a keringési rendszer rosszindulatú daganatos megbetegedéseinek előfordulási gyakoriságát.

Mi az orvosgenetikai konzultáció lényege?

Az örökletes betegségek megelőzésében fontos szerepe van az ***orvosgenetikai konzultációnak***. Az orvosgenetikai konzultációban különböző szakterületek specialistái – genetikusok, biokémikusok, citológusok, immunológusok, orvosok – vesznek részt. A legkülönfélébb módszerek alkalmazásával kiderítik az örökletes betegségeket okozó allélek hordozóit, kiszámítják az örökletes megbetegedések utódokra való átörökítésének és megjelenésének valószínűségét. Amikor nagy a jelentős bajokkal járó örökletes megbetegedések megjelenési valószínűsége az utódoknál, akkor azt tanácsolják a jövendő szülőknek, hogy tartózkodjanak a gyerekvállalástól. Ez nem csak azt a célt szolgálja, hogy megelőzhető legyen a genetikai rendellenességekben szenvedő gyermekek megszületése, hanem a mutáns gének következő nemzedékekre való átörökítésének elkerülése is. A szakemberek különböző módszerekkel meghatározzák, milyen fokú a hozzájuk forduló egyén hajlama valamely örökletes betegség megjelenése iránt, és előre jelzik a fenotípusban való jövőbeni megjelenés valószínűségét.

A különféle tesztek lehetővé teszik az örökletes betegségeket és rendellenességeket okozó hibás gének kiszűrését nem csak a leendő szülők esetében, hanem a magzatban is. A magzatvízből vett embriósejtek vizsgálatával egyes anyagcserezavarok már a terhesség 14–16. hetében kideríthetők.

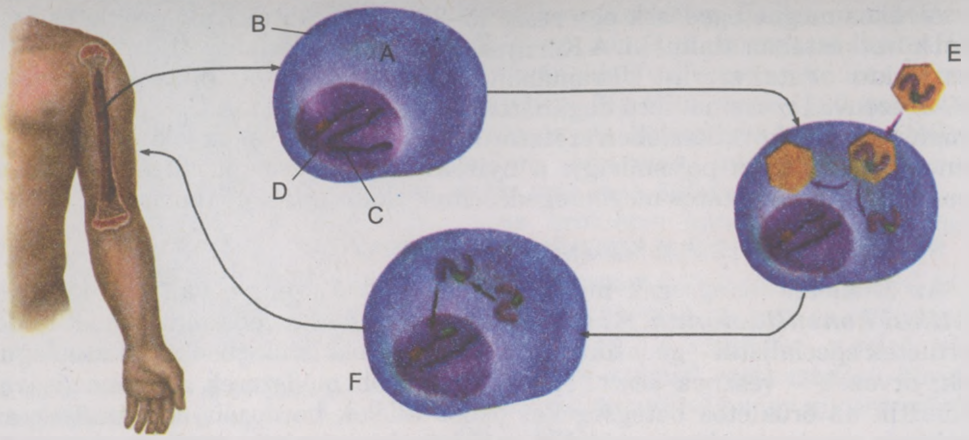
Mivel a domináns mutáns allélok vagy a kromoszóma-betegségek megjelennek a fenotípusban, a diagnosztizálásuk nem túl nehéz, eltérően a heterozigóta állapotban lévő mutáns recesszív allélektől, amelyek rendszerint nem jelennek meg. Azonban vérvizsgálattal kiszűrhetők a recesszív állél szerinti heterozigóta emberek, mint például a sarlósejtes vérszegénység esetében. Ugyanakkor, ha valamely mutáns gén szerinti heterozigóta személyek lépnek házasságra, a recesszív allélek az utódokban homozigóta állapotba kerülhetnek és megjelenhetnek a fenotípusban. A heterozigóta szülőknél 25% az esélye beteg gyermek születésének.

Biztató a jövőre nézve a génterápiás módszer alkalmazása az orvosi genetikában.

Mi a génterápia?

A ***génterápia*** – orvosi eljárás, amely során a betegből bizonyos sejttípusokat (vér, bőr- vagy bélhám) különítenek el, egészségesekre cserélik a hibás alléljeiket, majd visszajuttatják őket a szervezetbe. Ennek köszönhetően a beteg ember szervezetében olyan fehérjék szintézise indulhat be, amelyek addig hiányoztak belőle. Egészséges emberek szervezetéből normális géneket vonnak ki, és génterápiás módszerrel másolatokat készítenek róluk (16.3. ábra).

Ahhoz, hogy géneket juttassanak be a sejtbe, hordozóra, úgynevezett *vektorra* van szükség. Erre a célra egyes vírusokat, például retrovírusokat alkal-



16.3. ábra. *Génterápiás módszer. A kéz bőréről (A) hámsejtet vesznek (B). A magjában (C) kromoszómák (D) találhatók. A normális géneket (E) a kromoszómákba juttatják. Normális géneket tartalmazó sejtek bejuttatása az ember szervezetébe (F)*

maznak. Az emberi vagy állati sejt citoplazmájába bekerülve ezek a vírusok mátrixként használt saját RNS-molekulájukon DNS-szálat szintetizálnak, majd ehhez hozzáépül a második szál. Ez a DNS a maghártyán áthatolva beépül a sejt kromoszomális DNS-ébe. Az eljárás utolsó szakaszában normális géneket tartalmazó sejteket juttatnak az ember szervezetébe (**F**).

Bizonyos onkológiai és fertőző betegségek esetén génterápiás módszerekkel elnyomható vagy fokozható (például a vér hemoglobintartalmának növelése céljából a sarlósejtes vérszegénységben szenvedő betegben) a normális sejtekre nem jellemző génaktivitás. A génterápia további alkalmazási területe: a sejtek immunreakciót növelő génmódosítása.

Összességében a mostanáig kidolgozott génterápiás módszerek 80%-a az emberi daganatos megbetegedésekkel kapcsolatos. Úgynevezett „gyilkos" gének bejuttatása a beteg szervezetébe elpusztítja a daganatsejteket. Különleges helyet foglalnak el a génterápiás eljárások között az AIDS elleni küzdelem céljából kifejlesztett módszerek. A tudósok olyan génmódosított sejteket állítanak elő, amelyek HIV elleni antitesteket termelnek.

Az örökletes betegségek molekuláris diagnózisa – az örökletes betegségeket okozó vagy azokra hajlamosító (Alzheimer-kór, tejmirigyrák, diabétesz, érelmeszesedés) allélek meghatározásának módszereire alapuló génterápiás irányzat. Az idejében felállított diagnózis lehetővé teszi a megelőzést vagy gyógykezelést még azt megelőzően, hogy megjelennének a betegség első tünetei.

Jegyezzétek meg: a génterápia célja – a betegséget okozó örökletes információ kijavítása vagy megsemmisítése.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Differenciációs génexpresszió, orvosgenetikai konzultáció, génterápia, az örökletes betegségek molekuláris diagnosztikája.*

Ismétlő kérdések. 1. Milyen tényezőktől függ az emberi fenotípus kialakulása? 2. Milyen szerepet játszik a magon kívüli öröklődés az emberi fenotípus alakításában? 3. Milyen tényezőktől függ a sejtek differenciációja? 4. Melyek az orvosi genetika feladatai? 5. Mi okozza az ember örökletes betegségeit és rendellenességeit? 6. Milyen formában jelenhetnek meg az emberi örökletes betegségek és zavarok? 7. Milyen vizsgálati módszereket alkalmaznak az orvosi genetikában? 8. Mi az orvosgenetikai konzultáció, és melyek a feladatai? 9. Mire használják a génterápiát?

Bonyolult feladat. Gondolkozzatok el azon, hogy miért járhat negatív következményekkel az ember örökletes anyagába való beavatkozás! Milyen etikai problémák vetődnek fel az orvosgenetikai szűrés során?

17. §. A KORSZERŰ NEMESÍTÉS FELADATAI ÉS MÓDSZEREI

A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: mi az állat- és növényfajta, a mikroorganizmustörzs, a tiszta vonalak, a génállomány? Milyen szerepet játszik a genotípus és a környezeti tényezők a fenotípus alakulásában? Milyen házassági formák léteznek, és melyek a következményeik? Mi a hibridizáció?

Az öröklestani kutatások gyakorlati alkalmazásának legfontosabb területe a ***nemesítés*** (***szelekció***). A nemesítés a modern mezőgazdaság és ipar követelményeinek megfelelő új növény- és állatfajták, baktériumtörzsek előállításának, meglévő tulajdonságaik javításának elméleti alapjait és módszereit kutató tudomány.

A genetikai kutatások mellett a nemesítés elméleti alapja a mesterséges kiválogatás elmélete. A nemesítőnek tökéletesen ismernie kell a nemesíteni kívánt fajok szaporodását, fejlődését és életműködését.

Melyek a nemesítés feladatai?

A nemesítés jelentős szerepet játszik a mezőgazdaság fő feladatának, az élelmiszerek legteljesebb körű és költségkímélő, kevés energia-befektetést igénylő termelésének a biztosításában.

Országunkban a nemesítő munka a tudományos kutatóintézetekben, állati és növényi fajtatenyésztő és -termesztő állomásokon összpontosul.

Jegyezzétek meg: a sikeres nemesítő tevékenységhez elengedhetetlen a tenyészanyag genetikai változatossága. A létező háziállatok, kultúrnövények, baktériumtörzsek génkészlete jelentősen behatárolt az ősi kiindulási fajokkal összehasonlítva. Ezt alapul véve a kutatók felderítik az őket érdeklő jellegeket a nemesítés tárházául szolgáló vad fajokban. Így érthető, hogy miért olyan fontos a vad fajok génállományának megőrzése.

Mik az állat- és növényfajták, a mikroorganizmus-törzsek?

Állat- és növényfajtának nevezzük valamely faj azon egyedeinek összességét, amelyeket az ember válogatott ki, és mesterségesen létrehozott, meghatározott örökletes jellegekkel (testfelépítés, életfolyamatok, hozam) rendelkeznek.

A ***törzs*** tiszta mikroorganizmus-tenyészet (amely egyetlen sejt utódaiból áll). Egyetlen anyasejttől többféle törzs is nyerhető. Ezek hozamukban, antibiotikumokkal szembeni érzékenységükben és egyéb tulajdonságaikban különbözhetnek egymástól.

Jegyezzétek meg: a természetes populációktól eltérően az állat- és növényfajták, a mikroorganizmus-törzsek, lévén mesterséges populációk, nem tudnak emberi gondoskodás nélkül huzamosabb ideig létezni, mivel elkorcsosulnak, azaz elvesztik az ember számára hasznos tulajdonságaikat.

A kutatók sokrétűen vizsgálják az új állat- és növényfajták tulajdonságait, tesztelik tenyésztésük vagy termesztésük lehetőségeit egy adott éghajlati övezetben, vagyis körzetesítik a fajtákat.

A ***körzetesítés*** – az állati és növényi fajtatulajdonságok alkalmasságának ellenőrzése egy adott éghajlati övezet feltételei között történő tenyésztésre, termesztésre vonatkozóan. A körzetesítés az állat- és növényfajták ésszerű felhasználásának elengedhetetlen feltétele bármelyik ország területén.

Melyek a nemesítés főbb módszerei?

A nemesítés klasszikus módszerei: a mesterséges kiválogatás és a hibridizáció.

A ***mesterséges kiválogatás*** – a gazdasági szempontból legértékesebb állatok, növények, mikroorganizmusok kiválogatása a kívánt tulajdonságokkal rendelkező utódok előállítása céljából.

17.1. ábra. *Kutyafajták: keressétek meg a képen a vad alanyt – a farkast – és a szolgálati, vadász-, valamint díszkutyákat*

17.2. ábra. *Wilhelm Ludwig Johannsen (1857–1927) dán tudós, aki 1909-ben az öröklődés-elméletről szóló könyvében használta elsőként a „gén", „genotípus", „fenotípus" kifejezéseket*

Az állat- és növényfajták kialakulása akkor kezdődött, amikor az ember elkezdett állatokat szelídíteni és növényeket termeszteni. A jelentős számú állat- és növényfajta azonban viszonylag kevés, egy vagy néhány vad őstől származik. Például az összes – közel 450 – kutyafajta ősének a farkast tekintik (17.1. ábra), míg a több mint 150 galambfajta őse a szirti galamb.

A mesterséges kiválogatás néhány egymást követő lépésből áll. Egy adott növény- vagy állatfaj sok egyede közül az ember szaporítás céljából kiválaszt olyan egyedeket, amelyek a nemesítőt érdeklő jellegekben különböznek a többiektől. Az elkülönített egyedek utódai közül kiválogatja azokat, amelyek örökölték szüleiktől a kívánt jellegeket, és meghagyja őket további szaporításra. Ennek megfelelően a kívánt jelleg folyamatosan erősödik nemzedékről nemzedékre, mivel további szaporításra azokat az egyedeket válogatják ki, amelyekben az a legkifejezettebb. Ez idővel a szervezet jelentős átalakulásához vezet, vagyis létrejön az új fajta.

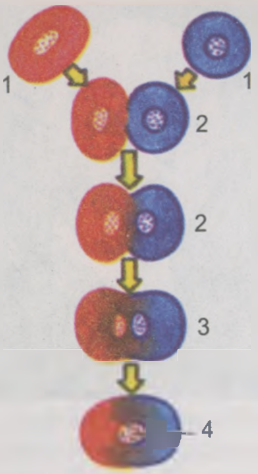
Az öntermékenyítő állatok vagy önbeporzó növények esetében a mesterséges kiválogatás csak addig lesz hatékony, amíg a genetikailag nem egynemű kiindulási egyedek csoportjából ki nem választják a tiszta vonalakat. Ezek homozigóták, a további mesterséges kiválogatás gyakorlatilag eredménytelen lesz, mivel esetükben az örökletes változások egyetlen forrását a mutációk jelentik. Amint azt W. L. Johannsen dán genetikus klasszikus kísérletében illusztrálta, amikor különböző önbeporzó babnövények magvait két csoportra válogatta szét aszerint, hogy, melyeknek legnagyobb, illetve legkisebb a tömegük. A tiszta vonalakon belül mindig kiválogatta a legnagyobb és a legkisebb babszemeket.

A mesterséges kiválogatás milyen formái ismertek?

A mesterséges kiválogatás lehet tömeges vagy egyedi. ***Tömeges kiválogatáskor*** a tenyészanyagból kiválasztják a nemesítés szempontjából értékes fenotípusú egyedeket. A tömeges kiválogatás egyszerű módszer, sőt az eredményei sem rosszak, de azért vannak hiányosságai. A fenotípus szerint hasonló egyedek genotípusukban eltérők lehetnek (például a domináns allélt tekintve vagy homozigóták vagy heterozigóták). Ez törvényszerűen kihat a kiválogatás hatékonyságára: a heterozigóta szervezeteket egymás között keresztezve az első hibridnemzedékben a jellegek változása a nemesítők által óhajtott irányba mozdul el, a továbbiakban azonban a homozigóta egyedek számának növekedésével a kiválogatás hatékonysága csökken.

Jobb eredményeket mutat az ***egyedi kiválogatás***, amikor továbbszaporításra olyan egyedeket hagynak meg, amelyeket fenotípusuk és genotípusuk vizsgálata alapján választanak ki. Ezeknek a szervezeteknek a genotípusáról törzskönyveikből, elemző keresztezés és egyéb módszerek alkalmazásával szerezhetők információk.

A nemesítés hatékonysága nem csupán a mesterséges kiválogatás formájától függ, hanem attól is, hogy megfelelő-e a szülőpárok kiválasztása, a szervezetek keresztezése, a hibridizációs módszer alkalmazása.



17.3. ábra. *Szomatikus sejtek hibridizációja: 1 – szülői sejtek; 2 – a citoplazma-összeolvadás kezdeti szakaszai; 3 – kétmagvú sejt képződése; 4 – hibrid sejt magvainak összeolvadása*

A hibridizáció ivaros szaporítással vagy nem ivarsejtek egyesítésével történik. A hibridek ivaros szaporodással vagy nem ivarsejtek egyesüléséből jönnek létre. Az utóbbi esetben a hibridsejtek magvai egybeolvadhatnak, vagy egymástól elkülönülve maradhatnak (17.3. ábra). Hibridizációval az utódok fenotípusában egyesülnek a gyakorlati felhasználás szempontjából fontos szülői jellegállapotok, és így megelőzhető a rokonkeresztezés negatív következményeinek megjelenése.

Milyen hibridizációs rendszerek léteznek?

Hibridizáció lehetséges egy fajon belül (*fajon belüli hibridizáció*) vagy különböző fajok, esetleg nemek között (*fajok közötti vagy távoli hibridizáció*). A fajon belüli hibridizáció lehet rokonkeresztezés vagy nem rokon keresztezés.

A **rokonkeresztezés** közvetlen közös elődökkel rendelkező szervezetek hibridizációja. A genetikai rokonság fokától függően az ilyen keresztezés kisebb-nagyobb mértékben lehet közeli. A legközelebbi rokonkeresztezés az önmegporzó növényeknél és az öntermékenyítő (hermafrodita) állatoknál figyelhető meg. A keresztezéssel termékenyülő szervezetek esetében a rokonkeresztezés legközelebbi formája a testvérek egymással vagy szülők saját utódokkal való keresztezése.

A rokonkeresztezés következtében a hibridek homozigóta jellege minden következő nemzedékben növekszik. Ez azzal magyarázható, hogy minél nagyobb a szülők genetikai hasonlósága, annál nagyobb a valószínűsége annak, hogy a különböző gének egyazon alléljei egyesülnek az utódok genotípusában. Az önmegporzó növényeknél már a 10. nemzedékben majdnem teljes (99,9%) a homozigótaság, a testvérek egymás közötti vagy a szülők utódokkal való keresztezésekor a 20. nemzedék után érhető el hasonló eredmény. Azonban valamennyi gént tekintve 100%-os homozigótaság nem érhető el a fellépő mutációk következtében.

A rokonkeresztezés negatív következményekkel – az utódok gyengülésével, elkorcsosodásával vagy pusztulásával – is járhat. Ez a letális vagy szubletális recesszív allélek homozigóta állapotba való átmenetének valószínűség-növekedésével magyarázható, ami a fenotípusban nyilvánulhat meg. A nemesítésben a rokonkeresztezést tiszta vonalak előállítására használják.

A **nem rokon keresztezés** egymással közvetlen rokoni kapcsolatban nem lévő szervezetek hibridizációja, azaz egy faj különböző vonalainak vagy fajtáinak keresztezése. Nem rokon keresztezéskor minden következő nemzedékben növekszik az utódok heterozigóta jellege. A nem rokon keresztezésből származó utódoknál gyakran figyelhető meg a heterózis vagy a hibriderő jelensége.

Heterózisnak azt a jelenséget nevezik, amikor a nem rokon keresztezésből származó hibridek első nemzedéke a szülői formáknál nagyobb életképességet és termékenységet mutat. A heterózisos egyedekben a recesszív letális és szubletális allélek heterozigóta állapotba mennek át, így kedvezőtlen hatásuk nem nyilvánul meg a fenotípusban. Ezenkívül a hibrid egyedek genotípusában egyesülhetnek mindkét szülő hasznos domináns alléljei. Ez végső soron előidézheti a nem allél gének domináns alléljeinek kölcsönhatását (*mondjatok példákat*). Egyes jellegállapotok teljesebb formában nyilvánulnak meg a heterozigótákban, mint a homozigótákban. Biokémiai vizsgálatokkal bebizonyították, hogy a heterózisos szervezetekben a szülőkénél több és aktívabb enzim található.

17.4. ábra. *A heterózis megnyilvánulása a tyúkoknál: 1 – kiindulási fajták; 2 – Cornish-tyúk és Plymouth-tyúk; 3 – broilerek (heterózisos hústyúkok)*

17.5. ábra. *Fajközi hibridek: 1 – ló és szamár hibridje – összvér; 2 – ló és zebra utóda; 3 – búza és tarackbúza keresztezéséből létrejött növény*

A heterózis legkifejezettebben az első hibridnemzedék egyedeiben nyilvánul meg. A következő nemzedékekben a jellegek hasadásának és a gének egy részének homozigóta állapotba való átmenetének köszönhetően a heterózishatás gyengül, és a nyolcadik nemzedékben teljesen eltűnik. A növényeknél a heterózishatás vegetatív szaporítással, a kromoszómaszám megkettőzésével vagy partenogenetikus szaporítással rögzíthető. A heterózis a hibrid egyed egyes jellegeiben kifejezettebb formát ölthet anélkül, hogy más jellegeket érintene.

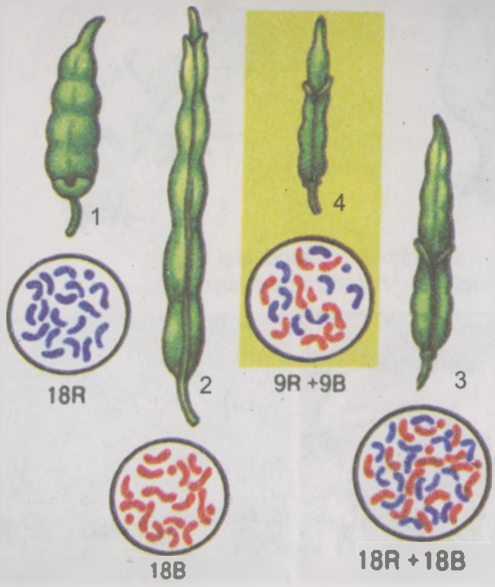
A heterózis jelenségét kiterjedten alkalmazzák a mezőgazdaságban, mivel jelentősen növeli a hozamot (például a kukoricánál 20–25%-kal). A heterózishatás jól megfigyelhető a zöldségféléknél (vöröshagymánál, paradicsomnál, uborkánál, padlizsánnál, cukorrépánál). Az állattenyésztésben a különböző fajták keresztezése gyorsítja a növekedést és az ivarérést, javítja a hús és a tej minőségét (17.4. ábra).

A különböző, tojástermelő tyúkfajták egymással (például leghorn és australorp) való keresztezése 20–25%-kal növeli a hibridek évi tojáshozamát. A broilereknél (hústermelő hibridek) a heterózis gyorsítja a növekedést és javítja a hús minőségét.

A nemesítés sikerrel kecsegtető távlati módszere a **távoli hibridizáció**, ami nem más, mint a különböző fajú, sőt nemű egyedek keresztezése abból a célból, hogy a hibridek genotípusában egyesítsék a különböző fajok értékes örökletes jellegeit (17.5. ábra). Távoli hibridizációs módszerrel hozták létre a búza és a tarackbúza, a búza és a rozs nagyhozamú és a ledőléssel szemben ellenálló hibridjeit. A ló és a szamár ismert hibridje az öszvér, amely erejével, kitartásával, hosszú életével üt el a szülői fajoktól. A viza és a kecsege hibridje (vicsege) gyorsan nő és ízletes húsú.

Hogyan küszöbölhető ki a fajközi hibridek meddősége?

A nemesítők gyakran találják szembe magukat a terméketlenség (meddőség) problémájával a fajközi hibrideknél. Ezek ivarsejtjei ugyanis nem érnek meg. Még a szülői kariotípus azonos kromoszómaszáma esetén is előfordul,



17.6. ábra. A káposzta-retek fajközi hibrid: 1 – retek és kromoszómakészlete (2n = 18); 2 – káposzta és kromoszómakészlete (2n = 18); 3 – termékeny tetraploid hibrid (4n = 36); 4 – diploid (2n) steril hibrid

hogy a hibridek kromoszómái mind méretükben, mind szerkezeti sajátosságaikban különböznek egymástól, ezért nem konjugálódhatnak a meiózisban. Különösen bonyolult a meiózis a szülői formák eltérő kromoszómaszámú kariotípusa esetén. Például az öszvérek szaporodásképtelenek; a jak és a szarvasmarha hím hibridjei terméketlenek, míg a nőstények termékenyek.

A növényi fajközi hibridek terméketlenségének kivédésére elsőként Georgij Dmitrovics Karpecsenko (1899–1942) dolgozott ki módszert 1924-ben a káposzta és a retek hibridjére támaszkodva. Ennek a hibridnek a fenotípusa köztes helyet foglal el a szülői fenotípusok között (17.6. ábra). Jóllehet a káposzta és a retek a keresztesvirágúak családjának két különböző nemzetsége, a kromoszómaszámuk azonos. Ennek ellenére a Karpecsenko által létrehozott hibrid terméketlennek bizonyult, mivel a káposzta-kromoszómák nem konjugáltak a retek-kromoszómákkal a meiózisban. Ekkor a kutató megduplázta a hibrid kromoszómaszámát. A hibrid nem ivarsejtjeinek magjában a szülőfajok két teljes kromoszómakészletét kapta. Ennek eredményeként rendben ment végbe a meiózis a poliploid formában: mindegyik káposzta-kromoszómapár a káposzta-kromoszómákkal, a retek-kromoszómapárok pedig retek-kromoszómákkal konjugáltak. A gaméták mindegyikébe mind a káposzta, mind a retek egy-egy haploid kromoszómakészlete került.

Melyek a kultúrnövények származásának és változatosságának centrumai?

A növénytermesztésre és állatok háziasítására ugyan már 20–30 ezer évvel ezelőtt történtek kísérletek, de tömegméretűvé a földművelés és az állattenyésztés csak az utóbbi 4–6 ezer évben lett.

A kultúrnövények származásának és változatosságának centrumait Nyikolaj Ivanovics Vavilov tanulmányozta. A XX. század 20–30-as éveiben a tudós számos kutatóexpedíciót vezetett bolygónk különböző vidékeire. Kutatómunkájának köszönhetően sikerült meghatározni az egyes kultúrnövényfajok sokféleségének centrumait. Vavilov megállapította, hogy a kultúrnövények sokféleségének centrumai egyben származási területük is. A kultúrnövényfajok származási központjai egyben vad őseik areáljának a részeit képezik, ahol valószínűleg termeszteni kezdték őket. A tudós levonta a következtetést: ***a kultúrnövények változatosságának centrumai egyidejűleg a származási területük is*** (17.1. tábl.).

Az a tény, hogy sikerült meghatározni a kultúrnövények származásának és sokféleségének a centrumait, útmutatásul szolgált a kutatóknak, hol kell keresniük a nemesítés törzsanyagát. N. I. Vavilov expedícióinak köszönhetően sikerült létrehozni egy páratlan gyűjteményt közel 1600 kultúrnövény magvai-

ból, amit máig eredményesen használnak a szelekcióban. A tudós a kultúrnövények származásának és sokféleségének 7 centrumát állapította meg. A kultúrnövények vad fajokhoz fűződő rokoni kapcsolatait átfogó összehasonlító-alaktani elemzéssel, elsősorban a kariotípus, valamint a biokémiai, molekuláris-biológiai és a fiziológiai sajátosságok vizsgálatával derítették ki.

17.1. táblázat

A kultúrnövények sokféleségének és származásának központjai (N. I. Vavilov szerint)

A központ neve	Elhelyezkedése	Onnan származó fajok
Dél-ázsiai trópusi	India trópusi vidékei, Indokína, Dél-Kína, Délkelet-Ázsia szigetvilága	rizs, cukornád, uborka, citrusfélék, banán
Kelet-ázsiai	Közép- és Kelet-Kína, Japán, Korea, Tajvan	szója, pohánka, alma, körte, szilva, eper, néhány kölesfajta
Délnyugat-ázsiai	Kis-Ázsia, Közép-Ázsia, Irán, Afganisztán, Északnyugat-India	borsó, lencse, egysoros búza vagy alakor, rozs, árpa, zab és más szemes termények, hüvelyesek, sárgarépa, vöröshagyma, gyapot, len, szőlő, kajszibarack, mandula,dió
Földközi-tengeri	Földközi-tenger melléki országok	cukorrépa, káposzta, olajbogyó, lóhere, csillagfürt
Abesszíniai	Abesszin-magasföld, részben az Arab-félsziget	kemény búza, cirok, egy banánfaj
Közép-amerikai	Dél-Mexikó, Karib-tengeri szigetek	kukorica, paprika, dinnye, dohány, kakaó, hosszúszálú vagy felföldi gyapot, napraforgó
Dél-amerikai (andesi)	Andok-hegység egy része Dél-Amerika partvidéke mentén	burgonya, paradicsom, földimogyoró, ananász, kínafa

A több mint 25 000 fajt számláló kultúrnövények között termesztési céljuktól függően megkülönböztetnek élelmiszernövényeket, gyógynövényeket, ipari növényeket (olajnövények, rostnövények), takarmánynövényeket, dísznövényeket. A tudósok első termesztett kultúrnövényekként a kukoricát, a dinnyét, a kókuszpálmát, az árpát, a búzát, a hagymát, a rizst és a veteményborsót tartják számon. A kutatások kimutatták, hogy egyes kultúrnövények a természetben nem fordulnak elő (például a vöröshagyma), míg mások manapság is elterjedtek a természetes ökoszisztémákban (például a vad káposzta, sárgarépa). Egyes kultúrnövényeket az ember távoli hibridizációval állított elő (például az olajrepcét, a káposzta és a repce hibridjét). A szelekció eredményeként a növénynemesítők a kultúrnövények sok fajtáját (a búzának például több mint 4 000, a dohánynak 8 000 fajtáját) termesztették ki.

Jóllehet a földművelés a mai Ukrajna területén több mint 5 évezredes múltra tekint vissza, szinte valamennyi jelenleg termesztett növény más vidékekről származik. Ugyanakkor ezeknek a növényeknek sok fajtáját országunkban

17.7. ábra. Virágzó tulipán (Tulipa Schrenkii) az ukrán sztyeppén

állították elő. Az egyetlen kultúrnövényfaj, amelyet a krími tatárok termesztettek ki a mai Ukrajna területén, a Krími Kánság idején, a sztyeppei övezetben honos tulipán (Tulipa Schrenkii) (17.7. ábra). Ez Törökországon át jutott el Európába, és a XVI. sz. végétől kezdve fokozatosan Hollandia vált a tulipán mint dísznövényfaj nemesítési központjává.

A állatok háziasításának és a háziállatfajták származásának milyen körzetei ismertek?

A háziasítás és a háziállatfajták származási helye kapcsolódik a földművelés ősi centrumaihoz (17.2. tábl.), ugyanakkor a háziállatok származási centrumainak meghatározása jóval nehezebb feladat, mint a kultúrnövényeké. Ez azzal magyarázható, hogy a háziállatok vad őseinek jelentős volt az elvándorlása az ősi élőhelyek határain kívülre, ezért jelenleg nehéz a származási helyek meghatározása. A háziasítás történhetett az ősi élőhely bármely területén, ám a fajták további elterjedése már nem a természetes létfeltételekkel, hanem az emberi tevékenységgel volt kapcsolatos. Őseik csoportos életmódot folytattak, ami megkönnyítette háziasításukat. A háziasítás során az állatok testfelépítésében, életműködésében és viselkedésében jelentős változások történtek.

17.2. táblázat

Egyes háziállatok ősei

Háziállatok	Őseik
Házi kutya	Farkas
Házi macska	Sztyeppei vagy líbiai macska
Birka	Muflon és argali juh
Ló	Tarpán
Szarvasmarha	Őstulok
Házi sertés	Vaddisznó
Házi tyúk	Vad bankiva tyúk
Házi kacsa	Vadkacsa – tőkés réce
Házi liba	Szürke lúd
Házi pulyka	Vad amerikai pulyka
Ponty	Tőponty

A legkorábban, mintegy 10–15 ezer éve háziasított állat a **kutya**, amelyet kezdetben őrzésre és vadászatra használt az ember. Feltételezések szerint a kutya háziasítása Eurázsia több körzetében folyt. Mintegy 6 ezer éve az ókori Egyiptomban megszelídítették a **macskát**, hogy megvédjék a termést a rágcsálóktól. Több mint 5 ezer éve kezdődött Kínában a selyemhernyó tenyésztése. Nagyjából ebben az időben keletkezett a méhészet Eurázsia trópusi és szubtrópusi területein. A selyemhernyó és a mézelő méh vadon nem él, ez a két faj kizárólag háziállat. Az állatok és növények háziasítása napjainkban is tart.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Nemesítés (szelekció), mesterséges kiválogatás, körzetesítés.*

Ismétlő kérdések. 1. Mi a nemesítés? Milyen feladatai vannak a korszerű nemesítésnek? 2. Mi a körzetesítés? Milyen célból alkalmazzák? 3. Mitől függ a mesterséges kiválogatás hatékonysága? 4. Mi a hibridizáció? Milyen módokon alkalmazzák? 5. Mi a nem rokon keresztezés, és milyenek a következményei? 6. Mi a távoli hibridizáció? Milyen célból alkalmazzák? 7. A kultúrnövények származásának és változatosságának mely centrumait fedezte fel Vavilov? Milyen jelentősége volt a nemesítésben annak, hogy sikerült meghatározni a kultúrnövények származási és változatossági centrumait?

Bonyolult feladat. Gondolkozzatok el azon, hogy az állatok fajközi hibridjeinek terméketlensége miért nem küzdhető le poliploid formák kialakításával!

18. §. A NÖVÉNYEK, ÁLLATOK ÉS MIKROORGANIZMUSOK NEMESÍTÉSÉNEK SAJÁTOSSÁGAI. BIOTECHNOLÓGIA. GÉNSEBÉSZET ÉS SEJTTERVEZÉS

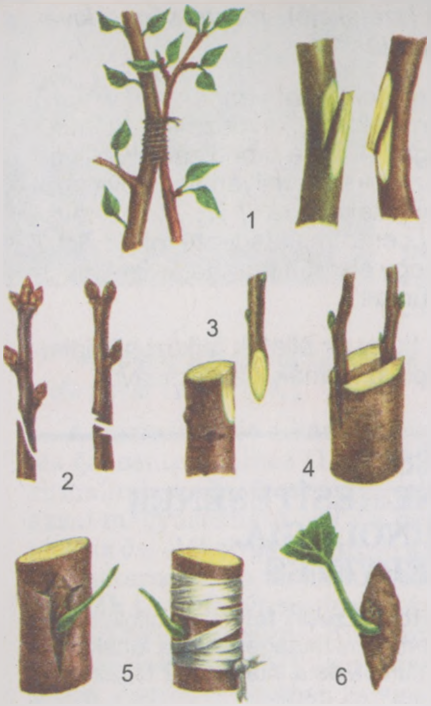
A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: mi a poliploidia és hogyan hat a szervezet fenotípusára? Mi a mesterséges mutagenezis, a fajtakörzetesítés, a heterózis, a klónozás? Mik az antibiotikumok és a vitaminok? Mi az oltás és milyen célból végzik? Mik a plazmidok?

Az élőlények különböző csoportjainak (állatok, növények, mikroorganizmusok) nemesítése eltérő biológiai tulajdonságaik miatt különböző módon folyik.

Milyen sajátosságai vannak a növénynemesítésnek?

Annak köszönhetően, hogy a növények esetében nagy mennyiségű tenyészanyag áll rendelkezésre, a növénynemesítésben mód van a mesterséges kiválasztás különféle – egyedi és tömeges – módszereinek alkalmazására. A növénynemesítésben a hibridizáció különböző formáit alkalmazzák: rokonkeresztezést, nem rokon keresztezést és fajok közötti keresztezést. Mint ismeretes, a fajok közötti hibridek gyakran terméketlenek. Ugyanakkor szaporíthatók vegetatív úton vagy önmegporzással. Azonkívül a fajok közötti hibridek terméketlensége megszüntethető kromoszómaszámuk megkettőzésével, azaz poliploid formák kialakításával. Ezek a formák a kiindulási diploid formákkal összehasonlítva nagyobb méretűek, intenzívebb az élettevékenységük és nagyobb a produktivitásuk. Nagy produktivitású hibrideket állítottak elő a búza és tarackbúza keresztezésével (a zöldmasszájuk hektáronkénti tömege eléri a 300–450 mázsát), amelyek nem dőlnek le; keresztezték a búzát és a rozst, több gyümölcs- és bogyótermő növényt (például a málnát szederrel, a szilvát kökénnyel). Poliploid kromoszómakészletűek (a rokon vad ősökkel összehasonlítva) különböző kultúrnövények: a burgonya, a földieper, a cukorrépa, lágy búza, kukorica, rozs, köles. A növénynemesítésben fontosak a haploid kromoszómaszámú mutánsok. A kromoszómaszám mesterséges megduplázásával gyorsan elő tudnak állítani a gének többségét tekintve homozigóta formákat.

A növénynemesítésben széleskörűen alkalmazzák az **oltást** (18.1. ábra), a különböző növényrészek mesterséges egyesítésének sajátságos módját. Azt a növényi szervet, amelyet átültetnek egy másik növény sebhelyébe, *oltóvesszőnek vagy oltórügynek*, népiesen *szemnek* nevezzük, míg a növényt, amelybe az



18.1. ábra. *Oltási módszerek: 1 – közelítőoltás; 2 – párosítás; 3 – oldalékező oltás; 4 – ékoltás; 5 – szemzés; 6 – héj alá oltás*

átültetés történik – *alanynak*. Az oltás a valódi hibridizációtól abban különbözik, hogy az alany fenotípusának nem örökletes változásait idézi elő, miközben az alany és az oltvány genotípusa nem változik. Az oltást különböző céllal alkalmazzák: a fenotípus kívánt változásainak rögzítésére az oltóvessző és az alany tulajdonságainak egyesítésével, és azok általánossá tételére az egész újonnan létrehozott szervezet tekintetében (például a hidegtűrő vad alanyba melegebb éghajlati körülmények között tenyésző, nagy produktívitású gyümölcsfákról származó oltószemeket beoltva egyesülnek az oltószem ízletes gyümölcsöt termő tulajdonságai az alany hidegtűrésével).

A gyümölcstermő növények fajtáinak többsége a nem ivarsejtek mutációinak következtében keletkezett, így ezek a fajták magról szaporítva visszatérnek a szülői formák fenotípusához. Vagyis tulajdonságaik megőrzésének egyetlen módja a vegetatív szaporításuk.

Az alany és az oltóvessző kölcsönhatásaként olyan új hasznos tulajdonságok nyerhetők, amelyek további nemesítési célokra használhatók fel.

A hibridek oltással nyert hasznos tulajdonságainak megtartásáról folyamatosan gondoskodni kell az oltás periodikus ismétlésével, így elkerülhető a fajta elkorcsosodása, azaz visszatérése a vad elődök tulajdonságaihoz.

A növénynemesítésben a hibridizáció különböző formáit együtt alkalmazzák mutagén tényezők hatásával. A kapott mutáns utódok további kiválogatásával a kultúrnövények, mindenekelőtt pázsitfűfélék új fajtáinak százait állítják elő (búza, rozs, árpa, kukorica), amelyek tulajdonságaikban felülmúlják a kiindulási formákat.

Melyek az állatnemesítés sajátosságai?

Az állatnemesítésben nem alkalmazhatók a növények nemesítésekor alkalmazott módszerek, mivel az állatok kizárólag ivaros úton szaporodnak. A fajok közötti terméketlen hibridek nem szaporíthatók vegetatív úton. Az állatok nemesítésében nem alkalmaznak tömeges kiválasztást, mivel kevés utódot hoznak világra, itt minden egyed jelentős értéket képvisel.

Az állati szervezet nagyfokú integrációja következtében a nemesítő munka során számításba kell venni a *korrelatív változékonyságot*, vagyis azt, hogy az egyik jelleg változásával módosulhat a hozzá genetikusan kapcsolódó másik jelleg. Például a végtagok meghosszabbodásával megnyúlik az állatok nyaka, a testhossz növekedésével elvékonyodik a sertés szalonnája.

Az állatnemesítésben rokonkeresztezést (egyes gének homozigóta formába való átvitele céljából) és nem rokon, távoli keresztezést (új fajták előállítására) alkalmaznak. Mivel a rokonkeresztezés gyakran rontja a szervezet életképességét, ezért csak a nemesítés meghatározott szakaszában alkalmazzák. A rokonkeresztezés negatív hatásait különböző vonalak vagy fajták keresztezésével szüntetik meg, ami elősegíti a káros recesszív allélek heterozigóta állapotba

18.2. ábra. *A Jersey (1) és Berkshire (2) disznófajták keresztezésével heterózisos egyedeket nyernek*

való átvitelét. Széleskörűen alkalmazzák az állatnemesítésben a heterózis jelenségét. Például egyes sertésfajták (18.2. ábra) keresztezésével előállított utódok nem egészen egy év alatt elérik a 300 kg testtömeget.

Az ember számára fontos örökletes jellegek valamelyik ivar egyedeinél nem okvetlenül nyilvánulnak meg a fenotípusban. Például a szarvasmarha hím egyedeinek nincsenek olyan jegyei, amelyekből nagy tejhozamra, vagy a tej magas zsírtartalmára lehetne következtetni, vagy a kakasoknál nincsenek a tojáshozam mértékére utaló jellegek. Ezért a tulajdonságok jellegének ismerete céljából alkalmazzák *a tenyészállatok minőség-meghatározásának módszerét utódaik minősége alapján.* Az eljárás lényege az, hogy a meghatározott nemű tenyészállat ellentétes nemű utódainak produktivitását összehasonlítják a fajta átlagos hozamával. Ha az utódok produktivitása meghaladja az átlagot, akkor ezek a tenyészállatok használhatók a további nemesítésben. Azonban az ilyen tenyészállatok alkalmazhatóságának ideje behatárolt, mivel évekig eltarthat a minőség-meghatározásuk utódaik tulajdonságai alapján. Ennek elkerülése végett a tenyészállatok ivarsejtjeit mélyhűtéssel tárolják, majd mesterséges megtermékenyítéssel nyernek kellő számban a másik nemhez tartozó utódokat.

Milyen a mikroorganizmusok nemesítésének fő iránya?

A mikroorganizmusokat (prokariótákat és egyes mikroszkopikus eukariótákat, például élesztőgombákat) napjainkban széleskörűen alkalmazzák a gazdaság különböző ágazataiban. Az ember mikroorganizmusok felhasználásával állít elő különböző antibiotikumokat, vitaminokat, aminosavakat, hormonokat. Az élesztőgombákat a sütőiparban, szeszgyártásban, borászatban, sörfőzésben alkalmazzák. A mikroorganizmusoknak sok olyan tulajdonságuk van, melyeket figyelembe kell venni a nemesítés során. Először is, a mikroorganizmusok zömére nem jellemző az ivaros folyamat, így a hibridizáció ezeknél a szervezeteknél nem alkalmazható. A tenyészanyag változatosságának növelése céljából mutagén tényezők hatását alkalmazzák, majd kiválogatják a legnagyobb hozamú törzseket további nemesítés céljából, de alkalmazzák a génmanipuláció és sejttechnológia módszereit is.

Sok baktérium haploid kromoszómakészletű vagy gyűrűs a DNS-molekulája, ezért a mutációk már az utódok első nemzedékében megjelennek. A mikroorganizmusok gyors szaporodásának következtében rövid idő alatt jelentős mennyiségű mutáns nyerhető. Egyes esetekben mesterséges úton keresztezik a különböző baktériumtörzseket bakteriofág vírusok segítségével, amelyek képesek átvinni az örökletes információt egyik baktériumból a másikba, s mesterségesen egyesítik különböző törzsekhez vagy fajokhoz tartozó sejtek örökletes anyagát.

Mi a biotechnológia?

A ***biotechnológia*** – ipari eljárások összessége, amelyekben élő szervezeteket vagy biológiai folyamatokat alkalmaznak.

18.3. ábra. A kaliforniai gilisztát széleskörűen alkalmazzák komposztálásra (növényi maradványok és állati ürülék keveréke). Nemesítéssel a giliszták nagy termelékenységű poliploid változatait állították elő

Mikroorganizmusok felhasználásával állítanak elő különféle antibiotikumokat, vitaminokat, aminosavakat, hormonokat. Az élelmiszer- és takarmányiparban nagy termékenységű törzsek felhasználásával élelmiszereket (sajtokat, egyéb tejtermékeket, sört) és takarmányfehérjéket (silót, takarmányélesztőket) állítanak elő.

Kitenyésztettek olyan gombafajokat, amelyek képesek takarmányfehérjét termelni a növénytermesztés hulladékaiból, sőt kőolajból és kőolajtermékekből is. Mikroorganizmusokkal állítják elő az étkezési citromsav zömét. Olyan baktériumtörzseket hoztak létre, amelyek képesek kivonni a ritkaföldfémeket és nemesfémeket azok érceiből és ipari hulladékokból.

Biotechnológiai módszereket alkalmaznak környezetvédelmi problémák megoldására, például a szennyvizek és a talaj megtisztítására kommunális és ipari szennyezésektől. A biológiai tisztítás módszere azon alapszik, hogy egyes baktériumok képesek lebontani a környezetbe kerülő szerves anyagokat. A mesterségesen előállított baktériumtörzsek olyan vegyületeket is képesek lebontani, amelyek ellenállnak a természetben előforduló mikroorganizmusok hatásának. Szennyvizek és víztárolók tisztítására egyes baktériumoknak, algáknak és egysejtű állatoknak azt a tulajdonságát alkalmazzák, hogy a sejtjeikben bizonyos vegyületeket halmoznak fel.

Egyes mikroorganizmus-törzseket és bizonyos élősködő gyűrűsférgek, kullancsok és rovarok mesterségesen létrehozott populációit a mezőgazdasági és erdei kártevők, a háziállatok és az ember ízeltlábú parazitái, valamint vérszívó élősködői ellen biológiai módszerekkel folytatott küzdelemben alkalmazzák.

A nagy állattenyésztő és baromfitelepeken sok légyfaj lárváit biotechnológiai beavatkozással az ürülék gyors elbontására használják. A szerves hulladékok feldolgozására ugyanilyen módon alkalmaznak egyes földigilisztafajokat (18.3. ábra).

A biotechnológiai módszereket használó mezőgazdasági ágazatok a 18.1. táblázatban vannak feltüntetve.

18.1. táblázat

A biotechnológia alkalmazása a gazdaságban

Technológia	Gazdasági ágazat				
	Egészségvédelem	Élelmiszeripar	Mezőgazdaság	Energiaszektor	Vegyipar
Erjedés	Enzimek, vitaminok, aminosavak, diagnosztikai készítmények	Citromsav, enzimek, biopolimerek, borászat, sörfőzés	Kártevők elleni biológiai készítmények	Energiahordozók (etanol, biogáz)	Etilén, aceton, butanol

A 18.1. táblázat folytatása

Technológia	Gazdasági ágazat				
	Egészségvédelem	Élelmiszeripar	Mezőgazdaság	Energiaszektor	Vegyipar
Génsebészet	Interferonok, hormonok, vakcinák		Kártevők elleni biológiai készítmények		
Sejttechnológia (sejt- és szövettenyészetek)	Interferonok, vakcinák, antitestek	Takarmányfehérjék	Háziállatok klónozása		

Milyen módszerei és vívmányai vannak a génsebészetnek?

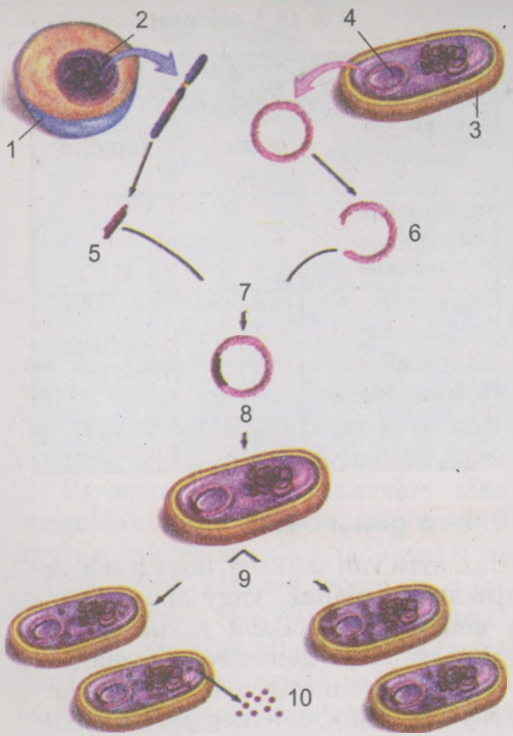
A szervezetek genomjának átalakításához arra van szükség, hogy a sejt genomjából egyes géneket vagy géncsoportokat kivonjanak, vagy abba azokat beépítsék. A szintetizált vagy kivont gének hordozóiként vírusokat és plazmidokat használnak. A valamely gént tartalmazó genomból kivonják az iRNS molekulát, amelyen komplementer DNS-szál szintetizálódik. Így jön létre a DNS-RNS komplexum, melyből az iRNS-t kivonják, és a megmaradt DNS-szálon – a komplementaritás elvének megfelelően – másikat szintetizálnak. Az így előállított DNS-molekulát beépítik a vivő szerepét betöltő plazmid DNS-molekulájába.

Más módszer az átvinni kívánt DNS-molekula fragmentációja. A DNS-molekula fragmentumait egyesítik a vivő DNS molekulájával, amelyet előzőleg lineárissá alakítanak. Az eukarióták egyik sejtjéből a másikba a metafázis állapotában levő kromoszómákat viszik át. Az ilyen kromoszómák általában fragmentumokra esnek szét, és az utóbbiak közül egyesek elvesznek, míg mások beépülnek a gazdasejt kromoszómájába.

Az eukarióták és a növények sejtjeibe a DNS-molekulák hordozóeszköz nélkül is bevihetők, például üvegtű (DNS-mikroinjekció) segítségével. DNS-molekulákat és egész kromoszómákat *liposzómákkal* visznek be. Ezek kettős lipidburokkal körülvett, 100 nm átmérőjű golyócskák. A DNS-molekulákat a liposzómák belsejébe juttatják, majd beviszik őket a sejtbe. A lipidréteg megóvja a DNS-t attól, hogy elbontsák a sejt enzimjei.

A génsebészeti kutatások objektumai többségükben prokarióták. Például baktériumok genomjába a patkány és az ember inzulinszintéziséért felelős géneket ültették be. Az inzulin hormonra a cukorbetegeknek van szükségük (18.4. ábra).

Génsebészeti eljárásokkal olyan interferonokat állítottak elő, amelyek megóvják az emberi és állati szervezetet a vírusfertőzésektől, például az influenzától, és gátolják a vírusok szaporodását, továbbá növekedési hormont szintetizáltak, amellyel gyógykezelhető a törpenövés. Ugyanígy készítettek oltóanyagot a diftéria és a B típusú hepatitisz ellen is. Évről évre növekszik azoknak a gyógyszerkészítményeknek a sora, melyeket génsebészeti módszerekkel állítanak elő.



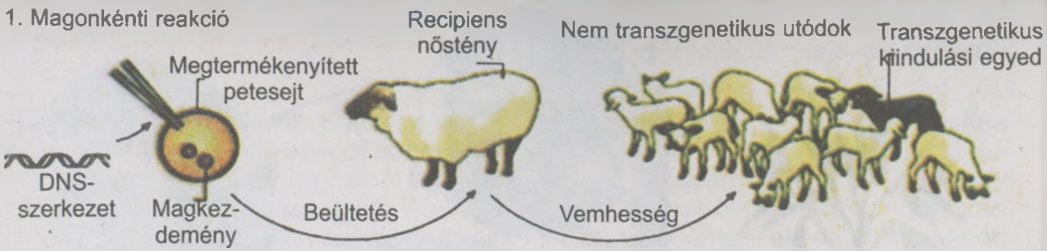
18.4. ábra. *Gén bevitele a baktériumsejtbe: 1 – emberi sejt; 2 – az emberi sejt DNS-molekulája; 3 – baktériumsejt; 4 – baktériumplazmid; 5 – inzulint kódoló gén; 6 – a baktériumplazmid enzim általi bontása; 7 – egy másik enzim baktériumlazmiddá varrja össze az inzulin hormon génjét, DNS-rekombinációt létrehozva; 8 – a plazmid hordozóeszközt bejuttatják a sejtbe; 9 – a baktériumsejt szaporodása során végbemegy az inzulin génjének klónozása; 10 – a szintetizált inzulin molekulái*

A génsebészeti eljárásoknak nagy jövője van. A fentebb felsorolt gyakorlati kérdések (a mikroorganizmus-törzsek produktivitásának növelése, vitaminok, hormonok, enzimek termeléséért felelős gének beültetése prokarióta sejtekbe) megoldása mellett a génsebészet képes lesz arra, hogy a hibás alléleket normálisakkal helyettesítse az egyedfejlődés korai szakaszában, vagy hogy egy genomban egyesítse különböző szervezetek örökletes információját. A prokarióták légköri nitrogén megkötéséért felelős génjeinek a magasabbrendű növények sejtjeibe való átültetésével jelentős mértékben csökkenteni lehetne a jövőben a nitrogénműtrágyák előállítására és talajba való juttatására fordított költségeket.

A biológia legkülönbözőbb ágazataiban felhalmozott hatalmas mennyiségű ismeretanyagnak köszönhetően, beleértve a különféle fajok kromoszóma és genom DNS-nukleotid-szekvenciáinak megfejtését, létrejött egy új tudományág, a ***bioinformatika***. Ennek egyik irányzata a matematikai módszerek és számítástechnikai eszközök alkalmazása a megszerzett információ tárolására és elemzésére.

Manapság nagy figyelem irányul a génmódosított vagy transzgenetikus szervezetekre. Például génsebészeti módszerekkel a növények genomjába olyan géneket építenek be, amelyek ellenállóvá teszik őket a rovarirtó szerekkel, kártevőkkel, betegségek kórokozóival és a környezet kedvezőtlen tényezőivel szemben. Egyes burgonyafajták genomjába baktériumgéneket juttatnak be, s ezek ehetetlenné teszik a növényt a burgonyabogár számára. A génmódosított szervezetek általában nagy produktivitásúak, aminek fontos jelentősége lehet az emberiség élelmiszerproblémáinak a megoldását tekintve.

Az Amerikai Egyesült Államokban, Kanadában, Argentínában és más országokban 1996-tól elkezdték tömegesen termelni a génmódosított növényeket. Azonban ezekkel a növényekkel óvatosan kell bánni, amíg nem mennek át sokoldalú vizsgálatokon és ellenőrzésen. Vannak arra vonatkozó adatok, hogy a genetikailag módosított növények élelmiszerként való fogyasztása az embereknél ételallergiát, mérgezést és egészségkárosodást okoz. Nem tudható az sem, hogy az elfogyasztásuk miként hat az emberi genotípusra, vagy hogy a génmódosított szervezeteknek milyen a természetes ökoszisztémákra, azok biológiai sokszínűségére kifejtett hatása. A génmódosított szervezetekkel kapcsolatos vita nyomán Ukrajnában elfogadták a genetikai-génsebészeti tevé-



18.5. ábra. Transzgenetikus állatok tenyésztése

kenységet szabályozó állami biológiai biztonsági rendszerről[1] szóló törvényt. Ez a jogszabály kötelezően előírja a génmódosított szervezetek alkalmazásával kapcsolatos kockázat felmérését. Génmódosított állatok létrehozása bonyolultabb, mint a növényeké. Az utódokat, miután a recipiens anyák a világra hozták őket, megvizsgálják, hogy megvannak-e bennük a beépített gének. Ennek érdekében a valószínűleg génmódosított élőlényeket szokványos szervezetekkel keresztezik. Ha bebizonyosodik, hogy az utódokban megvannak a beültetett gének, akkor egymással keresztezik őket tiszta transzgenetikus vonalak létrehozása céljából. Az ilyen nemesítő munka elég gyorsan eredményt hoz, például génmódosított kecskék kis csoportjának a kitenyésztése mindössze 1,5–2 évig tart.

A szervezetek genomjaival való manipulációk a technikai nehézségek mellett még etikai problémákat is felvetnek. A gerinces állatok, de főképp az ember genotípusába való legjobb szándékú beavatkozás is beláthatatlan következményekkel járhat.

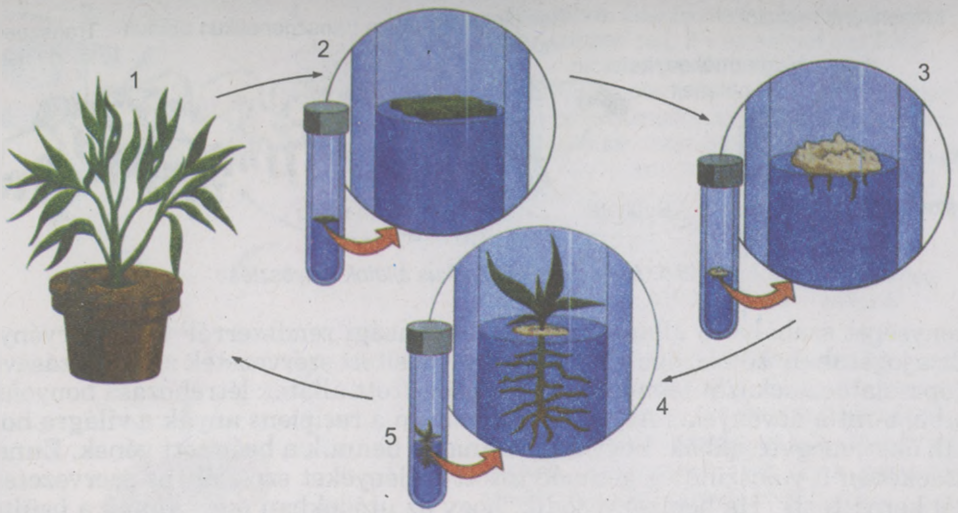
A génmanipulációs kísérletek rendkívüli jelentőségűek az elméleti biológia szempontjából is. Ezeknek a kísérleteknek köszönhetően fontos felfedezések történtek a gének finomszerkezetére, működésére, a különböző szervezetek genomjainak struktúrájára vonatkozóan. A génmanipulációs eljárások további fejlődése génbankok létrehozásával kapcsolatos. A génbankok különböző szervezetek génjeinek gyűjteményei.

Mi a sejttenyésztés és szövettenyésztés?

A *sejt- és szövettenyésztés* – a biotechnológia egyik ága, amely sejtek szervezetből való kinyerésének, átalakításának és táptalajokon való tenyésztésének a módszereit alkalmazza. Az ilyen tenyészetek révén megfelelő mennyiségben termelhetők vitaminok, hormonok, növényi hormonok, gyógyszerek (például a ginseng-gyökér kivonata), ami jelentősen csökkenti a készítmények önköltségét. A sejt- és szövettenyészetekkel különböző kísérleteket, vizsgálatokat végeznek, például kutatják a gyógyszerkészítmények és egyéb anyagok hatását. A sejttenyészeteken olyan vírusokat szaporítanak, amelyeket hordozóeszközként alkalmaznak a génsebészeti eljárásokban, vagy a vírusbetegségek diagnosztikájában használnak fel, továbbá oltóanyagokat gyártanak belőlük.

Sejttenyészeti módszerekkel valósítják meg különböző fajokhoz, nemekhez, családokhoz tartozó szervezetek testi sejtjeinek távoli hibridizációját. Vagyis olyan szervezetek sejtjeit keresztezik, amelyeket más módon lehetetlen lenne

[1] ***biológiai biztonság*** – az élő szervezetek biológiai lényegének, biológiai minőségének megőrzése és biológiai integritásuk nagyléptékű elvesztésének megelőzése a szervekkel, szövetekkel és szervezetekkel folytatott gén- és sejtmanipuláció következtében; a természeti erőforrások (talaj, vizek, élelmiszerforrások) szennyeződésének megakadályozása



18,6. ábra. *Növény klónozása: 1 – sejttenyészeti anyag kinyerése a donor növényből; 2 – sejtek tenyésztése mesterséges táptalajon; 3 – differenciálatlan sejttenyészet előállítása; 4 – a sejtdifferenciáció következtében megjelennek a növényi klón szövetei és szervei; 5 – a növényi klónt kiültetik a talajba*

keresztezni (ember és egér, ember és sárgarépa, tyúk és élesztő). Ezzel olyan készítmények állíthatók elő, amelyek növelik a szervezet ellenálló képességét a különböző betegségekkel szemben. Például meghatározott antitesteket előállító sejtek és rákos sejtek hibridizációjával tenyészeteken a rákos sejteket pusztító, az egészségeseket nem károsító antitesteket állítanak elő.

A sejttenyésztés egyik iránya az őssejtek felhasználása károsodott szövetek és szervek megújítására. Laboratóriumi körülmények között lehetőség van arra, hogy az őssejteket további differenciálódásra bírják. Ez megnyitja az utat egyes emberi és állati szövetek és szervek növesztése előtt a szervezetbe történő beültetés céljából.

Sokat ígérő sejttenyésztési módszer a szervezetek ***klónozása***. A *klón* (gör. *klon* – ág, utód) – közös őstől ivartalan úton származó sejtek vagy egyedek összessége. Tehát a klón genetikailag homogén sejtekből vagy szervezetekből áll. A növények esetében elterjedt a természetes klónozás a nem ivaros, mindenekelőtt vegetatív szaporodásnak köszönhetően. Kutatók mesterségesen is előállítanak növényi klónokat (18.6. ábra).

Állatok klónozásakor a megtermékenyítetlen petesejtből eltávolítják a sejtmagot, és egy másik egyed testi sejtjének sejtmagját ültetik be a helyére. Az így nyert mesterséges zigótát beültetik a nőstény méhébe, ahol a magzat kifejlődik. Ez a módszer lehetővé teszi, hogy értékes tenyészállatok tetszőleges számú utódját állítsák elő. Ezek az adott egyed pontos genetikai másai. A tudósok kísérletileg különböző állatfajokat klónoztak (ilyen világszerte ismert kísérlet volt a Dolly nevű bárány klónozása).

A szervezeteket mesterségesen előállító tudósok szerint a módszer elősegíti új eljárások kidolgozását a rák vagy a diabétesz gyógyítására. Ugyanakkor az ilyen kísérletek nem alaptalanul keltenek aggodalmat mind az átlagemberek körében, mind a tudósok egy részében.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Biotechnológia, transzgenetikus vagy génmódosított szervezetek, sejt- és szövettenyésztés, klónozás.*

Ismétlő kérdések. 1. Milyen módszereket alkalmaznak a növénynemesítésben? Mik a sajátosságai ezeknek a módszereknek? 2. Mi a növények oltásának lényege? Milyen célból alkalmazzák a kultúrnövények oltását? 3. Hogyan növelhető a tenyészanyag sokfélesége a növénynemesítés során? 4. Az állatnemesítésnek milyen sajátosságai vannak a növények nemesítésével összehasonlítva? Mit értünk a tenyészállatok minősítésén utódaik tulajdonságai alapján? 5. Miért van szükség a mikroorganizmusok nemesítésére? 6. Mi a biotechnológia feladata? 7. Mi a génsebészet feladata? Milyen módszereket alkalmaznak a génmanipulációs kutatásban? 8. Milyen feladatokat tűzött maga elé a sejt- és szövettenyésztés?

Bonyolult feladat. Gondolkodjatok el azon, mi a jelentősége a génsebészetnek, valamint a sejt- és szövettenyésztésnek a biológia elméleti kérdéseinek megoldásában! Miért magasabb a poliploid fajták produktivitása a diploidoknál?

TEMATIKUS TUDÁSSZINTFELMÉRÉS

I. A megadott válaszok közül válasszátok ki az egy helyest:

1. Nevezzétek meg, a szervezetek mely természetes társulása felel meg állat- vagy növényfajtának: a) faj; b) csorda; c) család; d) populáció!

2. Mutassátok meg, mivel jár a szervezetek rokon keresztezése: a) az utódok homozigótaságának növekedésével; b) az utódok heterozigótaságának növekedésével; c) heterózissal; d) nem befolyásolja az utódok genotípusát!

3. Jelöljétek meg azt a hibridnemzedéket, amelyben legteljesebb formában mutatkozik meg a heterózis: a) első; b) második; c) harmadik; d) nyolcadik!

4. Mutassátok meg azokat a szervezeteket, amelyeknek a nemesítésekor gyakran kapnak poliploid formákat: a) állatok; b) növények; c) prokarióták; d) vírusok!

5. Határozzátok meg, hogyan nevezik egy sejt utódait: a) állatfajta; b) növényfajta; c) törzs; d) génállomány!

6. Mutassátok meg, a mesterséges kiválogatás mely formáját alkalmazzák leggyakrabban a nemesítés során: a) tömegeset; b) szétszakítót; c) stabilizálót; d) egyedit!

II. Megfelelési feladat.

1. Állapítsátok meg a megfelelést a különböző típusú keresztezések és genetikai, valamint biológiai következményeik között:

Keresztezéstípus	Jellegek, genetikai és biológiai következmények
A. Rokon B. Nem rokon C. Távoli hibridizáció	1. Növekszik a heterozigótaság szintje; heterózis; előfordulhat az utódok kariotípusának módosulása és meddősége 2. Növekszik a heterozigótaság szintje, heterózis; előfordulhat, hogy az utódok kariotípusa nem módosul; lehetséges heterózis 3. Az utódok kariotípusának változásai, homozigótasági szintjének növekedése, lehetséges meddősége 4. Növekszik a heterozigótaság szintje; fejlődő biológiai depresszió (az utódok elkorcsosulása)

2. Állapítsátok meg a megfelelést a mesterséges kiválogatás formái és a rájuk jellemző jellegek között:

A mesterséges kiválasztás formája	Jellegek
A. Tömeges B. Egyedi	1. Az egyes egyedek fenotípus- és genotípus-vizsgálata szerinti kiválogatása; a növény- és állatnemesítésben alkalmazzák 2. Az egyes egyedcsoportok fenotípus- és genotípus-vizsgálata szerinti kiválogatása; a növény- és állatnemesítésben rendszerint nem alkalmazzák

3. Állapítsátok meg a megfelelést a biológia különböző ágazatai és módszerei között:

Biológiai ágazatok	Módszerek
A. Nemesítés B. Géntechnológia C. Sejttechnológia	1. Klónozás 2. Mesterséges kiválogatás 3. Stabilizáló kiválogatás 4. Génterápia

III. Nyitott kérdések.

1. Miért találhatók az ősi földművelés és a kultúrnövények származási központjai rendszerint hegyvidéken?
2. Mivel magyarázható, hogy az állatok háziasításának területei gyakran egybeesnek a kultúrnövények származási központjaival?
3. Miért bonyolult dolog az eukarióták génjeinek átültetése a prokarióta sejtekbe?
4. Le kell-e mondani a transzgenetikus szervezetekkel kapcsolatos kutatásokról?
5. Milyen jelentősége van a génbankok létrehozásának a genetika, a nemesítés és a biotechnológia további fejlődése szempontjából?
6. A szervezetek nemesítésében milyen célból alkalmazzák a kromoszómakészletek többszörös csökkenését előidéző mutációkat?
7. Milyen módszerekkel juttatható be a sejtbe a módosított DNS-molekula?
8. Hogyan használhatók fel a génmódosított növények és állatok?

8. téma A szervezetek egyedfejlődése

A téma tanulása során megismeritek az élőlények megtermékenyítési formáit; a többsejtű szervezetek embrionális fejlődésének szakaszait és a posztembrionális fejlődés típusait; a növények és állatok életciklusainak típusait. Megtanuljátok az ontogenezis (egyedfejlődés) szakaszainak megkülönböztetését vázlatokon és készítményeken.

19. §. MEGTERMÉKENYÍTÉS A SZERVEZETEK KÜLÖNBÖZŐ CSOPORTJAINÁL

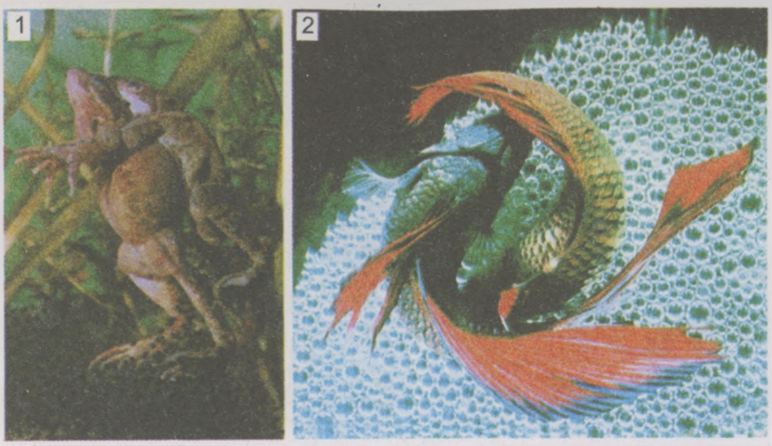
A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: hogyan megy végbe a gametogenezis? Milyen forrásai vannak a kombinációs változékonyságnak? Mi az akroszóma? Milyen sajátosságai vannak az izogámiának, heterogámiának és ovogámiának? Milyen növényeket nevezünk egylakiaknak és kétlakiaknak? Hogyan alkalmazkodnak a növények a megporzás különböző módjaihoz? Mi az algatest? Milyen a virágporszemcse és a magkezdemény felépítése?

***Megtermékenyítés* – hím és női ivarsejtek (gaméták) egybeolvadásának folyamata, amelynek eredményeként új szervezet fejlődését lehetővé tévő megtermékenyített sejt (zigóta) keletkezik.**

A megtermékenyítés után az új szervezet fejlődése a zigóta egymást követő osztódásával és a sejtek, szövetek és szervek ezt követő differenciációjával kezdődik.

Hogyan történik a megtermékenyítés az élőlények különböző csoportjainál?

A megtermékenyítés az állatoknál lehet külső vagy belső. ***Külső megtermékenyítéskor*** a női és hím ivarsejtek egybeolvadása a nőstény (vagy hermafrodita egyed) szaporító szervrendszerén kívül, zömmel a külső környezetben történik. A külső megtermékenyítés főleg a vizek lakóira (soksertéjű férgek, kagylók, folyami rákok, tüskésbőrűek, lándzsahal, csontos halak és kétéltűek) (19.1. ábra) és néhány szárazföldi, valamint talajlakó állatra (például a földigilisztára) jellemző. Ez azzal magyarázható, hogy a szervezeten kívül



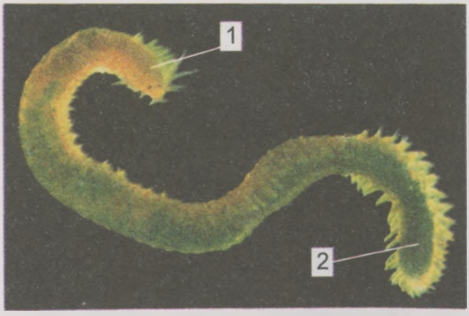
19.1. ábra. *Külső megtermékenyítés a békáknál (1) és a csontos halaknál (2)*

az ivarsejtekre kedvezőtlenül hatnak a különféle környezeti tényezők (magas vagy alacsony hőmérséklet, kiszáradás, ibolyántúli sugarak). A víz mint környezet valamennyire semlegesíti ezeket a kedvezőtlen hatásokat. Emellett a víz kedvez a mozgékony hím ivarsejtek mozgásának. A petesejtek csak a megfelelő biológiai faj spermatozoidjait vonzó speciális anyagokat választanak el a környezetbe, ami megakadályozza a fajközi kereszteződést.

A Csendes-óceán fenekén élő soksertéjű palolo féreg (19.2. ábra) mindkét nemű ivarsejtjeinek érése egyidejűleg, egy bizonyos holdfázis idején következik be. A gaméták a féreg testének csak a hátulsó részében képződnek. Ez a testrész leválik az elülsőről, és a vízfelszínre emelkedik. Ott a gaméták kijutnak a vízbe. A féreg testének feneken maradó elülső része visszanöveszti a hátsó részt. Bizonyos idő elteltével a féreg ismét készen áll a szaporodásra.

A folyami rákok hímjei módosult hasi végtagjaikkal a nőstény egyedek ivarnyílásai közelében helyezik el védőburokkal körülvett spermasejtjeiket (ostor nélküli hím gamétákat). Rövidesen a nőstények ivarnyílásaiból petesejtek és a spermasejtek burkát oldó speciális anyag jelenik meg, majd ezt követően végbemegy a külső megtermékenyítés.

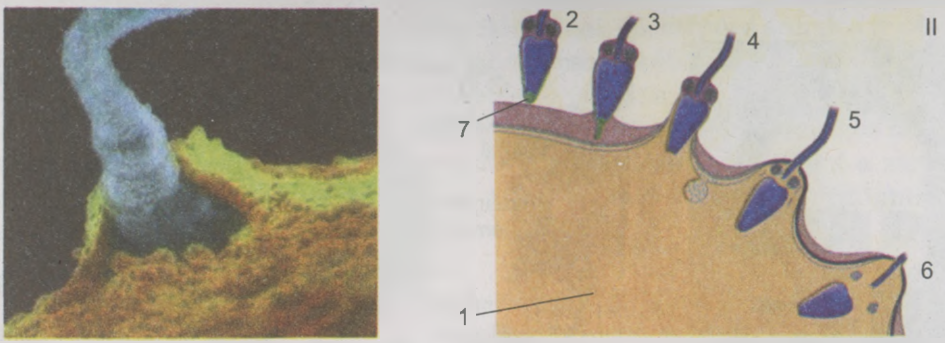
A megtermékenyítést gyakran fajspecifikus násztánc előzi meg. Például egyes vízi zsinórférgek mindkét nemének tucatnyi egyede nyálkával burkolt csomókba verődik, majd a csomó belsejébe hím és női ivarsejteket juttatnak, s ugyanitt megy végbe a megtermékenyítés és kezdődik el az embrionális fejlődés.



19.2. ábra. *Palolo soksertéjű féreg:*
1 – a test elülső része;
2 – a test hátulsó része

Sok hal és béka násztáncát ismeritek a 8. osztályos biológiából. Ez az ívással ér véget.

A ***belső megtermékenyítés*** a nőstény (vagy hermafrodita egyed) szaporító szervrendszerében megy végbe. Ez a megtermékenyítési forma a szárazföldi állatok többségére (rovarok, csúszómászók, madarak, emlősök) és sok talajlakó, vala-



19.3. ábra. A spermium behatolása a petesejtbe: I. Mikroszópos fényképfelvétel. II. Vázlat: 1 – petesejt; 2–6 – a spermium és a petesejt kölcsönhatásának, a spermium petesejtbe való behatolásának egymást követő szakaszai (figyeljétek meg, hogy a spermium mitokondriumot tartalmazó farka a petesejten kívül marad); 7 – akroszóma

mint vízben élő állatra (lapos- és gyűrűsférgek, porcos halak) jellemző. Ennek köszönhetően a gamétákra nem hatnak a külső környezet kedvezőtlen tényezői, ami megnöveli a megtermékenyítés valószínűségét. A belső megtermékenyítés gyakran speciális párzószerv segítségével történik, amely révén a hím ivarsejtek a női ivarszervrendszerbe jutnak. A cápáknál például ezt a funkciót a hímek hasi uszonyainak megvastagodott belső sugarai látják el.

A spermium nagyrészt az akroszóma (19.3. ábra) által elválasztott enzimeknek köszönhetően hatol a petesejtbe, ritkábban a petesejt burkában lévő különleges nyíláson át. Eközben egyesül a két gaméta plazmamembránja.

A spermatozoid és a petesejt egyesülését megelőzi egymás kölcsönös felismerése: a megtermékenyítés csak akkor lehetséges, amikor a női és a hím gaméták egy fajhoz tartoznak. A petesejt biológiailag aktív anyagai serkentik a spermium akroszómájának felrepedését (akroszómás reakció). Ennek következtében olyan enzimek szabadulnak fel, amelyek biztosítják a petesejt burkának átjárhatóságát a hím gaméták számára.

A spermiumoknak a petesejt belsejébe történő behatolása után a peteburok tulajdonságai megváltoznak, áthatolhatatlanná válik más spermiumok számára, miközben a két gaméta magjai összeolvadnak. Így jön létre a zigóta.

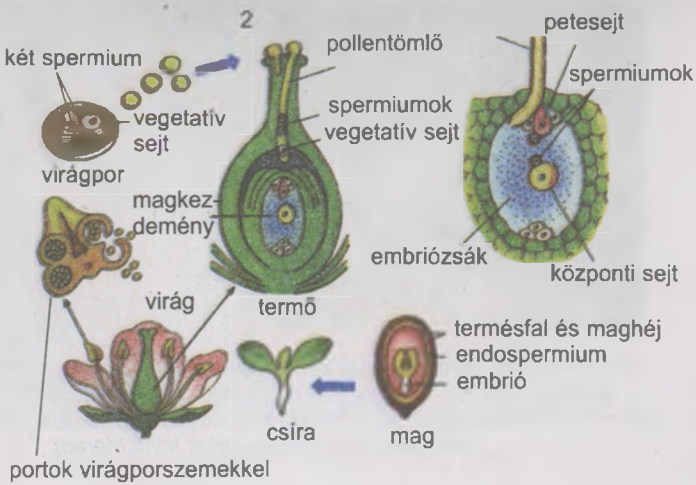
A megtermékenyített petesejtben aktivizálódnak az anyagcsere-folyamatok, és elkezdődik a barázdálódás.

Milyen sajátosságai vannak a növényi megtermékenyítésnek?

A megtermékenyítés folyamata a zárvatermőknél a legfejlettebb. Ezt kettős megtermékenyítésnek nevezzük. A zárvatermő (virágos) növények ***kettős megtermékenyítését*** 1898-ban fedezte fel Szergej Gavrilovics Navasin, a kijevi Szent Vlagyimir Egyetem (ma Tarasz Sevcsenko Egyetem) professzora (19.4. ábra).

Amint a virágpor a bibére kerül, biológiailag aktív anyagok hatására megduzzad, és pollentömlőt növeszt. A bibe mirigysejtjeinek biológiailag aktív anyagai kölcsönhatásba lépnek – miután felismerték – a virágporszemcse külső burkának anyagaival. Ennek köszönhetően csak a saját faj pollenjei (virágporszemcséi) indulnak növekedésnek.

1



19.4. ábra. *Szergej Gavrilovics Navasin (1857–1930) – kiemelkedő ukrán botanikus. 2. A virágos növények kettős megtermékenyítése*

A pollentömlőbe három haploid sejt – egy nagy vegetatív sejt és két kisebb spermasejt – megy át. A vegetatív sejt részt vesz a pollentömlő kialakításában, amely a magkezdemény burkában lévő különleges nyíláson, a mikropilén át a nyújtott embriózsákba hatol. Az embriózsák pólusain hat sejt található, az egyiken van a petesejt és két kisebb kísérő sejt, míg középen a két haploid sejtmagú központi sejt. Ezek egybeolvadnak és másodlagos diploid sejtmagot képeznek. Az embriózsákba jutva a spermasejtek egyike egybeolvad a petesejttel, és diploid zigóta keletkezik, amelyből később kifejlődik a csíra. A második spermasejt a központi sejttel egyesül, és ezáltal triploid sejt jön létre. Ebből a későbbiekben szövet – ***endospermium*** ***(magfehérje)*** (gör. *endon* – belső és *sperma* – magfolyadék) – képződik. Az endospermium sejtjei a csíra fejlődéséhez szükséges tápanyagokat tartalmazzák.

A zárvatermők kettős megtermékenyítése valójában két különböző folyamat, mivel csíra csak a megtermékenyített petesejtből fejlődik. A második spermasejt egybeolvadása a központi sejttel csak feltételesen nevezhető megtermékenyítésnek, mivel az így létrejövő triploid sejtből nem új szervezet, hanem a csírát tápanyagokkal ellátó szövet fejlődik.

Mi a megtermékenyítés biológiai jelentősége?

A megtermékenyítés során áll helyre az adott fajra jellemző kromoszómakészlet. A megtermékenyített petesejt homológ kromoszómapárjaiban az egyik kromoszóma apai, a másik anyai. Ezért a zigótából kifejlődő új szervezet felefele arányban magában hordozza az apai és anyai szervezet örökítő anyagát. Kivételt csak az önmegtermékenyítő élőlények és a tiszta vonalú szervezetek képeznek.

Jegyezzétek meg: a megtermékenyítés biológiai jelentősége az, hogy megújul a valamely fajhoz tartozó egyedek kromoszómakészlete, és hogy egyik forrása a kombinációs változékonyságnak.

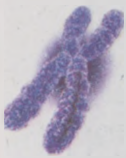
A zárvatermők kettős megtermékenyítésesének jelentősége annak a triploid sejtnek a keletkezésében rejlik, amelyből a későbbiekben kialakul az endospermium. A DNS-tartalom növekedése a magban kiváltja a fehérjeszintézis folyamatának felerősödését, vagyis a csíra fejlődéséhez szükséges tartalék tápanyagok mennyiségének növekedését. Ennek eredményeként a zárvatermők csírája gyorsabban fejlődik, mint a haploid endospermiummal rendelkező nyitvatermőké.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Külső és belső megtermékenyítés az állatoknál, kettős megtermékenyítés a virágos növényeknél.*

Ismétlő kérdések. 1. Miben rejlik a megtermékenyítés biológiai jelentősége? 2. Az állatok megtermékenyítésének milyen formái ismeretesek? 3. Milyen mechanizmusok akadályozzák, hogy az egyik fajhoz tartozó állat petesejtjét egy másik fajhoz tartozó spermiuma termékenyítse meg? 4. Milyen folyamatok játszódnak le a spermium petesejtbe történő behatolásakor? 5. Mi a biológiai jelentősége a zárvatermők kettős megtermékenyítésének?

Bonyolult feladat. Indokoljátok meg, miért előnyösebb a belső megtermékenyítés a külsőnél!

20. §. A SZERVEZETEK EGYEDFEJLŐDÉSÉNEK SZAKASZAI. AZ ÁLLATOK EMBRIONÁLIS FEJLŐDÉSÉNEK KEZDETI STÁDIUMAI



A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: mi az egyedfejlődés? Az egyedfejlődés mely szakaszai ismeretesek az állatoknál és a növényeknél? Mi az embrionális és a posztembrionális fejlődés? Milyen fázisai vannak a sejtciklusnak? Milyen az emberi bőr szerkezete? Mik a hormonok és mi az élettani jelentőségük? Milyen szervekből és sejtekből áll az emberi immunrendszer?

Az ***egyedfejlődés*** vagy ***ontogenezis*** (gör. *ontos* – az, ami létezik és *genesis* – teremtés) az egyedek fejlődése a születéstől az élét végéig (halálig vagy az újabb osztódásáig). A szervezetek különböző csoportjainál az egyedfejlődésnek megvannak a maga sajátosságai. Ezek főképp a szaporodás módjától függnek. Az ontogenezis időtartama különböző lehet. Például a mexikói mocsári ciprusnál 10 000, a sárkányfánál (dracéna) 6000 év. Az állatok között szintén vannak hosszú életűek. Egyes teknősfajok 150 évig, a viza 100 évig is élhet. Jelentős élettartama van a gerinctelen állatok némelyikének: egyes aktíniafajoknak (tengeri rózsák – 90 év), puhatestűeknek (óriáskagylók – 300 év), ízeltlábúaknak (folyami rák 20 év, királyrák – 30 év).

A többsejtű szervezetek egyedfejlődése biztosítja valamennyi biológiai funkciójukat. Az egyedfejlődés során megy végbe a sejtek differenciációja, ala-

kulnak ki a szövetek és szervek. Csak az emberi szervezetben közel 250 sejttípus található.

Milyen szakaszai vannak az egyedfejlődésnek?

Az egyedfejlődésben embrionális vagy magzati és posztembrionális vagy születés utáni szakaszokat különböztetünk meg. Az egyedfejlődés ***embrionális szakasza*** az az időszak, mialatt az új szervezet (a magzat vagy embrió) az anya szervezetében, a tojásban vagy a magban fejlődik. Ez a születéssel, a tojásból való kikeléssel vagy a csírázással fejeződik be. A méretnagyobbodással (növekedéssel) járó ***posztembrionális szakasz*** az egyed születésének pillanatától a haláláig tart. Az egysejtű szervezetek egyedfejlődése egybeesik a sejtciklussal

Milyen szakaszok különböztethetők meg az állatok embrionális fejlődésében? Mi a barázdálódás?

20.1. ábra. *A zigóta barázdálódásának típusai: teljes (1, 2, 3) és részleges (4)*

Az állati szervezet embrionális fejlődése több egymást követő szakaszból áll: barázdálódásból, amely egyrétegű embrió – blasztula (hólyagcsíra) – kialakulásával zárul; két- vagy háromrétegű embrió – gasztrula (bélcsíra) – létrejöttéből; szövet és szervkezdemények képződéséből. A fejlődés embrionális szakasza a zigóta barázdálódásával kezdődik (20.1 ábra). A ***barázdálódás*** a zigóta vagy a partenogenetikus petesejt mitotikus osztódásainak egymásutánja. A keletkezett sejtek, a *blasztomérák* az interfázisban nem nőnek, méretük minden osztódásnál felére csökken, de a magok mérete nem változik. Ekkor rendszerint nem folyik a saját gének transzkripciója, csak az anyai iRNS-é.

