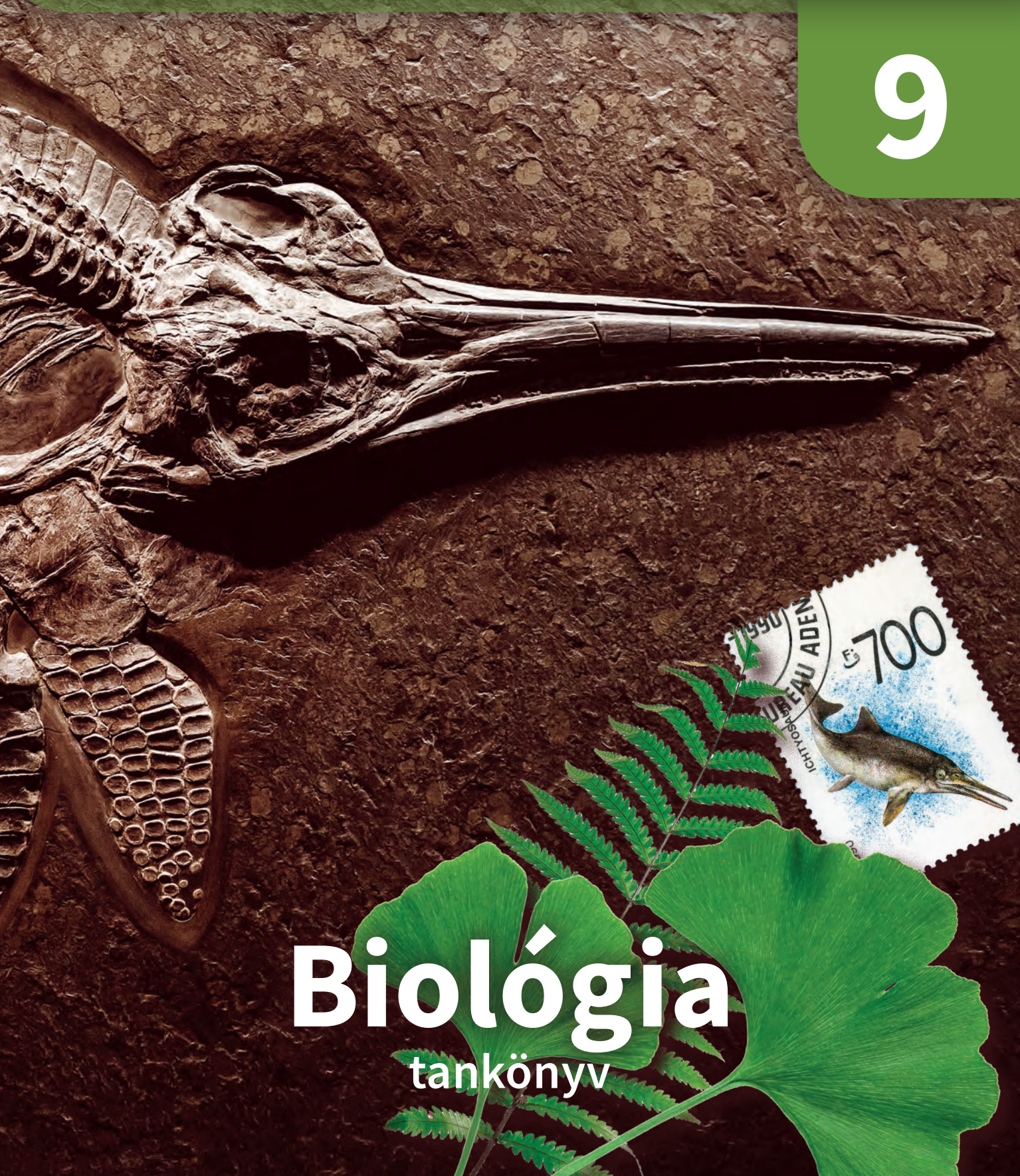




OKTATÁSI  
HIVATAL

NAT  
2020

9



# Biológia

tankönyv



*Borítón látható képek:*

Fő kép: Egy **Ichthyosaurus fossziliája**. Ezek a vízi életmódhoz maximálisan alkalmazkodott hüllők több, mint 200millió évvel ezelőtt éltek. A ma élő cetekkel számos hasonlóságuk fedezhető fel, ez azonban nem a rokonság, hanem az azonos élőhely és életmód evolúciós eredménye, amit konvergenciának hívunk. A bélyegen a maradványok alapján rekonstruált képe látható.

Levelek: **Páfrány** és **páfrányfenyő** levelei. A páfrányfenyő élő kővület, több százmillió év óta nagyon hasonló formában fordul elő. A megkövesedett maradványai előbb váltak ismertté, mint hogy élő példányt találtak volna belőle.

Hátul: **Charles Darwin noteszének egy lapja**, 1837-ből. Ezen az oldalon használt először a törzsejlődés ábrázolására fadiagramot.



# Biológia

Tankönyv

9.



A kiadvány 2020. 06. 11-től 2025. 08. 31-ig tankönyvi engedélyt kapott a TKV/3201-7/2020. számú határozattal.

A tankönyv megfelel a Kormány 5/2020 (I.31.) Korm. rendelete a Nemzeti alaptanterv kiadásáról, bevezetéséről és alkalmazásáról szóló 110/2012 (VI. 4) Korm. rendelet módosításáról megnevezésű jogszabály alapján készült Kerettanterv a gimnáziumok 9–12. évfolyama számára, továbbá a gimnáziumon 7–12. évfolyama számára, a szakgimnáziumok 9–12. évfolyama számára megnevezésű kerettanterv biológia-egészségtan tantárgy előírásainak.

A tankönyvvé nyilvánítási eljárásban közreműködő szakértő: Vámosiné Hegyi Andrea

Tananyagfejlesztő: Baranyai József, Fodor Zoltán, Veres Gábor

Kerettantervi szakértő: Veres Gábor

Szaktanácsadó: Kerényi Zoltán, Horváth Zsolt, Nyisztor Zsolt, Szabó Bence Farkas, Oláhné Nádasi Zsuzsanna

Lektor: dr. Koncz Gábor

Fedélterv: Slezák Ilona

Illusztrációk: Baróthy Andrea, Ifj. Ritter Ottó

Fotók: Culturis, Flickr, iStock, Public Health Image Library, Shutterstock, Thinkstock, Wikimedia

Fedélfotók: Shutterstock, Cambridge University Library

Szerkesztették az Oktatási Hivatal Tankönyvfejlesztési Osztályának munkatársai.

A tankönyv szerkesztői ezúton is köszönetet mondanak azoknak az íróknak, költőknek, képzőművészeknek, akiknek alkotásai tankönyveinket gazdagítják.

© Oktatási Hivatal, 2020

ISBN 978-615-6178-30-5

A könyvben az alábbi műveket használtuk fel: Biológia 10. (FI-505031001/1),  
Biológia 11. (FI-505031101/1) Biológia 12. (FI-505031201/1)

Ez a tankönyv a Széchenyi 2020 Emberi Erőforrás Fejlesztési Operatív Program EFOP-3.2.2-VEKOP-15-2016-00001. számú, „A köznevelés tartalmi szabályozóinak megfelelő tankönyvek, taneszközök fejlesztése és digitális tartalomfejlesztés” című projektje keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

**SZÉCHENYI** 2020



MAGYARORSZÁG  
KORMÁNYA

**Európai Unió**  
Európai Szociális  
Alap



**BEFECTETÉS A JÖVŐBE**



# Tartalom

<b>Előszó</b> .....	6	<b>VI. Az élet eredete és feltételei</b> .....	147
<b>I. A biológia tudománya</b> .....	7	24. Életjelenségek és életkritériumok .....	148
1. Az élet tudományának kialakulása és fejlődése .....	8	25. Az élet megjelenése .....	154
2. Hogyan vizsgálod a természetet? .....	16	26. Az ősbaktériumok jelentősége .....	161
3. Ember és természet .....	22	<b>VII. A változékonyság molekuláris alapjai</b> .....	165
<b>II. Az élővilág egysége</b> .....	27	27. A DNS megkettőződése és a mutációk .....	166
4. Az élő rendszerek anyagai .....	28	28. A génkifejeződés környezeti feltételei .....	170
5. Víz, diffúzió, ozmózis .....	34	29. A géntechnológia .....	172
6. Szénhidrátok .....	41	30. Genetikai mérnökség és a GMO-k hasznosítása .....	176
7. Lipidek .....	44	31. Bioinformatika .....	181
8. Fehérjék .....	47	32. Bioetika .....	185
9. Nukleotidok és nukleinsavak .....	51	<b>VIII. Egyedszintű öröklődés</b> .....	189
10. Enzimek és működésük .....	56	33. A genetika évszázada .....	190
<b>III. Sejt és genom</b> .....	61	34. Genetikai alapfogalmak .....	194
11. Vírusok .....	62	35. Egy gén, egy tulajdonság .....	197
12. Baktériumok .....	67	36. Változatok több génre .....	207
13. A DNS-től a tulajdonságokig .....	76	37. Mennyiségi jellegek öröklődése és a környezet hatása .....	210
14. A sejtciklus .....	85	<b>IX. Az evolúció</b> .....	219
15. A sejt felépítése és működése .....	92	38. Az evolúció felismerése .....	220
<b>IV. Sejtek és szövetek</b> .....	99	39. Az evolúció mechanizmusa .....	228
16. Növényi szövetek .....	100	40. A fajképződés lehetséges útjai .....	241
17. A zárva termő növények szerveinek szövettana .....	107	41. Nagy lépések az evolúcióban .....	249
18. Állati szövetek .....	113	<b>X. Az emberi szervezet</b> .....	255
<b>V. Élet és energia</b> .....	123	42. A bennünk élő múlt .....	256
19. Az élőlények felépítő anyagcsereje .....	124	43. Színes emberiség .....	264
20. A fotoszintézis .....	128	44. Forma és funkció .....	274
21. A biológiai oxidáció .....	132		
22. Az erjedés .....	137		
23. A szén körforgása .....	141		





## Előszó

A természet végtelen birodalmában különleges sziget a Föld. A Világegyetem sötét és hideg térségein túl a Nap éltető energiájának köszönhetően virágzik az élet. A földi környezet fizikai és kémiai viszonyai kedveztek az élet kialakulásának és fennmaradásának, bár a fejlődés sosem volt háborítatlan. A ma élő több millió faj olyan örökségünk, amely a megismerésükön túl védelmet is érdemel. A szabad szemmel nem látható mikrobák, a gombák, a növények és az állatok jelentik azt a biológiai sokféleséget, amely képes fenntartani az életközösségek természetes egyensúlyi állapotát.

A földi élővilágot magában foglaló bioszféra az utóbbi évszázadokban egyre inkább szembesült az emberi tevékenység által kialakított technoszféra terjeszkedésével. A mezőgazdaság egyre nagyobb földterületet foglal el, a városok és az úthálózatok felszabdadják az eddig egybefüggő élőhelyeket. A biológia tudománya segítségével bepillantunk a fajok és életközösségek múltjába is, de az igazi tanulsággal a jelenben megfigyelhető változások és folyamatok szolgálnak. Az ezekről gyűjtött adatok és a feltárt működési elvek alapján olyan modellek állíthatók össze, amelyek a jövőben várható események előrejelzésével segítik a mai döntéseinket. Ahogy az élő természet szintről szintre épül fel, úgy a jövőnkkel kapcsolatos felelősségünk a személyes életviteltől a családi szokásoktól a nemzeti szabályozásokon át egészen a globális kérdésekig terjed. A biológia tanulása abban segíthet, hogy rendelkezünk azokkal a szemléletmódokkal és tényekre alapozott tudással, ami utat mutat a fenntartható jövő felé.

A kötetben található témakörök tanulásával elmélyíthető és kibővíthető a korábbi években az élő természetről alkotott tudás. Megismerjük az élet kialakulásának alapvető feltételeit, a környezet fizikai hatásaitól indulva a kémia vegykonyhájába is eljutunk. Az egyik legnagyobb rejtély a változékonyság jelensége, ennek megértéséhez segítségül hívjuk az örökítőanyag molekuláit. A Föld élővilágának gazdagsága is feltárul előttünk, de vizsgáljuk a környezetünkben megfigyelhető természetes életközösségeket is. Arról sem feledkezünk meg, hogy mi magunk is természeti lények vagyunk, az emberi faj előtörténete vezet el az emberi test tanulmányozásához. Önmagunk elé tükröt tartva biológiai szempontból is alakítjuk testképünket, gazdagíthatjuk önismeretünket.





# A BIOLÓGIA TUDOMÁNYA

I.



1. Az élet tudományának kialakulása és fejlődése
2. Hogyan vizsgálod a természetet?
3. Ember és természet



# 1. Az élet tudományának kialakulása és fejlődése

1. Milyen hatással lehet egymásra egy történelmi kor társadalmára és tudós gondolkodóinak munkásságára?
2. Milyen szemléletváltások határozták meg a biológia fejlődését, hogyan cserélődtek a tudományos modellek?
3. Milyen tudományterületek alakultak ki a biológián belül?

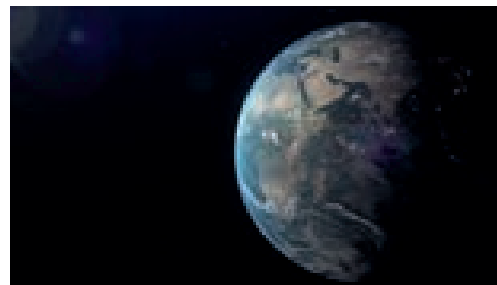
## A biológiai tudás előzményei

Bolygónk, a Föld különös hely (1. ábra). Mai tudásunk szerint csak itt fedezhetjük fel azt a jelenséget, amit életnek nevezünk. Szerencsések vagyunk, mivel részei és egyben megfigyelői is lehetünk ennek a csodálatos élővilágnak. Túlélésünk és fennmaradásunk kulcsa a környezet és az élővilág alkotta hálózatba való beilleszkedés volt. Őseink olyan tapasztalatokkal és képességekkel rendelkeztek, amelyek hozzásegítették őket a túléléshez. Ezt a tudást napról napra próbára tették és nemzedékről nemzedékre továbbadták.

Néhány emberöltővel ezelőtt a paraszti gazdálkodásban még megbecsültek voltak a hagyományokat ismerő, sok tapasztalattal rendelkező földművesek, pásztoremberek. A természet gazdagsága azonban túlmutat az emberi szükségleteken, ami felkeltette az emberekben a megismerés és magyarázatkeresés vágyát.

Az ókori Athén talán legismertebb gondolkodója, **Arisztotelész** sok száz különböző állatot, például halakat írt le, a közöttük lévő hasonlóságok és különbségek alapján csoportokba is rendezte ezeket (2. ábra). Meg volt győződve arról, hogy ezek az állatfajok mindig is így néztek ki, és utódaik is velük megegyező tulajdonságúak lesznek. Egyik követője, **Theophrasztosz** a növényvilágot tanulmányozta hasonló módon. Munkásságuk az állattan és a növénytan, azaz a zoológia és a botanika kialakulása felé nyitott utat.

**Hippokratészt**, akinek a neve ma is az orvosi eskühöz kapcsolódik, az emberi test, az egészség és a betegség, a gyógyítás lehetőségei foglalkoztatták. A környezettel egységben, rendszerként ér-



1. Napkelte a Földön – egy űrállomásról készített felvétel



2. Édesvízi halfajok

telmezte az emberi testet. Felismerte, hogy az egészséget a jó levegő, a változatos táplálkozás és a mértékletes életmód szolgálhatja.

Az ókori görög filozófusok követői részben folytatták a természet tudatos vizsgálatát, részben kritika tárgyává tették a meggyökeresedett tanokat. A bővülő ismeretek, a bizonyítás vagy cáfolat próbáján alapuló gondolkodás vezetett el a betegségek okainak jobb megismeréséhez, illetve a fajok evolúciós változásának alapvető elméletéhez.



### Idézd fel!

1. Milyen volt az ókori görög világ társadalma?
2. Miért élhetett akkor és ott annyi nagy gondolkodó?

### Ítéld meg!

Miért nevezzük Arisztotelészt és a kortárs görög gondolkodókat filozófusoknak, és nem a mai értelemben vett tudósoknak?

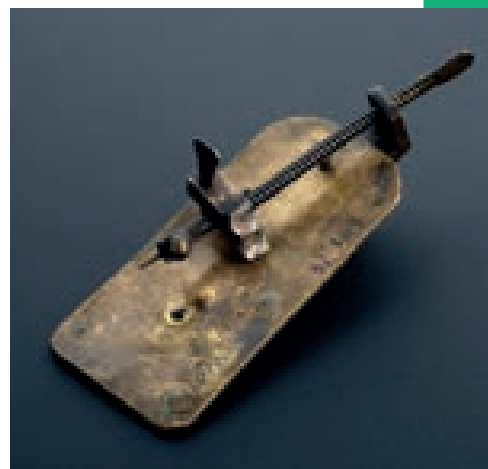
## Út a modern biológia felé

A további fejlődéshez szükség volt a kételkedőkre, a kritikus gondolkodást bátran vállalókra. Ilyen volt pl. **Harvey**, aki **Galenosz** tanait **megfigyelésekkel** és kísérletekkel ellenőrizte. Arra a felismerésre jutott, hogy a vér az emberi testben a szív pumpáló munkája által, zárt érrendszerben áramlik körbe. Ekkor élt Galileo **Galilei** is, aki az arisztotelészi fizika megdöntetetlennek hitt nézeteit (pl. az ingamozgás és a szabadesés korábbi elméleteit) cáfolta **kísérletek** segítségével. A módszerek mellett a tudomány vizsgálati eszköztára is ekkoriban bővült. Az üvegművesség és az optika fejlődése a **távcső** és a **mikroszkóp** felfedezéséhez vezetett.

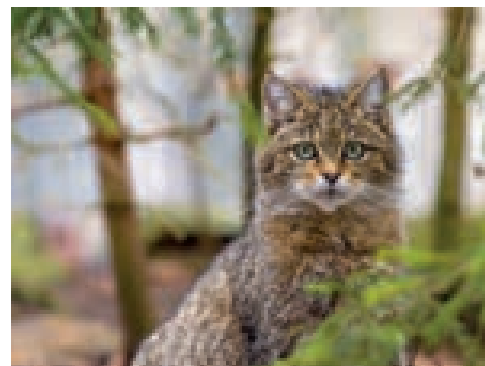
Ahogy Galilei a Hold vagy a Jupiter távoli világát felfedezve alkotott új elméleteket, úgy a mikroszkóp az élet rejtett dimenzióit tárta a vizsgálódók elé. Közülük a legismertebb Anton van **Leeuwenhoek** (ejtsd: lévenhuk) volt, aki egyszerű holland kereskedőből a maga készítette egylencsés mikroszkóp segítségével vált a mikrovilág felfedezőjévé. Elsőként számolt be a szabad szemmel nem látható parányi élőlények létezéséről (3. ábra).

A megfigyelési eredmények továbbadásához megfelelő formában való rögzítésükre is szükség volt. Robert **Hook** már szemlencséből és tárgylencséből álló összetett mikroszkóppal végezte megfigyeléseit, ezeket Leeuwenhoek előtt közölte *Micrographia* című művében. Részletes, pontos és művészi igényű rajzokon örökítette meg a mikroszkópban látott felfedezéseit. A parafa metszetén látott apró lyukacsák szerzetesi cellákra emlékeztető formái ihlették a **sejt** (cellula) elnevezést, amely később a biológia kulcsfogalmaként vált ismertté.

Az élőlények felépítésének vizsgálata mellett az állandóság vagy változás kérdése is hamarosan a tudományos viták tárgyává vált. Az ókori leírásokban szereplő több száz állat- és növényfaj a 18. századra már több tízezresre bővült. Ennek a sokféleségnek az áttekintése, csoportokba sorolása és egységes elnevezése Carl von **Linné** nevéhez fűződik. A fajok kettős elnevezése a faji megkülönböztető név és a nem/nemzetség neveiből tevődik össze (pl. *Felis sylvestris* [latin], európai vadmacska) (4. ábra). Linné tekinthető a biológiai **rendszertan**, a taxonómia megalapítójának.



3. Leeuwenhoek mikroszkópja



4. Európai vadmacska

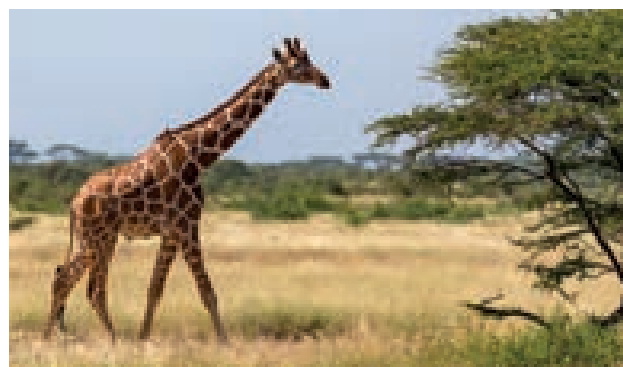


Más kutatókat gondolkodóba ejtett a fajok sokfélesége, és két-ségeket fogalmaztak meg az arisztotelészi állandóság értelmezésével kapcsolatban. Az időközben bekövetkező polgári forradalom szellemi hajtóereje kellett a felszínre hozásához. Jean-Baptiste **Lamarck** francia természettudós a Linné által felállított rendszert finomítva jutott arra a gondolatra, hogy az állatok életmódja nyomot hagy a testalkatukon, a jobban igénybe vett testrészek nagyobb mértékben fejlődnek, a kevésbé használatosak pedig elsorvadhatnak (5. ábra). A változások Lamarck szerint az utódokba is átörökökíthetők. A később feltárt bizonyítékok cáfolták a szerzett tulajdonságok átörökökíthetőségét, de a fejlődés gondolata további kutatásokat ösztönzött.

A földtörténet korábbi időszakaiban élt élőlények kövületeit vizsgálva Georges **Cuvier** a Föld korát jóval idősebbre becsülte, így elegendő időtávlat adódhatott a kövületekben mutatkozó fokozatos változásokhoz. Az áttörést Charles Darwin munkássága hozta el, aki Dél-Amerikában és a Galápagos-szigeteken végzett megfigyeléseket és gyűjtött vizsgálati anyagokat (6. ábra). Ezek elemzése alapján jutott a természetes szelekció felismerésére, amely magyarázatot adott a fajok sokféleségének kialakulására. Darwin a fajok eredetére vonatkozó elméletét kiterjesztette az emberi fajra is, ez megosztotta tudós kortársait, és heves támadásokat váltott ki a közvéleményben is. A nagy vihart kavart elmélet indította el az **evolúcióbiológia** fejlődését.