Barázdálódáskor megváltozik az úgynevezett mag-citoplazma arány, azaz a mag és a citoplazma térfogataránya. Ez nagyon fontos mutatója a sejt állapotának, mert lehetővé teszi az anyagcsere szintjének meghatározását. Például ha a mag-citoplazma arány elér egy értéket, akkor ez jelzés lehet az osztódás kezdetéhez. Az arány módosulásai gyulladásos folyamatokat és egyes rosszindulatú betegségeket jelezhetnek.

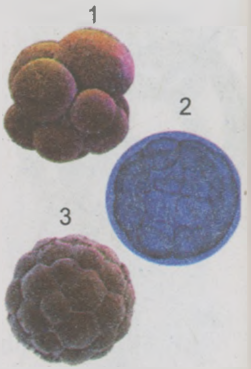
A barázdálódás jellegére kihat a tápanyagok (sárga szik) mennyisége és elhelyezkedése a petesejtben. Ha kevés a tápanyag és többé-kevésbé egyenletes az eloszlása (csalánozók, lándzsahal, méhlepényes emlősök), akkor *teljes barázdálódás* megy végbe, az egész sejttest blasztomérákra tagolódik.

A teljes barázdálódás lehet szabályos vagy szabálytalan (20.1. ábra). *Szabályos barázdálódáskor* a keletkezett sejtek (blasztomérák) nagyjából azonos méretűek (tengeri sünök, lándzsahal, méhlepényes emlősök). *Szabálytalan barázdálódáskor* minden osztódásnál egy nagy és egy kis blasztoméra keletkezik (gyűrűsférgek).

Ha a petesejtben sok a szik és kitölti annak jelentős részét, akkor *részleges barázdálódás* megy végbe. Így például a madaraknál és a hüllőknél a citoplazma a sejtmaggal a petesejt pólusainak egyikén koncentrálódik *csírakorong* formájában, ami – a szikkel ellentétben – barázdálódik. A rovaroknál nagy mennyiségű szik koncentrálódik a zigóta belsejében, ezért esetükben a barázdálódás következtében létrejön az osztatlan sziket körülvevő blasztomérák felszíni rétege. Megjegyzendő, hogy a blasztomérák elég gyorsan osztódnak, a muslicánál például 20 percenként.

Jegyezzétek meg: a barázdálódás során az embrió tömege és térfogata nem változik, hanem olyan marad, mint amilyen a zigótában volt.

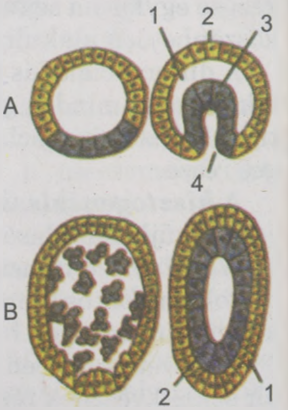
A barázdálódás utolsó szakasza a ***blasztula*** (gör. *blastos* – magzat) kialakulásával fejeződik be (20.2. ábra). A blasztula belül üreges képződmény, a fala rendszerint egy blasztomérarétegből áll. Nézzétek meg a 20.2. ábrán a különböző blasztulatípusokat. Van, amelyik gömb, van amelyik korong alakú, egy esetben minden blasztoméra egyforma méretű, más esetben az egyik blasztoméra kicsi, a másik pedig nagy. A blasztula egymáshoz hasonló sejtjeiből idővel a különböző csíralemezek alakulnak ki. Ez a sejtdifferenciációnak köszönhető.



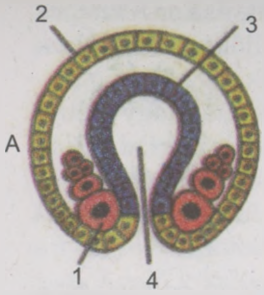
20.2. ábra. *Blasztulatípusok: 1 – blasztomérák; 2 – a blasztula üregе; 3 – morula*

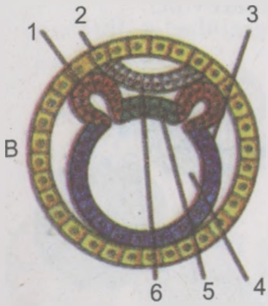
Egyes csalánozók, laposférgek, ízeltlábúak és az emlősök többsége esetében a barázdálódás folyamán ***morula*** (***szedercsíra***) (lat. *morum* – eperfa bogyója) keletkezik. A morula megfelel a blasztula állapotnak, csak a belseje nem üreges, hanem szorosan egymáshoz tapadó blasztomérák halmazából áll (20.2. ábra). A morula a zigóta és a blasztocita közötti átmeneti állapot (20.2. ábra). A *blasztocita* az emlősök – közte az ember – embrionális fejlődésének állapota. A blasztulához hasonlóan folyadékkal telt üreges hólyag. Azonban a blasztocita sejtjei differenciálódnak: közülük egyesek a tápanyagoknak az anyaszervezettől az embrió fejlődéséért felelős sejtekhez való eljuttatását biztosítják. Az előbbi sejttípusból alakul ki később a méhlepény – az az ideiglenes szerv, amely az anyaszervezet és a magzat közötti kapcsolatot biztosítja.

A blasztuláció során megnő a mitotikus osztódások időtartama, a blasztomérák nem egyszerre osztódnak. Az interfázisos magokban megjelennek a magocskák és elkezdődik a saját iRNS-molekulák szintézise. Mindez az embrionális fejlődés következő szakaszához, a ***gasztrulációhoz*** való átmenetet biztosítja (20.3. ábra).



20.3. ábra. *A gasztruláció típusai: A. Betüremkedés; B. Vándorlás: 1 – a blasztula üregе; 2 – ektoderma; 3 – entoderma; 4 – a bélüregbe nyíló ősszáj*





20.4. ábra. *A mezoderma kialakulásának típusai: A – az embriósejtek az ekto- és entoderma közötti térbe helyeződnek át, és az ősszáj oldalainál helyezkednek el (teloblasztikus mód); B – az ősbél oldalkinövései betüremkednek a blasztula belsejébe: 1 – a mezoderma-kezdemény sejtjei; 2 – ektoderma; 3 – entoderma; 4 – az ősbél ürege; 5 – a gerinchúrkezdemény sejtjei; 6 – velőlemez, amelyből a velőcső képződik*

Hogyan alakul ki a kétrétegű embrió, a gasztrula, és miként képződik a mezoderma?

A blasztula kialakulása után elkezdődik a ***gasztrula*** (gör. *gaster* – gyomor) képződése. Két sejtréteg jön létre: kívülről az *ektoderma* (gör. *ektos* – kívül és *derma* – bőr) és belülről az *entoderma* (gör. *entos* – bent, belül és *derma*). A soksejtű állatok embriójának ezt a két sejtrétegét ***csíralemezeknek*** nevezzük (20.3. ábra). A betüremkedés helyén kialakul az *ősszáj,* ami a kivezetés nélküli *ősbélbe* nyílik. A gasztrula szakaszban fejeződik be egyes gerinctelen állatok, köztük a csalánozók embrionális fejlődése: a felnőtt egyed teste két sejtrétegből áll, megmarad az ősszáj és az ősbél ürege.

Az állatok többségénél az ektoderma és az entoderma kialakulása után megkezdődik a harmadik (középső) csíralemez, a ***mezoderma*** kialakulása (gör. *mezos* – középső és *derma*). A külső és a belső csíralemez között elhelyezkedő mezoderma többféle módon alakulhat ki (20.4. ábra). Más állatoknál (tüskésbőrűek, gerincesek) a mezoderma az ősbél három pár oldalkinövésének a blasztula üregébe való betüremkedésével keletkezik. Az ősszáj nem marad meg a felnőtt egyedeknél, hanem új képződik a test másik végén. Ezeket az állatokat *újszájúaknak* nevezik, míg azokat, amelyek megőrzik az eredeti szájat, *ősszájúaknak* (lapos, hengeres és gyűrűs férgek, ízeltlábúak, puhatestűek) mondjuk.

Mi a sejtdifferenciáció?

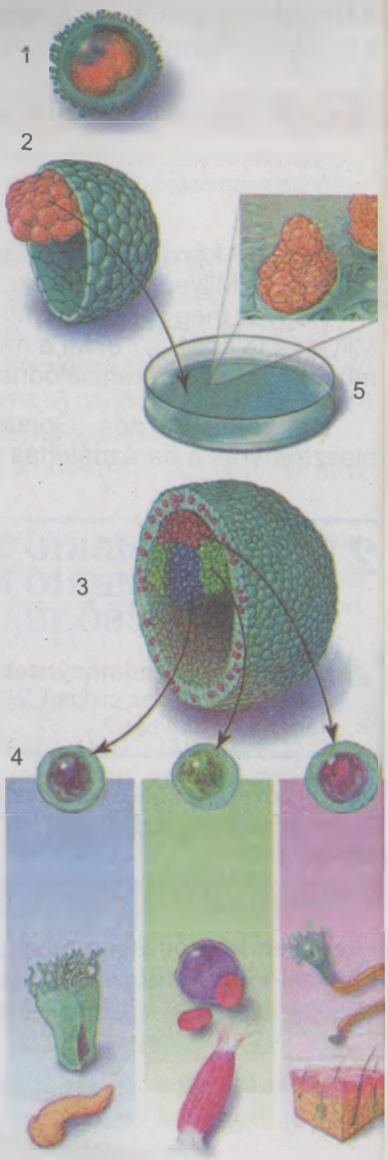
A ***differenciáció*** (lat. *differentia* – eltérés) – különböző típusú sejtek keletkezése egyforma sejtekből az egyedfejlődés során. A sejtek differenciációjának köszönhetően alakulnak ki a szövetek és a szervek.

A differenciálódás örökletesen meghatározott, mivel a különféle típusú sejtekben nem minden gén aktív. Ezért minden sejtben nem valósul meg a genotípus teljes információja, hanem csak az adott sejt differenciációjához szükséges része.

A ***hisztogenezis*** (***szövetképzés***) – a különböző szövetek kialakulását, létezését és újjáalakulását az egyedfejlődés során biztosító folyamatok összessége.

A különböző típusú szövetek a csíralemezekből fejlődnek. Ezekben a folyamatokban fontos szerepet játszanak a sejtek közötti kölcsönhatások, a biológiailag aktív anyagok hatása.

A szövetképzésben őssejtek, félőssejtek (elősejtek) és érett sejtek (differenciált sejtek) vesznek részt.



20.5. ábra. *Őssejtek: 1 – őssejtek osztódása; az utódsejtek (2) differenciáció (3) révén különböző szövetek sejtjeivé (4) alakulhatnak; 5 – az őssejteket mesterséges táptalajokon tenyésztik*

Az őssejtek differenciálatlanok, belőlük képződnek az új sejtek a szövetek kialakulása vagy megújulása (regenerációja) során (20.5. ábra). Például az emlősöknél a vérképző szervek őssejtjeiből képződnek az eritrociták, leukociták és a trombociták elősejtjei. Az őssejtek önfenntartók: az anyasejt osztódása után a leánysejtek egyike differenciálódik, a másik megmarad őssejtnek. Az őssejtek, más sejtektől eltérően, képesek arra, hogy folyamatosan, korlátlanul osztódjanak. Emellett ellenállók a különféle kedvezőtlen tényezőkkel szemben.

A *félőssejtek* (*elősejtek*) – az osztódó képességüket megőrző differenciált sejtek.

A *differenciált sejtek* egyes szövetek összetételét képezik, és osztódásképtelenek. A sejtdifferenciációban fontos szerepet játszanak a hormonok és a sejtközi kölcsönhatások. A differenciált sejtek, a saját specifikus funkciókon kívül, olyan biológiailag aktív anyagokat választanak el, amelyek gátolják az őssejtek és elősejtek osztódását. Ez akkor történik, amikor a differenciált sejtek mennyisége meghaladja az optimális szintet. Csökkenés, például valamilyen sérülés esetén gyengül a gátló hatás, és ennek nyomán intenzívebbé válik az őssejtek és az elősejtek szaporodása. Vagyis a sejtközi kölcsönhatások biztosítják a regenerációs folyamatok megvalósulását.

Megállapították, hogy az embriófejlődés során a különböző típusú sejtek egymásnak pontosan megfelelő helyzetbe rendeződnek, s ezáltal különböző szöveteket képeznek. A sejtmigrációt a szomszédos sejtek által elválasztott hormonok és más biológiailag aktív anyagok serkentik. Például a limfocita elősejtek migrációja a vörös csontvelőből a csecsemőmirigybe (thymus) elengedhetetlen ahhoz, hogy T-limfocitákká alakuljanak.

A sejtek meghatározott rendben mozognak annak köszönhetően, hogy a felszínükön sajátságos érzékelő, egy vékony citoplazmanyúlvány található. Amikor ez egy másik sejt felületét érinti, akkor nem mozog tovább, s a nyúlvány eltűnik. Ha a sejtek között megszűnik az érintkezés, akkor a migráló sejt mozgása folytatódik. Például ha az ebihal felhámja sérül, akkor a mélyebben fekvő sejtek nyúlványokat képeznek, migrációba kezdenek, és helyettesítik a

károsodott sejteket. Az áthelyeződés után a sejtek nyúlványai összeolvadnak, s ezzel megszűnik a mozgásuk.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Egyedfejlődés (ontogenezis), embrionális és posztembrionális fejlődés, barázdálódás, blasztula, gasztrula, ekto-, ento- és mezoderma.*

Ismétlő kérdések. 1. Fogalmazzátok meg, mi az egyedfejlődés (ontogenezis)! 2. Milyen szakaszokra oszlik az egyedfejlődés? 3. Mi a barázdálódás? Hogyan megy végbe? 4. Mi a blasztula? Milyen a felépítése? 5. Mi a gasztrula? Milyen a felépítése? 6. Mi a mezoderma? Hogyan alakul ki? 7. Milyen mechanizmusok szerint differenciálódnak a többsejtű szervezet sejtjei?

Bonyolult kérdés. Gondolkodjatok el azon, mivel magyarázható, hogy a blasztomérák a barázdálódás során nem nőnek!

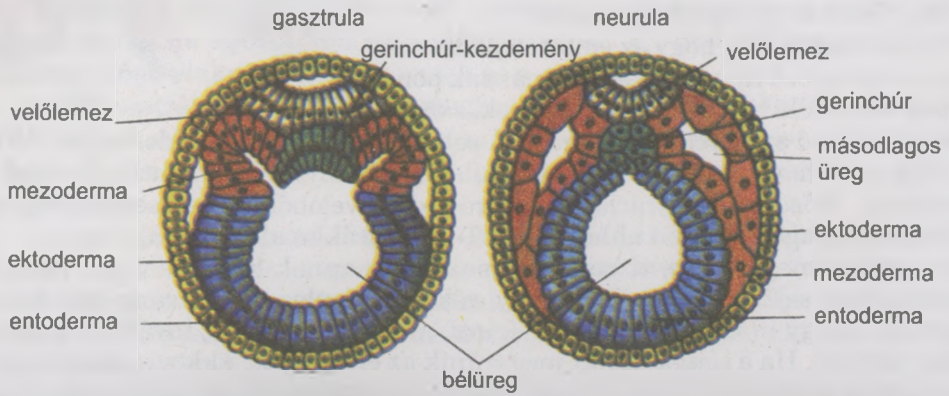
21. §. AZ EMBRIÓ SZERVEINEK KIALAKULÁSA. AZ EMBRIÓ RÉSZEI KÖZÖTTI KÖLCSÖNHATÁS JELENSÉGE

A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: mi a rovarok teljes és nem teljes ciklusú fejlődése? Milyen folyamatok játszódnak le a rovarokban lárva állapotukban?

A szövetképződéssel (histogenezis) egyidejűleg történik a *szervképződés* (organogenezis), amelynek során kialakulnak a szervezet szervei és szervrendszerei.

Milyen sajátosságai vannak a szövet- és szervképződésnek?

A szervképződésben megkülönböztetjük a tengelyszervek – velőcső, gerinchúr, bél – kialakulásának fázisait, amikor a fiatal állatok a kifejlett egyedek sajátosságaira tesznek szert (21.1. ábra).



21.1. ábra. *Hisztogenezis és organogenezis (lándzsahal)*

21.2. ábra. Az egér egyedfejlődése vázlatosan: állapítsátok meg a barázdálódás stádiumait (1), blasztulát (2), kétrétegű (3) és háromrétegű (4) gasztrulát, neurulát (5–8), organogenezist (9), fiatal egyedet (10)

Kezdetben az embrió hátoldalán megvastagodik az ektoderma, s velőlemezzé alakul. A továbbiakban a velőlemez széleinek a felemelkedésével hosszanti barázda keletkezik, ami később csővé zárul össze, és a velőlemezből az ektoderma többi részétől elkülönülő velőcső jön létre. A velőcső fölött tovább fejlődő ektodermából képződik az epidermisz kezdeménye. A velőcső kitágult elülső részéből a gerinces állatoknál öt elsődleges agyhólyag keletkezik.

A velőcső a mezoderma-képződés elején kezd kialakulni. Az embrió neve ebben a fejlődési a fázisban: *neurula.*

Ezek az agy adott részének felelnek meg (a koponyátlanok kivételével, amelyekhez a lándzsahal is tartozik, mivel náluk csupán a velőcső elülső vége megvastagodott). A majdani köztiagynak megfelelő rész két oldalán kidomborodnak a szemhólyagok, amelyekből a szemek fejlődnek ki.

Az embrionális fejlődésnek ebben a fázisában a szervképződés nem csak az ektodermában történik, hanem más csíralemezekben is. Az embrió fokozatosan felveszi a kifejlett szervezet felépítését: a velőcső alatt kialakul a gerinchúr, az alatt pedig a bél. A *gerinchúr* erős, rugalmas szalag, amely a gerinchúrosok törzsének valamennyi képviselőjénél az előbél háti részéből fejlődik ki. A gerinchúr csak a gerinchúrosok egynémely képviselőjénél (lándzsahalak, tokfélék, tüdőshalak) marad meg az élet végéig. Többségüknél a gerinchúr csak az embrionális szakaszban van meg, a kifejlett egyedeknél porcos vagy csontos gerinc váltja fel.

Az ektodermából alakulnak ki az idegszöveten kívül az érzékszervek elemei, a kültakarórétegek (epidermisz, bőr), a bőrmirigyek, az elő- és az utóbél, a kétéltűek külső kopoltyúi.

Az entodermából keletkeznek az emésztőszervek és az emésztőmirigyek (máj, hasnyálmirigy), a gerinchúr és az úszóhólyag, a belső kopoltyú, a tüdő, egyes belső elválasztású mirigyek (agyalapi mirigy, pajzsmirigy).

A mezodermából keletkezik a csontváz, az izomzat, a keringési rendszer, az ivarmirigyek és a kiválasztó szervek vezetékei, a bőr kötőszöveti rétegei (irha), a mellhártya, a testüregeket burkoló szövetek, a szívburok ((21.2. ábra).

Mit jelent az embrionális indukció?

Normális körülmények között az embrió és a szervezet egésze egyes részeinek alakulása hely és idő szerint össze van hangolva. Ez azzal magyarázható, hogy a megfelelő struktúrák bizonyos blasztomérákból fejlődnek ki. Minden egyes blasztomérának a további sorsa genetikai szempontból még az embrionális fejlődés kezdeti szakaszában eldőlhet. Ezenkívül az egyes szervek kezde-

ményei korábban kialakult más kezdeményekkel való kölcsönhatástól függően fejlődnek.

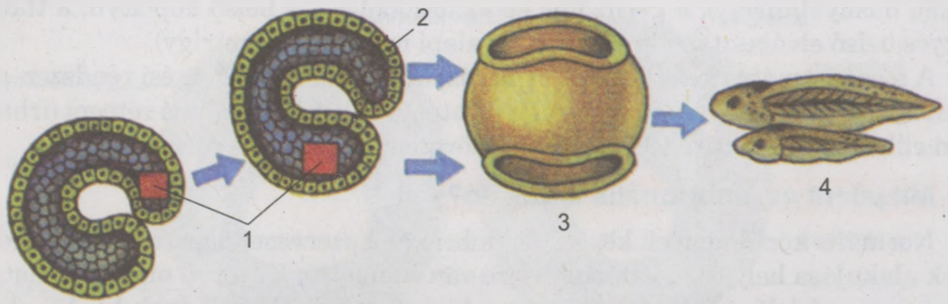
Az embrionális indukció – az embrió különböző részeinek egymásra gyakorolt kölcsönös hatása az embriogenezis során.

Az embriónak azokat a részeit, amelyek korábban képződnek és képesek más részek kialakulását és fejlődését befolyásolni, *induktoroknak* (*organizátoroknak*), míg a hatást érzékelőket *reagáló rendszernek* nevezzük. Az induktorok vagy közvetlen érintkezés révén hatnak a reagáló rendszerekre, vagy távolból, olyan biológiailag aktív anyagok közvetítésével, amelyek a reagáló rendszer magjaiban lévő strukturális fehérjék szintéziséhez szükséges specifikus iRNS képződését serkentik.

Az embrió részei közötti kölcsönhatás jelenségét a XX. században fedezték fel. 1901-ben Hans Spemann (1869–1941) német embriológus kiderítette, hogy a szemkezdemény eltávolítása esetén nem fejlődik ki a szemlencse. Azonban ha ezt a kezdeményt az embrió oldalrészébe ültette be, akkor a szemlencse az ektodermának abból a részéből fejlődött ki, amelyből rendes körülmények között a bőrhám alakul ki.

Később a tudós még egy kísérletet végzett, amellyel ugyancsak bizonyította az embrionális indukció jelenségét. Kétéltű embrió gasztrulájának az ősszáj fölötti részét – ebből kellett volna a gerinchúrnak képződnie – egy másik embrió hastájékának arra a részére ültette át, amelyből a fedőhámnak kellett volna kialakulnia. Az átültetett embriórész, mint organizátor, a szomszédos tájékokra való hatásával serkentette a gerinchúr és a mezoderma kialakulását. A szomszédos ektodermasejtekből alakult ki a második ideglemez. Később ennek az embriónak a hasi részén mellékembrió képződött (21.3. ábra). Spemann ezekért a kutatásaiért 1935-ben élettani és orvosi Nobel-díjat kapott.

További kísérletekkel bebizonyították, hogy az embrionális indukció minden gerinchúros és sok gerinctelen állatra jellemző. A megnyilvánulásához az kell, hogy a reagáló rendszer sejtjei érzékelni tudják az induktor hatását, és megfelelő struktúrák képzésével válaszoljon rá. A reagáló rendszer maga is induktorrá válhat a később kialakuló más részekhez képest. Ezt a jelenséget *másodlagos indukciónak* nevezzük. Ilyenformán az embrionális fejlődést indukciós kölcsönhatások láncolata vezérli.



21.3. ábra. *Az embrionális indukció jelensége:*
1 – átültetendő rész; 2 – gasztrula az átültetett résszel;
3 – az embrió hasi oldalán mellékembrió képződik; 4 – mellékembrió fejlődése

Az embrionális indukció csak a gasztruláció korai szakaszaiban, az átültetett részek differenciációja előtt valósulhat meg. Ha differenciálódott részeket ültetnek át, akkor azok az új helyen ugyanúgy fognak fejlődni, mint eredeti helyükön. Ugyancsak kiderítették, hogy az induktorok nem fajspecifikusak. Például a 9–11 napos csirkeembrióból kinyert fehérje a kétéltűek embriójának ektodermájába való bejuttatás után serkentette az entoderma, később a gerinchúr, izmok és más mezoderma-származékok képződését (*mit gondoltok, ez mit bizonyít?*).

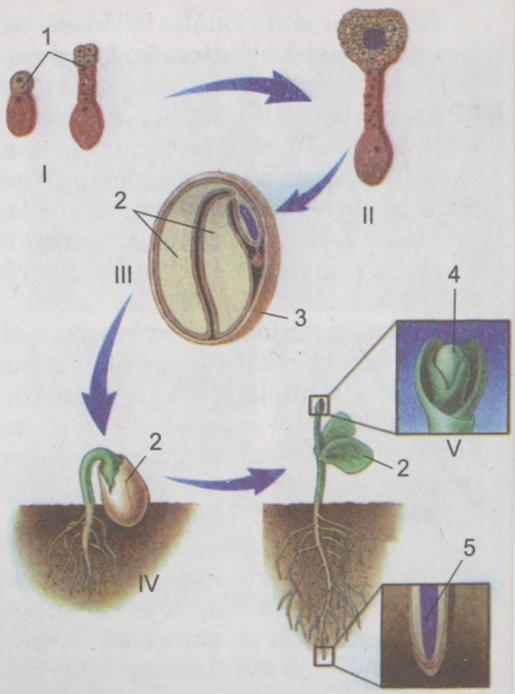
Milyen feltételek szükségesek az állati embrió normális fejlődéséhez?

A többsejtű állatok szervezetének fejlődése olyan összetett, egymással összehangolt folyamatok összessége, mint a sejtosztódás, sejtmigráció és a különböző részek kölcsönhatása, a differenciáció. Ezeket a génexpresszió, biológiailag aktív anyagok hatása és sejtközi kölcsönhatások szabályozzák. A szabályozó mechanizmust károsító bármilyen negatív hatás az embrió fejlődési rendellenességeit, sőt pusztulását idézheti elő. Az embrió rendkívül érzékeny a környezeti tényezők hatására, amikor intenzíven fejlődnek egyes szervei és struktúrái. Ezt a periódust *kritikus időszaknak* nevezzük. Mivel a különböző szervek nem egyidejűleg fejlődnek, a kritikus időszakaik sem esnek egybe.

Az embriogenezis korai stádiumának kritikus időszakában a környezeti tényezők hatása az egész szervezetre kiterjed, míg később már csak azokra a szervekre, amelyek akkor alakulnak.

Milyen sajátosságai vannak a magasabbrendű növények embriogenezisének?

A magasabbrendű növények csírája az állati embrióktól eltérő módon fejlődik, összes szöveteik és szerveik az osztódószövetből keletkeznek A zárvatermő növények csírája gyököcskéből és száracskából áll, az utóbbin vannak a csíra első levelecskéi is, a sziklevelek, amelyekből egy vagy kettő van (21.4. ábra). A csírázás után ezekből lesznek a kifejlett növény megfelelő szervei. A száracska vagy a gyököcske csúcsán található az osztódószöveti sejtekből és azok származékaiból álló



21.4. ábra. *A zárvatermők magjának fejlődése és csírázása: I – az embrionális fejlődés kezdeti szakasza (1 – embrió); II – szövet kialakulása; III – mag kialakulása (2 – sziklevelek; 3 – maghéj); IV – föld feletti csírázás (a sziklevelek a talaj fölött nőnek); V – képzőszövet fejlődése és szövetek, szervek kialakulása (csúcsmerisztéma: 4 – hajtás; 5 – gyökér)*

rügyecske. Ezek a sejtek biztosítják a szervek növekedését. A nyitvatermőknél és zárvatermőknél a csíra a mag része, amely tartaléktápanyagokat is tartalmaz. A mag a magkezdeményből alakul ki a megtermékenyítés után.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Orgonogenezis, embrionális indukció.*

Ismétlő kérdések. 1. Mi a hisztogenezis és az organogenezis? 2. Mi a velőcső? Milyen folyamatok zajlanak a kialakulása során? 3. Hogyan képződik a mezoderma? 4. Mi jellemző az embrionális fejlődés kritikus időszakaira? 5. Mi az embrionális indukció jelensége? Ki fedezte fel? 6. Miben nyilvánul meg a fejlődő magzat részeinek kölcsönhatása?

Bonyolult feladat. Gondolkozzatok el azon, hogy a jövőben miként lehetne alkalmazni a gyakorlatban az embrionális indukciót!

22. §. AZ EMBER EMBRIONÁLIS FEJLŐDÉSÉNEK SAJÁTOSSÁGAI. EMBRIOTECHNOLÓGIA

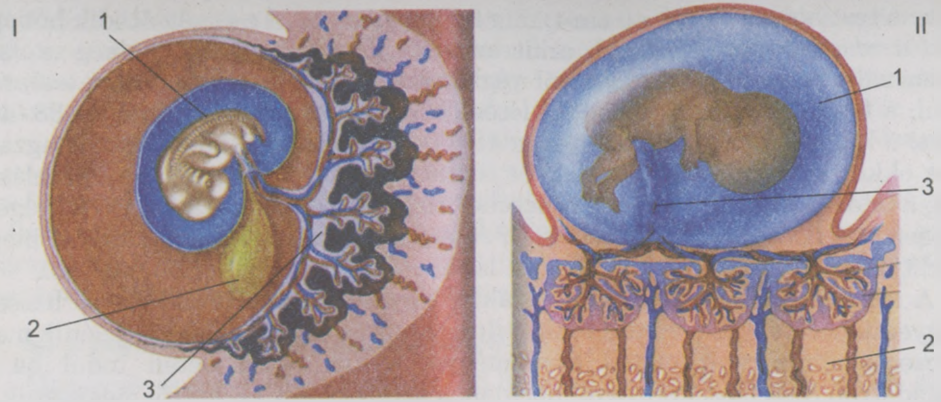
A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: mi a HIV és az AIDS? Mi a méhlepény, és milyen funkciót lát el? Mi a blasztociszta? Milyen emberi megbetegedést okoz a toxoplazmózis? Milyen állatokat nevezünk férgeknek? Milyen hormonokat termelnek az ember belsőelválasztású mirigyei? Mi a szervezet működésének humorális szabályozása? Hogyan történik a klónozás? Milyen sajátosságaik vannak az őssejteknek? Mi az embrionális indukció jelensége?

Milyen sajátosságai vannak az ember embrionális fejlődésének?

Az ember embrionális fejlődésében három – kezdeti, embrionális és magzati – periódust különítenek el. A *kezdeti* periódus az embrionális fejlődés első hete. A zigóta első mitotikus osztódása körülbelül a megtermékenyítés után 30 órával fejeződik be. Három nap múlva kialakul az egymáshoz szorosan illeszkedő 12–16 blasztomérából álló morula. Az emberre, mint más méhlepényes emlősökre, a teljes, egyenletes osztódás jellemző. A blasztomérák biztosítják az embrió és az anyaszervezet közötti anyagcserét, részt vesznek az embrió méhfalba történő beágyazódásában és a méhlepény kialakításában, a szövet- és szervképzésben. A megtermékenyítés utáni negyedik nappal kezdődően jön létre a blasztocita.

A *kezdeti periódus* a terhesség második hetének kezdetétől a nyolcadik hét végéig tart. Ez idő tájt az embrió nagyrészt az anyaméh mirigysejtjeinek a váladékaival táplálkozik. A második hét elején elkezdődik a gasztruláció, a harmadik héttől megindul a tengelyszervek (gerinchúr és velőcső) és az agy kialakulása. Összességében, a nyolcadik hét végéig valamennyi szerv, szervrendszer és embrió körüli burok létrejön, vagyis véget érnek a szövet- és szervképződés alapvető folyamatai.

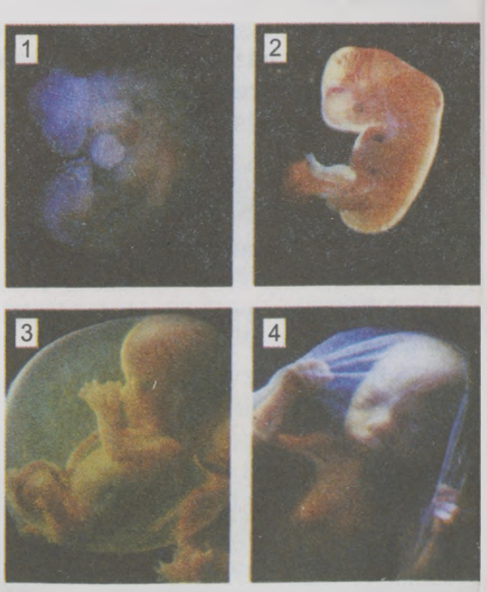
A *magzati periódus* a terhesség kilencedik hetével kezdődik és a születéssel ér véget. Az embriót ebben a szakaszban *magzatnak* nevezzük. Ekkor a magzat erőteljesen növekszik és táplálkozik a méhlepény révén. A méhlepény legnagyobb méretét az embrionális fejlődés ötödik hónapjának a végén éri el: az átmérője 15–25 cm, tömege 500–600 g. Mint emlékezhettek rá, a magzat a



22.1. ábra. *Az ember embrionális fejlődése: I – embrió (1) szikburokkal (2): figyeljétek meg a kopoltyúnyílásokat és a hosszú farkat, valamint a végtagkezdeményeket; méhlepényképződés (3), itt fonódnak össze az anya és a magzat keringési rendszerének hajszálerei; II – magzat (1) (figyeljétek meg a jól fejlett méhlepényt (2) és a köldökzsinórt (3))*

méhlepény közvetítésével kapja az anya szervezetétől a tápanyagokat és az oxigént, szabadul meg az anyagcsere-végtermékektől és a szén-dioxidtól. Ezenkívül a méhlepény óvja a magzatot a mérgező anyagok és kórokozó mikroorganizmusok többségének behatolásától. Azonban a méhlepényen átjuthatnak bizonyos vírusok (például a HIV), baktériumok (a vérbaj, vagyis a szifilisz kórokozója), egysejtű (toxoplazma) és többsejtű (férgek) élősködő állatok. A méhlepény sejtjeiben vitaminok és hormonok szintetizálódnak. A méhlepény belső felszínének középső részéhez kapcsolódik a *köldökzsinór* (22.1. ábra), amely a magzattal való összeköttetését biztosítja. A belsejét kevés sejtet tartalmazó magzati kötőszövet tölti ki, és hajszálérrendszerben végződő két köldökartéria és véna fut rajta végig. Az anya és a magzat vére nem keveredik. Az anyagcsere a méhlepény hajszálérrendszerén át megy végbe. Az artériák vezetik el a vénás vért a méhlepényből az anya szervezetébe, a véna pedig tápanyagokat tartalmazó artériás vért szállít a méhlepényen át a magzathoz.

A második hónap végén a magzat hossza 20–25 mm-rel növekszik, miközben a test közel felét a fej teszi ki. Ekkor alakul ki az arc, a szemhéjak, az orr, az ajkak, a szemgödrök, a végtagok, egyenesedik ki a hát. A harmadik hónap végén fejlődnek ki az ujjak, s a magzat hossza 6–9 cm-t tesz ki, a tömege eléri a 40 g-ot. A negyedik hónap végén a testhossz 16–20 cm, a testtömeg 120 g (22.2. ábra). A hatodik és hetedik hónap folyamán tart a testhossz és -tömeg növeke-



22.2. ábra. *Különböző korú emberi magzat: 1 – négy hetes; 2 – hét hetes; 3 – három hónapos; 4 – öt hónapos*

dése: a test hossza eléri a 40 cm-t, míg a tömege az 1000 g-ot. Az ötödik hónapban a magzat mozogni kezd, amit az anya jól érzékel. A terhesség utolsó, kilencedik hónapjának kezdetétől véglegesen kialakulnak a magzat testarányai, a fejtetőt haj borítja be. Születése előtt (az embrionális fejlődés 38–40. hete) a kihordott magzat testhossza 45–60 cm, a tömege 2,5–4 kg. A magzatnak ekkor már működik az ízlelő és tapintó érzéke, valamint a hőérzékelése, míg a látó- és hallószervei még nincsenek teljesen kifejlődve. A terhesség végén erősen megnő a magzat aktivitása. Szüléskor a magzat reflektorikusan megfordítja a testét és a fejét úgy, hogy a lábaival ellöki magát a méhfenéktől.

A magzati fejlődést biológiailag aktív anyagok szabályozzák. A terhesség negyedik hetétől kezdve kezd kialakulni az immunrendszer, ekkor jelenik meg a csecsemőmirigy (thymus) kezdeménye; a kilencedik héten indul be a gonadotrop (petefészekhormon) hormonok szintézise; a 11. héttől megjelenik a vérben a tiroxin pajzsmirigyhormon; a 15 –16. héten felgyorsul a növekedési hormon szintézise, s a 26. héten befejeződik az agyalapi mirigy, a hipofízis kialakulása. A nyirokmirigyek a terhesség negyedik hónapjától kezdenek kialakulni, azonban antitesteket csak a születés után képesek termelni.

A magzat vérképző szerveinek szerepét kezdetben a máj és a lép látja el. A terhesség végén a vörös és más típusú vérsejtek képzésének központja a vörös csontvelő.

Melyek a magzati fejlődés kritikus periódusai?

Az emberi embrió az embriogenezis 7–8. napján, a méh nyálkahártyájába történő beágyazódáskor a legérzékenyebb (első kritikus periódus) a káros hatásokra. A második kritikus periódus a méhlepény fejlődésének időszaka (az embrionális fejlődés 3–10. hete, ami egybeesik a végtagkezdemények megjelenésének idejével).

Az olyan negatív hatások, mint a leendő anya alkohol- vagy kábítószer-fogyasztása, dohányzása károsíthatják a magzatot. Ugyancsak zavart okozhatnak az embriogenezisben az anya által szedett egyes gyógyszerek vagy elfogyasztott élelmiszerek, valamint az ionizáló sugárzás.

Hogyan diagnosztizálják a fejlődési rendellenességeket, és miként korrigálják őket?

A magzati megbetegedések és fejlődési rendellenességek kialakulása magzatvédelemmel és a terhesség normális lefolyásának biztosításával előzhető meg. Az anya és a magzat egészségi állapotáról vizsgálattal szerezhetők információk.

A magzat közvetlen vizsgálatához ultrahangos készüléket használnak. Ultrahangos vizsgálattal megállapítható a magzat fekvése, tömege, mérete, kideríthetők a fejlődési vagy szívműködési rendellenességei. A magzat genetikai rendellenességei és örökletes betegségei biokémiai és citogenetikai vizsgálatokkal tárhatók fel (*mondjatok példákat*).

Az anya vérében immunológiai és biokémiai eljárásokkal kimutathatók az antitestek típusai, a hormonok, enzimek és cukrok mennyisége. Ezenkívül vizsgálják a méh-méhlepény vérkeringést is. Nagyon fontos a magzat fejlődését károsan befolyásoló tényezők kizárása, a veleszületett kóros elváltozások megelőzése, a magzati és csecsemőhalálozás csökkentése.

A normális fogamzás és terhesség alapfeltétele az, hogy a szülők egészségesek, genetikai rendellenességektől mentesek legyenek. Mint emlékezhettek rá, a születendő gyermekek örökletes betegségei és rendellenességei orvosgenetikai szűrővizsgálattal kerülhetők el. Ezenkívül a leendő anyáknak különféle – belés nőgyógyászati – szűrésen kell átesniük, és rendszeresen meg kell jelenniük az anya- és magzatvédelmi központokban végzett vizsgálatokon.

Előfordul, hogy a házaspárok gyermeket szeretnének, de nem következik be a fogamzás, vagy az anya nem tudja kihordani a magzatot (veleszületett rendellenességek, korábbi betegségek, balesetek következtében). Ilyen esetekben mesterséges megtermékenyítést alkalmaznak.

Mi a mesterséges megtermékenyítés?

Mesterséges megtermékenyítést (22.3. ábra) az egyik vagy mindkét szülő meddősége esetén alkalmaznak. Leggyakrabban ehhez a saját férj spermáját használják. Ha a spermában nincs életképes spermium, akkor donortól levett ondót alkalmaznak. A születendő gyermek apjaként a törvény ezekben az esetekben mindig a terhes nő férjét ismeri el, s a donornak semmilyen törvényes joga nincs a biológiai utód tekintetében. Donorokként fiziológiailag egészséges, genetikai rendellenességektől mentes férfiakat alkalmaznak. Mesterséges megtermékenyítést először 1976-ban Nagy-Britanniában végeztek.

Bonyolultabb eljárás a petesejtnek a női szervezeten kívüli – vagy ahogy mondják: in vitro, azaz lombikban történő – megtermékenyítése. Ebből a célból a méhből petesejteket vesznek, majd egy ideig embriológiai laboratóriumokban tartják őket életben. A férj vagy a donor spermáját a petesejt környezetébe helyezik, vagy a spermiumot közvetlenül bejuttatják a petesejtbe. Ez megnöveli a megtermékenyítés valószínűségét. A megtermékenyítést követően az embriókat néhány napig táptalajon tartják, majd behelyezik az anyaméhbe, ahol a születésig fejlődnek tovább.

Az ember életében vannak olyan időszakok, amikor a terhesség és a szülés nem kívánatos (tanulás, huzamos munkahelyi kiküldetés, bizonyos betegségek). Ilyenkor, a nem kívánt terhesség megelőzése érdekében, fogamzásgátló módszereket alkalmaznak.

Mi a fogamzásgátlás?

A ***fogamzásgátlás*** – a terhesség megelőzésének különböző módszerei. A nem kívánatos terhesség elkerülése érdekében fogamzásgátló eszközöket alkalmaznak. A fogamzásgátlásban megkülönböztetnek mechanikus (hímvesszőre húzott óvszer, méhnyakra helyezett pesszárium) és kémiai (menstruációs ciklust befolyásoló hormonális készítmények) módszereket. Azonban ezek

22.3. ábra. *Mesterséges megtermékenyítés: A – mikropipettával spermiumot juttatnak a petesejt belsejébe; B – mesterséges megtermékenyítés a női szervezeten kívül*

egyike sem biztosít teljes védelmet a terhességtől. A legegyszerűbb és leghatékonyabb fogamzásgátló módszer az óvszerhasználat volt és maradt mind a mai napig. Az óvszer nem más, mint vékony gumiból készült zárt tok, amelyet a hímvesszőre húznak. A gumióvszer használata jelentős mértékben csökkenti a HIV-vel és más, nemi úton terjedő betegségekkel való fertőzés veszélyét.

A hormonális fogamzásgátló szerek hatásmechanizmusai különbözőek. Egyesek a petesejtérést és a tüszőrepedést gátolják, mások sűrűvé teszik a női nemi szervek nyálkáját, amely mintegy dugót képez a méhnyak nyílásában, vagy oly módon változtatják meg a méhfal nyálkahártyáját, hogy a megtermékenyített petesejt nem tud megtapadni rajta.

Figyelem! Jegyezzétek meg, hogy a hormonális fogamzásgátló szerek huzamos ideig tartó szedése visszafordíthatatlan elváltozásokat okozhat a női szervezet szexuális és más működésében!

A mesterséges megtermékenyítés a kísérleti embriológia, vagyis az *embriotechnológia* egyik ága.

Milyen vívmányai vannak az embriotechnológiának?

Az embriotechnológia fejlődése és gyakorlati alkalmazása a különböző állatfajok és az ember embriófejlődésének kutatásával szerzett adatok gyűjtésének és általánosításának köszönhetően vált lehetővé. A kísérletek egy része a különböző szervezetek embriórészei átültetésének vizsgálatára irányul. Például a kacsa embriójába a tyúk embriójából vett részt ültettek. Egy ideg a két faj embriói egymással párhuzamosan fejlődtek egy embrión belül.

Kidolgozták a háziállatok embrió-átültetési módszereit. Ebből a célból a nőstényekből kiveszik a barázdálódás állapotában lévő embriókat és táptalajon növesztik tovább őket az embrionális fejlődés kezdeti szakaszaiban. Ekkor a kutatók beavatkozhatnak a sejtek genetikai információjába. Ezután az ilyen génmódosított embriókat egy másik állat méhébe ültetik be, ahol befejeződik az embrió fejlődése. Ukrajnában először a múlt század 90-es éveinek elején végeztek embrió-átültetéseket anyaszervezeten kívül tenyésztett szarvasmarha-embriókkal az Ukrán Agrártudományi Akadémia (UAAN) Állattenyésztési Kutatóintézetében és Állatszaporítási és Állatgenetikai Kutatóintézetében.

A modern orvostudományban széleskörűen alkalmazzák az őssejtek (22.4. ábra) és más sejtek, valamint szövetek átültetését. A köldökzsinórvérből nyert embrionális őssejteket fehérvérűség, súlyos fertőző betegségek és sugárbeteg-

22.4. ábra. *Őssejtek felhasználása az ember egyes betegségeinek gyógyítására:*
1 – embrionális őssejtek tenyészete;
2 – embrionális őssejt; 3 – leánysejtek differenciációja;
4 – a genetikailag módosított DNS-molekulát bejuttatják az őssejtbe

ség gyógyítására alkalmazzák. A sérült agy- vagy gerincvelőrészekbe embrionális idegsejteket ültetnek be. Sikerrel alkalmazzák a sejt- és szövetátültetést a pajzs-, csecsemő- és nemi mirigyek egyes betegségeinek gyógyításában.

Fontos szerepet játszik a sejtek és szövetek átültetésében a fagyasztásuk. A ***kriobiológia*** – a különböző szervezettségi szintű biológiai rendszerek szerkezeti funkcionális sajátosságait fagyasztásuk közben vizsgáló biológiai tudományág. Az Ukrán Nemzeti Tudományos Akadémia (NANU) Kriobiológiai és Krioorvosi Kutatóintézetben módszereket dolgoztak ki az átültetésre szánt állati testi és ivarsejtek, szövetek, valamint embriók alacsony hőmérsékleteken történő huzamos tárolására.

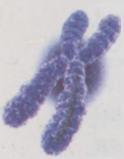
Az embriotechnológia szorosan kapcsolódik a génsebészeti és sejttechnológiai módszerekhez. A génsebészet és a kísérleti embriológia vívmányainak egyesítése lehetővé teszi különböző fajok génjeinek embriók genomjába történő beültetését. Megállapították, hogy egy meghatározott gén részeként az embrióba bevitt DNS-molekula beépül annak örökletes anyagába. Ennek köszönhetően olyan jellegekkel rendelkező állatokat tenyésztenek ki, amilyeneket hagyományos nemesítési módszerekkel nem lehetne létrehozni. Például gyökeresen megváltoztatható a szarvasmarha tejének összetétele azáltal, hogy új tulajdonságokat kölcsönöznek neki.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Embriotechnológia, fogamzásgátlás, kriobiológia.*

Ismétlő kérdések. 1. Milyen egymást követő szakaszokra osztják az ember embrionális fejlődését? Mi jellemzi ezeket? 2. Milyen szerepe van a méhlepénynek a magzat fejlődésében? 3. Mit jelent a magzati betegségek és rendellenességek megelőzése? 4. Milyen célból végeznek mesterséges megtermékenyítést? 5. Az embriotechnológia milyen modern vívmányait ismeritek?

Bonyolult feladat. Gondolkozzatok el azon, hogy a fiatalkori alkohol- és kábítószer-fogyasztás, dohányzás miért hathat kedvezőtlenül az utódokra!

23. §. A SZERVEZETEK POSZTEMBRIONÁLIS FEJLŐDÉSE ÉS NÖVEKEDÉSE. AZ ÉLETCIKLUS FOGALMA



A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: az állatok posztembrionális fejlődésének milyen típusait ismeritek? Hogyan megy végbe a zárvatermő növények posztembrionális fejlődése? Mi a regeneráció? Mik a hormonok, a neurohormonok és a fitohormonok? Milyen egysejtű állatok tartoznak a spórakeletkezőkhöz? Mi az életciklus? Mi a kombinációs változékonyság és a partenogenezis? Idézzétek fel eddigi biológiai tanulmányaitokból az állatok és növények életciklusait! Idézzétek fel, hogy a termésekkel és magokkal való terjedés milyen módjai ismeretesek a növényeknél!

Az állatok és az ember posztembrionális fejlődése a születéstől vagy a tojásból való kikeléstől a halálig vagy a pusztulásig tart. Ezalatt a szervezet növekszik, szaporodóképessé válik (érés), öregszik és elpusztul.

A posztembrionális fejlődés milyen fajtái ismeretesek?

23.1. ábra. *A szaporodás után azonnal elpusztuló állatok: 1 – kérész; 2 – púpos lazac*

Egyes állatok (23.1. ábra) és a többsejtű egynyári növények a szaporodást követően szinte azonnal elpusztulnak. Posztembrionális fejlődésük két szakaszra – *szaporodás előtti* (a szervezetek még nem ivarérettek) és *szaporodási* (amikor szaporodóképessé válnak) időszakra – oszlik. Más szervezetek esetében (a gerinctelenek többsége, folyami rák, egyes rovarok, pókfélék, puhatestűek, évelő növények) a reprodukciós időszak elég sokáig tart. Ezt követően a pusztulás nem azonnal következik be, hanem bizonyos idő elteltével (néhány nap a rovarok, több év vagy évtized az emlősök, fák esetében). Ez a szakasz az *öregedési periódus*, amikor fokozatosan csökken az anyagcsere-intenzitás, és olyan visszafordíthatatlan változások következnek be a szervezetben, amelyek végül a halálhoz vezetnek.

Az állatok posztembrionális fejlődése lehet *közvetlen* vagy *közvetett* (23.4. ábra). Közvetlen fejlődésnél az állat már születésekor hasonlít a kifejlett egyedre. A közvetlen fejlődés az embrionizációnak köszönhetően lehetséges. *Embrionizáció* – az embrionális fejlődés meghosszabbodása a magzatnak az anyai szervezet (méhlepényes emlősök, egyes porcos halak), vagy a tojás (hüllők, madarak) tápanyagaival való táplálkozása következtében.

Az embrionizáció biológiai jelentősége az, hogy az állat a fejlettség magas szintjén születik vagy kél ki a tojásból, ami csökkenti a szervezet érzékenységét a környezeti hatásokkal szemben. A méhlepényes emlősöknél, egyes erszényeseknél, a cápáknál, a skorpióknál az embrióburkok egyike összenő a petevezeték kitágult részének (méh) a falával. Ennek a szervnek a falán keresztül az embrió tápanyagokat és oxigént vesz fel, és leadja anyagcseréjének melléktermékeit és a szén-dioxidot. Az ilyen szervezet világra jöttét ***valódi elevenszülésnek*** nevezzük.

Ha az embrió a tojás tartaléktápanyagait felhasználva fejlődik az anya szervezetében, és a tojásból az anyai szervezeten belül kél ki, akkor ezt ***tojás elevenszülésnek*** mondjuk (egyes gyíkok, kígyók, a guppi és a mexikói kardfarkú akváriumi halak).

Amikor az embrió az anyai szervezeten kívül fejlődik ki a tojásban, és a fiatal szervezet a tojáshéj felrepedése után közvetlenül a külső környezetbe kerül, akkor ***kelésről*** beszélünk (a hüllők többsége, madarak, ízeltlábúak, csalánozók).

Közvetlen fejlődés jellemző egyes csalánozókra (hidra), kevéssertéjű férgekre, rákokra (vízibolha, folyami rák), pókokra, némely puhatestűre (édesvízi és szárazföldi haslábúak, lábasfejűek), porcos halakra, hüllőkre, madarakra, emlősökre.

A ***közvetett fejlődést*** a szervezet felépítésének jelentős változásai kísérik. Ennek eredményeként a lárva kifejlett egyeddé válik. A ***lárva*** sok olyan ge-

23.2. ábra. Közvetlen és közvetett fejlődésű állatok. *A. nereis féreg közvetett fejlődése: 1 – lárva; 2 – lárva fejlődése; 3 – kifejlett féreg. B. Rovarok közvetett fejlődése: 1 – **nem teljes átalakulással**; 2 – **teljes átalakulással**. C. Madarak közvetlen fejlődése: 1 – fészeklakók; 2 – fészekhagyók*

rinctelen (a csalánozók többsége, laposférgek, hengeresférgek, gyűrűsférgek, puhatestűek, rovarok, tüskésbőrűek) és néhány gerinces állat (lándzsahal, csontos halak, kétéltűek) posztembrionális fejlődési szakasza, amelyek petesejtjében nincs elegendő tápanyag a szervezet kifejlődéséhez.

A közvetett fejlődés néhány egymás utáni szakaszból (fázisból) áll. Ezek mindegyikére jellegzetes felépítés és élettevékenység jellemző

Például a rovarok *nem teljes átalakulásakor* pete, lárva, kifejlett rovar (imágó) fázisokat különböztetnek meg (bolhák, lepkék, csótányok, egyenesszárnyúak, tetvek) (22.2., B ábra). *Teljes átalakuláskor* pete, lárva, báb, imágó fejlődési szakaszokról beszélünk (lepkék, bogarak, hártyásszárnyúak, bolhák). Teljes átalakulásnál különösen fontos szerepe van a báb állapotának, amikor gyökeresen átalakul a szervezet.

A közvetett fejlődés néhány fontos biológiai folyamatot biztosít, amely segíti a faj fennmaradását.

Táplálkozási funkció. Fejlődésének meghatározott szakaszában az állatnak nagy mennyiségű táplálékot kell felvennie, hogy befejeződhessen a fejlődése. A rovaroknál ezt a feladatot a lárva látja el (például a lepkék hernyója óránként testtömegét 10 000-szeresére vagy nagyobbra képes növelni). A kifejlett rovarok, mint ismeretes, nem nőnek, s csak annyi táplálékot fogyasztanak, amennyi anyagcseréjük fenntartásához vagy ivari termékeik előállításához szükséges; egyesek pedig egyáltalán nem táplálkoznak, mindössze a lárva szakaszban felhalmozott tápanyagokat használják (például a kérészek, a selyemlepke, bögölyök).

A tartalékok takarékos felhasználása. Gyakori jelenség, hogy a fejlődés különböző fázisai sokszor térben elkülönülnek egymástól mind a táplálkozás tárgyát, mind pedig a módját tekintve. Ezáltal elkerülhető a populáció egyedszámának olyan mértékű megnövekedése, ami a faj fennmaradását biztosító táplálékforrás kimerüléséhez vezet. Ez a jelenség a teljes átalakulással fejlődő rovaroknál, a vándorhalaknál, a gazdaváltó fejlődési ciklussal rendelkező élősködő szervezeteknél és a kétéltűeknél figyelhető meg.

Elterjedést szolgáló funkció. A helyhez kötött vagy lassú mozgású állatok lárvái (szivacsok, korallpolipok, kagylók, lándzsahalak, kacslábú rákok) aktív vagy passzív mozgással (tengeráramlatokkal, széllel, más szervezetek

közreműködésével) helyet tudnak változtatni, s ezzel biztosítják a faj elterjedését. A kétteknőjű édesvízi puhatestűek (tavikagyló, folyami gyöngytermő kagyló) lárvái jelentős távolságokra képesek eljutni azoknak a halaknak köszönhetően, amelyeknek a kopoltyúin élősködnek. Egyes gerinctelen állatok a tojás fázisban terjednek. Például ideiglenes víztározókban (pocsolyákban) élő pajzsosrákok és sófércek kiszáradásnak ellenálló, petéit a szél több tíz, sőt több száz kilométeres távolságra is elviszi.

Gazdaszervezetek megfertőzése. A paraziták (élősködők) lárvái különböző módon jutnak be a gazdaszervezetbe. A táplálékkal kerül az ember szervezetébe a macskamétely, a széles galandféreg, a trichinella, a vízzel a májmétely, a bőrön át a bányaféreg lárvája. A gazdaszervezetben a lárvák a megfelelő szövetbe vagy szervbe vándorolnak, s ott befejeződik a fejlődésük (*mondjatok példákat a 8. osztályos biológia tananyagából*).

Már szó volt róla, hogy valamennyi szervezet képes növekedni és fejlődni.

Milyen sajátosságai vannak a szervezetek növekedésének és regenerációjának?

A ***szervezetek növekedése*** – a szervezet testtömegének és méreteinek folyamatos nagyobbodása annak köszönhetően, hogy a plasztikus anyagcsereszintje meghaladja az energiaforgalom nagyságát. A szervezet növekedése lehet korlátozott vagy korlátlan. *Korlátozott növekedésről* akkor beszélünk, amikor az egyed nagyobbodása az ivarérettség és egy meghatározott nagyság elérése után abbamarad (az ízeltlábúak többsége, hengeresférgek, madarak, emlősök stb.). *Korlátlan növekedés* esetén a szervezet méretei és tömege az élet befejeződéséig tart (a magasabbrendű növények zöme, soksejtű moszatok, gombák, galandférgek, gyűrűsférgek, halak, hüllők).

A testtakaró felépítésétől, az egyedfejlődés sajátosságaitól és a környezeti feltételektől függően a növekedés lehet folyamatos vagy szakaszos. *Folyamatos növekedéskor* a szervezet egy meghatározott méret eléréséig vagy a pusztulásáig nő. *Szakaszos növekedés* esetén a testméret-növekedés szakaszai váltakoznak a növekedési szünetek fázisaival. Az ízeltlábúak és a hengeresférgek például a vedlésük idején nőnek, amikor a régi kültakarójukat már levetették, de az új még nem keményedett meg. Szünetel azoknak az állatoknak a növekedése is, amelyek a kedvezőtlen külső körülmények miatt téli vagy nyári álmot alusznak. A növényeknél és sok állatnál a növekedés mesterségesen leállítható a sejtek osztódását gátló vagy az anyagcserét fékező kémiai vegyületekkel.

Jegyezzétek meg, *hogy* minden faj egyedeinek növekedési típusa örökletes: a szervezet szabályozó mechanizmusaitól és a környezeti hatásoktól függ. Az állatok növekedését mindenekelőtt a hormonok és a neurohormonok, a növényekét pedig a fitohormonok határozzák meg. Idézzétek fel: a növekedési hormonok hiánya vagy fölös mennyisége az embernél törpeséget vagy óriásnövést idézhet elő, míg a pajzsmirigyhormon (tiroxin) még súlyosabb következménnyel jár: kreténizmust okozhat.

A fajok létezésének állandóságát az életciklusok biztosítják.

Mi az életciklus?

Az *életciklus* – két vagy több egymás utáni nemzedék azonos fejlődési fázisa közötti szakasz.

Sok egysejtű szervezet életciklusa az osztódással fejeződik be, vagyis ezek csak a környezet kedvezőtlen tényezőitől pusztulnak el. Ezért az esetükben az „egyedfejlődés" és az „életciklus" fogalmak azonosak. A soksejtű szervezetek egyedfejlődése a természetes halállal befejeződik. A szervezetek életciklusának folyamatosságát a gaméták (ivarsejtek) biztosítják azzal, hogy átadják az örökletes információt az utódnemzedéknek. Ilyenformán az életciklus folyamatosságát a generatív sejtek vagy a vegetatív sejtcsoportok biztosítják. Ugyanakkor a szervezet valamennyi szervét és szövetét alkotó szomatikus sejtek élettartama behatárolt.

Az életciklus tartama a különböző szervezeteknél eltérő lehet. Például a baktériumok és élesztők két osztódás közötti időtartama gyakran nem haladja meg a 30 percet, miközben a magasabb rendű növényeknél és a gerinces állatoknál sok évig tart. Az erdeifenyő csak 30–40, a viza 12–18 éves korában kezd szaporodni. Hosszú életciklusuk van egyes gerinctelen állatoknak, mint például az óriáskagylónak, folyami ráknak.

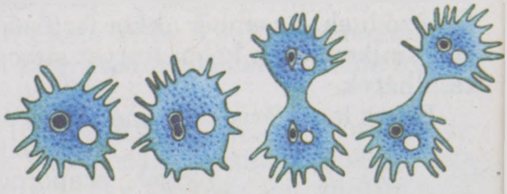
Megkülönböztetünk egyszerű és összetett életciklusokat.

Milyen életciklusokat neveznek egyszerűeknek és összetetteknek?

Egyszerű életciklus esetén az ivarosan és nem ivarosan szaporodó nemzedékek nem különböznek egymástól. Ilyen életciklusa van sok egysejtű szervezetnek (23.3. ábra), a hengeres és gyűrűs férgek többségének, az ízeltlábúaknak, puhatestűeknek, gerinchúrosoknak.

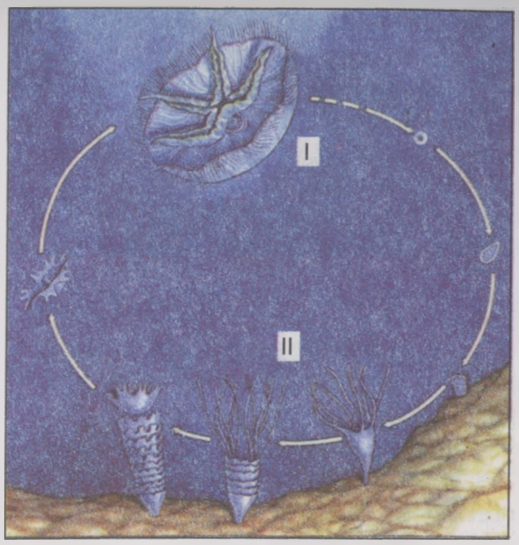
Az *összetett életciklus* nemzedékváltakozással jár együtt, amely során mindegyik nemzedék felépítésében, egyedfejlődésében, ploiditásában, szaporodásformájában különbözik a többitől (23.4. ábra). Egyes moszatoknál (barnamoszatok, vörösmoszatok) váltakozik a túlnyomóan haploid ivaros nemzedék a döntően diploid ivartalan nemzedékkel. A magasabbrendű növények között csak a moháknál dominál az ivaros nemzedék (*gametofita*), a többieknél (páfrányfélék, zsurlók, korpafüvek, nyitvatermők, zárvatermők) az ivartalan nemzedék (*szporofita*) van túlsúlyban.

Nemzedékváltakozáshoz kötődő összetett életciklusok figyelhetők meg az állatok különböző csoportjainál is. A véglényeknél (likacsoshéjúak, spórások) és a csalánozóknál például tör-



23.3. ábra. *Az óriás amőba egyszerű életciklusa*

23.4. ábra. *A malária-plazmódium életciklusa (a 8. és a 10. osztályos biológia tananyag alapján jellemezzétek ezt az életciklust)*



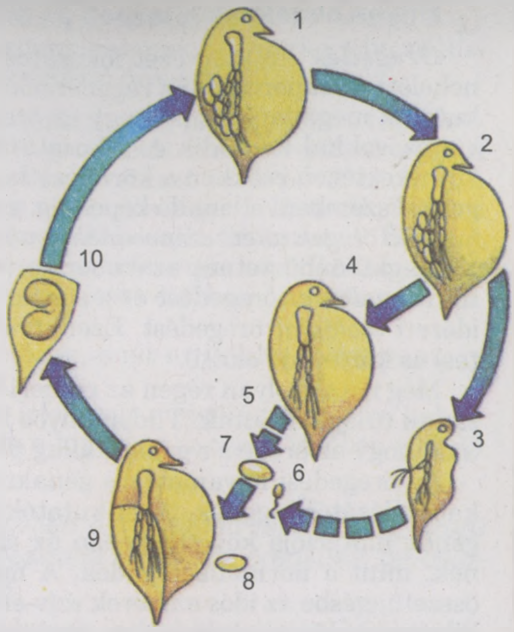
23.5. ábra. A csalánozók törzsébe tartozó fülesmedúza életciklusa (a 8. és a 10. osztályos biológia tananyag alapján jellemezzétek ezt az életciklust)

vényszerűen váltakoznak az ivarosan és az ivartalanul szaporodó nemzedékek (23.5. ábra).

Az ivarosan és ivartalanul szaporodó nemzedékek váltakoznak az olyan emberi és állati paraziták életciklusában, mint amilyen az echinococcus és az alveococcus. Ezeknél a galandférgeknél a borsókának nevezett stádiumban ivartalan szaporodással új, kapaszkodó szervekkel ellátott fejkezdemények képződnek (23.6. ábra). Az alveococcus cisztái kiszakadhatnak a testből és a vérrel áramolva más szervekbe juthatnak, ami a rákos megbetegedések áttéteire emlékeztet. Gyógykezelés hiányában ez a gazdaszervezet halálát okozhatja. Ha fűevő állatok borsókákkal fertőzött húsát kutyák vagy farkasok eszik meg, akkor az élősködők fejrészei a bélfalhoz rögzülnek és néhány milliméter hosszúságú férgek ivaros nemzedékévé alakulnak, amelyek hatalmas mennyiségű petét termelnek. A peték az ürülékkel együtt a külvilágba ürülnek; a fűevő állatok legelés közben fertőződnek. Az ember akkor fertőződhet meg echinococcussal és alveococcussal, amikor olyan kóbor kutyát simogat, amelynek a szőrén a paraziták petéi találhatók.

Egyes laposférgeknél (métely) és ízeltlábúaknál (vízibolhák, levéltetvek) az életciklus on belül ivarosan és partenogenezissel szaporodó nemzedékek váltakoznak. Például a vízibolhák huzamos ideig szűznemzéssel szaporodnak. Ilyenkor megtermékenyítetlen petéket raknak le. Ezekből a nőstények következő nemzedéke fejlődik ki, amelyek ugyancsak megtermékenyítetlen petéket raknak. Bizonyos külső körülmények hatására (hőmérséklet-csökkenés, táplálékhiány, a víz sótartalmának növekedése) a megtermékenyítetlen petesejtekből a nőstények mellett hím egyedek is fejlődnek. A nőstényekben peték keletkeznek, de az ő fejlődésük csak a megtermékenyítés után lehetséges. Ezek a peték jelentős mennyiségű tápanyagot (sárgaszik) tartalmaznak, s a megtermékenyítést követően tömör burok veszi őket körül, hogy képesek legyenek átvészelni a kedvezőtlen életkörülményeket. Kedvező létfeltételek esetén a nőstények szűznemzéssel szaporodó új nemzedéke fejlődik ki belőlük. Hasonló életciklus figyelhető meg az ízeltlábúak egyik képviselőjénél, a levéltetveknél (23.7. ábra).

23.6. ábra. Echinococcus (1) és a borsókája (2)



23.7. ábra. *A vízibolha életciklusa: 1 – nőstény partenogenetikus petékkel; 2 – szűznemzéssel szaporodó nőstények nemzedéke; 3 – hím; 4 – nőstény megtermékenyítetlen petesejtekkel; 5 – meiózis; 6 – spermiumok; 7 – pete; 8 – zigóta; 9 – nőstény megtermékenyített petékkel; 10 – áttelelő peték*

Az ivarosan és szűznemzéssel szaporodó nemzedékek váltakozásának fontos biológiai jelentősége van azon szervezetek körében, amelyek változó környezeti feltételek között élnek, és a kedvezőtlen időszakokban nem tudnak aktív életmódot folytatni. Az ivaros szaporodás biztosítja a faj folytonosságát, a szűznemzés pedig lehetővé teszi a kedvező időszakok lehető legjobb kihasználását a faj egyedszámának gyors növelésére.

Más állatok életciklusában a váltivarú és hermafrodita nemzedékek váltakozása figyelhető meg. Például a Rhabditis kerekesféreg hermafrodita nemzedéke a békák tüdejében élősködik. Az általuk lerakott peték kikerülnek a gazdaszervezetből. A petékből kikelő lárvákból váltivarú nemzedék lesz. Ennek egyedei a talajban élnek és csupán feleakkorák, mint a hermafrodita nemzedék képviselői. A váltivarú nemzedék petéinek a béka szervezetébe kell jutniuk, hogy fejlődhessenek. Belőlük a gazdaszervezetben hermafrodita nemzedék fejlődik.

Jegyezzétek meg: a különböző módon (ivarosan és ivartalanul, ivarosan és szűznemzéssel) szaporodó nemzedékek váltakozása erősíti a faj életét különböző környezeti feltételek között biztosító és a külvilág változásaira való gyors reagálást lehetővé tévő változékonyságot.

Az életciklus tartamát az egymást egy vagy több éven át váltó nemzedékek száma határozza meg.

Hogyan tagolható az ember posztembrionális fejlődése?

Az ember posztembrionális fejlődésének a kor szerinti szakaszolásánál biológiai és szociális sajátosságokat vesznek figyelembe. A gyermek születés utáni első tíz napja az *újszülöttkor*. A 11. naptól kezdődően egy éves korig *csecsemőkorról*, egytől három éves korig koragyermekkorról beszélünk, míg a negyedik és hetedik életév közötti időszak neve: *első gyermekkor*. A *második gyermekkor* a nyolcadiktól a 11. (a lányoknál) és a 12. (a fiúknál) életévig tart. *Kamasz-* vagy *pubertáskor* a lányok esetében a 12. életévtől a 15., a fiúknál a 13-tól a 16. életévig tart. A lányoknál a 16. életévtől a 20. életévig tartó és a fiúknál a 17. életévtől a 21. életévig tartó időszakot *ifjúkornak* nevezzük. Az *érett kor* a nőknél a 21. életévtől az 55. életévig, míg a férfiak esetében a 22. életévtől a 60. életévig tart. Az *időskor* a férfiaknál a 61. életévtől, a nőknél pedig az 56. életévtől kezdődik és a 74. életévig tart. Az *öregkor* mindkét nemnél egyaránt a 75. életévtől kezdődik és a halállal ér véget. Az idős és öreg embereknél öregedési folyamatok zajlanak.

TEMATIKUS TUDÁSSZINTFELMÉRÉS

I. A megadott válaszok közül válasszátok ki az egy helyest:

1. Jelöljétek meg azt a növénycsoportot, amelyre kettős megtermékenyítés jellemző: a) mohafélék; b) páfrányfélék; c) nyitvatermők; d) zárvatermők!

2. Nevezzétek meg azt az állatcsoportot, amelyre közvetlen fejlődés jellemző: a) rovarok; b) porcos halak; c) csontos halak; d) soksertéjű férgek!

3. Jelöljétek meg az embrionális fejlődésnek azt a szakaszát, amelyben kialakulnak a csíralemezek: a) barázdálódás; b) blasztula; c) gasztrula; d) hisztogenezis!

4. Hogyan nevezik az egyed egész életén át tartó növekedését: a) korlátozott; b) korlátlan; c) periodikus; d) regeneráció?

5. Jelöljétek meg az embrionális fejlődésnek azt a szakaszát, amelyben kialakul az ősbélüreg: a) barázdálódás; b) blasztula; c) morula; d) gasztrula!

II. Megfelelési feladat.

1. Állapítsátok meg a megfelelést a szervezetek és nemzedékváltakozások között:

Szervezetek	Nemzedékek
A. Vízibolha B. Fülesmedúza C. Májmétely D. Rhabditis féreg	1. Hermafroditikus és partenogenetikus 2. Váltivarú és partenogenetikus 3. Váltivarú és ivartalan 4. Hermafroditikus és ivartalan 5. Hermafroditikus és váltivarú

2. Határozzátok meg, a nemzedékváltakozás milyen formái figyelhetők meg az alábbi állatok életciklusában:

Nemzedékváltakozási formák	Állatok
A. Ivaros és nem ivaros B. Hermafroditikus és partenogenetikus C. Váltivarú és partenogenetikus	1. Macskamétely 2. Likacsoshéjúak 3. Óriásamőba 4. Vízibolhák

3. Határozzátok meg azokat a struktúrákat és szerveket, amelyek a megfelelő csíralevelekből fejlődnek:

Az embrionális fejlődés stádiuma	Szervek, struktúrák
A. Ektoderma B. Endoderma C. Mezoderma	1. Máj 2. Szívizom 3. Velőcső

III. Nyitott kérdések.

1. Miért dominál a belső megtermékenyítés a szárazföldi állatoknál? Feleleteteket indokoljátok meg!

2. Milyen kapcsolat van a szövetfejlődés és a szervfejlődés között?

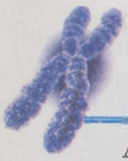
3. Milyen funkciók jellemzik az ivaros és az ivartalan nemzedékeket az összetett életciklusban?

IV. RÉSZ AZ ÉLET SZERVEZETEK FÖLÖTTI SZINTJEI

1. téma Az ökológia alapjai. Az ember és a bioszfé

A téma tanulása során megtudjátok, mik a populációk, az ökológiai tényezők, az élőhely, a társulások és ökoszisztémák, milyen szerepet játszanak az élőlények a bioszférában. Megtanuljátok, hogyan kell ökológiai tárgyú feladatokat megoldani.

24. §. AZ ÖKOLÓGIAI TÉNYEZŐK ÉS OSZTÁLYOZÁSUK. AZ ÖKOLÓGIAI TÉNYEZŐK ÉLŐ SZERVEZETEKRE ÉS TÁRSULÁSAIKRA GYAKOROLT HATÁSÁNAK TÖRVÉNYSZERŰSÉGEI



A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: mi a monitoring és a modellezés a biológiában?

Az ökológia mint önálló biológiai tudomány a XIX. sz. második felében alakult ki, amikor nyilvánvalóvá vált, hogy az élő szervezetek nem tanulmányozhatók természetes élőhelyeikből kiszakítva. Az „ökológia" kifejezést először a kiváló német biológus, Ernst Haeckel használta 1866-ban.

Ökológia (gör. *oikos* – ház, lakás és *logos* – tan) **– az élőlények és társulásaik egymás közötti, valamint a környezettel való kölcsönhatásait, az egyednél magasabb szerveződési szintű rendszerek szerkezetét és működését tanulmányozó tudomány.**

Az ökológia fő feladatai:

- a szervezetek és társulásaik egymás közötti, valamint a környezeti feltételekhez fűződő kölcsönös kapcsolataik törvényszerűségeinek feltárása;
- a szervezettársulások szerkezeti és működési törvényszerűségeinek vizsgálata;
- az egyes ökoszisztémákban és a bioszféra egészében végbemenő változások megfigyelése, a változások következményeinek előrejelzése;
- adatbázis létrehozása és ajánlások kidolgozása a gazdasági tevékenység ökológiailag biztonságos tervezése céljából;
- az ökológiai ismeretek alkalmazása a környezetvédelemben és a természeti erőforrások ésszerű felhasználásában.

Milyen elméletek léteznek az öregedéssel kapcsolatban?

Öregedés – a szervezet fokozatos leépülésével és fontos funkciók, mindenekelőtt a szaporodási és regenerációs képesség elvesztésével járó folyamat. A kutatók megállapították, hogy az öregedés a mitokondriumokban végbemenő változásokkal kezdődik és fokozatosan ráterjed az egész szervezetre. Ennek következtében csökken a környezethez való alkalmazkodás szintje, a betegségekkel szembeni ellenálló képesség, gyakrabban történik sérülés (*idézzétek fel, hogy az öregek miért szenvednek gyakran csonttörést*).

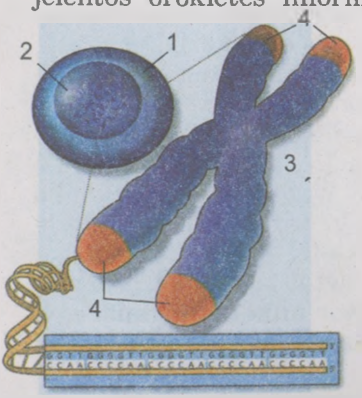
Megkülönböztetnek az ember korával, azaz életéveinek számával kapcsolatos *kronológiai* öregedést és a sejtek visszafordíthatatlan változásai által előidézett *biológiai* öregedést. Ezenkívül az öregedés lehet fiziológiai (természetes) és kóros (idő előtti).

Még nem is olyan régen az emberi öregedést főként a külső környezet hatásának tulajdonították. Tudományos kutatási adatok azonban arról tanúskodnak, hogy az öregedés genetikailag programozott folyamat.

Az öregedési folyamatok a génaktivitástól, azaz a génexpresszió ki- és bekapcsolásától függnek. Svéd kutatók megállapították, hogy a mitokondriumgének mutációja következtében az egerek három-ötször gyorsabban öregednek, mint a normális egyedek. A mitokondriumgének aktivitásával hozzák összefüggésbe az idős emberek szív-érrendszeri és más betegségeit. Más gének kikapcsolódását a kutatók az enzimreakciók jelentős részének gátlására és a fehérjeszintézis intenzitásának csökkenésére vezetik vissza.

Vagyis a sejtanyagcserében a korral visszafordíthatatlan változások következnek be. Aktívvá válnak az úgynevezett öregedési gének, amelyek a fehérjebioszintézis és a riboszómaszintézis depressziójával és a sejtmembránok szerkezeti és funkcionális zavaraival kapcsolatos információt hordoznak. A korral megnő a sejtosztódási rendellenességek száma is, és ennek következtében csökken a regenerációs képesség, romlik a DNS-molekulák reparációjáért felelős gének működése.

Egy másik elmélet szerint az emberi öregedés a kromoszómák telomer részeinek a megrövidülésével kapcsolatos. *Telomer* – a lineáris kromoszómák végén található, sok dupla nukleotidszekvenciát tartalmazó és fehérjemolekulákra vonatkozó információt hordozó DNS-szakasz. Az interfázis szakaszban a lineáris kromoszóma megkettőződése nem fejeződik be, s a végein egyedülálló, dupla szakaszok maradnak. Ha ezek nem alkotnának telomereket, akkor az jelentős örökletes információveszteséget okozna. A lineáris kromoszómák minden egyes megkettőződésükkor mindkét végükön elveszítenek egy 50–100 bázispárból álló DNS-szakaszt. Egyes sejtekben (őssejtek, generatív sejtek) ezek a telomerszakaszok egy speciális enzim révén helyreállnak, azonban ez az enzim a sejtek többségében inaktív, és a kromoszómák így osztódásról osztódásra rövidülnek. A telomerek részt vesznek a kromoszómaszakaszok megfelelő összeragasztásában, amikor a DNS-reparáció során sérül a szerkezetük.



23.8. ábra. *A telomerek elhelyezkedése: 1 – sejt; 2 – mag; 3 – kromoszóma; 4 – telomerek*

A kutatók felfedezték a telomerek hosszáért felelős gént. Kiderítették, hogy ennek a génnek egy bizonyos allélját hordozó emberek telomerjei a normálisnál rövidebbek. Ezért ők az átlagnál gyorsabban öregednek.

Vagyis az idő előtti öregedés zömmel genetikailag programozott folyamat, amely molekuláris, sejtes és szervezeti organizációs szinten valósul meg. A telomerek hosszának az élettartam során bekövetkező rövidülését okozzák a kábítószerek, az alkohol, a dohányzás és a mozgásszegény életmód. Ezért a helytelen életmódot folytató emberek megrövidítik saját életkorukat. Életkort hosszabbító tényező a rendszeres sportolás, az egészséges táplálkozás, a friss levegőn való gyakori tartózkodás, a stresszmentes életmód és a káros szokásoktól való tartózkodás.

Az öregedési folyamatok igen változatosak, amit az is jelez, hogy mintegy 300 elmélet született a magyarázatukra.

Gerontológia – az öregedés okait és lefolyását vizsgáló tudomány. Lehetséges, hogy eredményeinek köszönhetően a már nem is távoli jövőben sikerül meghosszabbítani az emberi életkort.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Közvetlen és közvetett fejlődés, egyszerű és összetett életciklus, öregedés, gerontológia.*

Ismétlő kérdések. 1. Mi a fejlődés embrionizációja? Mi a biológiai jelentősége? 2. Mi az életciklus? 3. Mi a lárva? Milyen szerepe van a lárva állapotnak a faj fennmaradásában és elterjedésében? 4. Mi a növekedés? A növekedés milyen formáit ismeritek? 5. Milyen életciklust nevezünk egyszerűnek, és milyet összetettnek? 6. A nemzedékváltakozásnak milyen változatai fordulnak elő az összetett életciklusú állatoknál és növényeknél?

Bonyolult feladat. A virágos növényeknél és más magasabbrendű növényeknél az ivaros és ivartalan nemzedékek szabályosan váltják egymást. Gondolkodjatok el azon, milyen a megjelenési formájuk ezeknek a nemzedékeknek!

4. sz. LABORATÓRIUMI MUNKA

T é m a: A gerinchúrosok embriogenezise

Eszközök és anyagok: fénymikroszkópok, kész mikroszkópos preparátumok, mulázsok vagy rajzok a lándzsahal, csontos halak, kétéltűek, hüllők, madarak, emlősök fejlődésének különböző szakaszairól; a béka petesejtjének, blasztulájának és gasztrulájának, különböző fejlődési szakaszokban lévő ikrájának kész mikroszkópos preparátumai.

A munka menete:

1. Készítsétek elő a mikroszkópot a munkához!
2. Kész preparátumokon, mulázsokon vagy rajzokon vizsgáljátok meg a zigóta barázdálódásának szakaszait, a blasztula és a gasztrula kialakulását! Figyeljétek meg a gasztrula rétegeinek felépítését, a szövetfejlődés (hisztogenezis) és a szervfejlődés (organogenezis) kezdetét!
3. Vizsgáljátok meg a barázdálódó békapete kész preparátumát! Figyeljétek meg a blasztomérák keletkezését! Rajzoljátok le és magyarázzátok meg a látottakat!
4. Vizsgáljátok meg a barázdálódásnak indult zigótákat!
5. Keressétek meg a mikropreparátumon a különböző csíralemezeket, és rajzoljátok le őket!

Tehát az ökológia kutatások tárgya: az élőlények változatossága, kölcsönös kapcsolatai, társulásaik egymáshoz és a környezethez való viszonya. Az ökológia vizsgálja a szervezettársulások, populációk, biocönózisok, biogeocönózisok és a bioszféra összetételét és működési törvényszerűségeit.

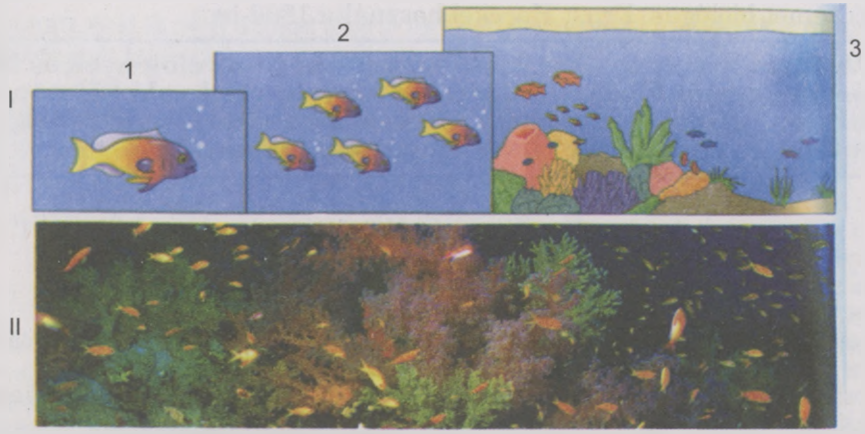
Melyek az ökológiai kutatások fő irányai?

Az ökológiában a következő kutatási irányvonalakat különböztetjük meg: egyedek ökológiája, populációk ökológiája és biogeocönológia (24.1. ábra). Az egyedek ökológiája a környezeti tényezők egyedekre gyakorolt hatását tanulmányozza. A populáció-ökológia a szervezetek populációit mint az élő anyag sajátságos szerveződési szintjeit vizsgálja, különös tekintettel szerkezetükre, állapotukra, önszabályozási mechanizmusaikra. A *biogeocönológia* – a szervezetek fajokban gazdag társulásainak (biogeocönózisok) szerkezetét, működését és önszabályozását, valamint a bioszféra egészét tanulmányozza.

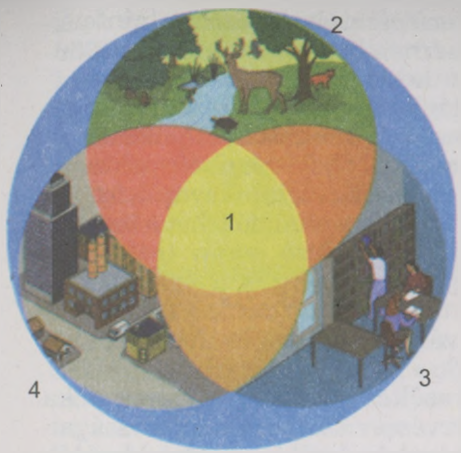
Az ökológiai tudományokhoz tartozik a mikroorganizmusok, gombák, növények, állatok ökológiája, a hidrobiológia (a vízben élő szervezetek társulásait kutatja), a talajbiológia (a talajban élő szervezetek társulásait vizsgálja). Az ökológia képezi az ésszerű természet-felhasználás és a környezetvédelem elméleti alapját.

Az ökológia komplex biológiai tudomány, amely szorosan együttműködik más biológiai és nem biológiai tudományokkal (matematikával, fizikával, kémiával). Különleges tudományterület a *matematikai ökológia*, amely a kísérleti kutatási módszerekkel nyert adatokat dolgozza fel és modelleket készít az élőlények társulásaiban és a bioszféra egészében várható változások előrejelzése céljából. Az ökológiához kapcsolódik a természet- és műszaki tudományok humanizációja, s a vívmányait felhasználják a humán tudományterületeken is. Ebből adódóan az ökológia manapság világnézeti diszciplínának minősül, amely különféle tudományokat és az emberi tevékenység valamennyi szféráját összefogja (24.2. ábra).

Az ökológusok felhasználják más tudományok kutatási módszereit. Az *ökológiai jelzés* (*indikáció*) *módszerei* lehetővé teszik az ökoszisztémák állapotának és tulajdonságainak meghatározását célirányosan kiválasztott (etalonnak vagy indikátornak tekinthető) élőlénycsoportok fajösszetétele és számbeli viszonyai alapján (24.3. ábra). Az *ökológiai megfigyelési* (*monitoring*) *módszert* a vizsgálati objektumok állapotának állandó figyelemmel kísérésére alkalmazzák. A kordszerű ökológiai kutatásokban széleskörűen használják a *modelle-*



24.1. ábra. *I. Az ökológia kutatások részterületei: 1 – egyed-ökológia; 2 – populáció-ökológia; 3 – társulások ökológiája (biogeocönológia). II. Korallsziget ökoszisztémája*



24.2. ábra. *Az ökológia kapcsolata más tudományokkal: 1 – ökológia; 2 – természettudományok; 3 – közgazdasági és társadalomtudományok; 4 – műszaki tudományok*

24.3. ábra. *A tavirózsa – a víz tisztaságának állapotjelzője*

zést és a kapott eredmények *statisztikai feldolgozását*. Különböző ökológiai intézmények komoly erőfeszítéseket tesznek a lakosság ökológiai ismereteinek a fejlesztésére.

Az ökológiai tényezők és rendszerezésük

A környezetnek az élő szervezetek és társulásaik állapotára és tulajdonságaira ható valamennyi összetevőjét *ökológiai tényezőknek* nevezzük.

Az ökológiai tényezőket hatásuk természete és sajátosságai szerint abiotikus, biotikus és antropogén tényezőkre osztják.

Abiotikus tényezők – az élettelen természet összetevői és sajátosságai, amelyek közvetlenül vagy közvetve hatnak mind az élőlényekre, mint társulásaikra (hőmérséklet, csapadék, fényviszonyok, a légkör összetétele, a víz sótartalma).

Biotikus tényezők – a populáció egyedeinek egymás közötti és a populációk közötti kölcsönhatások különböző formái az élőlények társulásaiban. Ezek a kölcsönhatások lehetnek gátlók (antagonisztikusak, mint például az élősködés), kölcsönösen előnyösek (mutualizmus) vagy semlegesek. Mindegyik élőlény állandó kölcsönös kapcsolatban van fajtársaival (fajon belüli kapcsolatok), vagy más fajok egyedeivel (fajok közötti kapcsolatok). Mindegyik szervezet életfolyamatai következtében változtatja mind más élőlények, mind a saját életterét: egyes erőforrások eközben elhasználódnak, mások ugyanakkor szaporodnak az adott közegben.

Az ökológiai tényezők külön csoportját képezik az ember gazdasági tevékenységének különböző formái, az *antropogén tényezők*, amelyek megváltoztatják a szervezetek élőhelyeit, többek között az emberi környezetet is. Létezésének – történelmi léptékkel mérve – viszonylag rövid időszaka alatt az ember gyökeresen megváltoztatta bolygónk arculatát, s ez a hatása a természetre állandóan növekszik. Néha az antropogén tényezők katasztrofális mértékben

24.4. ábra. *A Csernobili Atomerőmű az 1986-os baleset után*

hatnak a természeti környezetre, mint például a Csernobili Atomerőműben 1986-ban bekövetkezett robbanás (24.4. ábra).

Az ökológiai tényezők hatásának intenzitása mennyiségi mutatókkal jellemezhető (hőmérsékleti, nedvességi, fényerősségi mutatók). Egyes ökológiai tényezők hatáserőssége viszonylag állandó lehet a bioszféra történelmi fejlődése során (például a napsugárzás, tömegvonzás, a légkör összetétele, a tengervíz sótartalma). Többségük azonban változó erősségű (hőmérséklet, nedvesség).

A tényezők változékonyságának foka függ a szervezet élőhelyének sajátosságaitól. Például a hőmérséklet a talaj felszínén az évszaktól, napszaktól, időjárástól függően jelentős mértékben változhat, 3 méternél mélyebben viszont hőmérsékletváltozás gyakorlatilag nincs.

Az ökológiai tényezők változásai lehetnek:

- *ismétlődőek* (*periodikusak*), napszaktól, évszaktól függően;
- *esetlegesek* (*nem periodikusak*), például vulkánkitörések, földrengések, szélviharok, cunamik (24.5. ábra);
- *irányítottak* jelentős történelmi időszakok folyamán, például a Föld éghajlatváltozása során.

Az élő szervezetek folyamatosan alkalmazkodnak az ökológiai tényezők összességéhez, vagyis az élőhelyhez, szabályozva életműködési folyamataikat

24.5. ábra. *1. A Mauna Loa vulkán kitörése. 2. Földrengések – a földkéreg hirtelen lökései. 3. Cunami – tenger alatti földrengések nyomán keletkező óriáshullámok. 4. Hurrikán (tájfun)*

azok változásainak megfelelően. A szervezetek környezeti feltételekhez való, a felépítésük, élettevékenységük és viselkedésük jellegében megmutatkozó alkalmazkodását ***adaptációnak*** nevezzük (lat. *adaptatio* – alkalmazkodás). Ezáltal lehetővé válik az élőlények létezése a legkülönfélébb környezeti viszonyok közepette. Azonban a szervezetek adaptációja nem állandó jellegű, változik a faj történelmi fejlődése folyamán az ökológiai tényezők hatáserősségének változásaitól függően. Eközben egyes alkalmazkodások megjelennek, mások eltűnnek.

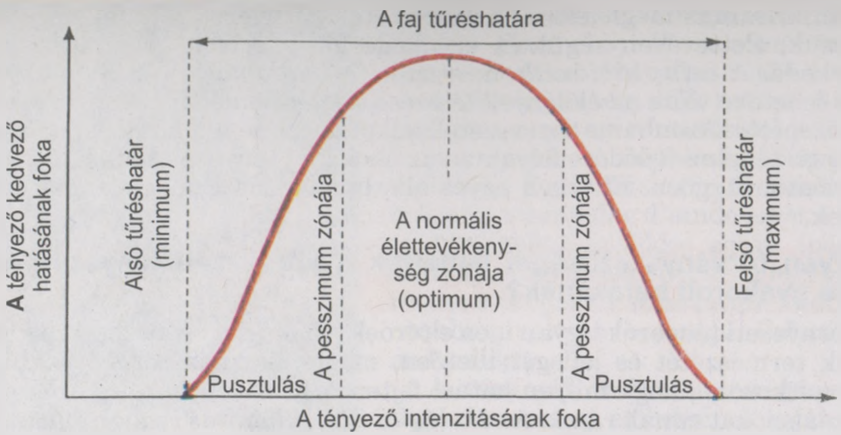
Milyen törvényszerűségei ismertek a környezeti tényezők élőlényekre gyakorolt hatásának?

A környezeti tényezők ugyan igen eltérőek a biológiai rendszerekre kifejtett hatásuk természetét és jellegét illetően, mégis léteznek törvényszerűségek arra vonatkozóan, hogy milyen hatást fejtenek ki élőlényekre és ezek milyen válaszreakciókat adnak rájuk. Az *ökológiai individualitás szabályának* megfelelően az élőlényfajok egyedi módon alkalmazkodnak a környezeti feltételekhez, azaz nincs két hasonló adaptációjú közeli faj (24.6., 1. ábra). Egy szervezet sikeres alkalmazkodása valamilyen ökológiai tényezőhöz nem jelenti más hatásokhoz való hasonló alkalmazkodását. Például a zuzmók képesek megtelepedni szerves anyagokban szegény élőhelyeken (háztetőkön, sziklákon), átvészelni hosszan tartó aszályos időszakokat, de rendkívül érzékenyek a levegő szennyezettségére (24.6., 3. ábra).

Ismeretes az *optimum törvénye*, amelynek értelmében mindegyik ökológiai tényező csak bizonyos határértékek között hat kedvezően az élőlényekre. Az ökológiai tényező élőlényre gyakorolt legkedvezőbb hatásintenzitás-értékeit az *optimum zónájának* nevezzük. Minél jobban eltér az optimumtól az ökológiai tényező hatáserőssége egyik vagy másik irányba, annál jobban érvényesül visszaszorító (elnyomó) hatása az élőlényre (*pesszimum zónája*). (A pesszimumok a tűréshatárokhoz közeli tartományok, ahol a szervezet reakciói már nagymértékben csökkennek. *A ford.*) A tényező hatás-intenzitásának értékeit, amelyeken túl a szervezet nem képes életben maradni, a *tűréshatár felső és alsó értékeinek* (maximumnak és minimumnak) nevezzük. A maximum és minimum közötti távolság az ökológiai tényező hatáserősségének azok az értékei, amelyek között az adott faj képes élni (24.7. ábra).

Az egyes tényezők nem elszigetelten hatnak a szervezetekre, hanem együttesen: ennek következtében valamelyikük hatása gyengülhet, vagy fordítva, erősödhet. Például száraz, szélcsendes időben könnyebb elviselni a hideget. Az optimum és az élőlény tűréshatára egy meghatározott tényező viszonylatában attól függ, milyen intenzitással és milyen kapcsolódásban hatnak más tényezők: *az ökológiai tényezők kölcsönhatásának jelensége.*

24.6. ábra. *1. A vakond és a földikutya (1) talajlakó állatok; a vakond a földben széles mellső lábfejével vájja magának a járatokat, míg a földikutya – metszőfogaival. 3. Zuzmó*



24.7. ábra. *Az ökológiai tényező hatásintenzitása*

A *kölcsönös kompenzáció törvénye* szerint egyes ökológiai tényezők hiányát vagy gyenge hatását részben más hasonló tényezők kompenzálhatják. Például a fény hiányát a növények részben kompenzálhatják a szén(II)oxid fölös mennyiségével. Azonban az ökológiai tényezők kölcsönös kompenzációjának is megvannak a határai, egyetlen élettanilag fontos tényező sem helyettesíthető teljesen egy másikkal. Ha csak egy ökológiai tényező hatásintenzitása is túllép a tűréshatáron, a faj élete lehetetlenné válik, függetlenül más tényezők intenzitásának optimális értékeitől. Például a stronciumban gazdag élőhelyeken a puhatestűek mészhéjába csak részben épülhet be a stroncium a kalcium helyett. A vízhiány fékezi a fotoszintézis folyamatát még a fényviszonyok és a légkör szén-dioxid tartalmának optimális értékei mellett is.

A *korlátozó tényezők törvénye* értelmében a faj bizonyos feltételek melletti létezésére bármelyik tényező meghatározólag hat. A faj létét az adott viszonyok közepette az a tényező korlátozza leginkább, amelynek a hatáserősség-intenzitása megközelíti vagy túllépi a tűréshatárt. Például sok állatfaj észak felé való terjeszkedését korlátozza a hő- és fényhiány, a tengeri halak felúszását az édesvizű folyók torkolatába a víz alacsony sótartalma gátolja.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Ökológia, ökológiai tényezők, adaptáció.*

Ismétlő kérdések. 1. Mit kutat az ökológia? 2. Milyen feladatai vannak az ökológiának? 3. Az ökológia milyen szakirányai léteznek? 4. Milyen módszereket alkalmaznak az ökológiai kutatások során? 5. Mit nevezünk ökológiai tényezőknek? 6. Az ökológiai tényezők milyen csoportjait ismerjük? 7. Milyen lehet az ökológiai tényezők hatásának intenzitás-változása? 8. Mi az adaptáció? 9. Mi az ökológiai individualitás szabályának a lényege? 10. Mit bizonyít az ökológiai optimum törvénye? 11. Mit bizonyít az ökológiai tényezők kölcsönös kompenzációjának törvénye? 12. Hogyan értelmezitek az ökológiai tényezők kölcsönhatásának jelenségét? 13. Fogalmazzátok meg az ökológiai tényezők korlátozásának törvényét!

Bonyolult feladatok. 1. Gondolkozzatok el azon, milyen kapcsolat van az ökológia és a természetvédelem között! 2. Magyarázzátok meg, min alapul az ökológiai tényezők kölcsönhatásának jelensége! A számítástechnika miért játszik jelentős szerepet az ökológiai kutatásokban? 3. Miért korlátozott az ökológiai tényezők kölcsönös kompenzációja?

25. §. A SZÁRAZFÖLD ÉS A LÉGKÖR MINT ÉLŐHELY

A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: milyen érzékszerveik vannak a szárazföldi és víziállatoknak? Miben különböznek egymástól az algák és az edényes növények?

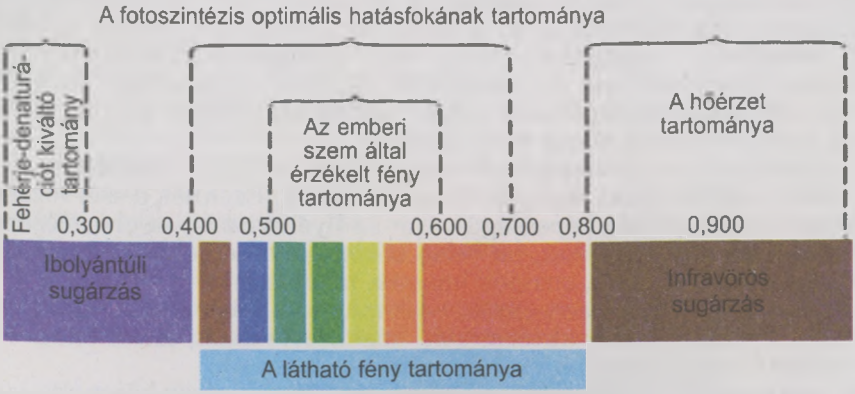
Az ***élőhely*** (***élettér***) – azoknak az életfeltételeknek az összessége, amelyekben az egyedek, populációk vagy a szervezetek egyéb társulásai élnek. Bolygónk élőlényei négy alapvető élőhelyet népesítenek be: a szárazföldi-légköri életteret, a vizeket, a talajt és más élőlények szervezeteit. A szárazföldi-légköri élettér a legváltozatosabb a környezeti viszonyok tekintetében (25.1. ábra). Az élettelen természet feltételei közül itt vezető szerepe van a fénynek, a hőmérsékletnek, a csapadéknak és a légkör gázösszetételének.

25.1. ábra. *A szárazföldi-légköri élettér*

Miként hat a fény az élő szervezetekre?

A fény a Napból érkezik bolygónkra. A napsugárzás színképében három tartományt különböztetünk meg. Ezek biológiai hatása eltérő: ultraibolya vagy ibolyántúli sugárzás, látható fény és infravörös sugárzás (25.2. ábra). Az ***ibolyántúli sugárzás*** 0,29 µm hullámhosszig pusztító hatással van az élő anyagra. Ezeket a sugarakat azonban szinte teljesen elnyeli az ózonpajzs. A 0,29–0,40 µm hullámhosszú ibolyántúli sugárzás nagy adagokban szintén károsan hat az élő szervezetekre, rájuk nem jellemző biokémiai folyamatokat és mutációkat vált ki bennük. Kis dózisokban viszont ezek a sugarak létfontosságúak az állatok és az ember számára, mivel elősegítik a D-vitamin keletkezését a bőrben.

A Föld felszínét elérő napsugárzás több mint 50%-a a ***látható fény*** tartományába esik, hullámhossza 0,41–074 µm-ig terjed. Ezeknek a sugaraknak a hatására megy végbe a fotoszintézis.



25.2. ábra. *A napsugárzás spektruma különböző tartományainak biológiai hatása*

25.3. ábra. 1. Nyírfaliget (fénykedvelő növények dominálnak benne). 2. Fenyőliget (árnyéktűrő növények dominálnak benne). 3. Tajga (árnyékkedvelő növények vannak túlsúlyban benne)

Az ***infravörös sugárzás***, amelynek hullámhossza meghaladja a 0,75 µm-t, a hőenergia forrása az élőlények számára. Egyes élő szervezetek (például növények, rovarok, kétéltűek, hüllők) testhőmérséklete csak az infravörös sugarak hatására növekedhet.

A fényhez való viszonyuk szerint a növényeket fénykedvelőkre, árnyéktűrőkre és árnyékkedvelőkre osztják (25.3. ábra).

A fényhez való viszonyuk szerint az állatokat két csoportra oszthatjuk: *éjjeli állatokra* (éjjel aktív fajok) és *nappali állatokra* (nappal aktív fajok) (*a megelőző tanévek biológiájából mondjatok példákat az említett állatokra*).

A környezet ***hőmérséklete*** különösen fontos a szervezetek életében, mivel hatással van testhőmérsékletükre. Az élőlények testhőmérséklete határozza meg az anyagcsere-reakciók sebességét. Az alacsony hőmérséklet fékezi azok lefolyását, míg a túlságosan magas hőmérséklet kiválthatja a fehérjék denaturációját, különösen az enzimekét.

A szervezetek többsége számára az optimális hőmérsékleti tartomány viszonylag szűk, +10 °C-től +30 °C-ig terjed. Nyugalmi állapotban azonban az élő szervezetek sokkal tágabb hőmérsékleti értékeket is képesek kibírni: –200 °C-tól +100 °C-ig. Egyes baktériumok spórái például rövid ideig képesek elviselni akár +180 °C hőmérsékletet is, a véglények és kerekesférgek cisztái, a hengeresférgek petéi, a növények virágpora és magvai, a prokarióták spórái megfelelő mértékű vízvesztés után nem vesztik el életképességüket még az abszolút nullához közeli hőmérsékleten sem (–271,16 °C).

A kedvezőtlen viszonyokat a szervezetek az anabiózis (lappangó élet) állapotában képesek elviselni. Az ***anabiózis*** (lat. *anabiosis* – az életbe való visszatérés, újjáéledés) a szervezetek olyan állapota, amikor hiányoznak az életjelenségek észlelhető megnyilvánulásai az anyagcsere-folyamatok jelentős lelassulása következtében. Az anabiózis jelentős vízvesztéssel jár (75%-ig). Kedvező körülmények beálltakor a szervezetek kikerülnek az anabiózis állapotából, és élettevékenységeik megújulnak.

Az alacsony hőmérsékleteken is megélő fajokat (egyes baktériumok, zuzmók, mohák, ízeltlábúak) *hidegtűrőknek* nevezzük. Ezeknek a szervezeteknek sajátságos alkalmazkodó képességük van az ilyen viszonyok elviselésére. Akkor is megőrzik aktivitásukat, ha belső közegük hőmérséklete –7... –10 °C-ra hűl le (egyes baktériumok, zuzmók, mohák, ízeltlábúak).

Vannak *melegkedvelő szervezetek*, ezek magasabb hőmérsékletű környezetben élnek. Például egyes baktériumok, kékbaktériumok, ízeltlábúak +80 °C hőmérsékletű vagy melegebb vizű forrásokban honosak.

Azt, hogy az élőlények különböző hőmérsékleti viszonyok közepette is képesek anyagcsere-folyamataikat szabályozni a környezeti változásoktól függően,

25.4. ábra. *1. Erős fagy esetén a pingvinek csoportokba verődnek. 2. A jegesmedve hóbucka mögé bújik. 3. A barnamedve mélyen alszik a csendes barlangban*

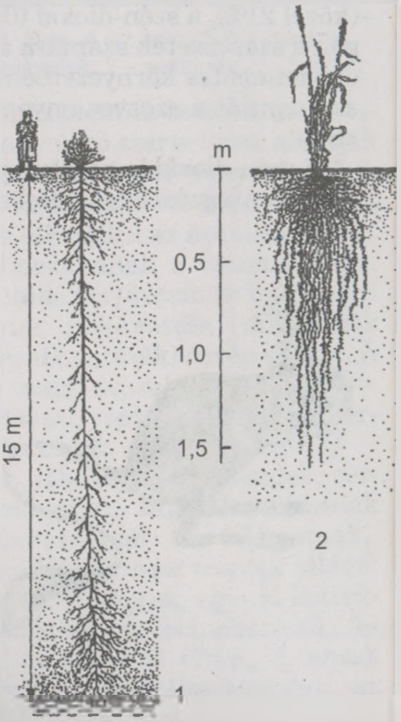
alkalmazkodási mechanizmusok teszik lehetővé. Például a cukor koncentrációjának növekedése a növények sejtnedvében, vagy a glicerintartalom emelkedése az ízeltlábúak testnedveiben csökkenti a fagypontot. A melegvérű állatoknak gyakran van a hőszigetelést biztosító fejlett szőr- vagy tolltakarójuk, vastag zsírrétegük. Sok állat tudja szabályozni testhőmérsékletét.

A ***hőszabályozás*** a szervezeteknek az a képessége, hogy fenn tudják tartani a szervezetükben keletkező (hőtermelés) vagy a környezetből elnyelt hő és a hőenergia-vesztés (hőleadás) közötti egyensúlyt.

A *kémiai hőszabályozás* a hőképzés fokozásával valósul meg a környezet hőmérséklet-csökkenésére adott válaszként (például a tartalék tápanyagok gyorsabb lebontása, vagy izom-összehúzódások révén).

A *fizikai hőszabályozás* a hőleadás mértékének megváltoztatásával (a szőrzet vagy tollazat helyzetének, a bőrkapillárisok átmérőjének, az izzadás mértékének, a növények párologtatásának módosulásával) vagy a környezet hőjének elnyelésével (a gyíkok, ízeltlábúak és más hidegvérű állatok napon való sütkérezése) történik. Fizikai hőszabályozás történik az állatok viselkedésének megváltozásával: hideg időjárás esetén csordákba, falkákba verődnek, vagy elrejtőznek a hideg elől olyan helyekre, ahol a hőingadozás jelentéktelen (például a talajban, barlangokban), gyakran álomba merülnek (25.4. ábra).

Nedvesség. Már tanultuk, milyen rendkívüli fontosságú a víz szerepe a sejtek és a szervezetek élettevékenységének a biztosításában. A szárazföldi-légköri környezethez való alkalmazkodás során az élőlényekben a vízszükséglet és a gazdaságos vízfelhasználást szabályozó mechanizmusok alakultak ki. A fajok életciklusai alkalmazkodnak az évszakos és napi csapadékmegoszláshoz (25.5. ábra). Például a csapadékszegény területeken élő magasabbrendű növények gyökerei jelentős mélységre hatolnak le (erdeifenyő, tevetövis), ahol az altalaj vízrétegei vannak, vagy erősen elágazó felszíni gyökérrendszerük alakul ki, ami nagy felületről



25.5. ábra. *Sivatagi növények gyökérrendszerei: 1 – a gyökerek lenyúlnak a talajvizek szintjéig (15 m mélység); 2 – a gyökerek a felszíni vizet gyűjti össze*

25.6. ábra. *Aszályos területek növényei: 1 – kövirózsa (vizet tárol a leveleiben); 2 – fa alakú kaktuszok (a szárukban tárolják a vizet)*

képes összegyűjteni a vizet a rövid ideig tartó esők alkalmával (kaktuszok). Sok más alkalmazkodási mechanizmusuk is van a vízhiány leküzdésére. A fák és bokrok levélhullatással csökkenthetik párologtatásukat.

A növényekhez hasonlóan az állatoknak – a szárazföldi-légköri élettér lakóinak – fenn kell tartaniuk szervezetük vízháztartásának egyensúlyát, mivel a vízveszteség gyorsabban okoz pusztulást, mint a táplálék tartós hiánya. Például az emberi szervezet esetében már a testtömeg 10 %-át kitevő vízveszteség is veszélyes lehet, míg a tevék esetében ez elérheti a 27%-ot. Csapadékszegény éghajlati körülmények között élő szervezet vízkészletének megőrzését párolgáscsökkentő kültakaró biztosítja (például a rovarok kutikulája, a hüllők szarupikkelyei), valamint sajátságos kiválasztó szervek a szárazföldi ízeltlábúaknál. Azonkívül az aszályos élőhelyek állatainak egy része éjjeli életmódot folytat, amikor a levegő nedvesebb és hűvösebb (25.7., 1. ábra), tartós aszály esetén pedig szüneteltetik tevékeny életmódjukat. A nagytestű állatok (antilopok, elefántok) jelentős távolságokat képesek megtenni víz után kutatva (25.7., 2. ábra).

A légkör gázösszetétele. A légkör alsó rétegeinek fő összetevői az oxigén (közel 21%), a szén-dioxid (0,03% körül) és a nitrogén (több mint 78%). Az oxigén a szervezetek számára az aerob légzéshez szükséges. Oxigénszegény vagy oxigénmentes környezetben csak olyan szervezetek képesek megélni, amelyek az energiát a szerves anyagok oxigénmentes bontásával nyerik (anaerob légzés).

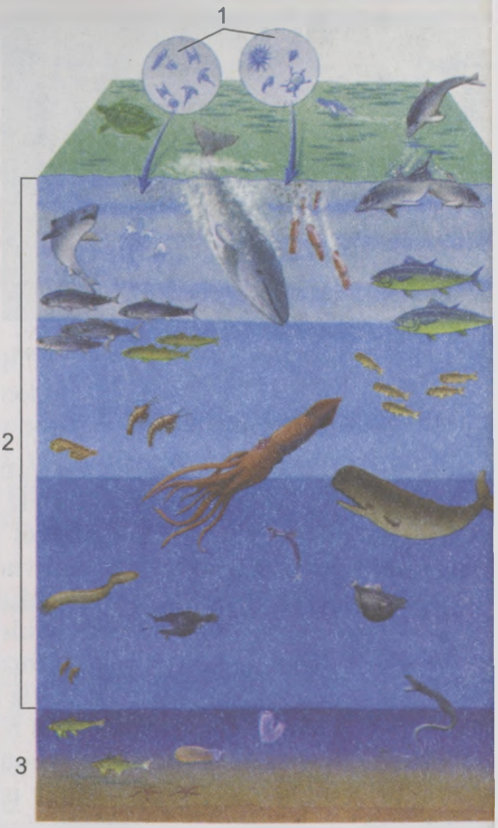
A szén-dioxid koncentrációjának növekedése a légkörben kedvezőtlenül befolyásolja a légzési folyamatokat, ugyanakkor bizonyos fokig növeli, míg a csökke-

25.7. ábra. *1. Az ugróegér éjjel aktív.*
2. Az afrikai gnu antilopok az itatóhelyen gyülekeznek

nése fékezi a fotoszintézis intenzitását. A szén-dioxid magas hőkapacitása folytán megnövekedett koncentrációja esetén emeli a légkör hőmérsékletét.

A nitrogén a szervezetek többsége számára iners gáz. Ugyanakkor bizonyos baktériumfajok (nitrogénkötő baktériumok, egyes kékbaktériumok, algák) képesek a légköri nitrogén megkötésére és olyan vegyületekké történő alakítására, amelyeket fel tudnak venni a zöld növények

A **víz mint élettér** a viszonyait tekintve nagymértékben különbözik a szárazföldi-légköri élőhelytől (25.8. ábra). A vizet a nagy sűrűsége, kisebb oxigéntartalma, jelentős nyomáskülönbségei különböztetik meg a szárazföldi-légköri élettér viszonyaitól. Ezenkívül a vizek különböznek sótartalmukban és az áramlás sebességében. A vizek lakói, általában alkalmazkodtak a vízi élethez, valamint az adott típusú vízi környezethez, vagy a világóceán egyes övezeteinek viszonyaihoz. A vizek lakói, a ***hidrobionták*** alkalmazkodtak mind a vízben való élethez, mind valamely víztípushoz vagy a világóceán egyes övezeteinek létfeltételeihez.

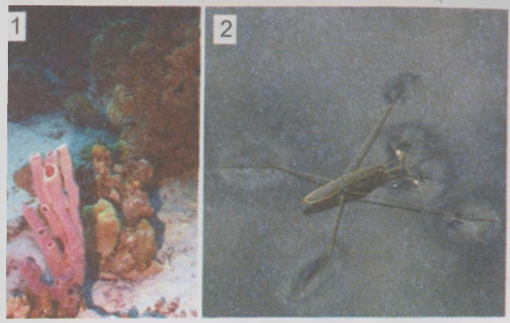


25.8. ábra. *A víz mint élettér (óceán): 1 – planktonok; 2 – nektonok; 3 – bentosz*

A hidrobionták ökológiai csoportjai. A hidrobionták benépesítik a világóceán valamennyi övezetét. A vízben lebegő vagy úszó szervezetek alkotják a plankton és a nekton ökológiai csoportját. A ***plankton szervezetek*** (25.8. ábra): baktériumok, algák, sugárállatkák, medúzák, apró rákfélék, csontos halak lárvái) rendszerint úsznak, de nem tudnak ellenállni az áramlásoknak, ezért nagy távolságokra sodródnak. Úgy alkalmazkodnak a vízrétegekben való élethez, hogy a vízben való lebegést kis méreteik, testfelszínük különböző kinövésekkel történő fajlagos növelése, fajsúlyuk csökkentése (vázelemeik könnyebbek, gázzal telt vakuólumaik, zsírzárványaik vannak) révén érik el. A plankton szervezetekre jellemző a periodikusan (napi, évszakos) – függőlegesen vagy horizontálisan – végbemenő, a szaporodással, táplálkozással, hőmérsékletváltozással, sótartalommal kapcsolatos változások.

Nekton szervezetek (25.8., 2. ábra) – a halak, lábasfejű puhatestűek, cetfélék többsége – képesek a vízben való aktív mozgásra, függetlenül annak áramlási irányától. Ezeknek az állatoknak jól fejlett mozgásszerveik vannak.

A ***bentosz*** a vízfenéken és a felszíni vízrétegekben élő szervezetek világa: likacsoshéjúak, korallpolipok, hengeres és kevéssertéjű férgek, egy- és kétteknős, valamint más puhatestűek, rákfélék, tüskésbőrűek, fejgerinchúrosok, fenéklakó halak, egyes algák, kékbaktériumok, baktériumok (25.8., 3. ábra). Ezek a szervezetek alkalmazkodtak a vízfenéken való helyváltoztatáshoz, az



25.9. ábra. 1. Szivacsok – perifiton szervezetek. 2. Molnárpoloska – neuszton szervezetek

aljzathoz történő tapadáshoz vagy az abban való elrejtőzéshez. Terjedésüket életciklusuk meghatározott fázisai segítik (lárvák, spórák).

A ***perifiton*** szervezetek a vízbe merült tárgyakon (hajók víz alatti részein, hidrotechnikai berendezéseken) megtelepedett élőlények (egyes szivacsok, algák, kacslábú rákok). Valamennyien helyhez kötött életmódhoz alkalmazkodtak (25.9., 1. ábra).

A ***neuszton*** szervezetek csoportja a vizek felszíni rétegeiben, a szárazföldi-légköri és vízi élőhely határán él. Közülük egyesek inkább a légkörrel vannak kapcsolatban (például molnárpoloskák) (25.9., 2. ábra), amelyek – a víz felületi feszültségét felhasználva – a víz felszínén mozognak. Mások alulról tapadnak a felszíni vízhártyához vagy függnek rajta (szúnyoglárvák, halivadékok).

A vízi élőhely fő sajátosságai. A víz mint élettér ökológiai tényezői között vezető szerepe van a hőmérsékletnek, a megvilágítottságnak, a nyomásnak, a gázösszetételnek, a sókoncentrációnak, a fenék domborzatának.

Hőmérsékleti viszonyok. A víz nagy fajlagos hőkapacitása folytán a hőmérséklet ingadozása a víz felszíni rétegeiben jóval kisebb, mint a levegőben. A világóceán felszíni rétegeiben a hőmérséklet ingadozása az év folyamán nem haladja meg a +10...+15 °C-t, nagy mélységekben a víz hőmérséklete állandó: +1,5...–2 °C, jóllehet a különböző típusú vizek hőmérsékleti viszonyai jelentősen eltérnek egymástól; ennek megfelelően az egyes hidrobionták számára megfelelő optimális hőmérsékleti értékek is nagyon különbözőek.

A vizek **megvilágítottsága** a mélység növekedésével gyorsan csökken. A fotoszintetizáló szervezetek 150–250 méternél mélyebben nem élhetnek. A legnagyobb mélységben – 270 méteren – vörösmoszatok élnek, amelyek a szórt fényt is hasznosítani tudják. A fény 1500 méternél mélyebbre soha nem hatol le. Bizonyos mélytengeri szervezetek (űrbelűek, rákfélék, puhatestűek, halak) képesek fényt termelni egyes lipidek oxidációja révén. Ezt a jelenséget *biolumineszcenciának* nevezzük. A fényjelek segítik a mélytengeri állatok csapatba verődését, a másik nemhez tartozó egyed megtalálását szaporodási (25.10. ábra) időszakban.

25.10. ábra. Nyolckarú polip fényképző szervekkel

A **víz kémiai összetétele** szintén jelentős mértékben befolyásolja a hidrobionták életfeltételeit. A különböző sók, köztük a kalcium-karbonát, a likacsoshéjúak és puhatestűek páncéljának, a korallok, rákfélék külső és a halak belső vázának a felépítéséhez szükségesek. A hidrobionták kivonják a vízből a benne lebegő szerves részecskéket, a nitrogén, foszfor, szilícium, vas oldott állapotban lévő vegyületeit.

A víz gáztartartalma. A víz oxigéntartalma 20–30-szor alacsonyabb, mint a levegőé. A víz oxigéntartalma kétféle eredetű: egyrészt a levegőből jut a vízbe diffúzió útján, másrészt a felszíni vízrétegekben élő fotoszintetizáló szervezetek élettevékenységéből ered. Ezért a mélység növekedésével a víz oxigéntartalma csökken. Ily módon a mély tengerek lakóinak az oxigénszegény környezetben való élethez kellett alkalmazkodniuk. A víz oxigéntartalma a hőmérséklet és a sótartalom növekedésével csökken.

A víz nyomása. Ez a vízi közeg egyik legfontosabb tényezője. A víz nyomása 10 méterenként körülbelül 1 atmoszférával nő, nagy mélységekben meghaladhatja az 1000 atmoszférát. A vízi állatfajok többsége a nyomás miatt meghatározott mélységben él (egyes gyűrűs férgek az árapály övezetben élnek, míg a bojtosúszós hal (latimeria) 40–1000 méteres mélységben honos). Csak egyes fajok képesek az árapály övezettől néhány ezer méteres mélységig élni.

A **víztömegek mozgását** a Föld Naphoz és a Hold Földhöz viszonyított helyzete határozza meg (dagály és apály), valamint a nehézségi erő (a folyók folyása) és a szél hatása. A vizek mozgása elősegíti a hidrobionták vándorlását, a táplálék helyváltoztatását. A szervezetek változatos módon alkalmazkodtak a víztömegek állandó mozgásához.

Hogyan alkalmazkodnak a hidrobionták a víztározók kiszáradásához?

A periodikusan kiszáradó víztározókat benépesítő szervezetek alkalmazkodtak a vízhiányos időszakok átvészeléséhez. A fejlődési időszakuk rendszerint rövid, ezért jelentéktelen idő alatt jelentősen növelik az egyedszámukat. A száraz időszakokat ezek a szervezetek inaktív állapotban (peték, ciszták, spórák alakjában) vészelik át. A nyári pajzsosrákok kiszáradt állapotban 15 évig is megmaradhatnak úgy, hogy nem veszítik el életképességüket. A száraz időszakokra egyes hidrobionták beássák magukat a fenéktalajba, néha külső védőburkot növesztenek, mint az afrikai pikkelyes hal (25.11. ábra).

25.11. ábra. Afrikai pikkelyes hal

Új szakkifejezések és fogalmak. *Élettér, anabiózis, hőszabályozás, plankton, nekton, bentosz, perifiton, neuszton.*

Ismétlő feladatok. 1. Mi az élettér? 2. Milyen a napfényszínkép különböző tartományainak biológiai jelentősége? 3. A szervezetek hogyan alkalmazkodtak az eltérő fényviszonyokhoz? 4. Mi módon hat a hőmérséklet a szervezetek élettevékenységére? 5. Mi az anabiózis? Mi a biológiai jelentősége? 6. Mi a szerepe a víznek a szervezetek életében? Hogyan tartják fenn a szervezetek vízháztartásuk egyensúlyát? 7. Mi a biológiai jelentősége a levegő különböző összetevőinek? 8. Milyenek a vízi élettér sajátosságai? 9. A hidrobionták milyen ökológiai csoportjait ismeritek?

Bonyolult feladat. 1. Gondolkozzatok el rajta, miért remegnek az emlősök és az emberek, ha fáznak! 2. Az algák közül miért a vörösmoszatok hatolnak legmélyebbre?

26. §. A TALAJ ÉS AZ ÉLŐLÉNYEK MINT ÉLŐHELY

A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: hogyan rögzülnek a növények a talajban?

A **talaj** – a Föld felső, termékeny rétege, amely élő szervezetek tevékenysége következtében alakult ki. A talaj az agyag- és homokszemcsék, valamint szerves anyagrészek közötti, vízzel vagy levegővel telt üregek rendszere (26.1. ábra).

A talaj felső rétege a ***humusz***. A humusz sötét színű a benne lévő speciális anyagoknak, a humuszsavaknak köszönhetően. A humusz összeragasztja a talaj apró részecskéit, s ezzel növeli annak porózusságát. Ennek köszönhetően a levegő könnyebben eljut a növények föld alatti részeihez. Ez a réteg határozza meg a talaj termőképességét, látja el a növényeket vízzel és ásványi anyagokkal.

A talaj felszínén növényi maradványokból álló *avarréteg* található. A talajlakó szervezetek (baktériumok, gombák, moszatok, állatok) közreműködésével a szerves anyagok átalakulnak, elkeverednek az ásványi anyagokkal és bekerülnek a talaj felső rétegébe. Ezek az ásványi anyagokkal együtt vándorolnak és jutnak el a talaj felső rétegébe, ahol a biogén bomlás kezdeti szakaszában humuszsavakká alakulnak (26.2. ábra).

A talaj az anyakőzeten helyezkedik el. Az éghajlati tényezők hatására anyaga idővel felaprózódik és a talaj ásványi összetevőivé (homok, agyag) alakul, vagy a vízben feloldódva növényi tápanyag lesz belőle.

26.1. ábra. *Talajmetszet*

26.2. ábra. *Avar – a humusz forrása (1); a talajképzésben részt vevő szervezetek (2)*

26.3. ábra. *Talajlakó állatok: 1 – földigiliszta; 2 – vakond; 3 – cserebogárlárva*

A talaj a szervezetek stabilabb élőhelye, mint a szárazföldi-légköri élettér. Függőleges irányú mozgások eredményeként a talajlakó szervezetek (baktériumok, állatok) megtalálják a számukra legkedvezőbb életfeltételeket. A talaj élőlényeinek többsége fokozott nedvességigényű, ami táplálkozásuk jellegével, vagy kültakarójuk sajátosságaival kapcsolatos, mely nem képes megtartani a vizet szervezetükben. A talaj levegőjének összetétele jelentősen különbözik a légköri levegő összetételétől: szén-dioxid tartalma 10–100-szor magasabb, oxigéntartalma néhányszor alacsonyabb. Mivel az oxigén a talajba a levegőből diffúzió útján jut, ezért a mélység növekedésével csökken a mennyisége.

A talajban sokfajú társulások élnek. Itt találhatók a magasabbrendű növények gyökérrendszerei, módosult hajtásai. A felszínen és a felső talajrétegben moszatok (zöldmoszatok, sárgászöld moszatok, kovamoszatok), gombák, zuzmók, kékbaktériumok élnek. A baktériumok és gombák az egész talajréteget benépesítik.

A talajlakó állatok között vannak olyanok, amelyek állandóan a talajban élnek: egyes hengeres és kevéssertéjű férgek, atkák, rovarok, vakondok, cickányok, földikutyák, valamint az életciklusuk nagyobb részét a talajban töltő fajok, mint a cserebogár lárvái. Más fajok csak a kedvezőtlen körülmények idejére (tél, aszály) válnak talajlakóvá (26.3. ábra).

A talajlakó állatok között vannak növényevők, ragadozók és paraziták. A többségük azonban szaprofita, azaz olyan élőlény, amely az elhalt szervezetek szerves anyagait humusszá és ásványi anyagokká alakítja. A talajképzés fontosabb szakaszait ezek a talajbaktériumokkal és gombákkal együtt végzik. Ezenkívül mozgatják a talajt, ezzel javítják a szerkezetét.

A szervezetek mint élőhelyek sajátosságaikat tekintve lényegesen eltérnek az élettér összes többi változatától. A más élőlények testfelületén megtelepedett szervezetekre közvetlenül hatnak a környezeti tényezők, míg a gazdaszervezeten belül élőkre csak közvetve, a gazda szervezete révén.

A **szimbiózis.** A különböző fajok valamennyi együttélési formáját *szimbiózisnak* nevezzük, az együtt élő fajok mindegyikét pedig *szimbiontának*. A szimbiózis alapulhat *táplálkozási kapcsolatokon* (amikor maga a gazdaszervezet, táplálékának maradványai, életműködésének melléktermékei szolgálnak táplálékul a szimbionta szervezet számára), *térbeli kapcsolaton* (amikor egyik szervezet a másik szervezet belsejét vagy testfelületét használja élőhelyül, vagy amikor a szervezetek közösen használnak élőhelyként fészket, kagylóhéjat, barlangot, kotorékot). A szimbiózis lehet feltétlen (obligát), amikor vagy az egyik, vagy mindkét szervezetnek szüksége van a másikra (például a gerincesek és az ember bélrendszerében élősködő laposférgek, vagy a zuzmókat alkotó gombák és moszatok). Van, amikor a szervezetek élhetnek együtt és külön is. A szervezetek kölcsönös kapcsolatától függően a szimbiózis következő formáit

különböztetik meg: parazitizmus, kommenzalizmus és mutualizmus.

A ***parazitizmus*** (élősködés) a fajok közötti olyan kapcsolat, amikor az egyik faj (a parazita) rövidebb vagy hosszabb ideig a másik fajt (a gazdaszervezetet) használja táplálékforrásként és élőhelyként, részben vagy egészen rá hárítva a külső környezettel való kölcsönös viszonyának szabályozását. A parazitizmus előfordul a szervezetek különböző csoportjai, így a baktériumok, gombák (üszöggombák, lisztharmat, anyarozs), állatok (véglények, laposférgek, hengeresférgek, ízeltlábúak), növények (aranka, szádorgó) között (26.4. ábra). Valamennyi vírus sejtparazita.

Egyes parazita fajok a gazdaállat testfelszínén élnek (tetvek, kullancsok), mások a belsejében (galandférgek, mételyek, bögölylárvák).

A gazdaszervezet különleges körülményeihez sajátságos módon alkalmazkodtak a paraziták. Mivel a külső környezeti tényezők csak a gazdaszervezeten keresztül hatnak az élősködőkre, egyes szerveik vagy szervrendszereik egyszerűsödése, illetve teljes redukciója figyelhető meg náluk (emésztőszervek, idegrendszer, érzékszervek). Ugyanakkor kiváló kapaszkodó szerveik vannak (szívókák, horgok, stb.), valamint jól fejlettek szaporító rendszerük (például a galandférgek ízeiben 2-től 14-ig találhatók hím és női ivarszervek). A parazitákra jellemző a magas fokú termékenység. Például az orsógiliszta nőstény naponta 240 000 petét rak, a simafejű galandféreg élete folyamán (18 év is lehet) több mint 10 milliárdot. Sok parazitára összetett életciklus jellemző, mely nemzedékváltakozással, gazdacserével, az élőhely változtatásával párosul.

Ha a parazita életciklusa folyamán különböző fajokhoz tartozó gazdaállatot cserél, akkor azt a szervezetet, amelyben ivarosan szaporodik, *végső gazdának* nevezzük (például az ember a simafejű galandféreg számára), amelyben ivartalanul vagy szűznemzéssel szaporodik, esetleg csak fejlődésének egy fázisát éli benne, *köztes gazdának* (például a szarvasmarha a simafejű galandféreg számára). Vannak *hordozó gazdák*, melyekben a paraziták nem fejlődnek és nem szaporodnak, csupán a kedvezőtlen viszonyokat vészelik át. A hordozó gazdák segítik a paraziták elterjedését. Az élősködők meghatározott szerepet töltenek be a szervezetek társulásaiban. Egyesek a társuláshoz tartozó szervezeteknek alig ártanak, ugyanakkor súlyos betegségeket okozhatnak a társuláshoz nem tartozó fajoknak. Például az antilopok vérében a vérflagelláta élősködése nem jár látható változásokkal, az ember vérébe kerülve viszont halálos betegséget, álomkórt okoznak. A paraziták tehát védik az ökoszisztémát az idegen fajok behatolásától. Más élősködők, amelyek károsan hatnak az ökoszisztéma fajaira, szabályozó szerepet töltenek be, megakadályozva a populáció túlnépesedését (például a pestis kórokozója a mormota vagy patkány és

26.4. ábra. *Paraziták előfordulnak az élőlények különböző csoportjaiban: 1 – Trichinella és lárvája; 2 – taplógomba; 3 – aranka*

26.5. ábra. A remeterák különböző szimbiotikus kapcsolatra léphet: 1 – a tengeri makkokkal való szimbiózis – a kommenzalizmus példája; 2 – az tengeri rózsával való szimbiózis – mutualizmus

más rágcsálók telepein).

A **kommenzalizmus** – a fajok közötti olyan viszony, amikor az egyik (*kommenzalista*) a másik (*gazda*) szervezetét, lakóhelyét, táplálékának maradványait vagy életműködésének termékeit használja, és ezzel nem okoz kárt a gazda szervezetének, de hasznot sem hajt neki (26.5., 1. ábra).

A kommenzalizmus *együttlakás* és *asztalközösség* formájában létezik. Az első esetben a kommenzalista lakóhelyül használja a gazda szervezetét vagy élőhelyének egy részét, a másikban táplálékának maradékaival vagy életműködésének termékeivel táplálkozik.

A **mutualizmus** – fajok kölcsönösen előnyös együttélése (26.5., 2. ábra). Gyakran ez a mindkét fél számára hasznos kapcsolat egyben az élet alapvető feltétele is. Például egyes egysejtű ostorosok állandóan a rovarok (csótányok, termeszek) gyomrában élnek. Ott táplálékot és védelmet találnak a kedvezőtlen környezeti viszonyok ellen. Az ostorosok viszont olyan enzimeket termelnek, melyek a számukra táplálékot nyújtó rovarok által könnyen emészthető egyszerű cukrokká bontják a cellulózt Ha a rovarokat mesterségesen megszabadítják az ostorosoktól, azok éhen pusztulnak még akkor is, ha a táplálékukban van elegendő mennyiségű cellulóz, mivel nem tudják az ezt elbontó enzimet előállítani.

A mutualizmus példája a tengeri rózsa és a remeterák, a nitrogénkötő baktériumok és a pillangós virágú növények kölcsönös kapcsolata, a gomba és alga együttélése a zuzmóban.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Talaj, parazitizmus, kommenzalizmus, mutualizmus.*

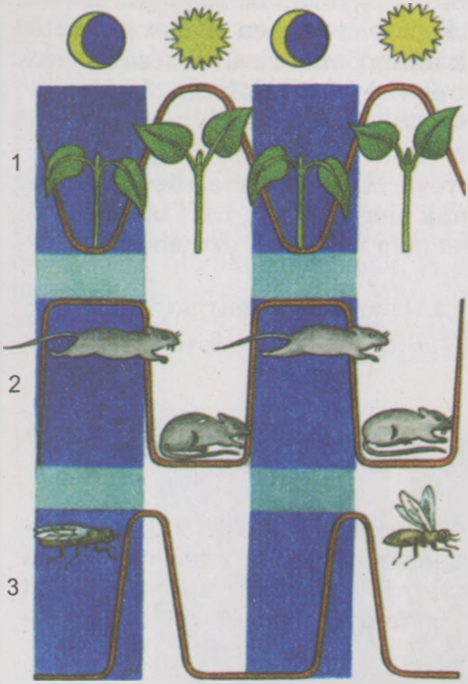
Ismétlő kérdések. 1. Miből áll a talaj? 2. Hogyan alkalmazkodtak az élőlények a talajlakó életmódhoz? 3. Milyen sajátságai vannak a talajnak mint a szervezetek élőhelyének? 4. Mi a szimbiózis? 5. A szimbiózis milyen formáit ismeritek? 6. Mi a kommenzalizmus? És milyen formái vannak? 7. Mi a mutualizmus? Mondjatok példákat!

Bonyolult feladat. 1. Gondolkozzatok el azon, hogy mivel magyarázható a talaj mélyebb rétegeiben élő ízeltlábúak vékonyabb testtakarója a felső talajrétegben élő ízeltlábúak testtakarójához viszonyítva?

27. §. AZ ÉLŐLÉNYEK ALKALMAZKODÓ BIORITMUSAI

A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: az ökológiai tényezők mely periodikus változásai kapcsolódnak a Föld Nap körüli és a Hold Föld körüli keringéséhez?

A természetben végbemenő egyik legáltalánosabb jelenség az ***évszakok*** és a ***napszakok váltakozása***. Az évszakos periodicitás leginkább a mérsékelt égövben és az északi szélességeken nyilvánul meg, ami a szervezetek életének meghatározott ritmust kölcsönöz. A trópusok élőlényei az évszakok változását kevésbé érzékelik Mint ismeretes, a Föld Nap körüli keringése okozza az évszakok váltakozását, a fényviszonyok, hőmérséklet, légnedvesség változásait. A Föld saját tengelye körüli forgása idézi elő a szervezetek napszakokhoz kapcsolódó ritmusát. Szoros kapcsolat áll fenn az égitestek mozgása és a bolygónkat benépesítő élőlények között. Ennek a következménye az ökológiai tényezők hatáserősségének (évszakos és napi, árapályhoz kötődő) periodikus változásai. Az élőlényeknek különféle mechanizmusaik vannak, amelyekkel meg tudják határozni a Nap állását, a Hold fázisait. A nap horizont fölötti magassága jelzi a napszakot, a nappal világos részének hossza pedig – az évszakot. Ez hozza létre a szervezetek *alkalmazkodó bioritmusait*: a napi, árapályhoz igazodó, évszakos és éves ritmust. Az alkalmazkodó bioritmussal kapcsolatos ***„a biológiai óra"*** jelensége, azaz a szervezeteknek azt a képessége, hogy reagálnak az idő múlására. A biológiai óra mechanizmusa még nem tisztázott, jóllehet úgy vélik, a sejtben végbemenő fizikai és kémiai folyamatokon alapul. A biológiai jelentősége azonban vitathatatlan, mivel lehetővé teszi a szervezet élettani folyamatainak összehangolását az élőhelyen végbemenő változásokkal (napszakok és évszakok váltakozása).



27.1. ábra. *A növények és állatok aktivitásának napi ritmusai: 1 – hüvelyes növény; 2 – patkány; 3 – házi légy*

A bioritmusok a különféle ökológiai tényezők – megvilágítás, dagály és apály – intenzitásának periodikus változásaihoz kötődnek. Megkülönböztetik a szervezetek és társulásaik napi, dagályhoz és apályhoz kapcsolódó, évszakos, éves alkalmazkodó biológiai ritmusait.

Napi ritmusok. A Föld tengely körüli forgásából eredően a nap folyamán kétszer változik a megvilágítottság. Ez kiváltja a hőmérséklet, a légnedvesség és más abiotikus tényezők változásait, amelyek hatnak az élőlények aktivitására. A napfény határozza meg a fotoszintézis, a párologtatás, a virágnyílás és -összecsukódás periodicitását. Már tanultuk, hogy a nappalok és éjszakák váltakozása hatással van állati szervezetek különböző

funkcióira, mindenekelőtt a mozgási tevékenységre, az anyagcsere-folyamatok intenzitására (27.1. ábra). Az embernél több mint 100 olyan életfunkciót figyeltek meg, amelyeknek az intenzitása a napszakkal függ össze.

Napi ritmus jellemzi az élőlények társulásait is. Például a tengeri planktonba tartozó állatok napközben a vízfelszín közelébe úsznak fel, míg éjszakára lejjebb ereszkednek. Ezeket a mozgásokat a megvilágítás és a hőmérséklet napi változásai idézik elő. A zooplanktont követve változtatják helyüket a vele táplálkozó állatok és az utóbbiakra vadászó ragadozók.

Az **árapály ritmusa** a Hold Föld körüli keringésével függ össze. Ezek a bioritmusok az árapály övezetében élő szervezetekre jellemzőek. Egy holdnap (24 óra 50 perc) alatt kétszer van apály és dagály. Az apályok és a dagályok fázisa naponta mintegy 50 perccel eltolódik. Havonta kétszer, újhold és holdtölte idején (mintegy 14 naponta, amikor a Föld, a Nap és a Hold egy vonalban találhatók) a dagályok elérik a maximumukat. Vagyis az árapályok napi ritmusára rárakódik a havi ritmus.

27.2. ábra. *Évszakos ritmusok a természetben: 1 – tél; 2 – tavasz-nyár; 3 – ősz*

Apály idején a litorális állatok behúzódnak kagylójukba, csigaházukba, a kacslábú rákok, egyes soksertéjű férgek bezárkóznak házaikba, mások beássák magukat a homokba. Ugyanakkor azokon a területeken, amelyekről levonul a víz, megjelennek a szárazföldi-légköri közeg állatai (kullancsok, rovarok, madarak), amelyek megfelelő mennyiségű táplálékot (visszamaradt algákat, állati maradványokat) találnak ezeken a helyeken. A litorális hidrobionták aktivitása az apály idején megélénkül. A dagály és apály ritmusával függ össze az árapály övezetében élő egyes szervezetek szaporodása.

Az **évszakos ritmusok** a Föld Nap körüli keringésével kapcsolatosak, miközben ez az éghajlati viszonyok éves változásait okozza (27.2. ábra). Az évszakokkal függ össze a szervezetek szaporodása, fejlődése, nyugalmi állapota, az állatok vedlése, költözése, vándorlása, téli álma, a lombhullató növények levélváltása. Vagyis az adott évszaktól függően az élőlények esetében jelentős változások figyelhetők meg életfolyamataik intenzitásában, viselkedésében. Eközben az aktív táplálkozás, szaporodás és fejlődés időszaka rendszerint a kedvező évszakokkal esik egybe, míg a kedvezőtlen évszakokat a szervezetek nyugalmi állapotban (anabiózisban) vészelik át. Az évszakos ritmusok a legvilágosabban a meghatározott helyen gyökeret eresztett magasabbrendű növényeknél és a helyhez kötött életmódot folytató állatoknál figyelhetők meg. Az évszakos változások nem csupán a szervezetek életműködésére hatnak, hanem külalakjukra is.

Sokéves ritmusok. Sok élőlénynél megfigyelhetők nem pontosan meghatározott ***sokéves ciklusok***, amelyek a naptevékenység néhány éves, nem periodikus változásaival kapcsolatosak, például a vándorsáska és más fajok tömeges elszaporodása. A naptevékenység intenzitása rendszerint 11 évenként mutat növekedést.

Fotoperiodizmus. A szervezetek bioritmusára ható egyik legfontosabb tényező a *fotoperiódus* (*fényszakasz*) – a nappal hossza. A szervezetek reakcióit a fényszakasz hosszának változásaira *fotoperiodizmusnak* nevezzük. A nappal hossza az egyik legállandóbb környezeti tényező, mivel az adott helyen és az év adott napján mindig azonos. Egyéb tényezők (hőmérséklet, nedvesség, légnyomás,) változhatnak a nap folyamán. A szervezeteknek az a képessége, hogy érzékelni tudják a nappal hosszának változását, lehetővé teszi számukra az idejében történő felkészülést a környezeti viszonyok évszakos változásaira. A fotoperiodizmus érzékelése a szervezetek különböző csoportjainak sajátossága, de azoknál a fajoknál a legszembetűnőbb, amelyek a hirtelen évszakos változások közepette élnek.

A növényeknél a nappal hosszának változására elsősorban a levelek reagálnak, sejtjeikben biológiailag aktív anyagok (fitohormonok) keletkeznek. Ezek hatnak a különböző életfolyamatokra (virágzás, lombhullás, magok, gumók, hagymák csírázása). A nappal hosszára történő reagálás szerint megkülönböztetnek *hosszú nappalos és rövid nappalos növényeket* (27.3. ábra). A hosszú nappalos növényeknél (beléndek, pázsitfűfélék, lombhullató fák) a nappal hosszának növekedése serkentőleg hat a növekedési és szaporodási folyamatokra, míg a rövidülése fékezi azokat, és előkészíti a téli nyugalmi állapotba való átmenetet. A rövid nappalos növények (dohány, rizs, szója) a nappal rövidülésekor virágoznak. A rövid nappalos növények rendszerint az alacsonyabb szélességi körökön, a hosszú nappalosak – a magasabb és a mérsékelt szélességeken nőnek. Ugyanakkor a fotoperiodizmus a rövid nappalos növényeknél kifejezettebb.

A többsejtű állatoknál a fotoperiodizmus befolyásolja az idegrendszer és a belső elválasztású mirigyek működését. Például a leghosszabb nappalok idején egyes rovarok nőstényeinek idegsejtjei neurohormonokat termelnek, amelyek hatására a lerakott peték huzamosabb ideig nyugalmi állapotban maradnak. A lárvák ezekből csak a következő év tavaszán kelnek ki, amikor van elegendő táplálék és kedvezőek az időjárási viszonyok. Ennek köszönhetően történik a populáció egyedszám-növekedésének szabályozása, ami megakadályozza a táplálékkészletek kimerülését.

27.3. ábra. *I. Hosszú nappalos növények: 1 – beléndek; 2 – juhar.*
II. Rövid nappalos növények: 3 – dohány; 4 – szója

A nappal hossza nem csak az egyes egyedek vagy fajok életfolyamataira hat ki, hanem az ökoszisztéma egészének működésére is azáltal, hogy törvényszerűen előidézi a fajok – évszakokhoz igazodó – egymással való felváltását (például a tulipánok a sztyeppéken és sivatagokban virágoznak és tavasszal magokat hoznak, majd a föld fölötti részük elhal, míg a hagymájuk nyugalmi állapotban a talajban marad a következő év tavaszáig). A költöző madarak (fecskék, gólyák) bizonyos fajai nyáron részét képezik a mérsékelt égöv ökoszisztémáinak, míg télen a trópusi és szubtrópusi ökoszisztémákét. A növények és hidegvérű állatok többségénél télen jelentős mértékben lecsökken az életfolyamatok szintje.

A fotoperiodizmus kutatásának fontos gyakorlati jelentősége van. Azzal, hogy változtatják a fényszakasz hosszát a háziállatok és a kultúrnövények mesterséges körülmények közötti tartásakor, szabályozzák növekedésüket és fejlődésüket, növelik hozamukat, serkentik a szaporodásukat.

A szervezetek hogyan alkalmazkodnak az életfeltételek periodikus változásaihoz?

Annak ellenére, hogy a különböző szervezetek azonos környezeti tényezőkhöz különböző módon alkalmazkodtak, adaptációikban meghatározott törvényszerűségek mutathatók ki.

Aktív alkalmazkodás. A szervezetek a környezeti feltételektől függően szabályozzák saját életfolyamataikat. Ez lehetővé teszi a szervezetek állékonyságának növelését a létfeltételek kedvezőtlen viszonyaival szemben. Például a madarak és az emlősök testhőmérséklete állandó a jelentős környezeti hőmérséklet-változások ellenére, s a sivatagokban élő ízeltlábúak szervezetének víztartalma viszonylag változatlan még tartós aszály idején is.

Passzív alkalmazkodás. A szervezet élettevékenységének folyamatai alárendelődnek a környezeti változásoknak. Például a környezet hőmérsékletének csökkenése esetén a hidegvérű állatok anyagcseréje erősen lecsökken, sőt a dermedtség állapotába is kerülhetnek. Esetenként hasonló jelenség figyelhető meg az állandó testhőmérsékletű állatoknál (például a barnamedvék és a sünök téli álma). A lombhullató növények télen szüneteltetik a fotoszintézist, a növekedést és fejlődést. A szervezetek alkalmazkodásának formája a kedvezőtlen körülmények elől való elvándorlás, költözés, ami megfigyelhető a madaraknál, halaknál, emlősöknél. A szervezetek fejlődési szakaszainak legsérülékenyebb része a kedvező időszakokra esik, a kedvezőtlen körülményeket nyugalmi állapotban töltik (például a rovarok bábállapotban) (27.4. ábra).

27.4. ábra. *Az állatok alkalmazkodása az életkörülmények periodikus változásaihoz: 1 – az állatok téli álma; 2 – a madarak vonulása; 3 – a medveállatkák évekig lehetnek anabiózisban, miközben fenntartják élettevékenységüket*

Új szakkifejezések és fogalmak. *A biológiai óra fogalma, fotoperiodizmus.*

Ismétlő kérdések. 1. Mivel kapcsolatosak az évszakos jelenségek a szervezetek életében? 2. Mi okozza a napi ritmusokat? Hogyan hatnak a szervezetek élettevékenységére? 3. Mi a „biológiai óra"? Mi a jelentősége a szervezetek életében? 4. Hogyan alkalmazkodtak a szervezetek az árapály ritmusaihoz? 5. Mit nevezünk fotoperiodizmusnak? Mi a jelentősége a szervezetek életében? 6. A szervezetek hogyan alkalmazkodhatnak a környezeti feltételek változásaihoz?

Bonyolult feladat. Gondolkodjatok el azon, hogy a trópusokon élő szervezetek életfolyamataiban az évszakos változások miért nem annyira észlelhetők, mint a mérsékelt égöv élőlényeinél?

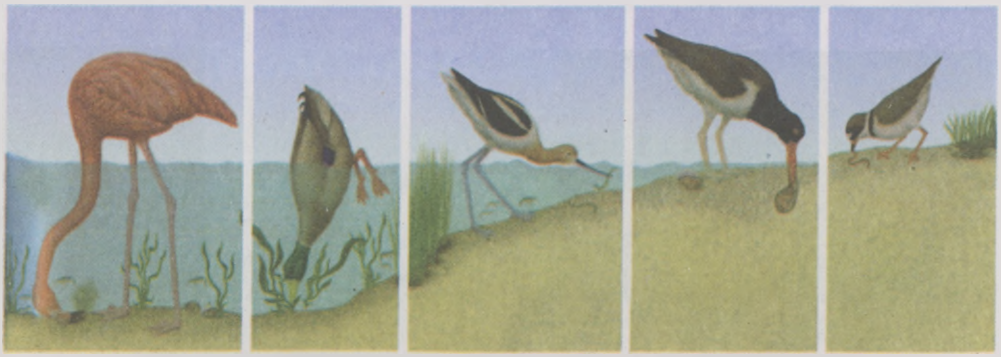
28. §. A POPULÁCIÓK JELLEMZÉSE ÉS SZERKEZETE. POPULÁCIÓS HULLÁMOK. POPULÁCIÓS HOMEOSZTÁZIS

A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: milyen fajon belüli és fajközi kölcsönös kapcsolatok működnek a szervezetek között?

A faj ökológiai jellemzése. Mindegyik biológiai faj történelmi fejlődése során alkalmazkodott meghatározott létfeltételekhez, ami meghatározza areálját (fajterületét). A faj populációinak az élőhelyre jellemző ökológiai tényezők összességével való kölcsönhatása képezi az *ökológiai jelleget*. A faj populációi nem csak az abiotikus tényezőkkel állnak folyamatos kölcsönhatásban, hanem más fajok populációival is, ami meghatározza a faj populációinak helyét, azaz *ökológiai fülkéjét* a biocönózisban.

***Ökológiai fülke* – a faj populációinak térbeli és táplálkozási helyzete a biogeocönózisban, más fajokkal való kölcsönös kapcsolatainak és a környezeti viszonyokkal szembeni igényeinek összessége.**

Az ökológiai fülke megsemmisülésével az adott faj populációja eltűnik az ökoszisztémából. Később a populáció megújulhat a faj más ökoszisztémákból migráló egyedeinek köszönhetően. Minél közelebb vannak egymáshoz a fajok populációinak ökológiai fülkéi egy biogeocönózisban, annál élesebb közöttük a konkurencia. Ennek eredményeként vagy az egyik faj kiszorítja a másikat a biogeocönózisból, vagy csökken közöttük az ellentét az igények szétválása következtében (a táplálék jellegének megváltozása, a térbeli elhelyezkedés átalakulása, a szaporodási idő változása) (28.1. ábra).



28.1. ábra. *Különböző ökológiai fülkéket elfoglaló gázló- és vízimadarak*

28.2. ábra. *A növények megjelenési formái: 1 – fa; 2 – cserje; 3 – lágyszárú növények*

A faj ökológiai jellege – azoknak az ökológiai fülkéknek az összessége, amelyeket egy faj populációi foglalnak el a különböző biogeocönózisokban.

A *faj élőhelyének* nevezzük a biogeocönózis populációi által benépesített részét, ahol biztosítottak a faj létfeltételei.

A szervezetek megjelenési formái. Az eukarióta szervezetek meghatározott életfeltételekhez való alkalmazkodása megmutatkozik felépítésükön. A szervezeteknek az élőhely feltételeihez és meghatározott életmódhoz való alkalmazkodásának alaktani és élettani típusát az élőhely körülményeihez ***megjelenési formának*** nevezzük. A megjelenési forma a faj életmódjába nyújt bepillantást, és a szervezetek ökológiai rendszerezésének egységéül szolgál. A növények megjelenési formába való besorolása a külső megjelenéstől függ, amely tükrözi a létfeltételekhez való alkalmazkodás jellegét (28.2. ábra). Az állatoknál a megjelenési formák rendszerezése a táplálkozás típusa (ragadozók, növényevők, paraziták, vérszívók, nekrofágok, planktonszűrők) és az élőhely jellege (repülő állatok, ásó állatok) alapján történik.

A faj populáció-szerkezete. A faj által benépesített területen (areálon) belül az egyedek egymástól többé-kevésbé elkülönült csoportokba – populációkba – szerveződnek.

***Populáció* – az egy fajterületen (areálban) tartósan együtt élő fajazonos egyedek összessége, amelyek részben vagy egészben elkülönülnek fajtársaik hasonló csoportjaitól.**

A faj populációkban való létezése egyenlőtlen eloszlásukkal magyarázható az általuk lakott területen, mivel csak a számukra kedvező létfeltételeket biztosító élőhelyeket foglalják el. Például a közönséges mókus egész Eurázsiában elterjedt, de csak bizonyos típusú erdőkben él, amelyeket más növénytársulások, folyók, hegyláncok választanak el egymástól. Ezért ezekben az erdőkben a közönséges mókus egy vagy néhány populációja él. *Minél változatosabbak a létfeltételek a faj által lakott területen, annál nagyobb a populációk száma.*

A populációk elkülönültségi foka a különböző fajok esetében különböző lehet. Jelentős földrajzi akadályok populációk teljes elszigetelődését okozhatják (például halak populációi különböző tavakban). Ha a faj által lakott területen a létfeltételek többé-kevésbé azonosak, a populációk közötti határok elmosódottak (például a sztyeppék és sivatagok rágcsálóinak populációi).

A populáció mint a faj szerkezeti egysége meghatározott mutatókkal jellemezhető. Minden populációnak adott létszáma van, ami a populációt alkotó egyedek számát jelenti. A populációk a biogeocönózisban meghatározott területet vagy teret (a vizek élőlényeinek populációi) foglalnak el.

A *populáció egyedszámsűrűsége* a terület- vagy térfogategységre jutó egyedszám középértékét jelenti.

A *fajlagos biomassza* az egyedek tömegének egy terület- vagy térfogategységre jutó része.

A *születésszám* a populáció egy időegység alatt született egyedeinek száma, *a halandóság* az ugyanezen időegység alatt elhalt egyedek száma.

A születési és halálozási szám különbsége a *populáció szaporulata*. A populáció szaporulata a körülményektől függően lehet pozitív vagy negatív.

Melyek a populáció szerkezeti sajátosságai?

A populációk meghatározott ivari, életkori, térbeli szerkezettel jellemezhetők. A populáció szerkezetének alkalmazkodási jelentősége van, mivel a populáció egyedeinek a környezeti viszonyokkal való kölcsönhatása során alakul ki. Ez a szerkezet dinamikus, mivel a környezeti viszonyok változásai megfelelő változásokat idéznek elő a populációban.

Az *ivarmegoszlás szerinti szerkezet* a különböző nemű egyedek számarányától függ, míg az *életkori* az egyedek korcsoportok szerinti megoszlását jelenti. Ez a populáció nagyon fontos állapotjelzője. Így a nem ivarérett egyedek számának jelentős csökkenése a populáció egyedszámának várható csökkenését jelentheti arra az időre vonatkoztatva, amikor ezek az egyedek ivarérett korba jutnának, és ennek megfelelően kevés utód várható tőlük. A populáció *térbeli szerkezetét* egyedeinek eloszlása határozza meg az általa elfoglalt területen.

A területhasználat függvényében az állatok populációit helyben lakókra, költözőkre és vándorlókra oszthatjuk. A *helyben lakó fajok* (barnamedve, vakond, földigiliszta) hosszú időn át élnek egyazon területen. A *vándorló fajok* populációi táplálékot és kedvező létfeltételeket keresve viszonylag nem nagy távolságokra vándorolnak (seregély, sarki róka, dolmányos varjú). A vándorló életmód nem meríti ki az élőhely tartalékait, jól alkalmazkodik az éghajlati körülmények évszakos változásaihoz. A *költöző fajok* populációi törvényszerűen változtatják földrajzilag nagy távolságra lévő élőhelyeiket. A költözés, mint a vándorlás is, a környezeti feltételek évszakos változásaival kapcsolatos, és meghatározott útvonalakon történik. A költözés lehet *periodikus* (költöző madarak, vándorló halak) és *nem periodikus*. A nem periodikus költözést a környezeti viszonyok kedvezőtlenné válása, az élelemtartalékok kimerülése, a tömeges szaporulat váltja ki (például a vándorsáska, a mókusok, a lemmingek vándorlása). A populáció térbeli szerkezete lehetővé teszi az élőhely tartalékainak teljes kihasználását.

A *populáció etológiai szerkezete* a viselkedésmódokban megnyilvánuló, egyedek közötti kapcsolatrendszer. A fajok egyedei ***magányos*** vagy ***csoportos*** életmódot folytatnak. Az első esetben a populáció egyedei többé-kevésbé szétszórtan élnek és csak a szaporodás, költözködés idejére verődnek csapatokba (skorpiók, siketfajdok, vadkacsák). A csoportos életmód állandó családok, telepek (kolóniák), csapatok, nyájak, csordák és egyéb csoportok kialakulását feltételezi. Az állatok állandó csoportokba szerveződése a létfeltételekhez való alkalmazkodás (védekezés a ragadozók ellen, eredményes vadászat, az utódok felnevelése) (28.3. ábra). Az állatcsoportokban mindegyik egyednek saját helye (rangja) van, amely meghatározza viselkedését, táplálékhoz jutásának a sorrendjét, részvételét a szaporodásban vagy az abból való kizárását.

28.3. ábra. 1. Az elefántnőstények összetartanak, csoportosan nevelik az utódaikat. 2. Oroszláncsapat, amelyben rendszerint egy vagy két hím és nőstények csoportja található. 3. Patások csordája

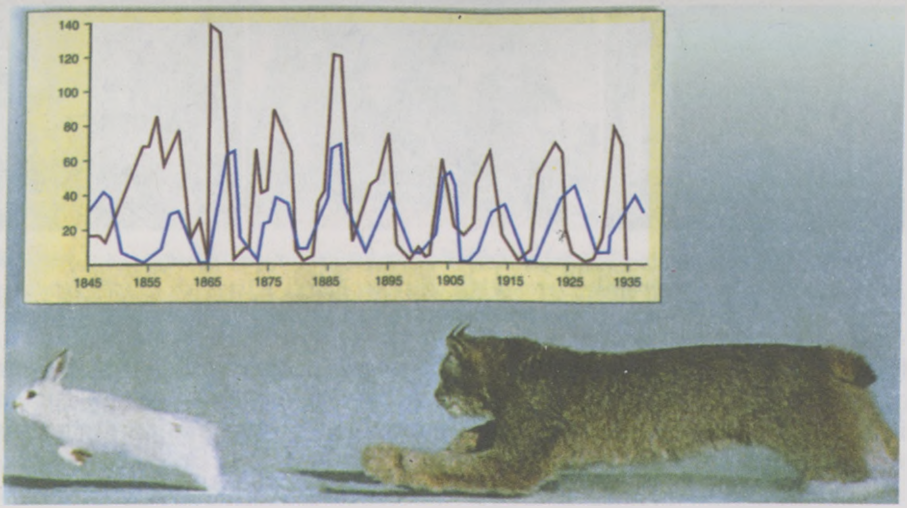
Populációs hullámok. Különböző tényezők hatására még a stabil körülmények között élő populációk létszáma és egyedsűrűsége is változhat periodikusan vagy nem periodikusan. A populációk létszámának ingadozása a ***populációs hullám*** vagy ***élethullám***. Ezt a fogalmat Sz. Sz. Csetverikov orosz biológus vezette be a tudományba. A populációs hullámok lehetnek évszakosak vagy évszaktól függetlenek.

Az *évszakos populációs hullámok* a szervezetek életciklusainak sajátosságaitól és az időjárási tényezők évszakos változásaitól függnek. Így azokon az élőhelyeken, ahol a létfeltételek évszakos változásai jelentősek, a szervezetek a legkedvezőbb környezeti viszonyokat biztosító évszakban szaporodnak. A kedvezőtlen környezeti viszonyok idején megnő a szervezetek pusztulásának száma, különösen a rövid életű fajoknál. Például a rovarok tavasz végén és nyáron szaporodnak, késő ősszel és télen populációik egyedeinek zöme elpusztul.

Az *évszaktól független populációs hullámokat* kiválthatják különböző abiotikus, biotikus és antropogén ökológiai tényezők hatásintenzitásának a változásai (időjárási tényezők változásai hosszú történelmi időszak alatt, ragadozók vagy kórokozók intenzív hatása, az ember gazdasági tevékenysége).

A populációk létszámszabályozása. Bármely populáció elméletileg korlátlan mértékben növelheti egyedszámát, ha nincsenek korlátozó környezeti tényezők. Ebben a hipotetikus esetben a populáció egyedszámának növekedése a biológiai potenciál nagyságától függ.

A *biológiai potenciál* – az egy időegység alatt (hónap, év) egy szülőpártól (vagy a hermafrodita szervezetek esetében egy egyedtől) születő utódok számának elméleti maximuma. A születő és pusztuló egyedek száma a tényezők sokaságától függ, elsősorban a szükséges erőforrások (táplálék, víz, szaporodási hely) meglététől. A populáció alacsony egyedsűrűsége esetén, amikor a tartalékok felülmúlják a szükségleteket, a születésszám meghaladja az elpusztuló egyedek számát, nagy egyedsűrűség esetén fordítva történik. Ha a populáció egyedsűrűsége egy bizonyos szint alá csökken, amikor nem biztosított az ellenkező nemű egyedek szaporodáshoz szükséges találkozása, a populáció elpusztul. A populáció egyedsűrűségének túlságos növekedése az élőhely tartalékainak kimerüléséhez, a természetes ellenségek nyomásának a növekedéséhez vezet, ami szintén negatív jelenség. Ezért ismerni kell az adott populáció optimális egyedsűrűségét, hogy annak rohamos csökkenése esetén intézkedni lehessen a védelméről. Elméletileg a környezeti feltételek mindegyikét tekintve létezik egyik vagy másik faj populációs egyedsűrűségének optimális értéke, amely mellett egyensúlyban van születésszám és a pusztulás szintje. A populáció ilyen kiegyensúlyozottsága megfelel az *élőhely befogadóképességének*.



28.4. ábra. *A hiúz és a mezei nyúl populációinak sokéves számbeli változásai*

Az *élőhely befogadóképessége* – az a populációs egyedszám, melyek számára biztosított a normális élettevékenység az adott élőhelyen, annak látható károsodása nélkül. Ebben az esetben egyensúlyba kerül az erőforrások felhasználása, újratermelődése. Amint a populáció egyedsűrűsége meghalad egy meghatározott szintet vagy alatta marad, olyan önszabályozó folyamatok indulnak be, amelyek összhangba hozzák a populáció egyedszámát az élőhely befogadóképességével. A populációk létszámának változásai populációs hullámok formájában mutatkozik meg.

A populáció egyedsűrűsége függ az időjárási tényezők hatásintenzitásának változásaitól. A hosszú életű növények és állatok viszonylag lassan szaporodnak, és az időjárási tényezők kevésbé befolyásolják őket. Az ilyen fajok populációinak számbeli változásai lassan történnek, a számbeli növekedés vagy csökkenés néhány év alatt figyelhető meg (28.4. ábra).

A rövid életű szervezetek intenzív szaporodásra képesek. Ezért érzékenyebbek a környezeti feltételek változásai iránt, és számuk jelentős mértékben változik viszonylag rövid idő alatt.

A populációk egyedszámának változására hatással vannak a más fajok populációival fenntartott kölcsönös kapcsolataik. Az élősködők száma gazdaszervezeteik populációinak egyedszámától, míg a ragadozók populációinak egyedszáma a zsákmányállat-populációk egyedszámától függ. Az állatpopulációk egyedsűrűségét az állatok területi viselkedése is szabályozza. Például egyes emlősök (barnamedvék, tigrisek, bölények) egyedei vagy családjai meghatározott területet foglalnak el, amit szaganyagokkal vagy a fatörzseken ejtett karmolásokkal jelölnek meg, és védik azt a faj más egyedeitől. Ennek köszönhetően a populáció egyedsűrűsége az élőhely számára alkalmas területek számától függ.

A populációk homeosztázisa. A környezeti viszonyokhoz való alkalmazkodás során a fajok olyan mechanizmusokat alakítottak ki, amelyek megakadályozzák az egyedszám korlátlan növekedését, következésképpen a túlnépesedést és az élőhely erőforrásainak kimerülését. A populáció egyedszámának meghatározott, optimális szinten való tartását az adott élőhelyen a ***populáció homeosztázisának*** nevezzük. A populáció homeosztázisára abiotikus tényezők, valamint fajon belüli és fajok közötti kölcsönös kapcsolatok hatnak.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Ökológiai fülke, megjelenési formák, populáció, populációs hullám, a populáció homeosztázisa.*

Ismétlő kérdések. 1. Mi az ökológiai fülke? 2. Mi a faj élőhelye? 3. Mit nevezünk a szervezetek megjelenési formájának? 4. Jellemezzétek a populáció sűrűsége, fajlagos biomasszája és szaporulata fogalmakat! 5. Mit kell érteni a populáció ivari, kor szerinti és térbeli szerkezetén? 6. Miben különböznek a megtelepedett, vándorló és költöző fajok populációi? 7. Mit kell érteni a populációs etológia szerkezetén? 8. Mit kell érteni a szezonális és nem szezonális populációs hullámokon? 9. Mi az élőhely befogadóképessége? 10. Mi a populáció homeosztázisának a lényege?

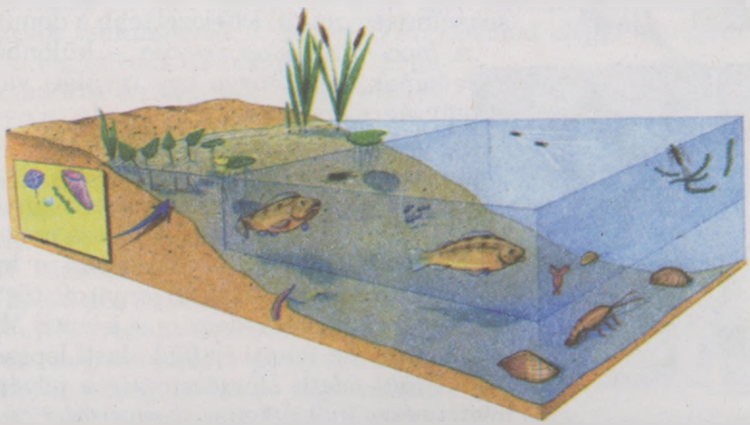
Bonyolult feladat. 1. Gondolkozzatok el azon, mitől függ egy faj populációinak elkülönülési foka? 2. Miért tekintik a megjelenési formát a szervezetek ökológiai rendszerezési egységének?

29. §. A SZERVEZETEK SOKFAJÚ TÁRSULÁSAI: BIOCÖNÓZISOK, BIOGEOCÖNÓZISOK, ÖKOSZISZTÉMÁK

A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: milyen szervezeteket nevezünk autotrófoknak, heterotrófoknak és mixotrófoknak? Mi a parazitizmus, kommenzalizmus, neutralizmus?

A különböző fajok populációi a természetben nem elkülönülve, hanem egymással kölcsönös kapcsolatban élnek. Ennek köszönhetően sokfajú társulások jönnek létre. A társulások különböző fajú szervezetek összessége, amelyek a bioszféra meghatározott részét foglalják el.

Biocönózis – az azonos létfeltételekkel rendelkező területet benépesítő különböző fajok egymással kölcsönös kapcsolatban álló populációinak társulása. A biocönózisok alapját a fotoszintetizáló szervezetek (elsősorban a zöld növények), ritkán kemoszintetizálók képezik. A növénytársulások – fitocönózisok – határozzák meg a biocönózisok határait. A vízi biocönózisok a víztározók azonos részein alakulnak ki (29.1. ábra).



29.1. ábra. *Vízi biocönózis (jellemezzétek az összetételét)*

29.2. ábra. *A növények lépcsőzetessége (föld feletti és föld alatti)*

A környezet többé-kevésbé homogén természeti-éghajlati feltételekkel rendelkező, a biocönózis által elfoglalt részét ***biotópnak*** nevezzük. Mindegyik biocönózis meghatározott fajgazdagsággal, biomasszával, produkcióval, a fajpopulációk sűrűségével, az elfoglalt terület nagyságával, térfogatával jellemezhető.

29.3. ábra. *A poszátafajok övezetes táplálkozása a fenyőn*

A ***biocönózis fajgazdagsága*** – a valamely biocönózist alkotó, különböző fajú populációk összessége. Vannak fajokban szegény és fajokban gazdag biocönózisok. A biocönózist alkotó fajok egyedszáma különböző. A legnagyobb egyedszámú fajokat ***domináns*** (uralkodó) fajoknak nevezzük. A domináns fajok egészében meghatározzák a biocönózis jellegét (például az árvalányhaj fajok az árvalányhajas sztyeppén, a tölgy és a gyertyán a gyertyános-tölgyes erdőkben). Kapcsolat áll fenn a biocönózis fajgazdagsága és a hozzá tartozó egyes fajok dominanciaszintje között: minél szegényesebb a faji sokszínűség, annál kifejezettebb a dominancia.

A *biocönózis biomasszája* – különböző fajok egyedeinek össztömege egy terület- vagy térfogategységre átszámítva.

A biocönózisok meghatározott faji, térbeli, ökológiai szerkezettel jellemezhetők. A *faji szerkezetet* a fajgazdagság, a fajok számának és egyedsűrűségének kölcsönös viszonya határozza meg.

A *térbeli szerkezetet* elsősorban a különböző növényfajok egymáshoz viszonyított térbeli elhelyezkedése – *lépcsőzetessége* – jelenti. Megkülönböztetünk föld feletti és föld alatti lépcsőzetességet. A *föld feletti lépcsőzetesség* a növények föld feletti részeinek magasság szerinti réteges elhelyezkedése, míg a *föld alatti lépcsőzetesség* a gyö-

29.3. ábra. *Különböző szaprofita szervezetek*

kérrendszer mélység szerinti rétegzettsége (29.2. ábra). Öt föld feletti és föld alatti lépcső lehet. A föld feletti lépcsőzetesség csökkenti a biocönózisban a növények versengését a fényért: a felső rétegeket a fénykedvelő fajok foglalják el, az alsókat az árnyéktűrő és árnyékkedvelő fajok. A növények lépcsőzetes elhelyezkedése kihat a velük táplálkozási vagy térbeli kapcsolatban álló állatpopulációk térbeli helyzetére (29.3. ábra).

A *biocönózis ökológiai szerkezetét* a szervezetek különböző ökológiai csoportjainak kölcsönös viszonya (azok megjelenési formája) határozza meg. A táplálkozás típusa szerint megkülönböztetnek autotróf, heterotróf és mixotróf szervezeteket.

A heterotróf szervezetek között szaprofitákat, ragadozókat, parazitákat, növényevőket különítünk el.