Hogyan jön létre az a változatosság, amelyből a legrátermettebbek fennmaradhatnak? A kérdés megválaszolását segítette a mennyiségi szemlélet, a matematikai módszerek alkalmazása. Egy osztrák szerzetes és amatőr botanikus, Gregor **Mendel** éveken át végzett kísérleteket borsó növényekkel (7. ábra), az eredményeket gondosan feljegyezte. A statisztikai módszerekkel végzett elemzés során megalkotta a **genetika** alaptörvényeit. Felismerte, hogy az ivaros szaporodás során végbemehet a tulajdonságok keveredése (kombinálódása) és szétválása. Ezek a mechanizmusok hozzájárulnak a fajokon belüli változatok kialakulásához. Mendel eredményei abban az időben nem keltettek nagy figyelmet, csak jóval később derült fény a törvényei mögött rejlő molekuláris mechanizmusokra. Ma Mendelre mint a genetika tudományának megalapítójára tekinthetünk.

Az életjelenségek megismerését a kémiai ismeretek fejlődése is segítette. Az oxigén felfedezése és az égésben játszott szerepének tisztázása vezetett el a légzés jelenségének megértéséhez. **Lavoisier** hasonlónak találta a gyertya égését és egy egér életben maradását oxigént tartalmazó környezetben. Oxigén hiányában a gyertya elalszik, az egér elpusztul. Az élettelen és az élő világ közötti határokat a szerves vegyületek egyszerű szervesetlenekből történő, **Wöhler** nevéhez fűződő előállítására is megkérdőjelezte. A további kutatások jóval összetettebb szerves vegyületeket is feltártak, közülük a legfontosabbnak a fehérjék bizonyultak. Az élet egységét bizonyította az is, hogy a táplálékkal elfogyasztott fehérjék építőkövei az emésztést követően egy másik élőlény testét alkotó fehér-



5. Zsiráf az afrikai szavannán. Lamarck egyik feltételezése a hosszú nyakuk kialakulására vonatkozott.

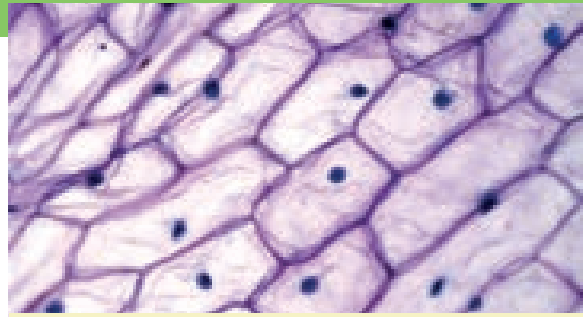


6. A Darwin által is megfigyelt Galápagos-szigeteki óriásteknős



7. A brnói Szent Tamás-apátság, amelynek kertjében elvégzett kísérleteivel Mendel megalapozta a genetika tudományát

jékké kapcsolódnak össze. A **biokémia** kezdeteit jelentő felfedezések is hozzájárultak a biológiai felépítés elvének megértéséhez. **Schleiden** és **Schwann** sejtelméletében több korábbi felismerés összegződött: minden élőlény sejtekből áll, ez az élet alapegysége (8. ábra). Ezt követően fejlődésnek indult a **sejttan**, a citológia tudománya.



8. Hagyma bőrszöveti sejtjei

### Keress kapcsolatot!

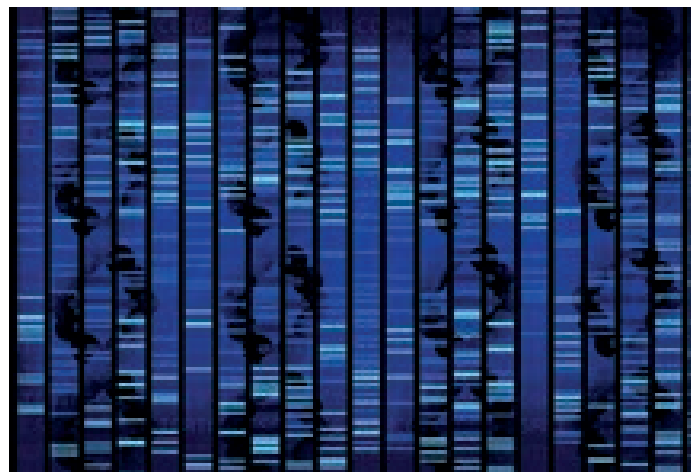
1. Mi volt a hasonlóság a kor tudósainak, művészeinek szemléletében, törekvéseiben? Keress konkrét példákat!
2. Mi volt a lényegi különbség Arisztotelész és Lamarck élővilágról alkotott elképzelései között?
3. Hogyan segítette elő Cuvier munkássága az evolúciós gondolat megjelenését?

## A biológia forradalma

A 20. század technológiai fejlődése a biológia tudományában is forradalmi változásokat hozott. Az évszázad elején feltalált **elektronmikroszkóp** nagyságrendekkel felülmúlta a fénymikroszkóp nagyítását, és soha nem látott részletekkel gazdagította a sejtekről kialakult képet. A korábbi felfedezések a biokémia vizsgálati módszerei segítségével új ismeretekkel egészültek ki. Az anyagok, például a fehérjék, nukleinsavak elkülönítésére elválasztástechnikai eljárásokat dolgoztak ki, például az **ultracentrifuga**, az **elektroforézis** vagy a **gélszűrés** módszerét alkalmazták. Az óriásmolekulák felépítését a röntgensugarak szóródásán alapuló röntgendiffrakció módszerével határozták meg. A biológiai mintákban lévő összetevők elválasztását az egyszerű, de hatékony **kromatográfiai** eljárások tették lehetővé (9. ábra). A kutatások világossá tették, hogy a sejtek felépítését és működését alapvetően a nukleinsavak egyik típusa, a **DNS** irányítja.

A DNS kettős hélix szerkezetét **Watson** és **Crick** 1953-ban közölt modellje tárta fel. A felismerésben szerepet játszottak **Wilkins** és Rosalind **Franklin** röntgendiffrakciós vizsgálatai vagy a **Chargaff** által felfedezett, a DNS-alkotók mennyiségi arányaira vonatkozó szabályok. A DNS megduplázódási mechanizmusának megismerése szerepet játszott a DNS-minták mennyiségét megsokszorozni képes polimeráz-láncreakció, a **PCR**-eljárás kifejlesztésében is. A Kary Mullis által 1983-ban ismertetett eljárás ma például az igazságügyi orvostani vizsgálatok, az őslénytani kutatások vagy a vírusesztek fontos eszköze.

A DNS-molekulákban kódolt **biológiai információ** kiolvasását automata szekvenátorrendszerek tették lehetővé. Segítségükkel a **humán genom program** tizenégy éve során hat ország tizenhat kutatólaboratóriu-



9. Gélelektroforézis (DNS-szekvenálás során készült felvétel)

mának több mint ezeregyezer biológusa és informatikusa mintegy 2,7 milliárd dolláros költséggel meghatározta az emberi faj DNS-bázissorrendjét. (Érdekes, hogy a legújabb gépekkel [2020] egy ember teljes genomjának megszekvenálása csak néhány óráig tart, és 3-4 ezer dolláros költséggel jár!) A program 2000-ben bejelentett sikere utat nyitott a 21. századi **genomika- és proteomikakutatások** felé. A nagy számban elvégezhető DNS-elemzések ma szinte bárki számára elérhetők. Alkalmazási lehetőségük a személyre szabott orvoslástól a kórokozók felderítésén át a nagy méretű adatbázisok (big data) számítógépes elemzéséig számos területet foglal magában (10. ábra).

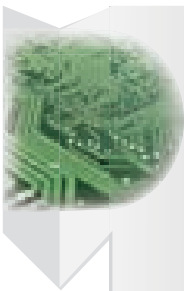
A modern biológia a DNS kódját nemcsak olvasni, hanem szerkeszteni is képes. A **géntechnológia** az 1970-es években vette kezdetét, amikor a kutatók már képesek voltak genetikai elemeket átvenni egyik szervezetből valamely másikba. Ezek a beavatkozások kezdettől fogva megosztották mind a tudomány, mind a társadalom szereplőit. A géntechnológiával módosított növények vagy állatok, a GMO-k gazdasági hasznosítását ma az államok különféle módokon szabályozzák (11. ábra). A *Science* folyóiratban 2012-ben közzétett **CRISPR** (ejtsd: kriszpör) **génszerkesztési technológia** olyan beavatkozásokat tesz lehetővé, amelyek alkalmazási lehetőségei a **humán génterápiától** az új élőlényeket előállító **szintetikus biológiáig** szinte korlátlanok. Ugyanez igaz a kockázatokra is, ahogyan minden nagy hatékonyságú új technológia (pl. atomenergia, információs technológiák) esetében. A **gazdasági előnyök** mellett szükség van a társadalmi ellenőrzésre, a **biztonsági garanciák** és a **törvényi szabályozás** kidolgozására is. Ebben a nyilvánosság bevonása mellett együtt kell működniük a tudomány embereinek, valamint a gazdasági élet szereplőinek és egyéb társadalmi csoportoknak.



10. A géntechnológia jelképes ábrázolása



11. Egy genetikailag módosított növényvel végzett laboratóriumi kísérlet



### Gondold újra!

A korábbi biológiai felfedezések és a biológia forradalmát jellemző kutatások alapján foglald össze:

1. Hogyan változott a tudósok munkája?
2. Hogyan függ össze a kutatási eszközök és a tudományos elméletek fejlődése?
3. Milyen egyéb tudományos és technológiai területek segítették a biológia fejlődését?

### Alkoss!

1. Keress információkat, és ábrázold egy időszalagon, hogy mikor éltek a tudománytörténeti szövegekben említett tudósok, mikor történtek az említett felfedezések, elméleti áttörések!  
Használj digitális időszalag-készítő programokat, pl.: Sutori, Timeline JS!
2. Az időszalag alapján fogalmazd meg a tudomány fejlődésére vonatkozó következtetéseket!

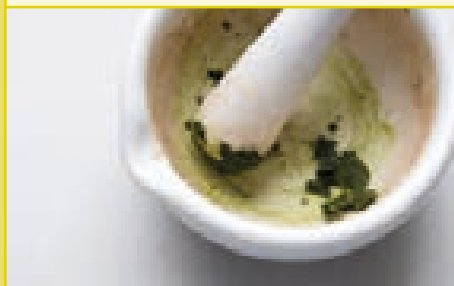


# Végezd el!

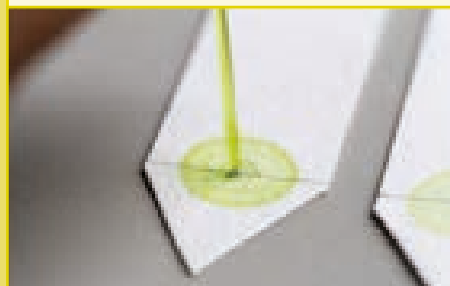
## Levél színanyagainak elválasztása kromatográfias módszerrel

A sejteket, szöveteket sokféle anyag építi fel. Egymástól történő elválasztásuk fontos feltetele a megismerésüknek. A levelek zöld színét a bennük lévő színanyagok alakítják ki. Végezd el az elválasztásukat az alábbi munkamenet alapján!

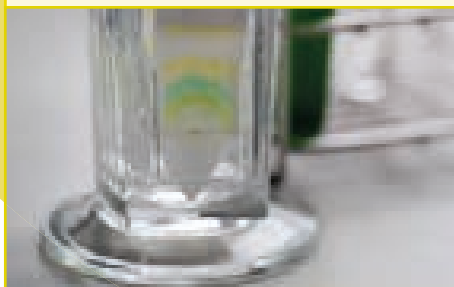
1. Spenótleveleket helyezz pár percre forró vízbe!
2. A vízből kiemelt és lecsöpögtetett leveleket dörzsmozsárban, kevés alkohollal dörzsöld el!



3. Az alkoholos oldatot szűrd át szűrőpapíron (vagy teaszűrőn)!
4. Szűrőpapírból vágj egy keskeny csíkot, és a kivonatból cseppents a szűrőpapír egyik végéhez közel!



5. A papír alját helyezd vízbe!



6. Néhány perc után figyelj meg a papíron látható változást!



### Hasonlítsd össze!

Ez az elválasztástechnológiai eljárás többféle módon is történhet, ismeretes például gáz-, folyadék-, gél- vagy vékonyréteg-kromatográfia.

1. Mire vonatkoznak ezek az elnevezések?
2. Mi a közös működési elve ezeknek az eljárásoknak?

## Tudomány, technológia, társadalom

A tudományos kutatások új technológiák kialakulását eredményezik, amelyek hatására fejlődik a társadalom és a gazdaság. Ez az összefüggés valójában nem ilyen egyirányú, sokkal bonyolultabb kölcsönhatások működnek benne. Ma a **kutatás-fejlesztés** (K + F) nélkülözhetetlen a gazdaság versenyképessége szempontjából. Ez a szemlélet a sikert a haszonnal köti össze, ami nem mindig felel meg a társadalom valós igényének. Egyik ilyen ütközőpont a **fenntarthatóság**, amit a biológia nézőpontjából is vizsgálhatunk.

Ha a fajok tömeges kihalását meg akarjuk akadályozni, át kellene alakítani a személyes fogyasztásunkat. Az esőerdők helyén termelt szója vagy pálmaolaj megjelenik az élelmiszerekben, amelyek termelésére és kereskedelmére **globális technológiai és kereskedelmi hálózatok** alakultak ki (12. ábra). A biológia feltárja az ökológiai egyensúly sérülésének veszélyeit, de a probléma megoldása túlmutat a kutatók lehetőségein. Képesé váltunk a DNS szerkezetének módosítására, de ez a hatalom a társadalmi kontroll erősödését is kiváltotta. A genetikailag módosított szervezetek (GMO) felhasználása számos országban (így hazánkban is) tiltott. Eközben ugyanez a génszerkesztési technológia kelt reményeket a klímaváltozáshoz való alkalmazkodásban vagy egyes betegségek gyógyításában, megelőzésében (13. ábra). A DNS-ben tárolt személyes információk megismerése segítheti a gyógyulásunkat, de ki is szolgáltathat minket másoknak. A védőoltások a 20. században megelőzhetővé tették a gyermek-bénulás-járványokat, de egyesek oltásellenessége fokozta a kanyaró veszélyét.

Mindezek a példák azt mutatják, hogy a tudományos kutatás szabadsága mellett az eredményekre épülő technológiák **társadalmi kontrolljára** is szükség van. A biológia tudománya egyre komplexebb, így a technológiai alkalmazások hátterének megértése egyre nehezebb. A tévhitet és tudatos félremagyarázások ellen a **megbízható információk** és a **megfelelő tájékoztatás** jelenthetnek védelmet.



12. Olajpálma-ültetvény egy kiirtott délkelet-ázsiai esőerdő helyén



13. Genetikailag módosított aranyrizs és zöld rizs egymás melletti termesztése

### Alkoss véleményt!

1. Eddigi ismereteid alapján fogalmazd meg a véleményedet arról, hogy a fogyasztási szokásaink összefügghetnek-e az élővilág veszélyeztetésével, a fajok kihalásának növekvő veszélyével!
2. Miben tér el a fejlett és a kevésbé fejlett régiók lakóinak ezzel kapcsolatos szerepe, felelőssége?
3. Vitassátok meg ezeket a kérdéseket kisebb csoportokban!

## Utak a jövőbe

Az amerikai Oregon Egészségügyi és Tudományos Egyetem Casey Szemintézetében megtörtént az első beavatkozás, amikor testen belül végeztek CRISPR génszerkesztést. Egy ritka, öröklődő vaksággal járó betegség gyógyítását kísérelték meg a kutatók. Az egyórás műtét alatt az orvosok három csepp folyadékot juttattak el a retina hátuljához, ebben a folyadékban volt a génszerkesztő mechanizmus. Itt a mutálódott CEP290 gént a sejteken belül az eljárás megszerkeszti. A gén mindkét végén vágásokat ejt a módszer, hogy a DNS újra összekapcsolódhasson, és a sejtek egészségesek, funkcionálisak maradhassanak. Ahhoz, hogy a beteg újra lásson, a sejtek egytizedének-egyharmadának kellene működőképesnek lennie, ezért egyelőre elég bizonytalan, hogy tényleg sikerrel járnak-e.

Forrás: 24.hu

A Szaturnusz bolygó Enceladus nevű holdját már a 18. század végén felfedezték, azonban csak a modern űrkutatásnak köszönhetően ismertük meg igazán az égitestet. A Cassini űrszonda 2005-ben vízpárát észlelt az Enceladus körül, a további vizsgálatok azt is kiderítették, hogy a víz a felszín alól származhat. A hold geológiailag még mindig aktív, jeges felszíne alatt pedig egy hatalmas vízóceán fekszik – úgy tűnik, hogy az égitesten adottak a körülmények az élet számára.

Forrás: 24.hu



Fantáziarajz az Enceladus felszínén kitörő gejzírrel

### Keress rá!

A két szövegrész a híroldalakon megjelenő tudományos cikkekből idéz.

1. Keress további információkat ezek kulcsszavaival: génszerkesztés, CRISPR; földön kívüli élet, Enceladus!
2. Állíts össze a tartalmukra utaló címkefelhőt a talált cikkek alapján!

A tudományos elméletek az adott kor tudását és társadalmi környezetét tükrözik.

Az elméletek cserélődése a tudomány fejlődésének természetes jellemzője.

A biológia történetében a törzsfajlódás, a fajok változása, kihalása és keletkezése forradalmian új elképzelés volt.

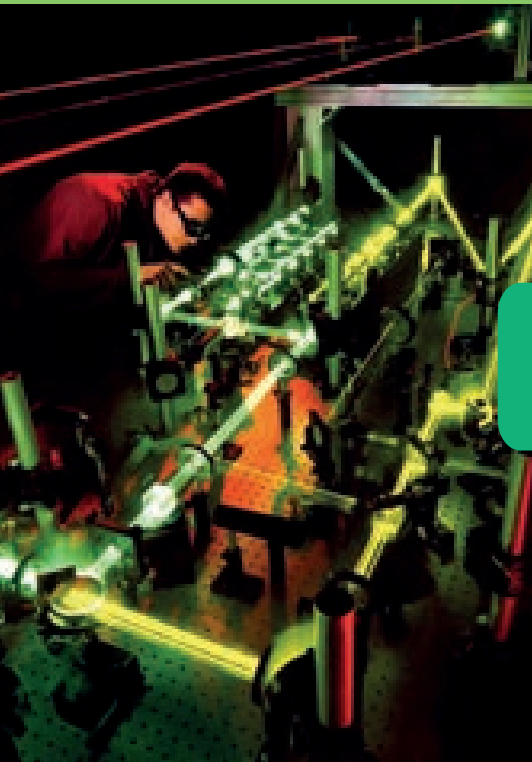
Az életerő-elmélet megdöntése világossá tette, hogy az élő nem csak élőből keletkezhet.

Az élet a Föld korai időszakában keletkezett, mai formájában az egész élővilág egységes felépítésű és működésű.

A biológia a fejlődése során olyan részterületekre specializálódott, mint például a rendszertan, az állattan, a növénytan, a genetika, a biokémia, a sejttan vagy az evolúciobiológia.

# 1. Összefoglalás





## 2. Hogyan vizsgálod a természetet?

1. Milyen műveletek jellemzik a tudományos vizsgálatokat?
2. Hogyan segíthet a tudomány a mindennapi élet problémáinak megoldásában?
3. Milyen kapcsolat van a tudós kutató és a tudóstársak, valamint az adott kor társadalma között?

### A tapasztalástól a bizonyításig

Egyszerűbb problémákat a fejlett idegrendszerrel rendelkező állatok is képesek megoldani (1. ábra). Ezek a viselkedésmintázatok utánpótlással el is terjedhetnek a csoportokban. A beszéd kialakulása, az emberi csoportok összetett szerkezete lehetővé tette a problémák megoldási módjának nemzedékről nemzedékre való átadását. A **tapasztalati tudás** kezdetben közvetlenül a túlélést szolgálta, később a jelenségeket magyarázó elméletek bonyolultabb világmagyarázatokká álltak össze. A tényekre alapozott, a bizonyítás vagy cáfolat lehetőségét és igényét magában foglaló **természettudomány** azonban csak a 17–18. században alakult ki.

A tudományos kutatás egyszerre kaland és szerencse, amely gondos tervezéssel, kreativitással és a kitarással párosulva vezethet sikerre (2. ábra). Nincs egyetlen célravezető módszere, de a következetes, lépésről lépésre haladó megismerési mód jellemző rá. Ezek magukban foglalják a **kérdésfeltevés**, a **megfigyelés**, a **hipotézis** megfogalmazását és az annak ellenőrzésére alkalmas **kísérletezés** elemeit. A természet vizsgálatából származó eredmények a tudományos közösség által kerülnek ellenőrzésre, elfogadásra. Fontos tényező a társadalom, a közgondolkodás új felfedezésekhez való viszonyulása is. A gyakorlatban való alkalmazás a technológiai fejlesztés során alakul ki, ennek sikeresége is visszaigazolja a kutatók munkáját.



1. Egy hollópár. A madárvilágban a hollófélék kiemelkedően jó problémamegoldók, gyakori alanyai a viselkedéskutatásoknak.



2. Arkhimédesz különös szobra az izraeli Haifa Természettudományi Múzeumában. A legenda szerint a felhajtóerő felismerésére egy fürdőkádban ülve jutott. Örömét hangos „Heuréka” felkiáltással fejezte ki.

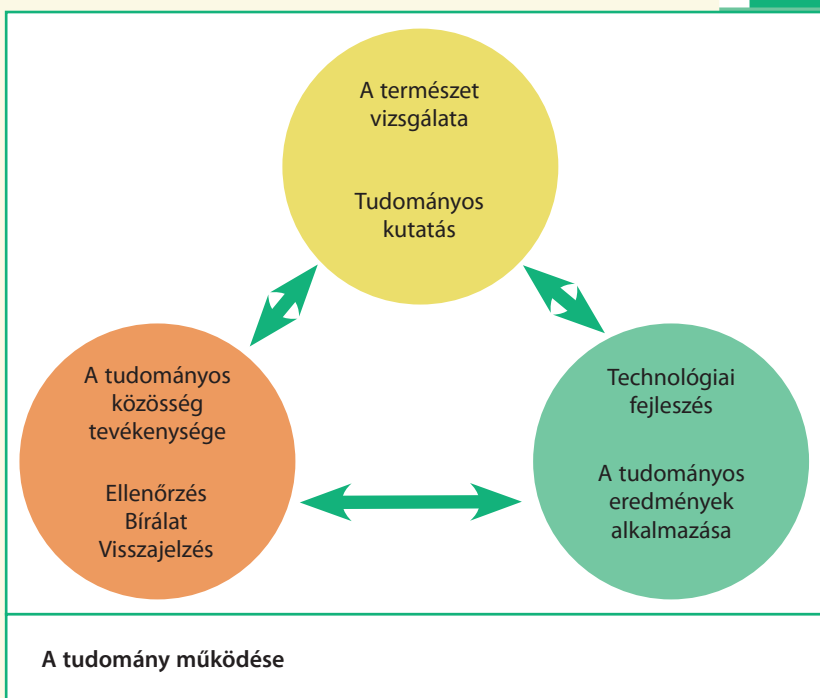
## A Semmelweis-reflex

A tudomány, a társadalom és technológia kapcsolatának sajátos példája.