A *szaprofiták* más szervezetek maradványaival vagy azok élettevékenységének melléktermékeivel táplálkoznak. A *koprofágok* állati és emberi ürülékkel (ganéjtúró bogár, lárvák) táplálkoznak. A *nekrofágok* elhullott állatok tetemeit, a *detritofágok* apróbb szerves anyagrészeket (detrit) és bennük található mikroorganizmusokat fogyasztanak (29.4. ábra).

A *ragadozók* (ritkán növények) más fajok egyedeire vadásznak, elejtik és elfogyasztják zsákmányukat. A ragadozó életmód eléggé elterjedt az állatok körében, a véglényektől az emlősökig terjedően. Ragadozók a növények közt is előfordulnak (29.5. ábra).

A kizárólag növényekkel táplálkozó állatokat ***fitofágoknak*** nevezzük (a görög *fiton* – növény és *fagos* – megenni szavakból). A fitofágia a növényevő állatok és a számukra táplálékul szolgáló növények és gombák kölcsönös kapcsolata.

A különféle eredetű táplálékot fogyasztó heterotróf szervezeteket ***polifágoknak nevezzük*** (a görög *polisz* – nagyszámú, számos és *fagos* szavakból). Például a barnamedve állati és növényi táplálékot egy-

29.5. ábra. *Ragadozó növények: 1 – kancsóka; 2 – harmatfű*

aránt fogyaszt. Mindenevő a vaddisznó, a vándorpatkány, a német csótány és mások.

A biocönózist alkotó szervezetek populációi közvetlen és közvetett kapcsolatban vannak egymással. *Közvetlen kapcsolat* esetén közvetlenül összekapcsolódik egymáshoz a populáció két faja. Közvetett kapcsolatról beszélünk, amikor egyik faj populációja a másikéra egy harmadik populáció közvetítésével hat. A ragadozó és a zsákmányállat, a parazita és a gazdaszervezet közötti kölcsönös kapcsolat szabályozhatja a létszámukat.

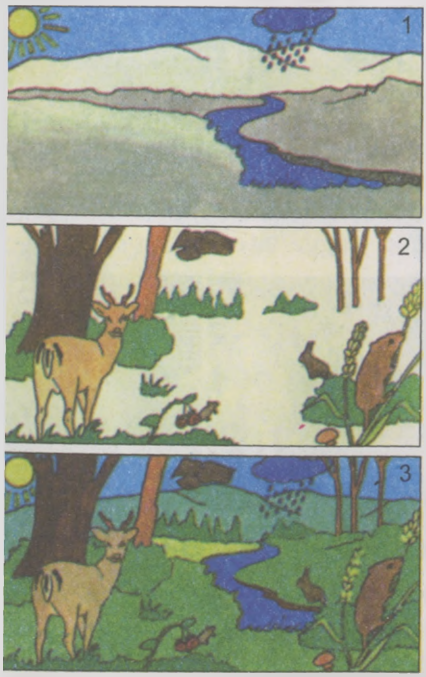
Valamely biocönózis összetételét képező különböző fajok populációi között bonyolult és változatos kapcsolatok rendszere áll fenn. Ezek összessége biztosítja a biocönózis mint egységes biológiai rendszer működését és önszabályozását. Minél változatosabbak és szerteágazóbbak a kölcsönös kapcsolatok, annál stabilabb a biocönózis (megfelelő faji változatosság esetén több növényevő faj jobban korlátozza bizonyos növényfaj egyedsűrűségét, mint egy).

A b**iocönózis és az ökoszisztéma.** A biocönózist alkotó fajok populációi nem csak egymással vannak szoros kapcsolatban, hanem az élőhely környezeti viszonyaival, az élettelen természettel is. Az élőlények a környezetből az életműködésükhöz szükséges anyagokat vesznek fel, és anyagcseréjük végtermékeit visszajuttatják oda. Az élőlények társulásai tehát a külső környezettel egységes működési rendszert, ökoszisztémát alkotnak.

Ökoszisztéma – a különböző fajok populációinak összessége, amelyek egymással és az élettelen természettel a rendszeren belüli energiaforgalmat és az anyagkörforgást biztosító kölcsönös kapcsolatban vannak. Ez biztosítja a fajgazdagságot és bizonyos trofikus rendszert képez.

Biogeocönózis – többé-kevésbé azonos létfeltételeket nyújtó meghatározott terület, melyet az élőhely viszonyai, az anyagok körforgása és az energiaáramlás által egymással kölcsönös kapcsolatban levő különböző fajok populációi népesítenek be. Valamennyi biogeocönózis alapját az autotróf szervezetek képezik.

Az „ökoszisztéma" és a „biogeocönózis" mint élő és élettelen, egymással különböző közvetlen és visszacsatolásos kapcsolatban álló funkcionális rendszerek meglehetősen közeli, de nem azonos fogalmak. Az ökoszisztémától eltérően a biogeocönózis konkrétabb fogalom, mivel azonos környezeti feltételeket nyújtó, meghatározott növénytársulású területet – fitocönózisos – foglal el. Vagyis a biogeocönózis a bioszféra konkrét részének felel meg és a térszerkezeti egységeként szolgál. Az „ökoszisztéma" szakkifejezés az egymással táplálkozási kapcsolatban lévő különféle fajú szervezetek összességére vonatkozik.



Mivel a biogeocönózis az élő szervezetek egymással és az élőhellyel kölcsönös kapcsolatban álló populációinak összessége, ezért *biotikus* (a szervezetek populációi, a biocönózis) és *abiotikus* (az élőhely környezeti viszonyai) részt különítenek el benne. (29.6. ábra). Az abiotikus részhez a következő összetevők tartoznak:

29.6. ábra. *A biogeocönózis ökológiai szerkezete: 1 – abiotikus rész; 2 – biotikus rész; 3 – biogeocönózis*

• *szervetlen vegyületek* (szén-dioxid, oxigén, nitrogén, kénhidrogén, víz), amelyek az élőlények közreműködésével bekapcsolódnak az anyagkörforgásba;

• *szerves vegyületek* (élő szervezetek maradványai vagy életműködésük melléktermékei), amelyek összekapcsolják a biogeocönózis abiotikus és biotikus részeit;

• *éghajlati viszonyok* vagy *mikroklíma* (évi középhőmérséklet, csapadékmennyiség, domborzat), amelyek meghatározzák a szervezetek életkörülményeit.

A populációk biotikus részét különböző trofikus csoportok populációi határozzák meg:

• *producensek vagy termelők* – autotróf szervezetek populációi, amelyek képesek szerves anyagokat előállítani szervetlen anyagokból (autotróf és kemotróf prokarióták, algák, növényi ostorosok, magasabbrendű növények);

• *konzumensek vagy fogyasztók* – heterotróf szervezetek populációi, amelyek más élőlényekkel vagy elhalt szervezetekkel táplálkoznak (fitofágok, ragadozók, paraziták, szaprofiták);

• *reducensek vagy lebontók* – élőlények elhalt maradványainak szerves anyagaival vagy anyagcsere-melléktermékeikkel táplálkozó heterotróf szervezetek populációi, amelyek szervetlen vegyületekre bontják a szerves anyagokat (különböző baktériumok, gombák).

Anyagkörforgás – az ökoszisztéma abiotikus (élettelen) és biotikus (élő) részei közötti anyagcsere. Az anyagkörforgás egy része élő szervezetek közreműködésével zajlik (*biogén migráció*), a másik részében nem vesznek részt élőlények (*abiogén migráció*).

Új szakkifejezések és fogalmak. *Biocönózis, fitofágok, ökoszisztéma, biogeocönózis, anyagkörforgás.*

Ismétlő kérdések. 1. Mi a biotóp? 2. Milyen a biocönózisok szerkezete? 3. Mi a növényzet lépcsőzetessége? 4. Milyen jellegű táplálékokat fogyasztanak a szaprofiták? 5. Mi a fitofág és a ragadozó életmód lényege? 6. Mi a különbség a közvetlen és a közvetett biocönotikus kapcsolatok közt? 7. Mi az ökoszisztéma? 8. Milyen szervezeteket neveznek producenseknek, konzumenseknek és reducenseknek?

Bonyolult feladat. Gondolkozzatok el azon, mi a különbség a ragadozó, az élősködő és nekrofág életmód között!

30. §. AZ ÖKOSZISZTÉMÁK VÁLTOZATOSSÁGA, FEJLŐDÉSE ÉS PRODUKTIVITÁSA

A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: mi a szervezetek bioritmusa, homeoztázisa és a populáció szaporulata?

Milyen tulajdonságai vannak a biogeocönózisnak?

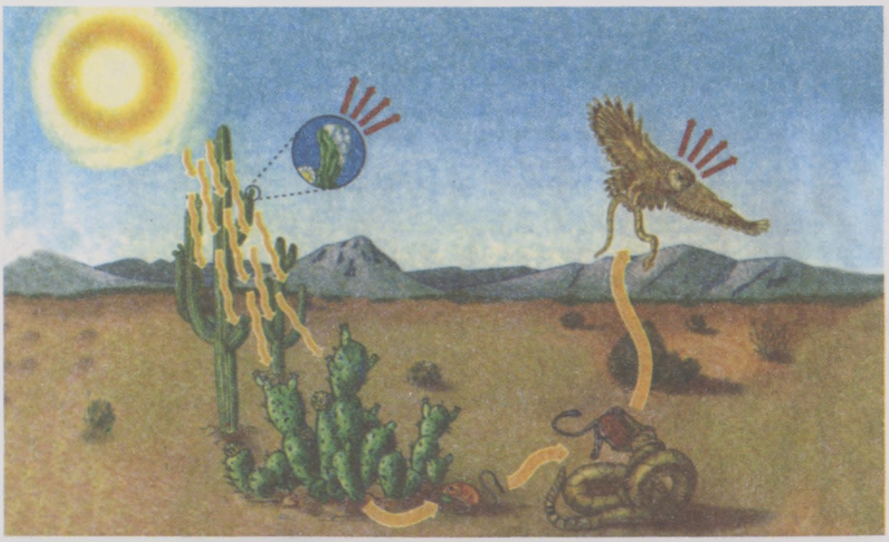
Egy biogeocönózis kialakulása hosszú folyamat, melynek során a különböző szervezetek populációi alkalmazkodnak az együttéléshez és az élőhely környezeti tényezőihez. Fejlődése során egyre bonyolultabbá válik a szerkezete, olyan sajátosságai alakulnak ki, mint a homogenitás, állandóság, önszabályozás, önmegújítás.

A *biogeocönózis homogenitását* a szervezetek populációinak egymással és a környezettel fenntartott szoros kölcsönös kapcsolata biztosítja: a szervezetek életműködésére az élettelen természet tényezői hatnak, amelyek befolyásolják a biogeocönnózis mikroklímáját. A szervezetek populációinak egymás közötti

és az élőhellyel való kölcsönös kapcsolata eredményeként fellépő energiaáramlás és az anyagok körforgása egységes rendszerbe kapcsolja a biogeocönózis valamennyi alkotóelemét. A *biogeocönózisok önmegújító képességét* elsősorban populációinak létszám- és létfeltétel-megújító képessége jelenti.

Azonkívül az egymás közötti és a környezeti feltételekkel való kölcsönhatás eredményeként más fajok létszámának szabályozásában is részt vesznek. Ezeknek a kölcsönhatásoknak köszönhetően az élő szervezetek újrateremtik a környezet elengedhetetlen létfeltételeit. Például a növények nitrogént vesznek fel a talajból, csökkentve ezzel a talaj nitrogéntartalmát. A növényi szervezetek pusztulása után szervezetük szerves anyagait a talajbaktériumok, gombák és állatok lebontják a növények által újra felhasználható vegyületekké. A *biogeocönózisok stabilitása* a kedvezőtlen külső hatásokkal szembeni, a sajtát struktúrák sérülése nélküli ellenállásban mutatkozik meg. A *biogeocönózisok önszabályozása* bioproduktivitásuk mennyiségi és minőségi mutatóinak, fajpopulációik sűrűségének, anyagkörforgásuk és energiaforgalmuk intenzitásának egy meghatározott optimális érték körüli ingadozásaiban nyilvánul meg. Szabályozó tényezőként az egyes fajok számbeli ingadozásait kiegyenlítő, fajon belüli és fajok közötti kapcsolatok lépnek fel. Amint egy populáció egyedsűrűsége meghalad egy bizonyos (optimális) átlagértéket, a biogeocönózisban hatni kezdenek a szabályozó mechanizmusok (például a ragadozók populációinak hatása zsákmányállataikra, az élősködők populációi a gazdaszervezet populációira), és az élőhely feltételeihez igazítják az egyedszámot (*mondjatok példákat*).

Energiaforgalom a biogeocönózisokban. Az egyedi szervezetekhez hasonlóan a biogeocönózisok működése is energiaforgalommal és anyagkörforgalommal, azaz a biológiai rendszerek működését biztosító kémiai é fizikai folyamatokkal jár (30.1. ábra). A biogeocönózisok *nyílt rendszerek*, amelyek folyamatos energiabevitelt igényelnek kívülről. A biogeocönózis alapvető energiaforrása a napfény. A napfény energiáját a fotoszintetizáló szervezetek kémiai energia formájában beépítik az általuk szintetizált szerves anyagokba. A heterotróf szervezetek energiaszükségletüket a táplálékkal felvett szerves vegyületek lebontásával nyerik. Az elnyelt energiának egy részét a növények életfolyamataik biztosítására használják, másik részét az általuk szintetizált



30.1. ábra. *Energiaforgalom az ökoszisztémában (kövessétek nyomon a napenergia útját ebben az ökoszisztémában)*

30.2. ábra. *Táplálékláncok*

szerves anyagokban raktározzák, amit elfogyasztanak a zöld növényekkel vagy azok maradékaival táplálkozó állatok.

A heterotróf szervezetek a számukra szükséges energiát a szerves anyagok enzimes lebontásával nyerik. Saját testük anyagainak szintéziséhez csak a táplálék kémiai kötésében tárolt energia egy részét (10–20%) raktározzák, másik részét hő formájában kisugározzák, vagy életfolyamataik energiaszükségletének fedezésére használják. Hasonló jelenség figyelhető meg a növényevő állatokkal táplálkozó ragadozók esetében. Tehát az egyik szervezettől a másiknak történő energiaátadás minden szakaszában az energia nagyobbik része hő formájában szétszóródik, és csak jelentéktelen hányada tárolódik a szervezet által szintetizált szerves vegyületek kémiai kötéseiben.

Az élőlényeknek azt a sorát, amelyben az egyik élőlény, annak maradványai vagy élettevékenységének melléktermékei más szervezetek számára szolgál táplálékul, ***táplálékláncnak*** nevezzük. Mindegyik táplálékláncnak a szervezetek meghatározott számú szakaszából – láncszeméből – áll (30.2. ábra). Mivel az egyik szakasztól a másikig történő átmenet során az energia egy része elvész, a szakaszok száma korlátozott, és rendszerint nem haladja meg a 4–5-öt.

Minden faj populációja meghatározott helyzetet – *trofikus szintet* – foglal el a táplálékláncban. A táplálékláncok első szakaszát a biogeocönózisokban rendszerint a producensek képezik. A következő trofikus szinteken a konzumensek találhatók, s a számukat az határozza meg, hány láncszemen keresztül kapják az energiát a producensektől.

A producensek utáni trofikus szintet a növényevő állatok foglalják el, ezeket ***elsődleges fogyasztóknak*** vagy ***primer konzumenseknek*** nevezzük. A következő szintet a növényevő állatokkal táplálkozó ragadozók foglalják el (***másodlagos fogyasztók*** vagy ***szekunder konzumensek***).

Ha a fogyasztók táplálékforrása széles körű, akkor a különböző táplálékláncokban különböző trofikus szinteket foglalnak el. Például a dolmányos varjú táplálkozhat magvakkal (elsődleges fogyasztó) vagy magevő madarak fiókáival (másodlagos fogyasztó), vagy rovarevők fiókáival (harmadlagos fogyasztó).

Tehát az energia a biogeocönózisban a szerves vegyületek kémiai kötéseinek energiájában tárolódik. A szerves vegyületeket a producensek szintetizálják szervetlen anyagokból. A továbbiakban ezek végighaladnak a konzumensek és reducensek szervezetein, azonban mindegyik trofikus szinten az energia egy része hő formájában szétszóródik. A táplálékláncnak végén a halott szerves anyagokban tárolt energia jelentős mértékben a reducensek általi lebontáskor szóródik szét.

Mivel az energia nagy része az egyik trofikus szintről magasabb szintre való továbbításakor hő alakjában szétszóródik, nem létezhet az anyagkörforgalomhoz hasonló energiakörforgalom: a biogeocönózis normális működéséhez folyamatos energiabevitelre van szükség kívülről. Ezért mindegyik biogeocönózis alapját a napfény energiáját megkötni képes zöld növények képezik. Ezért a tengerfenék, a barlangok és egyéb, a napfényt nélkülöző helyek ökoszisztémái nem képeznek önálló biogeocönózist. Ezek más biocönózisok részei, s a működésük olyan szerves anyagok felhasználásával lehetséges, amelyek a producensekkel rendelkező biocönózisokból származnak.

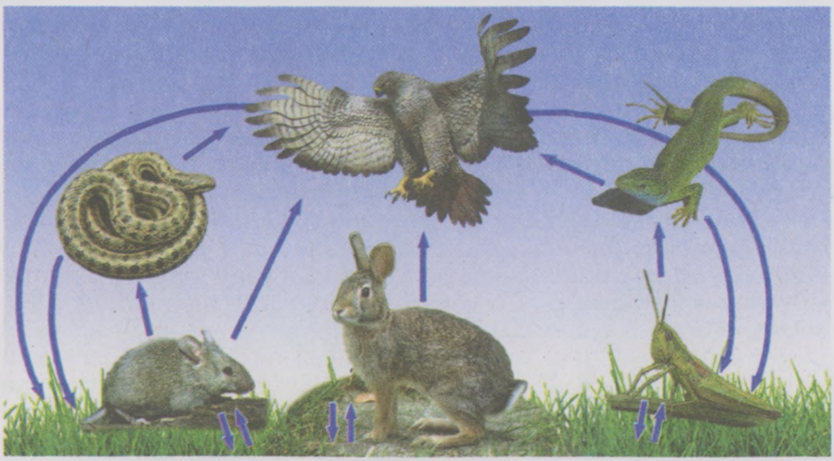
A biogeocönózisok energiája mintha két áramlatra bomlana: az egyik vagy a producensektől, vagy a szervezetmaradványok holt szerves anyagából irányul a konzumensekhez. Ennek következtében a biogeocönózisokban kétféle – legelő és detrit – típusú tápláléklánc alakul ki.

A *legelő típusú tápláléklánc* első tagja producens, és fokozatosan következnek az elsődleges, másodlagos és további fogyasztók, és reducensekkel fejeződik be.

A *detrit típusú tápláléklánc* elhalt szerves anyagokkal élő szervezetekkel kezdődik, majd a velük táplálkozó szervezetekkel folytatódik, és ugyancsak reducensekkel zárul.

A biogeocönózisokban a táplálékláncok nem egymástól függetlenül léteznek, hanem szorosan összefonódnak. Ezt az okozza, hogy ugyanannak a fajnak az egyedei különböző táplálékláncok tagjai lehetnek. A különböző táplálékláncok összefonódása a biogeocönózisban ***táplálékhálózatot*** (***trofikus hálózatot***) hoz létre (30.3. ábra). A táplálékhálózatok biztosítják a biogeocönózisok stabilitását, mert egyik faj egyedszámcsökkenése esetén, vagy akár teljes eltűnésekor a biogeocönózisból, a velük táplálkozó fajok más fajokkal való táplálkozásra térnek át Ennek eredményeként a biogeocönózis összességében vett produkciója többé-kevésbé állandó marad. Vagyis minél szerteágazóbb a trofikus háló, annál stabilabb a biogeocönózis.

A biogeocönózisok produktivitása. Minden biogeocönózis meghatározott produktivitással jellemezhető. Ezt tömeg- vagy energiaegységekben fejezik ki. Megkülönböztetnek heterotróf és autotróf szervezetek által létrehozott *elsődleges* és *másodlagos* produktivitást. Eközben a producensek a szintetizált produkció jelentős részét (40–70%) saját életműködésük fenntartására használják fel. A megmaradó rész teszi ki a *tiszta elsődleges produkciót*, ami nem más,



30.3. ábra. *Trofikus háló (kövessétek nyomon a táplálékláncot)*

mint a növények bizonyos időegység alatti hozama. Ez az a tartalék, amelyet a konzumensek és a reducensek egyaránt felhasználhatnak.

Minden biogeocönózisra jellemző a trofikus szintek közötti energia- és biomasszaátadás.

Az ***ökológiai piramis szabálya*** – mindegyik előző trofikus szint egy időegység alatt sokkal több biomasszát (átlagosan 5–10-szer) több biomasszát és energiát tárol, mint a következő. A különböző biogeocönózisok különböznek egymástól produktivitásukkal. Már tanultuk, hogy vannak különböző táplálkozási láncok. Azonban valamennyi táplálékláncra a produkció meghatározott kölcsönös viszonyai jellemzőek (azaz a biomassza a felhasznált energiával, ami felhasználódik, vagy raktározódik mindegyik trofikus szinten). Ezek a törvényszerűségek **az ökológiai piramis szabálya** nevet kapták. Grafikusan ez a szabály külön blokkokból álló piramisként ábrázolható. Mindegyik blokk a tápláléklánc megfelelő trofikus szintjén lévő szervezetek produktivitásának felel meg. Attól függően, hogy milyen mutatók képezik az alapját, megkülönböztetnek különféle ökológiai piramisokat.

A ***biomasszapiramis*** (30.4. ábra) a szervesanyag-tömeg egyik trofikus szinttől a másiknak történő, táplálékláncon belüli átadásának törvényszerűségeit ábrázolja (a szervezetek produktivitását a száraz anyag tömegegységeiben fejezik ki). Ilyenformán a biomasszapiramis tükrözi azt a törvényszerűséget, hogy az elsődleges konzumensek 5–10-szer kevesebb biomasszát tárolnak, mint amennyi az általuk elfogyasztott producensek biomasszája. Vagyis a táplálékláncon belül minden következő szakaszban a magasabb trofikus szinten lévő szervezetek által tárolt biomassza mennyisége 5–10-szeresen csökken ahhoz képest, mint amennyit elfogyasztanak.

Hasonló törvényszerűségeket mutat a táplálékláncon belüli, egyik szakasztól a másiknak történő energiaátadást demonstráló ***energiapiramis***. Mindegyik blokkja annak az energiamennyiségnek felel meg, amelyet a megfelelő trofikus szintek tárolnak. Az energiapiramis jelzi, hogy az alacsonyabb trofikus szinttől a magasabb szintnek történő átadás során az energia nagyobb része hő alakjában szétszóródik, s a megelőző szint mennyiségének mindössze 10–20%-a tárolódik.

30.4. ábra. *Biomassza-piramis*

A ***számpiramis*** a tápláléklánc egyes trofikus szintjein lévő egyedek számának arányát tükrözi. A táplálékláncban részt vevő egyedek száma minden felfelé következő trofikus szinttel rendszerint csökken: a ragadozóknak a zsákmányállatokénál nagyobbak a méreteik, és ennek megfelelően kisebb az egyedszámuk. Azonban vannak esetek, amikor ezzel ellentétes jelenség figyelhető meg, amikor a megelőző trofikus szinten kisebb az egyedszám, mint a fölötte lévőn: a farkascsorda nagyvadakra (szarvasokra) is vadászhat, míg egyetlen fa lombozatával több száz, sőt több ezer növényevő rovar táplálkozhat. Ebből adódóan – a biomassza- és energiapiramistól eltérően – egyes esetekben a számpiramis talapzata szűkebb lehet, mint a csúcsa.

Hogyan hatnak az ökológiai tényezők a biogeocönózisok változásaira?

Bármilyen biogeocönózis csak többé-kevésbé stabil, az anyagok körforgását biztosító környezeti viszonyok mellett működhet szabályosan. A biogeocönózisok képesek bizonyos fokú önszabályozásra, s ennek eredményeként megőrzik stabilitásukat (homeosztázis). Azonban a biogeocönózisokban történhetnek ciklikus (ismétlődő) és haladó változások. A *ciklikus változások* a biogeocönózisok periodikus (napi, évszakos) környezeti változásaihoz való alkalmazkodás következményei. A ciklikus változások alapja a biogeocönózisban a különböző fajok populációinak alkalmazkodó képessége, ami megnyilvánulhat a populáció egyedsűrűségének periodikus változásaiban, életkori szerkezetében, valamint a populáció egyedeinek aktivitásában.

Progresszív változásokról a sérült biogeocönózisok helyreállása (elhagyott agrocenózisok természetes ökoszisztémákká történő átalakulása, erdők, sztyeppék tűz utáni megújulása) vagy bizonyos éghajlati viszonyok (nedvesség, átlaghőmérséklet) visszafordíthatatlan változásai esetén beszélünk. Ennek eredményeként egyik típusú biogeocönózis másik típusúval cserélődhet fel.

A szervezetek társulásainak egymás után következő változásai, amelyek a biogeocönózis átalakulását idézik elő, ***szukcessziónak*** nevezzük (30.5. ábra). Ez nem más, mint a biogeocönózis önfejlődésének folyamata, amely az élő szervezetek egymás közötti, valamint a környezettel való kölcsönhatásának ered-

30.5. ábra. *Szukcesszió: 1 – zuzmó megtelepedése sziklán; 2 – elsődleges talajon megtelepedő mohák; 3 – pázsitfűfélékből álló növénytakaró képződése; 4 – fénykedvelő fákból és pázsitfűfélékből álló társulás kialakulása; 5 – erdei ökoszisztéma létrejötte*

ményeként jön létre. A szukcesszió kezdeti stádiumában lévő társulásokat fajszegénység, gyenge trofikus hálózat, erős egyedszám-ingadozás és egyes populációk egyedszámsűrűségének jelentős változásai, valamint a homeosztázis fenntartásának gyenge képessége jellemez. Ezért ezeket gyorsan stabilabb társulások váltják fel. Ez a folyamat fajgazdag, az adott feltételek melletti legmagasabb fokú stabilitással jellemezhető biogeocönózis kialakulásáig ismétlődik.

A szukcesszió folyamán növekszik a faji változatosság és egyes fajokat más fajok helyettesítenek a környezet haladó változásai nyomán. Ennek következtében növekszik a biogeocönózisok stabilitása és önszabályozási képessége. Például az erdeifenyő homokon való megtelepedése jelentős hatással van más szervezetek életkörülményeire: beárnyékolja a talajt, elősegíti szerves anyagok felhalmozódását, megtartja a talajvizeket. Ennek folytán az erdeifenyő megteremti a létfeltételeket más növények, állatok, gombák megtelepedéséhez. Szukcessziós folyamat figyelhető meg az elhagyott kultúrtáj példáján. A mezőgazdasági növényeket vadon termő pázsitfűfélék szorítják ki, és idővel cserjék és fák is megjelennek.

A szukcessziók lehetnek elsődlegesek és másodlagosak. *Elsődleges szukcessziók* – növényi társulások megjelenése és fejlődése olyan helyeken, ahol korábban nem volt növényzet. Az ilyen típusú szukcesszió példája lehet zuzmók megtelepedése kopár sziklákon, erdeifenyő meghonosodása homokdűnéken. *Másodlagos szukcesszió* – az elpusztult természetes növénytakaró megújulása, például az erdők regenerálódása erdőtüzek után, réti növényzet újratelepülése elhagyott szántóföldeken.

A szukcesszió folyamán ha egyes fajok helyettesítődnek is más, konkurenciaképesebb fajokkal, a biogeocönózis fajgazdagsága egészében nő. A trofikus hálózat egyre jobban elágazódik, az elsődleges produkció mind nagyobb része hasznosul a heterotróf szervezetek által, viszont a biomassza növekedésének üteme fokozatosan lassul. Ez csökkenti a fajok tömeges elszaporodásának, új fajok megtelepedésének lehetőségét, de egyidejűleg növeli a biogeocönózisok állandóságát, valamint önszabályozó képességét. A szukcesszió addig folytatódik, amíg a biogeocönózis fajgazdagsága nem ér el egy olyan szintet, amely elősegíti az anyagok körforgásának és az energia áramlásának stabilizálódását.

Ily módon a szukcessziók *érett, állandó biogeocönózisok* kialakulásához vezetnek, amelyekre a szervezetek nagy fajgazdagsága, fejlett önszabályozó mechanizmus, önmegújító képesség jellemző. Az ilyen érett biogeocönózisok egyensúlyban vannak természeti környezetükkel.

30.6. ábra. *Agrocönózisok*

Mik az agrocönózisok?

Agrocönózisok – növények, gombák, állatok és mikroorganizmusok fajszegény társulásai, amelyeket az ember hoz létre mezőgazdasági termékek előállítása céljából (30.6. ábra). Az agrocönózisok a természetes társulásoktól (biocönózisoktól) gyökeresen különböznek mind tulajdonságaikban, mind működésükben. A fajszegénység és a trofikus hálózat gyenge sűrűsége miatt az agrocönózisoknak kicsi a stabilitása. Ugyanakkor egyes fajok magas produktivitása jellemző rájuk. Az agrocönózisokban gyakorlatilag nincs önszabályozás, ezért folyamatos emberi beavatkozás nélkül szétesnek.

Ha ugyanazt a kultúrnövényt sok éven át nagy területeken termesztik, akkor az meghatározott gyomnövények és kártevők (rovarok, rágcsálók, parazita gombák) elszaporodásához vezet az agrocönózisokban. Az agrocönózisok normális működése érdekében az embernek meg kell akadályoznia a szukcessziót, mivel a kultúrnövények versenyképessége a gyomokénál jóval kisebb, ezért az utóbbiak könnyen kiszorítják őket. Erről könnyen meggyőződhetünk, ha egy ideig nem irtjuk a gyomokat és a kártevőket a zöldségeskertünkben. A biocönózisoktól eltérően az agrocönózisokban nincs meg az anyagok körforgása. Ez azzal magyarázható, hogy az anyagok nagy részét az ember termés formájában elhordja a szántóföldekről.

Az agrocönózisok egyszerű szerkezete ellenére kialakulnak bennük biocönológiai kapcsolatok. Ezért agrocönózisok kialakításánál figyelembe kell venni azokat a kölcsönös kapcsolatokat, amelyek a szervezetek között a természetes biocönózisokban fennálnak, illetve azokat, amelyek a kultúrnövények és a vadon élő növények között az együttélés során jöhetnek létre.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Tápláléklánc, trofikus háló, ökológiai piramis, szukcesszió, agrocönózis.*

Ismétlő kérdések. 1. Milyen fontosabb tulajdonságaik vannak a biogeocönózisoknak? 2. Mi a biogeocönózisok önszabályozása? 3. Hogyan megy végbe az energiaforgalom a biogeocönózisokban? 4. Mik a táplálékláncok és a trofikus szintek? 5. Mi a biogeocönózis elsődleges, másodlagos és tiszta produkciója? 6. Mi a biomasszapiramis? 7. Mi az energiapiramis? 8. Mi a szukcesszió?

Bonyolult feladat. Gondolkozzatok el azon, hogy melyek a biogeocönózis és az agrocönózis közötti főbb különbségek!

Ökológiai feladat megoldása.

Feladat. A növények napenergia-felhasználásának hatásfoka – a fotoszintézis-termékekben (elsődleges produkció) tárolt energia és a napsugárzásból felhasznált energia aránya. A rizs esetében a hatásfok 2,5-től 4,4-ig terjed. Határozzátok meg a fotoszintézis hatásfokát, ha a 2 ha területű rét egy nap alatt 480 000 kJ napenergiát kap, s a szárazanyaghozam ebben az időszakban 12 550 kJ. Milyen következtetés vonható le a rizstermelés feltételeit illetően?

A feladatmegoldás algoritmusa.

1. Meghatározzuk a rizs által az adott feltételek mellett egy nap alatt felhasznált napenergia hatásfokát:

480 000 kJ – 100 %;
12 550 kJ – x %;

2. x : 100 = 5850 : 480 000;
3. x = 12 550 · 100 / 480 000 = 2,61%.

Felelet. A fotoszintézis hatásfoka a rizs esetében az adott feltételek mellett 2,60%. Ez a mutató a fotoszintézis hatásfokának rizs estében mért alsó határához közelít, ezért levonható az a következtetés, hogy ilyen feltételek mellett nem optimális a növény termesztése.

31. §. A BIOSZFÉRA ÉS HATÁRAI. AZ ÉLŐLÉNYEK SZEREPE A BIOSZFÉRÁBAN

A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: a napsugárzás színképében milyen tartományokat különíthetünk el? Mi az anyagok körforgása, és milyen az ökológiai gondolkodásmód?

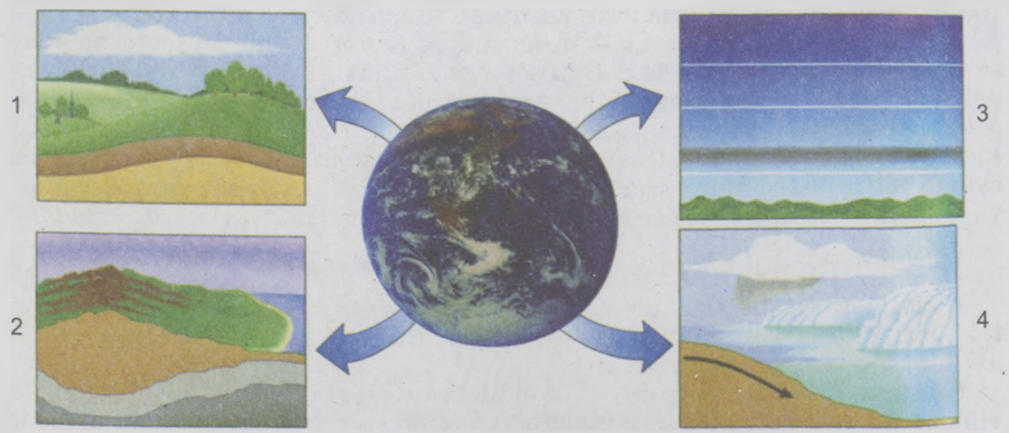
A bioszféra általános jellemzése. A Föld burkai: a litoszféra vagy szilárd földkéreg, a hidroszféra vagy vízburok, atmoszféra vagy gázburok (31.1. ábra).

Litoszféra – külső szilárd burok, vastagsága 50–200 kilométer. Felszíni üledékes kőzetrétegből áll (kréta, mészkő, kovaföld), amelynek a kialakulásában élő szervezetek is közreműködtek, alatta gránit (középső burok), majd bazalt (alsó burok) következik.

A vizek (óceánok, tengerek, folyók stb.) összessége a vízburkot, a *hidroszférát* alkotja a Földön. A vizek bolygónk felszínének majdnem 71%-át borítják. A vízréteg vastagsága különböző, elérheti a 11 kilométert.

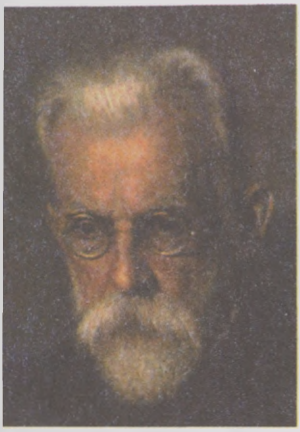
Atmoszféra – a litoszféra és hidroszféra fölött elhelyezkedő gázburok.

A *bioszféra* fogalmat Eduard Susse (31.2. ábra) osztrák tudós vezette be 1875-ben. A bioszféráról mint a Föld burkainak élő szervezetek által lakott részéről szóló tudományt V. I. Vernadszkij (31.3. ábra) ukrán tudós alapította meg. A bioszféra nem képez egységes burkot a Földön, hanem magában foglalja a litoszféra felső részét, az egész hidroszférát és az atmoszféra alsó részét. A Föld valamennyi biogeocönózisának összessége, globális ökoszisztéma.



31.1. ábra. *1. A Föld burkai: 2 – litoszféra; 3 – atmoszféra; 4 – hidroszféra*

31.2. ábra. *Eduard Susse (1831–1914)*



31.3. ábra. *V. I. Vernadszkij (1863–1945)*

Élő szervezetek lakják a litoszféra felső, az atmoszféra alsó rétegeit és az egész hidroszférát. A litoszférába az élő szervezetek viszonylag jelentéktelen mélységig hatolnak le, 2–4 km mélységben főleg a kőolajhordozó rétegekben élnek egyes baktériumfajok. Az élő szervezetek litoszférába való lehatolásának határt szab a kőzetek és az 1,5–15 km mélyen lévő vizek magas hőmérséklete (+100 °C felett). A *hidroszférában* az élet bármilyen mélységben előfordul. Az *atmoszférában* az élő szervezetek (elsősorban a mikroorganizmusok spórái és cisztái) terjedésének korlátja az ózonpajzs, mivel fölötte minden élő elpusztul a kozmikus sugárzás hatására. A legnagyobb magasság, amelyben baktérium- és gombaspórákat mutattak ki, közel 22 km. A biomassza legnagyobb koncentrációja a legváltozatosabb feltételekkel rendelkező helyeken, azaz a litoszféra és atmoszféra, atmoszféra és hidroszféra, hidroszféra és litoszféra határán található.

A bioszféra élő anyaga és tulajdonságai. Bolygónk élőlényeinek összességét V. I. Vernadszkij ***élő anyagnak*** nevezte. Alapvető jellemzői az összesített biomassza, a kémiai összetétel és az energia. Az élő anyag energiája elsősorban a szervezetek szaporodóképességében és terjedésében nyilvánul meg. Az élet jellemzője bolygónkon nagyfokú állékonysága a környezeti tényezők hatáserősségének változásaival szemben Gyakorlatilag élő szervezetek csak az örök jégben és a működő vulkánok kráterein nincsenek.

Az élő anyag egyik tulajdonsága a környezettel való folyamatos anyagcseréje, amelynek során a szervezeten különböző kémiai elemek haladnak át. Az élőlények normális élettevékenységük biztosításához meghatározott anyagokat és energiát igényelnek, amelyet környezetükből vesznek fel, jelentősen átalakítva azt. A környezettel való folyamatos anyagcsere eredményeként a szervezetekbe jutó kémiai elemek felhalmozódhatnak bennük, és csak bizonyos idő múlva vagy a szervezet pusztulása után kerülnek vissza a környezetbe.

A zöld növények a bioszférában kozmikus szerepet töltenek be a napfény energiájának befogásával és beépítésével az általuk szintetizált szerves anyagok kémiai kötéseinek energiájába. Az autotróf szervezetek összesített elsődleges produkciója határozza meg végső soron a bioszféra biomasszáját. A tudósok kiszámították, hogy a fotoszintézis eredményeként a termelő szervezetek évente 160 milliárd tonna szerves anyagot termelnek száraz anyagra átszámítva, melynek 1/3-át a világóceán ökoszisztémái termelik, 2/3-át a szárazföldiek.

Miben nyilvánulnak meg az élő anyag biokémiai funkciói?

A bioszféra élő anyaga különböző funkciókat tölt be, melyek az élő szervezetek anyagcsere folyamataival kapcsolatosak. Ez lehet gázcsere funkció, oxidáló-redukáló vagy koncentráló.

Gázcsere funkció. A szervezetek élettevékenységükkel hatnak a légkör, a világóceán és a talaj gázösszetételére. Az aerob szervezetek légzéskor oxigént vesznek fel a környezetből, és szén-dioxidot juttatnak vissza oda. A

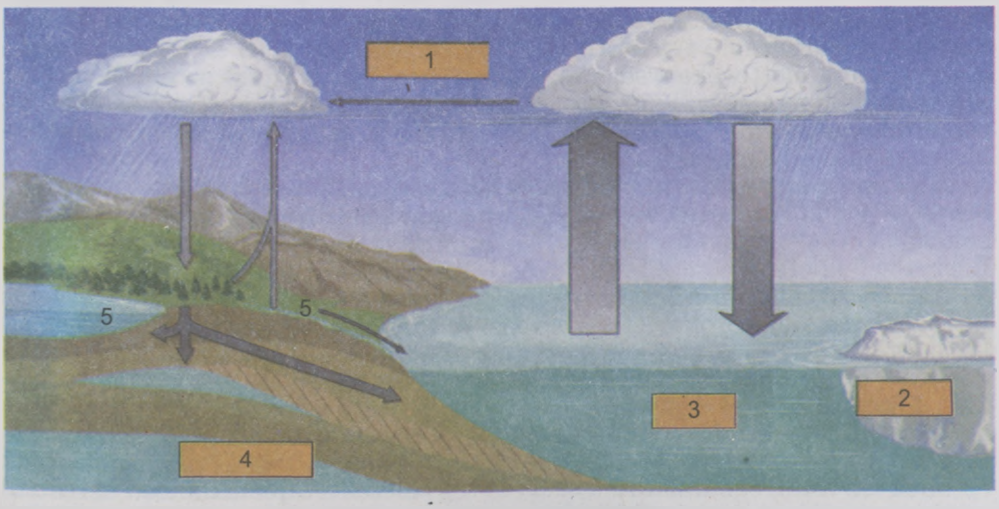
fotoszintetizáló szervezetek, egysejtűek és kékbaktériumok a fotoszintézis során szén-dioxidot nyelnek el, és oxigént választanak ki. Egyes prokarióta szervezetek élettevékenységükkel hatnak más gázok koncentrációjára a környezetben (metán, kén-hidrogén, nitrogén).

Oxidáló-redukáló funkció. Az élőlények közreműködésével a légkörben, vízben és a talajban egyes kémiai vegyületek oxidálódnak vagy redukálódnak. Például a vasbaktériumok képesek oxidálni a vasvegyületeket, a denitrifikáló baktériumok a nitrátokat és nitriteket molekuláris nitrogénné vagy nitrogén-oxidokká redukálják.

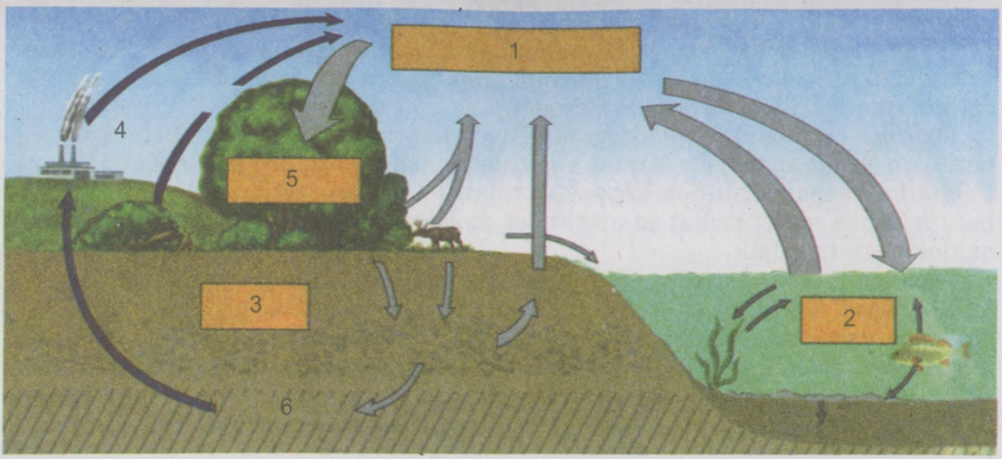
Koncentráló funkció. Az élőlények meghatározott kémiai elemeket vesznek fel környezetükből, és azokat felhalmozzák szervezetükben. Így a puhatestűek, likacsoshéjúak, tízlábú rákok, gerinces állatok szervezetükben kalciumvegyületeket halmoznak fel, a sugárállatkák és kovamoszatok pedig szilíciumvegyületeket, míg a barnamoszatok – jódot.

Biogeokémiai ciklusok. Bolygónkon az élő anyag működése az atomok migrációjával kapcsolatos. Az atomok migrációja az anyagok körforgásával jön létre a bioszférában. Itt az élő szervezetek valamennyi kémiai elemének folyamatos körforgása megy végbe.

A víz biogeokémiai ciklusa (31.4. ábra). A víz a bioszféra legelterjedtebb kémiai vegyülete. Bolygónk vízkészlete 1,5 milliárd km^3 körül van. A víz szilárd (jég), folyékony és gáznemű állapotban található a Földön. A levegő páratartalma a vízfelületek párolgásából, az élő szervezetek párologtatásából és más forrásokból származik. A légkörből a víz eső és hó formájában csapódik ki. A tengerek és óceánok vízkészlete a beléjük ömlő folyókból és a csapadékból pótlódik. A tengeráramlatok meleg vagy hideg víztömegeket jelentős távolságra szállíthatnak, ezzel hatnak a szárazföld egyes területeinek éghajlatára. Víztömegek vándorolnak a folyók folyásával is. A víz tevékenyen részt vesz olyan geológiai folyamatokban, mint az anyagok kimosódása, elszállítása nagy távolságokra, hordalékképzés. Az élő szervezetek által felvett víz részt vesz az anyagcserében: szintézisekben, a hidrolízis, fotolízis reakcióiban és más folyamatokban. Az élő szervezetek vizet választanak ki a környezetbe a benne oldott anyagcseretermékekkel együtt, valamint légzéskor, párologtatással.



31.4. ábra. *A víz körforgása a természetben: 1 – légköri víz; 2 – gleccservíz; 3 – óceáni víz; 4 – föld alatti vizek; 5 – folyók vizei*



31.5. ábra. A szén körforgása a természetben: 1 – légköri CO_2; 2 – óceán; 3 – talaj; 4 – üzemek; 5 – zöld növények; 6 – üledékes kőzetek

Az oxigén biogeokémiai ciklusa. Az élőlények légzésük folyamán oxigént (O_2) vesznek fel energiafolyamataik működtetéséhez. A légköri és a vízben oldott oxigén képes szerves maradványokat és szervetlen vegyületeket oxidálni a Föld burkaiban. A molekuláris oxigén egy része a napsugárzás ibolyántúli tartományának és elektromos kisülések hatására ózonná (O_3) alakul. Az atmoszféra alsó rétegeiben az oxigéntartalom 21% körül van, mely csökken a magasság növekedésével.

A szén biogeokémiai ciklusa (31.5. ábra). A szén jelen van valamennyi szerves anyag összetételében. Ezeket a vegyületeket az élőlények folyamatosan szintetizálják, átalakítják, lebontják. Az autotróf szervezetek képesek a szén-dioxid (CO_2) megkötésére és különféle szerves vegyületek szintetizálására. Ehhez fényenergiát vagy kémiai reakciók energiáját használják. A szén az élő szervezetekben az általuk előállított szerves anyagokban és a szénsav sói formájában (elsősorban a vázrendszerekben és a mészhéjakban) halmozódik fel. Az élő szervezeteken kívül szén van a talaj szerves anyagaiban, a szén-dioxidban és különféle üledékes kőzetekben (márvány, mészkő, kréta, stb.). Ezen anyagok széntartalma egy időre kikerül a biogén migrációból. Idővel azonban a szervezetek élettevékenysége folytán (légzés, kiválasztás) az elhalt szerves anyag biogén bomlásával (ásványosodási folyamatok, erjedés), az üledékes kőzetek kémiai átalakulásával (oldódás, mállás) a szén ismét bekapcsolódik a biogeokémiai folyamatokba.

A nitrogén biogeokémiai ciklusa. A légkör gáznemű szabad nitrogéntartalma (N_2) 79% körül van. A légkörből a nitrogén a talajba és a vízbe nitrogén(II) oxidok (NO_2) és más vegyületek, például ammónia (NH_3) formájában kerül. Ezek a vegyületek kozmikus sugarak, villámok és más tényezők hatására keletkeznek. Azonban a nitrogénvegyületek zöme a talajba és a vízbe a légköri nitrogént megkötő prokarióta szervezetek (nitrogénkötő baktériumok, egyes kékbaktériumok) közreműködésével kerül. A kémiai vegyületek összetételében levő, a növények által felhasználható nitrogént *kötött nitrogénnek* nevezzük. A kötött nitrogént a talajból a növények vagy közvetlenül, vagy a nitrogénkötő gümőbaktériumokkal szimbiózisban veszik fel. A nitrogénvegyületekből a növények aminosavakat szintetizálnak, melyekből a fehérjemolekulák épülnek fel. A nitrogéntartalmú szerves vegyületek a táplálékláncon keresztül adódnak tovább. A disszimiláció folyamatában a bonyolult nitrogénvegyületek egyszerű vegyületekre bomlanak (ammónia, karbamid, húgysav, guanin és

egyebek), és kiválasztódnak a környezetbe légzéskor, izzadsággal, vizelettel, ürülékkel. A bonyolult nitrogéntartalmú szerves vegyületek (fehérjék, nukleinsavak) a szervezetek maradványaival kikerülnek a külső környezetbe, ahol a reducensek lebontják azokat. Ez a folyamat a *denitrifikáció*, a nitrátok (a salétromsav HNO_3 sói) és nitritek (a salétromossav HNO_2 sói) gáznemű anyagokká, molekuláris nitrogénné (N_2) vagy nitrogén(II)dioxiddá (NO_2) való redukálódásának folyamata. Egyes mikroorganizmusok *nitrifikációra* képesek, ennek köszönhetően az ammónium-ionok (NH_4^+) nitrit-ionokká, a nitritek nitrátokká oxidálódnak.

Milyen szerepet játszanak az élő szervezetek a Föld burkainak átalakulásában?

Az élő szervezetek részt vesznek az üledékes kőzetek képződésében, a talajképzési folyamatokban, a légkör összetételének alakításában. Ezzel aktívan hatnak a Föld különböző burkainak alakulására.

Az üledékes kőzetek víztárolók alján keletkeznek a különböző oldhatatlan anyagok rétegeződésével, melyek jelentős részben biogén eredetűek. Az üledékes kőzetek keletkezésében olyan élő szervezetek vesznek részt, amelyek életük folyamán vázrendszerükben, mészhéjukban, páncéljukban a kalcium, a szilícium, a foszfor vegyületeit, és egyéb anyagokat halmoznak fel. Ezeknek a szervezeteknek a maradványaiból (kovamoszatok, likacsoshéjúak, sugárállatkák, puhatestűek, korallok) keletkeznek a különféle üledékes kőzetek (mészkő, kréta, kovaföld vagy radiolarit) jelentős vastagságú rétegei A kovaföld (SiO_2) nevű üledékes kőzet kialakulásában a kovamoszatok és sugárállatkák vettek részt. A radiolaritok (elsősorban sugárállatkák belső sejtvázaiból keletkezett üledékes kőzetek) szilikátos agyagásványok formájában találhatók, melyek féldrágakövek (jáspis, opál, kalcedon) lelőhelyei. Radiolaritokból keletkezett Barbados szigete a Karib tengerben. A foszforit és apatit lerakódások (a foszforsavak sói, melyeket műtrágyaként valamint vegyipari nyersanyagként használnak) olyan kihalt tengeri állatok maradványaiból keletkeztek, melyeknek kagylói vagy csigaházai kalcium-foszfát összetételű.

A kőszén, a barnaszén és a tőzeg keletkezése elhalt növényi maradványok különleges körülmények közötti átalakulásával kapcsolatos. A kőszén ásatag magasabbrendű spórás növények, a barnaszén kihalt nyitvatermők, a tőzegmohák maradványaiból keletkezett a megfelelő időszakokban. A vasérctelepek kialakulása a bioszféra egész fennállása folyamán történt a kemotróf vasbaktériumok életműködése eredményeként. Hipotézisek vannak a kőolaj, a földgáz és más ásványok biogén eredetéről.

Az élő szervezetek közreműködnek a kőzetek mállásában is. Például a sziklákon megtelepedő zuzmók az általuk kiválasztott szerves savakkal elősegítik a kőzetek mállását.

A talajt benépesítő élőlények nélkül nem történt volna meg annak kialakulása. A talajlakó élőlények, valamint a víz, a szél, a levegő, az időjárási tényezők biztosítják a humusz- és talajképzés folyamatát. Ennek során a különböző anyagok bonyolult átalakulásai és áthelyeződései mennek végbe a litoszféra felső rétegeiben, a litoszféra ásványi elemei bekapcsolódnak az anyagkörforgás biogén részébe.

A szervezetek élettevékenysége biztosítja az atmoszféra *gázösszetételét*. A légkör oxigéntartalma a fotoszintézis eredményeként jött létre A Föld növényzete évente mintegy $1{,}7 \cdot 10^8$ tonna szén-dioxidot nyel el és majdnem $1{,}2 \cdot 10^8$ tonna oxigént választ ki, amelyet az aerob szervezetek légzésre használnak. Az élőlények a *nitrogénkötési*, *nitrifikációs* és *denitrifikációs* folyamatok révén hatással vannak az atmoszférában lévő nitrogén koncentrációjára.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Bioszféra, a bioszféra élő anyaga.*

Ismétlő kérdések. 1. Mi a bioszféra és hol vannak a határai? 2. Mi jellemzi a Föld élő anyagát? 3. Milyen biogeokémiai funkciói vannak az élő anyagnak? Mik a biogeokémiai ciklusok? 4. Milyen szerepet játszanak az élőlények a földburkok átalakításában?

Bonyolult feladat. Magyarázzátok meg, hogy a bioszféra miért nem képez külön burkot a Földön!

32. §. AZ EMBERI TEVÉKENYSÉG HATÁSA A BIOSZFÉRA ÁLLAPOTÁRA

A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: melyek az ember gazdasági tevékenységének főbb formái?

Mi a lényege korunk ökológiai válságának?

Történelmi fejlődése során az ember a civilizációs fejlődés egy szakaszán elkezdte aktívan átalakítani a természetet, és hatása a természeti környezetre évszázadról évszázadra nőtt mindaddig, amíg vezető ökológiai – *antropogén* – tényezővé nem vált. Az ember tevékenységével kiváltott ökológiai problémák – népességnövekedés, élelmiszerhiány, energiaválság, ivóvízhiány, környezetszennyezés – sora hosszú. Ezek a problémák az emberiséget a globális ökológiai válság határára sodorták.

A népességnövekedés. A tudósok számításai szerint a Krisztus előtti VII. évezredben bolygónk lakossága nem haladta meg a 10 milliót, míg időszámításunk kezdetén 300, a XVII. sz. közepén majdnem 700 millió ember élt bolygónkon, amelynek népessége a XX. sz. folyamán megnégyszereződött, s 2030-ra elérheti a 9 milliárd főt. Csak a legutóbbi 50 évben a Föld lakossága megkétszereződött, azaz *demográfiai robbanásról* beszélhetünk, amelynek következményei beláthatatlanok.

A Föld népességének növekedése és az ipar rohamos fejlődése együtt jár a városok intenzív fejlődésével (*urbanizáció*), egyebek között gigantikus városok, *megapoliszok* megjelenésével (32.1. ábra). Jelenleg a Föld lakosságának 40%-a városokban él, ugyanakkor a városok a bolygó felszínének csupán 0,5%-át foglalják el. A nagyvárosok és környékük példái lehetnek az ember által leginkább átalakított természetes környezetnek: a természetes ökoszisztémák teljes elpusztítása, nagyfokú szennyezése ipari és háztartási hulladékokkal, a közlekedés intenzív fejlődése. A lakosság rendkívüli koncentrációja következtében a városokban nagy a kockázata az olyan járványok kitörésének, mint az influenza, AIDS, kolera. hastífusz, szalmonellózis, tuberkulózis, fennáll a férgekkel, kullancsokkal, rovarokkal való fertőzésnek.

32.1. ábra. Megapolisz

A **Föld népességének élelmiszerekkel való ellátása** a szántóföldek területének évről-évre való növelését követeli meg. Ugyanakkor a természetes ökoszisztémákkal borított területek termelésbe vonása, a föld alatti vizeket optimális szinten tartó, a talajt a szél káros hatásaitól védő erdők kiirtása és más antropogén tényezők a talaj eróziójához vezetnek. A *talajerózió* – a felső termőréteg vékonyodása a víz és a szél felszínalakító munkája folytán (32.2. ábra). Az erózió és más folyamatok eredményeként bolygónk termőtalajainak humusztartalma évente 24 millió tonnával csökken, a sivatagok területe az utóbbi 20 évben 100 millió hektárral nőtt. Csökken a művelés alatt álló területek nagysága a *szikesedés* miatt is, ami az ésszerűtlen öntözés következménye. A bőséges öntözéstől megemelkedik a talajvíz szintje, a talajvízzel együtt a felszínre jutnak a mélyebb rétegekből a sók, amelyek kiválnak a talaj felszínén.

32.2. ábra. *Talajerózió*

A kultúrnövények és háziállatok kártevői közel 50%-kal csökkentik a mezőgazdasági termelés hatékonyságát. A talaj termőképességére és a talajlakók életére negatív hatással vannak a *peszticidek*, amelyek szennyezik a természetes ökoszisztémákat, az élelmiszereket, az ivóvizet, bekerülhetnek az emberi szervezetbe.

Az erdők kiirtásának hatása bolygónk természetvilágának állapotára. Az utóbbi 10 ezer évben az erdők területe bolygónkon az emberi tevékenység folytán nem kevesebb, mint egyharmaddal csökkent. Napjainkban az erdők területe évenként 17 millió hektárral csökken. Elsősorban a trópusi erdőket irtják, amelyek vezető szerepet játszanak az ökológiai egyensúly fenntartásában bolygónkon. Az erdők területének csökkenése az egyik oka annak, hogy nő az atmoszféra szén-dioxidtartalma.

Az energiatartalékok racionális felhasználásának problémája. Ezek a problémák szoros összefüggésben állnak bolygónk ökológiai állapotával, mivel az energiatartalékok ésszerű felhasználása nemcsak a termelés önköltségét befolyásolja, hanem a hasznos ásványok kitermelését is, ami jelentős mértékben csökkenti környezetünk szennyezettségét. Az utóbbi években kiéleződött az atomerőművek működtetésének problémája, melyek a világ több mint 30 országában működnek. Ide tartozik az atomerőművek balesetmentes működtetésének megoldása, környékük radioaktív részecskékkel való szennyezése, a kiégett radioaktív fűtőelemek tárolása és más problémák. Mindmáig nincs megoldva a radioaktív hulladék tárolása. A kiégett radioaktív fűtőelemek tárolására szolgáló tartályok használ-

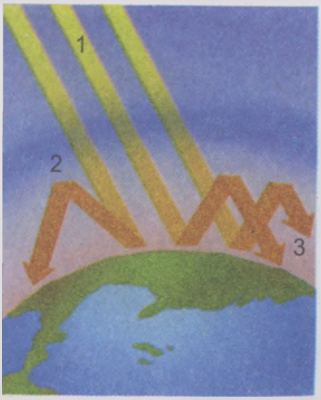
32.3. ábra. *Erdőirtás*

32.4. ábra. Tűz a Fukushima-1 atomerőműben

hatóságának idejét nehéz összeegyeztetni a bennük tárolt radioaktív anyagok felezési idejével (egyes izotópok felezési ideje meghaladja a 24 ezer évet), s ez bizonyos idő múlva jelentős környezetszennyezés forrása lehet. Nem lehet kizárni a jövőt illetően újabb atomerőmű-balesetek bekövetkeztét, amelyek nagy területeket tehetnek lakhatatlanná és alkalmatlanná mezőgazdasági tevékenység folytatására. Ilyen atomerőmű-baleset volt az USA-ban a Three Mile Island-i nukleáris erőműben és egy uráli nukleáris üzemben, Jekatyerinburg közelében. A legnagyobb nukleáris katasztrófa az ukrán fővárostól, Kijevtől nem messze fekvő Csernobil atomerőművében történt 1986 áprilisában. A következményeit még ma is nehéz megbecsülni, hisz annyi sugárzó anyag került a környezetbe, mint egy nagy atomba felrobbanásakor.

A japán Honshu-sziget keleti partvidékétől nem messze, a tengerfenékről 2011. március 11-én kiinduló hatalmas földrengés által kiváltott szökőár (cunami) megrongálta a Fukushima-1 atomerőmű (32.4. ábra) reaktorait, tüzet okozva a létesítményben. A reaktorokat tengervízzel hűtötték, ezért nagy mennyiségű nukleáris szennyezőanyag, közte cézium-137 izotóp került az óceánba. Ennek az izotópnak a felezési ideje közel 30 év. A vízben a cézium-137 ionok alakjában található, s így először az algákba és más planktonszervezetekbe épül be, majd a táplálékláncon továbbhaladva veszélyes mértékben felhalmozódik az olyan halak húsában, mint a lazacfélék, továbbá a nyolckarú polipok testében és a halikrában. A radioaktív cézium az ember szervezetébe jutva rosszindulatú daganatokat és sugárbetegséget okoz. Ezért ajánlatos kizárni az étrendből minden olyan tengeri terméket, amely a Csendes-óceán térségéből, közte Oroszország távol-keleti tengereiből származik.

A Fukushima-1 erőmű veszélyességét a nemzetközi szervezetek a legnagyobb (katasztrofális) fokozatúként ismerték el. Eddig ilyen veszélyességi fokot a csernobili katasztrófa kapott.



32.5. ábra. Üvegházhatás: 1 – napenergia; 2 – üvegházi gázok; 3 – hő

Éghajlatváltozások. A Föld éghajlatváltozásainak egyik oka az ember gazdasági tevékenysége. Az ipar és az energiatermelés gyors fejlődése megnövelte a szén-dioxid koncentrációját a légkörben, ami az úgynevezett *üvegházhatást* váltja ki (32.5. ábra). Ez a Föld felületének felmelegedéséhez vezet. Az utóbbi 200 évben a légkör CO_2 koncentrációja 25%-kal nőtt, míg az évi középhőmérséklet a földfelszín közelében 0,5 °C-kal emelkedett. Ha ez a folyamat tovább tart, akkor a következő évszázad közepére a hőmérséklet további 5 °C-kal nőhet. Ez a gleccserek és a sarkokon felhalmozódott jég olvadását eredményezi, ami a világóceán vízszintjének 1–2 m-es emelkedéséhez vezet. A tengerszint emelkedése folytán víz alá kerül-

nek az alacsonyan fekvő területek, az orkánok és aszályt okozó száraz szelek pedig jelentős területeket változtatnak élettelen pusztává.

Az emberi tevékenység hatása a légkör állapotára. A légkört az emberi és állati egészségre ártalmas ipari szennyeződések és a gépkocsik kipufogó gázai (H_2S és SO_2, NH_3 és NO_2, CO, nehézfémek) szennyezik. Az építőipari és a bányászati üzemek a levegő porszennyezésének állandó forrásai. Különösen nagy veszélyt jelentenek a környezetre a ***savas esők***, melyeket a légkörbe kerülő H_2S és NO_2 okoznak. A vízmolekulákkal egyesülve erős szervetlen savakat – kénsavat H_2SO_4, salétromsavat HNO_3 – képeznek. A savas esőknek súlyos következményei vannak: pusztulnak az édesvizek és erdők ökoszisztémái.

A másik nagy veszély az élő szervezetekre az ózonpajzs elvékonyodása, ami a légkörbe kerülő freonok számlájára írható. Ezeket a vegyületeket hűtőberendezésekben, légkondicionálókban, aerozolos szóróflakonokban használják lakkok, festékek, illatszerek porlasztására.

Az emberi tevékenység hatása a hidroszférára. Negatív hatással van az ember tevékenysége a vizek állapotára is, mivel ipari és kommunális szennyvizekkel, a szántóföldekről a vizekbe kerülő műtrágyákkal és rovarirtó szerekkel, kőolajtermékekkel szennyezi a vízkészleteket, hidrotechnikai létesítmények építésével lecsapolja és kiszárítja a lápokat (32.6. ábra). A vizek egészségügyi állapotának romlása és a vízkészletek ésszerűtlen felhasználása (ez elsősorban az édesvízkészletekre és a föld alatti vizekre vonatkozik) világszerte kiélezi az ivóvízproblémát. Még a legkorszerűbb módszerekkel tisztított szennyvizeket is csak korlátozottan lehet ipari, energetikai és öntözési célokra felhasználni.

A fajok pusztulása. Az ember intenzív beavatkozása a természetes biogeocönózisok életébe direkt pusztítás, az élőhelyek megsemmisítése, a környezet szennyezése által sok állat- és növényfaj kihalásához vezetett. Számítások szerint az utóbbi ezer évben 130 emlősfaj és -alfaj, 260 madárfaj és -alfaj tűnt el véglegesen bolygónkról. A kipusztult gerinctelen- és gombafajok számát lehetetlen megállapítani.

Ukrajna természeti erőforrásainak állapota napjainkban. Az intenzív gazdasági tevékenység következtében, különösen a XIX. sz. második felétől, Ukrajna természeti tájai jelentős mértékben megváltoztak. A változások kedvezőtlenül érintették a vadon élő állatok és növények élőhelyeit. Jelenleg Ukrajna területének összesen 29%-át foglalják el természeti társulások. Az erdőkkel borított területek az 1850-es állapotokhoz képest 28%-ról 14,3%-ra, míg az első és a második évezred fordulójához viszonyítva 45%-kal csökkentek. Gyakorlatilag teljesen megsemmisültek a szűz sztyeppék, hatalmas területek-

32.6. ábra. A vizek kőolajtermékekkel való szennyezése

nek változott meg a vízrendszere gátak, víztározók építése, a polisszjai mocsarak lecsapolása és a sztyeppei övezetben lévő területek öntözése következtében. A Dnyeperen kiépített mesterséges vízlépcsők miatt a folyóból gyakorlatilag kipusztultak a tokfélék (tokhal, beluga) a Fekete-tengerre való szabad kijárás megszüntetése következtében. Az erős antropogén szennyezés – vegyszerekkel és radioaktív anyagokkal – nagy kiterjedésű területeken károsította a természetes ökoszisztémákat, és komolyan veszélyezteti Ukrajna gazdag és változatos állat- és növényvilágának génállományát.

Az utóbbi 30–40 évben jelentős mértékben csökkent Ukrajna talajainak humusztartalma. Az Ukrán Agrártudományi Akadémia tudósainak számításai szerint az évi humuszveszteség átlagosan eléri a hektáronkénti egy tonnát. Ennek okát a szakemberek a nem megfelelő talajművelési módszerek alkalmazásában látják. Jelenleg Ukrajnában a talajok mintegy 20 %-a toxikus vegyületekkel (sugárzó anyagokkal, nehézfémekkel, rovarirtó szerekkel) szennyezett.

Országunkban csökken a vadállomány, egyre kevesebb a vadászható szarvas, vaddisznó, őz. A vizekben megfogyatkozott a halászható halak állománya.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Talajerózió, savas esők.*

Ismétlő kérdések. 1. Mi az oka napjaink környezeti válságának? 2. Milyen veszélyeket hordoz a Föld gyors népességnövekedése? 3. Milyen következményei vannak az urbanizációnak a bioszféra állapotára és az emberi egészségre? 4. Milyen kiváltó okai vannak a talajeróziónak és a szikesedésnek? 5. Milyen veszélyekkel jár az atomerőművek építése és üzemeltetése? 6. Mi az üvegházhatás? 7. Mik a savas esők? 8. Milyen hatással van az emberi tevékenység a természetes vizek állapotára? 9. Mi az oka a fajok tömeges kipusztulásának napjainkban?

Bonyolult feladat. Hogyan értékelitek Ukrajna jelenlegi környezeti állapotát?

33. §. A BIOSZFÉRA VÉDELME

A tananyag eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: mi a Vörös Könyv, a természetvédelmi területek, az ökológiai monitoring?

Hogyan kerülhető el az ökológiai válság?

A természettudományok fejlődése nyomán kiderült, hogy az embernek is alá kell vetnie magát a természet törvényeinek, hiszen annak részét képezi, s nem kell minden áron a megváltoztatására törekednie. V. I. Vernadszkij még a XX. század első felében megjósolta, hogy a bioszféra nooszférává fog fejlődni. A ***nooszféra*** a bioszféra új állapota, ahol a fejlődés meghatározó tényezője az ember szellemi tevékenysége.

A nooszférára, mint a bioszféra fejlődésének minőségileg új szakaszára, a természeti törvények és az emberi társadalom fejlődését meghatározó tényezők szoros kapcsolata jellemző. Ez a kapcsolat a természeti kincsek tudományosan megalapozott ésszerű felhasználásán alapul, amely az anyagkörforgás és az energiaforgalom megújíthatóságát feltételezi. Ezért bármilyen probléma megoldásánál az ***ökológiai*** (***környezetbarát***) ***gondolkodásmódnak*** kell

érvényesülnie, vagyis az embernek mindennapos gyakorlati tevékenységét alá kell rendelnie a természet törvényeinek és a környezetvédelmi követelményeknek. Tehát a nooszféra a bioszféra szerveződésének minőségileg új formája, amely az emberi társadalommal való kölcsönhatás eredményeként és az ember, valamint a természet harmonikus együttélése nyomán alakul ki.

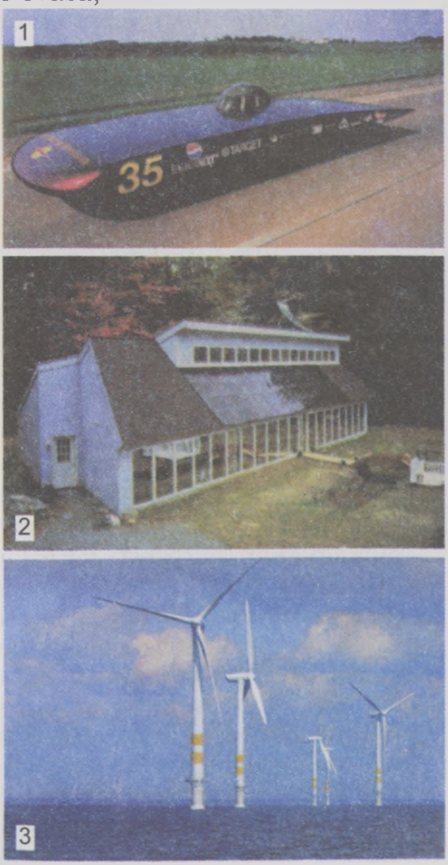
Az ésszerű vagy környezetbarát természet-felhasználás azt jelenti, hogy a természeti erőforrásokat a fenntartható fejlődés követelményeinek megfelelő mértékben és módszerekkel aknázzák ki, biztosítva a természeti környezet védelmét, feltételeinek a megújulását. Ezeknek az elveknek állami szintű intézkedésekkel szereznek érvényt:

- a természeti erőforrások felhasználhatóságának korlátozása, hulladéktakarékos, energia- és erőforráskímélő technológiák alkalmazása;
- a megújuló természeti erőforrások újratermelését biztosító intézkedések alkalmazása;
- a termelési és gazdasági létesítmények tervezésénél a környezet ökológiai teherviselő képességének figyelembe vétele;
- a populációk, fajok és tájegységek változatosságának megőrzése;
- a természeti környezet szennyezéstől való óvása;
- biológiai, kémiai és más módszerek alkalmazása a természeti erőforrások minőségének javítására;
- a természeti erőforrások ésszerű felhasználásának gazdasági ösztönzése.

Alternatív energiaforrások – olyan megújuló energiaforrások, mint a napenergia, szél, tengerek, folyók, biomassza, a Föld hője, és az állandóan meglévő vagy periodikusan megjelenő másodlagos energiaforrások.

Az energiafelhasználás csökkenését segíti elő a kevéssé energiaigényes technológiák bevezetése az iparban, mezőgazdaságban, építőiparban. Az új, lumineszkáló fényforrások 10-szer hosszabb életűek, mint a hagyományos izzók, és 4-szer kevesebb az elektromos energiafelhasználásuk. A lakások fűtési energiafelhasználása új hőszigetelő anyagok és építéstechnológiai eljárások alkalmazásával csökkenthető.

Gazdaságilag előnyös az ipari és háztartási hulladékok felhasználása, ami egyben az egyik legkörnyezetkímélőbb eljárás. Például az alumínium fémhulladékból történő kiolvasztásához 20-szor kevesebb energiára van szükség, mint bauxitból való előállítására. Az acél esetében ez a módszer 60%-os energia-megtakarítással jár, míg a papírhulladékból történő papírgyártás 25%-kal kevesebb energiát igényel, mintha az cellulózból történne.



33.1. ábra. *Alternatív energiaforrások felhasználása:*
1 – elektromobil; 2 – napelemek;
3 – szélerőművek

Fontos az olyan új energiaforrások felhasználása, mint a bioüzemanyagok. A természetes energia-hordozóktók (kőolajtól, kőszéntől, nukleáris üzemanyagtól) eltérően a bioüzemanyagok megújuló energiaforrások, teljesen elbontják őket a mikroorganizmusok, ezért nem jelentenek veszélyt a természeti környezetre.

Természetvédelem – a bioszféra állapotának megőrzéséről és javításáról szerzett ismeretek alkalmazási területe, amelyek elméleti alapját az ökológia képezi. Így a természetvédelmi rendszabályok tervezésénél és kivitelezésénél a gyakorlatban valósulnak meg az ökológiai kutatások eredményei. Az ökológia fejlődésével az emberiség fokozatosan kezdte megérteni az élőlények és környezetük kapcsolatai tanulmányozásának fontosságát, azoknak a törvényszerűségeknek a megismerését, amelyek a bioszféra működését irányítják. Még a jelentéktelen beavatkozások is a természet életébe láncreakciókat válthatnak ki, melyeknek globális méretekben beláthatatlan következményei lehetnek. Ezért az általános ökológiai krízis elkerülése érdekében a világ valamennyi országának össze kell fognia egységes stratégia kialakítása és a gyakorlatban való megvalósítása érdekében, hogy megőrizhető és javítható legyen környezetünk állapota.

Elsősorban ***környezetbarát társadalom*** kialakítására van szükség, amely az ökológiai ismeretek alkalmazásán alapszik az ember gyakorlati tevékenységében. Az ilyen társadalom jellemzője az, hogy saját létének fenntartása nem veszélyezteti a következő nemzedékek létét, felelősséget vállal azzal kapcsolatban, milyen állapotban hagyja utódaira a természeti környezetet és természeti erőforrásokat.

Az ilyen társadalom kialakításának stratégiai elveit dolgozták ki a különböző országok tudósai a kormányokkal egyetértésben a Nemzetközi Természetvédelmi Egyesület (IUCN) égisze alatt.

A környezetbarát társadalom kialakításához az emberiségnek elsősorban:

- korlátoznia kell bolygónk népességnövekedésének ütemét, aminek példája lehet Kína, ahol ezt kétszeresére sikerült csökkentenie;
- korlátoznia kell a nem megújuló erőforrások (kőolaj, kőszén) felhasználását, és ösztönöznie kell a megújuló energiaforrások (szél- és napenergia, az árapály energiája, hőforrásokból nyerhető energia) szélesebb körű hasznosítását;
- az eróziótól és szikesedéstől óvó talajmegmunkáló technológiákat kell bevezetnie; a talaj megmunkálását szerkezetének sérülése nélkül kell végezni; a műtrágyákat, öntözést, vetésforgót ésszerűen kell alkalmazni (a vetésforgó egy adott területen termesztett kultúrnövények fajainak szakaszos változtatása); mezővédő erdősávokat kell kialakítani, amelyek megvédik a talajt a mállástól, megőrzik a talajnedvességet; csökkenteni kell a növényvédőszerek alkalmazását, biológiai és más, a környezetre veszélytelen módszerekkel kell harcolni a kártevők ellen;
- meg kell őriznie és szaporítania kell bolygónk erdőállományát, át kell térni a másodlagos és ültetett erdők ipari hasznosítására a kitermelt famennyiség folyamatos pótlásával;
- csökkentenie kell a szennyvizek mennyiségét, hathatós módszereket kell alkalmazni a tisztításukra; meg kell őrizni az élővizek állapotát és folyamatosan ellenőrizni kell az ivóvíz minőségét; ki kell építeni az ipari és energetikai berendezések zárt láncú vízellátási rendszerét;
- végre kell hajtania a természetes vizek megóvásának és helyreállításának programját.

Fontos szerepet kapnak az ökológiai kutatások a fajok akklimatizálásában. Az ***akklimatizáció*** – valamely faj alkalmazkodása egy olyan élőhely feltételeihez, ahol korábban nem élt, míg a ***reaklimatizáció*** – a faj visszatérése azokhoz a feltételekhez, amelyek közepette korábban élt. Esetenként az akklimatizált fajok konkurenciaképesebbeknek bizonyulhatnak az őshonos fajoknál, kiszoríthatják azokat. Például az Ausztráliába betelepített és ott akklimatizált mézelő méh kiszorította az őshonos, fullánk nélküli méheket. Azonkívül az akklimatizált állatok és növények élősködői és kártevői átkerülhetnek a helyi fajokra, tömeges pusztulásukat idézve elő.

A helyi állat- és növényvilág fajainak eltűnését idézhetik elő a korábban akklimatizálódott fajok élősködőinek rájuk történő áttelepülése. Például a volgai sőregtok akklimatizálására irányuló kísérlet az Aral-tengerben az arali sima tok tömeges pusztulásához vezetett, mert áttelepült rá a sőregtok laposféreg élősködője. Az ilyen esetek megakadályozása érdekében karanténszolgálatot rendszeresítettek, amely ellenőrzi a valamely országba bevitt élőlényeket annak érdekében, hogy kiszűrje a veszélyes fajokat.

Melyek a fajgazdagság megőrzésének fő irányai?

Már szó volt róla, hogy a bioszféra állapotának megőrzése és javítása nem lehetséges az azt benépesítő élőlények fajgazdagságának megőrzése nélkül. E célból mindenre kiterjedő vizsgálat alá kell venni bolygónk különböző régióiban az élővilág fajösszetételét különös tekintettel azokra a fajokra, amelyeket a kipusztulás veszélye fenyeget. A vizsgálatok eredményei alapján ki kell dolgozni a fajok ésszerű felhasználásának elveit, amelyek alapján megújítható populációik egyedszáma. Az élővilág fajgazdagságának megőrzése céljából a különböző országok (köztük Ukrajna) kormányai csatlakoztak az IUCN által kidolgozott *Természetvédelmi Világstratégiához*. Ennek elméleti alapja az a felismerés, hogy minden egyes élőlényfaj a bioszféra nélkülözhetetlen és egyedi eleme. A biológiai sokszínűség világméretű megőrzésének fontosságát hangsúlyozza az ENSZ által 1992-ben elfogadott következő nemzetközi okmány: „*A biológiai sokféleség megőrzésének konvenciója*” és az ennek alapján elfogadott „*Ukrajna biológiai sokfélesége megőrzésének koncepciója*” (*1997*) című nemzeti dokumentum. Az okmányokban lefektetett elvek megvalósítására kidolgozták Ukrajna biológiai sokfélesége megőrzésének az 1998–2015 közötti évekre szóló nemzeti programját.

Ennek fő rendelkezései a következők:

- a természetes és sérült ökoszisztémák, egyes állat- és növényfajok, gombák élőhelyének és más tájelemek állapotának megőrzése, javítása és helyreállítása;
- a természeti kincsek kiegyensúlyozott kitermelésére való áttérés, az ökoszisztémákra gyakorolt negatív hatások csökkentése;
- a felelősségérzet növelése a biológiai sokféleség megőrzése iránt azokban a vállalatokban és polgárokban, amelyeknek és akiknek tevékenysége a természeti kincsek kitermeléséhez kapcsolódik vagy hatással van a környezet állapotára.

Ezeknek a dokumentumoknak az elfogadásával új korszak kezdődött a környezet és lakói védelmében. Az okmányok értelmében Ukrajna biológiai sokszínűségét mint nemzeti értéket meg kell őrizni, mert fennmaradása és értékeinek ésszerű felhasználása az ország fejlődésének elengedhetetlen feltétele. Az országunk területén állandó jelleggel vagy időszakosan élő valamennyi

élőlény védelme az ukrán kormány politikájának egyik elsőrendű feladata. Annak érdekében, hogy a biológiai sokféleség megőrzésének ukrajnai nemzeti programja megvalósuljon, tökéletesítik a környezetvédelmi törvényeket. Országunkban hatályban van „A természeti környezet védelméről" (1991), „Ukrajna természetvédelmi alapjáról"(1992), „Az állatvilágról" (1993) (hasonló törvény készült a növényvilág védelméről) szóló törvény és sok más törvényerejű rendelet. Az IUCN mellett 1948-ban létrehozták a ritka és eltűnőben lévő növény- és állatfajok védelmének nemzetközi bizottságát. A testület feladatkörébe a ritka és eltűnőben levő fajok védelmére irányuló intézkedések kidolgozása és ezen intézkedések jogi alapjainak a megteremtése tartozott. A bizottság munkájának eredménye a *Nemzetközi Vörös Könyv* létrehozása, amelynek egyes kiadásai 1966 óta rendszeresen megjelennek. Egy adott faj felvétele a Nemzetközi Vörös Könyvbe azt jelenti, hogy ez a faj védelemre szorul minden országban, ahol megtalálható. Folyik azon fajok jegyzékének összeállítása, amelyek egyes régiók vagy országok területén szorulnak védelemre. Van már ilyen jegyzéke az európai veszélyeztetett fajoknak: Európai Vörös Jegyzék néven. Egyidejűleg folyik a munka a bolygónkról 1600 óta eltűnt fajok úgynevezett Feketelistájának összeállításán. Valamely faj akkor kerülhet fel a Feketelistára, ha hitelesen bizonyítható, hogy az utóbbi 50 év folyamán nem volt fellelhető. Ukrajnában a Vörös Könyv első kiadása 1980-ban, az utolsó 2009-ben jelent meg. A Legfelsőbb Tanács által 1992-ben elfogadott „Rendelet Ukrajna Vörös Könyvéről" dokumentum értelmében: a Vörös Könyv állami okmány, amely a veszélyeztetett állat- és növényfajok jelen állapotát tükrözi és tartalmazza a megőrzésükre és tudományos alapokon történő regenerálásukra irányuló intézkedéseket. Az Ukrajna Vörös Könyvében szereplő minden egyes fajnak fel vannak tüntetve az adatai, beleértve az elterjedést, az alkat és életműködés sajátosságait, az

33.2. ábra. *Ukrajna Vörös Könyvébe bejegyzett állatfajok: 1 – keleti pézsmacickány; 2 – hiúz; 3 – közönséges delfin; 4 – fekete gólya; 5 – borzas gödény; 6 – nagy örgébics; 7 – foltos gőte; 8 – rézsikló; 9 – oleánderszender*

egyedszámot, a védelem értelmében elfogadott vagy tervezett intézkedéseket. Jelenleg Ukrajna területén 826 növény- és gombafaj, valamint 542 állatfaj szorul védelemre (33.2.–33.3. ábra).

A világon elsőként Ukrajnában állítottak össze ***Zöld Könyvet***. Ebbe a könyvbe a ritka és egy adott területre jellemző növénytársulások vannak bejegyezve, amelyek hasznosítása különös figyelmet és elővigyázatosságot igényel.

A Vörös Könyvbe bejegyzett fajok védelme és megőrzése különböző módokon történhet, nevezetesen: védett területek, nemzeti parkok, időlegesen védett területek és más jellegű természetvédelmi területek létrehozásával. Ezeknek a nemzeti jelentőségű területeknek a felhasználása *„Ukrajna természetvédelmi alapjáról”* szóló törvényének (1992) megfelelően történik.

Ukrajna természetvédelmi területei között különleges helyet foglalnak el a *bioszféra természetvédelmi területek* (Kárpátok, Fekete-tenger, Duna). Ezek nemzetközi jelentőségűek, a bioszféra legjellemzőbb természeti együtteseinek természetes környezetben való megőrzése és ökológiai monitoringozás céljából hozták létre őket. A bioszféra természetvédelmi területeken nemzetközi tudományos és természetvédelmi programokat valósítanak meg.

A *nemzeti természetvédelmi parkok* állami jelentőségű, természetmegóvó, tudományos és kutatóintézmények, az értékes természeti, természeti-kulturális értékek megőrzése érdekében létesítették őket. A területükön a nagyközönségtől teljesen elzárt részeken kívül vannak olyanok is, amelyek szervezett formában, például csoportos turizmus keretében látogathatók. Ukrajnában jelenleg valamennyi természeti övezetben megtalálhatók a nemzeti parkok. A vegyes er-

33.3. ábra. *Ukrajna Vörös Könyvébe bejegyzett növényfajok: 1 – krími bazsarózsa; 2 – szellőrózsa; 3 – tavaszi hérics; 4 – agárkosbor; 5 – kökörcsin; 6 – tulipán; 7 – őszi kikerics; 8 – széleslevelű ujjaskosbor; 9 – tárnics; 10 – erdei liliom; 11 – hóvirág; 12 – boldogasszony papucsa*

dők övezetében található a Polisszja természetvédelmi terület, az erdőssztyeppeiben a kanyivi Rosztocsja és Medobor védett területek, a sztyeppeiben a Fekete-tengeri, Új-Aszkánia, a Luhanszki, az Ukrán sztyeppe, a Dnyeper-Orili, a Dunai, az Elanyecki sztyeppe, az Opuki, a Kazantipi; a krími hegyvidéken a Karadag, a Krími, a Jaltai Hegyi Erdős, a Martyan-Fok, az Ukrán-Kárpátokban a Gorgani nevű védett területek.