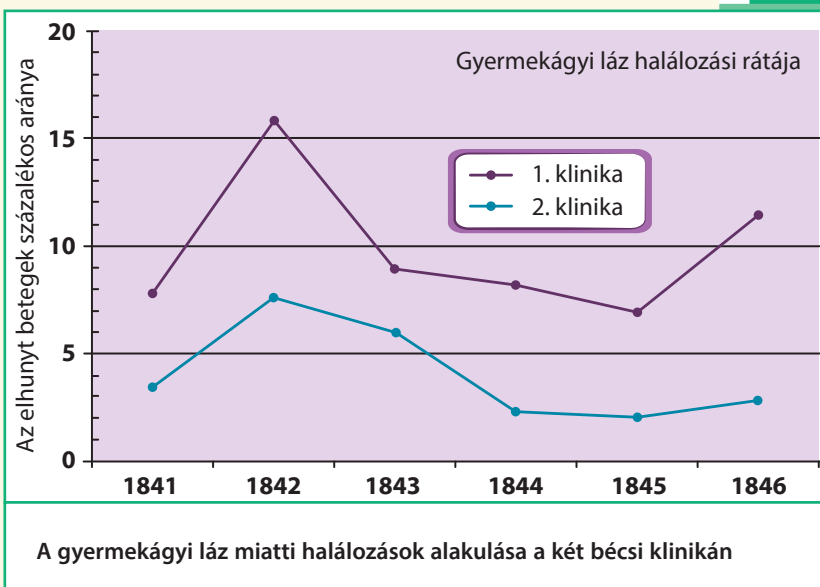
A tudós által igaznak vélt felismerés nem mindig találkozik a tudományos közösség véleményével. A Semmelweis-reflex néven ismert jelenség a korát megelőző tudós és a berögzült, de téves elveket valló kortársak konfliktusát írja le.

Semmelweis Ignác 1850. március 15-én a bécsi Orvosegyesületben ismertette azt a felfedezését, amely a gyermekági láz okát a boncoló orvosok által a szülő nőkre átvitt fertőzésben azonosította. Semmelweis statisztikai adatokat elemzett, és észrevette, hogy a szülést követő halálozások aránya magasabb az 1. számú szülészeti osztályon, ahol boncolásokat is végző orvosok vezetik le a szüléseket. A másik, 2. számú szülészeti osztályon boncolást nem végző bábák (szülésznők) dolgoztak, ott kb. feleannyi volt a gyermekági láz miatti halálozás. A kortárs orvosok többsége nem fogadta el Semmelweis felfedezését, és nem alkalmazták a javasolt klóros fertőtlenítő kézmosást sem.

A felfedezés tudományos háttere (bakteriális fertőzés) évtizedekkel később igazolódott, a bevezetett fertőtlenítő eljárások és aszeptikus technológiák jelentőségét ma már senki sem vitatja. Semmelweis Ignác gyermekági lázzal kapcsolatos felfedezéseinek 1847 és 1861 között nyomtatott formában megjelent egyes dokumentumait 2013-ban az UNESCO a világemlékezet részévé nyilvánította.



A tudomány működése



A gyermekági láz miatti halálozások alakulása a két bécsi klinikán

## Kérdésfeltevés

Tudományos módszerekkel azok a kérdések vizsgálhatók, amelyeket gyakorlati vagy elméleti úton **bizonyítani vagy cáfolni** lehet. A vizsgálandó problémát a **kutatási kérdés** foglalja össze, ebből további kérdések vezethetők le. Ha az eredeti kérdésre nem tervezhető kísérlet, akkor át kell alakítani kutatható kérdéssé.

## Megfigyelés, mérés

A mindennapi környezetünkről érzékelés útján szerzünk tapasztalatokat. Önmagában a látás, hallás, tapintás képessége ehhez nem elég, szükség van az önkéntelen vagy tudatos figyelmünkre is. Ha felfigyelünk egy különös madárhangra vagy elgyönyörködünk a vadvirágok színeiben, az értelmi és érzelmi hatást is kelt bennünk. A tudós és a művész más-más módon adja vissza a tapasztalt valóságot. A **tudományos igényű megfigyelés** fő jellemzője a **tudatosság**, a **tervezhetőség** és a **pontosság**. Az érzékszervi megfigyeléseket olyan eszközökkel tehetjük hatékonyabbá, mint a mikroszkóp, a távcső vagy a speciális (pl. drón, éjjellátó, mozgásérzékelő, műholdas) kamerák (3. ábra). A tapasztalatok rögzíthetők szöveges leírással, fotó- vagy videóképzéssel. Gyakran olyan részleteknek is lehet jelentőségük, amelyeket a megfigyelő eleinte nem tart fontosnak.

A tudományos **adatok** olyan információelemek, amelyekre a kutatás alapulhat. Mennyiségi jellegű adatokat **mérések** során szerezhethetünk. Ezeket általában számokban és mértékegységekben fejezik ki, és táblázatokba rendezve, grafikonokban ábrázolva értelmezik. A tudósok a mérési adatokat matematikai, statisztikai, újabban akár a mesterséges intelligencia módszereivel elemezhetik. A világban keletkező hatalmas adatmennyiség hívta életre a „big data” elemzőmódszereket, amelyek az életünk számos területén, így például az orvostudományban hozhatnak új eredményeket.

## Hipotézisalkotás

A tudományos előfeltevés, a **hipotézis**, egy lehetséges válasz egy jól megfogalmazott kérdésre. A vizsgálat kiindulópontja, a további kísérleti munka ennek igazolására vagy cáfolatára irányul. Az előrejelzéstől eltérően nem a változás vagy folyamat várható kimenetelére utal, inkább annak valószínűsíthető okát fogalmazza meg. Jellemzője a **tényekre alapozottság**, a **lényeges tulajdonságok** és **körülmények** figyelembevétel. Szerepet játszhat benne a korábbi tapasztalatokból levont következtetés, a már ismert elméletek és fogalmak beépítése. Egy adott tény, jelenség magyarázatára többféle elképzelés is megfogalmazható.

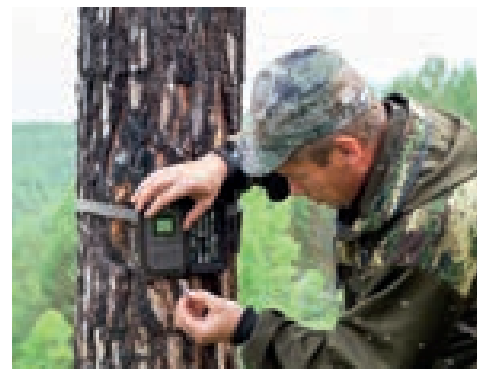
## Kísérletezés

A kísérlet valamely előfeltevés igazolására vagy cáfolatára elvégzett vizsgálat. A **kísérleti terv** jellemzője az **alapvető elméletekből való kiindulás**, ezt követően egy kérdéssor alapján a megfelelő lépéssor összeállítása. A kísérlet során figyelembe vett tényezők a **kísérleti változók**.

A további, nem kívánt hatások kizárására **kontrollkísérlet** is szükséges lehet. Ennek során nem alkalmazzuk a független változót sem.

„Egy kísérlet nem kísérlet” szokták mondani a kutatók. Ha lehetőség van rá, akkor a kísérleteket maguk a kutatók, de jelentősebb vizsgálatok esetében más laboratóriumok is elvégzik. A számszerűsített adatokat átlagolni lehet, az eseti hibák kiszűrhetők, így a kísérleti hiba csökkenthető.

A tervezett és a végrehajtott vizsgálatok összehasonlítása alapján módosítható a kísérlet, vagy továbbiak tervezhetők.



3. Mozcásérzékelős vadmegfigyelő kamera telepítése

### A kísérleti változók típusai és funkciói

#### Független változó

Aminek a hatását szeretnénk megtudni.

**Mindig csak egy ilyen lehet!**

#### Függő változó

A kiváltott hatás, amit a kísérlet során mérünk.

#### Rögzített változó

A kísérlet során állandó értéken tartott körülmények. Ezek hatását nem vizsgáljuk, sőt szeretnénk kizárni.



## Egy szobában a tudománnyal!

A tudományos vizsgálati módszerek a mindennapi élet problémáinak megoldásában is hasznosak lehetnek. Az alábbi leírás egy ilyen lehetőséget mutat be. Ennek alapján gondold át újra a kutatás menetét!

Az a megfigyelésünk, hogy egyik-másik szobanövényünk nem növekszik, sárgul a levele. Szeretnénk megoldani a **problémát**, ezért feltesszük a **kérdést**: Miért érzi jól magát az egyik növényünk, míg a másik rosszabb állapotban van?

Jobban belegondolva a lehetséges okokba, több lehetőség is megfordul a fejünkben: nem öntöztük megfelelően, nem kap elég tápanyagot, túl sötét helyen tartjuk. Belátható, hogy a lehetőségek közül akkor tudjuk kiválasztani a valódi okot, ha egyenként megvizsgáljuk a növényünkre gyakorolt hatásukat.

A legvalószínűbb lehetőség alapján az az **előfeltevésünk** (hipotézisünk), hogy a növényünk számára van egy optimális tápsó mennyiség, amely esetén a legnagyobb lesz a növekedése. Van egy jó minőségű tápsónk, ezt szeretnénk használni, hetente adagolva a növény számára.

Ezek alapján megfogalmazható a **kutatási kérdés**:

### Mennyi az optimális tápsó mennyiség a növényünk számára?

Adhatunk például hetente növekvő mennyiségben 1, 2, 3, 4, 5... gramm tápsót. Ez lesz az általunk beállított **független változó**, ennek a hatását vizsgáljuk a kísérletben.

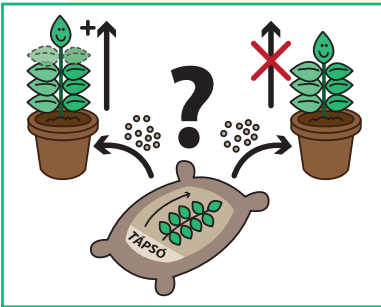
Az előfeltevésünk szerint a tápsó hatására a növényünk gyorsabban fog növekedni. Egy mérőszalaggal minden héten megmérjük a növény magasságát, az adatokat feljegyezzük. A magasság lesz a **függő változó**, amely lényegében a növénynek a változtatott tényezőre adott válasza.

Számos további körülmény is befolyásolhatja a növény növekedését, így például a tápsó összetétele, a fény vagy az öntözés. Ezek a **rögzített változók**, amelyeket állandó értéken kell tartanunk. Ezért használjuk ugyanazt a tápsót, ugyanolyan megvilágításba helyezzük és ugyanúgy öntözzük a növényeket. Így a mért növekedést egyértelműen összefüggésbe tudjuk hozni a tápsó mennyiségével.

Bármennyire is igyekszünk minden egyéb hatást kizárni, nem lehetünk biztosak abban, hogy nincs-e valami nem ismert tényező, ami fokozza a növekedést. Ezért beállítunk egy **kontrollkísérletet** is, amely mindenben megegyezik a tesztelt változattal (növényfajta, életkor, talaj, öntözés, fény...), csak éppen a tápsót nem adjuk hozzá.

A kísérlet megbízhatóságát tovább növelhetnénk, ha több növényt állítanánk be a tesztre és a kontrollra is. Ekkor lenne lehetőség az egyedi növekedési eltérésekből adódó hibacsökkentésre. A tudományos kísérletekben fontos

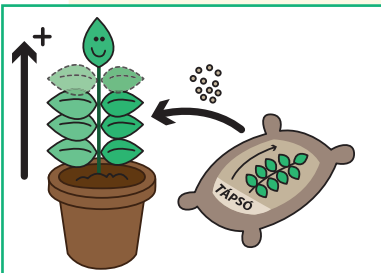
az elegendően **nagy elemszámú minta**, amely az adatok **statisztikai** jellegű kiértékelésével párosulhat. Az otthon is elvégezhető kísérlet adatait ábrázolhatjuk **grafikonon**, amely az idő függvényében jeleníti meg a növények növekedését. Az adatok alapján a kiinduló hipotézis megerősíthető vagy cáfolható.



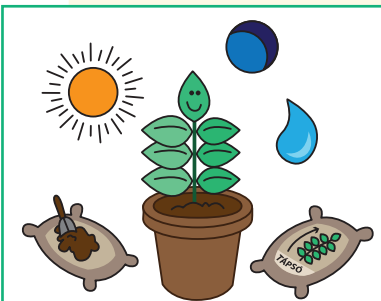
Kérdés



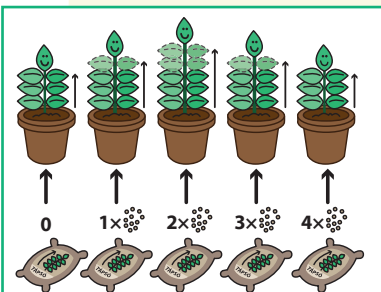
Megfigyelés



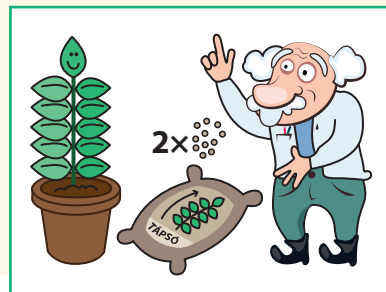
Előfeltevés (hipotézis)



Kísérlet összeállítása



Mérési eredmények kiértékelése



Következtetés

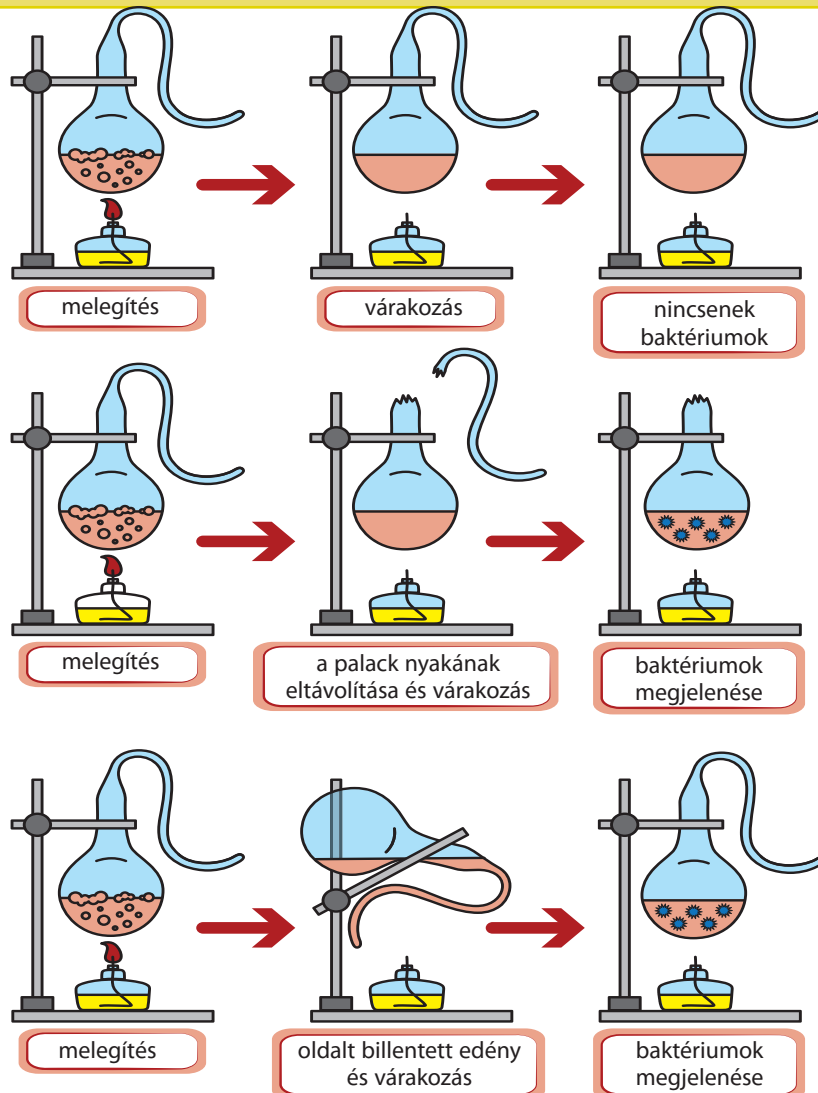
# Louis Pasteur kísérlete

## A spontán életkeletkezés, az „ösnemzés” cáfolata

Az ételek megromlása vagy a hosszabb ideig tárolt élelmiszerek penészedése, rothadása is látszólag minden külső hatástól mentes folyamat. Arisztotelész magyarázata szerint a levegőben lévő mágikus életerő hívja életre a holt szerves anyagban sarjadó új életet. Ezt a dogmát tette próbára **Louis Pasteur** kísérlete, amely a **mikrobiológia** tudományának kezdeteként vonult be a tudománytörténetbe. A kísérlet menetét az ábra mutatja be.

### Gondolkodj!

1. Fogalmazd meg, mi lehetett Pasteur kutatási kérdése!
2. Milyen hipotézis tesztelésére tervezte a kísérletét?
3. Írd le a kísérlet menetét, hasonlítsd össze a három beállítást!
4. Hogyan történt a kísérleti változók kontrollja?
5. Mi volt a kísérletben az általa beállított független változó?
6. Mit kellett ugyanúgy elvégezni, állandónak tartani mindegyik kísérletben?
7. Mi volt a megfigyelt hatás, a függő változó?

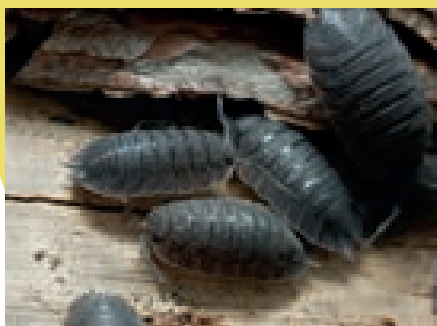


# Ítéld meg!

Egy biológiaórán a tanár arra kéri tanulóit, hogy vizsgálják meg a szárazföldi ászkarákok\* életkörülményeit. A javasolt **változók** a fény erőssége, a nedvesség és a táplálék minősége. A tanulóknak **hipotéziseket** kell megfogalmazniuk az előnyben részesített életkörülményekről, **kísérletet** kell tervezniük az előrejelzések kipróbálására, az elvégzett vizsgálat eredményei alapján **következtetéseket** kell levonniuk.

Az egyik kísérletben a tanulók egy nyitott kartondobozban kamrácskát alakítottak ki, amelyeket egy folyosóval kötöttek össze. A kamrákba különféle anyagokat tettek. A kísérlet kezdetén elhelyeztek a dobozban 8 ászkát, és figyelték a viselkedésüket. 5 perc elteltével feljegyezték az egyes rekeszekben tartózkodó állatok számát:

sonka (1+)	sajt (1+)	banán (1+)	fű (2+)	levelek (3+)



A tanulók az adatok alapján azt a következtetést vonták le, hogy az ászkák alapvetően mindenevők, de előnyben részesítik az olyan növényi táplálékokat, mint a fű vagy a levelek.

**Biztosan helyes volt-e a tanulók következtetése?  
Hogyan lehetne javítani a kísérleti rendszeren?**

\* A szárazföldi ászkarákok jellegzetesen szelvényezett testű izelt lábú állatok, hazánkban is élő fajaik pl. a gömbászka vagy a foltos pinceászka. A sötét, nyirkos, hűvös élőhelyeket kedvelik, éjjel aktívak, nappal kövek, levelek alatt rejtőzködnek.

**Tudományos módszerekkel azok a problémák vizsgálhatók, amelyek esetében lehetséges az elméletek bizonyítása vagy cáfolata.**

**A tudományos kutatást a tudósok együttműködve, a tudományos közösség kontrollja mellett végzik.**

**A kutatási folyamat egymást követő lépésekre bontható, de az eredményessége sok tényezőtől függ, a sikerére nincs kizárólagos recept.**

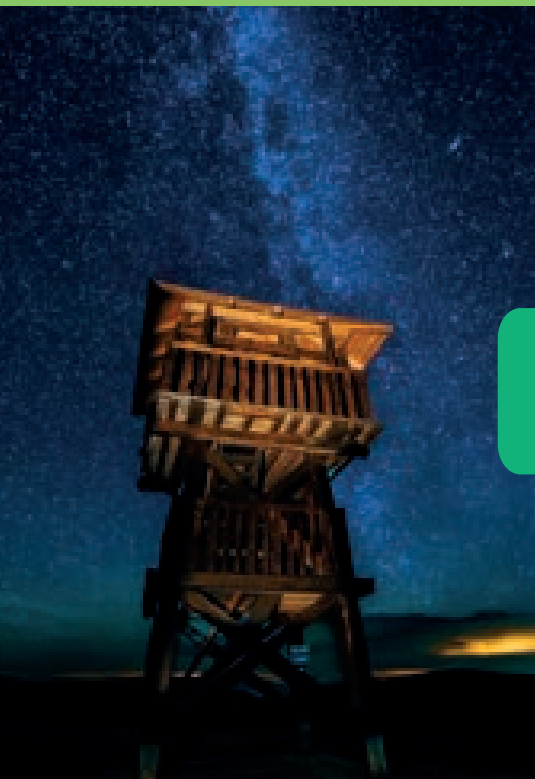
**A tudományos problémákkal kapcsolatban kutatási kérdések fogalmazhatók meg, ezek lehetséges válaszokkal, hipotézisekkel párosulnak.**

**A hipotézisek ellenőrzése történhet kísérletekkel, amelyek a kutatók által beállított változók közötti összefüggést vizsgálják.**

**A biológia számos területén alkalmaznak elméleti, megfigyelő vagy számítógépes adatelemző módszereket a hipotézisek vizsgálatára.**

## 2.

## Összefoglalás



# 3.

## Ember és természet

1. Milyen gondolkodási módszerek vezethetnek a természet megismeréséhez?
2. Mi jellemzi a tudományos elméletek fejlődését, cserélődését?
3. Hogyan alakítják mindennapi életünket a modern biológia eredményei?