Regionális tájvédelmi parkok – helyi vagy regionális jelentőségű természetvédelmi intézmények, amelyek a nemzeti parkokhoz hasonló feladatokat látnak el. Jelenleg Ukrajnában 8 állatkert és 24 botanikus kert működik. Országunkban a természetvédelmi alap mintegy 6600 objektuma működik. Ezek összterülete közel 2,5 millió hektár, ami Ukrajna területének több mint 4%-a.

Időleges természetvédelmi területek – bizonyos természeti komplexumok vagy egyes fajok megőrzése és helyreállítása céljából kialakított természetes területek, amelyeken tudományos munka és a környezetvédelmi előírások betartása mellett tudományos ismeretterjesztő és bizonyos, engedélyezett gazdasági tevékenység folyik.

Természeti emlékek – egyedülállóan különleges, természetvédelmi, tudományos, esztétikai jelentőségű természeti képződmények.

Különleges helyet foglalnak el a természetvédelmi célok megvalósításában a *botanikus kertek* és az *állatkertek*. Ezeket a helyi vagy a világ különböző tájairól származó ritka és jellegzetes növény- és állatfajok vizsgálata, megőrzése, akklimatizálása és hatékony gazdasági hasznosítása céljából hozzák létre. Fő feladatuk azonban az ismeretterjesztő-nevelő munka, a természetbarát magatartás beoltása az emberekbe.

Tudományos kutatóintézmények, és egy terület jellegzetes vagy egyedi természeti értékeinek eredeti állapotban való megőrzése, a bennük végbemenő természetes folyamatok vagy jelenségek tanulmányozása érdekében hozzák létre őket. A természetvédelmi területeken történik a természetvédelem tudományos módszereinek a kidolgozása. Jelenleg Ukrajna területén 16 természeti és 4 bioszféra természetvédelmi terület található különböző természeti övezetekben.

Ukrajna természetvédelmi törvényei. A természeti komplexumok és egyes fajok megőrzése és helyreállítása nem lehetséges a megfelelő törvényi háttér nélkül. A természetvédelmi tevékenyég alapját Ukrajna alkotmánya képezi. A környezetvédelemmel, a természeti erőforrások ésszerű felhasználásával és az ökológiai biztonság fenntartásának alapelveivel kapcsolatos kérdéseket Ukrajna környezetvédelmi törvénye szabályozza. De ebbe a körbe tartozik az állatvilágról és a növényvilágról, a légköri levegő védelméről, a föld méhének kihasználásáról, a vizek, a föld, az erdők védelméről szóló ukrán törvények. Országunkban a környezet és a természet védelmével az Ökológiai és Természeti Erőforrások Minisztériuma foglalkozik.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Nooszféra, környezetbarát gondolkodásmód, fajok akklimatizációja és reakklimatizációja, Vörös Könyv, Zöld Könyv.*

Ismétlő kérdések. 1. Mit értenek a tudósok a nooszférán és a környezetbarát gondolkodásmódon? 2. Mi a lényege az ésszerű természet-felhasználás-

nak? 3. Milyen alternatív energiaforrásokat ismertek? 4. Milyen előnyei vannak a bioüzemanyagok alkalmazásának? 5. Melyek a természetvédelem főbb irányai? 6. Melyek az ökológiailag stabil társadalom építésének irányai?

Bonyolult feladat. Gondolkozzatok el azon, hogy mi a különbség természetvédelmi terület, bioszféra természetvédelmi terület, nemzeti park, tájvédelmi körzet, időleges természetvédelmi terület, természeti emlék között!

3. sz. gyakorlati munka

Ökológiai feladatok megoldása

Cél: *a ragadozó és a zsákmányállat közötti kölcsönös kapcsolatok egyszerűsített matematikai modelljének elkészítése.*

1. feladat. Az ember testtömege 70 kg, ennek 60%-a víz. Mekkora tengeri vízterület lenne képes eltartani egy ilyen embert, ha csak algákkal (növényi planktonnal) táplálkozó halat fogyasztana? A növényi plankton produktivitása 600 g/m^2 száraz biomassza.

Megoldásminta. A feladat megoldásához felhasználjuk az ökológiai piramis szabályát. Ennek értelmében mindegyik táplálékláncban csak az elfogyasztott 10%-a tárolódik.

Meghatározzuk az ember száraz biomasszáját:

70 kg – 100%;

x kg – 40%;

x = 28 kg.

Ahhoz, hogy 28 kg száraz biomasszát hozzon létre, az embernek 280 kg halat, a halnak 2800 kg növényi planktont kell elfogyasztania.

Meghatározzuk azt a vízterületet, amelyen a megfelelő mennyiségű növényi plankton él:

2800 kg : 0,6 kg = 4666,6 m^2.

2. feladat. Határozzátok meg az 1 ha területű agrocönózis produktivitását (a rajta tárolódó szárazanyagot és energiát), ha egy nap leforgása alatt a növények 560 g/m2 szárazanyagot képeznek, s a növények által létrehozott száraz biomassza 1 g-jában 22 kJ energia tárolódik!

3. feladat. A hím fóka testtömege 400 kg. A háremében három, rendre 200, 230 és 250 kg-os nőstény található. Az adott élőhelyen a fókák fő táplálékát növényi planktont fogyasztó halak teszik ki. Elegendő-e a fókák normális táplálkozásához 50 000 m^2 vízterület, ha a plankton produktivitása 700 g/m^2, és a fókák testtömegének közel 60%-a víz?

4. feladat. Hány 300 kg testtömegű tehenet tud eltartani 2 ha területű legelő, ha az állatok táplálékául szolgáló növények produktivitása 800 g/m^2 száraz anyag, a tehén testtömegének közel 60%-a víz?

5. feladat. A tápláléklánc a következő szakaszokból áll: növények – egér – kígyó – kígyászölyv. Határozzátok meg az egér tömegét, ha a kígyászölyv testtömege 2 kg!

TEMATIKUS TUDÁSSZINTFELMÉRÉS

I. A megadott válaszok közül válasszátok ki az egy helyest:

1. A szervezetek kölcsönhatásainak összessége: a) parazitizmus; b) mutualizmus; c) kommenzalizmus; d) szimbiózis.

2. A biocönózis határait meghatározza: a) valamely állattársulás elterjedtsége; b) valamely növénytársulás elterjedtsége határai; c) szabadon meghatározható; d) nincsenek éles határok.

3. A szimbiózis kölcsönösen előnyös típusa: a) parazitizmus; b) kommenzalizmus; c) mutualizmus; d) konkurencia.

4. Egy faj populációinak térbeli és táplálkozási helyzete a biogeocönózisban: a) élőhely; b) trofikus szint; c) szimbiózis; d) ökológiai fülke.

5. A nooszféra: a) a Föld értelmes lények által lakott burka; b) a Föld burkainak élő szervezetekkel benépesült része; c) a bioszférának a tudatos emberi tevékenységgel kialakított új állapota; d) a természetvédelmi területek összessége.

6. Az Ukrajnában működő természetvédelmi területek típusai: a) csak természetvédelmi területek; b) csak időleges természetvédelmi területek; c) csak nemzeti természetvédelmi parkok; d) természetvédelmi területek, nemzeti természetvédelmi parkok és időleges természetvédelmi területek.

II. Megfelelési feladat.

1. Állapítsátok meg a megfelelést a környezeti tényezők és az ezeket illusztráló példák között:

Környezeti tényezők	Példák
A. Abiotikus B. Biotikus C. Antropogén	1. A gázok tartalma a talajban 2. Ragadozó-zsákmány viszony 3. A talaj megnövekedett sugárzóanyag-tartalma

2. Állapítsátok meg a megfelelést a szimbiózis típusa és az ezeket illusztráló példák közt:

Szimbiózistípus	Különböző fajú szervezetek együttélésének példái
A. Mutualizmus B. Kommenzalizmus C. Parazitizmus D. Neutralizmus	1. Az usszuri tigris és a vadmacska együttélése 2. Malária-plazmódium létezése a vörös vértestekben 3. A tengeri makk megtelepedése a bálnák testén 4. A többostoros egysejtű állatok létezése a csótányok és termeszek gyomrában

3. Állapítsátok meg a megfelelést a fajpárok és a közöttük létrejövő viszonyok között:

Ökológiai csoport	Szervezetek
A. Vörös érdesnyelű tinórú – rezgő nyárfa B. Orchideák – trópusi fák C. Maláriaszúnyog – ember D. Malária-plazmódium – ember	1. Kommenzalista állat – gazda 2. Parazita – gazda 3. Vérszívó – gazda 4. Ragadozó – zsákmány 5. Mutualista viszony

4. Állapítsátok meg a megfelelést a fajpárok és a közöttük létrejövő viszonyok között:

Az emberi tevékenység következményei	Emberi tevékenységformák
A. Talajerózió B. Szikesedés C. Ózonlyuk képződése D. Üvegházhatás	1. Intenzív ipari és közlekedési tevékenység 2. Klór-fluor-szénvegyületek légkörbe kerülése 3. Tömeges erdőirtás 4. Láplecsapolás 5. Ésszerűtlen talajöntözés

III. Nyitott kérdések.

1. Az élő anyag milyen szerveződési szintjeit tanulmányozza az ökológia? Az ökológia milyen fejezetei tárgyalják az élő anyag különböző szerveződési szintjeit?
2. Mi a közös és mi az eltérő az állat- és növénypopulációk létszámszabályozási mechanizmusában? Feleleteteket indokoljátok meg!
3. Miért függ a fajgazdagságtól a biogeocönózis stabilitása? Feleleteteket indokoljátok meg!
4. Sok virágos növény és rovar evolúciója közösen történt. Milyen általános alkalmazkodó készségek fejlődtek ki náluk? Miben nyilvánul meg a kölcsönös függőségük?
5. Miért nem csak az egyes ritka vagy eltűnőfélben levő fajt kell védeni, hanem azt az ökoszisztémát, melynek az említett fajok a részei? Feleleteteket indokoljátok meg!
6. A globális ökológiai katasztrófa miért csak a különböző országok kormányainak és társadalmainak összefogásával hárítható el? Feleleteteket indokoljátok meg!

V. RÉSZ A SZERVES VILÁG TÖRTÉNELMI FEJLŐDÉSE

1. téma Az evolúciós tan alapjai

Ennek a résznek a tanulása során megtudjátok, hogyan alakultak ki az evolúciós nézetek, megismeritek az evolúció szintézises hipotézisének alapjait, a természetes kiválogatódást, a fajképződés mechanizmusait, az evolúciós tényezőkről alkotott korszerű elméleteket. Megtanuljátok a természetes és mesterséges kiválogatódás, valamint a földrajzi és ökológiai fajképződés összehasonlítását.

34. §. AZ EVOLÚCIÓS NÉZETEK KELETKEZÉSE

A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: mi a modifikációs változékonyság? Melyek a sejtelmélet alaptételei?

Mi az evolúció?

Az ***evolúció*** (lat. *evolutio* – kibontás, szétgöngyölítés) az élő szervezetek történelmi fejlődése során bekövetkező megfordíthatatlan szerkezeti és működésbeli változások folyamata. Ennek következménye a szervezetek alkalmazkodása a környezeti feltételekhez létezésük minden pillanatában. Az evolúció problémáit, az evolúció általános törvényszerűségeit, tényezőit, mechanizmusait és következményeit az ***evolúciós tan*** vizsgálja.

Az élőlények fejlődésének különféle elméleteit hirdették az ókori Görögország (Herakleitosz, Demokritosz) és az antik Róma (Lucretius) nagy gondolkodói is (34.1. ábra). A kérdés tudományos magyarázatára azonban csak a XIX. század elején tettek kísérletet.

Mi a lényege Jean-Baptiste Lamarck evolúciós hipotézisének?

Az első evolúciós hipotézist a kiváló francia tudós, Jean-Baptiste Lamarck alkotta meg. Jean-Baptiste Lamarck (1744–1829) enciklopédista volt (34.2. ábra). Többkötetes művet írt *Franciaország flórája* címmel, megalkotta a gerinctelen állatok sok tekintetben máig érvényes rendszerét, amely ásatag for-

34.1. ábra. *1. Epheszoszi Herakleitosz (Kr. e. 535–475) ógörög filozófus. Fő műve A természetről című könyv. Úgy vélte, hogy a világ egységes, minden változik benne és semmi nem ismétlődik, s ez vonatkozik az élő anyagra is. Úgy vélte, minden a lét egységes törvényének, az ellentétek harcának van alárendelve. Heraklitosz szállóigévé vált mondása: „...hogy minden mozgásban van, és semmi sem marad változatlan" és „...nem léphetsz kétszer ugyanabba a folyóba". 2. Démokritosz (Kr. e. 460–370) ógörög filozófus. Úgy vélte, az élet élettelen anyagból született a napsugarak hatására. Az élőlényekben szerinte az életet „tűzatomok" tartják fenn; az új fajok kölcsönös keveredés, azaz hibridizáció folytán jelennek meg. 3. Titus Lucretius Carus (Kr. e. 99–55) római költő és filozófus. Filozófiai költeményt írt A dolgok természetéről címmel. Úgy vélte, hogy minden test különböző fajtájú elemi testecskékből – atomokból – áll, és ezek különböző véletlenszerű egyesüléseikben különböznek egymástól. A változatos élő szervezetek is ilyen véletlenszerű egyesülésekből jöttek létre. Ugyanakkor csak a leginkább alkalmazkodott lények maradtak fenn és hoztak létre utódokat*

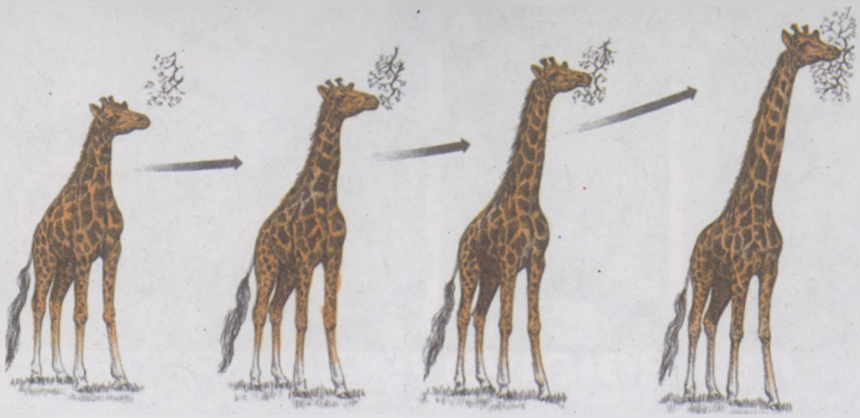
mákat is magában foglalt. Ő javasolta 1802-ben először – Gottfried Reinhold Treviranus-szal együtt – a *biológia* kifejezés használatát, megalapozta a Föld „***élettere***" fogalmat, amit később bioszférának neveztek el. Lamarck evolúciós hipotézisét ***lamarckizmusnak*** nevezzük. Kortársai nem fogadták el az elméletét, mindazonáltal idővel számos követője akadt.

Lamarck 1809-ben tette közzé evolúciós hipotézisét *Az állattan filozófiája* című művében. A tudós úgy vélte, hogy az idegrendszer nélküli szervezetek közvetlenül a környezeti tényezők hatására változnak. A francia tudós az evolúciót az állandó változások folyamatának tekintette. Úgy vélte, a szervezetek akkor válnak bonyolultabbá, amikor az alacsonyabb fejlődési szintről magasabbra mennek át. Ezeket a szinteket Lamarck *gradációknak* nevezte. (Gradáció – fokozatosság, fokozatos átmenet, fokozat. *A ford.*)

Az alsó szinteken a baktériumok és más mikroszkopikus szervezetek, a felsőkön az emlősök és az ember található. Azt a jelenséget, hogy az élőlények egyidejűleg különböző szerveződési szinteken vannak, Lamarck azzal magyarázta, hogy *az élet folyamatosan keletkezik*. E szerint minél később keletkeztek a fajok, annál alacsonyabb a szerveződési szintjük, hiszen még nem érkeztek magasabb fokra jutni.

Az alacsonyabb szervezettségi szinten lévő, idegrendszerrel nem rendelkező szervezetek a környezet tényezőinek közvetlen változásainak hatására változnak: a nyílfű vízinövény víz alatti levelei szalagszerűek (10.1. ábra), mivel a vízfolyás hatására megnyúlnak, míg a víz fölöttiek nyíl alakúak, hogy ellenállhassanak a szél hatásának.

34.2. ábra. *Jean-Baptiste Lamarck (1744–1829)*



34.3. ábra. A szervek nyújtása és eredménye a zsiráfnál (Lamarck szerint)

Az idegrendszerrel rendelkező állatok alkalmazkodása a következő rendben megy végbe: a szükségletek módosulása a szokások megváltozását eredményezi. Az utóbbi egyes szervek fokozott igénybevételével, használatával jár együtt, míg más szervek nincsenek használatban. A fokozottan igénybe vett szervek megfelelően fejlődnek, a nem használt szervekre viszont ez nem jellemző. Idővel ezek a változások öröklődnek. Például a zsiráf falevelekkel kezdett táplálkozni és folyton nyújtózkodnia kellett, hogy elérje a fák koronáját. Ez a nyak és a mellső végtagok megnyúlását eredményezte (34.3. ábra). Tehát Lamarck úgy gondolta: az egyik evolúciós tényező a külső körülmények hatására kialakult valamennyi jelleg öröklődése. Nem nehéz kikövetkeztetni, hogy a tudós főként a *modifikációs változékonyságot* vizsgálta.

Az evolúció mozgatórugóiként Lamarck a következő evolúciós tényezőket határozta meg:

1. A megszerzett jellegek öröklődése. Ez azt jelenti, hogy a szervezet felépítésében vagy funkcióiban bekövetkező minden változás örökletes, ezek a változások a külső körülmények vagy belső tényezők hatására alakulnak ki, és mindig hasznosak a szervezet számára.

2. A szervezetek veleszületett belső törekvése a fejlődésre független a külső körülményektől változásainak jellegétől. Ennek köszönhetően a szervezetek szerveződési szintjének nemzedékről nemzedékre tökéletesednie kell, azaz magasabb (következő) gradációra kell emelkednie. Lamarck elképzelésében az volt az előre mutató, hogy felismerte a létfeltételek hatását a szervezetek jellegeinek alakulására.

Érdekes, hogy a biológia egész története során Lamarck volt az egyetlen tudós, aki az emberszabású majmokat az ember közvetlen elődeinek tekintette. Úgy vélte, a csimpánzok, gorillák és orangutánok a közeli jövőben a magasabb gradációra, az ember szintjére jutnak. Az evolúciós elmélet bírálói ezt a hipotézist valamiért Charles Darwinnak tulajdonítják, aki soha nem támogatta ezt az elképzelést.

A biológia milyen sikerei járultak hozzá az evolúciós elmélet fejlődéséhez?

A XIX. század első felében jelentős, az evolúció létezését bizonyító felfedezések történtek a biológia különböző területein.

A sejtelmélet és az összehasonlító embriológia Matthias Jakob Schleiden, Theodor Schwann és Rudolf Wirchow általi megalkotása bizonyossá tette,

34.4. ábra. *A XIX. sz. első felének ismert citológusai és embriológusai: 1 – Matthias Jakob Schleiden (1804–1881) német botanikus, a sejtelmélet egyik megalapítója; 2 – Theodor Schwann (1810-1882) német zoológus, a sejtelmélet társalapítója; 3 – Rudolf Wirchow (1821–1902) német citológus és fiziológus, aki elsőként bizonyította be, hogy új sejtek kizárólag az anyasejt osztódásának eredményeként jöhetnek létre; 4 – Karl Ernst von Baer emlékműve az észtországi Tartuban. Baer (1792–1876) észt származású német zoológus és embriológus, felfedezte az emlősök petesejtjét, valamint az állatok embrionális fejlődésének törvényét, kidolgozta a csíralemezek elméletét, sok szerv fejlődését vizsgálta, így észrevette, hogy a különböző állatok embriói fejlődésük korai szakaszában nagyon hasonlóak, ami történelmi rokonságukat bizonyítja*

hogy a sejtes szerveződés valamennyi élőlény sajátossága, és a legkülönbözőbb szervezetek sejtfelépítése és működése hasonló. Ez alapozta meg a földi élet egységes keletkezésére vonatkozó tanok fejlődését. A csíralemezek Karl Ernst von Baer (34.4. ábra) általi felfedezése megmutatta, hogy a gerincesek különböző osztályaiba tartozó állatok képviselőinek magzati fejlődése azonos szakaszokból áll. Tehát ezeknek az állatoknak közösek az ősei.

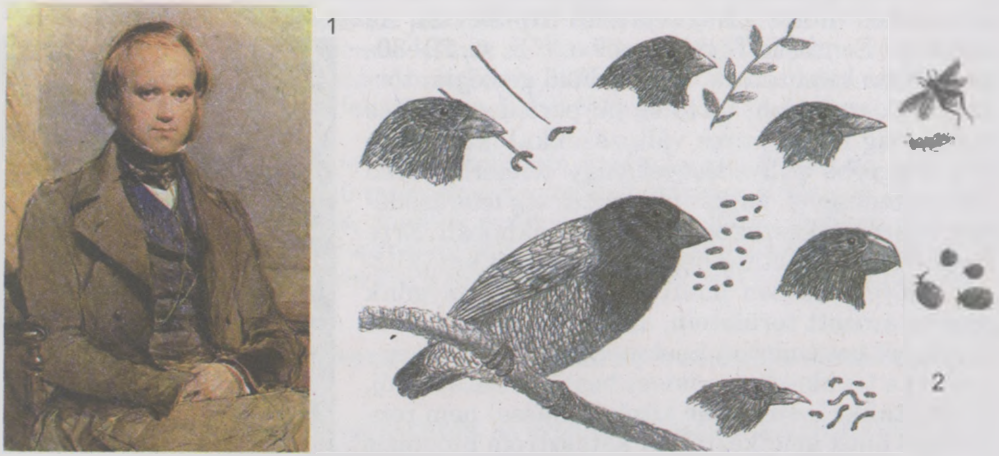
Georges Leopold Cuvier francia tudós (1769–1832), a *paleontológia* (*őslénytan*) egyik megalapítója. A paleontológia a geológiai múlt élőlényeinek ásatag maradványaival és összehasonlító anatómiájával foglalkozó tudomány. Cuvier megállapította, hogy minden geológiai (földtörténeti) korszaknak megvannak a rá jellemző, a megelőző és utána következő periódusok fajaitól különböző ásatag fajai.

Az ásatag flóra és fauna egymást követő változásainak magyarázatául Cuvier felállította a **katasztrófa hipotézist**. Az angol Charles Lyell és a német Karl Ernst Hoff geológusok a XIX. sz. 20–30-as éveiben kimutatták, hogy a Föld geológiai története hosszú ideig tartó stabil periódusokból és viszonylag rövid, heves változásokkal (szárazföldek tengerbe süllyedésével vagy tengerből való kiemelkedésével, vulkáni tevékenység felerősödésével) járó szakaszokból, katasztrófákból áll. Erre alapozta elméletét Cuvier, amely szerint kataklizmák következtében pusztult el az élet bolygónk meghatározott területein, amelyeket később más helyekről bevándorolt fajok népesítettek be, vagy ezeken a területeken – isteni beavatkozással – új, a kihaltakkal semmiféle közös vonással nem rendelkező fajok keletkeztek. A katasztrófa hipotézis a ***neokatasztrofizmus*** néven ismert új szellemi irányzatnak vetette meg az alapját.

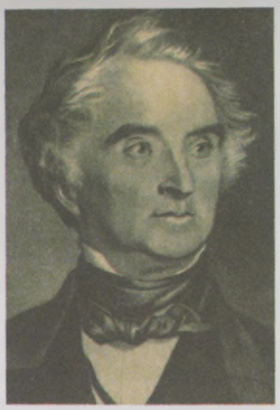
34.5. ábra. *Georges Leopold Cuvier (1769–1832)*

34.6. ábra. *A biogeográfia megalapítói: 1 – Alexander von Humboldt (1769–1859) híres német utazó, földrajztudós, természetkutató. A növényföldrajz (botanikai geográfia) megalapítója, elsőként vizsgálta a szárazföld természeti övezetességét, a hegyvidékek növényi övezetességeit; kutatta az akkori Orosz Birodalom, ezen belül a mai Ukrajna állat- és növényvilágát; 2 – Pjotr Szimon Pallasz (1741–1811) híres német és orosz természettudós; expedíciókat szervezett az akkori Orosz Birodalom különböző részeibe, s ezen belül a mai Ukrajna területére. Kutatta az állat- és növényvilágot, fő munkája az Oroszország flórája című többkötetes könyv (1784–1788). 1895-ben a Krímben települt le, kutatta a félsziget természetvilágát, kertészeti és borászati iskolát teremtett; 3 – kék szarka, amelyet Pallasz írt le 1776-ban. Ennek a madárnak igen érdekes az areálja: Kelet-Ázsiában (Kínában, Koreában, Mongóliában) és az Ibéria-félszigeten (Spanyolországban, Portugáliában) honos*

A XVIII–XIX. század határán kialakult a ***biogeográfia***, az élőlények és közösségeik, a *biogeográfiai komplexumok* földgolyón való elterjedésének törvényszerűségeit vizsgáló tudomány. A biogeográfia fejlődéséhez hozzájárultak azok a tudományos expedíciók, amelyeket ebben az időben nagy számban indítottak a Föld különböző tájaira a fejlett országokból. A biogeográfia egyik megalapítója a kiváló német tudós és utazó, Alexander von Humboldt volt. A tudományág haladásában jelentős szerepe volt Pjotr Szimon Pallasznak (34.6. ábra), a Pétervári Tudományos Akadémia tagjának.



34.7. ábra. *1. Charles Darwin (1809–1882) kiemelkedő angol biológus. 2. Darwini (galapagosi) pintyek. Figyeljétek meg: a különböző fajok csőrformája a táplálkozás módjától függ*



34.8. ábra. *Justus von Liebig (1803–1873) német vegyész, a szerves kémia és a biokémia egyik megalapítója. Az ökológiában ő a minimum törvény felfedezője. Megállapította, hogy a valamely konkrét fajhoz tartozó élő szervezetre ható ökológiai tényezők összességét tekintve legnagyobb korlátozó hatása annak a tényezőnek van, amelynek hatásintenzitása a legtávolabb van az optimális értéktől. Azt is kimutatta, hogy a növények produktivitása attól az ásványi anyagtól függ, amelynek legkisebb a tartalma a talajban*

Az élőlénycsoportok rendszerének létrehozásában elért sikerek eredményeként különböző országok tudósai rájöttek arra, hogy a fajok, nemek és más rendszertani egységek egymás közötti hasonlóságát ***közös ős-től való származásuk*** határozza meg.

A kutatók megállapították, hogy a különböző földrészek és szigetek növény- és állatvilága között annál nagyobb a különbség, minél elszigeteltebbek egymástól. Például Charles Darwin (34.7. ábra) a Beagle nevű hajón tett világkörüli útja során felfedezte, hogy a Galapagos-szigetek mindegyikén él egy különálló pintyfaj. Ezek egymáshoz közeli fajok, és Dél-Amerika közel eső területein honos pintyfajjal mutatnak rokonságot. Darwin feltételezte, hogy a kontinensen élő faj népesítette be egykor a szigeteket, alkalmazkodott a helyi viszonyokhoz, és az adott szigetekre jellemző új fajokká alakult (34.7. ábra).

Megállapították, hogy az élőlények ugyanazokból a kémiai elemekből épülnek fel, mint az élettelen természet tárgyai. Bebizonyították, hogy lehetséges szerves anyagok előállítása szervetlenekből.

Justus von Liebig (34.8. ábra) német vegyész, amikor a növények ásványi-anyag-felvételét, a rothadás és az erjedés folyamatának biológiai természetét tanulmányozta, megállapította, hogy az élőlények részt vesznek az anyagok természetes körforgásában. Abban az időben osztályozták a vegyületek fő csoportjait és alapozták meg a fotoszintézis kutatását.

Az élőlények életműködéséről és felépítéséről a XIX. sz. első felében felhalmozott új ismeretek szükségessé tették, hogy rendszerezzék őket és elméleti magyarázatot találjanak rájuk.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Evolúció, neokatasztrofizmus, biogeográfia.*

Ismétlő kérdések. 1. Mi az evolúció és az evolúciós elmélet? 2. Milyen evolúciós tényezőket vizsgált Lamarck? Mi a kreacionizmus? 3. Milyen eredmények születtek a biológia fejlődésében a XIX. sz. első felében? 4. Mi a katasztrófa hipotézis? 5. Mi a paleontológia és a rendszertan jelentősége az evolúciós eszmék fejlődésében? 6. Mit vizsgál a biogeográfia? 7. Milyen biogeográfiai felfedezések hatottak az evolúciós elmélet fejlődésére?

Bonyolult feladat. Gondolkozzatok el azon, hogy miért léteznek egyidejűleg a szerveződés különböző szintjein lévő szervezetek!

35. §. CHARLES DARWIN EVOLÚCIÓS HIPOTÉZISÉNEK ALAPTÉTELEI

A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: mi a mutációs, kombinatív és modifikációs változékonyság?

Mivel járult hozzá Charles Darwin a biológia fejlődéséhez?

Charles Robert Darwin angol tudós a világ legkiválóbb biológusainak egyike. Evolúciós elmélete, ami *darwinizmus* néven vonult be a tudományba, hosszú ideig képezte a biológia elméleti alapját, jelentős hatással volt más természettudományok fejlődésére és az ember élő természetben elfoglalt helyével kapcsolatos filozófiai gondolkodásában.

Evolúciós elméletének alaptételeit Darwin még fiatal éveiben, a Beagle hajóval tett világkörüli utazása idején (1831–1836) kidolgozta. A világ körüli útját követően több mint 20 éven át gyűjtötte az elméletét alátámasztó tényeket, de csak 1859-ben publikálta azokat *A fajok eredete természetes kiválogatódás útján, avagy a létért való küzdelemben előnyhöz jutott fajták fennmaradása* című könyvében. *A háziállatok és kultúrnövények változásai a háziasítás hatására* című művében (1868) rámutatott, hogy a mesterséges kiválogatás a szelekció alapja. *Az ember származása és az ivari kiválogatódás* című munkájában (1871) az evolúció problémáival kapcsolatos újabb kutatásait tette közzé, és kísérletet tett annak bizonyítására, hogy megalapozza az ember ásatag főemlősöktől való származásának elméletét.

Az evolúciós elmélet kidolgozásán kívül Darwin a biológia más ágaiban, de mindenekelőtt az állattanban is tevékenykedett és jelentős eredményeket ért el. Hipotézist állított fel a korallzátonyok keletkezését illetően, amely még mára sem vesztette el a jelentőségét. Elsőként kutatta a földigiliszta szerepét a talajképződésben, az orchideák alkalmazkodását a rovarok általi megporzáshoz, jelentős eredményeket ért el a ma élő és ásatag kacslábú rákok vizsgálatában.

Melyek Darwin evolúciós elméletének alaptételei?

Darwin szerint az evolúció a fajok folyamatos alkalmazkodó változásai történelmi fejlődésük folyamán. (35.1. ábra). Úgy vélte, hogy a jelenkori fajok kihalt ősi formák leszármazottai. Az evolúció az örökletes változékonyság alapján valósul meg a *létért való küzdelem* hatására, melynek eredménye a természetes kiválogatódás.

35.1. ábra. *A madarak hátsó végtagjának különböző alkalmazkodó típusai (határozzátok meg, milyen létfeltételekhez alkalmazkodtak legjobban ezek a lábtípusok)*

Az *örökletes változékonyság* (Darwin szerint *határozatlan változékonyság*) a szervezetek külső környezeti hatásoktól független, egyénileg kialakuló változásai, amelyek tovább adódhatnak az utódoknak. Ennek ellenében Darwin megkülönböztette a *nem*

örökletes változékonyságot (*határozott változékonyságot*), ami valamely meghatározott faj összes egyedénél egyformán nyilvánul meg a külső környezet bizonyos tényezőjének hatására. Az utódoknál azonban eltűnik a környezeti hatás megszűnésével. A lovak testnagysága például kis szigeteken vagy magas hegyekben néhány nemzedéken át fokozatosan csökken. Ha azonban visszaköltöztetik őket a síkságra, az utódok fokozatosan elérik valamikori elődeik testnagyságát. A káposzta például nedvességhiány esetén nem képez fejet. Az örökletes változások lehetnek hasznosak és károsak vagy semlegesek. Az örökletes változékonyságnak önmagában nincs alkalmazkodó jellege. Ezért Darwin úgy vélte, hogy léteznek sajátságos természeti mechanizmusok (tényezők), melyek biztosítják a szervezetek alkalmazkodását a környezethez (adaptációk). Ezek a mechanizmusok: küzdelem a létért és a természetes kiválogatódás.

A ***létért való küzdelem*** az egyedek és a környezet különböző tényezői közötti kölcsönhatások összessége. Darwin a létért való küzdelem magyarázatát Thomas Robert Malthus (1766–1834) angol szociológustól, az első népesedéselmélet hipotézis megalkotójától kölcsönözte. Malthus nézeteinek alapját az a tétel képezte, hogy a népesség mértani haladványnak megfelelően növekszik, a létfenntartási eszközök viszont csak számtani haladvány szerint gyarapodnak. A szociológus úgy vélte, hogy ez túlnépesedéshez és elszegényedéshez vezet, s az emberiség lélekszámát az éhség, járványok és háborúk szabályozzák majd. Darwin hasonló törvényszerűségre hívta fel a figyelmet az élő természetet illetően: az élőlények gyors szaporodási képessége ellentmond a bioszféra-készletek állandóságának, ezért az utódok többsége elpusztul.

Darwin a létért való küzdelem néhány formáját különböztette meg. Szerinte legélesebb a *fajon belüli küzdelem*, amely egy faj egyedei között folyik a táplálékért, szaporodási és termőhelyért. Például a kis területet elfoglaló fenyőhajtások beárnyékolják egymást és versengenek a talajoldatért, aminek következtében csupán 1% marad életben közülük (35.2., 1. ábra).

A *fajok közötti küzdelem* a különböző fajok egyedei közötti versengés: a ragadozók korlátozzák zsákmányállataik egyedszámát (35.2., 2. ábra), a növények különböző fajai versengenek a termőhelyért. A versengéssel kapcsolatos kölcsönös viszonyok legélesebben olyan fajok között nyilvánulnak meg, amelyeknek ökológiai igényeik közel vannak egymáshoz.

35.2. ábra. *A létért folytatott küzdelem formái: 1 – fajon belüli küzdelem a létért. Az erdeifenyőkből álló erdőben a fajon belüli versengés következtében a fák egy része elpusztul; 2 – fajok közötti küzdelem a létért. A nőstény oroszlán zsákmányát, az antilopot üldözi; 3 – az élettelen természet erőivel való kölcsönhatás: orkán erejű szél egy szigeten*

35.3. ábra. *Az ivari kiválogatódás megnyilvánulása: 1 – szarvasbogár hímek párharca; 2 – feketenyakú koronásdarvak násztánca; 3 – hím fülemüle éneke*

Az *élettelen természet erőivel való kölcsönhatás* szintén sok egyed pusztulásához vezethet. Például az erős szelek a part menti szárnyas rovarokat tömegesen sodorják a nyílt tenger fölé, ahol azok elpusztulnak (35.2., 3. ábra).

A ***természetes kiválogatódás*** a létért folyó küzdelem következménye. Ez a létfeltételekhez leginkább alkalmazkodott egyedek életben maradását és szaporodását, az alkalmazkodni kevésbé tudó egyedek pusztulását jelenti. Darwin ezt a fogalmat az ember által új növény- és állatfajták létrehozása céljából alkalmazott *mesterséges kiválasztás* mintájára vezette be, amikor a legproduktívabb egyedeket kiválogatják a nemesítés során. Úgy vélte, a természetes kiválogatódás sikeres módja a létért való küzdelemnek, mert a környezet feltételeihez legjobban alkalmazkodott egyedek maradnak életben és szaporodnak tovább, a kevésbé alkalmazkodók pedig elpusztulnak. A változások a nemzedékek során felerősödnek, felhalmozódnak, és végső soron ennek köszönhetően jelennek meg az új alfajok, fajok, nemzetségek.

A természetes kiválogatódás sajátságos formája az ***ivari kiválogatódás***. Ez az azonos nemű egyedek versengését (35.3., 1. ábra) jelenti a párosodás lehetőségéért: szarvasbikák, kakasok, harcoshalak hímjeinek párviadala, énekesmadarak és kabócák „dalversenye" (35.3., 2. ábra), darvak násztánca (35.3., 3. ábra). Ezeknek a versenyeknek a győztesei lehetőséget kapnak az ellenkező nemű egyedekkel való párosodásra, míg a vesztesek ettől meg vannak fosztva, így nem hagynak maguk után utódot. Az ivari kiválogatódás következtében alakult ki a *nemi* vagy *ivari dimorfizmus* jegyeinek többsége, amelynek köszönhetően a különböző nemű egyedek a külső alapján felismerik egymást.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Létért való küzdelem, természetes kiválogatódás, ivari kiválogatódás.*

Ismétlő kérdések. 1. Minek szentelte Charles Darwin fő műveit? 2. Miként magyarázta Darwin az evolúció folyamatát? 3. Mi a létért való küzdelem? Milyen formái vannak? 4. Mi a természetes kiválogatódás? 5. Mit kell érteni ivari kiválogatódáson?

Bonyolult feladat. Hogyan magyarázható a korszerű molekuláris biológia szemszögéből az örökletes változások kialakulása a külső környezeti hatásoktól függetlenül?

36. §. A DARWINIZMUS FEJLŐDÉSE. AZ ALKALMAZKODÁSOK MINT AZ EVOLÚCIÓS FOLYAMAT EREDMÉNYE

A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: milyen szakaszai vannak a szervezetek egyedfejlődésének? Mi a homeosztázis, a konvergencia?

Darwin tanait jelentős mértékben kiegészítették és továbbfejlesztették a követői. Végleges formáját befejezett eszmerendszerként a XX. század elejére nyerte el *klasszikus darwinizmus* néven.

Mi a filogenezis?

A darwinizmus fejlődésében fontos szerepet játszott egy kiváló német tudós, Ernst Haeckel (36.1. ábra). Az ő nevéhez fűződik annak megállapítása, hogy a fajok történelmi fejlődésük során változnak, és ezek a változások új fajok kialakulásának a kezdetét jelentik bármelyik rendszertani csoporton belül. Ernst Haeckelt a darwinizmus ***filogenetikai irányzatának*** megalapítójaként tartják számon. A ***filogenezis*** (gör. *phylon* – nem, nemzetség és genesis – származás) – egyes rendszertani csoportok (fajoktól, nemektől kezdődően egészen az állat- vagy növényországig) és valamennyi élőlény történelmi (evolúciós) fejlődésének konkrét útja. Valamely rendszertani csoport filogenezisének tisztázása céljából Ernst Haeckel a hármas párhuzamosság módszerét, azaz a paleontológiai, összehasonlító anatómiai és embriológiai adatok egybevetését javasolta.

Az ásatag szervezetek vizsgálata és összehasonlítása a ma élő fajokkal, valamint a jelenlegi fajok felépítésének egymással való egybevetése lehetővé teszi a közöttük lévő különbségek megállapítását, továbbá a történelmi változások irányainak meghatározását valamely rendszertani csoport szervezetei esetében mind a felépítés jellegét, mind a szervezettség egészét tekintve. Ennek megfelelően a tudósok egységes ***filogenetikai sorban*** helyezik el az ásatag és a mai formákat. A filogenetikai sor az élőlények vagy egyes testrészeik történelmi változásainak egymás utáni sorozata (például az őslovak koponya- és végtagváltozásainak, puhatestűek vázmódosulásainak egymásutánja). A filogenetikus sorok magukban foglalják az átmeneti formákat: azokat a szervezeteket, amelyekben egyesülnek a rokon rendszertani egységeknek a valamely meghatározott csoport történelmi fejlődése korábbi szakaszaiban és később létrejött jellegei.

36.1. ábra. *1. Ernst Haeckel (1834–1919). 2 – tengeri sugárállatok vázai (Haeckel rajza nyomán). 3 – a világ legkisebb madarai, a dél-amerikai kolibrik (Haeckel rajza nyomán)*

Miről szól a biogenetikai törvény?

A ***filogenetikai törvényt*** egyidejűleg két tudós, Ernst Haeckel és Friedrich Müller fogalmazta meg. Haeckel-Müller törvénye így hangzik: bármely élőlény egyedfejlődése (*ontogenezise*) a törzsfejlődés (*filogenezis*) rövid és gyors megismétlődése. Az embriogenezis azonos kezdeti fázisa (pete, barázdálódás, blasztula, gasztrula) bizonyítja valamennyi többsejtű állat azonos származását. Az embrionális fejlődés bizonyos szakaszán a gerincesek különböző osztályainál kopoltyúrések, gerinchúrok jelennek meg. Ez azt bizonyítja, hogy a szárazföldi emlősök halszerű elődöktől származnak.

A további kutatások, köztük az ukrajnai O. A. Kovalevszkij, I. I. Smalgauzen és az orosz O. M. Szevercov vizsgálatai megmutatták, hogy az egyedfejlődés nem pontos és egyértelmű leutánzása a törzsfejlődésnek. A többi között bebizonyították, hogy az egyedfejlődés során nem az ősök kifejlett formája ismétlődik, hanem embrió- és lárvaállapotuk. Ezenkívül az embriók esetében megjelenhetnek a környezet hatására kialakult adaptív jellegek, amelyek nem voltak jelen az elődöknél (például az emlősök méhlepénye, a madarak tojásfoga, amellyel a tojáshéjat bontják meg).

Mi a szervezetek természetes osztályozása?

Több faj egy közös őstől való származásának magyarázatára Darwin bevezette a ***divergencia*** (lat. *divergo* – elhajlok) fogalmát. Ez abban nyilvánul meg, hogy az ősök sajátosságai a különböző környezeti viszonyokhoz való alkalmazkodás következtében eltérő formában jelentkeznek az utódokban, mint például a galapagosi pintyek esetében láthattuk (34.7., 2. ábra). Ernst Haeckel bevezette a ***monofília*** (gör. *monos* – egy és *phylon* – nemzetség) fogalmat, ami azt jelenti, hogy valamennyi utód egy közös őstől származik. Ez az alapelve a természetes (filogenetikai) rendszerezésnek. Haeckel kidolgozta a rendszertani csoportok történelmi fejlődésének grafikus ábrázolási módját filogenetikai fák formájában. Ő késztette el elsőként az élőlények törzsfejlődésének modelljét.

Milyen adaptációs mechanizmusai vannak az élőlényeknek az élőhely környezeti feltételeihez?

A kutatók a darwinizmus szemszögéből vizsgálták és értelmezték, hogy milyen formákban alkalmazkodtak a szervezetek a létfeltételekhez. Egyebek között (elsősorban az állatoknál) tanulmányozták a különféle ***védőszíneket***, az ellenség elől elrejtő testformákat és viselkedésmódokat. Álcázás-

36.2. ábra. *Állatok védőszíne és védő testformája: 1 – az araszoló lepke hernyója veszély esetén megmerevedik, ami száraz gallyhoz teszi hasonlóvá; 2 – levélre emlékeztető botsáska; 3 – a tengerfenék színéhez alkalmazkodó lepényhal*

36.3. ábra. *Figyelemfelkeltés: 1 – a burgonyabogár élénk, figyelmeztető színe, a vérében (hemolimfájában) mérgező anyagok találhatók, ezért más állatok gyakorlatilag nem fogyasztják; 2 – a lódarázs nagy (3,5 cm hosszú) mérgező hatású, figyelmeztető színű darázs; több szúrása esetén halál is bekövetkezhet; 3 – a tarantula pók fenyegető testtartása; 4 – a kobra fenyegető testtartása*

kor a védő testformával és színnel rendelkező állat veszély esetén sajátságos testtartást vesz fel (36.3. ábra).

Például az araszoló lepke hernyója vagy a trópusi botsáskák megmerevednek, száraz ágacskához válnak hasonlóvá, és teljesen észrevehetetlenek lesznek a növényeken. Azokon a helyeken, ahol váltakoznak az évszakok, sok madár és emlős vedlik, nyáron sötét, télen világos külsőt ölt. Vannak állatok, amelyek képesek gyorsan megváltoztatni a színüket attól függően, hogy milyen a környezeti háttér. Ilyenek például a nyolckarú polipok, a lepényhalak (36.3. ábra), a kaméleon.

Figyelemfelkeltéskor épp ellenkezőleg történik: az állat színével és magatartásával kiválik környezetéből. A figyelmeztető vagy fenyegető szín és az állat viselkedése arra figyelmezteti az ellenséget, hogy ez az állat nem ehető (burgonyabogár, katicabogár) vagy jól védett (fullánkos darazsak, méhek, mérges kígyók) (36.3. ábra).

A ***vonzó szín és viselkedés*** a különböző nemek egyedeinek találkozását, a csapat vadászathoz való összeállását szolgálja. Felvetődhet a kérdés, mi szüksége van a nappali fecskefarkú lepkének élénk színre, amikor az vonzza a ragadozókat, s a pillangónak nincsenek védekező eszközei? Ez azzal kapcsolatos, hogy ennek az állatnak az élettartama alig három hét, amely alatt ennek a meglehetősen ritka fajnak partnert kell találnia az utódokat biztosító párosodáshoz.

A ***mimikri*** (gör. *mimicos* – utánzó) az élőlényeknek (*imitátor* vagy *álcázó*) az a képessége, hogy más fajok (*modellek*) egyedeinek formáját vagy viselkedését utánozzák. Henry Bates angol entomológus és Friedrich Müller német zoológus az állatok mimikrijének két formáját fedezték fel. A Bates-féle mimikri esetében a védtelen faj utánozza egy jól védett faj jegyeit, míg a Müller-féle mimikri abban mutatkozik meg, hogy a jól védett fajok utánozzák egymást sajátságos fajgyűrűt alkotva. Mivel az ellenségben a „gyűrű" valamelyik tagjával szemben idegenkedés alakult ki, az nem bántja a többieket sem.

36.4. ábra. *Bates-féle mimikri: 1 – mérgező változat; 2 – nem mérgező imitátor*

A *Bates-féle mimikri* példája lehet, ahogy egyes trópusi káposztalepkék nem ehető más lepkefajokra hasonlítanak. Különböző lepkék, legyek, bogarak

36.5. ábra. *Müller-féle mimikri. Minden ilyen lepke mérgező; az imitátor fajok ritkák, a modellek – szokványosak; a követés jelentősége abban nyilvánul meg, hogy a ragadozók minél hamarabb megtanulják, hogy nem érdemes megtámadni a szárnyukon valamilyen mintázatot viselő rovarokat*

fullánkos darazsakat és méheket utánoznak, a nem mérges kígyók pedig mérges kígyókat (36.5. ábra).

A *Müller-féle mimikri* esetében egyes mérgező ízeltlábúaknak figyelmeztető vörös az alapszíne, miközben fekete (katicabogár, verőköltő bodobács) vagy sárgás-fekete (különböző darazsak, egyes pókfajok) pettyekkel vannak tarkítva (36.5. ábra).

36.6. ábra. *Mimikri a növényvilágban: a trópusi orchidea nőstény pillangóra emlékeztető virága*

A mimikri a növényvilágban úgy nyilvánul meg, hogy valamely faj más fajokra emlékeztető jegyeket fejleszt ki. Például bizonyos növények virágai nem tartalmaznak nektárt, de mégis rovarok porozzák meg őket, mert virágaik bő nektártartalmú virágokra hasonlítanak. Egyes trópusi orchideák virágai nőstény lepkékre emlékeztetnek, s a lepkehímek párosodási próbálkozásukkor porozzák meg őket (36.6. ábra).

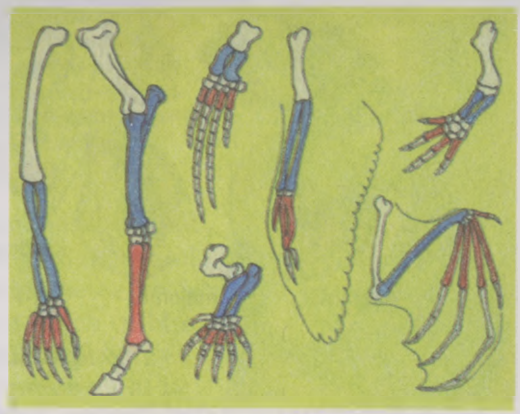
Az összehasonlító anatómia milyen vívmányai járultak hozzá az evolúciós nézetek fejlődésének?

Az angol Thomas Henry Huxley (36.7., 1. ábra) és az ukrán Olekszandr Onufrijovics Kovalevszkij (36.7., 2. ábra) összehasonlító anatómiai és embriológiai kutatások eredményeként jöttek létre az olyan evolúciós fogalmak, mit a homológia, analógia, rudimentum (csökevény) és atavizmus.

A ***homológia*** (gör. *homologia* – megfelelés) – a különböző fajok szerveinek azonos eredettel magyarázható szerkezeti egyezése (36.9. ábra). A különböző környezeti feltételekhez való alkalmazkodás eredményeként a homológ szervek gyakran jelentős mértékben eltérnek egymástól, azonos származásuk

36.7. ábra. *Az összehasonlító anatómia terén működő XIX. századi kiváló tudósok: 1 – Thomas Henry Huxley (1825–1895) angol zoológus, a darwinizmus eszméjének védelmezője; 2 – Olekszandr Onufrijovics Kovalevszkij (1840–1901) kiemelkedő zoológus, a Kijevi Egyetem tanára, a Szevasztopoli Biológiai Állomás vezetője. Elsőként fedezte fel a csíralemezeket a gerinctelen állatokban. Bebizonyította, hogy a lándzsahal a gerinchúrosok törzsébe tartozik*

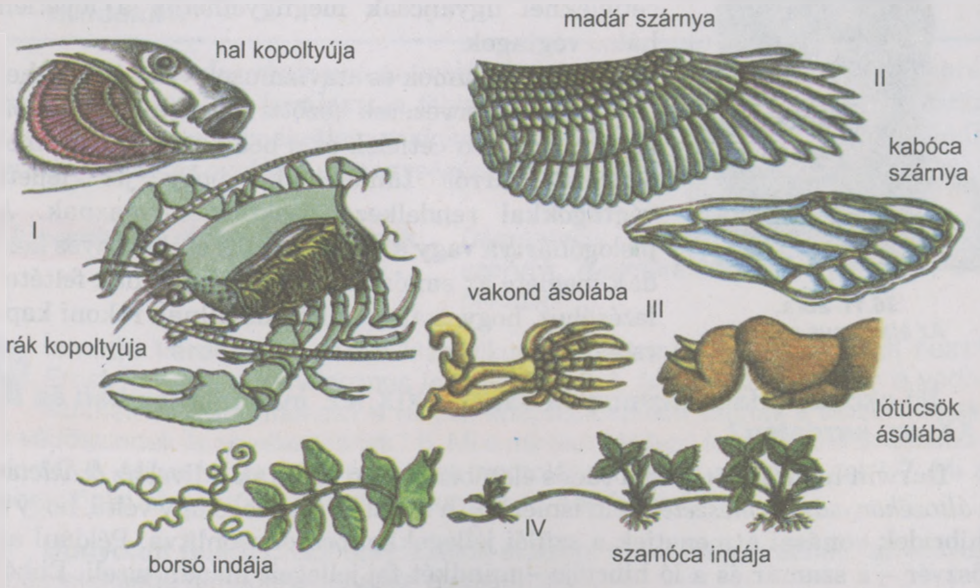
csak egyedfejlődésük vizsgálata és paleontológiai kutatások adatai alapján állapítható meg. A homológ szervek példái lehetnek a különböző gerinces állatok mellső végtagjai (lábak, szárnyak, úszólábak, kezek) vagy a magasabbrendű növények gyökérmódosulásai (gyökérgumók, gyökértermések).



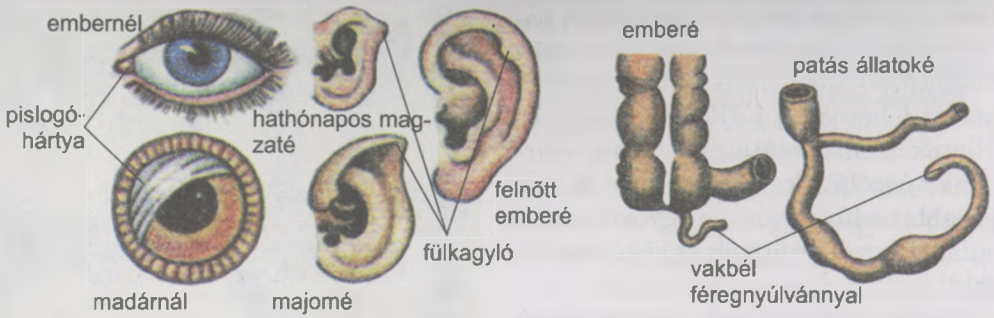
36.8. ábra. Homológ szervek

Az ***analóg szervek*** (gör. *analogia* – hasonlóság) hasonló felépítésű, de eltérő eredetű és azonos funkciót betöltő szervek (36.9. ábra). Analóg szervek például a madarak és a rovarok szárnya, a halak, a puhatestűek, a rákfélék kopoltyúja, a növények tövisei, melyek lehetnek hajtásmódosulások (galagonya) vagy levélmódosulások (sóskafa, kaktusz). Az analóg szervek a ***konvergencia*** – jellegek egybevágása – következtében jönnek létre. Konvergencia alakul ki a nem rokon szervezetek esetében az azonos létfeltételekhez való alkalmazkodás következtében.

A ***rudimentumok*** (lat. *rudimentum* – csökevény) vagy ***csökevényes szervek*** – a fajfejlődés során funkciójukat vesztett vagy visszafejlődött szervek. Felépítésük fejletlen vagy egyszerűsödött az elődök hasonló szerveihez viszonyítva (36.10. ábra). Ilyenek például a cetfélék medenceövének maradványai, a vakond fejletlen szeme, a tevetövis leveleinek pikkelyes csökevényei. Az ember-



36.9. ábra. Analóg szervek (I–IV)



36.10. ábra. *Rudimentumok*

nél rudimentum a vakbél féregnyúlványa vagy a farkcsigolyák. A pázsitfűfélék virágtakarója pikkelyszerű képződménnyé fejlődött vissza. A csökevényes szervek rendszerint az embrionális fejlődés során alakulnak ki, azonban idővel leáll a fejlődésük és csökevényes állapotban maradnak. Ezek a szervek vagy nem végeznek semmilyen funkciót (például az ember pislogóhártyája, vagyis a kétéltűeknél, hüllőknél és madaraknál fejlett harmadik szemhéj), vagy új működésbe kezdenek (például a kétszárnyú rovarok rezgőszárnya, ami nem más, mint csökevényes második szárnypár, és az egyensúlyt biztosítja repülés közben).

Az ***atavizmus*** (lat. *atavis* – ős) – a korai ősöknél meglevő sajátosságok megjelenése valamely faj egyes egyedeinél (36.11. ábra). Esetenként előfordul, hogy emberek farokkal, egész testüket borító sűrű szőrzettel vagy több mellbimbóval születnek. A lábatlan gyíkoknál olykor fejletlen végtagok jelennek meg. A cetféléknél ugyancsak megfigyelhetők a fejletlen hátsó végtagok.

36.11. ábra.
Az atavizmus példája

A rudimentumok és atavizmusok vizsgálata lehetővé teszi a szervezetek közötti rokonság megállapítását. Például a cetfélék és a boák csökevényes medenceöve arról tanúskodik, hogy jól fejlett végtagokkal rendelkező ősöktől származnak. A pislogóhártya vagy a keresztcsonti csökevényes bordák megléte az emlősöknél alapot ad annak feltételezéséhez, hogy ásatag hüllőkkel állnak rokoni kapcsolatban.

Mi okozta a darwinizmus válságát a XIX. sz. második felében és a XX. sz. kezdetén?

Darwin hipotézisét még a tudós életében sokan bírálták. Mivel az *öröklétes változékonyság természetét* nem ismerték, a kutatók többsége úgy vélte, hogy a hibridek vonásai átmenetiek a szülői jellegekkel összehasonlítva. Például az öszvér – a szamár és a ló hibridje – mindkét faj jellegeit magán viseli. Ebből kiindulva Fleeming Jenkin angol természettudós úgy vélte, hogy valamilyen

36.12. ábra. *Herbert Spencer (1820–1903), angol filozófus és szociológus, úgy vélte, hogy a környezethez való adaptációk fokozatos evolúciós folyamata nem csak az élő anyagra jellemző, hanem az emberi társadalomra és a világegyetem egészére is. A biológia princípiuma című kétkötetes művében a darwinizmus eszméit népszerűsítette, a „leginkább alkalmazkodók túlélése" fogalom megalkotója*

hasznos jelleg megjelenése az utódokban nemzedékről nemzedékre addig fog csökkenni, amíg véglegesen el nem tűnik, s ennek következtében a természetes kiválogatódás nem valósul meg. Darwin nem tudta cáfolni ezt az állítást, amit „Jenkin rémálmának" nevezett el.

Darwin másik kortársa, Herbert Spencer (36.12. ábra) ismert angol filozófus azt állította, hogy a nem irányított örökletes változások a szervezet belső közegállandóságának (homeosztázisának) elvesztéséhez vezetnek, következésképpen az élőlény elpusztul. Spencer megjegyezte, hogy maga a „kiválasztás" fogalom célirányos akarati cselekvés, amit például az ember a nemesítés során valósít meg. A természetben ilyen tudatos kiválogató erő nem létezik, ezért a „természetes kiválogatásnak" nincs biológiai értelme.

A Mendel-féle törvények újrafelfedezése a XX. sz. elején és a „gén", valamint a „mutáció" fogalmak meghatározása a kutatókat arra a következtetésre juttatta, hogy a kiválasztás, a szűrőhöz hasonlóan, elkülöníti az életképes fenotípusokat a nem életképesektől, ezért az *eliminációt* kifejezéssel helyettesíthető.

Az *eliminációt (lat. eliminare – kiűz)* – az egyed pusztulása egyedfejlődésének abban a szakaszában, amikor még nem hagy maga után utódokat.

A klasszikus darwinizmus az evolúció alapegységeként azt az egyedet határozta meg, amely a kiválasztás folyamatában, a létért való küzdelem során termékeny vagy terméketlen utódokat hagyhat. Később ezt az elméletet felülvizsgálták és az evolúció alapegységének a populációt tekintették.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Divergencia, mimikri, homológ és analóg szervek, rudimentumok, atavizmusok, eliminációt.*

Ismétlő kérdések. 1. Mi a klasszikus darwinizmus? 2. Mivel járult hozzá Ernst Haeckel a darwinizmus fejlődéséhez? 3. Milyen szerepe van a védőszínnek és testformának? 4 Milyen adaptációtípusai vannak a testformának, a védőszínnek és viselkedésnek? 5. Mi a mimikri? Milyen formái vannak a mimikrinek? 6. Milyen szerveket nevezünk homológoknak és analógoknak? 7. Mi a homológia, az analógia, a rudimentum és az atavizmus?

Bonyolult feladat. Gondolkozzatok el azon, mivel magyarázható az atavizmus jelensége a modern genetika alapján!

37. §. AZ EVOLÚCIÓ SZINTETIKUS HIPOTÉZISÉNEK ALAPTÉTELEI

A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: az öröklődés milyen törvényszerűségeit fedezte fel Gregor Mendel? Mi okozta a darwinizmus válságát a XX. elején? Mi a reakciónorma? Mi a génállomány, a fenotipus és fének? Mi az alfaj?

Az általános biológia megoldatlan problémái a XX. sz. elején egy sor hipotézis megjelenéséhez készítették elő a talajt. Közülük jelentőségében kiemelkedett az evolúció szintetikus hipotézise és a neokatasztrofizmus hipotézise.

Mi a lényege az evolúció szintetikus hipotézisének?

Az **evolúció szintetikus hipotézise** – az evolúciós folyamatról alkotott elképzelések bonyolult rendszere, amely a XX. század 20–50-es éveiben keletkezett. Megalkotói között különböző nemzetiségű tudósok voltak (37.1. ábra). A hipotézis úgy jött létre, hogy a klasszikus darwinizmus létért folyó küzdelemről és természetes kiválasztódásról szóló tételeit egyesítették a mutációkról, mint az örökletes változékonyság egyetlen forrásáról és a populációkról, mint az evolúció alapegységéről alkotott tanokkal. Az evolúció szintetikus hipotézisének alaptételei a következők:

1. A mutáció az örökletes változékonyság egyetlen forrása.
2. A populáció az evolúció alapegysége, benne megy végbe valamennyi evolúciós folyamat.

37.1. ábra. *Az evolúció szintetikus hipotézisének fejlesztéséért sokat tett kiemelkedő tudósok: 1 – Szergej Szergejevics Csetverikov (1880–1959), orosz tudós, a populációgenetika megalapítója. Kidolgozta a populációról mint az evolúció alapegységéről szóló tant, bevezette az „élethullámok" fogalmat; 2 – Theodosius Dobzhansky (1900–1980), amerikai genetikus, a Kijevi Egyetemen szerzett diplomát, és egy ideig ott is dolgozott. Nevéhez több felfedezés fűződik a mutációk és a mutagenezis terén. A mikroevolúciós folyamatok alapvető sajátosságait is kutatta. A fenetika – a fének, azaz valamely jelleg különböző állapotainak a populációban való megnyilvánulását és eloszlását vizsgáló tudományág – megalapítója; 3 – Alekszej Nyikolajevics Szevercov (1866–1936), orosz zoológus, 1902 és 1911 között a kijevi Szent Vlagyimir Egyetemen (ma Tarasz Sevcsenko Egyetem) dolgozott. A biológiai progresszióról és elérésének módjairól (aromorfózis, idioadaptáció, degeneráció) szóló elmélet megalkotója. Kidolgozta a gerinces állatok összehasonlító anatómiájának korszerű elméletét; 4 – Ivan Ivanovics Smalgauzen (1884–1963), kiemelkedő ukrán tudós, a gerinchúros állatok evolúciós morfológiájának, összehasonlító anatómiájának és embriológiájának kutatója. 1907-ben szerzett diplomát a kijevi Szent Vlagyimir Egyetemen, később ugyanitt dolgozott professzorként. 1930 és 1941 között az Ukrán Nemzeti Tudományos Akadémia Állattani Intézetét vezette, amely ma az ő nevét viseli*

3. Az evolúció elemi tényezői: a létért folyó küzdelem, az élethullámok, az izoláció, a génáramlás.

4. Az evolúciós folyamatnak három fajtája létezik: a mikroevolúció, a fajkeletkezés és a makroevolúció.

5. Az evolúció mozgatórugói a természetes kiválogatódás, amely a populáció fenotípusainak összességére hat. A természetes kiválogatódás lehet stabilizáló, irányító és elkülönítő.

6. A szervezetek bármely rendszertani csoportja vagy virágzik (biológiai progresszió), vagy kihal (biológiai regresszió). A biológiai progresszió a felépítésben bekövetkező változások – aromorfózisokban, idioadaptációkban vagy általános degenerációban – révén valósul meg.

7. Az evolúció visszafordíthatatlan folyamat, vagyis ha a környezeti feltételek visszaállnak egy korábbi állapotba, akkor az adaptációk minden alkalommal újraalakulnak, s nem az előző változatok állnak vissza.

Miért tekintik a populációt az evolúció alapegységének (elemi egységének)?

Az evolúció szintetikus hipotézise a populációt az evolúció elemi egységének tekinti, mivel benne történnek az összes elemi evolúciós folyamatok: az öröklletes változékonyság, a létért folyó küzdelem, a természetes kiválogatódás, az élethullámok (populációs hullámok), az izoláció, a génáramlás. A populáció egyedei nem képeznek evolúciós egységet, mert az evolúciós változások nemzedékváltáskor történnek.

Az elemi evolúciós tényezők, a szintetikus hipotézis megalkotói szerint, az élethullámok, a génáramlás és az izoláció.

Idézzétek fel, hogy az *élethullámok* – a populációk egyedszámának minden fajra jellemző ingadozásai. Ezek függhetnek a faj fejlődési ciklusától, és genetikailag meghatározottak lehetnek, mint amilyenek például az egynyári növények vagy rovarok egyedszámának szezonális ingadozásai, vagy az ökológiai tényezők hatásintenzitása (telelési feltételek, a ragadozók, paraziták nyomása, táplálék megléte) okozza őket, lehet periódusos és nem periódusos jellegű (37.2. ábra).

Az élethullámok evolúciós jelentősége abban áll, hogy az egyedszám csökkenése vagy növekedése során valamely allél aránya a populáció génállományában a szervezetek alkalmazkodási szintjétől független. Például ha nagyon hideg a tél, akkor kifagynak a talaj felső rétegében élő szervezetek, s csak azok maradnak meg, amelyek véletlenül olyan helyre kerülnek, ahol gyengébb a fagy (a szél nem fújja le a havat a felszínről). Ilyenformán az élethullámok a populáció génállományát megváltoztatni képes tényezők egyike.

37.2. ábra. *Az élethullámok alakulása a vándorsáskák példáján követhető nyomon. Intenzív szaporodás esetén a sáskák hatalmas rajokba verődnek, és egyik helyről a másikra repülnek, minden zöld növényzetet elpusztítva az útjukban. A csoportosulást a populáció nagy sűrűsége idézi elő. Ha a populáció sűrűsége kicsi, akkor a sáska elkülönült életmódot folytat*

A ***génáramlás*** – az allélek és kapcsolódásaik előfordulásának véletlenszerű, nem irányított változásai a populációk génállományában, amelyeknek nincs alkalmazkodó jellegük. Ez a jelenség leghatározottabban a kis egyedszámú populációkban nyilvánul meg a szabad kereszteződés behatároltsága miatt szaporodáskor. Viszont minél nagyobb létszámú egy populáció, annál kisebb a génáramlás jelentősége az allélek és kapcsolódásaik előfordulási gyakoriságát illetően.

A génáramlásról, mint az evolúció elemi tényezőjéről szóló elméletet Sewall Green Wright (1889–1982) amerikai genetikus dolgozta ki. A következő kísérleteket végezte el: táptalajt tartalmazó kémcsövekbe két-két, meghatározott genom szerinti homozigóta hím és nőstény muslicát helyezett (a genotípusuk jelölése *Aa*, ebből a normális – azaz a vad típusú – allél jelölése: *a*, a mutánsé: *A*. Vagyis ezekben a mikropopulációkban a két allél találkozási gyakoriságának valószínűsége 50%. Bizonyos idő elteltével, mialatt a muslicák több nemzedéke váltotta egymást, kiderült, hogy egyes mikropopulációkban minden egyed a recesszív *a* allél szerinti, míg más mikropopulációkban az *A* allél szerinti homozigóta lett, megint más mikropopulációkban mindkét allél megmaradt, de a találkozási gyakoriságuk aránya eltért a kísérlet kezdeti mutatóitól. Ez a kísérlet megmutatta, hogy a kis egyedszámú populációkban az allélek és kapcsolódásaik találkozási gyakorisága erősen és irány nélkül változhat. Eközben megmaradhat a mutáns allél, annak ellenére, hogy csökkenti az egyedek alkalmazkodását.

A génáramlás egyik oka a populációs hullámok. Ez legkifejezettebben azoknál a szervezeteknél mutatkozik meg, amelyek esetében gyorsan váltják egymást a nemzedékek (rovarok, kullancsok, egynyári növények). A populáció sűrűsége eközben csökken az egyedek egy részének véletlenszerű, a környezeti feltételekhez való alkalmazkodás fokától független pusztulása következtében, ami jelentősen módosítja a különböző allélek és kapcsolódásaik találkozási gyakoriságát.

A génáramlás következményei *elsősorban*, a kis létszámú populációkban az, hogy megnőhet bennük a homozigóták találkozási gyakorisága. Ez a populáció egyedei közötti, a homozigóták részarány-emelkedésével járó rokonkeresztezés valószínűségének a növekedésével magyarázható. *Másodsorban*, a populációban huzamos ideig megmaradhat az egyedek alkalmazkodását csökkentő mutáns allél. *Harmadsorban*, a populációs hullámok eredményeként egyes allélek találkozási valószínűsége gyorsan nőhet, miközben más allélek végleg eltűnhetnek. Tehát a génáramlás következtében a valamikor hasonló genetikai szerkezetű populációknak az idő múlásával mindinkább eltérő lehet a genetikai szerkezetük a létfeltételek változásaitól függetlenül. A génáramlás intenzitásáról a homozigóták arányának növekedéséből következtetnek.

A génáramlás mint evolúciós tényező különösen nagy jelentőséggel bír új területek, például szigetek benépesülésekor. Rendszerint ezekre a helyekre valamely faj nem nagy számú, különböző genotípusú egyede kerül, ezért az ilyen populáció génállománya nemzedékről nemzedékre mind jobban különbözik a kiindulási populációk génállományától. A génáramlás során bizonyos allélkapcsolódások hasznosaknak bizonyulhatnak, és megmaradhatnak az utódokban. A génállomány változásai ezért adaptációs jellegűek.

Az ***izoláció*** (***elszigeteltség***) – egy faj egyedei közötti kereszteződés ellehetetlenülése a közöttük lévő kapcsolatok hiánya miatt. Az izoláció több formáját különböztetik meg. *Földrajzi izoláció* esetén egy faj különböző populációi áthághatatlan akadályokkal – folyókkal, hegyláncokkal, erdőségekkel vagy sztyeppékkel – vannak egymástól elválasztva.

37.3. ábra. *Ökológiai izoláció: 1–5 a Szevan-tó öt pisztrángrajának ívási helyei*

Ökológiai izoláció akkor figyelhető meg, amikor a populáción belül kialakulnak az egyedek létfeltételekkel szembeni igényeket tekintve különböző csoportjai (ökológiai formák vagy rasszok). Gyakran alakulnak ki olyan állatcsoportok, amelyek az általuk fogyasztott táplálékfajta szerint különböznek egymástól. Például a zsizsik egyik faja borsóval, a másik babbal táplálkozik. A tápláléknövények termőhelyének különbözősége folytán a két rassz egyedei a szaporodási időszakban sincsenek egymással kapcsolatban.

Izoláció kialakulhat a szaporodási időszakok különbözősége folytán. Például a fényperje egyes egyedei eltérő időben virágozhatnak a tavaszi áradástól függően. A vízzel elárasztott területeken növő egyedek később virágoznak, mint azok, amelyek száraz helyen vagy rövid időre víz alá került térségben élnek.

Gyakran vezetnek izolációhoz viselkedésbeli eltérések (etológiai izoláció). Például a Szevan-tóban (Örményország) élő több pisztrángraj együtt keresi a táplálékot, ugyanakkor íváskor mindegyik raj egyedei külön-külön gyülekeznek különböző helyeken (37.3. ábra).

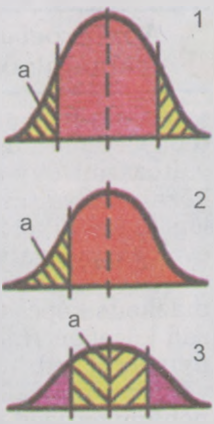
Az izoláció különböző formái egymástól függetlenül egyidejűleg is hathatnak ugyanannak a fajnak a populációiban. Az izoláció evolúciós jelentősége abban nyilvánul meg, hogy valamely meghatározott faj populációi közötti génscsere hiányában mindegyik populáció génállományában idővel különböző mutációk jöhetnek létre, és megváltozik az allélek és kapcsolódásaik előfordulási gyakorisága. Az elszigetelt populációk egymástól függetlenül alkalmazkodnak a külső körülményekhez. Az izoláció a fajon belüli divergencia (jellegek eltérése) szükségszerű feltétele.

A természetes kiválogatódás hatásának milyen formái ismertek?

Az alkalmazkodó változások irányától függően megkülönböztetnek stabilizáló, irányító és elkülönítő kiválogatódást (37.4. ábra).

A ***stabilizáló kiválogatódás*** állandó környezeti viszonyok közepette valósul meg. Fenntartja a leginkább alkalmazkodott fenotípus állandóságát és elveti a kevésbé alkalmazkodó változásokat. Ezzel szűkíti a modifikációs változékonyság határait, azaz a *reakciónormát*. A stabilizáló kiválogatódás következménye a létfeltételekhez való alkalmazkodás vagy a fajok specializációja (például a növények ökológiai rétegzettsége). Például a bojtosúszós hal, a latimeria (37.5. ábra) két faja máig fennmaradt, mert jelenős mélységben él, ahol az életfeltételek viszonylag állandók.

Az ***irányító kiválogatódás*** a külső környezet változásakor vagy akkor jön létre, amikor az élőlények alkalmazkodnak a fajterület (areál) megnövekedése kapcsán kialakuló új körülményekhez. Az irányító kiválogatás megőrzi a környezeti változásoknak megfelelő örökletes változásokait, s folyományaként a megfelelő oldalon beszűkül a reakcionorma. A talaj, mint élőhely meghódításakor, például a nem



37.4. ábra. *A természetes kiválogatódás formái: 1 – stabilizáló; 2 – irányító; 3 – elkülönítő (a – az egyedek pusztulása)*

37.5. ábra. A bojtosúszós hal két ma élő faja

37.6. ábra. Az elkülönítő kiválogatódás hatása: a kétpettyes katicabogár különböző színe; a vörös színű kemény szárny (1) jobban alkalmazkodik a magasabb, míg a fekete szárnyszín (2) az alacsonyabb hőmérséklethez

rokon állatcsoportok végtagjai ásó végtagokká alakultak (lótücsök, ganéjtúró bogár, vakond).

Az ***elkülönítő kiválogatódás*** két, ritkábban több irányba hat egyidejűleg, de nem támogatja a jellegek átlagoshoz közeli (köztes) állapotának megőrzését (37.6. ábra). Például az óceáni szigeteken, ahol állandóan erős szelek fújnak, a rovarpopulációkban főleg a szárny nélküli vagy a légáramlatoknak ellenálló, nagyon erős szárnyú egyedek maradnak meg. A közepesen fejlett szárnyú rovarokat a szél folyamatosan az óceánba sodorja, ezért eltűnnek a szigetekről. Ez a fajta kiválogatódás elősegíti különböző fenotípusok kialakulását egy populáción belül (***polimorfizmus*** jelensége).

Alkalmazhatók-e az evolúció szintetikus hipotézisének tételei mindegyik fajra? Nem nehéz észrevenni, hogy a szintetikus hipotézis valamennyi végkövetkeztetései csak azoknak az élőlényeknek a populációira vonatkoznak, amelyek egyedei kereszteződéssel szaporodnak. Az evolúció mechanizmusát a szűznemzéssel vagy önmegtermékenyítéssel szaporodó szervezeteknél és a nem ivarosan szaporodó fajoknál gyakorlatilag a mai napig nem tanulmányozták.

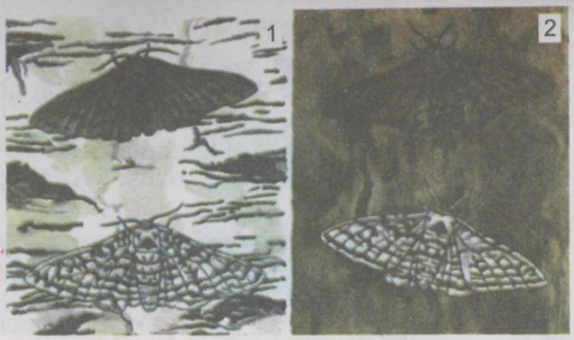
Mi a mikroevolúció? Milyen jelentősége van a szervezetek evolúciója szempontjából?

A *mikroevolúció* – egy faj populációiban végbemenő evolúciós folyamatok összessége.

Az evolúció szintetikus hipotézisének megfelelően a természetes kiválogatódás a fenotípusok (fének) mutációk következtében létrejövő különböző elemi változásait úgy alakítja, hogy a szervezetek alkalmazkodni tudjanak a külső környezet változásaihoz (37.7. ábra). Ebben nyilvánul meg a természetes kiválogatódás alkotó szerepe. A természetes kiválogatódást gyakran nevezik az evolúció mozgatórugójának.

A természetben végzett megfigyelések alátámasztják a populációk alkalmazkodó képességét a környezeti feltételek változásához. Például a XIX. század közepén Angliában a nyírfa araszoló lepkék olyan színűek voltak, mint a nyírfák törzse, amelyeken nappal tartózkodtak. Az ipari körzetekben a század végére a nyírfák törzse a koromlerakódás következtében szürkévé vált, majd néhány évtized múlva a nyírfa araszoló lepkék populációiban is a sötét színű

37.7. ábra. A kubai festett csiga házának fajon belüli változékonysága



37.8. ábra. A nyírfa araszoló lepke világos változata tiszta (1) és füstös (2) nyírfatörzsön

egyedek domináltak (37.8. ábra). Az utóbbi évtizedekben a környezetvédelmi intézkedéseknek köszönhetően Angliában a nyírfák törzse ismét fehér lett, s a nyírfa araszoló lepkék között újra a világos színűek vannak többségben. Tehát az idők folyamán megváltozott a populáció génállománya: újra elterjedt a világos szín allélje, mivel a környezeti feltételeknek ez felel meg jobban.

Milyen problémákat nem tudott megoldani az evolúció szintetikus hipotézise?

A szintetikus hipotézis nem tudott magyarázatot adni arra, hogy milyenek a prokariótáknak és azoknak az eukariótáknak a populációi, amelyekre nem jellemző a kombinatív változékonyság, vagy hiányzik náluk az ivari folyamat (például az amőbák, a Chlorella), önmegporzók (sok virágos növényfaj), vagy partenogenezissel szaporodnak. Az evolúció mechanizmusát a szűznemzéssel vagy önmegtermékenyítéssel szaporodó szervezeteknél és a nem ivarosan szaporodó fajoknál gyakorlatilag a mai napig nem tanulmányozták.

Vagyis a populációkon belüli evolúciós változások jellegére kihatással vannak a populációk génállományának megváltozására képes élethullámok, a génáramlás és az izoláció. Ha mindegyik populáció kicseréli örökletes információját a különböző populációk egyedeinek párosodása révén, akkor a génállományuk többé-kevésbé hasonlóvá válik. A faj ekkor

37.9. ábra. Néhány tigris alfaj: 1 – bali tigris, ez a tigris alfaj Bali-szigeten (Indonézia) volt honos. Utolsó példányát 1937-ben ejtették el; 2 – jávai tigris, a sűrűn lakott indonéziai Java-szigeten élt a XX. sz. 90-es éveinek elejéig, több tucatnyi egyedét állatkertekben tartják; 3 – kaszpi (turáni) tigris, kizárólag a folyók ártéri erdeiben élt, utolsó példányait a XX. sz. 50-es éveiben pusztították el, ennek az alfajnak a példányai állatkertekben sem maradtak fenn

egységes egészként fejlődik evolúciósan. Ha az egyes populációk vagy csoportjaik sok nemzedéken át felépítésük részleteiben, trofikus kapcsolataikban, migrációs sajátosságokban, szaporodási időszakaikban különböznek egymástól, akkor gyakran alfajokba sorolják őket. Már történt említés róla, hogy az alfajok létezése a faj ökológiai plasztikusságának, azaz a környezet különböző feltételeihez való alkalmazkodási képességének a bizonyítéka (37.9. ábra).

Új szakkifejezések és fogalmak. *Az evolúció szintetikus hipotézise, génáramlás, izoláció, mikroevolúció.*

Ismétlő kérdések. 1. Melyek az evolúció szintetikus hipotézisének alaptételei? 2. Miért tekintik a populációt az evolúció alapegységének? 3. Mik az élethullámok és a génáramlás? Milyen jelentőségük van a fajok evolúciója szempontjából? 4. Mi az izoláció? Milyen formái ismertek? 5. Miért tekintik az alfajok létét a fajok ökológiai plasztikussága bizonyítékának?

Bonyolult feladat. Gondolkozzatok el azon, miért szükséges feltétele a populációk megléte a faji divergenciának!

38. §. A FAJ ÉS KRITÉRIUMAI. FAJKÉPZŐDÉS

A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: milyen szerepet játszott Carl Linné a biológia fejlődésében? Mi a mikroevolúció, az areál (fajterület), a filogenetikus sor, az alfaj? Mi a polimorfizmus? Mi a DNS-hibridizáció módszerének lényege? Milyen típusai vannak az izolációnak?

Hogyan változott a fajról alkotott elképzelés?

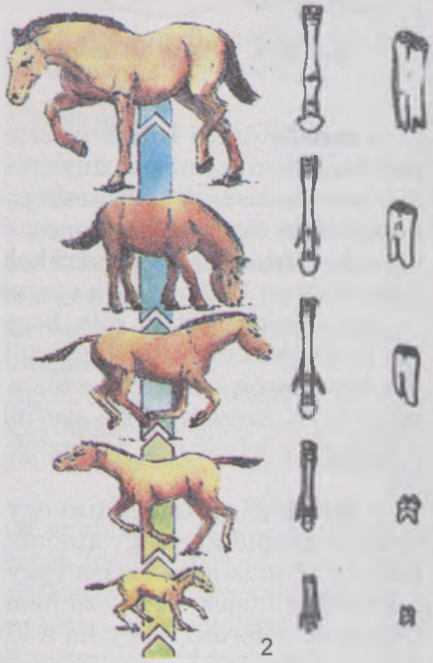
Valamely faj egyedeinek migrációja különböző populációi között a különféle biogeocönózisokban megváltoztatják a jellegállapotok találkozási gyakoriságát és a populációk génállományát. Ez megnyilvánul a populációk sűrűségében és előidézi a biocönózisok különböző szabályozó mechanizmusainak működésbe lépését az egyensúly megteremtése érdekében, azaz több mikroevolúciós folyamat beindulásához vezet. Vagyis egy faj populációi mintegy egy egésszé kapcsolják össze az egyes biogeocönózisokat. Ezenkívül a migráció következtében végbemegy a biomassza és energia vízszintes áramlása a biocönózisok között, eltérően a táplálékláncokon bennük megvalósuló függőleges áramlástól.

A tudományban majdnem két évszázadon át volt elfogadott a faj Carl Linné által megfogalmazott klasszikus meghatározása, amelynek megfelelően a faj egymáshoz felépítésükben hasonló, egymás között kereszteződő és termékeny utódokat létrehozó egyedek összessége. Linné és követői szerint *a fajok valóságosan léteznek a természetben, és nem változnak az időben.*

Más nézeteket vallott Jean-Baptiste Lamarck, aki szerint a természetben valójában nem fajok, csak *egyedek csoportjai (populációk) léteznek*, amelyek kölcsönös hasonlósága csupán az azonos feltételek közötti létre vezethető vissza. A létfeltételek bármilyen változása az egyedek változását, fajoknak nevezett újabb csoportjaik kialakulását idézi elő.

A klasszikus darwinizmus értelmében a *fajok reálisan léteznek a természetben az egymáshoz felépítésükben meglehetősen hasonló egyedek meghatározott halmazai formájában.* Mindegyik faj többé-kevésbé világosan különbözik más fajoktól meghatározott tulajdonságokat és areált tekintve az adott időpontban. A Föld geológiai története során a fajok változtak az evolúció következtében.

1



2

38.1. ábra. *1. V. O. Kovalevszkij (1842–1883), orosz zoológus, a nem páros patájúak evolúcióját kutatta, ezeknek az állatoknak több filogenetikus sorát készítette el. 2 – a mai lovak őseinek filogenetikus sora; jobbra az első végtag váza és a zápfogak láthatók*

Mindegyik fajnál kimutatható az ősök sora. Egyes esetekben sikerült meghatározni ezeket az ősi formákat. Így alkották meg a filogenetikai sorokat. A kiváló zoológus, V. O. Kovalevszkij (38.1., 1. ábra) által elkezdett, majd több mint egy évszázadon át folyó kutatásoknak köszönhetően sikerült felállítani a mai lovak őseinek filogenetikai sorát. Ez a sor mutatja, hogyan változott a lovak testmérete, koponyájuk alakja, és miként alakult a patájuk (38.1., 2. ábra).