### Gondolkodás a természetről és önmagunkról

#### Kíváncsiság vagy tudatosság?

Az élő természettel való találkozás olyan kérdéseket ébreszt a gyerekekben, mint például: *Miért nincs a kígyóknak lába? Miért énekelnek a madarak* (1. ábra)? A természettel szorosabb kapcsolatban élő emberekben talán tovább él ez a kíváncsiság, de a városi környezetben is megfigyelhetjük a madarakat vagy a parkok virágait. A lakásunkban tarthatunk szobanövényeket, társállatokat, de akár egy kiskertben is megfigyelhetjük az ott folyó életet. A természetfilmek külön csatornákon hozzák közelebb a távoli tájak élővilágát. A felnőttkor felé haladva a korábbi válaszok nyomán egyre összetettebb kérdéseket teszünk fel: *Hogyan táplálkozunk egészségesen? Miért jelenik meg hirtelen olyan sok poloska a környezetünkben? Hogyan előzzük meg a vírusfertőzéseket?* Az iskolában is sok új ismeretet szerezhethünk, de nem mindig a saját kérdéseink vezetnek a tanulás folyamatát. Ha hiányzik az érdeklődés, nehezen gondolkodunk el a problémákon. Magáról a **gondolkodásunkról** sem szoktunk **gondolkodni**, pedig néha éppen ez segíthet a helyes kérdések és válaszok megtalálásában.



1. Egy erdőben leveleket vizsgáló gyerekek

#### Kérdezz!

Fogalmazz meg egy olyan kérdést, amelyet egy téged érdeklő témában tennél fel egy ismert tudósna!

Velünk született képesség, hogy a világ dolgait különféle csoportokba rendezzük. Az egyedi tulajdonságok hasonlósága alapján alakítjuk ki a madár, a kutya vagy a virág fogalmát. Az állatok viselkedésében megfigyelt közös vonások alapján értelmezzük az ivadékgondozás vagy a ragadozó életmód fogalmát. Az egyedi jellegekből, jelenségekből általános következtetésekre vezető **induktív gondolko-**



**dás** a felfedezések alapja. Ennek egyik kiemelkedő példája Darwin következtetése a fajok eredetére, amelyre a Galápagos-szigeteki pinytyek egyedi jellegeinek összehasonlítása alapján jutott. A mindennapi életben is alkalmazzuk ezt a gondolkodásmódot, például ha tejfogyasztást követő ismétlődő emésztési panaszok alapján tejcukor-érzékenységre következtetünk.

Az induktív, következtető gondolkodás a mindennapi életben is gyakori. Ennek példái az alábbi mondatok:

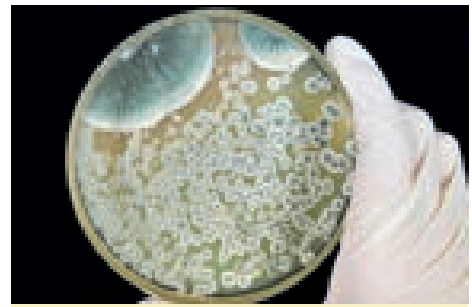
- Amikor földimogyorót eszem, mindig köhögni kezdek. Valószínűleg allergiás vagyok a földimogyoróra.
- Eddig minden macskánk dorombolt. A macskák dorombolnak.
- A parkban látott minden barna szőrű kutya kis termetű. A kiskutyák barnák.

### Ítéld meg!

Igazak-e ezek a következtetések? Ha nem, mi okozza a hibát, és hogyan lehetne azt elkerülni?

### Keress példát!

Saját tapasztalataid alapján fogalmazd meg hasonló következtető állításokat!



2. Antibiotikum-termelő penicillin-gombák tenyésztete

A tejcukor-érzékenység fogalmát valószínűleg nem mi hoztuk létre, hanem ebbe az ismert kategóriába soroljuk be a megfigyelt jelenséget. Az általános fogalmak és elvek egyedi jelenségek magyarázatára való alkalmazása a **deduktív gondolkodás**. Ez a két gondolkodási mód egymást kiegészíti, a tapasztalatok elmélyítik az általános értelmezéseket, így egyre pontosabban írják le az egyedi jelenségek körét. A tudományos kutatás néha kilép ebből az **induktív-deduktív ciklusból**, eredeti felismerésekre vezetve a kutatókat. Erre példa Flemming felismerése, miszerint a penészgombák képesek gátolni a baktériumok szaporodását (2. ábra). A felfedezés a véletlennek is köszönhető, de ekkor született meg az antibiotikum fogalma, új korszakot nyitva a fertőző betegségek elleni küzdelemben.

A természet összetettsége másféle módon is próbára teszi gondolkodásunkat. Ha a megfigyelt objektumot vagy jelenséget részekre bontjuk, bepillantunk a szerkezetébe, de egyre kevésbé látjuk az egész képet. A dolgok szétszedésére és összerakására irányuló, a „Miből van?” és a „Hogy működik?” típusú kérdéseket életünk első tudatos éveiben feltesszük. Teszünk is a megválaszolásukért, amikor szétszedünk egy játékot, amit később megpróbálunk összerakni. A tudományos gondolkodásban is jelen van az elemző-összerakó vagy **analitikus-holisztikus gondolkodás** kettőssége. Ezek a műveletek gyakran távol esnek egymástól időben, például az emberi szív- és érrendszer anatómiai leírását csak később követte a keringési rendszer működésének megértése (3. ábra).

A Föld környezeti rendszereinek működését is csak az elmúlt évtizedekben kezdtük a maguk teljességében értelmezni. Az éghajlatváltozás mögötti természeti és technológiai tényezőket, ezek biológiai összefüggéseit bonyolult számítógépes modellek összegzik. Ezen a módon más komplex biológiai jelenségek is vizsgálhatók, mint például a vilávjárványok kialakulása vagy a sejteken belüli jelforgalmi hálózatok működése. Ezek a modellek arra is rávilágítanak, hogy a komplex rendszerek viselkedését nem tudjuk teljes bizonyossággal előre jelezni. A **valószínűségi gondolkodás** abban is segíthet, hogy a rendelkezésünkre álló, nem teljes körű



3. Az emberi szív koszorúér-rendszere

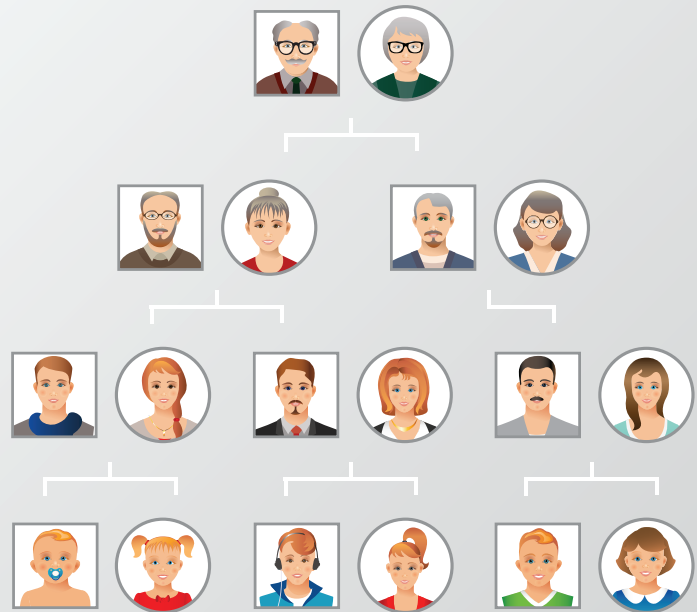
információk birtokában a legjobb döntéseket hozhatjuk. A fajok mostanában megfigyelhető tömeges kihalása valószínűsíti a természetes életközösségek egyensúlyának felborulását. Ez a felismerés nemcsak a tudományos közösséget, de a szélesebb közvéleményt is mozgósíthatja a kihalási katasztrófa elleni cselekvésre.

A **rendszerszintű gondolkodás** különösen fontos a biológiában. Ez nem az élőlények különféle csoportokba rendezése, hanem az élővilág szerveződésének a részektől az egész felé haladó értelmezése.

### Magyarázd el!

A rajzon egy elképzelt család négy nemzedéke látható.

- A saját tapasztalataid alapján magyarázd el, miért lehet a családon belüli öröklődés a valószínűség példája is!



### A rendszerelemző gondolkodás műveletei

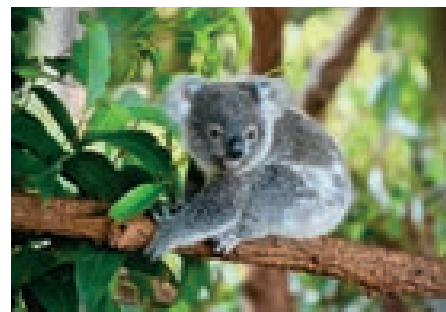
- **alrendszerek**, azaz a rendszer részeinek meghatározása, pl. a sejt részei a sejthártya, sejtplazma, sejtmag stb.;
- a részek közötti **kapcsolatok** azonosítása, pl. a sejtmag irányítja a sejt fehérjéinek képződését;
- a **rendszer és a környezete** közötti kapcsolatok, pl. a sejt víztartalmának a környezettől való függése;
- a rendszer **állapotainak leírása**, pl. a sejtplazma víztelítettsége;
- **változások, folyamatok** vizsgálata, pl. vízlevonás hatására bekövetkező változások vagy a sejtosztódás folyamata.

## A tudományos elméletek fejlődése

A 19. század elején Lamarck azt állította, hogy az életmód fokozatosan átalakítja a testfelépítést, és ezek a változások az utódokra is átörökíthetők. Példaként a zsiráfok hosszú nyakára hivatkozott, amelyet a fák magasan lévő, ehető levelei utáni nyújtózkodás alakított ki. Ezzel a szerzett tulajdonságok átörökíthetőségének elvét fogalmazta meg. Hasonlóan téves elképzelés alapján került sor a 20. századi Szovjetunióban az éhínséget okozó erőszakos mezőgazdasági intézkedésekre.

Darwin evolúcióelmélete egészen más magyarázatot adott a fajok változására és a környezethez való alkalmazkodásra. Ezt az újabb leletek és a molekuláris mechanizmusok megismerése révén a bizonyítékok sokasága támasztja alá. Az elméletből levezett magyarázatok olyan biológiai problémák megoldását segítették, mint például Ausztrália különleges élővilágának magyarázata (4. ábra), vagy a cetfélék emlős elődökből való leszármazása.

Bármennyire is bizonyítottnak látszik egy elmélet az adott kor tudásának szintjén, később **újabb tények hatására módosulhat** vagy akár meg is dőlhet. Ilyen újragondolást váltott ki az Atlanti-óceán több kilométeres mélységében megfigyelt különleges élővilág, amelyet egy 1977-es, az Alvin nevű búvárhajóval végzett kutatás alkalmával fedeztek fel. Ezzel új irány nyílt a földön kívüli élet kutatásában is.



4. Ausztrália egyik jellegzetes erszényesemlős-faja, a koala

Az újabb eszközök és módszerek mellett az elméletek fejlődésében döntő szerepet játszik a tudomány **közösségi jellege**. A laboratóriumban magányosan dolgozó tudós képe talán sosem volt igaz, de a modern **tudományos kutatás** még inkább kiterjedt **hálózatokban** történik. Egy problémán több kutató is dolgozhat, akár a világ más-más részén. A folyóiratokban közölt publikációkban, konferencia-előadásokon bemutatják eredményeiket, amelyek inspirálják vagy új irányokba terelik a kutatásokat. Meg is ismételték mások vizsgálatait, ezzel megerősítik vagy cáfolják azok eredményeit. A biológiai kutatásokban gyakori, hogy sokan használnak azonos **modell-szervezeteket**, ilyenek például az *Escherichia coli* baktérium, a *Drosophila melanogaster* (ecetmuslica) (5. ábra), a *Mus musculus* (házi egér) vagy a növénybiológiában az *Arabidopsis thaliana* (lúdfű). Ez megkönnyíti az együttműködést, de az eredmények az evolúciós rokonság alapján általánosíthatók más fajokra is.



5. A biológiai kutatások egyik modellszervezete, az ecetmuslica

## Biológiai kutatások és alkalmazásuk

### Idézd fel!

1. Az 1. lecke tudománytörténeti leírásai milyen biológiai tudományterületeket említenek?
2. Mikor alakult ki a genetika tudománya, milyen felfedezések vezettek 20. századi forradalmához?

### Keress rá!

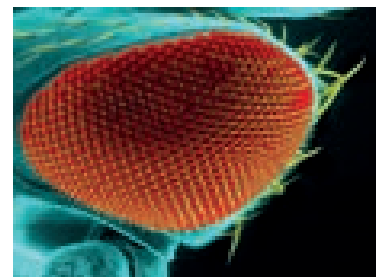
Hazánk egyik jelentős tudományos műhelye a Szegedi Biológiai Kutatóközpont (SZBK).

1. Keresd fel az SZBK honlapját! A kutatásokról az intézetek oldalain találsz információkat.
2. Válassz egy számodra érdekes kutatási egységet, és készíts összefoglalót az ott folyó kutatási tevékenységről!
3. Fogalmazz meg kérdést az adott kutatással kapcsolatban!

A biológiai alapkutatások az alkalmazások felé nyitnak utakat. A gödöllői Mezőgazdasági Biotechnológiai Kutatóintézetben (MBK) is ilyen munka folyik.

4. Keresd fel a kutatóintézet honlapját! Tájékozódj a kutatási területekről, keress aktuális híreket!
5. Mutasd be néhány mondatban, mit tudtál meg az intézeti kutatásokról!

A biológiai kutatások kezdetét az élőlények megfigyelése, rendszerezése jelentette. Az egyed alatti szerveződést a szabad szemmel is vizsgálható növény- és állatszerkezeti, élettani szinteken vizsgálták. A fény-, majd az elektronmikroszkóp megnyitotta a mikrovilág tanulmányozásának lehetőségét (6. ábra), a kutatók felismerték a mikrobák fontosságát, a sejteket az élet alapegységeként azonosították. Közben a magasabb szerveződési szinteket is kutatták, válaszokat keresve a sokféleség térbeli és történeti okaira. A környezetbiológia, az evolúció kutatása átalakította az élő természet és az ember kapcsolatáról alkotott képünket. A 20. század derekán még mélyebbre merültek a kutatók az élet rejtelmének vizsgálatába. Felismerték, hogy **az élet alapvetően információs jelenség**, amelyben a fehérjék és a nukleinsavak játsszák a főbb szerepeket.



6. Egy muslica összetett szerkezetéről készült pásztázó elektronmikroszkópos felvétel

A 21. századra egy részletekben igen gazdag kép rajzolódott ki, már az élet számos aprólékos jellemzőjét feltártuk. Felmerül az igény a puzzle összerakására, az élet szerveződési szinteket átfogó, lényegi megértésére. Erre irányul a **rendszerbiológia** számos kutatási területe. A **szintetikus biológia** is új tudományterület, amely azt bizonyítja, hogy a megértés alapján az alkotásra is lehetőség nyílhat. A molekuláktól a sejteken és az egyedeken át az egész élővilágot átszövik a kölcsönhatások. Ennek megértése a **hálózatbiológia** kutatási célja, amely egyúttal sokféle alkalmazást is magában foglalhat. A holisztikus látásmód jelenik meg a **genomika** vagy a **proteomika** kutatásaiban is, amelyek a biológiai információ magasabb szintjeinek molekuláris alapjait igyekeznek feltárni (7. ábra).

A biológia tudománya esetében is megkülönböztethetők az **alap- és alkalmazott kutatások**. Az egyik inkább az elméleti kérdésekkel, a másik a gyakorlati alkalmazásokkal foglalkozik, de valójában nehéz határt húzni a kettő közé. A **mikrobiológia** elemzi a vírusok felépítését és működését, ami alapján védőoltásokat készíthetnek. A **molekuláris genetika** feltárja a biológiai működések kódrendszerét, amelyet célzott **gyógyszerfejlesztésekben**, személyre szabott **terápiás eljárásokban** alkalmazhatunk. Az életközösségek egyensúlyának elméleti megértése segítheti a **fajmegőrző programok, tájrehabilitációk** tervezését.

A tudományon túl a technológia veszi át az alkalmazás lehetőségét és felelősségét. A biológia esetében közvetlen kapcsolat van az **orvostudomány**, a **pszichológia**, a **növénytermesztés és állattenyésztés**, az **élelmiszeripar**, a **gyógyszergyártás** vagy a kevésbé ismert **biomimetika** (bionika) technológiáival. Fontos, hogy ezek a technológiai területek tudományos bizonyítékokra alapozott, megismételhető és ellenőrizhető eljárásokat foglalnak magukban (8. ábra). A tudománytalan vagy éppen áltudományos módszerek és ezek hirdetései is gyakran feltűnnek, ezért is fontos, hogy alapvető biológiai ismeretekkel felvértezve, kritikai gondolkodással viszonyuljunk ezekhez.



7. A genomikai kutatásokban is alkalmazott gélelektroforézis előkészítése



8. Biológus kutatók egy laboratóriumban

### Kutass!

1. Keress információkat és foglald össze néhány mondatban, hogy a rendszerbiológia miért jelent új szemléletet a kutatásokban!
2. Fogalmazd meg röviden, mit jelent a biomimetika! Keress példákat ilyen alkalmazásokra!

A természet megismeréséhez nélkülözhetetlen az emberi kíváncsiság, a tudatos érdeklődés.

A tudományos megismerés során tudatosan alkalmazhatjuk a megfelelő gondolkodási műveleteket.

A természettudományos gondolkodás gyakran szerveződik egymással összekapcsolódó műveletpárokba.

A biológia tanulásában is meghatározó a meglévő elméletek alkalmazása, de újabb tények megismerése révén új elméleti következtetésekre is juthatunk.

A tudományos elméletek az adott kor tudásának szintjén írják le a jelenségeket, ezért fejlődésük a tudomány alapvető jellemzője.

## 3.

## Összefoglalás



# AZ ÉLŐVILÁG EGYSÉGE II.



4. Az élő rendszerek anyagai
5. Víz, diffúzió, ozmózis
6. Szénhidrátok
7. Lipidek
8. Fehérjék
9. Nukleotidok és nukleinsavak
10. Enzimek és működésük

# 4. Az élő rendszerek anyagai

1. Milyen kémiai elemek építik fel az élő szervezeteket?
2. Miért mondjuk, hogy a Földön az élet szénalapú?
3. Hogyan szerveződnek az atomok bonyolultabb anyagokká?

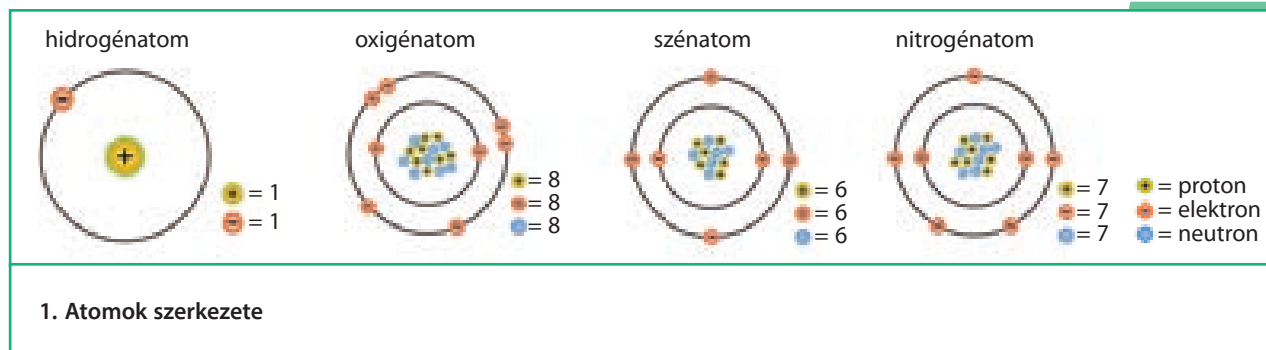


## Hangolódj rá!

A Földön kívüli anyagok és élet kutatásaival foglalkozó feltörekvő tudományterületek az **asztrokémia** és az **asztrobiológia**. A világűrben a csillagközi térben, bolygókon, üstökösön kutatják, hogy vannak-e ott szénvegyületek, vízmolekulák, illetve más molekulák. Az eredmények azt mutatják, hogy igen. A kérdés az, hogyan szerveződik az anyag, hogyan alakulhatott ki az a csodálatos jelenség, amit mi itt a Földön úgy hívunk, hogy ÉLET. A Földön élő szervezetek hihetetlen sokféleségét figyelhetjük meg. A molekulák szintjén tapasztalt felépítésükben (ahol a kémia szabályai a mérvadók) az élőlények hasonlóak. Az élővilág egysége a molekuláris szerveződési szinteken is tetten érhető.

## Az élőlényeket felépítő elemek

Az anyagot felépítő, de kémiai módszerekkel tovább nem bontható részecske az **atom**. Az azonos atomok halmaza az **elem**. A természetben közel százféle elem fordul elő, ezeken felül számos mesterségesen előállított is ismert. Az élő szervezetek felépítésében és működésében az elemek 20–30%-a vesz részt, ezeket nevezzük **biogén elemeknek**. Közülük mindössze négy az, ami az anyagok közel 90%-át adja. Ezek az **oxigén**, a **szén**, a **hidrogén** és a **nitrogén** (1. ábra). Az élő szervezetek az anyagaikat végső soron a környezetükből veszik fel és adják le, és ez azt jelenti, hogy az élőlények környezetében az összes olyan elemet meg kell találnunk, amelyik az élő szervezetben megtalálható. A különbség az **alkotóelemek aránya**: ezekben az élőlények jelentősen eltérnek az élettelen környezetükben található anyagokétól (lásd táblázat).



**Fedezd fel!**

A következő táblázatban a földkéreg és az ember elemi összetételét látod.

1. Hasonlítsd össze az adatokat!
2. Hasonlítsd össze az ember tömegszázalékos és mólszázalékos összetételét is! Milyen következtetéseket tudsz levonni ezek alapján?
3. Melyek a földkéregben és melyek az emberben található leggyakoribb elemek?
4. Melyik elemből találjuk a legtöbb atomot az emberi szervezetben?
5. Mi okozza az emberi szervezet magas hidrogén- és oxigéntartalmát?

Ember		Földkéreg		Ember	
Elemek	m/m%	Elemek	m/m%	Elemek	n/n%
O	64,9	O	49,9	H	65,3
C	18,5	Si	26	O	25,6
H	9,5	Al	7	C	7,5
N	3,3	Fe	4,1	N	1,26
Ca	1,5	Ca	3	P	0,24
P	1	Na	2,5	S	0,06
K	0,4	K	2,5	Többi	0,04
S	0,3	Mg	2		
Na	0,2	H	1		
Cl	0,2	Többi	2		
Mg	0,1				
Többi	0,1				

**Alkoss! Alakítsd át!**

A táblázatban található adatokat jelenítsd meg más formákban is pl. oszlopdiagramok, kördiagram stb.

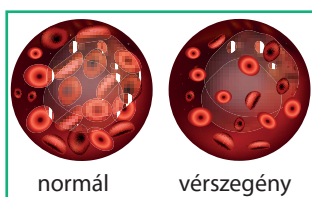
1. Keress adatokat más bolygók elemösszetételére, és hasonlítsd össze a Földével!
2. Az eredményeket mutassátok be egy poszteren vagy közös weboldalon!
3. Mely elemek mennyiségében találtak nagyobb eltéréseket? Mi lehet ennek az oka?

**Tanulmányozd** az alábbi táblázatot, majd oldd meg a feladatot!

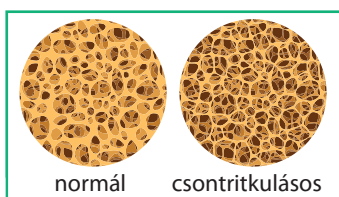
Biogén elem	Előfordulása	Biológiai szerepe
C	szerves vegyületek, szén-dioxid (CO <sub>2</sub> )	a szerves vegyületek vázát képezi, a fotoszintézis szénforrása
H	víz (H <sub>2</sub> O), szerves vegyületek	a fotoszintézis hidrogénforrása, a szerves vegyületekből (pl. szőlőcukor, zsír) származó H elégetéséből (biológiai oxidációjából) származik szervezetünk energiája
O	víz (H <sub>2</sub> O), oxigéntartalmú szerves vegyületek	a víz bontásából (a fotoszintézis folyamatában) keletkezik a levegőben található oxigén, és az élőlények „égési” folyamataiban vesz részt
Fe	hemoglobin (vörösvértest)	O <sub>2</sub> -kötés, elektronszállítás
Ca	csontok, fogak, izmok	szilárdítás, keménység kialakítása, izom-összehúzódás, sejtszintű jelforgalom
I	pajzsmirigy hormonjai	a szőlőcukor elégetésének (oxidációjának) fokozása
Mg	vázizomzat, növények zöld részeiben (pl. levél)	izom-összehúzódás, a fotoszintézis folyamatában

**Fedezd fel!**

A táblázat melyik elemével tudod kapcsolatba hozni az ábrákat? Választásod minden esetben indokold!



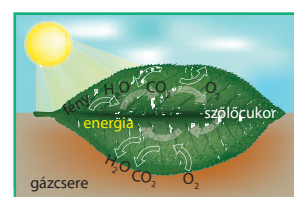
a) normál, vérszegény



b) normál, csontritkulásos



c) belégzés, kilégzés



d) fotoszintézis

### Idézd fel!

1. Korábbi tanulmányaid alapján idézd fel, hogy miért különleges elemek a nemesgázok!
2. Fogalmazd meg, mit jelent az elem, a vegyület és a keverék fogalma!

### Sajátítsd el! Reflektálj!

Olvasd el az alábbi szöveget, és fogalmazd meg öt olyan kérdést ezzel kapcsolatban a társadnak, hogy válaszaiban benne lehessen a tananyag rész lényege!

## Molekulák és ionok képződése

Földi körülmények között a legtöbb elem nem önmagában fordul elő, atomjaik egymással vagy más elem atomjaival kölcsönhatásba lépnek, kötések alakítanak ki. Ha két atom **megoszt egymással egy elektronpárt**, akkor **kovalens kötés** alakul ki közöttük. Meghatározott számú és minőségű atom kovalens kötésekkel való összekapcsolódásával **molekulákhoz** jutunk (2. a ábra).

Két atom reakciója során elektronátadás is történhet, ekkor az atomokból **ionok** képződnek. Amelyik atom **leadott elektront**, **pozitív** töltésű ion lesz, amelyik **felvett elektront**, az **negatív** töltésű ion lesz. Az így létrejött ellentétes töltésű részecskék vonzzák egymást, ezt nevezzük **ionos kötésnek** (2. b ábra).

Az elemekből létrejövő **vegyületek** új fizikai és kémiai tulajdonságokkal rendelkeznek. Vegyük példának a hidrogént és oxigént! 25 °C-on és légköri nyomáson mindkettő színtelen, szagtalan gáz. A reakciójukból keletkező víz viszont azonos körülmények között színtelen folyadék.

### Vesd össze! Ítéld meg!

Olvasd el a szöveget, és válaszolj a szöveg végén feltett kérdésre! Használd fel a megadott alternatívákat (A és B)!

#### Az „életerő”-elmélet (a tekintély és a logika vitája)

A kémia fejlődése során sok olyan elmélet született meg és terjedt el, amit később megcáfoltak. A 19. században született „életerő”-elmélet azt mondta ki, hogy az élet felépítő molekulákat csak valamilyen élőlény szervezete hozhatja létre egyszerűbb anyagokból. Az elmélet szerint ezekhez a reakciókhoz életerőre (*vis vitalis*) van szükség. Ennek alapján a megismert anyagokat két részre osztották: **szerves** anyagok és **szervetlen** anyagok. A szerves anyagok az élő szervezet saját anyagai, amit csak élet-erővel lehet előállítani. A szervetlen anyagok pedig a környezet többi anyaga, amit egy kémcsőben a kémikus egyszerűbb anyagokból létre tud hozni. Az elmélet nagy hirdetője, a szerves és szervetlen kémia elnevezője, a kor híres kémikusa, Berzelius volt. A sors fintora, hogy tanítványa, Wöhler végezte el azt a kísérletet, ami az „életerő”-elméletet megdöntötte. Wöhler két szervetlen anyagból (dicián, víz) egyszerű kémiai reakcióval egy kémcsőben előállított egy szerves anyagot (oxálsav). Ezt később megismételte más anyagokkal is. Az „életerő”-elmélet így érvényét veszítette, ugyanis a kémikusok bizonyították, hogy egyszerű szintézissel elő lehet állítani szervetlen anyagból szerves anyagot.

Miért maradtak meg a mai napig szerves, illetve szervetlen kémia kifejezések?

- A. Földi körülmények között csak a szénatom képes egymáshoz kapcsolódva hosszú, stabil és változatos alakú molekulákat létrehozni. A szerves vegyületek legnagyobb részben széntartalmú vegyületek.
- B. A 19. századra a kémiában felhalmozott tudásanyag már olyan nagy volt, hogy a kémiát külön ágakra volt célszerű bontani, és az „életerő”-elmélet alapján megszülető szerves és szervetlen kémia pont jó felosztásnak bizonyult a tudásanyag eloszlása alapján.

# Játssz!

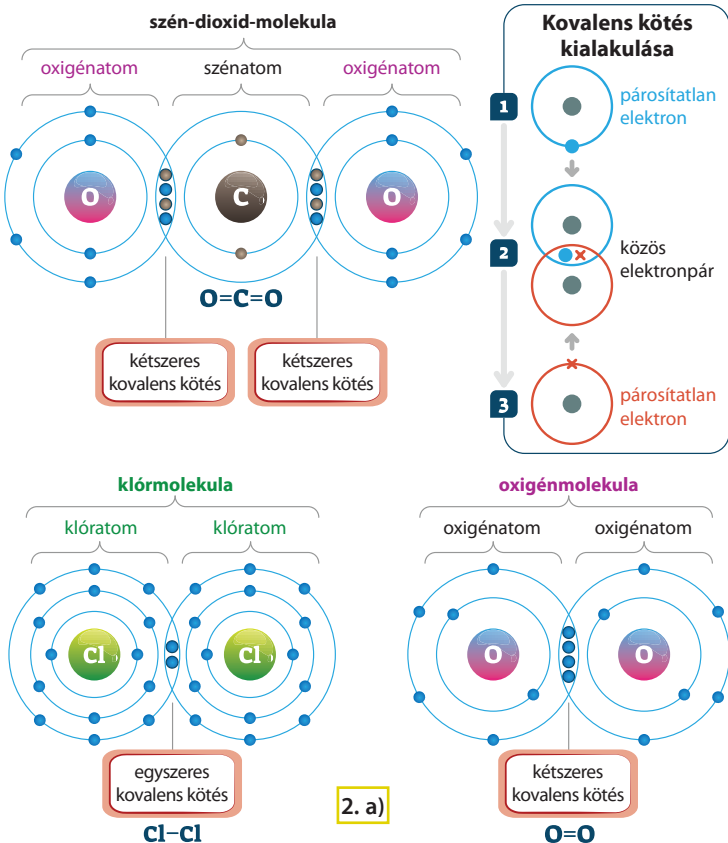


A szerves szénvegyületeknek száma hatalmas, és te is nagyon sokat ismersz a hétköznapiakból! Nézzünk pár példát!

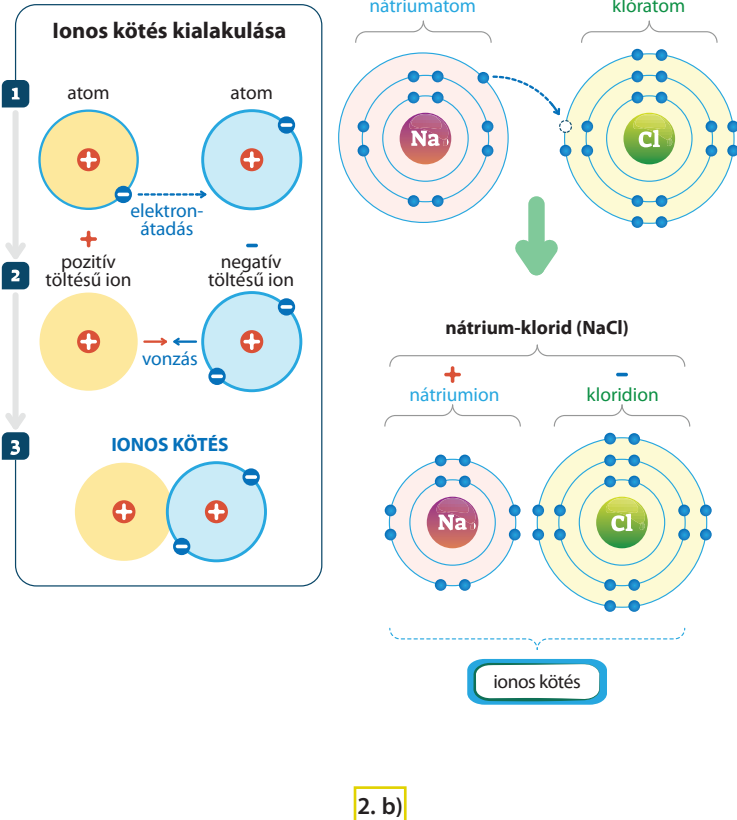
szőlőcukor, koffein, etil-alkohol, ecetsav, C-vitamin

1. Válassz ezek közül, vagy keress meg egy számodra izgalmas vegyületet! Keress meg az összegképletét és szerkezeti képletét! Ha megtaláltad, mutasd meg a tanárodnak, és a szerkezeti képlet segítségével rakd ki golyómodellből a molekulát!
2. A kész modellben figyeld meg a szénatomok elhelyezkedését!
3. Hány kovalens kötést létesítenek a molekulában a szénatomok?
4. Milyen más atomokkal kapcsolódnak a szénatomok?

## kovalens kötés




## ionos kötés



2. Kovalens kötés és ionos kötés kialakulása



Az élet **szénalapúságát** az magyarázza, hogy a földi körülmények között egyedül a szénatom képes más szénatomokkal szinte korlátlan számban összekapcsolódni. Négy ugyanolyan erősségű kovalens kötést képezhet, így hosszú egyenes és elágazó láncokat vagy gyűrűket alakíthat ki. Emiatt főként a szén alkotja az élő szervezetekben megtalálható molekulák vázát, a szén mellett az oxigénnel, nitrogénnel, hidrogénnel és a kénnel is összekapcsolódva. Ennek kémiai alapja az, hogy a szénatom négy elektronnal rendelkezik a külső elektronhéján (1. ábra). A legtöbb atomhoz hasonlóan akkor kerül stabil állapotba, ha nyolc elektront tartalmaz ezen a helyen, ezért a szénatom általában 4 kovalens kötést létesít más atomokkal (2. ábra). Alapjaiban a **szénvegyületek sokfélesége** jelenti az élő rendszerek működését lehetővé tevő **biológiai információt**. Létrehozásában a Földre érkező napsugárzás energiája játssza a fő szerepet.

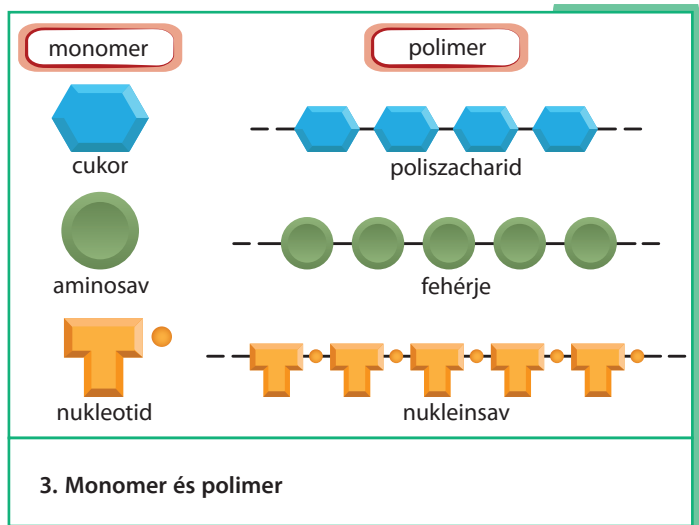


**Reflektálj!**

Megtalálod-e a következő szövegben (Molekulák óriásira nőnek) a kérdésre a választ: ha megeszem a burgonyát, akkor az abban raktározott tápanyag (keményítő) lehet, hogy az izmaid raktározott tápanyaga (glikogén) lesz?

### Molekulák óriásira nőnek

A nagy szénatomszámú szénvegyületek egy része kisebb, egyszerűbb molekulákból, **alapegységekből** (monomerekből) épül fel (3. ábra). Több monomer össze tud kapcsolódni, és így létrejön egy **polimer**. A polimer egy olyan molekula, ami egymás utáni ismétlődő egységekből áll. Az egységek lehetnek teljesen megegyezők, de lehetnek kismértékben különbözőek is. A nagy méretű polimer molekulákat **makromolekuláknak** nevezzük, ilyen makromolekulák az **összetett szénhidrátok** (a poliszacharidok), a **fehérjék** és a **nukleinsavak**. Az élő szervezet a polimereket képes monomerekre bontani, de a monomerekből is képes polimereket építeni. Ezek a folyamatok most is zajlanak benned!



### Szerveződési szintek

Az atomok közötti kötések molekulákat eredményeznek, amelyek további összekapcsolódásával nagyobb méretű molekulák, makromolekulák jöhetnek létre. Minden egyes magasabb szerveződési szinten **bővül az információ** is, létrejönnek olyan **új tulajdonságok**, amelyekkel az alkotórészek külön-külön nem jellemezhetők. A következő tananyagrészekben ezekre láthatunk példákat, és meg tapasztalhatjuk, hogy az élőlények alapvető molekuláris összetétele megegyezik.

**KIEGÉSZÍTÉS:** Létrejöhet egy negyedik molekuláris szerveződési szint is, ami makromolekulák önszerveződéséből alakul ki. Később látunk erre is példát.

**Reflektálj! Magyarázd meg!**

Gondold végig az eddig tanultakat, és hogy ezek alapján el tudod-e magyarázni, miről beszél az óriáskígyó! Próbáld meg elmondani a társadnak!

*Ész különben isz – folytatta, beszéd közben egyre nyújtogatva félelmes kis villás nyelvét –, meglehet, hogy végeredményben egyre megy, akár eszik valaki, akár őt eszik meg. Bölcsességem azt mondja nekem, hogy valószínűleg így van. Valamennyien ugyanabból az anyagból valók vagyunk: mi, az őszerdő gyermekei, ész ti, a városz gyermekei. Ugyanazokból az alkotórészekből vagyunk összetéve – a fa fejünk fölött, a kő a lábunk alatt, a madár, a vadállat, a csillag...*

P. L. Travers: A csudálatos Mary (az óriáskígyó beszéde)

**Meséld el!**

Próbáld meg egy-két mondattal folytatni az óriáskígyó beszédét!

Az élő szervezetet négy elem építi fel legnagyobb mennyiségben (C, H, O, N). További fontos elemek még a kén (S), ami a fehérjék, és a foszfor (P), ami a nukleinsavak felépítésében vesz részt.

Fémek és nemfémek is szükségesek az életfolyamatokhoz, amelyek részben oldott ionokként, részben vegyületek alkotóelemeiként fordulnak elő. Ilyenek pl. a Na, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Cl, I (és még sok egyéb, ún. mikroelem).

Az atomok:

- kovalens kötésekkel molekulákat hoznak létre,
- elektronfelvétellel és -leadással ionokat hoznak létre.

A szén adja a szerves vegyületek alapját, ennek oka:

- négy erős kovalens kötést tud kialakítani,
- tud további szénatomokkal szinte korlátlan számban kapcsolódni, így nagyon nagy számú szerves vegyület jöhet létre.

Léteznek polimer molekulák, amelyek az építőegységek, a monomerek összekapcsolódásával jönnek létre.

Az élő szervezetek vegyületeit felépítő kémiai részecskék szerveződése:

atomok → molekulák → makromolekulák  
(→ makromolekulák önszerveződése)

## 4.

**Összefoglalás**

# 5.

## Víz, diffúzió, ozmózis

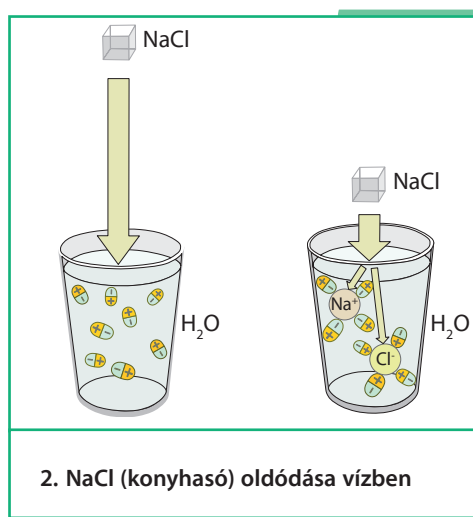
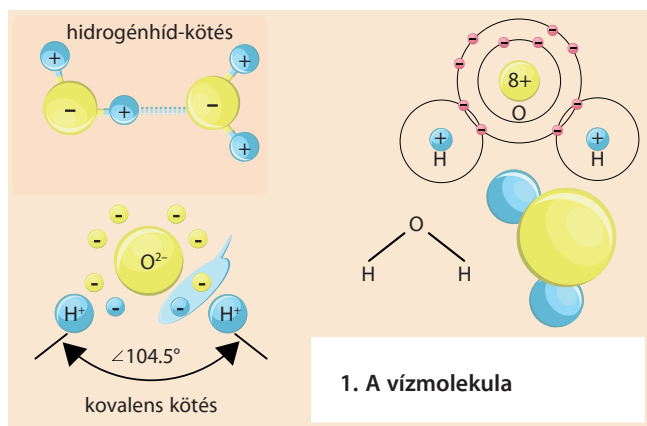
1. Miért alkotja az élőlények testének több mint felét víz?
2. Miért nem iható az ember számára a tengervíz?
3. Miért duzzadnak meg a vízbe áztatott mazsolaszemek?
4. Miért könnyebb leszedni a sós vízben főzött tojás héját?

### Víz

Molekuláris szerveződési szint jellemzi: kémiai kötésekkel kapcsolódó H- és O-atomok alkotják (1. ábra).

Az élő szervezetek vegyületei között a legmagasabb a víz ( $H_2O$ ) aránya, a sejtek tömegének átlagosan **65–75 százalékát** adja. A sejteket felépítő anyagi rendszerekben a víz az általános **oldószer**. Számos szerves és szervetlen vegyülettel képezhet oldatot. **Polárosak** azok a molekulák, amelyeken belül az elektronok eloszlása nem egyenletes, és ilyen a **víz molekula** is: az oxigénatom felőli része részlegesen negatív, míg a hidrogénatomok felőli része részlegesen pozitív töltésű. **Ionok**, illetve **poláris molekulák** vízben való oldódásakor a vízmolekulák ellentétes töltésű pólusokkal körülvésvik az oldandó anyag részecskéit (2. ábra). Az oldott részecskék körül **hidrátburok** alakul ki, ennek során **energia szabadul fel**, ami a kötésben lévő részecskék kiszabadulását, **oldódását** eredményezheti. A vízben oldott ionok és molekulák viszonylag szabadon mozognak, kölcsönhatásba is léphetnek egymással. A **vizes közeg** tehát a biokémiai átalakulások feltétele.

A víz nemcsak közege a sejtekben lejátszódó kémiai átalakulásoknak, hanem fontos **reakció-partner** is. A víz fontos sajátossága az is, hogy nagy a fajhője, aminek köszönhetően a hőfelszabadító (exoterm) és a hőelnyelő (endoterm) átalakulások



nem okoznak nagymértékű hőmérséklet-változást. A víznek tehát az élő szervezetekben is van **hőmérséklet-kiegyenlítő** szerepe. A vízmolekulák egymással, de más molekulákkal is képesek a kovalens kötésnél gyengébb kötésekkel, ún. hidrogénhidkötésekkel kapcsolódni. Ennek a kötésnek, valamint a vízzel kevésbé kölcsönhatásba lépő (hidrofób) molekulaszervezeti elemek közötti gyenge kötéseknek is fontos szerepük van pl. a **fehérjék térszerkezetének** kialakulásában.

## Diffúzió

# Kísérletezz! Fedezd fel!

### Diffúzió vizsgálata

A gáz-halmazállapotú anyagok részecskéi folyamatos mozgásban vannak.

Vizsgáljuk meg, hogy milyen ennek a mozgásnak a sebessége!

A gáz vándorlását ehhez láthatóvá kell tennünk. Ehhez használjuk ki, hogy a vízbe mártott piros színű lakmuszpapírt az ammónia kékre változtatja (a lakmusz egy indikátor).

#### Szükséges anyagok, eszközök:

hígított (1:10) ammóniaoldat, lakmuszpapírdarabok, víz, kémcső, mérőhenger, Pasteur-pipetta, leg-  
alább 30 cm-es üveghenger, gumidugók, kivájt aljú gumidugó vattával, hurkapálca

#### Kísérlet menete:

**Az üvegcsőbe helyezz el kb. 3 centiméterenként egy nedves lakmuszpapírdarabkát!**  
(Érdeemes számolni a dugókkal, illetve kívülről megjelölni az üvegcsövön a lakmuszdarabok helyét!)

**Dugózd be a cső egyik végét gumidugóval!**

**A vattás gumidugóra cseppents a hígított ammóniaoldatból!**

**Mérd stopperrel, és jegyezd fel, hogy mikor változik meg az egyes lakmuszpapírdarabok színe!**

#### Figyeld meg!

Jegyezd fel az egyes kísérletek esetén a lakmusz elszíneződéseinek idejét táblázatos formában! Ábrázold milliméterpapíron az adatokat!