Az evolúció szintetikus hipotézisére alapozva Ernst Mayr (38.2. ábra) amerikai tudós és más kutatók kidolgozták a *faj biológiai koncepcióját*. Ennek alapját a populációról, mint az evolúció elemi egységéről és a ***reproduktív izolációról*** való elképzelés alkotja. A reproduktív izoláció az a jelenség, amikor a különböző fajok azért különülnek el egymástól, mert nem tudnak kereszteződni.

A biológiai koncepció értelmében a *faj egyedek populációinak olyan összessége, amelyek felépítésükben, életműködésükben, a biogeocönózisban elfoglalt helyüket (ökológiai fülkét) tekintve hasonlítanak egymásra, meghatározott helyet foglalnak el a bioszférában (areálban), egymással szabadon kereszteződnek a természetben (ha kereszteződéssel szaporodnak), és termékeny utódokat hoznak létre, nem hibridizálódnak más fajokkal természetes körülmények között*. Bizonyos fajok esetében a populációkat alfajokba csoportosítják.

A faj milyen modern kritériumai ismertek?

Egy meghatározott csoport faji önállóságát megállapítani gyakran csak a különböző kritériumok összessége alapján lehet, mivel vannak morfológiailag és ökológiailag egymáshoz nagyon közeli ikerfajok, és létezik a polimorfizmus jelensége.

38.2. ábra. *Ernst Mayr (1904–2005), amerikai zoológus, továbbfejlesztette a faj biológiai koncepcióját, javaslatot tett a fajképződés módjainak osztályozására. Véleménye szerint az evolúció az élőlények alkalmazkodásának folyamata egyszerre az összes ökológiai tényezőhöz. Erre az elgondolásra épül az evolúciós kompromisszum hipotézise*

38.3. ábra. A rákok két fajának diagnosztikai jegyei: kecskerák (1) és folyami rák (2)

A **morfológiai kritérium** az egyedek felépítés szerinti hasonlóságán alapul. Magában foglalja az anyagi szerkezet egészét a kromoszómáktól a szervek és szervrendszerek felépítéséig. Valamely meghatározott faj (vagy magasabb kategóriájú csoportok: nem, család) egyedi jegyeit *diagnosztikai jegyeknek* nevezzük. Például az édesvízi rákok két faja, a kecskerák és a folyami rák az ollók felépítésében különböznek egymástól (38.3. ábra).

Már említés történt róla, hogy az ikerfajokat nehéz, néha majdnem lehetetlen megkülönböztetni egymástól felépítésük alapján. Sokszor csak a sejtmagjuk kromoszómakészlete, azaz a kariotípusuk – meghatározott kromoszómaszámuk és -szerkezetük – szerint ismerhetők fel. A rovarok sok csoportjában, a farkatlan kétéltűek, vakondok, egérféle rágcsálók körében ismertek ikerfajok.

A **fiziológiai kritérium** egy vagy több faj egyedei életműködési folyamatainak hasonlósága vagy különbözősége. Például a párosodás képessége és termékeny utódok létrehozása vagy fordítva: a reproduktív izoláció, azaz amikor a különböző fajok ellenkező nemű egyedei nem tudnak egymással párosodni. Gyakran előfordul, hogy ha a különböző fajok ellenkező nemű egyedei párosodnak egymással, akkor vagy nem fejlődik embrió, vagy a hibrid utódok terméketlenek lesznek.

A **genetikai kritérium** azon alapul, hogy egy faj egyedeinek hasonló a genomja, míg az egymáshoz közeli fajok egyedeinek genomja eltérő. Azonban filogenetikusan minél közelebbiek a fajok, annál több a közös génjük. A fajok rokonságának megállapítására a riboszómák kis alegységeinek rRNS-vizsgálati adatait és a bizonyos elterjedt fehérjéket kódoló DNS-szekvenciákat használják fel. A szervezetek közötti rokonság megállapítása céljából a DNS hibridizációjának módszerét is alkalmazzák.

A **biokémiai kritérium** egy meghatározott faj egyedeire jellemző kémiai összetétel és a biokémiai reakciók lefolyásának sajátosságai. Például még az eltérő génkészlettel rendelkező, egymáshoz közeli fajok is különböznek egymástól a fehérjéik összetételében.

A **földrajzi kritérium** abban nyilvánul meg, hogy mindegyik faj populációi a bioszféra meghatározott területén terjedtek el (areáljuk van), amely különbözik más közeli fajok areáljától.

Az **ökológiai kritérium** felöleli a faj összes kritériumait, mivel mindegyik faj csak a rá jellemző ökológiai fülkét foglalja el a biogeocönózisban.

Például az élősködő férgek alaktanilag közeli fajai gazdaszervezeteik fajait tekintve különböznek egymástól. Az ökológiai fülke kritériuma lehetővé teszi az egyedek bármilyen halmazának esetében annak megállapítását, hogy önálló fajt képez-e a keresztezéssel történő szaporodási képességtől függetlenül.

Az állatfajok kutatásában használják az **etológiai kritériumot**, amely viselkedési sajátosságaik (nászidőszaki, szociális viselkedés, építés, vadászösztön, migráció) vizsgálatán alapul.

Az utóbbi időben széleskörűen alkalmazzák a sejtszerkezet vizsgálatával kapcsolatos **citológiai kritériumot**. Eközben külön figyelmet fordítanak az olyan organellumokra, mint a kloroplasztiszok és mitokondriumok (a 10. osztályos biológiából tanultak alapján magyarázzátok meg, hogy miért).

A fajképződés milyen típusait különböztetik meg?

A ***fajképződés*** – *új fajok keletkezésének evolúciós folyamata*. A mikroevolúciótól eltérően ez a folyamat visszafordíthatatlan. Például ha a különböző alfajok között géncsere történik, akkor azok elveszíthetik megkülönböztető jegyeiket és visszatérnek megelőző állapotukba. A fajok azonban erre nem képesek, mivel mindegyikük sok olyan allélt halmozott fel, amelyek a többi fajból hiányoznak. Következésképpen ez az állapot reproduktív izolációt eredményez, és mindegyik fajnak kialakul a saját ökológiai fülkéje.

A fajképződés leggyakrabban divergencia útján történik, amikor a kiindulási formából egy vagy több új faj keletkezik. A fajképződésnek ezt a módját különféle izolációtípusok eredményezik. Ennek megfelelően megkülönböztetnek földrajzi és ökológiai fajképződést.

A **földrajzi fajképződés** földrajzi izoláció eredménye (38.4., 1. ábra). A földrajzi fajképződésnek számos példája ismeretes. Ide tartozik Darwin klaszszikus megfigyelése a galapagosi pintyek sokféleségével kapcsolatban és a szervezetek különböző csoportjairól a rendszerezők – paleontológusok, zoológusok, botanikusok – által felhalmozott óriási mennyiségű tényanyag. A földrajzi fajképződés magyarázatakor figyelembe kell venni a *paleogeográfia* (ős-

38.4. ábra. *1. A földrajzi fajképződés vázlata: a – a faj egységes areálja; b – izoláció kialakulása az areál szétválása folytán; 2. Két egymáshoz közeli hódfaj: a – európai hód; b – amerikai (kanadai) hód*

38.5. ábra. Ökológiai fajképződés eredményeként keletkezett cinegefajok: 1 – széncinege; 2 – barátcinege; 3 - kék cinege; 4 – búbos cinege; 5 – fenyőcinege

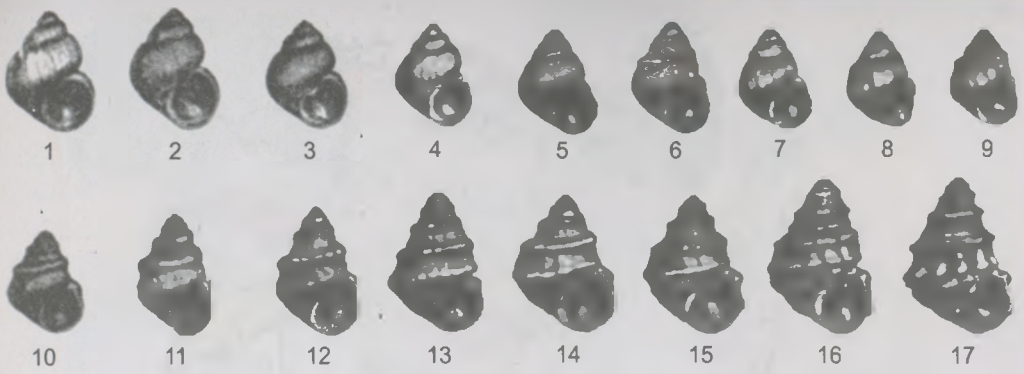
földrajz, a földfelszín letűnt földtörténeti korok természetföldrajzi viszonyait vizsgáló tudomány) és a *geológia* (a Föld szerkezetét vizsgáló tudomány) adatait. Például Észak-Amerikában az eurázsiaiakkal közeli rokonságban levő hódok és nyércek honosak. Geológiai adatok bizonyítják, hogy néhány százezer évvel ezelőtt Ázsiát földszoros kötötte össze Észak-Amerikával, s a közös területen a hód és a nyérc egyetlen faja élt. A Behring-szoros kialakulása után a földrajzi izoláció következtében az európai és amerikai hódpopulációk külön fajokká alakultak (38.4., 2. ábra).

Az **ökológiai fajképződés** a különféle formájú ökológiai izolációk kialakulása következtében jön létre. Például a cinege néhány faja él azonos ökoszisztémában, sokszor kevert csapatokat alkotva (38.5. ábra). Ezek a fajok a táplálékszerző helyekben (a talajon, a fák törzsén vagy koronájában), a táplálék összetételében (növényi, állati, vegyes), fészkelő helyükben, nászviselkedésükben és egyebekben különböznek egymástól.

A fajképződés egyéb formái. A növényeknél elég gyakran, az állatvilágban ritkábban (békák) fajok poliploid formák kialakulása következtében is képződhetnek. A kiindulási formákkal való kereszteződés lehetőségének hiányában új faj jön létre.

Néha az új faj közeli fajok egyedeinek kereszteződésével képződik, ha a hibridek termékeny utódokat tudnak létrehozni. Ha az ilyen hibridek populációi életképeseknek bizonyulnak és az ökoszisztémában saját ökológiai fülkét alakítanak ki, akkor önálló fajnak tekintik őket. Például a gyakran elvaduló borsmenta (38.6., 1. ábra) kultúrnövény a zöldmenta (38.6., 2. ábra) és a vízi menta (38.6., 3. ábra) hibridje; az ehető béka a gyepi béka és a kecskebéka kereszteződésének eredménye.

38.6. ábra. 1. Borsmenta. 2. Zöldmenta. 3. Vízi menta



38.7. ábra. *A fialló csiga fajainak egymást követő sora a maitól (1) a legősibb ásatagig (17)*

Egyes szűk areálú fajok esetében ismert a fajősök egymást követő sora, amelyek divergencia nélkül mentek át egymásba történelmi fejlődésük során. Ilyen sorok ismertek például a szlovéniai tavakban, Afrika és Észak Amerika nagy tavaiban élő csigafajok (38.7. ábra) esetében. Ezek a mai puhatestűek az elődfajok hosszú láncolatával rendelkeznek.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Filogenetikai sor, a faj biológiai koncepciója, reproduktív izoláció, földrajzi és ökológiai fajképződés.*

Ismétlő kérdések. 1. Mi a faj biológiai koncepciója? 2. Mi a reproduktív izoláció szerepe a fajképződésben? 3. A faj milyen kritériumai léteznek? 4. Miért az ökológiai kritérium a legfontosabb a faj önállóságának létrejöttében? 5. Mi a különbség a földrajzi és az ökológiai fajképződés között? 6. Mi a szerepe a hibridizációnak a fajképződésben? 7. Megvalósulhat-e a fajképződés divergencia nélkül? Feleleteteket indokoljátok meg!

Bonyolult feladat. Gondolkozzatok el azon, hogy mi a különbség a faj korábbi és korszerű meghatározásai között!

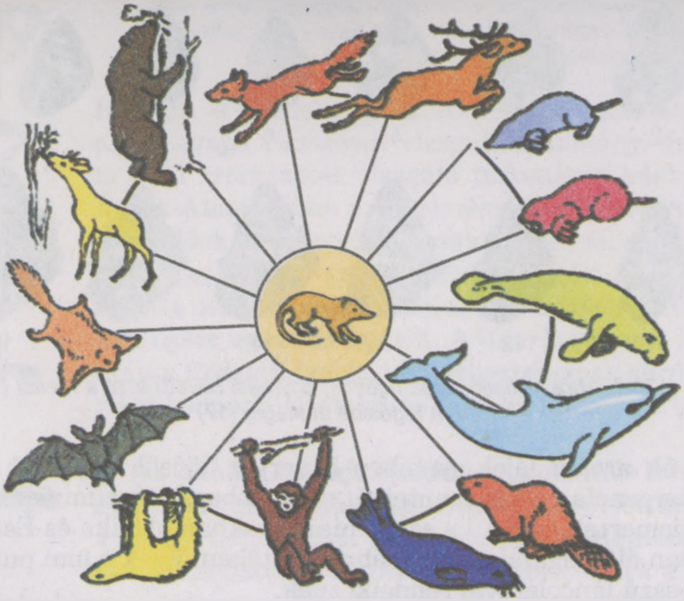
39. §. MAKROEVOLÚCIÓS FOLYAMATOK

A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: léteznek-e valóságosan a természetben fajok feletti rendszertani kategóriák (nemek, családok)? Milyen célból használják azokat a tudományos rendszerezésben? Melyek a faj korszerű kritériumai? Mi az adaptív radiáció? Mit vizsgál a paleontológia (őslénytan) és a biogeográfia?

Mi a makroevolúció?

A makroevolúció **– fajok feletti rendszertani kategóriák** ***(nemek, családok)*** **kialakulását elősegítő evolúciós folyamatok összessége.**

Mint ismeretes, a természetben csak fajok léteznek. A fajok feletti rendszertani kategóriákat a tudósok vezették be a fajok rendszerezése érdekében. Egy



39.1. ábra. Adaptív radiáció az emlősöknél. Gondolkozzatok el azon, milyen hasonló jegyek jelentek meg a különböző csoportoknál az életkörülményekhez való alkalmazkodás következtében (szárazföldi-légköri, vízi, talajlakó)

faj valamelyik nemhez, a nem valamelyik családhoz stb. való tartozását a kutatók a történelmi rokonság foka alapján állapítják meg. A makroevolúciónak tehát nincsenek sajátos mechanizmusai. Egyes „törvényszerűségei" a történelmi fejlődés során a tartós mikroevolúciós változások és a fajképződési folyamat eredményeként a rokon fajok között felhalmozódott eltérések általánosításainak következményei.

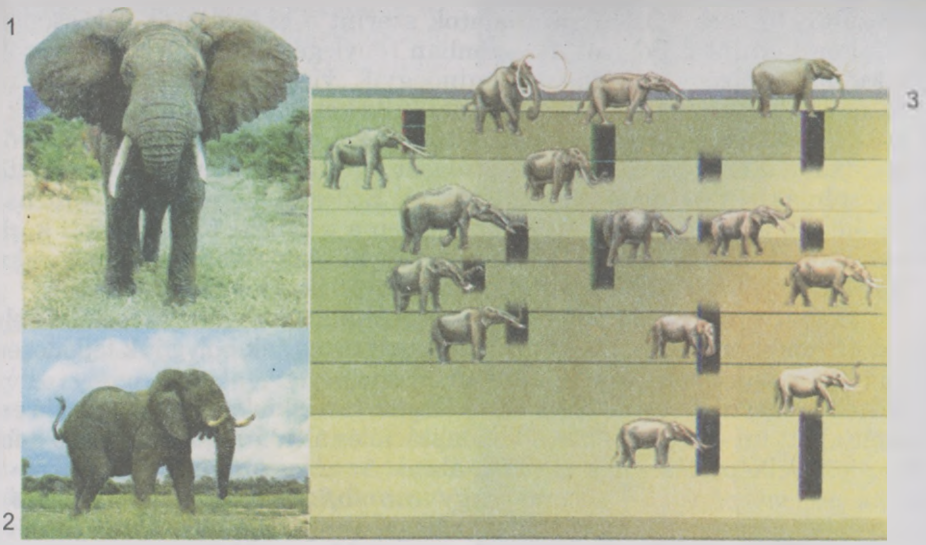
A fajok sokféleségének oka a szervezetek alkalmazkodása a létfeltételek változásaihoz, amit divergencia kísér. Ez a jelenség az ***adaptív radiáció*** (***szétterjedés***) nevet kapta. Például a méhlepényes emlősök valamennyi rendje közös őstől származik a különböző – szárazföldi, vízi (úszólábúak, cetek), légi (denevérek) – létfeltételekhez történt alkalmazkodás következtében (39.1. ábra).

Mi a biológiai progresszió és regresszió? Milyen módon érhető el a biológiai progreeszió?

Az állatok történelmi fejlődésének kutatása során O. M. Szevercov (37.1., 3. ábra) a XX. század 20-as éveiben kidolgozta a biológiai progresszió és a biológiai regresszió elméletét.

A ***biológiai progresszió*** a populációk egyedszámának növekedésében, az areál tágulásában és a fajképződésben nyilvánul meg egyik vagy másik rendszertani csoport határain belül. Ez a szervezetek meghatározott csoportjában végbement fejlődéstani tökéletesedés eredménye. Például ma a biológiai progresszió állapotában vannak a zárvatermő növények, a rovarok, a puhatestűek, a madarak és az emlősök.

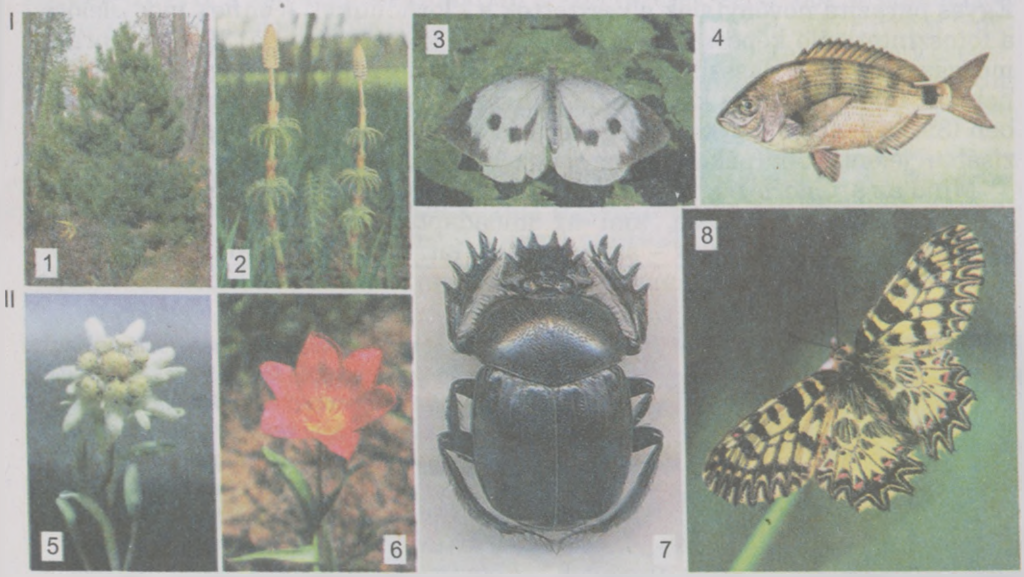
A ***biológiai regresszió*** annak a következménye, hogy a szervezetek képtelenek alkalmazkodni a környezet változásaihoz. A regresszió a populációk



39.2. ábra. *1. Afrikai elefánt. 2. Indiai elefánt. 3. Az ásatag ormányosok változatossága*

egyedszámának csökkenésében, areáljuk beszűkülésében nyilvánul meg, és ***bizonyos csoport kihalásához*** vezethet. Például az ormányosok hajdan virágzó rendjéből napjainkig csupán két faj, az afrikai és az indiai elefánt maradt fenn, s ezek is a kipusztulás határán állnak (39.2. ábra).

Abból eredően, hogy valójában a természetben csak fajok léteznek, a biológiai progresszió és regresszió fogalma mindegyikre csak külön-külön alkal-



39.3. ábra. *Ukrajna állat- és növényvilágának azok a fajai, amelyek a biológiai progresszió állapotában vannak: 1 – közönséges erdeifenyő; 2 – mezei zsurló; 3 – fehér káposztalepke; 4 – ezüstkárász; II. Ukrajna állat- és növényvilágának azok a fajai, amelyek a biológiai regresszió állapotában vannak: 5 – havasi gyopár; 6 – vad tulipán; 7 – ganéjtúró bogár; 8 – farkasalmalepke*

mazható (39.3. ábra). Őslénytani adatok szerint a szervezetek sok csoportja nyomtalanul eltűnt a Földről. Ez azonban ténylegesen csak a konkrét rokon fajok kihalását bizonyítja. Másrészt mindegyik „virágzó" csoportból sok faj eltűnik, ám a „kiesetteket" közeli ökológiai fülkéket elfoglaló új fajok váltják fel. Ezek ugyanakkor nem feltétlenül az eltűntekkel rokoni kapcsolatban lévő fajok. Például a dinoszauruszok kipusztulását követően a helyüket a szárazföldi ökoszisztémákban az emlősök foglalták el. Érdekes, hogy a dinoszauruszok csak a hüllők két rendjét alkották, miközben a jelenlegi földtörténeti korban (kainozoikum) az emlősök 14–16 rendje halt ki. A nyitvatermő növényeknek ma alig 600 faja van, míg a „primitív" páfrányféléknek 10 000!

A biológiai progresszió vagy regresszió általánosító kifejezések, amelyek egy adott rendszertani csoport fajgazdagságát mutatják bolygónk fejlődésének egyik vagy másik földtörténeti korában.

Le kell szögezni, hogy általánosító jellegük van a biológiai progresszió eredményeit alaktani – aromorfózis, idioadaptáció és általános degeneráció – fejlődéshez kötő elképzeléseknek is (39.4. ábra). Az ***aromorfózis*** (gör. *airo* – felemelem és *morphosis* – forma) vagy ***morfofiziológiai progresszió*** az élőlények felépítésének bonyolultabbá válása, ami javítja általános szervezettségi szintjüket és segíti a különböző viszonyokhoz való alkalmazkodásukat. Például az állkapocs megjelenése a gerinces állatoknál lehetővé tette nagyobb méretű zsákmány elejtését; a virág megjelenése a zárvatermőknél a rovarmegporzás kialakulását vonta maga után.

Az ***általános degeneráció*** (lat. *degenero* – elkorcsosul) vagy ***morfofiziológiai regresszió*** a szervezet felépítésének egyszerűsödése új élőhelyek meghódítása során. Leginkább az élősködő vagy az alig mozgó élőlényekre jellemző. Ismeretes, hogy az állati élősködők elvesztik érzékszerveiket, esetleg egész szervrendszereiket (galandférgek az emésztőrendszerüket). Egyes parazita növényfajok elvesztették a klorofiljukat, s ennek megfelelően a fotoszintetizáló képességüket is (például a kónya vicsorgó; 39.4., 1. ábra). A mozgásszegény és passzív életmód (víziállatoknál a szűrés) degenerációt idéznek elő, mint például a kétteknőjű puhatestűek vagy a kacslábú rákok esetében (39.4., 2. ábra). Olykor a degeneráció csak az életciklus meghatározott fázisában jelentkezik (például a magvas növények gametofitái).

Mind az aromorfózis, mind az általános degeneráció eredménye az adaptációs lehetőségek bővülése, ami az idioadaptációk révén valósul meg. Az ***idioadaptáció*** (gör. *idios* – sajátságos és lat. *adaptatio* – alkalmazkodás) a szervezet felépítésének bizonyos változása, nem érinti az általános szerveződé-

39.4. ábra. *Az általános degeneráció példái: 1 – a kónya vicsorgó a fák gyökerein élősködik, föld feletti szerveiben nincs klorofil, de bíbor színű fürtös virágai vannak. A sokszorosan elágazó gyökértörzse a gazdanövény gyökérzetére tapadó gyökereket fejleszt; 2 – a kacslábú rák helyhez kötött életmódot folytat, a vizet átszűrve jut táplálékhoz. Karbonátokból álló háza van, az összetett szemei és a potroha visszafejlődött, a szűrőszervvé alakult végtagjaival áramoltatja a vizet és kifogja belőle a szilárd részecskéket*

si szintet, csupán alkalmazkodás az adott feltételekhez. Az idioadaptáció példái: a zárvatermők virágainak (39.5. ábra), a rovarok szájszerveinek, a madarak csőrének különböző felépítése. Az idioadaptációk biztosítják az adaptív radiációt, de valamennyi faj szerveződési szintje az ősök szintjén marad.

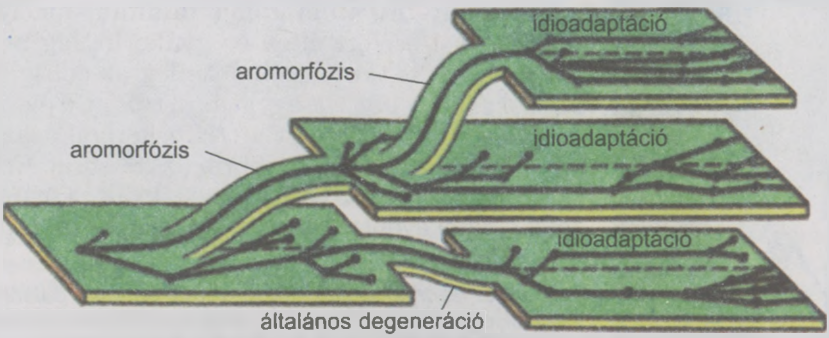
Szevercov megfogalmazta a biológiai progresszió elérési módjainak egymás közötti viszonyáról szóló tételt (az evolúciós folyamat fázisváltásai vagy Szevercov törvénye): rendszerint a szervezetek természetes (vagyis monofiletikus) csoportjain belül az aromorfózisok vagy az általános degeneráció időszaka után az ideoadaptáció ideje következik be (39.6. ábra). Vagyis valamely rendszertani csoport történelmi fejlődése során aromorfózisok vagy általános degeneráció sokkal ritkábban fordul elő, mint idioadaptáció.

39.5. ábra. *A zárvatermők virágainak változatossága*

Hogyan valósul meg az élő anyag integrációja a különböző szerveződési szinteken?

Az élő anyag különböző szerveződési szintjei matrjoskaszerűen illeszkednek egymásba: minden felsőbb szerveződési szint magában foglalja az alsóbb szintet. Vagyis a sejt biomolekulákból, a szervezetek sejtekből, a populációk szervezetekből, a biogeocönózisok populációkból épülnek fel. A környezet valamely meghatározott szintre közvetve hat a felsőbb szintek közvetítésével. Ezért a környezeti tényezőktől leginkább a biogeocönózisok, legkevésbé pedig a biomolekulák függnek. Ez az élő rendszerek valamennyi szintjén meghatározza az integráció fokát.

Az *integráció (lat.* integratio *– kiegészítés)* az egységes rendszerbe tartozó önálló részek szerkezeti egyesítése és működésük összehangolása (sejtek a többsejtű szervezetekben).



39.6. ábra. *Az aromorfózisok, az általános degeneráció és az idioadaptáció közötti kölcsönös viszonyt szemléltető vázlat*

Az integráció legmagasabb foka *molekuláris szinten* valósul meg, ahol a molekulák rendkívüli sokfélesége néhány vegyülettípust alkot: fehérjéket, lipideket, szénhidrátokat, nukleinsavakat. A molekulák, különösen a fehérjék és a nukleinsavak, legjelentéktelenebb változása is gyökeresen módosíthatja tulajdonságaikat. Az ilyen integráció elengedhetetlen feltétele annak, hogy a szervezetek rendkívül bonyolult molekuláris rendszerei normálisan működjenek.

Sejtszinten az integráció foka csökken: a sejtszervecskék száma és alakja jelentős mértékben változhat, de ez nem befolyásolja a sejt életműködését. A *szervezet szintjén* az integráció még alacsonyabb: jelentős mértékben változhat a test tömege, mérete, színe és más jegyek többsége. Még kevésbé integráltak a populációk, amelyekben állandóan változik az egyedszám, a korcsoportok aránya, a fejlődési fázisok és egyéb jellegek.

A *biogeocönózisokban* az integráció nagyon gyenge, csak az anyagkörforgás és az energiaforgalom bizonyos szinten való megtartására korlátozódik mindenekelőtt a táplálékláncokban. A táplálékláncok egyes láncszemei viszonylag könnyen helyettesíthetők másokkal. Az integráció foka meghatározza az élő rendszer energia-felhasználásának hatékonyságát. A szabályozó mechanizmusok sokkal szigorúbbak az alacsonyabb szinteken, mint a felsőkön.

Az élő rendszerek valamennyi szerveződési szintjének fontos sajátossága, hogy csak stabil feltételek között működnek normálisan, ezért valamennyi szerveződési szinten megőrzik belső közegük homeosztázisát. A környezet legkevésbé stabil feltételei, s ennek megfelelően instabil homeosztázis a szervezetek feletti élő rendszerekben figyelhetők meg.

Mitől függ az evolúció sebessége?

Az **evolúció sebessége** olyan időintervallum, amelyben rendszertani csoportok alakulnak ki (a fajtól, nemtől, családtól a törzseken át a növény- és állatországig). Az evolúció szintetikus hipotézisének megalkotói az evolúciós folyamatok sebességét összekapcsolták a nemzedékváltás gyakoriságával: minél nagyobb a nemzedékváltás sebessége, annál gyorsabban terjednek a hasznos mutációk a populációkban (39.7. ábra). Ez a fenotípusok változásához, és végső soron új fajok keletkezéséhez vezet. Tehát a nemzedékváltás gyakorisága egyenesen arányos az evolúció sebességével.

Az őslénytani adatok azonban ellentmondanak ennek a hipotézisnek. Például a Balti-tengeri borostyánokban több mint 15 olyan rovar- és kullancsfajt találtak, amelyek 40 millió évvel ezelőtt éltek és gyakorlatilag nem különböztek mai társaiktól. Jelenleg az édesvizekben széleskörűen elterjedt egyik apró rákfaj, a pajzsosrák ásatag formában ismert a triász korból, azaz mintegy 230 millió évvel korábbról (39.8. ábra). Ezekre a szervezetekre a gyakori nemzedékváltás (nem kevesebb egynél évente) jellemző. Másfelől a 36 millió év-

39.7. ábra. *George Simson (1902–1984), amerikai paleontológus és evolucionista, megállapította, hogy a különböző rendszertani csoportok evolúciójának sebessége a környezeti viszonyok változásának a sebességétől függ. Vizsgálta a kiválogatódás formáit is*

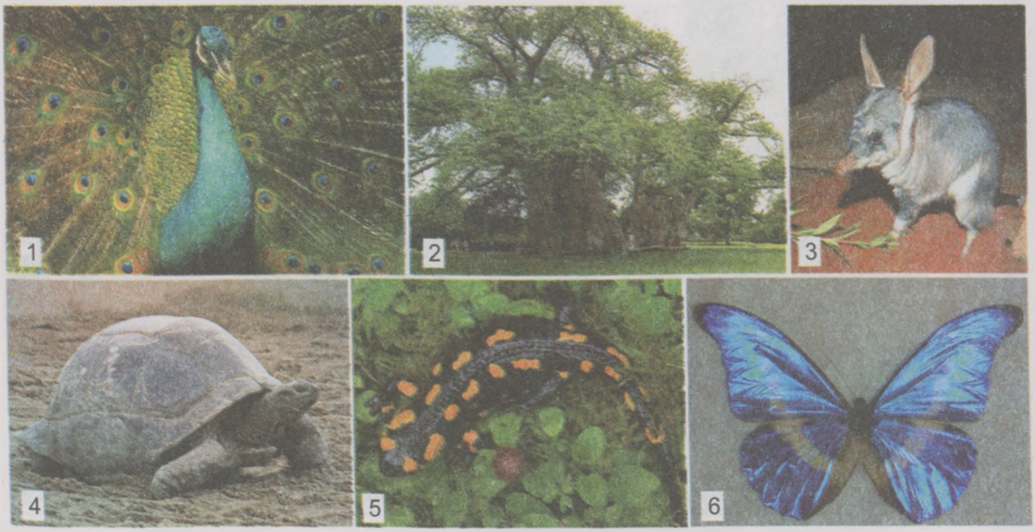
39.8. ábra. *A pajzsosrák (3–4 cm hosszú), édesvizekben, közte pocsolyákban él. Egyes pajzsosrákfajok látható változások nélkül léteznek a mezozoikum kor triász időszaka óta, azaz közel 230 millió éve*

vel ezelőtt kialakult ormányosok rendje, amelyen belül a nemzedékváltás igen lassú (20–30 év), a múltban nagy számú formával rendelkezett, ám napjainkra közel került a kihaláshoz.

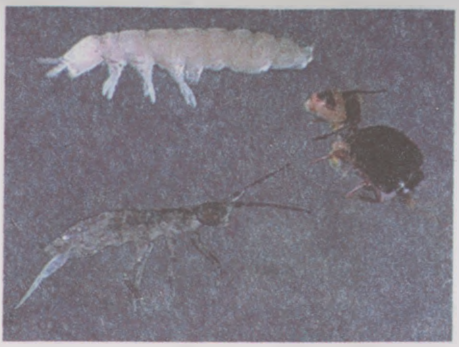
Milyen jelentősége van a biogeográfiának az evolúciós nézetek fejlődésében?

A kutatók megállapították, hogy a bioszféra különböző részei endemikus fajcsoportokban és biogeocönózisokban különböznek egymástól. Az *endemikumok* (endemikus állat- vagy növényfajok) – olyan fajok, nemek, családok, amelyek a bioszféra csak egy behatárolt részén élnek (39.9. ábra). A botanikai (florisztikai) és zoológiai (zoogeográfiai) körzetesítés nem teljesen esik egybe annak következtében, hogy az állatok aktív migrációra képesek és a talajok minősége jelentős mértékben kihat a növényekre.

A biogeográfiai adatokat felhasználják azoknak a tételeknek a megalapozására, amelyek szerint a földrajzi izoláció a fajkeletkezés elengedhetetlen feltétele. Az újabb kutatások azonban kimutatták, hogy az izoláció nem mindig jár divergenciával és fajképződéssel. Például az édesvízi és talajlakó állatok sok faja az egész világon elterjedt; a sertefarkúaknak (apró szárnyatlan ízeltlábú-



39.9. ábra. *1. Kékszemű páva – a trópusi Ázsia endemikuma. 2. Baobab – a trópusi Afrika endemikuma. 3. Kis erszényesnyúl – kis erszényes állat (50 cm hosszú, 3 kg testtömegű), Ausztrália sivatagi területein honos. 4. Óriásteknős – a nyugat-afrikai partok közelében lévő Aldabra-szigeten honos endemikum. 5. Foltos szalamandra – Dél-Európa endemikus faja; Ukrajnában Lemberg (Lviv) környékén és Kárpátalján elterjedt. 6. Morfó lepke– Dél-Amerikában honos endemikus faj. Nagyméretű, szürkés gyöngyházszínű*



39.10. ábra. *Sertefarkúak – apró, szárny nélküli ízeltlábúak, leginkább a talajban és az avarban fordulnak elő*

ak) ugyanazok a fajai több kontinensen előfordulnak (39.10. ábra). Annak ellenére, hogy ezek a fajok képtelenek a migrációra vagy az aktív terjeszkedésre, a populációik nem divergálódnak. Ez azt bizonyítja, hogy a faj ökológiai fülkéje megőrzi egységességét a stabil létfeltételek között a populációk közötti örökletes információcsere lehetőségétől és a szaporodási formáktól.

Biogeográfiai adatok bizonyítják, hogy egy adott birodalom, terület vagy tartomány flórája és faunája származását tekintve egységes. Például a holarktikus flórabirodalom különböző területein hasonló, egymáshoz közeli fajokból – közönséges és amerikai juharból, európai és amerikai nyércekből és hódokból – álló biogeocönózisok (39.11. ábra) vannak (a tundrától a szubtrópusokig). Ezek a tények azt bizonyítják, hogy a nem távoli múltban Észak-Amerika és Eurázsia között szárazföldi kapcsolat létezett. A geológusok bebizonyították, hogy a kainozoikum kor különböző időszakaiban többször létesült kapcsolat földnyelv révén Észak-Amerika és Európa (ennek a kapcsolatnak a maradványa Grönland és Izland), valamint a jelenlegi Behring-szoros helyén lévő szárazföldön át Ázsia között.

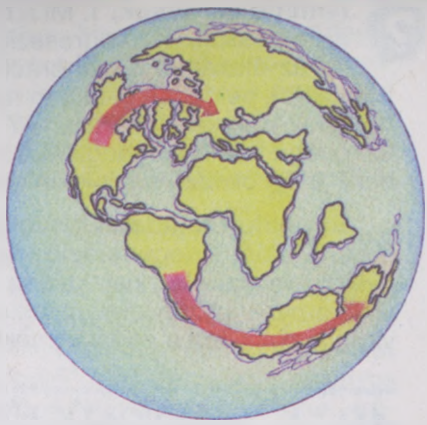
Milyen okai vannak a fajok kihalásának?

A biogeográfiai, paleontológiai és geológiai adatok szintézise érdekes következtetések levonását teszi lehetővé arra vonatkozóan, hogy miért haltak ki egyes szervezetek és miért foglalták el a helyüket más szervezetek rohamos adaptív terjeszkedéssel. Sok tudós úgy véli, hogy az úgynevezett primitív

39.11. ábra. *Európa és Észak-Amerika területén honos egymáshoz közeli fajok. 1. Közönséges juhar levele. 2. Amerikai juhar levele. 3. Európai nyérc. A nyestfélékhez tartozó kis állat (hossz az orrától a farok végéig 65 cm). A nyérc Európa és Nyugat-Ázsia vízpartjain honos, bejegyezték Ukrajna Vörös Könyvébe. 4. Amerikai nyérc a kölykeivel. Életmódja az európai nyércére emlékeztet, azonban nagyobbak a méretei (80 cm hosszú). Európában akklimatizálódott, kiszorítja az európai nyércet. Telepeken prémes állatként tenyésztik*

szervezeteket kiszorítják más, magasabb szerveződési szintű progresszív fajok. Ez lényegében véve Lamarck gradációs elméletének továbbfejlesztése.

Darwin úgy vélte, hogy az erszényes emlősök kezdetben a szárazföld egészén el voltak terjedve, de az idők folyamán kiszorították őket a „progresszívebb" méhlepényes emlősök. Ausztráliában az erszényesek azért maradtak fenn, mert a kontinens hosszú időn át izolálva volt a többi földrésztől. Azonban L. Marshall amerikai tudós paleontológiai kutatásaival (1980) teljesen megcáfolta ezt az állítást. Az erszényesek Amerika területén már 100 millió évvel ezelőtt kialakultak. Később Észak-Amerika és Dél-Amerika között megszűnt a szárazföldi kapcsolat, s ennek következtében az erszényesek fejlődése a kontinens két felén más-más irányt vett. A kainozoikum kezdetén ezek az állatok Európába jutottak, ahol rohamos fejlődésnek indultak a méhlepényes emlősökkel párhuzamosan (39.12. ábra).



39.12. ábra. *Az erszényesek vándorlása a kréta időszak végén (az ábrán a szárazföldek akkori elhelyezkedése látható)*

A déli félteke 12 millió évvel ezelőtti eljegesedése következtében szinte teljesen kipusztult Ausztrália növény- és állatvilága. Azonban valamivel korábban az akkor még meglévő szárazföldi hidakon keresztül az erszényesek bevándoroltak Ausztráliába és a nagymértékű adaptív terjedés következtében benépesítették az egész kontinenst. A méhlepényes emlősök nem tudtak megtelepedni ezen a területen, mivel a szárazföldi ökológiai fülkéket már elfoglalták az erszényesek.

Tehát ***a szervezetek bizonyos csoportjainak kihalását az okozza, hogy az élőhelyüket képező biogeocönózisok elpusztulnak. Érthető, hogy mindenekelőtt a magas fokon specializálódott, alacsony ökológiai (evolúciós) plaszticitású (képlékenységű) fajok pusztulnak ki.***

Új területek (például épp akkor kialakult szigetek) vagy elpusztult ökoszisztémák helyének benépesítésekor fontos, hogy az élőlények csoportjai egymás után településsenek be. Az első szervezetek a konkurencia hiánya folytán az ökológiailag közeli fajokkal együtt teljesen uralkodókká válnak egy meghatározott adaptációs övezetben, ahol maximális számú ökológiai fülkét alkotnak. Például a földtanilag igen fiatal, közel egymillió éve létrejött rovarvilág kutatása a Hawaii-szigeteken kiderítette, hogy azok a csoportok, amelyek először népesítették be ezeket a területeket, óriási számú endemikus fajt adtak (a cincérek egy nemzetsége – 136 fajt, egy muslica nemzetsége – 300 fajt).

Új szakkifejezések és fogalmak. *Makroevolúció, biológiai progresszió és regresszió, aromorfózis, általános degeneráció, idioadaptáció, az evolúció sebessége, endemikumok.*

Ismétlő kérdések. 1. Mi a makroevolúció? 2. Miben nyilvánul meg a biológiai regresszió és progresszió? 3. Mi az aromorfózis? Mondjatok példákat! 4. Mi az általános degeneráció? Mondjatok példákat! 5. Mi az idioadaptáció? Mondjatok példákat! 6. Miben nyilvánul meg az élő anyag integrációja szerveződésének különböző szintjein? 7. Mitől függ az evolúció sebessége? 8. Milyen jelentősége van a biogeográfiának az evolúció létezésének bizonyítása tekintetében? 9. Mi okozza a fajok kihalását?

Bonyolult feladat. Gondolkozzatok el azon, hogy milyen jellegűek (aromorfózis, általános degeneráció vagy idioadaptáció) a következő evolúciós fejlemények: az eukarióták kialakulása; a bolhák és tetvek szárnyának eltűnése; a pingvinszárnyak uszonyokká alakulása; a gyökér gyökérterméssé átalakulása; a virág kialakulása a zárvatermőknél!

40. §. AZ EVOLÚCIÓ TÉNYEZŐIRŐL ALKOTOTT MODERN ELKÉPZELÉSEK: AZ ÖKOLÓGIA ÉS AZ EVOLÚCIÓS NÉZETEK SZINTÉZISE

A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: melyek a biológia alapvető kutatási módszerei? Mik a tudományos fogalmak? Melyek az élő anyag szerveződésének fő szintjei? Milyen típusú kapcsolatok léteznek a szervezetek között a biogeocönózisokban?

Egyelőre nem létezik az élő anyag történelmi fejlődésének törvényszerűségeit alátámasztó elmélet. Viszont több hipotézist is kidolgoztak, amelyek az evolúciós folyamat különböző aspektusait magyarázzák. Ezek zöme elismeri, hogy az ökológia tényezői egyúttal az evolúció tényezői is.

Miért tekintik a biogeocönózist az evolúciós változások közegének?

Minden biogeocönózisban a populációk táplálkozási, térbeli és egyéb kapcsolatokkal kötődnek egymáshoz és folyamatosan hatnak egymásra. Ezért a populációban bármilyen evolúciós változást kiváltó tényezők a biogeocönózison mint egységes rendszeren keresztül hatnak. Tehát a biogeocönózis az evolúciós folyamatok közege. A biogeocönózis típusától függően a populációk evolúciója különböző irányokat vehet fel benne.

Az ***evolúciós tényezők*** – a szervezetek, populációk és fajok alkalmazkodó változásait előidéző hatások. A korszerű elméletek értelmében az élő anyag minden szerveződési szintjén hatnak sajátságos evolúciós tényezők, és ezek együttes hatása okozza a szervezetek és populációk adaptációját a környezeti feltételekhez.

Az örökletes információ (a genotípus) a leginkább védett a külső behatásoktól, mivel a sejten belül, a citoplazmában található (prokarióták) vagy még külön maghártyával van burkolva (eukarióták). A genotípus biztosítja a faj génállományának állandóságát. A molekulák vagy sejtek szintjén történő örökletes változások irányultsága (mutációk és kombinatív változékonyság) független a környezeti feltételektől, jóllehet gyakoriságuk növekszik a különleges tényezők – mutagének – hatására.

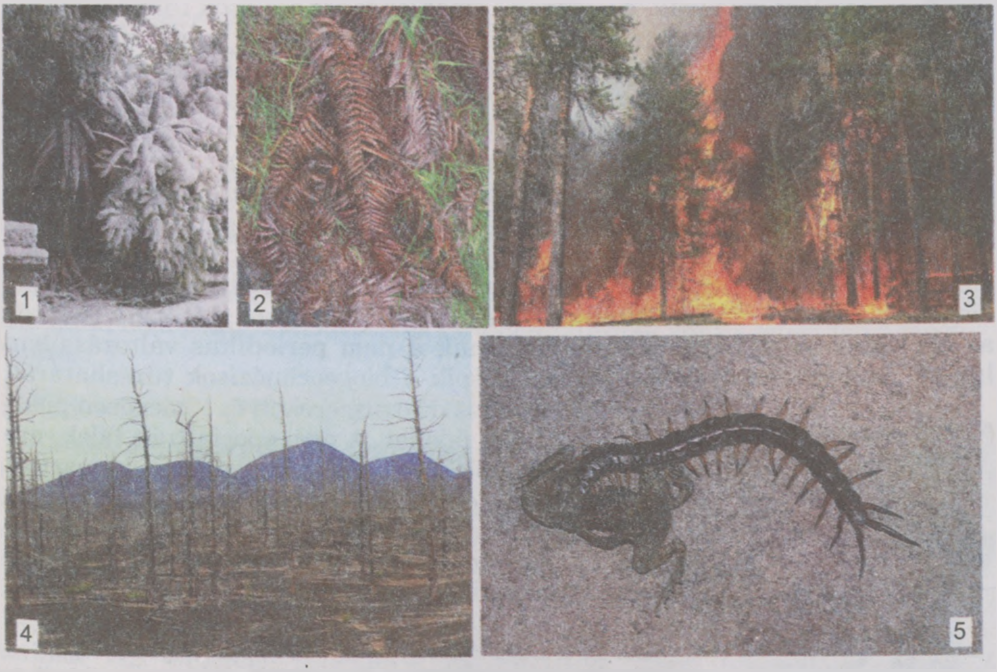
Sejtszinten megy végbe az élő anyag összes alapfunkciója. Ezek a sejt genotípusa és a környezet kölcsönhatása következtében nyilvánulnak meg. A többsejtű szervezetek valamennyi szomatikus sejtjének azonos a genotípusa, azonban ezek biológiailag aktív anyagok és más tényezők hatására differenciálódnak, különböző irányba fejlődnek.

„A létért való küzdelem" meghatározásnak nincs biológiai értelme. A fogalommal tulajdonképpen a szervezetek és a környezet közötti kölcsönös kapcsolatok összességét jelölik. Tehát a létért való küzdelem magában foglalja az ökológia egyik, az ökológiai tényezőkről szóló egész fejezetét. A létért való küzdelemnek semmiféle különleges mechanizmusa nem mutatható ki, bár ez a fogalom jelentős szerepet játszott a különböző evolúciós hipotézisek megalkotásában.

Az ökológiai tényezők, ha viszonylag állandó intenzitással hatnak vagy periodikusan váltakoznak, akkor egyidejűleg evolúciós tényezők is. A populációkra gyakorolt komplex hatásuk eredményeként a kevésbé alkalmazkodó egyedek utódok hiányában elpusztulnak. Már szó volt róla, hogy az elimináció az egyed pusztulása egyedfejlődésének abban a szakaszában, amikor még nem hagy maga után utódokat (40.1. ábra). Az elimináció megváltoztatja bizonyos genotípusú szervezetek előfordulási gyakoriságát. Az eliminációt meg kell különböztetni a természetes haláltól, mint az öregedés folyamatának befejezésétől szaporodás után, mert az utóbbi nem hat a populáció génállományára. Vagyis a halandóság általános értéke a populációban az elimináció és a természetes halandóság meghatározott időintervallumon belüli összege.

A *kiválogatódás* vagy *kiválasztás* kifejezés tudatos cselekedetet jelent, mivel ez a jelenség csak a fejlett idegrendszeri működéssel rendelkezésű állatoknál figyelhető meg: ivari kiválasztás, bizonyos táplálléktípusok hozzáférhetősége, tápérték szerinti kiválasztása.

A faj biológiai virágzásának fontos mutatója térbeli helyzetének optimális sűrűsége valamennyi populációjában, amit a szaporodás és az általános halandóság (az elimináció és a természetes halálozás összege) kiegyensúlyozottsága idéz elő. Megvizsgáljuk a legelterjedtebb korszerű evolúciós hipotéziseket.



40.1. ábra. *Az elimináció jelensége. 1. Növények kifagyása. 2. Elhervadt növények. 3. Erdőtűz. 4. Elpusztult erdő. Ragadozó áldozata (a százlábút béka ölte meg)*

Mi a neokatasztrofizmus lényege?

A **neokatasztrofizmus** (görög *neos* – új és *catastrophe* – katasztrófa) – olyan nézetek rendszere, amely a földi élet szakaszos fejlődésének tényein alapul. 1864-ben Eduard Suess (40.2. ábra) korszerűsítette Cuvier nézeteit az egyes ásatag szervezetek rendszerének más rendszerekkel történő gyors leváltásáról, és ő volt az, aki kidolgozta a neokatasztrofizmus elméletét.

Az élőlények történelmi fejlődésének szakaszossága azt jelenti, hogy a Föld egymást követő geológiai korszakaiban stabil ökoszisztémák léteztek rájuk jellemző növény- és állatfajokkal. A korszakok határain viszonylag rövid idő alatt (néhány százezer év folyamán) ezek az ökoszisztémák megsemmisültek, és más ökoszisztémák váltották fel őket.

Ezt a jelenséget tényszerűen alátámasztotta az a vizsgálat, amit a szervezetek egyes rendszertani csoportjainak kipusztulási és mások megjelenési ütemével kapcsolatban végeztek. Viszonylag hosszú idő alatt (millió, vagy tízmillió év) egyes csoportok lassú kihalását kiegyensúlyozta más, ökológiailag közeli csoportok megjelenése. A földtani korok vagy időszakok végén (az ***időszak*** a korszak része) kiegyensúlyozatlan pusztulás történt és egyes csoportok gyors kialakulása ment végbe a következő kor kezdetén. Hasonló módon váltották egymást az ökoszisztémák.

Például a krétakor középső időszakának végén sok nyitvatermő-, rovar-, dinoszaurusz- (11 családból 5 pusztult ki) és emlőscsoport, valamint számos más élőlényfaj tömeges kipusztulása következett be. Ugyanakkor a krétakor második felének kezdetén viharos fajképződés indult meg: megjelennek és jelentős adaptív radiáción mennek át a zárvatermők és a megporzó rovarok (legyek, egyes bogárcsoportok, méhek, nappali lepkék), 10 új dinoszaurusz-család, több a valódi madarak, erszényes és méhlepényes emlősök több rendje jön létre. A késő krétakorban az újonnan keletkezett csoportok száma stabilizálódik, a végére pedig ismét bekövetkezik a kiegyensúlyozatlan kipusztulásuk, amely elsősorban a dinoszauruszokat érinti, majd ezt az időszakot a következő kor (paleogén) elején viharos fajképződés követi. A dinoszauruszok kihalásának magyarázatára számos fantasztikus elmélet született. Az egyik népszerű teória szerint a dinoszauruszok hirtelen kihalását egy aszteroida becsapódása okozta. Erre azonban semmilyen tényszerű bizonyítékot nem találtak.

Tehát leszögezhető, hogy a földtani korok és időszakok határán hirtelen változások következnek be a bioszféra fajösszetételében, azaz egyik biogeocönózisokat mások váltanak fel. Ennek a jelenségnek az okát a tudósok az ökológiai tényezők hatásintenzitásának a nem periodikus változásaiban látják. Az ilyen hatások szerintük túllépik a biogeocönózisok tűréshatárát, ami rombolja ezeket a rendszereket, és tömegesen pusztítja a specializált fajokat. A nem specializált fajok, mivel ökológiailag plasztikusak, elfoglalják a kipusztult ökoszisztémákat, és alkalmazkodva a viszonyokhoz új, stabil rendszereket hoznak létre a helyükön. Ezzel magyarázzák a viharosan lezajló adaptív radiációt a földtani korok és időszakok kezdetén.

40.2. ábra. *Eduard Suess (1831–1914), osztrák geológus, a neokatasztrofizmus elméletének megalkotója. 1898 és 1911 között a Bécsi Tudományos Akadémia elnöke volt*

A geológiai katasztrófák globális vagy helyi (lokális) ***biocönotikus válságokat*** váltanak ki a bioszféra életében. Ugyanakkor ezeknek a válságoknak nemcsak geológiai, hanem biogén kiváltó okai is lehetnek. Például a krétakor közepén a zárvatermők megjelenése váltotta ki a válságot, míg a jelenkori ökológiai válság, amely katasztrófával is végződhet, az emberi tevékenység (antropogén tényező) következménye.

Mi az alapja a molekuláris evolúció neutrális elméletének?

A molekuláris evolúció neutrális elméletét Motoo Kimura (40.3. ábra) japán genetikus publikálta először 1968-ban, majd a további közleményeiben továbbfejlesztette elgondolását. Tőle függetlenül két amerikai biokémikus, D. King és T. Jucks majdnem ugyanolyan következtetésre jutottak a neutrális evolúciót illetően (1969), mint japán kollégájuk.

40.3. ábra. *Motoo Kimura (1924–1994), a molekuláris evolúció neutrális elméletének megalkotója*

Kimura a munkatársaival közösen számos kísérletet végzett muslicákkal, s a vizsgálatok eredményeit matematikai módszerekkel feldolgozta. De kutatták különböző fajok természetes populációinak génállományát is. Kiderült, hogy minden természetes és mesterséges populációban a szervezetek 7–15%-a minden lókusz szerint heterozigóta volt. A gének 30–50%-át több alléll jelenítette meg. Ez határozza meg a fehérjék polimorfizmusát, vagyis azt a jelenséget, amikor egyazon faj különböző szervezeteinek minden fehérjéje gyakorlatilag több, genetikailag meghatározott formában található. A polimorf fehérjékről szóló információt hordozó allélek összege a populációkban sok ezer, ezért a polimorf fehérjék száma milliókra rúg. Kimura azt feltételezte, hogy ezeknek a fehérjéknek a zöme neutrális, azaz nem káros és nem hasznos a szervezet számára, és nem hat rá a kiválogatódás. Később bebizonyosodott, hogy a DNS-szerkezetben leggyakrabban bekövetkező mutációk vagy nem okoznak zavart az aminosav-szekvenciákban a polipeptid-szintézis során, vagy azokon a szakaszokon fordulnak elő, amelyek nem kódolnak az aminosavakra vonatkozó információt. Ilyenformán a mikroevolúcióban az allélek találkozási gyakoriságát megváltoztató véletlenszerű folyamatoknak (mutációknak, génáramlásnak, eliminációnak) van fontos szerepük, nem pedig a természetes kiválogatódásnak vagy a létért folyó küzdelemnek.

Mi a szaltacionizmus hipotézisének a lényege?

A **szaltacionizmus** (lat. *salto* – ugrok) – olyan nézetek rendszere, amelyek az evolúció sebességét rövid idő alatt lezajló, új fajok, nemek kialakulását előidéző ugrásszerű változásoknak tekintik. Ezek a nézetek arra a feltételezésre épülnek, hogy az evolúció sebességét a környezeti változások sebessége határozza meg. Mindegyik fajnak létezése bármely pillanatában alkalmazkodnia kell a környezeti viszonyokhoz. Ha egy faj nem tud idejében alkalmazkodni a változó feltételekhez, akkor kihal. Ezért a bioszféra fejlődésének stabil szakaszaiban az evolúció sebessége jelentéktelen vagy teljesen megáll. A biogeocönotikai vagy bioszféra-krízisek idején az evolúció sebessége hirtelen megnő, és a fajképződés felgyorsul, ugrásszerűen megy végbe.

Melyek a megbontott egyensúly evolúciós hipotézisének alaptételei?

Mint ismeretes, a biológiai rendszerek összes szerveződési szintje csak állandó vagy periodikusan változó környezeti feltételek között működőképes. A külső hatások intenzitásának nem periodikus változásai, amelyek meghaladják az élő rendszerek stabilitásának határait, az élő rendszerek pusztulásához vezetnek. Az ilyen hatásokra a biogeocönózisok a legérzékenyebbek. Erre a tételre épül a megbontott egyensúly evolúciós hipotézise, amit N. Alradge, S. Gould, S. Stanley amerikai tudósok dolgoztak ki a XX. század 70–80-as éveiben. Ezt a hipotézist jelentősen kibővítették Sz. M. Rozumovszkij és V. A. Kraszilov orosz tudósok kutatásai. A hipotézis alaptételei a következők:

1. A bioszféra történelmi fejlődésének mindegyik szakaszában viszonylag stabil klimatikus viszonyok uralkodtak jellegzetes, cönofil fajok specifikus komplexumából álló biogeocönózisokkal. Vagyis dinamikus egyensúly áll fenn az ökoszisztéma biotikus és abiotikus összetevői között és a bioszféra egészében.

2. A környezet abiotikus, biotikus vagy antropogén tényezők által kiváltott markáns (katasztrofális) változásai következtében visszafordíthatatlanul megbomlik az ökoszisztémák egyensúlya: helyi vagy az egész bioszférára kiterjedő ökológiai (biogeocönotikai) krízisek következnek be.

3. Biogeocönotikus krízisek idején a stabil ökoszisztémák pusztulása következtében kihalnak a specializálódott *cönofil* fajok. Csak azok a fajok élik túl a krízíseket (többségükben *cönofóbok*), amelyek ökológiai képlékenységük folytán idejében tudnak alkalmazkodni a környezet gyors változásaihoz.

4. A környezeti viszonyok stabilizálódása során megújul az egyensúly a bioszférában annak következtében, hogy az ökoszisztémák és lakóik alkalmazkodnak az új viszonyokhoz. Ez alatt a krízist túlélő szervezetek csoportjainak viharos adaptív szétsugárzása (radiációja) következik be, és új stabil biogeocönózisok alakulnak ki új cönofil fajokkal.

5. Az evolúció sebessége nem egyenletes: lassú vagy a stabil biogeocönózisokban teljesen észrevehetetlen, jelentéktelen változások jellemzik, de ezek sokszorosan felgyorsulnak az ökológiai krízisek alkalmával.

Mi az adaptációs kompromisszum hipotézisének a lényege?

A XX. század 80-as éveinek végén O. P. Rasznyicin orosz paleontológus és zoológus rámutatott a szervezetek élőhelyhez való alkalmazkodásának viszonylagos jellegére. A faj populációként mindegyik tényező hatásához különkülön alkalmazkodik, miközben igazodik azok együttes hatásához is.

A külvilágtól védő képződmények megerősödése (a puhatestűek mészhéja, a teknősök páncélja) csökkenti a fajok mozgékonyságát (40.4. ábra). Az állatok méret- és testtömeg-növekedése csökkenti a viszonylagos hőleadást, ugyanakkor nagy mennyiségű táplálék fogyasztását követeli meg, tehát az ilyen fajok rendkívül érzékenyek a táplálékhiányra.

Tehát az, hogy meghatározott fajok szorosan tudnak alkalmazkodni az adott környezeti feltételekhez *(specializáció),* lehetővé teszi az élőhely táplálékkészleteinek maximális kihasználását. Ugyanakkor ez csökkenti az új feltételekhez való alkalmazkodó képességüket (40.5. ábra).

A faj alkalmazkodása a környezeti viszonyok összességéhez csak úgy valósulhat meg, ha az egyes tényezőkhöz történő adaptáció nem teljes. Ez a jelenség az adaptációs kompromisszum hipotézise nevet kapta.

40.4. ábra. *A vastag héjú ház biztonságos védelmet nyújt a sávos bíborcsiga tengeri puhatestűnek, de korlátozza a mozgását*

40.5. ábra. *A szűk határok közötti alkalmazkodás példája. A farkasalma lepke hernyója (1) kizárólag a más fitofág szervezetek számára mérgező növény, a farkasalma (2) hajtásaival táplálkozik, s ezzel elkerüli a trofikus vetélkedést más fajokkal. De populációinak a léte, a különféle táplálékokat fogyasztó, s azokat szükség esetén váltogató más fajoktól eltérően, teljesen a farkasalmától függ*

Léteznek-e az élet történetével kapcsolatos tudománytalan nézetek?

A tudomány – az anyagi és nem anyagi jelenségekről szóló, különböző módszerekkel megszerzett tudás rendszere. A tudósok közt sok istenhívő és ateista volt és van, ám a vallási meggyőződésük nem befolyásolta és nem befolyásolja kutatásaik tervezését, lefolytatását és a kapott eredmények magyarázatát. Mélyen hívő ember volt a biológus Linné, Cuvier, Darwin, Mendel, a geológus Lyell és sokan mások. A tudósok között azonban nem kevés az ateista sem, ilyen volt például Lamarck.

Ukrajnában, mint ismeretes, az egyház el van különítve az államtól. Épp ez a lényege a lelkiismereti szabadság alkotmányos biztosításának. Az állami tisztségviselők közül senkinek sincs joga ahhoz, hogy valamelyik felekezet érdekében cselekedjen vagy ateista propagandát folytasson.

Jegyezzétek meg: ***minél többet tudtok a világmindenségről, annál gazdagabb lesz a lelki világotok. A magas szintű oktatás nem teszi lehetővé a hívő ember számára, hogy vallási fanatikussá, vagy az ateista számára, hogy vallásüldözővé váljon. A mienkétől merőben különböző nézeteket valló, más kultúrájú emberek iránti türelem elengedhetetlen feltétele annak, hogy a soknemzetiségű Ukrajnában békében és egymás iránti tiszteletben éljenek az ateistákkal a különböző – keresztény, buddhista, judaista, iszlám – hitet valló állampolgárok.***

Új szakkifejezések és fogalmak. *Biocönotikus krízis, szaltacionizmus, molekuláris evolúció neutrális elméletét, megbontott egyensúly hipotézise, adaptív kompromisszum hipotézise, kreacionizmus.*

Ismétlő kérdések. 1. Miért tekintik a biogeocönózist az evolúciós folyamatok közegének? 2. Milyen evolúciós tényezők hatnak az élő anyag különböző szervezettségi szintjein? 3. Mi az elimináció? 4. Mivel magyarázható az élő

anyag fejlődésének szakaszossága a neokatasztrofizmus szemszögéből? **5.** Melyek a molekuláris evolúció neutrális elméletének alaptételei? 6. Hogyan hat a környezet változásainak sebessége az evolúció sebességére? 7. Mit bizonyít a megbontott egyensúly hipotézise? 8. Mi az adaptív kompromisszum lényege?

Bonyolult feladat. Gondolkozzatok el azon, miért veszélyes a modern ember világnézetét illetően a tudományos és vallási fogalmak összekeverése?

4. sz. gyakorlati munka

A természetes kiválogatódás és a mesterséges kiválasztás összehasonlítása

Ismételjétek meg a tankönyv anyagát a természetes kiválogatódásról és a mesterséges kiválasztásról! Töltsétek ki a táblázatot:

	Tulajdonságok	Kiválogatódás és kiválasztás	
		Természetes	Mesterséges
1.	Az evolúciós változások forrása		
2.	Ok		
3.	Mozgatórugó		
4.	Milyen formák maradnak meg		
5.	Milyen formák eliminálódnak		
6.	A kiválogatódás következményei		

TEMATIKUS TUDÁSSZINTFELMÉRÉS

I. A megadott válaszok közül válasszátok ki az egy helyest:

1. Nevezzétek meg a szerveződési szint növekedésével kapcsolatos evolúciós változást: a) aromorfózis; b) idioadaptáció; c) általános degeneráció; d) biológiai regresszió!.

2. Nevezzétek meg a szervezetek korszerű osztályozásának alapját képező elvet: a) monofilia; b) polifilia; c) pánspermia; d) konvergencia!

3. Mutassátok meg az evolúció elemi egységét: a) állatfajták; b) növényfajták; c) populáció; d) faj; e) nemzetség!

4. Jelöljétek meg az izoláció formáját a populáció térbeli akadályokkal való szétválasztásakor: a) ökológiai; b) földrajzi; c) évszakos; d) etológiai; e) genetikai!

5. Milyen fogalommal jelöljük a jól védett szerveztek képességét jellegeik átörökítésére a kevésbé védettekkel szemben: a) degeneráció; b) konvergencia; c) génáramlás; d) atavizmus; e) mimikri?

6. Nevezzétek meg az idioadaptáció példáját: a) a virág keletkezése; b) úszólábak keletkezése az emlősöknél; c) a bél eltűnése a galandférgeknél; d) állkapcsok megjelenése a gerinceseknél!

II. Megfelelési feladat.

1. Állapítsátok meg a megfelelést az evolúciós folyamatok és meghatározásaik között:

Evolúciós folyamatok	Meghatározások
A. Mikroevolúció B. Fajképződés C. Makroevolúció	1. Új fajok képződéséhez vezető folyamatok 2. Fajok fölötti rendszertani egységek kialakulásához vezető folyamatok 3. A különböző rendszertani csoportok képviselői hasonló jellegeinek keletkezését előidéző folyamatok 4. Új populációk és alfajok megjelenéséhez vezető folyamatok

2. Határozzátok meg, hogy a szervezetek jellegei közül melyek az aromorfózisok, idioadaptációk, általános degeneráció, atavizmus és csökevényes szervek példái az állatoknál:

Az evolúciós átalakulások típusai	Példák
A. Aromorfózis B. Idioadaptáció C. Általános degeneráció D. Atavizmus	1. Medenceöv a bálnáknál 2. Négykamrás szív 3. Horgos csőr a ragadozó madaraknál 4. Fejletlen végtagok megjelenése a lábatlan gyíknál 5. Bél hiánya a galandférgeknél

III. Nyitott kérdések.

1. Hogyan magyarázható Darwin és Lamarck evolúciós nézeteinek szempontjából a hosszú nyak megjelenése a zsiráfoknál?
2. Mi a közös és az eltérő a korszerű evolúciós nézetekben és a szintetikus evolúciós elmélet alaptételeiben?
3. A faj milyen kritériumait veszik figyelembe a szervezetek faji besorolásánál? Miért?
4. Mi a lényege a korszerű szintetikus evolúciós elméletnek és ökológiának?

2. téma A szerves világ történelmi fejlődése és változatossága

A téma tanulása során megismeritek a szerves világ rendszerét mint történelmi fejlődésének visszatükröződését, a földi élet keletkezésének hipotéziseit, az evolúciós jelenségek szakaszolását, az ökoszisztémák kialakulásának folyamatát.

41. §. A FÖLDI ÉLET KELETKEZÉSÉNEK HIPOTÉZISEI ÉS FEJLŐDÉSÉNEK KEZDETI SZAKASZAI

A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: hogyan járult hozzá Carl Linné a biológia fejlődéséhez? Milyen rendszertani kategóriákat ismertek? Mi a hipotézis (feltevés), axióma (sarktétel), teória (elmélet)? Milyen szervezetek tartoznak a producensekhez, konzumensekhez és reducensekhez?

Hogyan tükrözi a szerves világ rendszere a történelmi fejlődését?

Carl Linné a szerves világról alkotott saját rendszerét „mesterségesként" jellemezte, vagyis olyan rendszerként, amely a kutató által kiválasztott ismérveken nyugszik. Úgy vélte, hogy az csak egy lépés a „természetes" rendszer felé, és megjegyezte: „A mesterséges rendszer csak addig szolgál, ameddig meg nem találják a természetest. Az előbbi csak a növények megismerésére tanít bennünket. Az utóbbi magának a növények természetének a megismerésére tanít." Az evolucionisták sokáig úgy vélték, hogy a szervezetek felépítésének hasonlóságára épülő rendszerek mesterségesek, míg az eredet egységén nyugvók – természetesek.

A mai kutatók többsége a következő feltételezésekből kiindulva konstruálja az élő szervezetek rendszereit:

1. Minden élő szervezet szülői formáktól származik, és élet napjainkban magától nem jöhet létre.
2. Az ásatag fajok vagy az evolúció „vak leágazásai" (vagyis olyanok, amelyek nem hagytak utódokat), vagy a mai fajok elődei.
3. A fajok sokfélesége a környezeti feltételekhez való alkalmazkodásuk következménye.

Mi jellemzi a szerves világ változatosságát?

A mai kor bioszférájában közel 3 millió élőlényfaj található. Ebből az állatfaj több mint 2 millió, a növényfaj pedig közel 600 ezer, míg a maradék részt gombák, prokarióták és vírusok teszik ki. Élet a Földön közel 3,8 milliárd éve létezik. A tudósok kiszámították, hogy ásatag formában a kihalt fajok alig több mint 0,1–1%-a maradt fenn. Jelenleg közel egymillió ilyen faj ismert. Ezért 100 milliótól egymilliárdig terjed a bolygónkon jelenleg élő és a múltban létezett fajok valós száma.

Melyek a legelterjedtebb nézetek a földi élet keletkezését illetően?

Az élet keletkezése és mibenléte ősidők óta foglalkoztatja az emberiséget, de nem csak a tudósokat, hanem a felvilágosult emberek széles körét, beleértve a papságot. Mindegyik vallás fő dogmatikus (***dogma*** – bizonyítás nélküli, minden hívő számára kötelező hittétel) tételeinek egyike az, hogy a világmindenséget Isten teremtette. Ezek a dogmák részletesen ki vannak fejtve a Bibliában és a Koránban.

A tudósok többsége elismeri a világegyetem, s benne az élő anyag keletkezését és változásait térben és időben. Ezek a nézetek két irányzatba sorolhatók: abiogenezis (az élőlények élettelen anyagból keletkeztek) és biogenezis (a szervezetek csak élőlényektől származhatnak). Mindkét elképzelés az ókorban gyökerezik és napjainkig fejlődik.

Az élet ***abiogén keletkezésének hipotéziseit*** még 3–4 ezer évvel ezelőtt az ókori Kína, Babilon és Görögország tudósai felállították. A biológia atyjaként emlegetett Arisztotelész (Kr. e. 384–322) azt hirdette, hogy az élőlények iszapból, trágyából, vízből, talajból keletkeznek, mivel úgy vélte, ezeknek a részecskéi „aktív csírát" tartalmaznak, amelyből megfelelő körülmények között élő szervezet jön létre. Hasonló nézeteket vallottak a reneszánsz kor tudósai: Paracelsus, René Descartes, Francis Bacon. Korának kiemelkedő holland kutatója, van Helmont (1577–1644) leírt egy kísérletet, amelynek során egy sötét szekrényben verejtékkel átitatott ingben lévő maréknyi búzából „spontán módon" egerek keletkeztek. A XVII–XVIII. sz. folyamán ezeket a nézeteket megcáfolták a többsejtű szervezetek szaporodás-fiziológiájával kapcsolatos kutatások. Carl Linné az általa felállított tudományos rendszer alapjául a „minden élő szervezet csak önmagához hasonlótól származhat" elvet fektette le. A tudósok az élet keletkezésének abiogén hipotézisét a XIX. sz. második fe-

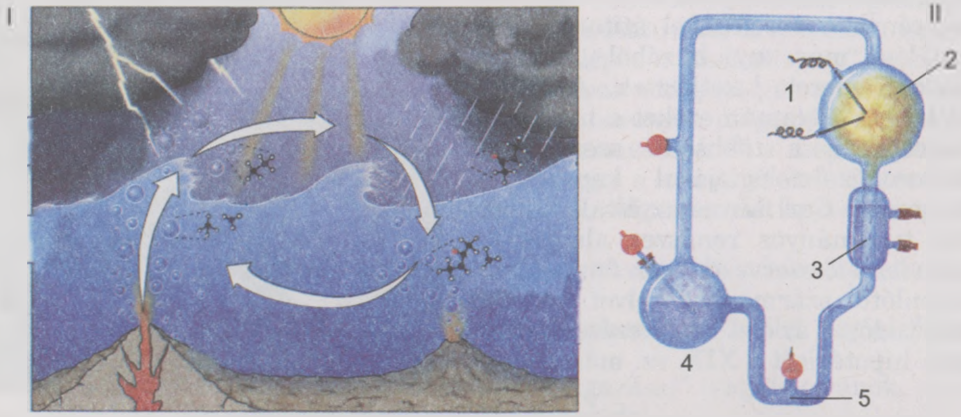
41.1. ábra. *A földi élet abiogén keletkezésének hipotézisét valló tudósok: 1 – Arisztotelész; 2 – Paracelsus (valódi neve: Philippus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim); 3 – Francis Bacon; 4 – Jan Baptista van Helmont;*

lében utasították el véglegesen, amikor Rudolf Wirchow felismerte a sejtelmélet ismert tételét, miszerint bármilyen sejt csak az anyasejt osztódásának eredményeként keletkezhet. Ezzel egyidejűleg, 1860-ban a kiváló francia biológus, Louis Pasteur érdekes kísérletsorozatával (élesztők és baktériumok példáján) bebizonyította, hogy a mikroorganizmusok önmaguktól nem keletkezhetnek.

A Föld öveinek történelmi fejlődéséről szóló geológiai ismeretek és a molekuláris biológia vívmányai révén a XX. században újra fejlődni kezdett az élet keletkezésének ***abiogén hipotézise***. Ennek lényege az, hogy ha napjainkban nem is keletkezhet élet, ez még nem zárja ki annak lehetőségét, hogy a múltban kémiai vegyületekből jött létre élő anyag. Ezt a gondolatot először Lamarck vetette fel 1820-ban; majd a későbbiekben ezt a nézetet továbbfejlesztette Haeckel és Tyimirjazev. Ők úgy vélték, hogy az ősóceánban meghatározott kémiai folyamatok eredményeként szerves anyagok keletkeztek, majd később kialakultak az élet sejt előtti formái, amelyek fokozatosan sejtes szervezetekké álltak össze. Ez a hipotézis Lamarck evolúciós nézeteit követi, amelyek szerint az élő anyag a szervezettség alsóbb szintjéről fokozatosan felsőbb szintre jut.

A XX. század 20-as éveiben O. I. Oparin orosz és J. S. Haldane angol tudósok megfogalmazták az ***élet keletkezésének biokémiai hipotézisét***, amely a lényegét tekintve Lamarck tézisének továbbfejlesztése. A feltevés értelmében a biológiai evolúciót kémiai evolúció előzte meg, ami több százmillió évig tartott egészen az élet megjelenéséig (41.2. ábra).

Mint a geológiai kutatások bizonyítják, a Föld őslégköre szén-dioxidból, metánból, ammóniából, kén-oxidokból, kén-hidrogénből és vízpárából állt. Az ózonpajzs még nem létezett, így a Föld felszínére eljutottak a kozmikus sugarak és a Nap ibolyántúli sugarai is. A fokozott vulkáni tevékenység következtében a világóceán vízébe és a légkörbe a Föld mélyéből különböző kémiai elemek jutottak. Ilyen viszonyokat a tudósok laboratóriumokban sokszor létrehoztak. A tengervízhez hasonló összetételű sóoldatban a besugárzás és az elektromos kisülések (a villámok utánzása) hatására szerves vegyületek – nukleotidok, aminosavak, peptidláncok, monoszacharidok – keletkeztek. Ezek besűrűsödtek, és a víztől elkülönült *koacervátum-cseppek* jöttek létre, amelyek



41.2. ábra. *I. A földi élet mesterséges létrehozásának hipotetikus feltételei. II. Oparin-Haldane-féle kísérlet: 1 – elektródok; 2 – gázelegy (CH_4, NH_3, H_2, H_2O); 3 – kondenzor; 4 – vízmelegítés; 5 – apró szerves molekulák*

meglehetősen hosszú ideig léteztek. Addig a hasonló kísérletezések 70 éve során nem sikerült létrehozni semmit, ami élőlényekre emlékeztetett volna. Ettől eltekintve a biokémiai elmélet megalkotói azt állítják, hogy a koacervátumcseppek valamilyen módon hipotetikus „sejt előtti" élőlényekké alakultak, amelyekből később prokarióták keletkeztek. Tehát az élet megjelenésének abiogén elméletét eddig nem sikerült bizonyítani.

Az élet keletkezésének ***biogén hipotézisei*** az életet mint anyag létezésének különleges formáját szemlélik, amely szerint az élet a világmindenség keletkezése óta megvan. Ezek a hipotézisek nem keresnek magyarázatot az élet keletkezésére, csak annak nem földi eredetéről beszélnek.

A ***pánspermia hipotézis.*** A tudomány nem jutott el az élet lényegének megértéséig, ahogyan a világegyetem, az anyag, az energia, a tér és az idő keletkezésére sem talált magyarázatot. Annyi történt, hogy a tudósok felfedezték az anyag- és energia-átalakulások kísérletileg ellenőrizhető alaptörvényeit. Még Darwin mutatott rá arra, hogy értelmetlenség tudományos magyarázatot keresni az élet megjelenésére a Világegyetem keletkezésének megértése nélkül.

A korszerű biogén nézetek gyűjtőneve: ***pánspermia hipotézis*** (gör. *pan* – minden és *spermatos* – mag). Azt a feltevést, hogy az élet a világűrből került a Földre, először Anaxagorosz ókori görög filozófus fogalmazta meg a Krisztus előtti ötödik században. A pánspermia hipotézisét a kiváló svéd fizikus, Svante August Arrhenius fogalmazta meg a XX. század elején, majd V. I. Vernadszkij ukrán tudós fejlesztette tovább. A feltevés hívei voltak olyan kiváló orosz tudósok, min L. Sz. Berg zoológus, O. J. Smidt geográfus, J. Sz. Sklovszkij csillagász és a DNS molekuláris szerkezetének egyik megfejtője, Francis Crick angol biokémikus és sokan mások (41.3. ábra).

A pánspermia hipotézis szerint a prokarióták spórái hosszú ideig lehetnek vákuumban az abszolút nullához (–273 °C) közeli hőmérsékleten és elviselik a sugárhatásokat, köztük az ibolyántúli sugárzást, azaz összességében véve a kozmikus térség viszonyait anélkül, hogy elveszítenék csírázóképességüket. Könnyen bekerülnek a bolygó légkörének felső rétegeibe és csekély tömegüknek köszönhetően kijuthatnak a világűrbe.

Arrhenius kiszámította, hogy a fénynyomás észlelhető mechanikai hatást gyakorol a 0,015 mm átmérőhöz közeli részecskékre azzal, hogy elmozdítja őket. Ugyanilyen átmérőjű a legtöbb baktériumspóra. A spóra, amit a napsugárzás fénynyomása hajt, 20 nap alatt képes megtenni a Föld és a Mars pályája közötti távolságot, és 80 nap alatt eléri a Jupiter pályáját. Nemrég spóraszerű képződményeket találtak meteoritokban. Tehát a világűrben jelen vannak a prokarióták spórái, amelyek folyamatosan eljutnak a bolygókra. Kedvező körülmények között különböző fajú prokarióták fejlődnek ki belőlük, amelyek *elsődleges*

41.3. ábra. *A földi élet biogén keletkezésére vonatkozó hipotézisek hívei:*
1 – Lev Szemjonovics Berg (1876–1950);
2 – Francis Crick (1916–2004)

biogeocönózisokat alkotnak. Az ilyen „áttelepült fajok" evolúciója különböző irányokat vehet fel a környezeti változásoknak megfelelően az adott égitesten.

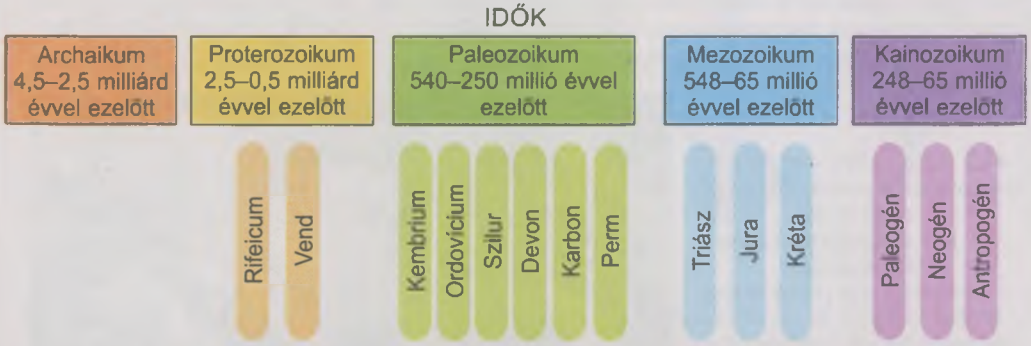
Hogyan korszakolják az evolúciós jelenségeket?

A mai kor kutatói úgy vélik, hogy a Föld gázok és por összesűrűsödéséből keletkezett. Ezeket a részecskéket a Nap vonzotta magához a gravitációs erő folytán, és hozzá közeli pályán keringtek, majd idővel egy tömeggé egyesültek. A tudósok a földgolyó fejlődésének ezt a hipotetikus, mintegy egymilliárd évig tartó szakaszát „földtörténeti idő" előtti korszaknak nevezik. Ennek a korszaknak a létezését semmilyen anyagi bizonyíték nem támasztja alá. A földkéreg kialakulása után kezdődött a „földtörténeti idő". Az ekkor keletkezett kőzetek korát radioaktív mérési módszerekkel határozzák meg. A módszer az instabil radioaktív elemek stabil, nem radioaktív elemekre való bomlásának időtartamán alapul. A legelső őskőzetek közel 4,5 milliárd évvel ezelőtt keletkeztek. A földtörténeti vagy geológiai időt öt részre osztják: archaikum, proterozoikum (ezt a két időt kembrium előttinek is nevezik), paleozoikum, mezozoikum és kainozoikum. Az időt időszakokra, az időszakokat korokra osztják (41.4. ábra). Mindegyik időszaknak és kornak többé-kevésbé stabil éghajlati-geográfiai paraméterei voltak, és producensekből, konzumensekből, valamint reducensekből álló specifikus fajösszetétellel rendelkező ökoszisztémák jellemezték őket. A stabil időszakok között lokális vagy globális, ökológiai kríziseknek elnevezett, a felszínt és éghajlatot megváltozató katasztrófajelenségek játszódtak le. Ezeknek köszönhetően váltották le az újabb ökoszisztémák a korábbiakat, és újult meg teljes egészében a bioszféra.

Milyen volt az élet az archaikumban?

Élő szervezetek első maradványait ausztráliai és dél-afrikai üledékes kőzetekben találták meg, amelyek korát körülbelül 3,5 milliárd évre teszik. A tudósok véleménye szerint ezek a kőzetek az ***archaikumban*** *(**ősidő**)* keletkeztek, amely 4,5 milliárd évvel ezelőtt kezdődött, és 2,5 milliárd éve végződött. A talált leletek prokarióta szervezetek maradványai, kékbaktériumok telepeinek mészvázai, különböző alakú (gömb, pálcika, fonál) baktériumok sejtfalai voltak.

Az eukarióta szervezetektől eltérően, amelyek evolúciója többé-kevésbé stabil geokémiai viszonyok között történt, az elsődleges prokarióta ökoszisztémák gyökeresen megváltoztatták ezeket a viszonyokat az archaikum során. Miközben alkalmazkodtak az új viszonyokhoz, maguk is megváltoztak. Az első üledékes kőzetek kora több mint 3,8 milliárd év. Ezek túlnyomórészt vasbaktériumok (vasérclelőhelyek), zöld- és bíborbaktériumok (kénlelőhelyek) élettevékenységé-



41.4. ábra. *A Föld geológiai történetének korszakolása*

nek eredményei. Lehetséges, hogy a kőolaj- és a földgázlelőhelyek is így keletkeztek. A kékbaktériumok fotoszintetizáló tevékenységének eredményeként a légkörben fokozatosan nagy mennyiségű oxigén gyülemlett fel, és kialakult az ózonpajzs. Ennek köszönhetően alakult ki az energetikailag kedvezőbb oxigénlégzés és jelentek meg az aerob prokarióták, valamint kapott védelmet minden élő a Nap és a világűr ultraibolya sugárzásától az ózonpajzs révén.

Hogyan fejlődött az élet a proterozoikumban?

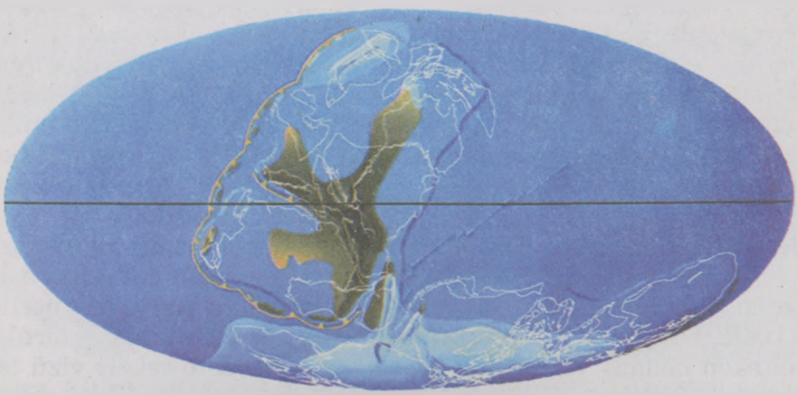
A **proterozoikum (előidő)** (2,5 milliárd éve kezdődött, 0,6 milliárd évvel ezelőtt befejeződött) első felében a prokarióta ökoszisztémák birtokba vették az egész világóceánt. Közel 2 milliárd éve jelentek meg az első egysejtű eukarióták, amelyek rövid idő alatt növényekre (moszatok), állatokra (*véglények) és gombákra különültek el (idézzétek fel, milyen jelenséget nevezünk divergenciának*). Az eukarióták képesek a biológiai haladásra, mivel szerveződési szintjük bonyolultabbá válik történelmi fejlődésük során. Már az egysejtű szervezetek (moszatok, ázalékállatkák) sejtszerkezete is igen bonyolult volt. A többsejtű szervezetek megjelenése újabb bizonyíték arra, hogy az eukarióták szerveződése összetettebbé válhat. A kutatók többsége úgy véli, hogy a többsejtű szervezetek a telepes élőlényektől származnak annak köszönhetően differenciálódtak az utóbbiak sejtjei.

Mi a lényege az eukarióták származására vonatkozó szimbionta hipotézisnek?

Az eukarióták származásának több hipotézise is ismeretes. Közülük napjainkban legnépszerűbb az úgynevezett szimbionta feltevés. Ennek követői úgy vélik, hogy a kétmembrános sejtszervecskék, amelyeknek saját genomjuk van és képesek osztódással szaporodni (színtestek és mitokondriumok), szimbionta prokarióták utódai, amelyek elvesztették a gazdasejten kívüli létezés képességét. Néhány prokarióta faj együttélése eukarióta sejtek megjelenéséhez vezetett.

Hogyan fejlődött az élet a vend időszakban?

A *vend időszak* – a proterozoikum utolsó szakasza – közel 80 millió évig tartott (41.5. ábra). Ekkor a sekély vizű tengerekben olyan biogeocönózisok



41.5. ábra. *A Föld térképe a vend időszakban*

alakultak ki, amelyekben a fő producensek a kékbaktériumok és az első zöldmoszatok voltak. A vend időszak legelterjedtebb állatai a különböző csalánozók: polipok és medúzák. Némelyikük átmérője elérte az egy métert. Az ilyen sugaras szimmetriájú fajokból alakultak ki az időszak közepén a kétoldali szimmetriájú kúszó és úszó állatok. Közöttük voltak szelvényezett és nem szelvényezett élőlények. A szelvényezettek némelyikénél a test mindegyik szelvényén egy-egy pár végtag volt. Az időszak végén bekövetkezett eljegesedés miatt beállt bioszféra-krízis folytán a vend időszak ökoszisztémái elpusztultak, az ökoszisztémákat alkotó fajok többsége kihalt.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Abiogén és biogén hipotézis, pánspermia, archaikum és proterozoikum, az eukarióták szimbiotikus hipotézise.*

Ismétlő kérdések. 1. Mi az abiogenezis és a biogenezis? 2. Mi az Oparin-Haldane-féle hipotézis lényege? 3. Melyek a pánspermia hipotézis alaptételei? 4. Milyen ökoszisztémák ismertek az archaikumból? 5. Melyek az élet fejlődésének fő szakaszai a proterozoikumban?

Bonyolult feladat. Rekonstruáljátok az elsődleges prokarióta ökoszisztémák táplálékláncainak szakaszait!

42. §. AZ ÉLET FEJLŐDÉSE A PALEOZOIKUMBAN

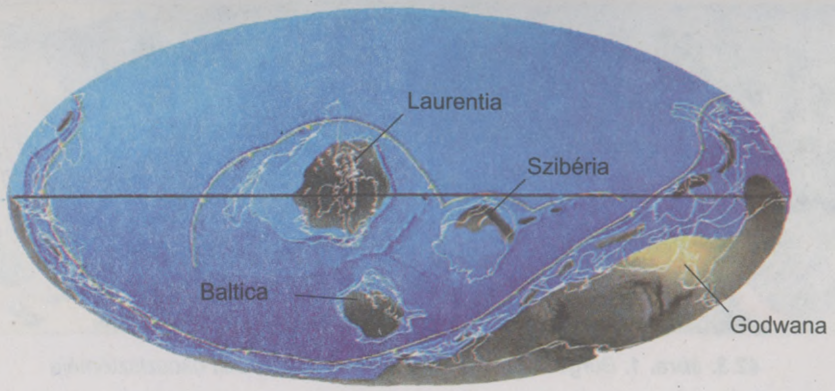
A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: melyek az előző osztályok biológiájának tananyagából megismert élőlényosztályok és -törzsek jellegzetes vonásai? A bioszféra milyen részeit ismeritek? Mi okozza a Földön található kontinensek és óceánok körvonalainak változását? Mi a bentosz, az adaptív radiáció?

Milyen események zajlottak le a paleozoikumban?

A **paleozoikum** (**óidő**) közel 540 millió évvel ezelőtt kezdődött és 250 millió évvel ezelőtt ért véget. Az élet ekkor hódította meg a szárazföldet és érte el a bioszféra jelenlegi határait. A paleozoikumot 6 időszakra osztják, amelyek a legrégibbtől a legfiatalabb felé haladva a következők: kambrium, ordovícium, szilur, devon, karbon (kőszén) és perm.

A *kambrium időszak* főként meleg éghajlatával tűnt ki (42.1. ábra), 50 millió évig tartott és kevesebb mint 490 millió évvel ezelőtt ért véget. Ekkor jelentek meg a mai állatok szinte valamennyi képviselői, beleértve a szilárd külső, néha belső vázzal rendelkezőket és kagylóhéjjal borítottakat.

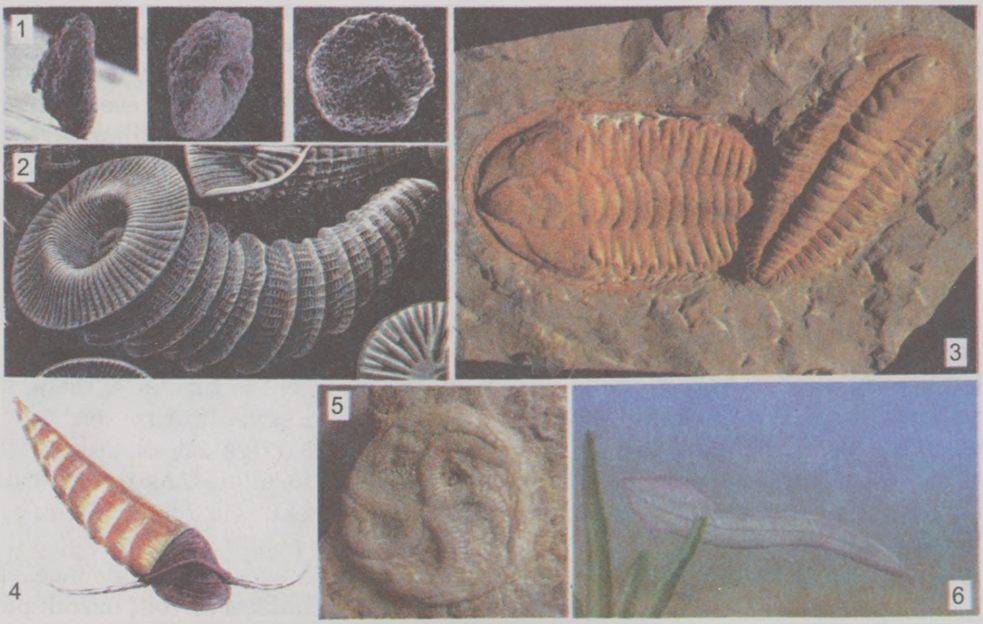
Az élet zömmel a sekély vizű tengerekben összpontosult, ahol a víz hőmérséklete +20...25 °C volt. Ez idő tájt a Föld déli féltekéjén hatalmas ősi szárazföld, a Gondwana terült el, amely magában foglalta a mai Dél-Amerika, Afrika, Elő-India Hindusztán-félsziget, Ausztrália és Antarktisz területét. Az északi féltekén néhány viszonylag nem nagy, egymástó sekély vizű tengerekkel elválasztott kontinens (Észak-Amerika, Kelet-Európa, Kína) volt található.



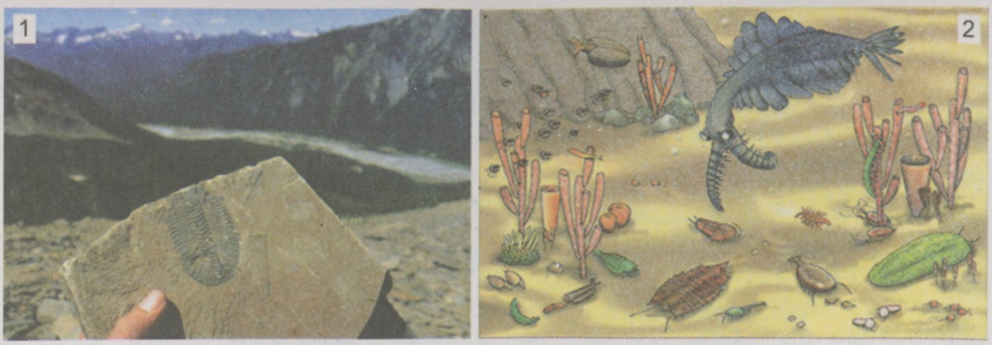
42.1. ábra. *A Föld térképe a kambrium időszakból*

A növények közül ebből az időszakból a *vörösmoszatok*, az egysejtű állatok közül a *likacsoshéjúak* jelentek meg (42.2., 1. ábra). Ekkor keletkeztek a *szivacsok*, napjainkig fennmaradt képviselőik az *archaeocythák* (42.2., 2. ábra) csoportjába tartoznak. A tengerekben elterjedtek voltak az űrbelűek, de korallpolipok még nem léteztek.

A kambriumból származó lerakódásokban tengeri *soksertéjű férgek*, ízeltlábúak (rákfélék), valamint a napjainkra már kihalt *háromkaréjos ősrákok* (*trilobiták*) (42.2., 3. ábra) jól megőrződött lenyomatai találhatók. Megjelennek a puhatestűek valamennyi ismert osztályának képviselői: kagylók, csigák (haslábúak), a külső héjjal rendelkező, bentosz formájú fejlábúak, valamint a *Hyolitha* ásatag osztályának kihalt szervezetei (42.2., 4. ábra).



42.2. ábra. *A kambrium időszak szervezetei: 1 – likacsoshéjúak; 2 – kambriumi szivacsok; 3 – trilobiták megkövesedett maradványai; 4 – hyolitha puhatestűek; 5 – tüskésbőrűek; 6 – fejhúros állat*



42.3. ábra. *1. Burgess-pala. 2. A Burgess rekonstruált ökoszisztémája*

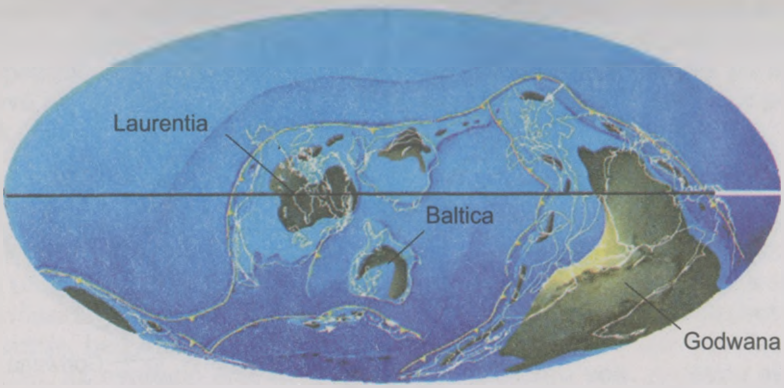
Ebben az időszakban a *tüskésbőrűek törzsébe tartozó* 8 osztály képviselői éltek (42.2., 5. ábra). Megjelennek a mai lándzsahalhoz éltek (42.2., 6. ábra) hasonló első gerinchúrosok, majd az időszak végén a gerincesek képviselői és az *állkapocsnélküliek*, amelyek virágkora a következő, ordovícium időszakra esik.

A kanadai Sziklás-hegységben található a Burgess-hegy. Ennek lejtőjén fedezték fel a XX. sz. elején az 540 millió évesre taksált üledékes pala kőzetet (42.3. ábra). Az elmúlt közel száz év kutatásai nyomán több mint 60 ezer, akkor élt puhatestű, más kambriumi kőzetekben nem, vagy rosszul megőrződött maradványait fedezték fel benne. Ennek magyarázata a Burgess-pala keletkezésének az 1966-ban indított tudományos expedíció által feltárt különleges körülményeiben rejlik. A kutatók megállapították, hogy az iszapos, a jelenlegi Burgess-hegy helyén található, archaeocythák vázaiból álló mészkőzátony enyhe lejtőjének egy része a mélybe csúszott, ami az iszap lakóinak hirtelen pusztulásával járt. Ezen a helyen a vízfolyás hiánya és a víz alacsony oxigéntartalma miatt az iszap fokozatosan palává változott, s mint a fényképpapíron, örökre megőrizte minden élőlény maradványait. Csak egy részük esetében sikerült megállapítani, hogy melyik ma ismert törzshöz vagy családhoz tartoznak; a többség egyáltalán nem hasonlít sem az ásatag, sem a mai állatokra.

Mi jellemezte a paleozoikum ordovícium időszakát?

Az *ordovícium időszak* 50 millió évig tartott és 443 millió évvel ezelőtt fejeződött be. A lerakódásaiban polimetallikus és vasércek, foszforitok, égőpala, építési anyagok, kőolaj található. Az éghajlat összességében enyhébb és melegebb volt, mint a kambriumban. Jelentős mértékben megnőtt a tengerek kiterjedése, víz alá kerültek a kambriumi kontinensek jelentős területei; megmaradt a Godwana és néhány kisebb kontinens a Föld egyenlítői részén (42.4. ábra). Az élet uralkodóvá vált az édesvizekben, ahol zöldalgák éltek, különböző rákfélék, és a Föld történetének legnagyobb ízeltlábú állatai, az eurypterus óriásrákok (*rákskorpiók*) tenyésztek (42.5. ábra). Ezeknek a ragadozóknak a hossza elérte a 2 métert is.

Ebben az időszakban megy végbe a ***páncélos*** állkapocs nélküli gerincesek széles körű adaptív radiációja. Testük áramvonalas (halszerű) volt, úszóik páratlanok, néha párosak, vázuk porcos. Fajaik többségét kívülről csontszöveti, gyakran összefüggő páncéllá összenőtt védőpajzsok fedték. A páncélosoknak



42.4. ábra. *A Föld térképe az ordovícium időszakban*

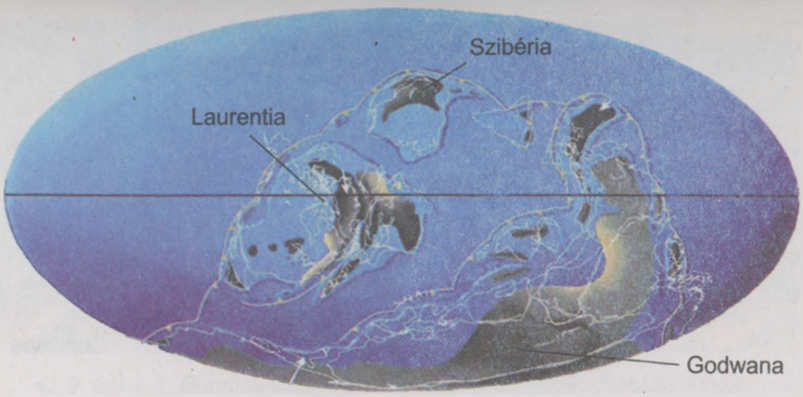
nem volt kopoltyúívük és állkapcsuk, a mai ingolákhoz hasonlóan kopoltyúbéllel lélegeztek. Ezeknek az állatoknak a testhossza néhány centimétertől egy méterig terjedt. Főként az édes- és félsós vizekben életek, elsősorban apró planktonnal és bentosz szervezetekkel, valamint ezek maradványaival táplálkoztak.

A legfontosabb fotoszintetizáló szervezetek a kékbaktériumok, a zöld- és vörösalgák voltak. A tengerekben sok szivacs, űrbelű, soksertéjű féreg, trilobita, rákféle és puhatestű élt. Megtalálták az árapály övezetek élőlényeinek maradványait, köztük tőfarkú rákok (42.5., 3. ábra), amelyek gyakorlatilag nem különböznek a ma élőktől. Sok korallpolipfaj jelenik meg az idő tájt, ezek lettek a fő zátonyépítők. A tengerekben sok puhatestű, köztük gigászi méretű fejlábú élt, ezek kúp alakú héja elérte a 9 méteres hosszúságot (42.5., 2. ábra). Elterjedtek voltak a tüskésbőrűek, egyes tengeri liliomok hossza meghaladta a 20 m-t.

Milyen események játszódtak le a szilur időszakban?

A *szilur időszakot* 443 millió éve kezdődött és közel 417 millió éve ért véget. Továbbra is létezett a Godwana, az egyenlítő térségében ismét megjelent a

42.5. ábra. *Az ordovícium időszakban élt szervezetek: 1 – rákskorpiók; 2 – fejlábú puhatestű; 3 - tőfarkú rák; 4 – megkövesedett trilobita*



42.6. ábra. *A Föld térképe a szilur időszakban*

Laurentia földrész (42.6. ábra). Az időszakot sekély (10 méteres mélységig terjedő), alacsony sótartalmú, gazdag növény- és állatvilággal rendelkező meleg tengerek jellemezték (42.7., 1. ábra). Ezekben a tengerekben jelennek meg az első állkapcsos gerincesek, amelyeket a halak sajátságos ásatag osztályai képviselnek. Ezeknek a halaknak különleges vázképződményeik, kopoltyúíveik voltak. Az elülső kopoltyúívek zsákmánymegragadó szervvé – állkapoccsá – alakultak, és fejlett mell- és páros hasi uszonyaikkal jól úsztak. A halak ősei ismeretlenek, mivel az állkapocs nélkülieknek nincs kopoltyúívük, az evolúció sajátságos ágát képezik. A szilur időszak halainak porcos belső vázuk volt, a kopoltyúfedőjük és úszóhólyagjuk hiányzott. A tüskésfogúak nem nőttek 30 centiméteresnél nagyobbra, nagyszámú (nyolc) páros úszó volt jellemző rájuk, testüket csontpikkelyek borították. A páncéloshalakat (42.7., 2. ábra) gyakran összefüggő páncéllá összeállt csontlemezek fedték. Némelyek közülük elérte a 6 méter hosszúságot. A szilur időszak halfajtái között voltak fenéklakók, valamint a vízrétegekben élők. A kutatók feltételezése szerint többségük ragadozó volt.

A vízmedencék part menti részein a vízszint ingadozása következtében iszapréteg keletkezett. Ez az iszapréteg lett az alapja az elsődleges talajok ki-

42.7. ábra. *A szilur időszakban élt szervezetek: 1 – a tengerfenék ökoszisztémája; 2 – páncéloshalak;3 – biogeoconózis a szilur időszakban*

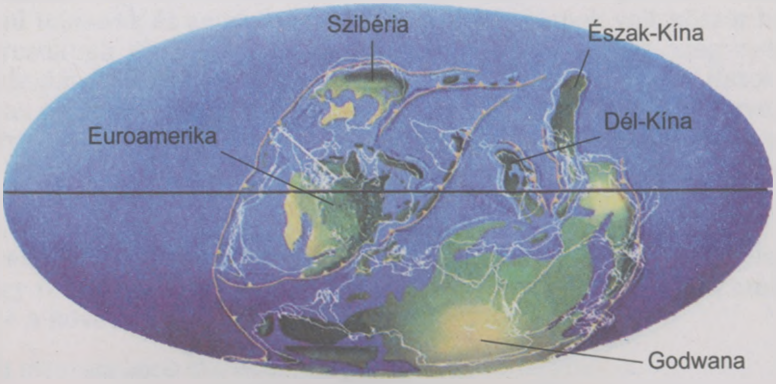
alakulásának, és rajtuk alakultak ki a szárazföldi biogeocönózisok (42.7., 3. ábra). Ezek alapját magasabbrendű *Rhynophyta* és korpafűféle spórás növények képezték. Az állatok közül talajlakók (kevéssertéjű férgek és mások) és növényevő soklábúak fordultak elő. Ebből az időszakból ismertek a pókok és a skorpiók is. Ezek az állatok alig különböztek a ma élőktől.

Mi jellemezte a devon időszakot?

A *devon időszak* 417 millió éve kezdődött és 354 millió éve fejeződött be, rendkívüli jelentőségű a bioszféra történetében. A szárazföldi ökoszisztémák jelentős területekre terjedtek ki, s ezeken a gerinces állatok váltak uralkodóvá. Az időszakban igen változatos volt az éghajlat, gyakran változott a világóceán szintje, hegyképző folyamatok zajlottak. Ez lokális biocönotikai válságokat okozott, az evolúció ezért általában gyors ütemű volt. A devon elején több északi kontinens létezett: Euroamerika, Szibéria, Dél- és Észak-Kína (42.8. ábra). Ezek idővel egyesültek, és létrehozták az egységes és nagy Atlantia kontinenst, de Godwana is megmaradt.

Az időszak elején kihalt a háromkaréjú ősrákok (trilobiták) többsége, a végén pedig a páncélosok és a páncéloshalak tűntek el. A szárazföld alacsony fekvésű nedves területein erdők alakultak ki *magasabbrendű spórás növényekből, fatermetű korpafűfélékből, zsurlókból* és *páfrányokból* (a rhynophyta növények ekkorra kihaltak) (42.8. ábra). Megjelennek a magvaspáfrányok osztályába tartozó első *nyitvatermők*. Ezek a növények a fatermetű páfrányokra hasonlítottak, de magvakkal szaporodtak. A gerinctelenek közül a szárazföldet meghódították a pókok és az atkák.

A devon időszakot gyakran nevezik a „halak korának". A tengerekben ugyanis megjelentek a *porcoshalak* (cápák és más porcoshalak); az édesvizekben a *csontos halak*. Ezek többségükben *bojtosúszós halak* (42.8. ábra) és *tüdőshalak* voltak, amelyek jelentős fajgazdagságukkal tűntek ki. Megjelentek a *sugaras úszójú halak*. Úgy tartják, hogy a csontos halak úszóhólyagja a légköri levegővel való légzésre szolgált, mivel az édesvizekben a fák maradványainak rothadása következtében hiány volt oldott oxigénből. A bojtosúszós halak izmos páros úszói valószínűleg nem annyira úszásra, mint inkább az aljzaton való kúszásra szolgáltak a kidőlt fák törzsei között. Az úszók felépítése olyan volt, hogy alkalmassá váltak a szárazföldi helyváltoztatásra. Egyes bojtosúszós



42.8. ábra. *A Föld térképe a devon időszakban*

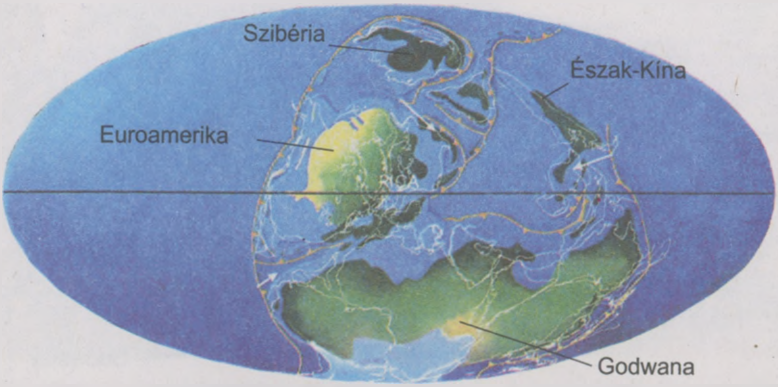
42.9. ábra. *I. A devon időszak szervezetei: 1 – bojtosúszós hal; 2 – devon időszaki kétéltűek. II. Szárazföldi domborzat a devon időszakban*

halak utódai áttértek a szárazföli életre, ahol bőségesen találtak táplálékot (különböző gerinctelenek formájában), szaporodásuk és fejlődésük azonban a vízhez kötötte őket. Így jelentek meg az első kétéltűek. A légköri oxigénnel való lélegzés folytán vérükben jelentősen megnőtt a hemoglobin mennyisége; a szárazföldi gerincesek alapvető vérképző szerve a vörös csontvelő (a halaknál csupán a lép) lett.

A mai kétéltűek (farkos, farkatlan és lábatlan kétéltűek rendje) ásatag formában a mezozoikum kor közepétől kezdődően ismertek, és elég kevés közös vonásuk van a paleozoikumban élt fajokkal.

Milyen események zajlottak a kőszén (karbon) időszakban?

A *karbon időszak* 354 millió évvel ezelőtt kezdődött és 290 millió éve ért véget. A Föld történetének egyik legmelegebb időszaka. A szárazföld területét jóval felülmúlta a tengerek vízfelülete (42.10. ábra). Az erős vulkáni tevékeny-



42.10. ábra. *A Föld térképe a devon időszakban*

42.11. ábra. *I. A karbon időszak nyitvatermő növényei.*
II. A karbon időszak állatai. 1. Rovarok. 2. Kétéltűek és hüllők

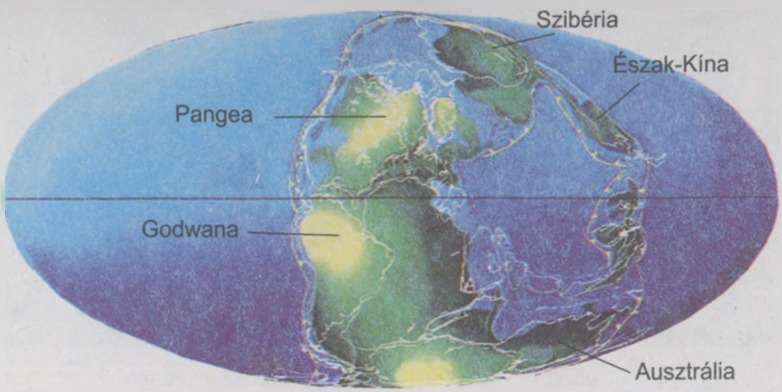
ség következtében nagy mennyiségű szén-dioxid CO_2 került a légkörbe, s a vulkáni hamu erősen megnövelte a talajok termékenységét. A meleg és nedves éghajlat sokáig megmaradt a kontinenseken. Ez kedvezett a szárazföldi növényzet fejlődésének. Sok alacsony fekvésű mocsaras terület volt. Ezeken a helyeken a különböző magasabbrendű spórás növények és nyitvatermők (42.11., 1. ábra) hatalmas erdőségeket alkottak. Az elhalt fatörzsek a mocsaras talajra kerülve az oxigénhiány következtében nem korhadtak el, iszap, majd homok és agyag rakódott rájuk, végül igen mélyre süllyedtek a föld alá. Ott a nagy nyomás hatására kőszénné alakultak (innen ered a karbon, azaz kőszén időszak elnevezése). Ebben az időben jelentek meg a fenyőfélék, amelyek szaporodása már nem kötődött a vízhez, míg a túl nedves talajokon a *mohafélék* jelentek meg. Ők alkották a mérsékelten nedves és száraz területek biogeocönózisainak alapját, és az időszak végére az élet meghódította az egész szárazföldet, a bioszféra pedig elnyerte mai határait.

A növények után az állatok is gyorsan elterjedtek a szárazföldön. A kőszénkorszak elején édesvízi rákokból előbb szárnyatlan, majd szárnyas ősrovarok alakultak ki, közülük egyesek szárnyfesztávolsága elérte az egy métert (42.11. ábra). A szárazulatokon megjelentek a tüdővel lélegző haslábú puhatestűek. A kőszén időszak közepe táján egyes kétéltűek (42.11. ábra) alkalmazkodtak a szárazföldi szaporodáshoz. Közöttük voltak kis méretűek és több métere ragadozók. A belső megtermékenyítésnek, a tápanyagokban gazdag, vastag, vízhatlan héjú tojásnak és az átalakulás nélküli fejlődésnek volt köszönhető. Közülük egyeseknek eltűntek a bőrmirigyeik, bőrük nagyon megvastagodott (alkalmazkodás a víz testen belüli megtartásához). Ezekből az állatokból alakultak ki az első *hüllők*. Más kétéltűeknek megmaradtak a bőrmirigyeik, amelyek a bőrpárologtatással végzett hőszabályozás szervei lettek. Az ilyen kétéltűekkel kezdődött az állatvilágnak az a fejlődése, ami az emlősök megjelenéséhez vezetett.

A karbon időszak végére erősen lecsökkent a világóceán vízszintje, s ennek következtében több kisebb mellett egy szuperkontinens, Pangea keletkezett. Pangea egy részét jég borította be. Ez bioszféra-krízishez vezetett, amivel kezdetét vette a következő, perm időszak.

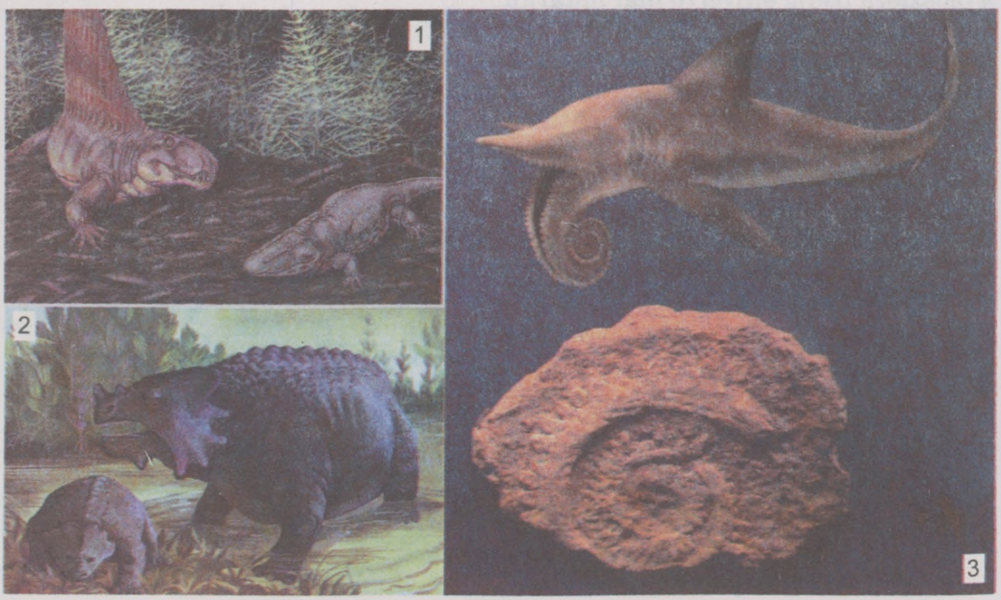
Milyen események zajlottak a perm időszakban?

A paleozoikum kor utolsó szakaszára, a *perm időszakra* (amely 290 éve kezdődött és 248 millió évvel ezelőtt végződött) a szárazföld óceán fölötti domi-



42.12. ábra. *A Föld térképe a perm időszakban*

nanciája volt jellemző. Az egyetlen szuperkontinens Pangea létezett egymástól élesen különböző természeti övezetességgel, amelyen belül jelentős kiterjedésű szárazföldek voltak (42.12. ábra). Az időszak során többször volt jegesedés a szárazföld jelentős részén. A lehűlés következtében globális bioszféra-krízisek következtek be, amelyek az élőlények egyes csoportjainak kihalásához és újak megjelenéséhez vezettek. A szárazföldi biogeocönózisok alapját tűlevelű és egyéb nyitvatermő növények képezték, a fatermetű magasabbrendű spórás növények teljesen kihaltak. A rovaroknál további adaptív radiáció ment végbe; az időszak végére már 30 rendjük alakult ki, közöttük egyenesszárnyúak, bogarak, pikkelyesszárnyúak, hártyásszárnyúak. Jelentős mértékben nőtt a hüllők sokfélesége; megjelentek a *teknősök*, a *gyíkok* és a hüllők egyéb formái, ame-



42.13. ábra. *A perm időszak állatai: 1 – kardfogú gyíkok; 2 – kétéltűek; 3 – perm időszaki cápa*

lyek a mezozoikumban a szárazföldi dinoszauruszok, másodlagos vízi állatok és szárnyas hüllők kiindulási formáit képezték.

A szárazföldi gerincesek fejlődési vonalát – ami végül az emlősök megjelenéséhez vezetett – négy méter hosszú, fejlett agyarral rendelkező ragadozók, a *pelycosaurusok* képviselték. Őket felváltották a *kardfogú gyíkok* (42.13., 1. ábra), amelyek között voltak apró rovarevők és 6–7 méter hosszúságú ragadozók. Ezeknek a metsző- és szemfogakon kívül már a táplálék felaprózására, megrágására alkalmas, fejlettek zápfogaik is voltak.

Az időszak végére a tengerekben teljesen kihaltak a háromkaréjú őrákok (trilobiták), a tüskésfogú halak és más állatcsoportok egész sora, az édesvizekben pedig a tüdős- és a bojtosúszós halak és az ősi kétéltűek jelentős része. A porcoshalak, de mindenekelőtt a cápák változatossága és méretei (sokuk a 10 métert is eléri) jelentős. Tehát a perm időszakban olyan változások mentek végbe, amelyek előkészítették a nyitvatermők és hüllők uralomra jutását a továbbiakban, azaz a földtörténeti középkorban vagy mezozoikumban (42.13., 3. ábra).

Új szakkifejezések és fogalmak. *Paleozoikum, rhynophita, bojtosúszós halak, kardfogú tigris.*

Ismétlő kérdések. 1. Milyen fotoszintetizáló szervezetek éltek a paleozoikum kezdetén? 2. Hogyan alkalmazkodtak a magasabbrendű növények a szárazföldi élethez? 3. A kétéltűektől eltérően miért a hüllőket tekintik az első igazi szárazföldi állatoknak?

Bonyolult feladat. Gondolkodjatok el azon, hogy az első, eukarióta fajokban gazdag biogeocönózisok miért a sekélyvizű tengerekben alakultak ki?

43. §. AZ ÉLET FEJLŐDÉSE A MEZOZOIKUMBAN

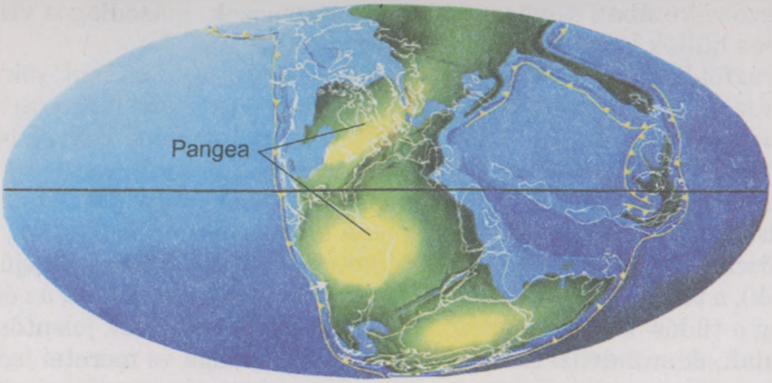
A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: milyen változások mentek végbe a paleozoikum végén? Milyen fajokat neveznek cönofileknek és cönofóboknak? Mi a szukcesszió és a kapcsolt evolúció?

A szervezetek milyen csoportjai uralkodtak a mezozoikumban?

A **mezozoikumban** (**középidő**), amely 248 millió évvel ezelőtt kezdődött és 65 millió évvel ezelőtt ért véget, a szárazföldön a nyitvatermő és magasabbrendű spórás növények, hüllők és rovarok, a vizekben különböző algák, rákfélék, puhatestűek, porcos és csontos halak, vízi hüllők uralkodtak. Ekkor keletkeztek a zárvatermők, madarak és emlősök.

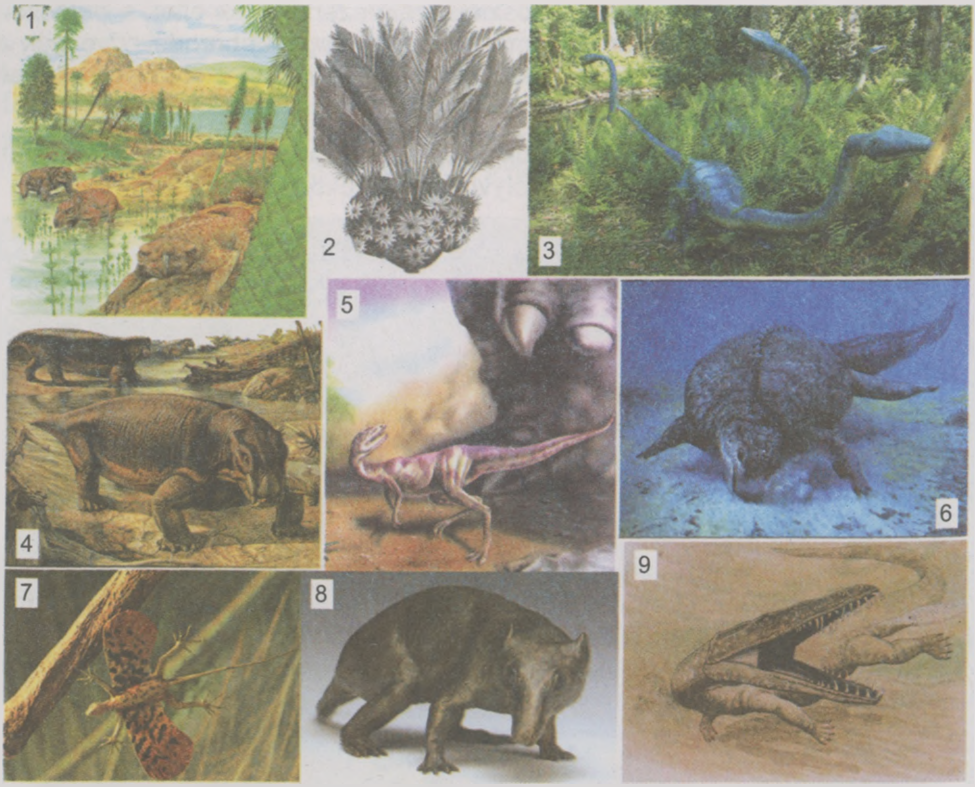
Hogyan fejlődött az élet a triász időszakban?

A *triász időszak* 206 millió évvel ezelőtt ért véget. Éghajlati viszonyai általában megegyeztek a perm időszak klímájával, továbbra is létezett az északitól a déli pólusig húzódó Pangea (43.1. ábra). A tengerekben megjelennek a felépí-



43.1. ábra. *A Föld térképe a triász időszakban*

tésükben a maiakra emlékeztető korallpolipok és tengeri sünök, ismertek ebből az időből kétteknőjű filtráló kagylók, köztük osztrigák, sokféle fejlábú puhatestű is él a vizekben, és folytatódott a porcos és a csontos halak fajgazdagságának növekedése; a csontos halak ekkor vették birtokukba a sós vizeket.



43.2. ábra. *A triász időszak: 1 – ökoszisztémák; 2 – Bennettites rendbe tartozó növény; 3 – Tanystrophaeus rendbe tartozó állat; 4 – lystrosaurus; 5 – saltopus; 6 – kavicsfogú áltekнős; 7 – icarosaurus; 8 – triász időszaki emlős; 9 – nothosaurus*

Különféle erdei, sík sztyeppei és sivatagi ökoszisztémák léteztek (43.2., 1. ábra). A növényi társulások alapját a nyitvatermők – ginkgófajok, cikászok, bennettalesek, tűlevelűk (köztük araukariák és tiszafafélék) és magasabbrendű spórások, azaz a páfrányfélék, zsurlók, korpafüvek – képezték. Ebből az időszakból ismert az összes ma élő, illetve több kihalt rovarfaj. Megjelenik a szárazföldi hüllők két csoportja, amelyeket *dinoszauruszokként* (*sárkánygyíkokként*) ismerünk (43.2., 3. ábra). Közepes és hatalmas termetű (1–30 méterig) állatok voltak, egy részük négy, más részük két lábon járt, s a mai hüllőktől eltérően végtagjaik lefelé irányultak. Voltak közöttük növényevők, rovarevők és ragadozók. Ekkor már élt a tengeri hüllők néhány csoportja. A kistermetű rovarevő theriodontiáktól az időszak második felében kialakultak az első emlősök. Ezek kistermetű (5–15 centiméteres), szőrzettel borított állatok voltak, külsőleg a mai cickányokra emlékeztettek (43.2., 8. ábra). Nem ismeretes, hogy elevenszülők voltak-e vagy tojásokkal szaporodtak, mint a mai ősemlősök.

A triász időszak közepe tájáról ismertek olyan krokodilok, amelyek a mai krokodiloktól eltérően igen mozgékony szárazföldi ragadozók voltak hosszú, futáshoz alkalmazkodott végtagokkal (43.2., 9. ábra). Ezek csak az időszak végére hódították meg a vizeket.

A triász időszakban Pangea szuperkontinens több kisebb kontinensre esett szét. Ez biocönotikus krízissel járó felmelegedéshez vezetett, ami sok faj – ősi kétéltűek, theriodontiák és más állatok – kihalását idézte elő.

Milyen események zajlottak a jura időszakban?

A *jura időszakra* (206–144 millió évvel ezelőtt) főként mérsékelt éghajlat volt jellemző. Ebben az időszakban sok sekély tenger volt (43.3. ábra). A tengerekben korallzátonyok és -szigetek voltak. Az időszakot jelentős vulkáni aktivitás jellemezte. A szárazföld nagy területeit nedves erdők borították, ezekben a tűlevelű növények új családjai – ciprusfélék és fenyőfélék – jelentek meg.

Ekkortól ismertek a kovamoszatok, amelyeknek a páncélját SiO_2 borította. A tengerekben igen elterjedtek voltak a fejlábú puhatestűek, amelyek a kalmá-

43.3. ábra. *A Föld térképe a jura időszak kezdetén*

43.4. ábra. *A jura időszak állatai: 1 – belemnitek; 2 – krokodilok; 3 – brontosaurus; 4 – plesiosaurus; 5 – alosaurus; 6 – emlős; 7 – diplodoccus; 8 – stegosaurus; 9 – rhamphorhynchus*

rokra emlékeztettek. Megkövesedett maradványaikat belemniteknek nevezik (43.4., 1. ábra). Léteztek ekkor már valódi kalmárok és tintahalak is.

A jura időszakra jellemző, hogy a hüllők meghódították a levegőt és a tengereket. Ismeretesek halevő teknősök. A krokodilok víziállatokká válnak; az édesvizeken kívül benépesítették a sós vizeket is (43.4., 2. ábra), s ennek folytán egyes tengeri fajok hossza elérte a 15 métert. Elterjedtek a tengeri ragadozó hüllők, a plesiosaurusok (43.4., 4. ábra) és az előző időszak végén megjelent

A *pterosaurusoknak* vagy repülő hüllőknek a mai madarakhoz hasonlóan üreges csontjaik, tarajos szegycsontjuk, vékonycsontú, könnyű koponyájuk volt. Csőrre emlékeztető állkapcsaikon apró fogak voltak vagy szaru fedte őket. A mai denevérekhez hasonlóan a repülő hüllők szárnya bőrhártyából állt, amely a mellső és hátsó végtagok között feszült. A bőrhártya a mellső végtag erősen meghosszabbodott ötödik ujjához (a kisujjhoz) volt hozzánőve (43.4., 9. ábra).

A dinoszauruszok igen sokfélék voltak. Főleg a növényevők négy lábon jártak. Közöttük voltak erős törzsű, hosszú farkú 20–30 méteres példányok is. Ezek a Föld történetének leghatalmasabb szárazföldi állatai (43.4., 3., 7. ábra). A mai Észak-Amerika területén élt a lemeztaréjos ősgyík, a *stegosaurus* (43.4. 8. ábra), amelynek hátán két sorban merőleges csontlemezek voltak. Azt feltételezik, hogy ezeken a csontlemezeken át távozott a fölösleges hő az állat testéből.

A jura időszak egyes dinoszauruszai hátsó végtagjukon jártak, mellső végtagjuk megrövidült. Képviselőik közt voltak apró állatok, amelyek tömege nem haladta meg az 1–2 kg-ot, és előfordultak 12 méteres ragadozók is (43.4., 5. ábra).

Egyes fajok a mérsékelt égövben éltek ezért azt valószínűsítik, hogy állandó testhőmérsékletük volt. Erre a tolltakaró meglétéből lehet következtetni, mint például az *archaeopteryx* vagy gyíkmadár esetében (43.4., 5. ábra).

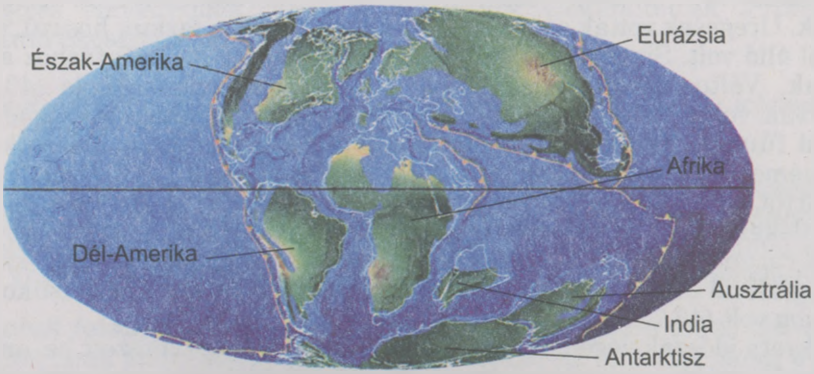
A jura időszak második felében megjelentek a maiakhoz közeli farkatlan és farkos kétéltűek. Az időszak végén erősen megemelkedett a világóceán szintje, s ez az éghajlat felmelegedéséhez és bioszféra-krízishez vezetett. Ennek következtében alakultak ki a következő kréta időszak ökoszisztémái.

Hogyan fejlődött az élet a kréta időszakban?

A *kréta időszak* (137–65 millió évvel ezelőtt) onnan kapta a nevét, hogy a tengerekben a fenéklakók mellett megjelentek, elterjedtek és nagy tömegben elszaporodtak az egysejtű algák, a *haptophyták*. állatok. Mészanyagú vázuk maradványaiból keletkeztek a kréta- és mészkőlerakódások. Az időszak kezdetén Godwana szuperkontinens részekre esett szét. Az egyenlítőtől délre jött létre Dél-Amerika, Afrika, India, Ausztrália és Antarktisz (43.5. ábra). Az időszak végére tovább nőtt a tengerek vízfelülete, s a kontinensek jelentős távolságokra szakadtak szét egymástól. Nagyjából kialakult a Csendes-, Atlanti-, Indiai- és Északi-Jeges-óceán.

Az időszak első felében a szárazföldi növényvilágban a nyitvatermők – cikászok, ginkgók, bennettitesek, tűlevelűek és páfrányok – uralkodtak (43.5. ábra). Jelentős faji változatosságra tettek szert a farok nélküli pterodactylusok, amelyek szárnyfesztávolsága 10 cm és 12 méter között mozgott. A szárazföldön továbbra is a dinoszauruszok uralkodtak, sokuknak nagyon félelmetes volt a külseje. Madármaradványok ebből az időszakból nem maradtak fenn, míg a meglehetősen változatos képet mutató emlősök ugyanazokba a rendekbe tartoztak, mint a jura időszakban. Ismeretesek viszont az első tojásrakó emlősök maradványai.

Az időszak közepén bioszféra-krízis következett be, amelyet nem éghajlatváltozás, hanem biotikus tényező, a zárvatermő növények megjelenése váltott ki. Ezek fás, rovarporozta növények voltak (magnóliák, babérfélék). A kettős megtermékenyítésnek és a rovarmegporzásnak köszönhetően a zárvatermők megsemmisítették azokat az ökoszisztémákat, amelyek alapját a nyitvatermők képezték.



43.5. ábra. *A Föld térképe a kréta időszak kezdetén*

43.6. ábra. *A triász időszak (kezdet): 1 – táj; 2 – pteranodon; 3 – polacanthus; 4 – iguanodon; 5 – amargosaurus; 6 – tojásrakó emlős*

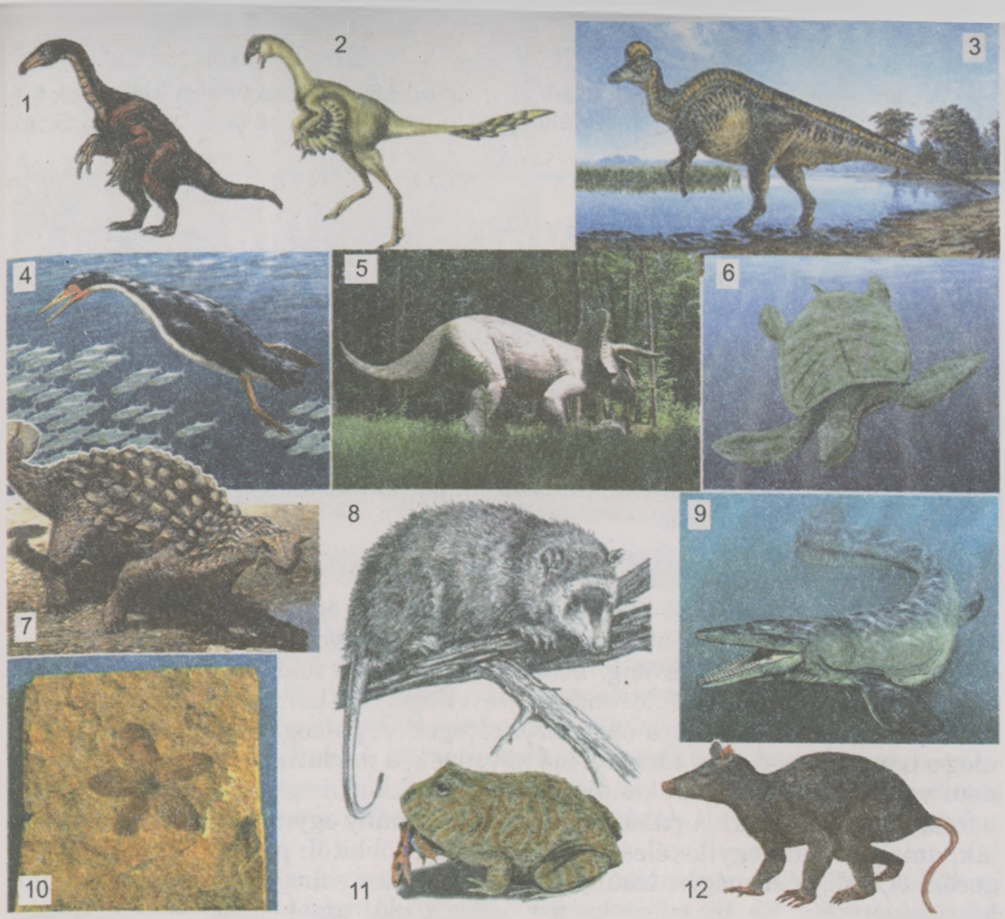
A kréta időszak második felében új biogeocönózisok jöttek létre, ezek alapját fás, rovarmegporzásos (magnólia, babér), később szélmegporzásos (tölgy, bükk, nyír) növények képezték. Viharos gyorsaságú a virágos növények és az ezeket megporzó rovarok, köztük a méhek, nappali lepkék és legyek kapcsolt evolúciója.

Ez idő tájt jelentek meg a madarak, amelyek együtt léteztek más repülő gerincesekkel – a pterosaurusokkal és a denevérekkel. A fogas madarak alosztályának képviselői abban különböztek a többi madártól, hogy apró fogak voltak az állkapcsaikon. A szarucsőrű szegycsonttarajos madarak (a mai viharmadarak, sirályok és lilealakúak) az időszak második felében szintén a vízhez kötődtek.

A kréta időszak második felétől ismertek mind erszényes (43.7. ábra), mind méhlepényes emlősök, de ezek méretei általában kicsik voltak.

A dinoszauruszok egy része alkalmazkodott az új körülményekhez, fajgazdagságuk jelentősen megnőtt. Közülük egyesek négy lábon jártak, ám a mellső végtagjaik számottevően visszafejlődtek, s csak a zsákmány megtartására voltak alkalmasak (43.7. ábra). A struccra emlékeztető dinoszauruszok és az avimimus (43.7., 2. ábra) testarányaikban és méreteikben a struccra hasonlítottak. Üregesek voltak a csontjaik és a csőrük, ám a farkuk hosszú, sok csigolyából álló volt. Sivatagos síkságokon éltek, ezért a gyors futáshoz alkalmazkodtak. Változatosak voltak a növényevő dinoszauruszok is (43.7. ábra), közöttük voltak hosszú lábúak, fák koronájával táplálkoztak. A négylábúak főként fűnemű növényeket ettek. Ez idő tájt a tengerekben óriásteknősök éltek, némelyikük páncélja elérte a 4 méter hosszúságot (43.7. ábra). Sajátságos csoportot alkottak a pikkelyes hüllők (*mosasaurusok*), a mai varánusz gyíkokra emlékeztettek, az időszak végén élték virágkorukat a tengerekben. Ezeknek a ragadozóknak a hossza 3 és 21 méter között mozgott, két uszonyszerű végtagjukkal és megnyúlt farokuszonyukkal úsztak. Az állkapcsukon sok hegyes fog volt (43.7. ábra).

A kréta időszak végén egy újabb bioszféra-krízis következett be, amit a kontinensek további süllyedése idézett elő. Az éghajlat igen nedvessé vált, s ez a száraz vagy mérsékelten nedves tájak biogeocönózisainak eltűnéséhez veze-



43.7. ábra. *A kréta időszak második felének szervezetei:*
1 – stegnosaurus; 2 – avimimus; 3 – corythosaurus; 4 – hesperornis; 5 – triceratops; 6 – archelon óriásteknős; 7 – ankylosaurus; 8 – rovarevő emlős; 9 – tylosaurus tengeri óriásgyík; 10 – zárvatermő növény virágának lenyomata; 11 – óriásbéka a kréta időszak végéről; 12 – erszényes emlős

tett, de kipusztult sok rovarcsoport, fogas csőrű ősmadár, dinoszaurusz, repülőgyík, egyes emlősrendek. Ezek a változások előkészítették a talajt a kainozoikum ökoszisztémáinak kialakulásához.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Mezozoikum, dinoszauruszok, ichthyosaurus, plesiosaurus, pterosaurus.*

Ismétlő kérdések 1. Az állatok és növények milyen rendszertani csoportjai jelentek meg a mezozoikumban? 2. Mi a lényege a rovarok és zárvatermő növények kapcsolt evolúciójának? 3. Milyen hüllőcsoportok uralkodtak a mezozoikum különböző szakaszaiban? 4. Mit tudtok a mezozoikum emlőseiről?

Bonyolult feladat. Gondolkozzatok el azon, hogy igaz-e az állítás, amely szerint a madarak kiszorították a pteroszauruszokat, az emlősök pedig a dinoszauruszokat!

44. §. AZ ÉLET EVOLÚCIÓJA A KAINOZOIKUMBAN

A paragrafus tananyagának eredményesebb elsajátítása végett idézzétek fel: milyen fajok tartoznak az emberfélék (hominidák) családjába (a 9. osztályos *Biológia* tankönyv alapján)?

Mi jellemző a kainozoikumra?

A ***kainozoikum*** *(újidő)* közel 65 millió évvel ezelőtt kezdődött és napjainkban is tart. Az azóta eltelt időben kialakult a domborzat, a szárazföld és a vizek fokozatosan elnyerték mai alakjukat, létrejöttek az éghajlati övek. Ezt a kort a zárvatermők, madarak és emlősök viharos adaptív radiációja jellemezte; a bioszférában összességében az ízeltlábúak dominálnak, a vízi ökoszisztémákban az algák és puhatestűek. Közel 300 ezer évvel ezelőtt jelent meg az ember. Gazdasági tevékenységének következményei az evolúció meghatározó tényezőjévé válnak. A kainozoikumban megkülönböztetnek paleogén, neogén és antropogén időszakokat.

Hogyan fejlődött az élet a paleogén időszakban?

A *paleogén időszak* (65–23 millió évvel ezelőtt) éghajlata általában meleg volt, habár a korszakok határán jelentős lehűlések voltak a kontinensek részleges eljegesedésével bezárólag. Többször változott a földkéreg, amit hegyképződés, vulkánkitörések, földrengések, a világóceán szintjének változásai kísértek. Ekkor keletkeztek a barnaszénrétegek. A paleogén időszakban jelenik meg a barnamoszatok, a zárvatermő növények, a madarak és az emlősök majdnem valamennyi jelenkori rendje. A tűlevek akkor megkövesedett gyantája a borostyán (44.1. ábra). A paleogén időszakot néhány egymás követő korra osztják, amelyek mindegyike élesen különbözik a többitől: paleocén, eocén és oligocén. Az oligocén végén lesüllyedt a világóceán szintje, és jelentős lehűlés következett be. Ez bioszféra-krízist idézett elő, amely után elkezdődött a neogén időszak.

A paleocén kor (65–56 millió év) volt a legmelegebb és a legnedvesebb szakasz. A szárazföldön túlsúlyban voltak azok a biogeocönózisok, amelyek alapját zárvatermő fák (bükk és tölgy), nyitvatermők (ciprusfélék, fenyőfélék, ginkgófélék) és magasabbrendű spórások alkották. Ezek maradványai a vízfenékre kerülve, az iszap alatt, anaerob feltételek mellett az évmilliók során barnaszénné alakultak.

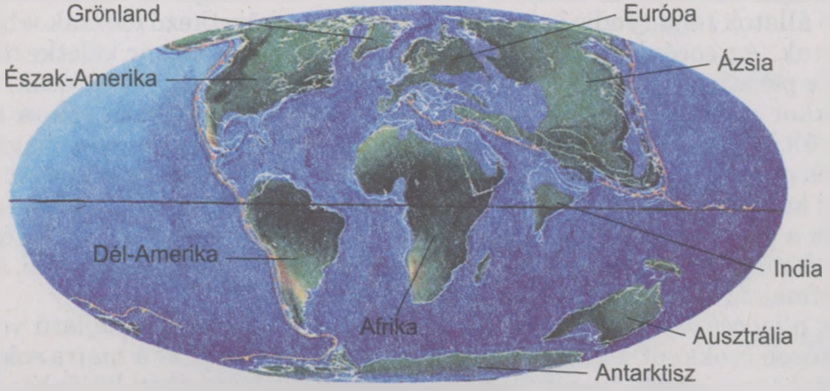
A tengerekben és édesvizekben a csontos halak jelentős fajgazdagsága alakult ki. Ismertek a mai madarak sok rendjének képviselői, valamint óriási méretű, de nem repülő madarak (44.2., 1. ábra). Egymás mellett élnek a tojásrakó, erszényes és méhlepényes emlősök (44.2., 2–4. ábra), köztük rovarevők, főemlősök és több kihalt rend. A paleocén patás emlősei több rendbe tartoztak, de ezek egyike sem maradt fenn napjainkig. Ilyen állatok voltak a *condylarthra* őspatások (44.2., 5. ábra). A *Creodonta* rendbe főként ragadozó fajok tartoztak (44.2. ábra). A ***mesonychidae*** rendbe ragadozó fajok tartoztak, amelyeknek patáik voltak. A külsejük a kutyákéra emlékeztetett (44.2. ábra), a hosszuk egy-két méter között ingadozott.

44.1. ábra. *Borostyán*

44.2. ábra. *A paleogén időszak állatai: 1 – diatryma fiókákkal; 2 – emlősök; 3 – plesiadapis (a főemlősök legrégibb képviselője); 4 – dissacus; 5 – condylarthra; 6 – trisodon*

Az *eocén korban* (56–34 millió évvel ezelőtt volt) minden kontinenst és nagy szigetet (Észak- és Dél-Amerika, Grönland, Európa, Ázsia, India, Afrika, Ausztrália és Antarktisz) tengerek választottak el egymástól (44.3. ábra). Az örökzöld, babérféle, mirtuszféle, pálmaféle növényekből álló szubtrópusi és trópusi erdők domináltak. A zárvatermők benépesítik az édesvizeket, s ez lényegesen megváltoztatta a folyók és tavak ökoszisztémáit, ekkor jelennek meg a másodlagos vízi rovarok, köztük poloskák, bogarak. Jelentős területeket foglalnak el a sztyeppék.

Az eocén változatos gerinctelen tengeri faunájára igen jellemzők voltak az időszak elejéről ismert jelentős méretű likacsoshéjúak (44.4., 1. ábra). A krokodilok főként az édesvizekben voltak honosak. Az eocénből ismert a madarak több mint 80 családja. Ezek 12 ma is élő rendhez tartoztak. Dél-Amerikában megtalálták a szegycsonttaraj nélküli, a mai afrikai struccokhoz közeli madarak maradványait. Az időszak végén a déli féltekén megjelentek a pingvinek. Az ez idő tájt élt, ma már kihalt ragadozó patások rendjének képviselői közül



44.3. ábra. *A Föld térképe az eocén kor közepén*

44.4. ábra. *Az eocén kor szervezetei: 1 – likacsoshéjú ásatag váza; 2 – basilosaurus; 3 – brontotherium; 4 – hyracotherium (a lófélék első képviselője); 5 – diacodexis (párosujjú patás); 6 – barytherium (elefánt); 7 – indricotheriumok (szarv nélküli orrszarvúk); 8 – mezohippus (háromujjú ősló); 9 – proteopithecus (az első rövidfarkú cerkófmajom); 10 – palaeolagus (nyúl); 11 – proailurus; 12 – paleomastodon (ormányos állat); 13 – hyaenodon; 14 – prodryas (lepke); 15 – Zaocys carinatus*

több tengeri életmódra tért át, belőlük alakultak ki a fogascetek, amelyeknek egyes fajai elérték a 25 méteres hosszúságot. Az elszigetelt Dél-Amerikában a fűevő állatok több rendje is megjelent, de ezek a következő időszakokban mind kihaltak. Az eocénből sok ragadozó emlősfaj ismert. Ekkor keletkeztek a különféle páratlan ujjú patások, az ormányosok és a páros ujjú patások.

Ekkor alakultak ki a sztyeppék. Megjelentek az ormányosok, a mai orrszarvúk és a lovak ősei. A párosujjú patásoknak jelentős volt a formagazdagságuk és méretbeli változatosságuk (0,5 métertől 3–4 méterig). Közöttük voltak a mai kérődzők, sertések és vízilovak elődei. Észak-Amerika területén megjelentek a mai tevék és lámák korai ősei. Összességében az időszak végéről ismertek majdnem az összes mai méhlepényes emlősrendek képviselői, köztük a cerkófmajom-félék (44.4. ábra).

Az *oligocén kor* (34 – 23 millió évvel ezelőtt) zordabb éghajlatú volt, mert jelentősen csökkent a világóceán szintje. Ekkor alakult ki a maira sokban emlékeztető természeti övezetesség. A mérsékelt égöv erdeiben különböző tűlevelű és zárvatermő fák voltak honosak, köztük a nyír, éger, juhar, tölgy, nyár. A

szubtrópusi és trópusi erdők (beleértve a mai Ukrajna területén növőket is) szintén tűlevelű (jegenyefenyő, erdeifenyő, cédrus, lucfenyő, mamutfenyő, ciprus) és zárvatermő (datolyapálma, bükk, gesztenye) fák nőttek. Jelentős területeket borítottak a sztyeppék.

Az oligocénből ismert a mai rovarrendek többsége (44.4. ábra). Megjelentek az ormányosok, nyúlalkatúak és több más méhlepényes (44.4. ábra). A ragadozók között voltak sok ma is létező és kihalt családok képviselői (44.4. ábra). A ragadozók egy része meghódította a vizeket, belőlük fejlődtek ki az úszólábúak. Afrika északi részéről ismertek a keskenyorrú, míg Dél-Amerikából a *szélesorrú majmok* (44.4. ábra).

A paleogén időszak végén felemelkedett a szárazföld, hegységképző folyamatok kezdődtek. Mindez bioszféra-krízist eredményezett, elkezdődött a következő időszak, a neogén kialakulása.

Hogyan fejlődött az élet a neogén időszakban?

A paleogén időszak végén hegységképző folyamatok kezdődtek. Kialakultak az Alpok, a Pireneusok, Görögország és a Krím hegyei, a Kaukázus, a Himalája, a Kordillerák és az Andok. Mindez bioszféra-krízist eredményezett, amelynek következtében kihalt a paleogén időszakra jellemző állatok és növények sok csoportja, és kialakultak a következő időszak, a neogén biogeocönózisai.

A *neogén időszak* (23–2,6 millió évvel ezelőtt) két korból áll: a korai *miocénből* (23–5,3 millió évvel ezelőtt) és a késői *pliocénből* (5,3–2,6 millió évvel ezelőtt). Ebben az időszakban alacsony volt a világóceán szintje, befejeződött a mai hegyrendszerek kialakulása (az Alpok, a Pireneusok, Görögország és a Krím hegyei, a Kaukázus, a Himalája, a Kordillerák és az Andok), meglehetősen zord lett az éghajlat, a természeti övezetesség élesen elkülönülő volt, bekövetkezett néhány eljegesedés az északi és a déli féltekén. A jegesedési és a közöttük lévő időszakok váltakozása többször migrációra kényszerítette a növényeket és állatokat. A jegesedési időszakokban a melegkedvelő fajok az egyenlítő térségébe szorultak, majd a köztes időben ismét dél és észak felé terjeszkedtek. Például mintegy 12 millió évvel ezelőtt jég borította Dél-Amerika egy részét (Patagóniát), az Antarktiszt (napjainkig jég borítja), Új-Zélandot, majdnem egész Ausztráliát (44.5. ábra). Mindez gyakran okozott helyi és globális biogeocönotikus kríziseket, ami bizonyos szervezetek rendszertani csoportjainak tömeges kihalásával és más csoportok megjelenésével járt együtt.

44.5. ábra. *A Föld térképe a neogén időszak közepén*

44.6. ábra. *A neogén időszak állatai: 1 – titanis; 2 – megalodon; 3 – cuvieronius; 4 – alticamelus (neocén kori teve); 5 – pelenken; 6 – syndioceras; 7 – megistotherium; 8 – hipparion; 9 – thylacosmilus; 10 – machairodus; 11 – leviathan – a miocén kori óceánok óriás ámbráscetje; 12 – epigaulus (szarvas rágcsáló)*

Az időszak végére a fauna és a flóra nagyjából a maihoz hasonlított, ami a fajokban és részben a nemekben mutatkozott meg. A miocénben megjelent a mai zárvatermők, rovarok, puhatestűek, madarak és emlősök családjainak többsége. Ismeretesek az afrikai struccok maradványai, a repülni nem tudó madarak lettek a legnagyobb méretű ragadozók Dél-Amerika sztyeppéin (44.6. ábra). A tengerek élővilága alig különbözött a maitól, jóllehet a neogénben élték virágkorukat a *megalodon* óriáscápák (44.6. ábra). A miocén végén az Észak-Amerika és Európa közötti földszoros lehetővé tette a növény- és állatvilág elemeinek kölcsönös cseréjét. Észak-Amerikában megjelennek az ormányosok, Európában és Ázsiában a háromujjú ősló, a *hipparion* (44.6. ábra). Ez igen elterjedt volt Európában, így a mai Ukrajna területén is. Ezekről az állatokról nevezték el az akkori idők sztyeppei állatvilág specifikus együttesét, a hipparion faunát.

A *miocén korban* hegyképző folyamatok játszódtak le. Európa északi részében és Észak-Amerikában elterjedtek voltak a sztyeppék és a mérsékelt égövre jellemző tűlevelű és lombos erdők. Előfordultak szubtrópusi és trópusi éghajlati övezetek is. Egyes erszényes emlősök jelentős méreteket értek el (44.6. ábra). A kor lerakódásaiban ismeretesek különböző rágcsálók (44.6. ábra), masztodonok, disznók, antilopok, szarvasok (44.6. ábra), különböző ragadozók (44.6.

ábra), cetfélék (44.6. ábra) maradványai. A miocén kezdetén Kelet-Afrikában megjelentek az első emberszabású majmok, amelyek elterjedtek Európában (driopithecusok) és Ázsiában (ramapithecusok). Az utóbbiakat tartják a mai orángutánok őseinek, az előbbiek kihaltak.

A *pliocén korból* ismertek az amerikai nanduhoz és az ausztrál emuhoz hasonló, szegycsonttaraj nélküli állatok maradványai. A hipparionok, masztodonok, elefántok és párnástalpúak jelentős fajgazdagságot értek el. Sok macskaféle felső szemfogai annyira nagyok voltak, hogy kiálltak az állat szájából. Ezek gyűjtőneve: „kardfogú macskák". Legnagyobb testűek a kardfogú tigrisek voltak. A kor végén Dél-Amerika a panamai földnyelvvel összekapcsolódott Észak-Amerikával, ezáltal faunáik egy része kicserélődött, s a hatalmas, repülni nem tudó daruk (44.6. ábra) elterjedtek Észak-Amerikában. Észak-Amerikának stabil volt az élővilága, ezért a dél-amerikai fajok többsége itt nem honosodott meg, mindössze öt maradt meg közülük. Dél-Amerikában ugyanakkor biocönotikus krízis következett be az Andok kialakulásának befejeződése következtében. Ezért a jelenlegi méhlepényes emlősök nemeinek közel 50%-a ezen a kontinensen észak-amerikai migránsok utóda. Ez a jelenség a „nagy csere" elnevezést kapta, a folyamatot az ismert amerikai zoológus, George Gaylord Simpson a XX. sz. 40–70-es években kutatta.

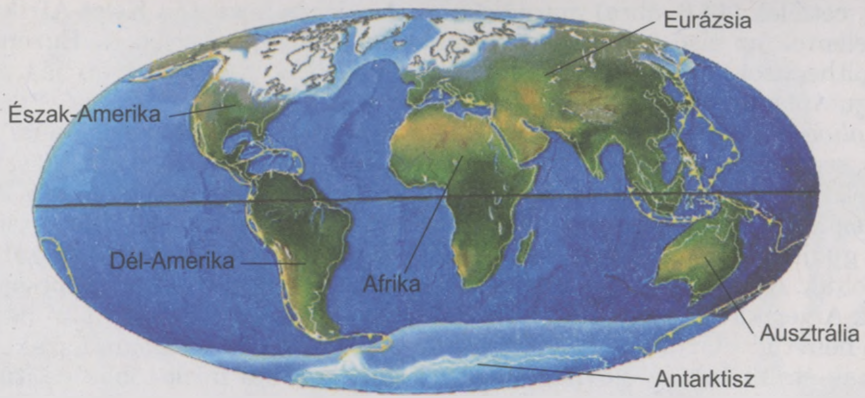
Az emberfélék (Hominidae) családjába tartozó primitív lények egyes közeli fajainak 4–5 millió éves ásatag maradványait megtalálták Kelet-Afrikában. Ezeket australopithecusoknak nevezik. A neogén időszak végén felerősödtek a hegyképző folyamatok, az északi félteke részben eljegesedett, ennek következtében megváltozott az éghajlat, és újabb bioszféra-krízis következett be. Teljesen eltűnt a hipparion fauna, jelentősen csökkent az ormányosok fajgazdagsága.

Milyen események játszódtak le az antropogén időszakban?

Az ***antropogén időszak*** (2,6 millió évvel ezelőtt kezdődött és máig tart) két korra, *pleisztocénre* (11 ezer éve ért véget) és *holocénre* tagolódik. A pleisztocén végén az északi félteke eljegesedése következtében jég alá kerül majdnem egész Észak-Amerika, Európa és Ázsia jelentős része. Ennek eredményeként Észak-Amerikában teljesen kihaltak a patások és sok más állatcsoport. A mai lovak, a szamár és a zebra ősei a mai Behring-szoros helyén akkor meglévő földszoroson át Észak-Amerikából Ázsiába, majd idővel Európába és Afrikába vándoroltak.

Közel 1,7 millió évvel ezelőtt kihaltak az australopithecusok. Körülbelül ebben az időben jelent meg Kelet-Afrikában ismeretlen elődöktől az egyenes járású ember (Homo erectus. *A ford.)* aki már használt bizonyos eszközöket és ismerte a tüzet. Később ez a faj betelepült Ázsiába. Különböző földrajzi populációi *pithecanthropus*, *sinanthropus* és más neveken ismertek. Legalább 300 ezer éve kihaltak. Ebben az időben jelent meg az *értelmes ember* (Homo sapiens*).* Két alfaja volt, a neandervölgyi ember és a Cro-Magnon-i ember (az utóbbi közelebbi a mai emberhez).

A *pleisztocénben* öt jegesedés történt (44.7. ábra), Észak-Amerikában kihalt az összes patás és sok más állat. Az északi félteke hatalmas térségeit tundra borította. Az itteni biogeocönózisok nagyrészt zárvatermő fűnemű növényekből, mohákból és zuzmókból álltak. A tundra jellegzetes emlősei voltak: a lemmingek (rágcsáló faj), a rénszarvas és a pézsmatulok (napjainkig fennmaradtak), valamint a mára kihalt, hosszú szőrű ormányos, a mamut, a gyapjas orrszarvú, az óriásszarvas, a barlangi medve és a smilodon (44.8. ábra). Ekkor

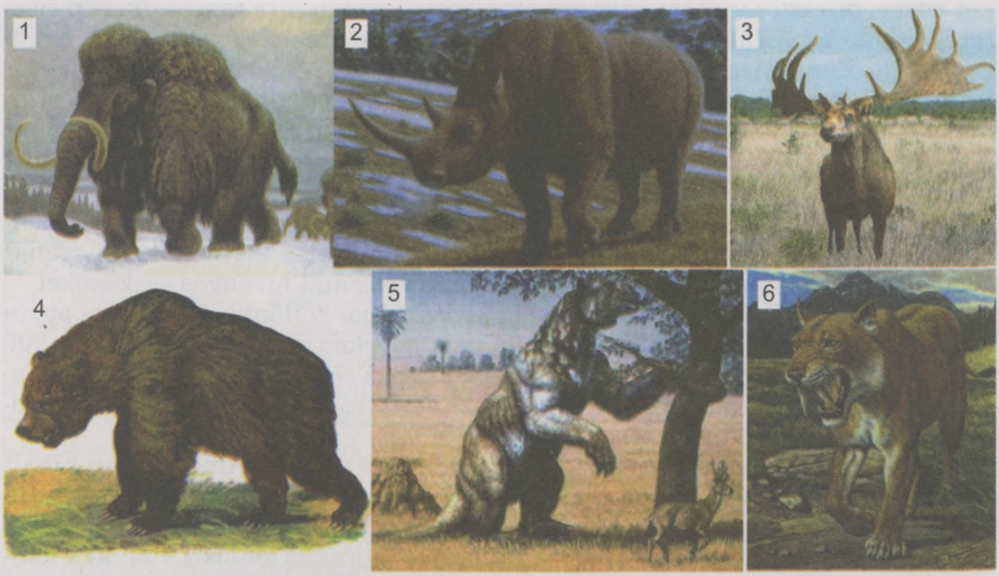


44.7. ábra. *A Föld térképe az utolsó eljegesedés idején*

kezdődött az ember aktív gazdasági tevékenysége: vadászat, földművelés, állattenyésztés.

A *holocén* idején a Cro-Magnon-i ember elterjedt az egész világon, kialakultak a rasszok (földrajzi populációk). Ekkor alakulnak ki a szárazföldek mai körvonalai, a víztárolók, a földrajzi övezetek. Körülbelül 5–6 ezer éve alakultak ki az első államok és városok, míg a nagy ipari komplexumok a XIX. században jönnek létre.

Az emberi tevékenység mára ***vezető evolúciós tényező*** lett. Az erdők kiirtásával, a sztyeppék felszántásával, víztárolók létesítésével, települések, ipari központok, agrocönózisok kialakításával biogeocönózisokat semmisít meg, megváltoztatja a levegő összetételét, ipari hulladékokkal szennyezi a talajt és a vizeket.



44.8. ábra. *A pleisztocén állatai: 1 – mamut; 2 – gyapjas orrszarvú; 3 – óriásszarvas; 4 – barlangi medve; 5 – megatherium (óriáslajhár); 6 – smilodon (kardfogú macska)*

44.9. ábra. *Az utóbbi 300 év során kipusztult fajok: 1 – tarpán – vadló; 2 – Steller-tengeritehén; 3 – Przewalski-ló; 4 – őstulok (sziklarajz); 5 – elefántmadár; 6 – moa; 7 – dodó – röpképtelen madár*

A nagy fajgazdagságú stabil ökoszisztémák helyett az ember olyan erdőültetvényeket és elenyésző fajszámú agrocönózisokat létesít, amelyek képtelenek az önszabályozásra. Ez az ökológiailag plasztikus növényevő állatfajok – belőlük lesznek a növényi kártevők – és gyomnövények inkoherens evolúcióját eredményezi. A háziállat- és emberi populációk számának növekedése elősegíti élősködőik evolúcióját. Az ilyen tevékenység a bioszféra destabilizálódásához, beláthatatlan következményekkel járó kríziséhez vezet, s ez katasztrofális következményekkel jár bolygónk egész természetvilágára nézve, beleértve az antropogenizált mezőgazdasági és iparvidékeket is.

Az utolsó 2–3 ezer évben az antropogén tényező miatt több százezer faj pusztult ki, s ezek többségét a tudomány fel sem fedezte. Csak az utóbbi 300 évben Európában kiirtották az őstulkot, a tarpán vadlovat, Kamcsatka partvidékén a Steller-tengeritehén emlőst, Mongóliában a Przewalski-lovat, Madagaszkáron a röpképtelen elefántmadarak 8 faját, Új-Zélandon a moa szegycsont nélküli madarak 20 faját, a röpképtelen dodók 3 faját a Mascarene-szigeteken az Indiai-óceánban (44.9. ábra). Napjainkban a rovarfajok 20%-át, a kétéltű és hüllőfajok 80%-át, a madár- és emlősfajok 30%-át fenyegeti a teljes kipusztulás.

A faji sokféleségnek az ember gazdasági tevékenysége és az értékes fajok direkt pusztítása miatt bekövetkező csökkenése destabilizálja és felbomlasztja a biogeneocönózisokat.

Következésképpen: az ökológiai katasztrófa veszélye csak úgy hárítható el, ha az ember azonnal a természettel harmonizáló gazdasági tevékenységre tér át. Az egyes természetvédelmi intézkedések az emberiség gyökeres szemléletváltozása és gazdálkodási módszereinek megváltoztatása nélkül csak elodázhatják a veszélyt.

Új szakkifejezések és fogalmak. *Kainozoikum, australopithecus, neandervölgyi ember, Cro-Magnon-i ember.*

Ismétlő kérdések. 1. Hogyan jellemezhető a Föld faunája és flórája a kainozoikumban? 2. Milyen fontos evolúciós események történtek a paleogén időszakban? 3. Milyen fontos evolúciós események történtek a neogén időszakban? 4. Milyen fontos evolúciós események történtek az antropogén időszakban?

Bonyolult feladat. Gondolkozzatok el rajta, milyen tényezők hatására alakulnak ki az emberi betegségek újabb kórokozói!

TEMATIKUS TUDÁSSZINTMÉRÉS

I. A megadott válaszok közül válasszátok ki az egy helyest:

1. Nevezzétek meg az élő szervezetek változatlanságáról szóló nézetek rendszerét: a) evolúciós elmélet; b) pánspermia hipotézis; c) kreacionizmus; d) adaptációs kompromisszum hipotézise; e) megbontott egyensúly hipotézise!

2. Mondjátok meg, hogy nevezik az élet élettelen anyagból való keletkezésének hipotézisét: a) biogén; b) abiogén; c) pánspermia; d) kreacionizmus!

3. Nevezzétek meg azt a tudóst, aki kidolgozta az élet biokémiai (abiogén) keletkezésének hipotézisét: a) Arrhenius és Vernadszkij; b) Oparin és Haldane; c) Pasteur és Wirchow; d) Haeckel és Tyimirjazev!

4. Jelöljétek meg az első szárazföldi biogeocönózisok kialakulásának időszakát: a) szilur; b) kambrium; c) ordovícium; d) devon!

5. Nevezzétek meg az emlősök őseit: a) dinoszauruszok; b) kardfogú gyíkok; c) bojtosúszós halak; d) krokodilok!

6. Jelöljétek meg az értelmes ember megjelenésének időszakát: a) jura; b) kréta; c) paleogén; d) neogén; e) antropogén!

II. Megfelelési feladat.

1. Állapítsátok meg a megfelelést a bioszféra történelmi fejlődésének korszakai és időszakai között:

Korszak	Időszak
A. Proterozoikum	1. Neogén
B. Paleozoikum	2. Devon
C. Mezozoikum	3. Kréta
D. Kainozoikum	4. Vend
	5. Archaikum

2. Határozzátok meg, melyik a földtörténet melyik korszakában jöttek létre a szervezetek alábbi csoportjai:

Korszakok és időszakok	Szervezetek csoportjai
A. Triász időszak a Mezozoikumban	1. Ragadozók rendje
B. Jura időszak a Mezozoikumban	2. Australopithecus
C. Kréta időszak a Mezozoikumban	3. Archaeopteryx
D. Paleogén a Kainozoikumban	4. Dinoszauruszok
E. Neogén a Kainozoikumban	5. Zárvatermők
	6. Csontoshalak

III. Nyitott kérdések.

1. Miért tekintik a kardfogú gyíkok egyik csoportját az emlősök lehetséges őseinek?

2. Ismeretes, hogy vannak elsődleges víziállatok (elődeik soha nem hagyták el a vizes közeget) és másodlagos víziállatok (elődeik visszatértek a vízi életmódhoz). Hogyan bizonyítható, hogy az olyan állatcsoportok, mint a cetfélék, tengeri teknősök vagy a kígyók másodlagos víziállatok?

3. A Föld történetének melyik korszakában alakultak ki a bioszféra jelenlegi határai és miért?

4. Hogyan bizonyítható, hogy az élet vízben keletkezett? Feleleteteket indokoljátok meg!

5. Milyen feltételek tették lehetővé, hogy a szervezetek áttérjenek a szárazföldi életmódra?

6. A korszerű evolúciós elméletek szempontjából mivel magyarázható a fajok kihalása az evolúció ember előtti folyamatában?

ÖSSZEFOGLALÁS

Az élet lényegének kérdése, keletkezésének problémája régóta foglalkoztatja a biológia tudósait, filozófusokat, és általában a gondolkodó embert. A biológiai tudományok, a génsebészet, az elektronmikroszkópia, a számítástechnika rohamos fejlődésének dacára, az élet lényege mindmáig talány az emberiség számára. A legkorszerűbb tudomány sem képes még a legegyszerűbb élő szervezetet sem létrehozni, nem ismerjük az öregedés és a halál valódi okait, az élet keletkezésének lényegét. Ezért az élet mindmáig leíró jellegű, csupán alapvető formáinak és tulajdonságainak felsorolását foglalja magába. Ezek közül a legfontosabbak a következők.

1. ***Az élő szervezetek ugyanazokból a kémiai elemekből állnak, mint az élettelen testek.*** Az élettelen természettel ellentétben a kémiai elemek százalékos aránya valamennyi élőlényben majdnem azonos. A négy ***organogén elem*** (a szén, az oxigén, a hidrogén, a nitrogén) az élő szervezetek biomasszájának 98%-át teszi ki, körülbelül 1,9% jut a nyolc ***makroelemre*** (foszfor, kén, klór, kálium, nátrium, kalcium, magnézium, vas) és csupán 0,1% azoknak a kémiai elemeknek a mennyisége, amelyeket ***mikroelemeknek*** (alumínium, réz, cink, molibdén, kobalt, nikkel, stroncium, jód, stb.) nevezünk.