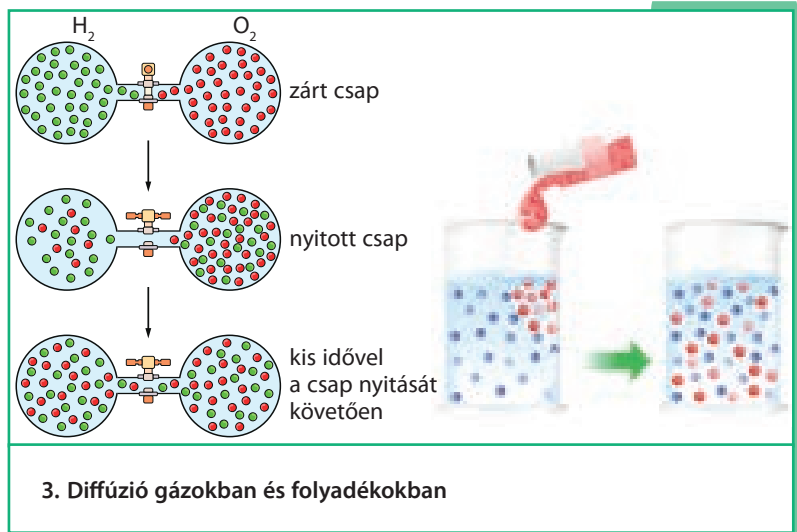
#### Magyarázd meg!

Tanulmányozd a grafikonod! Hogyan változik az ammóniagáz vándorlásának sebessége, ahogy halad a gáz egyre messzebb a vattacsomótól? Miért?

#### Biztonsági szabályok:

Az ammóniaoldat még hígított formában is maró, irritáló hatású, ezért a kísérlet során tanári felügyelet, védőszemüveg, lehetőség szerint vegyifülke használata szükséges.

A **gázok** részecskéi véletlenszerű mozgást végeznek. Egy irányba haladnak és közben ütköznek egymással, így töltik ki a rendelkezésre álló teret. A  **folyadékok** részecskéi egymáson elgördülve szintén egy véletlenszerű mozgást végeznek, igaz, ez lassúbb, mint a gárrészecskék mozgása. Amikor egy anyag részecskéi nagy számban (nagy koncentráció) vannak a rendelkezésre álló tér egy pontján, akkor elkezdnek a tér azon pontja felé mozogni, ahol a számuk kicsi (kis koncentráció). Ez a **diffúzió** addig tart, amíg a részecskék egyenletesen ki nem töltik a rendelkezésre álló teret (megszűnik a koncentrációgradiens) (3. ábra). Ekkor a diffúzió végére, de a részecskék rendezetlen mozgása továbbra is megmarad. A sejtek a számukra szükséges anyagok egy részéhez ( $O_2$ ,  $H_2O$ ) diffúzióval jutnak hozzá a környezetükből a sejthártyán keresztül. A nem szükséges anyagok egy része pedig szintén diffúzióval távozik a sejthártyán keresztül.

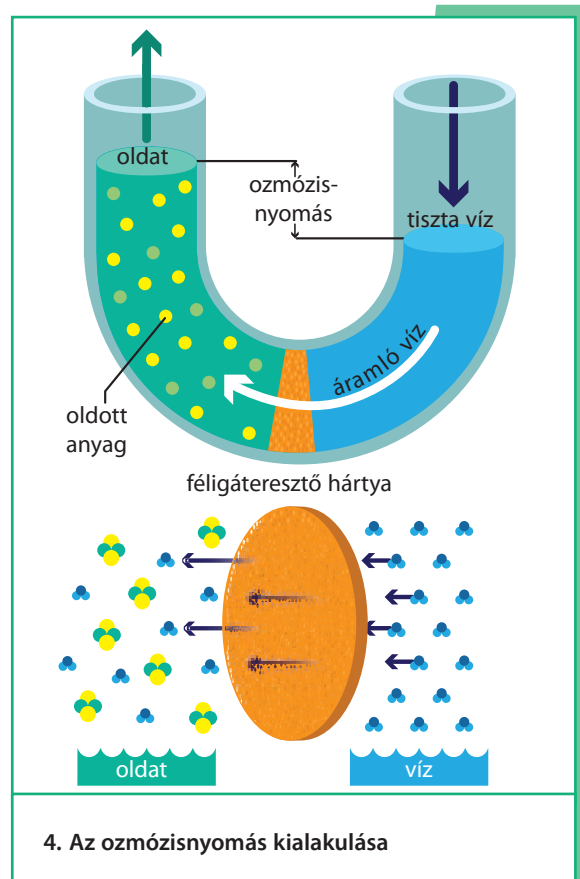


3. Diffúzió gázokban és folyadékokban

## Ozmózis

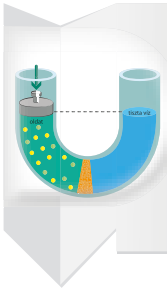
Minden sejtet **sejthártya** (membrán) vesz körül. Ez választja el a sejt belsejét a külső környezettől. A sejthártya kis nyílásokat (pórusok) tartalmaz, amelyek lehetővé teszik, hogy kis méretű molekulák átjussanak, de a nagy méretű molekulákat nem engedi át. Az ilyen hártyákat (membránokat) **féligáteresztő hártyáknak** nevezzük.

Az **ozmózis** a diffúzió egy speciális formája, amihez víz (általános oldószer) szükséges. Akkor alakul ki, amikor két oldatot egy féligáteresztő hártya választ el. Az ozmózis során a **víz diffúziója** zajlik egy féligáteresztő hártyán keresztül a **hígabb oldatból a töményebb oldat felé**. A féligáteresztő membránon található pórusokon a vízmolekulák átférnek, az oldott anyag molekulái viszont túl nagyok ehhez. A víz így diffúzióval a hígabb oldatból (ahol nagyobb a víz koncentrációja) a töményebb oldat (ahol kisebb a víz koncentrációja) felé vándorol. De ha a koncentrációkülönbség vízáramlást idéz elő, és ez a különbség nem tud kiegyenlítődni a féligáteresztő hártya miatt, akkor állandóan víznek kell áramolnia a töményebb oldat felé? A válasz: igen! Csakhogy egy idő után ugyanannyi vízmolekula lép be az oldatba a koncentrációkülönbség miatt, mint amennyi a magasabb folyadékoszlop nyomása miatt onnan kilép. Ezt hívjuk **dinamikus egyensúlynak**. Az **ozmózisnyomás** pedig azzal a nyomással egyenlő, ami ezt a dinamikus egyensúlyt fenntartja (4. ábra).



4. Az ozmózisnyomás kialakulása





### Gondold újra!

Az egyensúlyi állapotot létre lehet hozni kezdetben is, vagyis a víz belépése nélkül, ha az oldatot tartalmazó csövet olyan dugattyúval látjuk el, amely az ozmózisnyomással egyenlő nyomást fejt ki. Ekkor a dugattyúra ható nyomás növelésével vagy csökkentésével lényegében mit változtathatunk tetszés szerint?

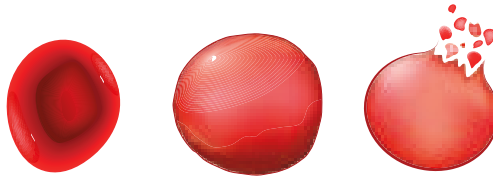
### Számítsd ki!

Az orvosi gyakorlatban **fiziológiás**, vagy más néven élettani oldatokat használnak, mert ezek koncentrációja akkora (0,9 m/m%-os), hogy az oldatba helyezett sejtekben nem csökken és nem is nő az oldószer (víz) mennyisége.

A következő oldatok állnak rendelkezésünkre:

- 0,1 m/m%-os oldat
- 1,5 m/m%-os oldat
- 0,9 m/m%-os oldat

1. Melyik oldat alkalmazása esetén figyelhetnénk meg a következő változásokat? Víz áramlik a sejt belsejébe, és a sejt alakja egyre inkább gömbszerű (szferocita), majd egy adott térfogatot elérve a membrán megreped, a sejt belsejéből a hemoglobin kijut a sejt környezetébe (ozmotikus hemolízis).
2. 1 liter vízben hány gramm NaCl-ot kell feloldanod, hogy fiziológiás sóoldatot kapj?



### Magyarázd meg!

Diákok felvágtak krumplit hosszú csíkokra. Ezeket megtapintva meglehetősen keménynek írták le krumplikat. Ezeket a krumplikat különböző oldatokba helyezték. Melyik sor mutatja helyesen a diákok tapasztalatait? Magyarázd a tapasztalatokat!

	nagy koncentrációjú sóoldat	nagyon híg sóoldat	víz
A	meglehetősen kemény	duzzadt és igen kemény	puha
B	puha	meglehetősen kemény	duzzadt és igen kemény
C	puha	puha	meglehetősen kemény
D	duzzadt és igen kemény	puha	meglehetősen kemény

# Kísérletezz!



A celofán féligáteresztő tulajdonságú, ezért fel tudjuk használni a sejthártya modellezésére. A sejtplazmát cukoroldat fogja helyettesíteni, így egy nagyon egyszerű modell-„sejten” tudunk kísérletezni.

## Ozmózis vizsgálata modell-„sejten”

### Szükséges anyagok és eszközök:

tömény cukoroldat, desztillált víz, celofáncső, cérna, mérleg, 2 db főzőpohár, Pasteur-pipetta

### Kísérlet menete:

1. Vágj két 12 cm-es darabot a celofáncsőből!
2. Az egyik végüket kötözd be cérnával!
3. Az egyik celofáncsövet töltsd meg cukoroldattal (A „sejt”), a másikat pedig desztillált vízzel (B „sejt”)!
4. Mindkét csőnek kötözd be a másik végét, és mérd le a tömegüket!
5. Az egyik főzőpoharat töltsd meg desztillált vízzel, a másik főzőpoharat pedig cukoroldattal!
6. Az A „sejtet” tedd a desztillált vizet tartalmazó főzőpohárba, a B „sejtet” tedd a cukoroldatot tartalmazó főzőpohárba!
7. Legalább 30 percig hagyd a modell-„sejtek” a főzőpohárban! Időről időre figyeld meg, van-e látható változás!
8. 30 perc után kiveheted a „sejtek”, töröld le őket, és mérd meg a tömegüket!

### Figyeld meg!

Jegyeld fel a „sejtek” kiindulási és végleges tömegét! Ha nem egyezett meg a két kiindulási tömeg, számold ki a százalékos tömegváltozást!

### Magyarázd meg!

1. Melyik részecskék mozgásával magyarázhatók a tapasztaltak?
2. Milyen irányban vándoroltak A sejt és B sejt esetén?
3. Miért vándorolnak az adott irányba a molekulák?



# Kísérletezz!

## Diffúzió és ozmózis vizsgálata

Olvasd el figyelmesen a kísérletek leírásait! Készíts jegyzőkönyvet! Rögzítsd a szükséges anyagok és eszközök listáját, a kísérlet menetét és a megfigyeléseidet!

Lehetőleg mindegyik kísérletet külön oldalon jegyezd fel!

## Diffúzió és felület viszonya

Szükséges anyagok és eszközök:

legalább 3 cm vastag agaragar kocsonya vagy zselatin, 1%-os metilénkékoldat vagy kálium-permanganát-oldat, vonalzó, olló, főzőpohár, csipesz, fehér csempe

Kísérlet menete:

1. Vágj ki a gélből 3 cm, 2 cm, 1 cm és 0,5 cm élhosszúságú kockákat a vonalzó és a kés segítségével!
2. Tedd a kockákat a főzőpohárban lévő oldatba!
3. 15 perc elteltével vedd ki a kockákat az oldatból, és tedd őket a fehér csempére!
4. Vágd félbe a kockákat, és a mérd meg, hogy meddig diffundált be a festék a kockába!

### Figyeld meg!

Számold ki mindegyik kocka felületét és térfogatát, a kapott adatokat ábrázold egy fél milliméterpapíron ( $x$  tengely a térfogat,  $y$  tengely a felület)!

Jegyezd fel, hogy melyik kocka esetében meddig diffundált be a festék!

Számold ki, hogy a kocka mekkora térfogatát nem festette meg a festék, és mekkora térfogatba jutott el a festék! Add meg, hogy a kocka térfogatának hány százalékába jutott el a festék!

### Magyarázd meg!

Képzeld el, hogy a kockák állatok, a gél szimbolizálja az élő sejteket, a festék pedig az oxigént.

1. Melyik „állat” maradna életben, ha csak a testfelületén keresztül, diffúzióval tudná felvenni az oxigént?
2. Milyen alakú testet kellene kivágni a zselatinból, hogy 15 perc áztatás után a test belsejébe mindenhova eljusson a festék?
3. Milyen állat felelne meg ennek a térbeli testnek?
4. Hogyan lélegzik ez az állat?

# Kísérletezz!

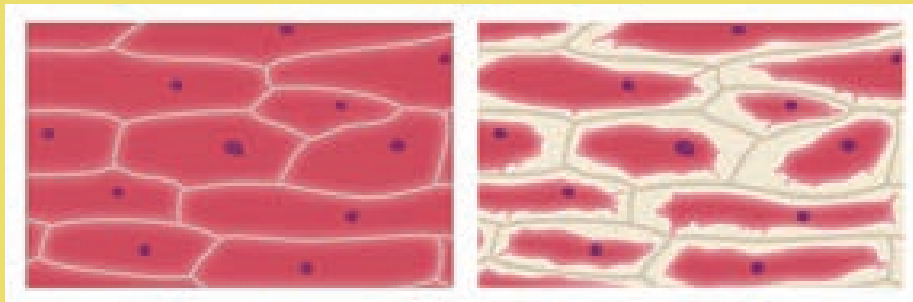


A vöröshagyma külső barnásvöröses, száraz levelei alatt húsos, nedvdús alleveleket találunk. Ezek lefejtésekor az egyes allevelek között egy vékony hártyszerű réteg látható, ez a bőrszöveti réteg könnyen lehúzható. Tárgylemezre helyezve, vízzel lecseppentve és lefedve a készítményt, mikroszkópban jól meg lehet vizsgálni, mert mindössze egyetlen élő sejtréteg alkotja.

## Ozmózis vizsgálata

Vizsgáld meg a különböző koncentrációjú (1 és 10 tömeg %-os) KCl-oldattal lefedett sejteket!

Készíts rajzot a megfigyelésedről!



Az ábra a plazmolízis jelenségét mutatja, amikor a sejtplazma vízvesztése miatt zsugorodott és elvált a sejtfaltól. Akkor következik be ez a változás, amikor a bőrszövetdarabkát töményebb oldatba helyezzük, mint ami a sejtben található.

Melyik oldattal (1 vagy 10 tömeg% vagy mindkettő) való kezelés után látható a mikroszkópban az ábrán látható állapot?

- Víz:** – Oldószer, reakciótér, alapanyag (fotoszintézis), termék (légzés), reakciópartner, hőmérséklet-kiegyenlítő.
- Diffúzió:** – Önként végbemenő részecskemozgás a nagyobb koncentrációjú helytől a kisebb koncentrációjú hely irányába (kiegyenlítés).
- Ozmózis:** – A vízmolekulák diffúziója egy féligáteresztő hártán keresztül a nagyobb koncentrációjú helyről (híg oldat) a kisebb koncentrációjú hely (tömény oldat) felé (egyirányú anyagáramlás).
- A féligáteresztő hártya a kis méretű molekulákat (általában az oldószer) átengedi, de a nagy méretű molekulákat (általában az oldott anyag) nem.

Az ozmózis következtében nyomás jön létre (ozmózisnyomás), amely szerepet játszik pl. a növények gyökerén történő vízfelvételében.

## 5.

## Összefoglalás



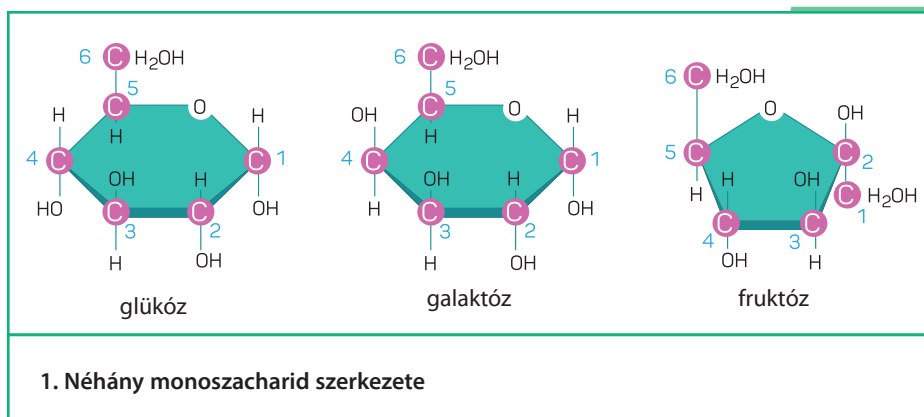
## 6. Szénhidrátok

1. Miért édes a sokáig rágott kenyér?
2. Mi lesz a sorsa a szervezetbe jutó szénhidrátoknak?
3. Hogyan jön létre a burgonya raktározott tápanyagából a saját raktározott tápanyagunk?
4. Miért van a növényekben ennyire sok cellulóz?

### A szénhidrátok szerkezete és funkciója

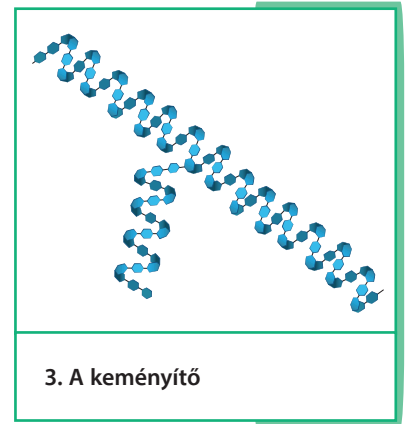
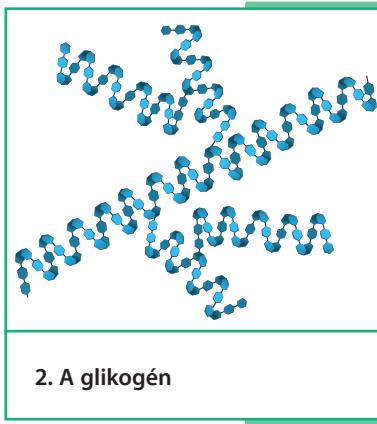
A **szénhidrátok** szénből, hidrogénből és oxigénből felépülő szerves anyagok. A szénatomok száma a különböző szénhidrát-molekulákban eltérő. A **kis szénatomszámúak** a sejtek számára **energiaforrásként** szolgálnak (pl. a glükóz), míg a **nagy szénatomszámúak raktározott tápanyagok** (keményítő, glikogén) és **vázanyagok** (pl. cellulóz) lehetnek. Három nagy csoportjuk a monoszacharidok, a diszacharidok és a poliszacharidok.

A legegyszerűbb szénhidrátok az egyszerű cukrok, a **monoszacharidok**. Ezekben a szén-, hidrogén- és oxigénatomok aránya 1:2:1. Egy hat szénatomos monoszacharid képlete ennek megfelelően  $C_6H_{12}O_6$ . A leggyakoribb monoszacharid a **glükóz** (szőlőcukor), a **fruktóz** (gyümölcscukor) és a **galaktóz** (1. ábra). Ezek az anyagok vízben jól oldódnak és édes ízűek. **A glükóz a sejtek fő energiaforrása.** A fruktóz a gyümölcsökben található, ezt érezzük a cukrok közül a legédesebbnek, a galaktóz pedig a tejben fordul elő. Ennek a három anyagnak az összegképlete  $C_6H_{12}O_6$ , de a molekuláik szerkezete kismértékben eltér egymástól, ez is magyarázza eltérő biológiai szerepüket.



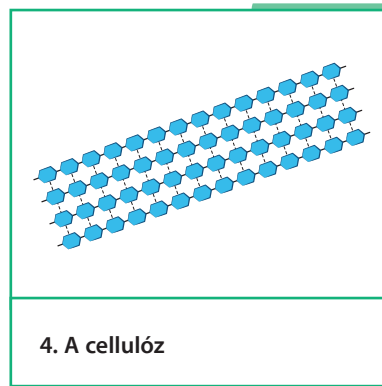


Az élő szervezetekben a monoszacharidok vízkilépés közben egyesülnek **diszacharidokká**. Ezek a vegyületek is cukrok, vízben jól oldódnak és édes ízűek. Két glükózmolekula egyesüléséből **maltóz** (malátacukor), egy glükóz- és egy galaktózmolekula egyesüléséből laktóz (tejcukor), egy glükóz- és egy fruktózmolekula egyesüléséből szacharóz (répacukor, nádcukor) keletkezik. A **poliszacharidok** sok monoszacharid-egységből álló óriásmolekulák. A **glikogén**molekula (2. ábra) több száz glükózmolekula összekapcsolódásával létrejövő, elágazó szerkezetű poliszacharid. A táplálékkal elfogyasztott glükózt a szervezeted glikogénné alakítja, és így tárolja a májban és az izmokban. Ezekből a raktárakból a glükóz gyorsan felszabadítható, ha a szervezet sejtjeiben glükózhány lépne fel.



A növények a glükózt **keményítő** (3. ábra) formájában tárolják. A keményítő molekulája hasonló a glikogénéhez, de az elágazó részek mellett elágazásmentes spirálmenetes részeket is tartalmaz. Ez a két poliszacharid tartalék tápanyagként van jelen az élőlényekben, mindkettő vízben rosszul oldódik, és nem édes ízű.

A növények egy másik poliszacharidot is előállítanak, ez a **cellulóz** (4. ábra). Ezek több ezer glükózegységből álló hosszú, egyenes, láncszerű molekulák. A láncok között nagyszámú hidrogénhid alakul ki, az így létrejövő **cellulózrost** vízben oldhatatlan, és a környezet viszontagságainak ellenálló **vázanyag**. A cellulóz a legtöbb élőlény számára emészthetetlen, ezért is alkalmas a tartós váz szerepére.



### Gondold újra!

Az emberi vázizomzat glikogénraktárainak újratöltése kiemelten fontos például megerőltető fizikai terhelést követően. Sportolók fokozott terhelése esetében a glikogénraktárak egy nap alatt kifognak, ezért azokat a nap végén újra kell tölteni, hogy a versenyző a következő napon is jól tudjon teljesíteni. A glikogén újraépítése az izomrostokban a terhelést követő egy órában a legnagyobb mértékű. Ezért javasolják az 1–1,2 g/testtömegkilogramm keményítő fogyasztását az igénybevételt követő 4–6 órás periódus minden órájában. Ezáltal a szervezet glikogénraktárai újra felépíthetők, és a versenyző a következő napon is jól tud teljesíteni.

### Kérdések:

1. Mivé alakítja a szervezetünk a keményítőt, hogy abból glikogént tudjanak előállítani az izomrostok?
2. Összesen hány gramm keményítőt kellene elfogyasztanod a nap végén, hogy újra felépítsd a glikogénraktáraidat, ha te lennél a versenyző?
3. Mit ennél, hogy hozzájuss ennyi keményítőhöz?

# Kísérletezz!



## A nyál hatása a kenyérrre

**Keményítő** kimutatásához késhegynyi keményítőport tettünk egy kémcsőbe, majd  $3\text{ cm}^3$  (3 ujjnyi) meleg vizet öntöttünk rá, és a kémcső tartalmát alaposan összeráztuk. Egy csepp Lugol-oldatot öntöttünk a kémcső tartalmához, és a barna színű Lugol-oldat kék színűre változott a kémcsőben.

**Glükóz** (szőlőcukor) kimutatásához Fehling-reakciót végeztünk. Réz-szulfát-oldathoz (Fehling I.-oldat) addig csepegtettünk egy lúgos kémhatású oldatot (Fehling II.-oldat), míg az oldat sötétkék nem lett. Ezután késhegynyi szőlőcukrot adtunk az oldathoz, és melegítés után sárgásbarna színváltozást tapasztaltunk.

Kis kenyérbél darabkákat tettünk kémcsőbe, és  $9\text{ cm}^3$  (9 ujjnyi) meleg vizet öntöttünk rá. A kémcső tartalmát jól összeráztuk, majd háromfelé osztottuk. Az első részlethez Lugol-oldatot öntöttünk, és kék színváltozást tapasztaltunk. A második részlettel Fehling-próbát végeztünk, és nem tapasztaltunk változást. A harmadik részlethez nyálat adtunk, összeráztuk, és  $37\text{ °C}$ -os vízfürdőre tettük 20 percre. Az idő leteltével az oldatot leszűrtük és kettőöntöttük. Az egyik részlettel a Lugol-oldat nem adott színváltozást, a másik részlet Fehling-próbája során vörös színváltozást tapasztaltunk.

### Kérdések:

1. A kenyérben lévő melyik anyag jelenlétét mutattuk ki a kísérlet kezdetén?
2. Melyik anyag jelenlétét mutattuk ki a kísérlet végén?
3. Mi a szerepe a kísérletben a nyálnak?

Hogyan magyarázható a kísérlettel, hogy a sokáig rágott kenyeret egy idő után édesnek érezzük?

## A szénhidrátok különböző szerepet töltenek be a szervezetünkben:

A **monoszacharidok** energiaforrások, pl. a glükóz.

A **diszcharidok** hidrolízisével (víz segítségével történő bontás) monoszacharidokat kapunk, így közvetve ezek is energiaforrások.

A mono- és diszacharidok fehérek, szilárdak és vízben jól oldódnak, a hétköznapiakban ezeket nevezzük cukroknak.

### A poliszacharidok

- a glikogén és a keményítő raktározott tápanyagok,
- a cellulóz vázanyag – véd, lehetővé teszi a növényi sejtek számára a viszonylag nagy víztartalmat,
- a keményítőt képes a szervezetünk lebontani (pl. nyál) glükózzá, majd a glükózból a máj és az izomrostok képesek glikogént előállítani.

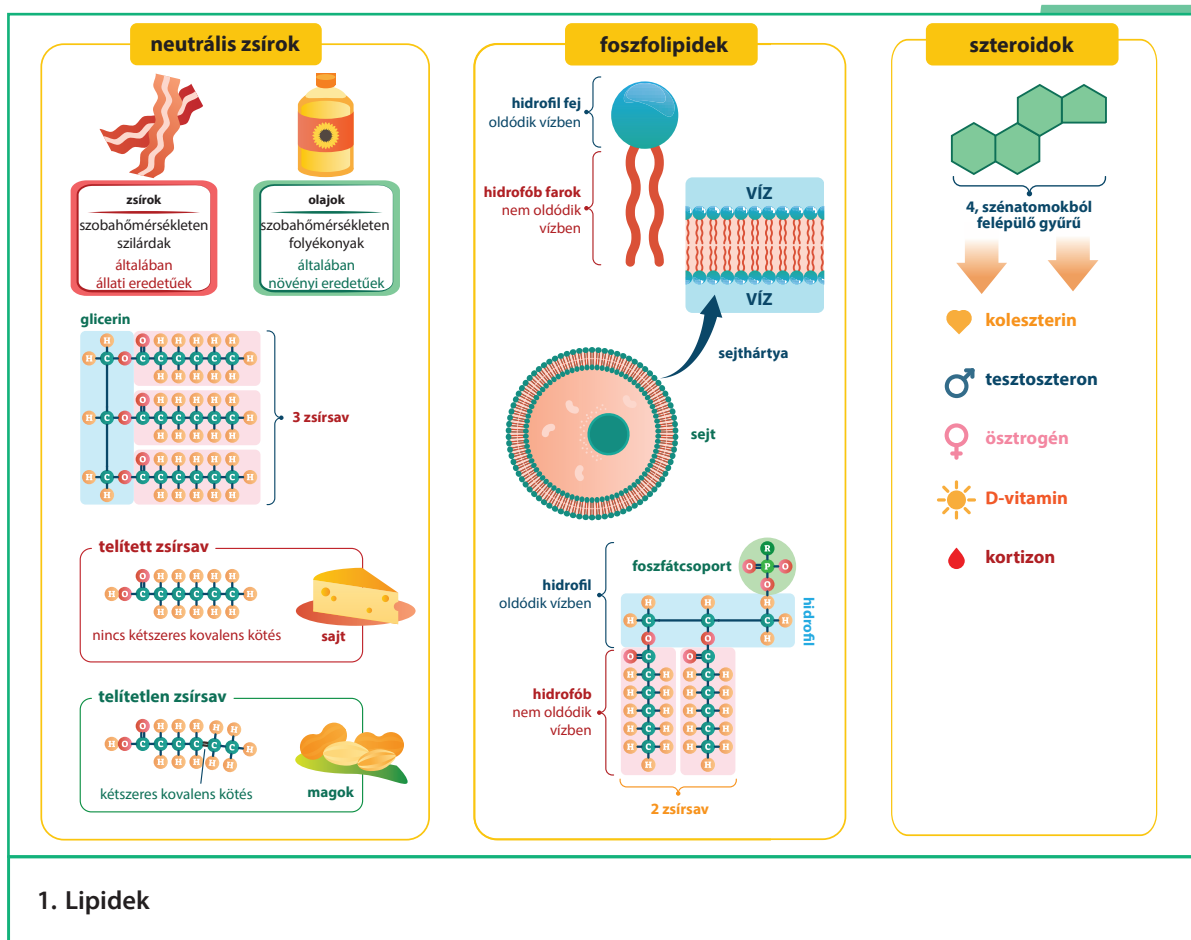
## 6. Összefoglalás

# 7.

## Lipidek

1. Miért nem oldódnak a zsírok és olajok vízben?
2. Mi történik a táplálékkal a szervezetbe jutó zsírokkal?

A **lipidek**, más szóval zsírszerű anyagok változatos szerkezetű szerves vegyületek, közös tulajdonságuk, hogy mindegyikük **oldódik apoláris oldószerekben** (1. ábra). A lipidekben jut a legtöbb hidrogénatom egy szénatomra, így ezek képesek egységnyi tömegben (1 gramm) a legtöbb energiát tárolni. A **neutrális zsírok** a három szénatomos alkohol, a glicerín és nagy szénatomszámú zsírsavak összekapcsolódásával képződnek, másik nevük éppen ezért **triglicerid**. A zsírok szobahőmérsékleten szilárd, az olajok folyékony halmazállapotúak. A zsírok többnyire állati, az olajok többnyire növényi eredetűek. Raktározott tápanyagok, az



állati szervezetekben a zsírszövet sejtjeiben halmozódnak fel nagyobb mennyiségben. Szerepük van továbbá a hőszigetelésben, a mechanikai védelemben és a zsírban oldódó vitaminok raktározásában.

A foszfatidok molekuláiban a glicerinhez két zsírsavmolekula és egy foszforsav-molekula kapcsolódik. A foszforsavhoz még egy erősen poláris, nitrogéntartalmú szerves molekula is csatlakozik. A foszfatidmolekula zsírsavakat tartalmazó része apoláris, többi része pedig poláris jellegű. A foszfatidok tehát **apoláris és poláris oldószerekben is oldódnak**. E tulajdonságuknak köszönhetően a sejtek és a sejtalkotók határolóhártyáinak, a **biológiai membránoknak** a kialakításában vesznek részt. A **szteroidok** közös tulajdonsága, hogy molekulájukban jellegzetes gyűrűs szerkezet, a **szteránváz** található, ezért is stabil molekulák. Közéjük tartozik a **koleszterin**, amely a biológiai membránok alkotórésze, valamint az **epesav**, ami a zsírok emésztését segíti. A szteroidok között vannak **hormonok** (pl. tesztoszteron, progeszteron, ösztrogén) és **vitaminok** is (pl. D-provitamin). A **karotinoidok** színes vegyületek. Vannak köztük **növényi színanyagok**, amelyek képesek elnyelni a fényenergiát, így fontosak a fotoszintézisben (xantofill, karotin). A karotinoidok származéka az **A-vitamin** is, ami kulcsfontosságú a látásban.



# Kísérletezz!

## Élelmiszerek lipidtartalmának vizsgálata

### Első kísérlet:

Lipidtartalom kimutatásához néhány csepp étolajat cseppentettünk egy kémcső aljába. Az étolajra 3 cm<sup>3</sup> (3 ujjnyi) denaturált szeszt öntöttünk. Kis rázást követően a kémcsőben nem látunk határfelületet az olaj és a denaturált szesz között. Az olaj feloldódott a szeszben. Ezután a kémcső tartalmát 5 cm<sup>3</sup> (5 ujjnyi) desztillált vizet tartalmazó kémcsőbe öntöttük. Az oldat tej-szerű lett. Kis várakozást követően a folyadék tetején fázishatár látható. Az összeöntés során a denaturált szesz elegyedett a vízzel. A víz-alkohol elegyben viszont az olaj rosszul oldódik, így külön fázist alkot.

### Második kísérlet:

1. Napraforgómagot és babot törj össze dörzsmozsárban! Egy húsdarabot vágj minél kisebb darabokra! Fogj egy kevés tejport és lisztet!
2. Mindegyik anyagból keveset tegyél kémcsőbe, és önts rá 3 cm<sup>3</sup> (3 ujjnyi) denaturált szeszt! Rázd össze alaposan a kémcsövek tartalmát!
3. Kémcsövek, szűrőpapír és tölcse rések segítségével mindegyik mintát szűrd le!
4. A szűrleteket öntsd 5 cm<sup>3</sup> (5 ujjnyi) vizet tartalmazó kémcsövekbe!

### Kérdések:

- Mit tapasztaltál az egyes szűrletek esetén?
- Miért alkalmaztunk denaturált szeszt a kísérletben?
- Milyen anyagok okozhatták a tapasztaltakat?



### Gondold újra!

Fontos gazdasági növényeink a kukorica és a repce. Ezeket manapság egyre nagyobb területen termesztjük. A kukoricaszemekből állítjuk elő az üdítőitalok édesítéséhez szükséges szőlőcukrot (glükózt), de a kukoricacsuhé és a kukoricacső sem vész kárba. Ezekből szintén cukrot állítunk elő, de tovább is alakítjuk alkohollá, amit legnagyobb mennyiségben a **bioetanol** (E85) elnevezésű üzemanyagként értékesítünk. Ezt a motor megfelelő átalakítása után benzines autókba tankolhatjuk. A repceből étolajat készíthetünk, ha kémiai átalakítással eltávolítjuk a repceolajban lévő glicerint, akkor **biodízelhez** juthatunk, ami a dízelautók üzemanyaga lehet.

#### Kérdések:

1. Milyen anyagot találunk a kukorica különböző részeiben, amiből cukor gyártható?
2. Mi az oka annak, hogy külön alakítjuk cukorra a kukoricaszemekben és a kukorica egyéb részeiben található anyagokat?

#### Gondolkodj kritikusan!

Milyen problémát vet fel ezeknek a növényeknek az üzemanyagként való felhasználása?

A lipidek kémiai szerkezetükben eltérő molekulák, de mindegyikük rosszul oldódik vízben:

- A **neutrális zsírok** alkotják a zsírszövetet és tartalék tápanyagként, hőszigetelőként szolgálnak.
- A **foszfatidok** a sejtek membránját építik fel.
- A **szteroidok** a sejtek membránját szilárdítják, zsírok emésztését segítik, hormonok és vitaminok.
- A **karotinoidok** és származékaik színes vegyületek, szerepük van a fotoszintézisben és a látásunkban.

A szénhidrátok és a lipidek molekulái kapcsolódhatnak fehérjékhez is, ilyenek pl. a sejtek felszínén lévő **glikoprotein**-molekulák, amelyek fontos jelzőanyagok, antigének, vagy a vérben a koleszterint szállító **lipoproteinek**.

# 7.

## Összefoglalás



## 8.

## Fehérjék



1. Honnan ered a fehérje elnevezés, hogyan kapcsolódik a protein kifejezéshez?
2. Mi a funkciója szervezetünkben a fehérjéknek?
3. Miben különböznek az eltérő funkciójú fehérjék?
4. Hogyan jutunk hozzá a fehérjék felépítéséhez szükséges molekulákhoz?


**Hangolódj rá!**

Szervezetünk egyik fehérjéje az **inzulin**. Ezt a hormont a hasnyálmirigy termeli, feladata a vércukorszint csökkentése. Ha szervezetünk nem tudja előállítani, akkor cukorbetegség (diabétesz) alakul ki, ami kezeletlen esetben magas vércukorszint miatti kómához és halálhoz vezethet. 1920-ig a cukorbetegség halálos kórnak számított. 1921-ben viszont két torontói orvos marhák hasnyálmirigyéből kivonta az inzulint, és 1922-ben egy 13 éves diabéteszes kómában lévő fiúnak beadták a szert, aki ezután felébredt. A szer további adagolásával a fiú vércukorszintjét szabályozni tudták.

A gyógymód gyorsan elterjedt, hála a két orvosnak, akik szabadalmukat szabadon elérhetővé tették. Később a kutatók rájöttek, hogy a szarvasmarha-inzulin fehérjéje számunkra nem olyan hatásos, mint a szervezetünk által termelt emberi inzulin. A két molekula három aminosavban különbözik egymástól, ez okozta a kisebb hatékonyságot. Ma a cukorbetegeket már nem szarvasmarha hasnyálmirigyéből kinyert inzulinnal kezelik, hanem géntechnológia segítségével képesek olyan baktériumokat, élesztőgombákat létrehozni, amelyek az emberi inzulinnal megegyező fehérjét termelnek nagy mennyiségben.

## A fehérjék felfedezése

Az emberek már az ókori Rómában megfigyelték, hogy a tojás sütésekor, vagy miközben a tej megalszik, egy fehér színű anyag keletkezik. Ezt a fehér anyagot Plinius *albus ovinak* nevezte el. Innen eredeztethető a **fehérje** szavunk, amit mind a mai napig használunk, amikor a tojásfehérjére gondolunk. A 18. század kutatói megfigyelték, hogy a fehérjéknek alapvetően más tulajdonságaik vannak, mint a szénhidrátoknak (melegítés hatására keményednek, párás körülmények között pedig kellemetlen szagú gázok szabadulnak fel belőlük). Több állati eredetű anyagban is megtalálták, így az izomban, a bőrben, a hajban, a körömben és a vérben, ezek alapján egy alapvető „állati anyagnak” gondolták. Majd Bartolomeo Beccari megtalálta a lisztben. A **protein** kifejezést Berzelius (1779–1848) svéd kémikus vezette be, a görög *proteiosz* (elsődleges) szóból. Úgy gondolta, hogy a növények termelik ezeket a molekulákat, és az állatok a növények elfogyasztásával jutnak hozzá.

## A fehérjék biológiai funkciói

A fehérjék csoportjai különböző funkciókkal rendelkeznek, ezt mutatja be a következő táblázat egy-egy példával.

Biológiai szerep	Példa a szervezetből
Enzimek	alkohol-dehidrogenáz (etil-alkohol lebontása)
Összehúzóanyag fehérjék	aktin és miozin (izom-összehúzó)
Vázfehérjék	keratin (köröm, haj), kollagén (csontok rugalmassága)
Szállítófehérjék	hemoglobin (oxigén szállítása)
Tartalék tápanyagfehérjék	albumin (vérben keringő tartalék fehérje)
Szabályozó fehérjék	inzulin (vércukorszint csökkentése)
Antitestek	anti-B antitest (a B vércsoportú ember vörsvértestjeit felismerő antitest)
Receptorfehérjék	inzulinreceptor (inzulinnak a sejt felszínén való megkötődésért felelős fehérje)
Véralvadási faktorok	fibrinogén (fibrinháló kialakítása)

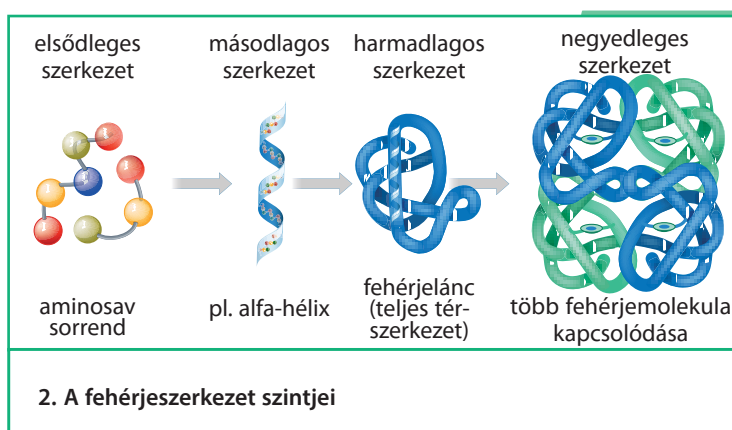
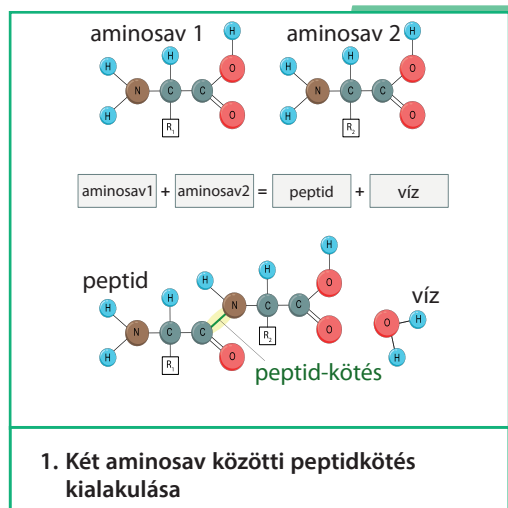
## A fehérjék szerkezete

A fehérjék sokrétű funkciója a szerkezetükkel magyarázható. A fehérjéket (az emberi szervezetben) **húszféle aminosav** (monomer) építi fel. Az aminosav a nevét onnan kapta, hogy tartalmaz két olyan **funkciós csoportot**, ami mindegyik molekulában közös: egy **amino-** ( $-\text{NH}_2$ ) és egy a karbonsavakra jellemző **karboxilcsoportot** ( $-\text{COOH}$ ).

Az aminosavak közötti **peptidkötés** vízkilépéssel jön létre (1. ábra). A kötés során kialakuló  $\text{H-N-C=O}$  molekularész kevésbé engedi meg a kötéstengely menti forgást, valamint lehetőséget ad a polipeptidlánc közeli aminosavaival lazább kapcsolatok, hidrogénhidak kialakítására. Ezek a sajátosságok is hozzájárulnak a fehérjék többszintű, rugalmasan változó, **biológiailag aktív szerkezetének** kialakításához.

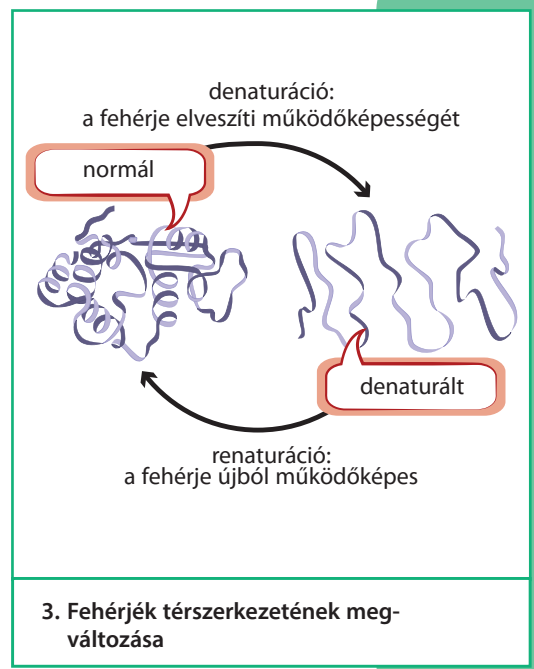
A változatosságot, azaz a biológiai információ felépülését az aminosavak azonos részletéből kiinduló, eltérő szerkezetű molekularészletek, az **oldalláncok** adják. A fehérjéknek tudniuk kell kapcsolódni apoláris, poláris, savas, bázisos, pozitív és negatív töltésű molekulákhoz és ionokhoz, tehát az oldalláncok kö-

Aminosavak csoportosítása	
<b>1. Apoláris oldalláncú</b>	– pl. alanin
<b>2. Poláris oldalláncú</b>	– savas, pl. aszparaginsav
	– semleges, pl. szerin – bázikus, pl. lizin



zött többféle típusnak elő kell fordulnia. A legkisebb természetben előforduló peptid húsz aminosavvegyeségből épül fel, a legnagyobb fehérje kb. 33 ezer aminosavat tartalmaz. A **peptidek** kevés (2–50 közötti), míg a fehérjék (**polipeptidek**) viszonylag sok aminosavból épülnek fel. A peptidek és a **fehérjék** méretükben és molekulatömegükben különböznek egymástól.

Amikor a fehérje elkészül, a molekulán belül kötések alakulnak ki az aminosav-oldalláncok között. Az apoláris oldalláncok apoláris oldalláncokkal, a poláros oldalláncok pedig poláros oldalláncokkal alakítanak ki kapcsolatot, vagy a molekula felszínén foglalnak helyet, és más molekulákkal alakítanak ki kapcsolatot. A fehérje így – a különböző oldalláncok helyzetétől függően – **meghatározott alakba** gombolyodik össze (2. ábra). A fehérje alakja alapvetően meghatározza, hogy milyen más molekulákkal képes kapcsolatba lépni. Különböző hatásokra (magas hőmérséklet, szélsőséges pH, fémionok magas koncentrációja) a fehérje alakja (térszerkezete) megváltozhat, és így elveszti működőképességét, ezt a jelenséget nevezük **denaturációnak** (3. ábra).



### Számold ki!

A fehérjéket felépítő aminosavak úgy működnek, mint a legókockák. Van olyan részük, ami mindegyik kockán megegyezik, de az alakjukban, méretükben eltérhetnek. Tételezzük fel, hogy mind a húsz aminosavnak megfeleltetünk egy-egy legókockát. Mindegyik kockából rendelkezünk száz darabbal.

1. Hány különböző sorrendben kapcsolhat sz egymás után száz legókockát?
2. Hány különböző aminosav-sorrendű, száz aminosavból álló fehérje létezhet?

### Ítéld meg!

Miért fontos a fehérjék funkciója szempontjából az aminosavsorrend nagy fokú kombinálhatósága?