2. ***Az élőlények főként óriásmolekulájú szerves vegyületekből vannak felépítve,*** melyek közül legfontosabbak a fehérjék, a nukleinsavak, a szénhidrátok és a lipidek, valamint ***szervetlen anyagokból,*** közöttük kivételes szerepe van a víznek (jelenléte az élő szervezetekben elérheti a 60-90%-ot).

3. ***A biológiai rendszerek létezésének elengedhetetlen feltétele a környezettel való anyag-és energiacsere.*** Ennek két oldala, az asszimiláció és a disszimiláció egymást kiegyensúlyozva biztosítják az élő rendszerek összetételének és tulajdonságainak állandóságát (***homeosztázisát***). Ez az alapja az élő rendszerek ***önszabályozó képességének.***

4. ***Az élő anyagot az egymással szorosan összefüggő különböző szerveződési szintek jellemzik:*** molekuláris szint, sejtszint, szervezeti szint, fajipopulációs szint, biogeocönotikus és bioszféra szint. Mindegyik szint egyes összetevői kölcsönhatásainak integrációja csökken az alacsonyabb szinttől a magasabb szintig.

5. ***Az élő anyagot az elkülönült részekből való felépítés jellemzi (diszkrét jelleg).*** Ez azt jelenti, hogy bármelyik szerveződési szintjén vannak szerkezeti egységek: molekulák, sejtek, szervezetek, populációk, fajok, biogeocönózisok.

6. ***Az élő szervezetek képesek a szaporodásra, növekedésre és egyedfejlődésre.*** Az élet folytonosságát az ***életciklusok*** biztosítják. A szaporodásmódok sokfélesége ellenére valamennyi új sejt és szervezet kizárólag az anyasejtekből keletkezik.

7. ***A szervezetek örökletes információja (a genotípus) a nukleotidok meghatározott egymásutánjával van kódolva a nukleinsavak (a DNS és a vírus RNS) molekuláiban.*** A sejtek osztódásakor vagy teljes egészében átadódik az anyasejtből a leánysejtbe (mitotikus osztódás), vagy csak részben (meiotikus osztódás).

8. ***A genotípus a fehérjeszintézis során valósul meg a fenotípusban, változhat mutáció vagy rekombináció útján.*** A fenotípus a genotípus és a környezeti tényezők kölcsönhatása révén alakul ki.

9. ***A sejt élettevékenységi folyamatai a sejtszervecskékben mennek végbe, a soksejtű szervezeteknél a szövetekben és a szervekben is.*** Valamennyi élőlény alapvető sajátossága az ingerelhetőség. A soksejtű állatok többségének életműködését az idegrendszer (működésének alapelemei a reflexek), az endokrin rendszer (a humorális szabályozást látja el biológiailag aktív anyagok segítségével) és az immunrendszer szabályozza. Ezek a szabályozó rendszerek tartják fenn az állatok homeosztázisát.

10. ***Az evolúció a szervezeteknek a környezet változásaihoz való alkalmazkodása a nemzedékek egymásutánjában.*** A szervezetek és szervezeteken felüli rendszerek alkalmazkodó képessége a környezeti feltételekhez ***ekológiai plaszticitásuk (képlékenységük)*** fokmérője. Az evolúció elemi egysége a populáció, közege a biogeocönózis. Az evolúció sebessége függ a környezeti viszonyok változásának sebességétől, hirtelen megnő biogeocönotikai krízisek idején.

11. ***Bármely faj biológiai progressziója egyes populációi egyedsűrűségének meghatározott létfeltételek közötti optimális szinten való tartásának képességétől függ.*** Ez biztosítja a populációk homeosztázisát. Egy faj kihalása vagy túlélése biogeocönotikai krízisek idején a környezeti változásokhoz való alkalmazkodóképességének gyorsaságától függ (evolúciós képlékenység). Ezért a faj vagy a fajok feletti csoportok (nemzetségek családok, stb.) létezésének történelmi ideje nem függ morfológiai összetettségének fokától vagy a nemzedékváltakozás gyakoriságától.

12. ***A bioszféra produktivitása és faji sokfélesége a krízisek közötti időszakokban stabil értékű.*** Ezeket az értékeket az autotróf szervezetek lehetséges maximális termelő képessége és asszimilációjuk produktumainak a heterotróf szervezetek általi teljes felhasználása határozza meg a táplálékláncokon belül.

13. ***Az élő szervezetek összes szerveződési szintjei csak a homeosztázisukat fenntartó viszonyok között tudnak normálisan működni.*** A homeosztázis sérülése hacsak egy szinten is, magával hozza a vele kapcsolatos valamennyi szint működésének sérülését.

14. ***A legkevésbé integrálódott, következésképpen a külső hatások részéről legsérülékenyebb a populációs-faji, a biocönotikus és a bioszféra szint az élő anyag szerveződési szintjei közül.*** A biológiai sokféleség hirtelen csökkenése a biogeocönózisok destabilizálódását, a táplálékláncok tönkremenetelét, végső soron biogeocönotikai krízist eredményez, ami előbb vagy utóbb bioszféra-krízishez vezet. Az élő anyag szervezeteken felüli szerveződési szintjeinek stabilitására végzetesen hatnak a nem periodikusan ismétlődő, vagy határtalanul növekvő intenzitású, elsősorban ***antropogén*** tényezők.

A biológia valamennyi fejezete ilyen vagy olyan formában vizsgálja az élő anyag különböző szerveződési szintjeinek a környezettel való kölcsönhatását, vagyis tartalmazza az ökológia elemeit. Azonban csak az ökológia tanulmányozza az élet szervezeteken felüli rendszereit az élettelen természettel való kapcsolatukban. Az ökológia különös jelentőségű a természeti környezet, mint biológiai alapja védelemében.

A biológia vívmányainak távlati lehetőségei az emberiség létezésének biztosításában. A biológiai kutatásokra azért van szükség, hogy tudományos alapra lehessen helyezni az emberiség stabil fejlődésének tervezését,

prognosztizálását. Ennek érdekében el kell hárítani a közeledő bioszféra-krízist, amit a sajtóban gyakran „ökológiai katasztrófának" neveznek. A korunkban és minden bizonnyal a jövőben előforduló biocönotikus krízisfenyegetettség azzal függ össze, hogy az ember tevékenységével megváltoztatja a bioszférát.

Ökológiailag stabil társadalom, azaz nooszféra csak úgy hozható létre, ha az emberiség a legközelebbi jövőben szabályozza a népességnövekedést; a véges energiaforrások helyett megújulókat használ; ökológiailag biztonságos alapokra helyezi a termelést, az élelmiszerek előállítását; megszünteti az erdők irtását, és áttér az ültetett, megújuló erdők felhasználására; csökkenti a szennyvizek mennyiségét, új víztisztítási és vízminőség-ellenőrzési módszereket vezet be, zárt ciklusú vízfelhasználásra tér át az energiaszektorban és az iparban; hatékonyan védi és megújítja a természetes ökoszisztémákat.

A biológia egyik fontos feladata a bolygónkat benépesítő élőlények sokféleségének tanulmányozása. A rendszertan tudósai úgy tartják, hogy a jelenleg élő fajok közül nem kevesebb, mint egy millió még ismeretlen a tudomány számára.

A jövőben a nemesítő szakemberek széles körben alkalmazzák majd a mesterséges mutációkat nagy hozamú növényfajták és mikroorganizmus-törzsek előállítása céljából. Mesterséges mutációkra szükség van a káros szervezetek szaporodásának genetikai módszerekkel történő visszaszorításához is, mind a mezőgazdasági kultúrák, mind a lakosság védelme érdekében.

Nagy jövő előtt áll a ***génsebészet***. Gyakorlati irányain (a mikroorganizmus-törzsek hozamának növelése, eukarióták génjeinek beültetése prokarióta sejtekbe fontos termékek – vitaminok, hormonok, enzimek – előállítása céljából) kívül szükség lesz rá globális problémák megoldásában is. Az örökletes betegségek és rendellenességek elleni harcban olyan módszereket fognak alkalmazni, amelyekkel kivonhatók lesznek a kromoszómákból azok a gének, amelyek ezeknek a betegségeknek és rendellenességeknek az információit hordozzák, s egészséges génekkel cserélik majd ki őket. Ki fognak dolgozni olyan eljárásokat is, amelyekkel megfelelő változásokat tudnak majd előidézni a genotípusban, és csökkenteni tudják a káros mutációk gyakoriságát. A légköri nitrogént megkötő gyökérbaktériumok génjeinek a magasabbrendű növények kariotípusába történő átültetésével nagyon sok pénzt lehetne megtakarítani a nitrogéntartalmú műtrágyák gyártásának és az ilyen műtrágyák talajba történő bevitelének megszüntetése révén. Ráadásul ez jelentős mértékben csökkentené a környezet nitrátszennyezését. A génsebészet fejlesztése érdekében génbankokat hoznak létre, amelyekben különféle szervezetek plazmidokba épített génjeit tárolják.

Széles körben alkalmazzák majd a jövőben a ***genetikailag módosított*** vagy ***transzgenetikus*** szervezeteket. Génsebészeti módszerekkel a növények genomjába olyan géneket ültetnek be, amelyek ellenállóvá teszik őket a rovarirtószerekkel, kártevőkkel és a környezet több káros tényezőjével szemben. Már előállítottak olyan burgonyafajtákat, amelyeknek a kariotípusába bizonyos, a növényt a burgonyabogár számára ehetetlenné tevő baktériumgéneket helyeztek be. A génmódosított szervezetek sokszor nagy hozamúak, termékenyek, ami hozzájárulhat az emberiség élelmiszerproblémáinak a megoldásához.

Nagy reményeket fűznek a jövőt illetően a ***sejttenyésztés*** módszereinek fejlődéséhez. Különböző fajú, sőt más családokba és rendekbe tartozó szervezetek szomatikus sejtjeinek mesterséges egyesítésével nagy termelékenységű

hibridek előállítása válik lehetővé. A szomatikus sejtek hibridizációja lehetővé teszi majd olyan készítmények előállítását, amelyek fokozzák a szervezet fertőzésekkel szembeni ellenálló képességét, kimagasló termelékenységű állat- és növényfajták populációinak kitenyésztését és kitermesztését.

A szervezetekből kinyert szomatikus sejtek speciális táptalajokon való tenyésztésével értékes anyagokat termelő sejtkultúrák (szövetek) előállítása válik lehetővé, s ezzel megóvhatókká válnak a gyógynövények és más élőlények a természetben. Mivel a szomatikus sejtekben megvan az egész egyed genetikai információja, lehetőség nyílik azonos örökletes tulajdonsággal rendelkező utódszervezetek tetszőleges mennyiségben történő előállítására, azaz klónozására

Az ***őssejtek*** alkalmazása a gyógyászatban lehetővé teszi majd különféle betegségek, köztük egyes rákfajták gyógyítását, károsodott szervek regenerálását, a szervezet megfiatalítását.

Végezetül a tankönyv szerzői sikereket kívánnak a bennünket körülvevő bonyolult és csodálatos élő természet tanulmányozásában.

MAGYAR-UKRÁN BIOLÓGIAI SZÓTÁR

(Készítette prof. Csubirka Magdolna,
a biológiai tudományok kandidátusa, Ungvár)

NÖVÉNYTAN

A, Á

adventív – адвентивна (рослина)
ág – гілка
akác – акація
alany (oltó) – підщепа
alfaj –підвид
alma – яблуко
almafa –яблуня
amitózis –амітоз
anizogámia – анізогамія
anteridium – антеридій
antipód sejtek – антиподи
anyag – речовина
anyagcsere – обмін речовин
anyagszállítás – транспорт речовин
anyarozs – ріжки
aprólevelűség – мікрофілія
archegonium – архегоній
ásványi anyagok – мінеральні речовини
aszkospóra – аскоспора
asszimiláció – асиміляція
áttelepítés – інтродукція
autochoria – автохорія
avar – підстилка лісова

B

bab – квасоля
baktériumok – бактерії
aerob ~ – аеробні ~
autróf ~ – аутотрофні ~
fototróf ~ – фототрофні ~
gümő~ – бульбочкові ~
hetrotróf ~ – гетеротрофні ~
kemotróf ~ – хемотрофні ~
kén ~ – сірко~
kórokozó ~– хвороботворні ~
nitrogénkötő ~ – азотофіксуючі ~
parazita ~– паразитичні ~
rothasztó ~ – гниття ~
szaprofita ~ – сапрофіти ~
vas~ – залізо ~
barka – сережка
bazidiospórák – базидіоспори
becő – стручок
becőke – стручечок
bélsugarak – серцевинні промені
bélszövet – серцевина
bentosz – бентос
bibe – приймочка
bibeszál – стовпчик
biocönózis – біоценоз
bimbó – бутон
bioszféra – біосфера
boglárka – жовтець
boglárkafélék – жовтецеві
bogyó – ягода
bokor – кущ
borostyán – плющ
borsó – горох
boróka – ялівець
botanika – ботаніка
bujtás – відсадка
burgonya – картопля
burgonyafélék – пасльонові
búza – пшениця
bükkfa – бук
bükkfafélék – букові

C

cellulóz – целюлоза
cékla – буряк
chlamidamonas – хламідомонада
chlorella – хлорела
cikász – саговик
citokinézis – цитокінез
citológia (sejttan) – цитологія
citoplazma – цитоплазма
cönózis – ценоз
cukor – цукор
cukornád – цукрова тростина

Cs

család – родина
csésze – чашечка
csészelevél – чашолисток
csíra – зародок
csírafüggesztő – підвісок зародка
pollenjárat – пилковхід
csíranövény – проросток
csonthéjas termés – кістянка

D

disszimiláció – дисиміляція
dió – горіх
dohány – тютюн
dugvány – живець

E

edények – судини
egyedfejlődés (ontogenezis) – індивідуальний розвиток, онтогенез
egylakiak – однодомні
egyszikűek – однодольні
együttélés (szimbiozis) – співжиття, симбіоз, мутуалізм
elaterák (spóraszóró fonalak) – елатери
elágazás – галуження

dichotomikus ~ – дихотомічне ~
monopodiális ~ – моноподіальне ~
szimpodiális ~ – симподіальне ~
előfonal (protonéma) – протонема
előtelep – зарості
élettan (fiziológia) – фізіологія
élőskódók (paraziták) – паразити
embrió (csíra) – зародок
embriózsák – зародковий мішок
endospermium (magfehérje) – ендосперм
elsődleges – первинний ~
másodlagos – вторинний ~
entomogámia (rovarok általi megtermékenyítés) – комахозапліднення
entomológia (rovartan) – ентомологія
erdeifenyő – сосна звичайна
erdei pajzsika – щитник чоловічий
erezet (levél) – жилкування
hálózatos ~ – сітчасте ~
ívelt ~ – дугове ~
párhuzamos ~ – паралельне ~
ernyővirágzat – зонтик (суцвіття)
ernyősvirágzatúak – зонтичні
eukarióták (sejtmagvasok) – евкаріоти, ядерні
evolúció (fejlődéstörténet) – еволюція
évgyűrűk – річні кільця

F

fa – дерево
faj – вид
fatest – деревина
fehérjék – білки
fejespenész – мукор
fejlődés – розвиток
fejlődési ciklus – цикл розвитку
fény – світло
fészek (virágzat) – кошик (суцвіття)
fészekburok – обгортка
fészkesvirágzatúak – айстрові
fikocián – фікоціан
fikoeritrin – фікоеритрін
fikoxantin – фікоксантин
filogenezis (törzsfejlődés) – філогенез
fitocönózis – фітоценоз
fitohormonok (növényi hormonok) – фітогормони
floém – флоема
flóra (növényvilág) – флора
fokhagyma – часник
fotoszintézis – фотосинтез
fototrófok – фототрофи

G

gaméta – гамета
gametangium – гаметангій
gametofiton – гаметофіт
gázcsere – газообмін
gázcserenyílás – продих
gombafonalak – гіфи
gombák – гриби
élesztő~ – дріжджеві ~
kalapos ~ – шапкові ~
penész~ – цвільові ~
rozsda~ – іржасті ~
tapló~ – трутовики
üszög~ – сажкові ~
gombatest – грибниця
gombvirágzat – головка (суцвіття)
gumó – бульба

Gy

gyantajáratok – смоляні ходи
gyepürózsa – шипшина
gyermekláncfű – кульбаба
gyertyán – граб
gyökér – корінь
csíra~ – зародковий ~
fő~ – головний ~
járulékos – додаткові ~
lég~ – повітряні ~
légző~ – дихальні ~
kapaszkodó – чіпкі ~
oldal~ – бічні ~
gyökérgumó – бульбокорінь
gyökérövek – зони кореня
felszívó öv – всмоктування
növekedési ~ – росту
szállító ~ – провідна
osztódási ~ – поділу
gyökérrendszer – коренева система
bojtos (mellék) ~ – мичкувата ~
fő ~ – стрижнева ~
gyökérsüveg – кореневий чохлик
gyökérszőr – кореневі волоски
gyökértermés – коренеплід
gyöktörzs (rizóma) – кореневище
gyöngyvirág – конвалія

H

hajtás – пагін
spórahordozó ~ – спороносний ~
törpehajtás – вкорочений ~
hagyma – цибулина, цибуля
hagymatönk – денце (цибулини)
háncs – луб
háncsrostok – луб'яні волокна
harasztok – папоротеподібні
hárs – липа
hausztórium – гаусторій
heterociszták – гетероцисти
heterotrófok – гетеротрофи
hifák – гіфи
hőmérséklet – температура
hőszabályozás – терморегуляція
hüvely (termés) – стручок
hüvelyesek – бобові

I

induzium (fátyol) – індузій
internódium (szártag) – міжвузля
intine – інтина
introdukció (áttelepítés) – інтродукція
ivarsejt – статева клітина, гамета
izidiumok (zuzmótelepkinövések) – ізидії
izogámia – ізогамія

J

jarulékos hajtás – паросток
jegenyefenyő – смерека
juhar – клен

K

kacs – вусик
kalászka (fűzér) – колос
kambium – камбій
kankalin – примула
káposzta – капуста
kaszat – сім'янка
keményítő – крохмаль
kemoszintézis – хемосинтез
keresztesvirágúak – хрестоцвіті
kékmoszatok – синьозелені водорості
kéreg – кора
elsődleges – первинна ~
másodlagos ~ – вторинна ~
kétlakiak – дводомні
kétszikűek – дводольні
klorofill – хлорофіл
klorofillszemcsék – хлорофілові зерна
kloroplasztisz – хлоропласт
klón – клон
kocsány – початок
kokkuszok – коки
korpafű – плаун булавовидний
kosborfélék – орхідні
környezet – навколишнє середовище
körte – груша
központi henger – центральний циліндр
kromatidák – хроматиди
kromatofór – хроматофор
kromoplasztisz – хромопласт
kromoszóma – хромосома
kukorica – кукурудза

L

laminária – ламінарія
lependék – крилатка
leukoplasztisz – лейкопласт
levegő – повітря
levél – листок
csíra~ – зародковий ~
egyszerű ~ – простий ~
~kezdemény – зачатковий ~
összetett ~ – складний ~
szik~ – сім'ядоля
levélállás – листкорозміщення
átellenes ~ – супротивне ~
örvös ~ – кільчасте ~
szórt ~ – чергове ~
levélhónalj – пазуха листка
levéllemez – листкова пластинка
levélnyél – черешок
levélrózsa – прикоренева розетка
légzés – дихання
légzőgyökerek – пневматофори
liliomfélék – лілійні
lombhullás – листопад
lóhere – конюшина
lucfenyő – ялина

M

madármegporzás – орнітогамія
mag – насіння
magashegyi terület – високогір'я
magház – зав'язь
magkezdemény – насінневий зачаток
makk – жолудь
makkocska – горішок
másodlagos sejtmag – вторинне ядро
megaspóra – мегаспора
meggy – вишня
megjelenési formák – життєві форми
megporzás – запилення
kereszt~ – перехресне ~
ön~ – само ~
megtermékenyítés – запліднення
kettős ~ – подвійне ~
meleg – тепло
mesterséges megporzás – штучне запилення
mezei szulák – березка польова
mezei zsurló – хвощ польовий
micélium – міцелій
mikológia (gombatan) – мікологія
mikorrhiza – мікориза
mikrospóra – мікроспора
mikrosporogenezis – мікроспорогенез
mikrosporangium – мікроспорангій
mogyoró – ліщина
moha – мохи
máj~ – печіночні ~
tőzeg~ – торфові, сфагнові ~
zöld~ – зелені ~
moszatok (algák) – водорості
barna~ – бурі ~
kova~ – діатомові ~
vörös – червоні ~
zöld~ – зелені ~
módosulás – видозміна
murvalevél – приквітка

N

nagylevelűség – макрофілія
napraforgó – соняшник
nemzedék – покоління
nemzedékváltakozás – зміна поколінь
nemzetség – рід
nitrogén – азот
nódusz (szárcsomó) – вузол (стебла)
növekedés – ріст
csúcs – верхівковий ~
interkaláris – інтеркалярний ~
növények – рослини
alacsonyrendű (telepes) ~ – нижчі ~
évelő ~ – багаторічні ~
fás ~ – деревні ~
fénykedvelő ~ – світлолюбні ~
hidegtűrő ~ – холодостійкі ~
lágyszárú ~ – трав'янисті ~
magasabbrendű ~ – вищі ~
örökzöld ~ – вічнозелені ~
rovarevő ~ – комахоїдні ~

növénytan – ботаніка
növénytársulás – рослинні угрупування
növényzet – рослинність
növényvilág – царство рослин
növényzet szintjei – яруси рослинності
nucellusz – нуцелус
nukleoid – нуклеоїд

Ny

nyírfafélék – березові
nyitvatermők – голонасінні
nyomás – тиск

O

oltás – щеплення
oltóág – прищепа
organellumok (sejtszervecskék) – органели
osztály – клас
oxigén – кисень

Ö,Ő

ökológia – екологія
ökológiai tényezők – екологічні фактори
ökoszisztéma – екосистема
önmegtermékenyítés – автогамія
önszabályozás – саморегуляція
önterjesztés – автохорія
ősharasztok – псилофіти

P

parakéreg – перидерма, корок
paraszemölcs – сочевички
páfrányfenyő – гінкго
páfrányok – папороті
párologtatás – випаровування
párta – віночок
pásztortáska – грицики
pázsitfűfélék – злаки
pelyva – колоскова луска
periciklus – перицикл
petesejt – яйцеклітина
pikkely – луска
pikkely (lodikula) – навколоквіткова плівка
pirenoid – піреноїд
pollentömlő – пилкова трубка
pollenszemcse (virágporszemcse) – пилкове зерно
portok – пиляк
porzó – тичинка
porzószál – тичинкова нитка
plazma – плазма
plazmaszálak (plazmahid) – плазмодесма
plazmódium – плазмодій
plasztisz (szintest) – пластида
prokarióták (sejtmagnélküliek) – прокаріоти, без'ядерні

R

regeneráció (megújulás) – регенерація
reliktum (maradványfaj) – релікт
rendkívüli – екстремальні
rendszertan – систематика
répa – буряк
cékla – столовий ~
cukorrépa – цукровий ~
szimmetria – симетрія
kétoldalas ~ – двобічна ~
sugaras ~ – радіальна ~
rhizoida – ризоїд
rizs – рис
rostacsövek – ситовидні трубки
rostaszövet (szilárdítószövet – склеренхима
rovarmegporzás – комахозапилення
rügy(ek) – брунька(и)
alvó~ – сплячі ~
csúcs~ – верхівкова ~
generatív ~ – генеративна ~
hónalj~ – пазушна ~
járulékos ~– додаткові ~
oldal~ – бічні ~
levél~ – листові ~
vegetatív ~ – вегетативні ~
virág~ – квіткова ~

S

sárgarépa (murok) – морква
sátor – щиток (суцвіття)
sejt(ek) – клітина (и)
diploid – диплоїдна ~
gázcserenyílás-~ – продихові ~
generatív ~ – генеративна ~
haploid ~ – гаплоїдна
ivar~ – статеві ~
központi ~ – центральна ~
parenchima~ – паренхімні ~
prozenchima~ – прозенхімні ~
szomatikus ~ – соматичні ~
triploid ~ – триплоїдна ~
vegetatív ~ – вегетативна ~
záró~ – замикаючі ~
sejthártya – клітинна оболонка
sejtfal – клітинна стінка
sejtközi járatok (légudvarok) – міжклітинники
sejtmag – ядро
sejtmagvacska – ядерце
sejtnedv – клітинний сік
sejttársulás – колонія
sejtszervek – органоїди клітини
többsejtűek – багатоклітинні
spermatozoid – сперматозоїд
spermium – спермій
spirogira – спіроріра
sporangium – спорангій
sporogon – спорогон
sporofillum – спорофіл

Sz

szaporodás – розмноження
ivaros ~ – статеве ~
ivartalan ~ – безстатеве ~
vegetatív – вегетативне ~
szaprofiták ~ – сапрофіти
szállítónyalábok – провідні пучки

szár – стебло
egyenes állású ~ – прямостояче ~
kapaszkodó ~ – чіпке ~
kúszó (inda) ~ – повзуче ~
szárcsomó – вузол
szártenyésző kúp – конус наростання стебла
szemtermés – зернівка
szerves anyagok – органічні речовини
szélmegporzás – вітрозапилення
szén-dioxid – вуглекислий газ
színanyag – пігмент
szinergida – синергіда
sziromlevelek – пелюстки
szorédium – соредій
szórusz – сорус
szövet – тканина
alap~ – основна ~
asszimilációs – асиміляційна ~
bőr~ – покривна ~
képző (osztódó) ~ – твірна ~
levegőtartó ~ – повітряносна ~
paliszád ~ – палісадна ~
raktározó ~ – запасаюча ~
szállító ~ – провідна ~
szilárdító ~ – механічна
szivacs ~ – губчаста
víztartó ~ – водоносна
szőrmoha – зозулин льон

T

talaj – грунт
talajképződés – грунтоутворення
tallom – талом
tarackbúza – пирій
taxisok – таксиси
taxon – таксон
tápanyagok – поживні речовини
táplálkozás – живлення
társulás – угрупування
teleptest – слань
termékenység – родючість
termés – плід
ál~ – несправжній ~
csoportos – збірний ~
hasadó – розкривний ~
húsos ~ – соковитий ~
száraz ~ – сухий ~
valódi ~ – справжній ~
zárt ~ – нерозкривний ~
terméstelenjesztés – розповсюдження плодів
állatok útján – зоохорія
madarak által – орнітохорія
szél útján – анемохорія
termő – маточка
termőlevél – плодолисток
termőtest – плодове тіло
termőtáj – гінекей
apokarp ~ – апокарпний ~
szinkarp ~ – синкарпний ~
toboz – шишка, стробіл
tok – коробочка
toklász – квіткова луска
tökfélék – гарбузові
tölgy – дуб
törzs – відділ
tövis (tüske– колючка
tőzeg – торф
tracheák – трахеї
tracheidák – трахеїди
trágyák – добрива
mű~ – мінеральні ~
szerves – органічні ~
tropizmusok – тропізми
turgornyomás – тургорний тиск
tüsző – листянка
tűlevél – хвоя, шпилька
tűlevelűek – хвойні, шпилькові

U

ulotrix – улотрикс
útifű – подорожник

V

vacok – квітколоже
vakuólum – вакуоля
vegetatív szervek – вегетативні органи
vibriók – вібріони
virág – квітка
csöves ~ – трубчаста ~
csupasz ~ – гола ~
egyivarú ~ – одностатева ~
egyszimmetriájú ~ – зигоморфна ~
kétivarú ~ – двостатева ~
nyelves ~ – язичкова ~
porzós ~ – тичинкова ~
sugaras szimmetriájú ~ – актиноморфна ~
szabálytalan (aszimmetrikus) ~ – не правильна ~
termős ~ – маточкова ~
virágképlet – формула квітки
virágkocsány – квітконіжка
virágpor – пилок
virágtakaró – оцвітина
különnemű ~ – подвійна
egynemű (lepel) ~ – проста
redukált ~ – редукована
virágzat – суцвіття
egyszerű ~ – проста
összetett ~ – складна
vírusok – віруси
vitaminok – вітаміни
víz – вода
vörösfenyő – модрина
Vörös Könyv – Червона книга

Z

zárvatermők – покритонасінні
zigóta – зигота
zoospóra – зооспора
zuzmók – лишайники
bokros ~ – кущисті ~
egynemű ~ – гомомерні ~
leveles ~ – листуваті ~

rétegezett ~ – гетеромерні ~
tajték (kéreg) ~ – накипні ~
zuzmó moszatalkotója – фікобіонт

Zs

zsírok – жири

X

xantofill – ксантофіл
xilém – ксилема

ÁLLATTAN

A,Á

agy – головний мозок
elő~ – передній ~
kis~ – мозочок ~
közép~ – середній ~
közti~ – проміжний ~
nyúltagy – довгастий ~
agyaras ősgyík – звірозубий ящір
agyféltekék – півкулі головного мозку
agykéregállomány – кора великих півкуль
agy részei – відділи головного мозку
agytekervény – звивина головного мозку
ajak – губа
ájtatos manó – богомол
akklimatizáció – акліматизація
alfaj – підвид
alkar – передпліччя
alsó (csőr) káva – піддзьобок
alveolusz – альвеола
álkapocs – щелепа
alsó ~ – нижня ~
felső ~ – верхня ~
állkapocslábak – ногощелепи
állattan – зоологія
állatkert – зоопарк
állábak – несправжні ніжки
állatok – тварини
amőba – амеба
anyagcsere – обмін речовин
anyaméh (méhkirálynő) – матка (бджолинна)
aorta – аорта
areál – ареал
atka – кліщ
erdei ~– енцефалітний ~
közönséges (kullancs) ~ – пасовищний ~
liszt~ – борошнистий ~
rüh~ – коростяний ~

B

bagoly – сова
bagócslegyek – оводи
barátkeselyű – гриф
baromfitenyésztés – птахівництво
báb – лялечка
begy – воло
bendő – рубець
bél – кишка
vastag~ – товста ~
vég~ – задня ~
vékony~ – тонка ~
bélrendszer – кишечник
betokozódás – інцистування
béka – жаба
bimbózás– брунькування
billentyű – клапан
biomassza – біомаса
boa – удав
bogár – жук
ganajtúró ~ – гнойовик
szarvas~ – ~ олень
temető~ – ~ гробовик
botsóska – паличник
bojtosúszós halak – кистепері
bolha – блоха
bordák – ребра

C

cetfélék – китоподібні
cethal – кит
cickány – землерійка
cinke – синиця
ciszta – циста
comb – стегно
cöloma – целом

Cs

csalánfonál – жалкий волос
cserebogár – травневий хрущ
cséve (csűd) – цівка
csigaház (kagyló) – раковина
csigolya – хребець
csilló – війка
csillósok – війчасті
csírahártya – зародкова оболонка
csírakorong – зародковий диск
csíralemezek – зародкові листки
csont – кістка
csontváz – скелет
csótány – тарган
csőr – дзьоб
csúszómászók – плазуни

D

daru – журавель
denevérek – рукокрилі
dentin – дентин
derma (bőr) – дерма
dinoszaurusz – динозавр
dobhártya – барабанна перетинка
dongók – джмелі
dögkeselyű – стерв'ятник

E, É

egerek – миші
egérszerű rágcsálók – мишовидні гризуни
egerészölyv – канюк
egyedfejlődés – індивідуальний розвиток
egysejtűek – одноклітинні
ektoderma – ектодерма
elevenszülés – живонародження
elválasztás (kiválasztás) – виділення
életciklus – життєвий цикл
élősködők (paraziták) – паразити

belső ~ – внутрішні ~
külső ~ – зовнішні ~
emésztőrendszer – травна система
emésztőnedv – травний сік
emlősök – ссавці, звірі
entoderma – ентодерма
enzim – ензим, фермент
erszény – сумка
erszényesek – сумчасті
érzékelő szőröcskék – чутливий відросток
érzékszervek – органи чуття
ízlelő ~ – смаку
halló~ – слуху
látó~ – зору
szagló~ – нюху
tapintó~ – дотику
evolúciós tényezők – еволюційні фактори

F

faj – вид
fajta – порода
fácán – фазан
fagocitózis – фагоцитоз
farkatlanok – безхвості
farkas – вовк
farkosok – хвостаті
farokcsont – уростиль
fauna (állatvilág) – фауна
fecske – ластівка
fehér örvényféreg – планарія біла
fej – голова
fejlábúak – головоногі
fejlődés – розвиток
nem teljes átalakulással járó ~ – з неповним перетворенням
teljes átalakulással járó ~ – з повним перетворенням
felső (csőr) káva – наддзьобок
felszőr (koronaszőr) – ость
fényérzékenység – світлочутливість
férgek – черви
élősködő ~ – ~ паразити
galand~ – стьожкові ~
gyűrűs~ – кільчасті ~
hengeres~ – круглі ~
kevéssertéjű ~ – малощетинкові ~
lapos~ – плоскі ~
soksertéjű ~ – багатощетинкові ~
fészekrakás – гніздування
fogak – зуби
garat~ – глоткові ~
örlő v. záp~ – кутні ~
metsző~ – різці
szem~ – ікла, хижі ~
tej~ – молочні ~
fogoly – куріпка
fogóháló – ловча сітка
folyami rák – рак річковий
folyami süger – окунь річковий
földgiliszta – дощовий черв'як
főemlősök (majmok) – примати
fullánk – жало
fülemüle – жайворонок
fülkagyló – зовнішнє вухо
fürge gyík – ящірка прудка
fürkészdarazsak – їздці

G

galamb – голуб
garat – глотка
sejt~ – клітинна ~
garat feletti idegdúc – надглотковий нервовий вузол
gazda – хозяїн
köztes ~ – проміжний
égső ~ – кінцевий
gázlómadarak – голінасті птахи
gerinc – хребет
gerincek – хребетні
gerinchúrosok – хордові
gerincrészek – відділи хребта
ágyék~ – поперековий ~
farki ~ – хвостовий ~
keresztcsonti ~ – крижовий ~
mellkasi ~ – грудний
nyaki ~ – шийний
törzs~ – тулубовий
gége – горло
gólya – лелека
guanó – гуано
gubó (kokon) – кокон

Gy

gyomor – шлунок
izom~ – мускульний ~
mirigy~ – залозистий ~
szűrő~ – цідильний
rágó~ – жувальний

H

hajszálerek – капіляри
hal(ak) – риба (и)
csontos ~ – кісткові ~
porcos ~ – хрящеві ~
halgazdaság – рибне господарство
hangyászsün – єхидна
hangyaboly – мурашник
hangya – мурашка
hangyász – мурахоїд
harkály – дятел
hártya – перетинка, плівка
bőr~ – шкіряста ~
hártyásszárnyúak – перетинчастокрилі
has – черево
haslábúak – черевоногі
hasi szívóka – черевна присоска
hasdúclánc – черевний нервовий ланцюжок
hasnyálmirigy – підшлункова залоза
hattyú – лебідь
házinyúl – кріль
héja – лунь
héjhártya – підшкаралупова оболонка
hemoglobin – гемоглобін
hemolimfa – гемолімфа
here – сім'яник

heringfélék – оселедцеві
hernyó – гусінь
hím – самець
hímnősek – гермафродити
hipoderma – гіподерма
hisztogenezis – гістогенез
hollóorrcsont – вороняча кістка
hormon – гормон
hosszúfülű denevér – вухань
hörgők – бронхи
hólyagféreg (borsóka) – фінка
húgyhólyag – сечовий міхур
húgyvezeték – сечовід

I

idegdúc (idegcsomó) – нервовий вузол
ideg – нерв
idegfonat – нервове плетиво
ideggyűrű – нервове кільце
idegimpulzus – нервовий імпульс
ideglánc – нервовий ланцюг
idegrendszer – нервова система
csomós ~ – розкидано-вузлова ~
cső~ – трубчаста ~
központi ~– центральна ~
perifériás (környéki) ~ – периферична ~
szórt (diffuz) ~ – дифузна ~
törzs~ – стовбурова ~
idegsejt – нервова клітина, нейрон
igazgyöngy – перлина
igásló – ваговіз
ikra (petesejt) – ікринка
imágó (kifejlett rovar) – імаго
ingerlékenység – подразливість
ivadék (utód) – потомство
ivadékkamra – ворочок
ivarrendszer – статева система
ívás – нерест
izom – м'язи
antagonista – антагоністи
záró ~ – зимикач
szinergista ~ – синергісти
izomrostok – м'язові волокна
íz (szelvény) – членик
ízeltlábúak – членистоногі
ízület – суглоб

J

járatok – ходи
jelzőfonál – сигнальна нитка
jégzsinór (csírafüggesztő) – канатик

K

kagyló – двостулковий молюск
kandicsrák – циклоп
kaptár – вулик
káposztalepke – білан капустяний
karom – кіготь
karvaly – яструб
katicabogár – сонечко
keményszárnyúak – твердокрилі
kenguru – кенгуру
keresztespók – павук-хрестовик
kettős légzés – подвійне дихання
kétéltűek – земноводні
kétszárnyúak – двокрилі
kitin – хітин
kézfej – кисть
kígyók – змії
kloáka – клоака
kopoltyú – зябра
légcsöves ~ – трахейні ~
kopoltyúfedők – зяброві кришки
kopoltyúfésűk – зяброві тичинки
kopoltyúívek – зяброві дуги
kopoltyúlemezek – зяброві пелюстки
kopoltyúrések – зяброві щілини
kopoltyúzsákok – зяброві мішки
koponya – череп
korai denevér – вечірниця руда
korallzátonyok – коралові ріфи
kromatofor – хроматофор
köldökcsont – лобкова кістка
köldökzsinór – пуповина
kölyök – малятко
köpeny – мантія
köröm – ніготь
közönséges mókus – білка звичайна
közönséges vipera – гадюка звичайна
kulcscsont – ключиця
kullancslárva – німфа

L

lapocka – лопатка
láb – нога
lábfej – стопа
lábszár – гомілка
lándzsahal – ланцетник
lárva – личинка
látás – зір
látómező – поле зору
lepke – метелик
légcső (trachea) – трахея
légkamra – повітряна камера
légtömlő – повітряні мішки
légzés – дихання
légzőnyílás – дихальце
lépkamrák – ячеї
likacsoshéjúak (forameniferák) – фораміфери
ló – кінь
lúdalkatúak – гусоподібні

M

macska – кіт
macskafélék – котячі
madarak – птахи
költöző ~ – кочові ~
megtelepedett ~ – осілі ~
ős~ – давні ~
vándor~ – перелітні ~
madárfiókák – пташенята
majmok – мавпи
makronukleusz (nagy sejtmag) – макронуклеус
Malpighi edények – мальпігієві судини

máj – печінка
medencecsontok – тазові кістки
medúza – медуза
medvefélék – ведмежі
megtermékenyítés – запліднення
belső ~ – внутрішнє ~
kereszt ~ – – перехресне ~
külső ~ – зовнішнє ~
méh – бджола
melegvérűség – теплокровність
mell (tor) – груди
mellbimbók – соски
mellcsont (szegycsont) – грудина
mellkas – грудна клітка
metanefridiák – метанефридії
mezoglea – мезоглея
mész – вапно
mészhéj – шкаралупа
méz – мед
mézelő méh – бджола медоносна
mikronukleusz – мікронуклеус
mirigyek – залози
belsőelválasztású~ – внутрішньої секреції ~
emésztő~ – травні ~
faggyú~ – сальні ~
ivar~ – статеві ~
külső elválasztású~ – внутрішньої секреції
méreg~ – отруйні ~
nyál~ – слинні ~
illat~ – пахучі ~
tej~ – молочні ~
verejték~ – потові ~
mixocell – міксоцель
mocsári csiga – ставковик
molluszkák – молюски
mozaiklátás – мозаїчний зір

N

nem – стать
nemes – чапля біла
nemzetség – рід
nőstény – самка

Ny

nyak – шия
nyelőcső – стравохід
nyelv – язик
nyílás – отвір
száj~ – ротовий
végbél~ – задньопрохідний
nyílás (szifon) – сифон
bevezető~ – вхідний
kivezető~ – вихідний
nyírfajd – тетерев
nyúlfélék – зайцеподібні

O,ó

oldalvonal – бічна лінія
olló – клешня
oltógyomor – сичуг
ondósejt – сперматозоїд
ondó – молочко (риби)
ormány (szívóka) – хобот
orrnyílás – ніздрі
ostor – джгутик
orsóféreg – аскарида
osztriga – устриця
oxidáció – окислення

Ö,ő

önmegtermékenyítés – самозапліднення
öröklődés – спадковість
ösztön – інстинкт
ősemlősök – першозвірі
öv – пояс
medence~ – тазовий ~
váll~ – плечовий ~
övecske (nyereg) – поясок

P

patkány – пацюк
papucsállatka – інфузорія-туфелька
pata – копито
párosujjú patások – парнокопитні
pehely – пух
pehelyréce – гага
pehelyszőrök – підшерстя
pete (tojás) – яйце
peteburok – яйцева оболонка
petesejt – яйцеклітина
pézsmapocok – ондатра
pigment (színanyag) – пігмент
pikkely – луска
pikkelyesek – лускаті
pikkelyesszárnyúak – лускокрилі
pinceatka– мокриця
pinocitózis – піноциоз
pislogóhártya – миготлива ~
placenta (méhlepény) – плацента
pocok – полівка
pofazacskó – защічний мішок
polip – поліп
poloska – клоп, блощиця
pontyfélék – коропові
potroh – черевце
potrohlábak – черевні ніжки
pókháló – павутина
pókmajom – павукоподібні мавпи
pödörnyelv – смоктальний хоботок
prém – хутро
pulyka – індик

R

ragadozó – хижак
rágcsáló – грзун
recegyomor – сітка
reflex – рефлекс
feltételes ~– умовний ~
feltétlen (veleszületett) ~ – безумовний, вроджений ~
reflexív – рефлекторна дуга
regeneráció(megújulás) – регенерація, відновлення
rekeszizom – діафрагма

rend – ряд
repülőkutya – крилан великий
reszelőnyelv – терка
részarányosság (szimmetria) – симетрія
kétoldalas ~ – двобічна ~
sugaras ~ – променева
rezervátum – заказник
rezgő – дзизкальце
rovarevők – комахоїдні
rovarkártevők – комахи-шкідники
rovarok – комахи

S

sarkiróka – песець
sas – орел
sáska – сарана
saskeselyű – бородач
sejtek – клітини
állati ~ – тваринні ~
bőrizom~ – шкірно-м'язові ~
csalán~ – жалкі ~
emésztő~ – травні
ideg~ – нервові ~
ivar~ – статеві ~
köztes ~ – проміжні ~
mirigy~ – залозисті ~
növényi ~ – рослинні ~
sejthártya – клітинна мембрана
sejtszáj – клітинний рот
sejtközti anyag – міжклітинна речовина
selyemlepke – шовкопряд
siketfajd – глухарь
sikló – вуж
soksejtűek – багатоклітинні
sólyom – сокіл
serte – щетина

Sz

szaglás – нюх
száj – рот
szájszerv – ротовий апарат
rágó ~ – гризучий ~
rágó-nyaló ~ – гризучо-лизучий ~
szívó ~ – сисний ~
szúró-szívó ~ – колюче- сисний ~
szaporodás – розмноження
szarupikkely – рогова лусочка
szaruszakál – рогова борідка
szarv – pir
szarvas – олень
szarvasmarha galandféreg – ціп'як бичачий
szárnyak – крила
fedő ~ – надкрила
hálózatos ~ – сітчасті ~
hártya~ – перетинчасті ~
százrétű gyomor – книжка (шлунок)
szegycsonttaréj – кіль
szemecske – вічко
szemek – очі
egyszerű ~ – прості ~
összetett ~ – ~ складні
szemhéj – повіка
alsó ~ – нижня ~
felső ~ – верхня ~
szemüreg – очна ямка
szervképződés – органогенез
szik (tojássárgája) – жовток
szikhártya – жовткова оболонка
szikhólyag – жовтковий мішок
szín – забарвлення
fenyegető – загрозливе~
figyelmeztető ~ – попереджувальне ~
védő~ – захисне ~
szív – серце
háromrekeszes – трикамерне ~
kétrekeszes ~ – двокамерне ~
négyrekeszes ~ – чотирикамерне ~
szívkamra – шлуночок (серця)
szívpitvar – передсердя
szöcske – коник
szőrtakaró – волосяний покрив
szövet – тканина
bőr ~ – епітеліальна ~
ideg~ – нервова ~
izom~ – ~ м'язова
csíkoltizom-~ – поперечно-смугаста ~
sima~ – гладенька ~
kötő~ – сполучна ~
szövőszemölcsök – павутинні борідки
szülés – роди
szűrés – фільтрація

T

tapintás – дотик
tapogatók – щупальця
tapogatólábak – ногощупальця
táplálkozás – живлення
táplálékláncz – ланцюг живлення
tarisznyarák – краб
társulás – угрупування
taxisok – таксиси
negatív ~ – негативні ~
pozitív ~ – позитивні ~
tej – молоко
teknősbéka – черепаха
téli álom – сплячка
tengeri csikó – морський котик
terhesség (vemhesség) – вагітність
természetes kiválogatódás – природний добір
természetvédelmi terület – заповідник
tojásfehérje – білок (яйця)
tojócső – яйцеклад
tojáshártya – яйцева оболонка
tonhalfélék – осетрові
tollak – пера
evező ~ – махові ~
fedő (kontúr) ~ – контурні
kormány~ – рульові
pihe~ – пухові
tollazat – пір'я
tógazdaság – ставкове господарство
törékeny gyík – веретільниця
törzs – тип
tüdő – легені

tüdőtömlők – легеневі мішки
tyúk – курица

U,Ú

hörcsög – хом'як
úszó – плавець (ці)
hasi ~ – черевні ~
hát~ – спинний ~
farok~ – хвостові ~
farok alatti ~ – анальні ~
mell~ – грудні ~
úszóhólyag – плавальний міхур
úszólábúak – ластоногі
- fóka – тюлень
- medvefóka – морський котик
- rozmár – морж

Ü,Ű

üllő – коваделко
üreg – порожнина
bél~ – кишкова ~
elsődleges – первинна ~
kevert ~ – змішана ~
kiválasztó ~ – порошиця
köpeny~ – ~ мантійна
másodlagos (celom) – вторинна ~, целом
száj~ – ротова ~
test~ – ~ тіла
ürge – ховрах
ürülék – послід
űrbelűek (tömlősök) – кишковопорожнинні

V

vaddisznó – кабан
vadkacsa (tőkés réce) – крижень
vakgőte – протей
vakond – кріт
vakuólum – вакуоля
emésztő~ – травна ~
lüktető ~ – скоротлива ~
váltivarúak – роздільностатеві, двостатеві
változatosság (sokféleség) – мінливість
vándorlás (migráció) – міграція
vedlés – линяння
védett vadászterület – заповідне мисливське господарство
vese – нирка
végtag – кінцівка
vénák – вени
vér – кров
artériás – артеріальна ~
vénás ~ – венозна ~
véredény – судина (кровоносна)
verébalkatúak – горобинні
vérkeringés – кровообіг
vérkeringési rendszer – кровоносна система
vérkör – коло кровообігу
kis~ – мале ~
nagy~ – велике ~
viasz – віск
világ (állat) – царство (тварин)
visszhanglokáció – ехолокація
villacsont – вилочка
vízibolha – дафнія
vízimadarak – водоплаваючі птахи
vízváz – гідроскелет

Z

zománc – емаль
zöld eugléna – евглена зелена

Zs

zsákmány – здобич
zsírtest – жирове тіло

EMBERTAN

A

adenozin-trifoszfát (ATP) – аденозинтрифосфат (АТФ)
ádámcsutka – кадик
agy – мозок
közép~ – середній ~
közti~ – проміжний ~
nagy~ – великий ~
nyúlt~ – довгастий ~
utó~ – задній ~
agyalapi mirigy – гіпофіз
agyféltekék – півкулі головного мозку
agylebenyek – частки ~
fali ~ – тім'яна ~
halántéki~ – скронева ~
homlok~ – лобова ~
nyakszirti ~ – потилична ~
agyi híd – міст мозку
agyi fehérállomány – біла речовина мозку
agykocsány – ніжки мозку
agytörzs – стовбур мозку
agyvérzés (gutaütés) – інсульт
AIDS – СНІД
akarat – воля
alacsony vérnyomás – гіпотонія
allergének – алергени
allél – алель
alkar – передпліччя
alvás – сон
alveóluszok (léghólyagocskák) – альвеоли
álom – сон
aminosavak – амінокислотн
anabolizmus – анаболізм
androgén – андроген
angolkór – рахіт
antigén – антиген
antropogenezis – антропогенез
anyagcsere – обмін речовин
anyagelbontás – лізис
aorta – аорта
aritmia (ritmuszavar) – аритмія
artéria (verőér– артерія
tüdő~ – легенева ~
atlasz – атлант
automatizmus – автоматизм
avitaminózis – авітаміноз
axon – аксон

B

Bazedow-kór (golyva) – базедова хвороба
belégzés – вдих
bél – кишка
csípő~ – клубова ~
éh~ – порожниста~
haránt~ – ободова ~
nyom (patkó) ~ – дванадцятипала ~
vak~ – сліпа ~
vastag~ – товста ~
vég~ – пряма ~
vékony~ – тонка ~
betegség (kór) – хвороба
fertőző ~ – інфекційні ~
kromoszóma~ – хромосомні ~
nemi~ – венеричні ~
öröklődő – спадкові ~
biopolimer – біополімер
bioszintézis – біосинтез
bordák – ребра
botulizmus – ботулізм
Bowman-tok – ниркове тільце

C

cement – цемент
citológia (sejttan) – цитологія
citoplazma – цитоплазма
comb – стегно
cukorbetegség – діабет цукровий

Cs

csapok – колбочки
csikló – клітор
csilló – війка
csonthártya – окістя
csontkapcsolódás – з'єднання кісток
félmozgékony ~ – напіврухоме ~
merev ~ – нерухоме ~
mozgékony ~ – рухоме ~
csont – кістка
alsó állkapocs-~ – нижньощелепна ~
comb~ – стегнова ~
csöves ~ – трубчасті ~
fal~ – тім'яна ~
felkar~ – плечова ~
felső állkapocs-~ – верхньощелепна ~
halánték~ – скронева ~
homlok~ – лобова ~
járom~ – вилична ~
kereszt~ – крижова ~
lapos ~ – широкі ~
medence~ – тазові ~
nyakszirt~ – потилична ~
orr~ – носова ~
orsó~ – ліктьова ~
rövid ~ – короткі ~
sarok~ – п'яткова ~
sing~ – променева ~
síp~ – великогомілкова ~
szárkapocs~ – малогомілкова ~
csonttörés – перелом кістки
nyílt ~ – відкритий ~
zárt ~ – закритий ~
csontváz – скелет

D

dendrit – дендрит
dentin – дентин
derma (bőr) – дерма
dezoxiribonukleinsav (DNS) – дезоксирибонуклеїнова кислота (ДНК)
diasztola – діастола
diffúzió – дифузія
disszimiláció – дисиміляція
disszociáció – дисоціація

E

egészségtan – валеологія
egyedfejlődési szakaszok – періоди онтогенезу
- csecsemőkor – грудний ~
- embrionális – ембріональний ~
- iskoláskor – шкільний ~
- kisgyermekkor – ясельний ~
- posztembrionális – постембріональний ~
- óvodáskor – дошкільний ~
elektromágneses sugárzás – електромагнітне випромінювання
életkor – вік
biológiai ~ – біологічний
érett ~ – зрілий
idős ~ – похилий
élettan – фізіологія
élettartam – тривалість життя
első jelzőrendszer – перша сигнальна система
embriológia – ембріологія
emésztés – травлення
emlékezés – пам'ять
endoplazmás retikulum (ER) – ендоплазматична сітка (ЕС)
energiamérleg – енергетичний баланс
enzim – фермент,ензим
erek (edények) – судини
nyírok ~ – лімфатичні ~
vér~ – кровоносні
érelmeszesedés – атеросклероз
érés – дозрівання
érhártya – судинна оболонка
eritroblaszt – еритробласт
érzelmek – почуття
érzés – чуття
érzékelés – сприйняття
epe – жовч
epehólyag – жовчний міхур
epidermisz – епідерміс
növekedési ~ – ростовий ~
szaru~ – роговий ~
epifízis (tobozmirigy) – епіфіз, шишковидна залоза
episztofeusz – епістрофей
ételmérgezés – харчове отруєння

F

fagociták (falósejtek) – фагоцити
fagocitózis – фагоцитоз
fagyserülés – обмороження
farkasvakság – куряча сліпота

faszcia (izompólya) – фасція
fehér vérsejtek (leukociták) – лейкоцити
fej – голова
felejtés – забування
felkar – плече
félkörös ívjáratok – півколові канали
felszívódás – всмоктування
fény – світло
fertőzés – інфекція
fertőző betegségek – інфекційні хвороби
féregnyúlvány – апендикс
fibrin – фібрин
fibrinolizin – фібринолізин
ficam – вивих
figyelem – увага
akaratlagos ~– довільна
akarattalan ~ – мимовільна
fiziológiai oldat – фізіологічний розчин
flegma – флегматик
fluor – фтор
fogak – зуби
bölcsesség – ~ мудрості
maradó ~ – ~ постійні
metsző~ – різці
szem~ – ікла
tej~ – молочні ~
őrlő~ – кутні ~
fülkagyló – вушна раковина
(fül)kalapács – молоточок
(fül) kengyel – стремінце
(fül) üllő – коваделко

G

gaméta (ivarsejt) – гамета
garat – глотка
gátlás – гальмування
gázcsere – газообмін
gerincvelő – спинний мозок
gerincvelő-csatorna – спинномозковий канал
gerincvelő-folyadék – спинномозкова рідина
gerincvelő-idegek – спинномозкові нерви
gégefedő – надгортанник
genetika – генетика
- ivar~– ~ статі
- sugár~ – радіаційна ~
gén – ген
gilisztás fertőzés – глистяні захворювання
glikogén – глікоген
Golgi-készülék – аппарат Гольджі
gondolkozás – мислення
elvont ~ – абстрактне ~
konkrét ~ – конкретне ~

Gy

gyomor – шлунок
gyomorfekély – виразка шлунку
gyomorhurut – гастрит
gyomornedv – шлунковий сік
gyógyszérum – лікувальна сироватка
gyűjtőérfal-gyulladás – тромбофлебіт
gyűjtőkanyarulat – збирна трубочка
gyűrűs záróizom (szfinkter) – сфінктер

H

haj – волосся
hajlam – схильність
halandóság – смертність
hajszálerek (kapillárisok) – капіляри
hangrés – голосова щілина
hangszálak – голосові зв'язки
hát – спина
hátgerinc – хребет
gerincrészek – відділи хребта
ágyék~ – поперековий ~
hát~ – грудний ~
farok~ – хвостовий ~
keresztcsonti ~ – крижовий ~
nyaki ~ – шийний ~
hemoglobin – гемоглобін
here – яєчко
herezacskó – мошонка
hímvessző – статевий член
hipotalamusz – гіпоталамус
HIV – ВІЛ
homeosztázis – гомеостаз
hormon – гормон
hörgőcskék – бронхіоли
hörgőfa – бронхіальне дерево
hörgőhurut – бронхіт
hörgők – бронхи
hőérzékelés – температурна чутливість
hőszabályozás – терморегуляція
húgy – сеча
húgycső– сечівник
húgyhólyag – сечовий міхур
húgyvezeték – сечовід

I

ideg – нерв
agyi ~ – черепномозкові ~
gerincvelő~ – спинномозкові ~
idegrendszer – нервова система
környéki (perifériális) ~ – периферична ~
központi ~ – центральна ~ ~
vegetatív (autonom) ~ – вегетативна ~ ~
ikrek – близнята
immunitás – імунітет
humorális ~ – гуморальний ~
mesterséges ~ – – штучний ~
sejt~ – клітинний ~
szerzett ~ – набутий ~
természetes ~ – природний ~
veleszületett ~ – природжений ~
indíték – мотивація
indulatok – афекти
influenza – грип
ingerelhetőség – збудливість
inger – подразливість
ínhártya – склера
ínszalagok – зв'язки
interfázis – інтерфаза
interferon – інтерферон
irha – підшкірна клітковина

izom – м'яз
bordaközi – міжреберні ~
csuklyás ~ – трапеціївидний ~
delta~ – дельтоподібний ~
feszítő ~ – ~ розгиначі
forgató ~ – ~ обертачі
hát~ – спинний ~
hajlító~ – ~ згиначі
kétfejű – двоголовий ~
lábszár~ – литковий ~
mimikai ~ – мімічні ~
négyfejű ~ – чотириголовий ~
rágó~ – жувальний ~
szabó~ – кравецький ~
széles ~ – широкий ~
szív~ – серцевий ~

J

jellem – характер
egységes ~ – цілісний ~
határozott ~ – визначений ~

K

kanyarulatos csatorna – звивистий канал
kéreg alatti rész – підкірка
kéregállomány – кіркова речовина
képesség – здібність
kérgestest – мозолисте тіло
kézfej – кисть
kialakulás – формування
kifózis – кіфоз
kilégzés – видих
kolera – холера
koponya – череп
agy~ – мозковий ~
arc~ – лицевий ~
koszorúerek – коронарні судини
köldökzsinór – пуповина
körmök – нігті
kötötthártya-gyulladás – кон'юктивіт
központ – центр
nyálelválasztó ~ – слиновидільний ~
sejt~ – клітинний ~
kriszták – кристи
kromoszóma – хромосома
nemi ~ – статева ~
szomatikus ~ – соматична ~
kulcscsont – ключиця

L

lapocka – лопатка
lappangási idő – інкубаційний період
lábfej – стопа
lábszár – гомілка
látóideg – зоровий нерв
látótelep (talamusz) – зорові горби, таламус
lebomlás (katabolizmus) – катаболізм
légcső – трахея
légzőközpont – дихальний центр
légzés – дихання
belső ~ – внутрішнє ~
külső ~ – зовнішнє ~
- mesterséges lélegeztetés – штучне ~
légzéstérfogat – дихальний об'єм
belégzési ~ – додатковий ~
kilégzési ~ – резервний ~
lép – селезінка
limfociták – лімфоцити
lipáz – ліпаза
lipidek – ліпіди
lizocim – лізоцим
lizoszómák – лізосоми
lordózis – лордоз
lúdtalp – плоскостопість

M

magas vérnyomás – гіпертонія
magorsó – ахроматинове веретено
magzat (embrió) – зародок, ембріон, плід
magzatburok – зародкова оболонка
máj – печінка– makroelemek – макроелементи
maltóz – мальтаза
második jelzőrendszer – друга сигнальна система
meiózis – мейоз
méh – матка
méhlepény – плацента
melegházhatás – парниковий ефект
mellbimbó – сосок
mellékhere – придатки яєчка
mellhártya – плевра
mellhártyanedv – плевральна рідина
mellkas – грудна клітка
membrán – мембрана
metabolizmus – метаболізм
mikroelemek (nyomelemek) – мікроелемент
mirigy – залоза
állkapocs alatti ~ – підщелепна ~
belsőelválasztású ~ – внутрішньої секреції ~
csecsemő (timusz) ~ – вилочкова ~
faggyú~ – сальні ~
fültő~ – привушна ~
hasnyál~ – підшлункова ~
hipofízis (agyalapi) ~ – гіпофіз
ivar~ – статеві ~
kevert elválasztású ~ – змішані ~
mellékpajzs~ – щитоподібна ~
mellékvese – надниркова ~
nyál~ – слинні ~
nyálka~ – слизові ~
nyelv alatti ~ – під'язикова ~
pajzs~ – щитоподібна ~
tej~ – молочна ~
verejték~ – ношові
mitokondriumok – мітохондрії
mitózis (közvetett osztódás) – мітоз, непрямий поділ
mozgási képesség – навички руху
mozgásszegénység – гіподинамія

N

napszúrás – сонячний удар
nefron – нефрон
nemesgázok – інертні гази
nemzet – нація
népcsoport (etnikum) – народність
neurofibrillumok – нейрофібрили
neuroglia – нейроглія
neuron – нейрон
- érző (centripetális) – чутливі, доцентрові ~
- köztes ~ – вставний ~
- mozgató (centrifugális) ~ – руховий, відцентровий
nitrogén – азот
növekedés – ріст
nukleinsavak – нуклеїнові кислоти

Ny

nyak – шия
nyál – слина
nyálka (nyák) – слиз
nyelés – ковтання
nyelőcső – стравохід
nyelv – язик
nyirok – лімфа
nyirokcsomó – лімфатичні вузли

O,Ó

orr – ніс
orrgarat – носоглотка
orsó-húzófonalak – нитки ахроматинового веретена
orvostudomány – медицина
ólom – свинець
ozmózis – осмос
oxihemoglobin – оксигемоглобін

Ö,Ő

önszabályozás – саморегуляція
örökletes betegség – спадкова хвороба
összpontosítás – зосередження
ösztrogén – естраген
ösztön – інстинкт

P

pajzsmirigy – щитовидна залоза
pajzsporc – щитовидний хрящ
pálcikák – палочки
percvértérfogat – хвилинний об'єм крові
petefészek – яєчник
petesejt – яйцеклітина
petevezeték – маткова труба
pielonefritisz – пієлонефрит
porc – хрящ
rostos ~ – волокнистий ~
rugalmas ~ – еластичний ~
üveg ~ – гіаліповий ~
prosztata (dülmirigy) – передміхурова залоза
pulpa (fogbél) – пульпа
pulzus – пульс

R

radioaktív sugárzás – радіоактивне випромінювання
radioaktív bomlás – радіоактивний розпад
radioizotópok – радіонукліди
rágás – жування
rasszok – раси
recehártya – сітківка
receptorok – рецептори
ény ~ – фото ~
hő~ – термо ~
kemo~ – хемо ~
mechanikai – механо ~
szagló ~ – нюхові ~
tapintó ~ – контактні ~
távolsági ~ – дистантні
reflex – рефлекс
feltételes ~ – умовний
feltétlen ~ – безумовний
reflexív – рефлекторна дуга
Rh-faktor – резус-фактор
rekeszizom – діафрагма
rekeszlabirintus – перетинчастий лабиринт
replikáció – редуплікація
ribonukleinsav (RNS) – рибонуклеїнова кислота, РНК
hírvivő (mRNS) ~ – інформаційна ~
riboszomális (rRNS) ~ – рибосомна ~
szállító (tRNS) ~ – транспортна ~
riboszóma – рибосома
rostok – волокна

S

savas esők – кислотні дощі
sejtciklus – життєвий цикл клітини
sejtek – клітини
fényfelfogó ~ – світлосприймальні ~
ideg~ – нервові ~
izom~ – м'язові ~
ivar~ – статеві ~
vér~ – кров'яні ~
sejtmaghártya – ядерна оболонка
sejtmagnedv (karioplazma) – каріоплазма
sejtmagvacska – ядерце
sejtközpont – клітинний центр
sejtosztódás – поділ клітин
sipoly – фістула
sósav – соляна кислота
spermium (ondósejt) – сперматозоон
stressz – стрес
sugártest – циліарне тіло

Sz

szabályozás – регуляція
idegi ~ – нервова ~
idegi humorális ~ – нервово- гуморальна ~
humorális ~ – гуморальна ~
szaglás – нюх
szalmonellafertőzés – сальмонельоз
szaruhártya – рогівка

szegycsont – грудина
szembogár (pupilla) – зіниця
szemgolyó – очне яблуко
szemhéj – повіка
szemlencse – кришталик
szemöldök – брови
szempillák – вії
szemüreg – очна ямка
szennyeződés – забруднення
szétcsavarodás – розкручування
szerv – орган
szerves – органічна сполука
szervrendszer – система органів
emésztő ~ – травна ~
érzék (szenzor) ~ – чуття, сенсорні ~
hűgy-ivari ~ – сечостатева ~
idegrendszer – нервова ~
légző~ – дихальна ~
mirigy~ – ендокринна ~
támasztó és mozgás~ – опорио- рухова ~
vérkeringési ~ – кровоносна ~
szimfízis – лобкове зрощення
szín – колір
szinapszis – синапс
szisztola – систола
szisztolás térfogat – систолічний об'єм
szív – серце
- szívkamra – шлуночок ~
- szívpitvar – передсердя
szivárványhártya – райдужна оболонка
szívbillentyű – клапан серця
félhold alakú ~ – пів місяцеві
vitorla alakú ~ – стулкові
szívizominfarktus – інфаркт міокарда
szövet – тканина
csont~ – кісткова ~
hám~ – епітеліальна ~
ideg~ – нервова ~
izom~ – м'язова ~
csíkoltizom-~ – поперечно-смугаста ~
simaizom~ – гладка ~
kötő~ – сполучна ~
támasztó~ – опорна ~
táp (trofikus) ~ – трофічна ~
szövettan – гістологія
szuggesszció – навіювання
születésszám – народжуваність
szülés – роди
szürkeállomány-magok – ядра мозку
szűrés – фільтрація

T

tagolt beszéd – членороздільна мова
tapintás – дотик
tápcsatorna – кишковий тракт
táplálkozás – харчування
távollátás – далекозорість
tehetség – здібність
testedzés – загартовування
tetanusz – правець
tetvesség – педикульоз
térdkalács – надколінок
tisztítás – очищення
tónuszavar – дистонія
tripszin – трипсин
törzs – тулуб
tudat – свідомість
turgornyomás – тургор
tüdőgyulladás – пневмонія
tüdő – легені
tüdő-vitálkapacitás – життєва ємність легень
tüsző – фолікула

Ü,Ű

üreg – порожнина
has~ – черевна ~
izületi ~ – суглобова ~
mell~ – грудна
száj~ – ротова
orr~ – носова
üvegtest – скловидне тіло

V

változékonyság – мінливість
nem örökletes ~ – неспадкова, фенотипна
örökletes ~ – спадкова, генотипна
vas – залізо
védelem – охорона
védőoltás – щеплення
végtagok – кінцівки
végtagöv – пояс кінцівок
velő – мозок
agy ~ – головний ~
csont~ – кістковий ~
sárga csont~ – жовтий ~ ~
vörös csont– червоний ~ ~
gerinc~ – спинний ~
velőállomány – мозкова речовина
venula – венула
véna – вена
alsó űrös – нижня порожниста ~
felső űrös ~ – верхня порожниста
vér – кров
véradó – донор
vér alakos elemei – форменні елементи крові
véralvadás – згортання крові
vérátömlesztés – переливання крові
vércsoport – група крові
verejték – піт
véredények – кровоносні судини
vérhas (dizentéria) – дезинтерія
vérkeringés – кровообіг
vérképzés – кровотворення
vérkör – коло кровообігу
vérlemezek (trombociták) – тромбоцити
vérplazma – плазма крові
vérrög (véralvadék) – тромб
vese – нирка
vesegyulladás – нефрит
vitaminszegénység – авітаміноз
visszértágulat – варикозне розширення вен
vizelet – сеча

elsődleges ~ – первинна ~
másodlagos ~ – вторинна ~
vörös vértest – еритроцит

Z

zárványok – включення
zománc – емаль
zúzódás – ушиб

Zs

zsírraktár – жирове депо
zsír – жир

ÁLTALÁNOS BIOLÓGIA

A, Á

agrocönózis – агроценоз
alfaj – підвид
alkalmazkodás (adaptáció) – адаптація
algológia (moszattan) – альгологія
altörzs – підтип
aminosavak – амінокислоти
amitózis – амітоз
anafázis – анафаза
analógia – аналогія
antigén – антиген
antitest – антитіло
areál – ареал
asszimiláció – асиміляція
atavizmus – атавізм
atmoszféra (légkör) – атмосфера
ausztralopithekusz – австралопітек
autotróf – автотроф

B

barázdálódás – дроблення
belső csíralemez – ентодерма
bélcsíra (gasztrula) – гаструла
bélcsíraképződés – гаструляція
biocönózis – біоценоз
biológiai haladás – біологічний прогрес
biológiai regresszió – біологічний регрес
biomassza – біомаса
bioszféra – біосфера
bioszintézis – біосинтез
fehérje~ – ~ білків
biotechnológia – біотехнологія
blasztomer – бластомер

C

cellulóz – целюлоза
centriólum – центріоля
centroméra – центромера
citoplazma – цитоплазма
citozin – цитозин

Cs

csökevény – рудимент

D

degeneráció (hanyatlás) – дегенерація
denaturáció – денатурація
disszimiláció – дисиміляція
DNS-kettőződés – подвоєння ДНК
dominálás – домінування

E, É

egyedfejlődés – онтогенез, індивідуальний розвиток
endoplazmás retikulum (ER) – ендоплазматична сітка (ЕР)
életciklus – життєвий цикл
élőanyagfunkció – функції живої речовини
- biokémiai – біохімічна ~
- dúsító – концентраційна ~
- gázcsere – газова ~
- redukciós – редукційна ~
élőlények rendszere – система організмів
- mesterséges – штучна ~
- természetes – природна ~
evolúció mozgatórugói – рушійні сили еволюції

F

fagocitózis – фагоцитоз
fajképződés – видоутворення
földrajzi ~ – географічне ~
ökológiai ~ – екологічне ~
biokémiai ~ – біохімічний ~
élettani ~ – фізіологічний ~
földrajzi ~ – географічний ~
genetikai ~ – генетичний ~
morfológiai ~ – морфологічний ~
ökológiai – екологічний ~
faj – вид
endemikus – ендемічні ~
meghatározatlan ~ – невизначені
pusztuló ~ – зникаючі
ritka ~ – рідкісні, раритетні
fajta – порода
fehérjeszerkezet – структура білків
elsődleges ~ – первинна ~
másodlagos ~ – вторинна ~
negyedleges ~ – четвертинна ~
fehérjék – білки
egyszerű ~ – прості, протеїни
fonalas ~ – фібрилярні
gömb – глобулярні
összetett ~ – складні, протеїди
fehérjefunkció – функція білків
- jelző – сигнальна ~
- katalitikus – каталітична ~
- mozgató – скорочувальна ~
- raktározó – запасаюча~
- szabályozó – регуляторна ~
- szállító – транспортна ~
- tápláló – поживна ~
fejlődéselmélet – еволюційна теорія
fejlődéstörténet – еволюція
emberi ~ – ~ людини
szerves világ ~ – ~ органічного світу
fenotípus – фенотип
fruktóz – фруктоза
foszforsav – фосфорна кислота
fotoszintézis – фотосинтез
fototrófok – фототрофи
földtörténeti korszakok – ери історії Землі
- archaikum (őskor) – архейська ~
- kainozoikum (újkor) – кайнозойська ~

- mezozoikum (középkor) – мезозойська ~
- paleozoikum (ókor) – палеозойська ~
proterozoikum (hajnalkor) – протерозойська ~

G

gametogenezis – гаметогенез
gametogenezis-szakaszok – зони гаметогенезу
- alakulási – ~ формування
- érési – ~ достигання
- növekedési – ~ росту
- szaporodási – ~ розмноження
genetika – генетика
genóm – геном
genetikai kód – генетичний код
genotípus – генотип
gén – ген
allél ~ – алельні ~
domináns ~ – домінантні ~
recesszív ~ – рецесивні ~
szabályozó ~ – регуляторні ~
strukturális ~ – структурні ~
gének többirányú hatása – множинна дія генів
génkicserélődés (crossing over) – кросинговер
génsebészet – генна інженерія
glikogén – глікоген
glikolízis – гліколіз

H

haploid – гаплоїд
hasadás – розщеплення
heterotrófok – гетеротрофи
hibridizáció – гібридизація
hidrogén – водень
hidrogénkötés – водневий зв'язок
hidroszféra – гідросфера
homológia – гомологія

I

ichtiológia – іхтіологія
idioadaptáció – ідіоадаптація
földtörténeti korok – періоди
antropogén ~ – ~ антропогенезу
karbon ~ – кам'яновугільний ~
devon ~ – девонський ~
jura ~ – юрський ~
kambrium ~ – кембрійський ~
kréta ~ – крейдяний
neogén – ~ неогену
ordovícium – ~ ордовинський
paleogén – ~ палеогену
perm – ~ пермський
szilur – силурійський
triász – тріасовий
interfázis – інтерфаза
intermedier öröklődés – проміжне успадкування

J

jelleg (bélyeg) – ознака
lappangó (recesszív) ~ – рецесивна
uralkodó (domináns) ~ – домінантна
jellegkapcsolódás – зчеплення ознак

K

karbon – вуглець
kapcsolt öröklődés – зчеплене успаткування
keményítő – крохмаль
kemoszintézis – хемосинтез
kemotrófok – хемотрофи
keresztezés – схрещування
elemző ~ – аналізуюче ~
dihibrid ~ – дигібридне
monohibrid ~ – моногібридне
kínai ember (sinanthropus) – синантроп
kitin – хітин
kiválasztódás (kiválogatódás) – добір
stabilizáló ~ – стабілізуючий ~
irányító ~ – рушійний ~
természetes ~ – природний
kompementer – комплементарний
konjugáció – кон'югація
konzumensek – консументи
kromatidák – хроматиди
kromatin – хроматин
kromonéma – хромонема
kromoszóma-befűződés – перетяжка хромосоми
elsődleges (centrikus) ~– первинна, центрична ~
másodlagos ~ – вторинна ~
kromoszómakészlet – набір хромосом
diploid ~ – диплоїдний ~
haploid ~ – гаплоїдний ~
poliploid ~ – поліплоїдний ~
kromoszóma – хромосома
homológ ~ – гомологічні ~
ivari (nemi) ~ – статеві ~
szomatikus ~ – соматичні ~
köldökzsinór – пуповина
környezet – середовище
középső csíralemez – мезодерма
kultúrnövények származási központja – центр походження культурних рослин
küzdelem a létért – боротьба за існування
fajon belüli ~ – внутрішньовидова ~
faj közötti ~ – міжвидова ~

L

lipidek – ліпіди
litoszféra – літосфера
lizoszóma – лізосома

M

maghártya – ядерна оболонка
maghártyapórusok – ядерні пори
magorsó – веретено поділу ядра
magvacska – ядерце
makroelemek – макроелементи
makroevolúció – макроеволюція
makromolekula (biopolimer) – макромолекула, біополімер
matrica (mátrix) -szintézis – матричний синтез

méhlepény – плацента
meiózis (számcsökkentő osztódás) – мейоз
metafázis – метафаза
mikroevolúció – мікроеволюція
mutáció – мутація
gén~ – генна ~
kísérleti – дослідна ~
kromoszóma ~ – хромосомна ~
szomatikus ~ – соматична ~

N

nem (ivar) – стать
nemzedék – покоління
nemzeti park – національний парк
nemzetség (nem) – рід
nooszféra – ноосфера
növényfajta – сорт
nukleoproteid – нуклеопротеїд
nukleotid – нуклеотид

Ö,Ő

ökológiai fülke – екологічна ніша
~ gúla – ~ піраміда
~ rendszer – ~ система
~ tényezők – ~ фактори
biotikus ~ – абіотичні ~ ~
antropogén ~ – антропогенні ~ ~
biotikus ~ – біотичні ~ ~
öröklődés – спадковість
ősbélüreg – бластоцель
ősszáj – бластопор

P

petesejtfejlődés – овогенез
pinocitózis – піноцитоз
pithekantropus – пітекантроп
hialoplazma – гіалоплазма
plazmamembrán – плазматична мембрана
poliploid – поліплоїд
polimer – полімер
poliszacharid – полісахарид
polociszta – напрямне тільце
populáció – популяція
producensek – продуценти
profázis – профаза
propliopithecus – пропліопітек

R

reakciónorma – норма реакції
reducensek – редуценти
rekombináció – рекомбінація
rendszerezés – класифікація
rendszertan – систематика
replikáció (megkettőződés) – реплікація
riboszóma – рибосома
ribóz – рибоза
ritka növények – екзоти
rothadás – гниття

S

sejtdifferenciáció – диференціація клітин
sejtelmélet – клітинна теорія
sejtfal – клітинна сітка
sejthártya – клітинна сітка
sejtmag – ядро
generatív ~ – генеративне ~
vegetatív ~ – вегетативне ~
sejtmaghártya – каріотека
sejtmagnedv – каріоплазма
sokféleség – різноманітність
spirálizáció (felcsavarodás) – спіралізація

Sz

szaporodás – розмноження
szelekció – селекція
szétcsavarodás (despirálizáció) – розкручування, деспіралізація
szénhidrátok – вуглеводи
szerveződési szint – рівень організації
szik – жовток

T

taxisok – таксиси
taxon – таксон
táplálkozási láncok – ланцюги живлення
telofázis – телофаза
tényezők – фактори
abiotikus ~ – абіотичні
antropogén ~ – антропогенні
biotikus ~ – біотичні
ökológiai ~ – екологічні
természetvédelem – охорона природи
timin – тимін
törzs – тип
törvény – закон
gamétatisztasági ~ – ~ чистоти гамет
Haeckel–Müller-féle ~– біогенетичний ~, Геккеля-Мюллера
Hardy–Weinberg-féle ~– ~ Харді- Вайнберга
homolog sorok ~ – ~ гомологічних рядів
öröklődési (Mendel-féle) ~– ~ спадковості, Менделя
törzsfejlődés (filogenezis) – філогенез
transzkripció (átírás) – транскрипція
transzláció (fordítás) – трансляція
triplet – – триплет
tropizmus – тропізм

V

variációs sor – варіаційний ряд
változékonyság – мінливість
kombinatív ~ – комбінативна ~
modifikációs (fenotípusos) ~ – модифікаційна, фенотипна
mutációs (genotípusos) ~ – мутаційна, генотипна
velőcsőfejlődés az embrióban – нейруляція
vibriók – вібріони
vírusok – віруси
víz – вода
kötött – зв'язана
szabad ~ – вільна
Vörös Könyv – Червона книга

Z

zigóta (csírasejt) – зигота
heterozigóta – гетерозигота
homozigóta – гомозигота

TARTALOM

Kedves tizenegyedikesek! ... 3

4. téma. A szervezetek szaporodása

1. §. A szervezetek szaporodási formái. Ivartalan szaporodás ... 4
2. §. A szervezetek ivaros szaporodása ... 9
3. §. Az ivarsejtek szerkezete. Gametogenezis ... 12
1. sz. laboratóriumi munka. Az ivarsejtek szerkezete ... 18

5. téma. Az örökletesség törvényszerűségei

4. §. A genetika mint a szervezetek örökletességéről és változékonyságáról szóló tudomány ... 20
5. §. A genetika kutatási módszerei ... 27
6. §. Az öröklődés Gregor Mendel által megállapított törvényszerűségei. Az öröklődési törvények statisztikai jellege és citológiai alapja ... 33
7. §. A kapcsolt öröklődés jelensége. Az öröklődés kromoszóma-elmélete ... 41
8. §. Ivargenetika. Ivarhoz kapcsolódó öröklődés ... 46
9. §. A genotípus mint egységes rendszer. Citoplazmás öröklődés ... 52
1. sz. gyakorlati munka. Típusfeladatok megoldása genetikából (mono- és dihibrid keresztezés). ... 59

6. téma. A változékonyság törvényszerűségei

10. §. Modifikációs változékonyság – a genotípus és a környezet kölcsönhatásának következményei ... 62
11. §. Mutációs változékonyság ... 67
12. §. A mutációk okai. Az örökletes változékonyság homológ sorainak törvénye ... 73
2. sz. laboratóriumi munka. A muslica normális és mutáns alakjainak megfigyelése és összehasonlítása. ... 78
3. sz. laboratóriumi munka. A növények változékonyságának vizsgálata. Variációs sorok és variációs görbék szerkesztése. ... 78
2. sz. gyakorlati munka. Típusfeladatok megoldása mutációtípus meghatározásából. ... 79

7. téma. A genotípus mint egységes rendszer

13. §. A vírusok és prokarióták genomjának alaptulajdonságai ... 81
14. §. Az eukarióták génműködésének főbb törvényszerűségei ... 84
15. §. Az ember genetikája ... 89

16. §. A genotípus és környezeti tényezők szerepe az ember fenotípusának alakulásában. Orvosi genetika ... 93
17. §. A korszerű nemesítés feladatai és módszerei ... 99
18. §. A növények, állatok és mikroorganizmusok nemesítésének sajátosságai. Biotechnológia. Génsebészet és sejttervezés ... 107

8. téma. A szervezetek egyedfejlődése

19. §. Megtermékenyítés a szervezetek különböző csoportjainál ... 117
20. §. A szervezetek egyedfejlődésének szakaszai. Az állatok embrionális fejlődésének kezdeti stádiumai ... 121
21. §. Az embrió szerveinek kialakulása. Az embrió részei közötti kölcsönhatás jelensége ... 126
22. §. Az ember embrionális fejlődésének a sajátosságai. Embriotechnológia ... 130
23. §. A szervezetek posztembrionális fejlődése és növekedése. Az életciklus fogalma ... 135
4. sz. laboratóriumi munka. A gerinchúrosok embriogenezise ... 149

IV. RÉSZ. AZ ÉLET SZERVEZETEK FÖLÖTTI SZINTJEI

1. téma. Az evolúciós tanítás alapjai. Az ökológia alapjai. Az ember és a bioszféra

24. §. Az ökológiai tényezők és osztályozásuk. Az ökológiai tényezők élő szervezetekre és társulásaikra gyakorolt hatásának törvényszerűségei ... 145
25. §. A szárazföld és a légkör mint élőhely ... 151
26. §. A talaj és az élőlények mint élőhely ... 158
27. §. Az élőlények alkalmazkodó bioritmusai ... 162
28. §. A populációk jellemzése és szerkezete. Populációs hullámok. Populációs homeosztázis ... 166
29. §. A szervezetek sokfajú társulásai: biocönózisok, biogeocönózisok, ökoszisztémák ... 171
30. §. Az ökoszisztémák változatossága, fejlődése és produktivitása ... 175
31. §. A bioszféra és határai. Az élőlények szerepe a bioszférában ... 183
32. §. Az emberi tevékenység hatása a bioszféra állapotára ... 188
33. §. A bioszféra védelme ... 192
3. sz. gyakorlati munka. Ökológiai feladatok megoldása. ... 199

V. RÉSZ. A SZERVES VILÁG TÖRTÉNELMI FEJLŐDÉSE

1. téma. Az evolúciós tan alapjai

34. §. Az evolúciós nézetek keletkezése ... 202
35. §. Charles darwin evolúciós hipotézisének alaptételei ... 208
36. §. A darwinizmus fejlődése. Az alkalmazkodások mint az evolúciós folyamat eredménye ... 211
37. §. Az evolúció szintetikus hipotézisének alaptételei ... 218

38. §. A faj és kritériumai. Fajképződés 224
39. §. Makroevolúciós folyamatok 229
40. §. Az evolúció tényezőiről alkotott modern elképzelések: az ökológia és az evolúciós nézetek szintézise 238
4. sz. gyakorlati munka. A természetes kiválogatódás és a mesterséges kiválasztás összehasonlítása. 244

2. téma. A szerves világ történelmi fejlődése és változatossága

41. §. A földi élet keletkezésének hipotézisei és fejlődésének kezdeti szakaszai 246
42. §. Az élet fejlődése a paleozoikumban 252
43. §. Az élet fejlődése a mezozoikumban 261
44. §. Az élet evolúciója a kainozoikumban 268

Összefoglalás 278
Magyar-ukrán biológiai szótár 282

Навчальне видання

БАЛАН Павло Георгійович
ВЕРВЕС Юрій Григорович

БІОЛОГІЯ

Рівень стандарту, академічний рівень

Підручник для 11 класу загальноосвітніх навчальних закладів
із навчанням угорською мовою

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Переклад з української
Перекладач *Адальберт Адальбертович Варга*

Угорською мовою

Зав. редакцією *А. А. Варга*
Редактор *А. А. Варга*
Обкладинка, художнє оформлення, комп'ютерна
обробка ілюстративного матеріалу *Ю. Кущ*
Коректор *І. О. Петро*

Формат 70x100/16. Папір офс. Гарнітура Schoolbook. Друк офс.
Умовн. друк. арк. 24,70. Обл.-вид. арк. 21,85. Тираж 1100 пр. Зам. № 125-11.

Державне підприємство
"Всеукраїнське спеціалізоване видавництво "Світ"
79008 м. Львів, вул. Галицька, 21
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2980 від 19.09.2007
www.dsv-svit.lviv.ua
e-mail: office@dsv-svit.lviv.ua

Друк на ПРАТ "Львівська книжкова фабрика "Атлас"
79005 м. Львів, вул. Зелена, 20
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК 1110 від 08.11.2002 р.