## A fehérjeink felépítésének folyamata

Fehérjéket a környezetünkből **növényi és állati eredetű táplálékokkal** is felveszünk. Egy tojás elfogyasztásakor például a tojásfehérjében lévő fehérjéket megemészítjük, így **aminosavak** keletkeznek belőle. Ezek az aminosavak a bélből a vérbe kerülnek, és eljutnak a test minden sejtjéhez. A sejtek pedig felépítik belőle a számukra szükséges fehérjéket. Aktív sportolóknál a fehérjében gazdag táplálkozás segíti az izomfehérjék hatékony létrehozását, így látványosan nő az izomtömeg (4. ábra).



# Kísérletezz!

## Tápanyagok reakciója réz-szulfát-oldattal lúgos közegben

1.  $1\text{ cm}^3$  desztillált vízhez adj  $5\text{ cm}^3$  nátrium-hidroxid-oldatot és  $5\text{ cm}^3$  réz-szulfát-oldatot!
2.  $1\text{ cm}^3$  1%-os glükózoldathoz adj  $5\text{ cm}^3$  nátrium-hidroxid-oldatot és  $5\text{ cm}^3$  réz-szulfát-oldatot!
3.  $1\text{ cm}^3$  1%-os keményítődoldathoz adj  $5\text{ cm}^3$  nátrium-hidroxid-oldatot és  $5\text{ cm}^3$  réz-szulfát-oldatot!
4.  $1\text{ cm}^3$  1%-os tojásfehérje-oldathoz adj  $5\text{ cm}^3$  nátrium-hidroxid-oldatot és  $5\text{ cm}^3$  réz-szulfát-oldatot!

### Kérdések:

1. Mit tapasztaltál az egyes kémcsövek esetében?
2. Melyik anyag kimutatására alkalmas a reakció?
3. Miért végeztük el a kísérletet desztillált vízzel?

## A fehérjék

Az élő szervezetben sokféle biológiai funkcióval rendelkeznek.

Hús különböző aminosav vehet részt a felépítésükben (az emberi szervezetben):

- az aminosavak peptidkötésekkel kapcsolódnak egymáshoz, és így létrejön a fehérjék elsődleges szerkezete, az aminosavsorrend;
- a peptidkötés egyes atomjai között periodikusan hidrogénhidak alakulnak ki, amelyek a fehérjelánc másodlagos szerkezeti típusát határozzák meg;
- az aminosav oldalláncok közötti kötések és a fehérjeláncnak a környezetében lévő molekulákkal alkotott kölcsönhatásai révén alakul ki a harmadlagos, vagyis teljes térbeli szerkezet.
- az oldallánc és más molekulák között kapcsolat alakul ki.

Az aminosavsorrend meghatározza a fehérjék harmadlagos (tér)szerkezetét, amely gyakorlatilag korlátlanul sokféle lehet, tehát az aminosavsorrend közvetve meghatározza a fehérje funkcióját is.

A saját fehérjeink felépítéséhez más élőlények fehérjeit bontjuk le, és az azokból nyert aminosavakat hasznosítjuk.

# 8. Összefoglalás

## 9.

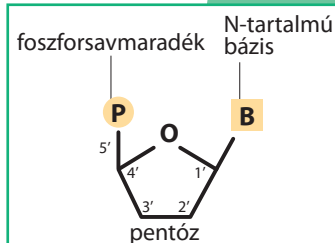
## Nukleotidok és nukleinsavak

1. Hogyan tárolja az információt a DNS?
2. Miért és hogyan kettőződik meg a DNS?
3. Mi az RNS biológiai szerepe?

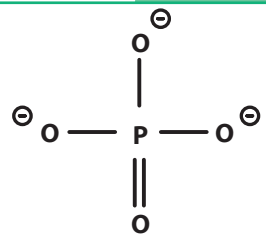
## Nukleotidok

A nukleotidok egy öt szénatomos cukoregységből (pentóz), egy nitrogéntartalmú bázisból és foszfátcsoportból felépülő molekulák (1. és 2. ábra).

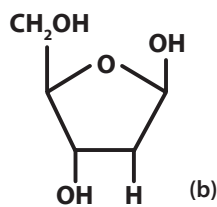
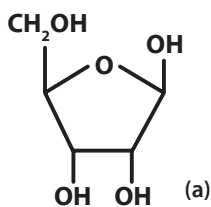
Az öt szénatomos cukor lehet **ribóz** ( $C_5H_{10}O_5$ ) vagy **dezoxiribóz** ( $C_5H_{10}O_4$ ), míg a N-tartalmú bázisok az **adenin** (A), **citozin** (C), **timin** (T), **guanin** (G), **uracil** (U). Ezek közül a timin, az uracil és a citozin **kisebb méretű** vázat (pirimidinváz), míg az adenin és a guanin **nagyobb méretű** vázat (purinváz) tartalmaznak (3–5. ábrák). A bázis elnevezés az alapvegyület (pirimidin és purin) kémhatásának bázikus jellegére utal.



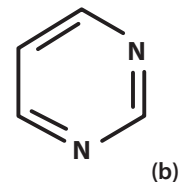
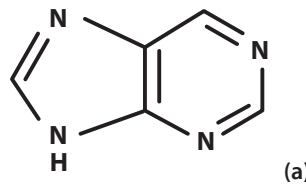
1. Nukleotidok általános szerkezete



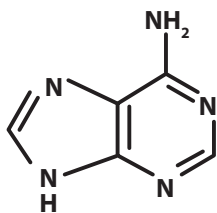
2. Foszfátion



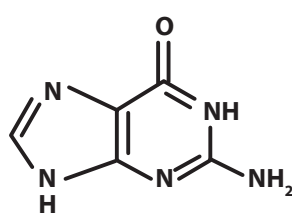
3. Ribóz (a) és dezoxiribóz (b) molekulája



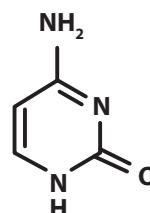
4. Purin (a) és pirimidin (b) molekulája



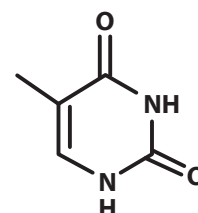
Adenin



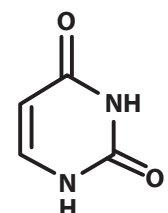
Guanin



Citozin



Timin



Uracil

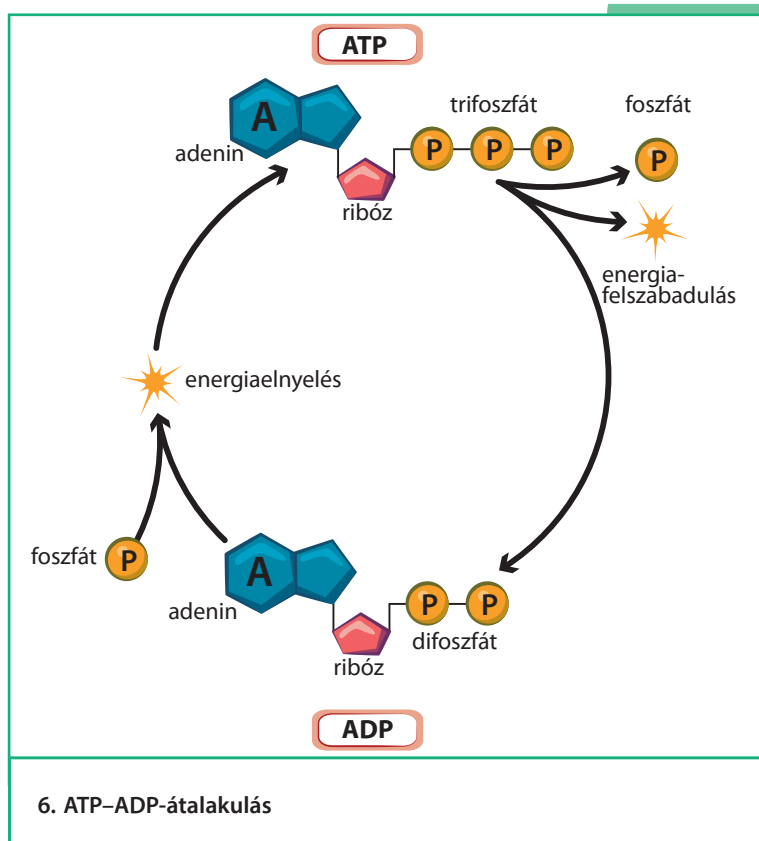
5. A nukleinsavak ötféle bázisa



A nukleotidok a **nukleinsavak** építőkövei, de egyes módosult nukleotidoknak önálló szerepük van, közülük a legfontosabb az **ATP** (adenozin-trifoszfát). Az ATP a sejt **energiatároló** molekulája, de az élővilág közös energiavalutája is. A fotoszintézis folyamatában a fényenergia, illetve a glükóz lebontása során keletkezett energia is az ATP kötéseiben tárolódik kémiai energia formájában, és ezt az energiát használják fel az élőlények a többi életfolyamatukhoz.

Az ATP egyik kötésének **felbontása energiafelszabadító, létrehozása pedig energiaelnyelő** folyamat. Amikor az ATP elbomlik ADP-vé (adenozin-difoszfát), energia szabadul fel. Ez az energia a sejt kémiai folyamataihoz felhasználható. Az ADP ATP-vé alakítása viszont energiaigényes (6. ábra).

Más nukleotidok képesek a **hidrogén szállítására**, pl. a **NAD<sup>+</sup>** (nikotinamid-adenin-dinukleotid) s a **NADP<sup>+</sup>** (nikotinamid-adenin-dinukleotid-foszfát), amelyek a sejtek **lebontó és a felépítő folyamataiban** játszanak fontos szerepet.



6. ATP-ADP-átalakulás

### Sajátítsd el! Reflektálj!

Olvasd el figyelmesen az alábbi szöveget!

Fogalmazd meg öt kérdést ezzel kapcsolatban a társadnak úgy, hogy válaszaiban benne lehessen a tananyagrészt lényege!

## A DNS

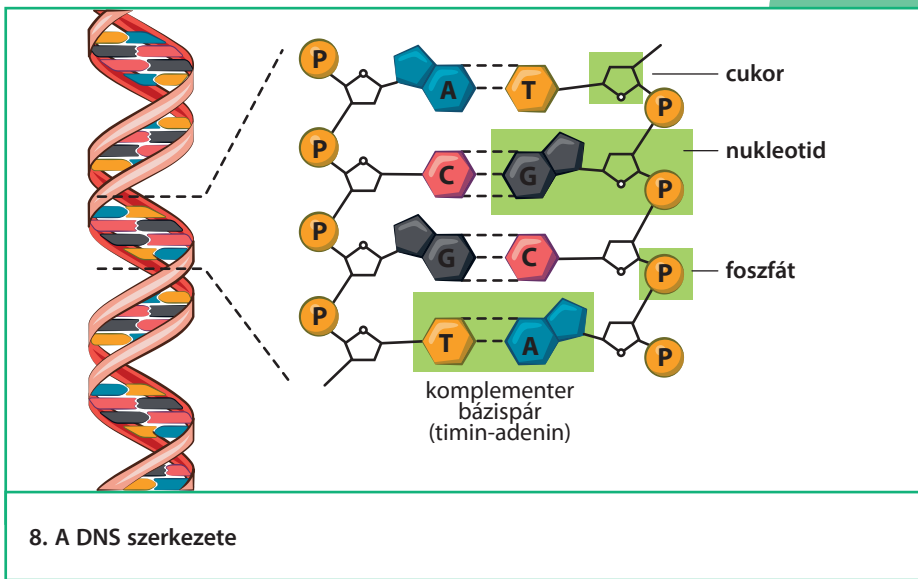
A nukleinsavak két alapvető típusa a **DNS** (dezoxiribonukleinsav) és az **RNS** (ribonukleinsav). A DNS az élőlények örökítőanyaga. Megismerésének története 1869-ig nyúlik vissza, amikor is Friedrich Miescher felfedezte a nukleinsavat, melyet sebesült katonák gennyel átitatott kötéseiből nyert ki. 1953. április 25-e egy rendkívül fontos dátum a molekuláris biológia történetében. Ekkor jelent meg ugyanis a J. D. **Watson** és F. **Crick** által felfedezett DNS kettős spirál modell leírása. A mindössze egyoldalas cikk meghatározója lett az elkövetkezendő idők kutatásainak. Watson és Crick klasszikus dolgozatukat a következő elhíresült mondattal fejezték be: „Nem kerülte el a figyelmünket az, hogy az általunk feltételezett párosítási szabály egy másolási mechanizmust is sugall az örökítőanyag számára” (7. ábra).

Az örökítőanyagnak biztonságban meg kell őriznie az élőlény felépítéséhez és működéséhez szükséges információt, de a szükséges időpontban lehetővé kell tennie az információk előhívását az egyed élete során. A faj szempontjából az örökítőanyagnak tovább kell adódnia az utódokba úgy, hogy lehetőség legyen kisebb változásokra. A DNS-ben a nukleotidok sorrendje alkalmas az információátvitelre. A különféle nukleotidoknak van egy azonos szakaszuk



7. Watson és Crick az általuk készített DNS-moddellel

(cukor-foszfát rész), ami a láncépítésre szolgál, és egy változó szakaszuk, ezek a bázisok. A DNS-bázisok (ATGC) lényegében a genetikai ábécé betűi, melyek sorrendjükben határoznak meg információt és nyernek majd jelentéstartalmat, ahogyan az ábécé esetében a betűk sorrendje jelenti a szavakat. A DNS-szálat egy vele párhuzamosan elhelyezkedő szál kíséri. A két szál egymás körül felcsavarodott (**kettős hélix**, kettős spirál), amiben az egymással szemben lévő bázisok között **hidrogénhidak** találhatóak (8. ábra).



### Sajátítsd el!

A DNS két szálában a nukleotidok nitrogéntartalmú bázisai meghatározott szabályok (Chargaff-szabály) szerint alkotnak szemben álló párokat, azaz adeninnel szemben mindig timin, illetve guaninnal szemben mindig citozin áll. Így egy kis méretű vázzal (pirimindinváz) rendelkező bázis mindig egy nagy méretű vázzal (purinváz) rendelkező bázissal alkot párt, ezért azt mondjuk, hogy a két szál kiegészíti egymást. Ha két olyan DNS-szálat teszünk egy oldatba, amelyek sorrendjükben is egymást kiegészítő (komplementer) bázisokból áll, akkor spontán létrejön a kettős szálú DNS. Ez is egy példa a makromolekulák önszerveződésére.

**Ha a DNS egyik szálát a következő bázisokat tartalmazó nukleotidok alkotják, akkor mi lenne a DNS másik (kiegészítő) szála az előbb megállapított szabályok alapján?**

**A füzetedben dolgozz!**

TGAACAGCGAATTGCCCG (DNS egyik szála)  
 \_\_\_\_\_ (DNS másik szála)

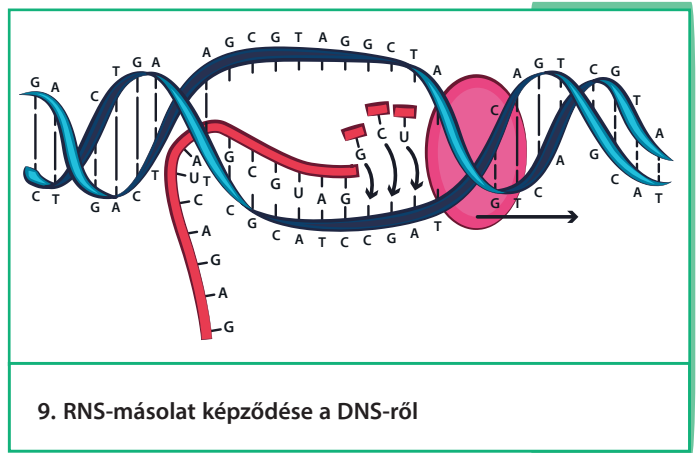
### Fedezd fel!

Az alábbiak közül melyik igaz egy élőlény DNS kettős spiráljára?

- A) Ugyanannyi kis méretű vázzal (pirimindinváz) rendelkező bázis van benne, mint nagy méretű (purinváz).
- B) Az  $A + G = T + C$ .

Mivel a DNS információtartalmának meg kell örököznie az élőlény élete végéig, ezért nem lehet az összes információt kivenni belőle, csak az éppen szükséges részleteket lehet kimásolni. A DNS egy bizonyos szakaszáról ilyen esetben egy **RNS-másolat** készül, ami tükrözi a DNS-ben tárolt információt (9. ábra). Ez az RNS eljuthat a felhasználási helyre, így a DNS információjának egy részét viszi oda, ezért tudományos neve **hírvívő RNS** (messenger RNS, rövidítve mRNS).

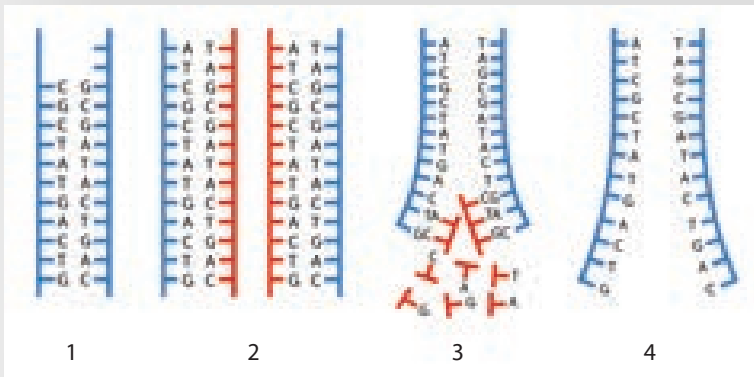
Az élőlények az örökítőanyagukban tárolt információt nemzedékről nemzedékre továbbadják a sejtek osztódása során. Ehhez az örökítőanyagának meg kell kettőződnie, hogy mindkét sejtbe ugyanannyi információ jusson.



9. RNS-másolat képződése a DNS-ről

### Rakd sorrendbe!

Összekeveredett a DNS-megkettőződés (duplikáció) sorrendjét bemutató ábra. Melyik számsorrend mutatná helyesen a folyamat helyes időbeli lezajlását?

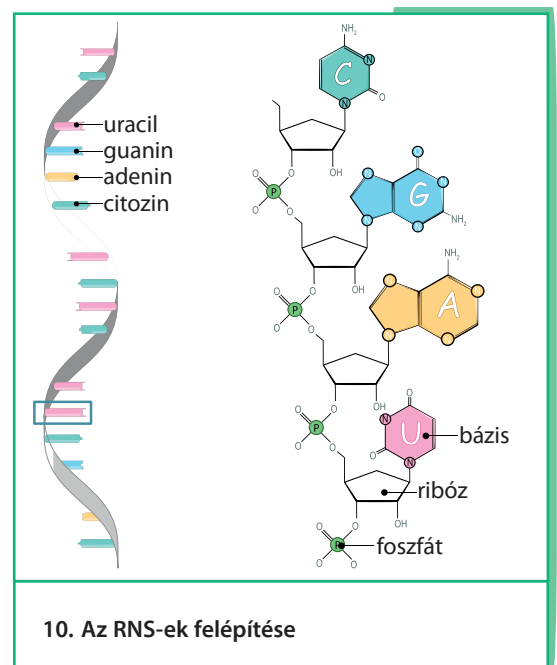


Már tudjuk, hogy a DNS két szála egymás kiegészítője, és ha egy enzim szétválasztja ezt a két szálat, akkor a keletkező egy-egy szál kiegészül egy szintén nukleotidegységekből álló új szállal a bázispárosodás (A-T, G-C) szabályainak megfelelően. Így végeredményben két DNS kettős hélix lesz, amelyek információtartalma megegyezik, mivel az egyszálú DNS bázissorrendje mintául szolgál (templát) az új, kiegészítő szál bázissorrendjéhez (8. ábra).

Az örökítőanyag meg is változhat, ugyanis a másolási folyamat nem tökéletes, időnként hibák csúsznak be. Ez a jelenség az evolúció szempontjából nélkülözhetetlen. A hibás örökítőanyagot hordozó sejtek vagy egyedek többnyire elpusztulnak, de nagyon ritkán olyan, az adott környezetben jobban működő formát hoznak létre, ami életképesebb, így elszaporodik, és egy új faj kialakulásának kezdetét jelentheti.

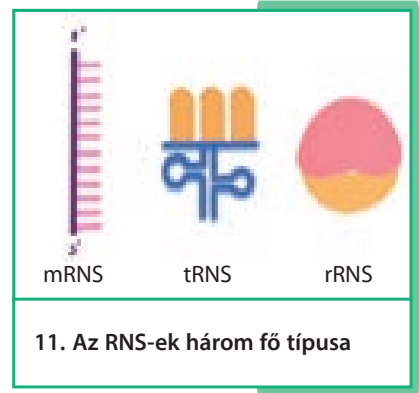
### Az RNS

A nukleinsavak másik csoportját az RNS-ek adják. Mindegyik a DNS-ről képződik másolás során. Általában egyszálú polimerek, de képesek molekulán belül **dupla szálú szakaszok** kialakítására is.



10. Az RNS-ek felépítése

Így változatosabb lehet a **térszerkezetük**, aminek köszönhetően nemcsak információhordozók lehetnek, hanem közreműködhetnek bizonyos életfolyamatok létrejöttében is (ribozimek). Ez a képességük fontos lehetett az **első életformák** megjelenésében is. Kémiai összetételük abban különbözik a DNS-től, hogy bennük a cukor ribóz és timin helyett uracil bázist tartalmaznak (10. ábra). Funkció szempontjából elkülönítjük a DNS-ben tárolt információt továbbadó **mRNS**-t (messenger, azaz hírvívő RNS), az aminosav-szállításért felelős **tRNS**-t (transzfer, azaz szállító RNS) és a riboszóma nevű sejtalkotót felépítő **rRNS**-t (riboszómális RNS). A kutatók ezeken kívül több különböző, a sejtek működéséhez nélkülözhetetlen RNS-típust is felfedeztek (11. ábra).



11. Az RNS-ek három fő típusa

### Vesd össze!

A DNS és az RNS között is megfigyelhetők a bázispárosodás szabályai.

**Az ábra (RNS-másolat képződése a DNS-ről) alapján melyik RNS-bázis melyik DNS-bázissal alkot időszakosan párt?**

**Mi a különbség a DNS-ben lévő bázispárosodással összehasonlítva?**

### Füzetekben dolgozz!

DNS-szál bázisai: ATGC

RNS-szál bázisai:

A DNS kettőspirál másik szálának bázisai:

## Nukleinsavak

**ATP:** Kémiai kötéseiben energiát tároló molekula, amit más kémiai folyamatok tudnak hasznosítani.

**DNS:** Örökítőanyag.

- Információ hosszú idejű tárolása a nukleotidok (bázisok) sorrendjében.
- Rövidebb egységei átmásolhatóak RNS-sé.
- Teljes egészében másolható, mivel a két szál egymás kiegészítője.
- A másolás során ritkán hibák keletkeznek.

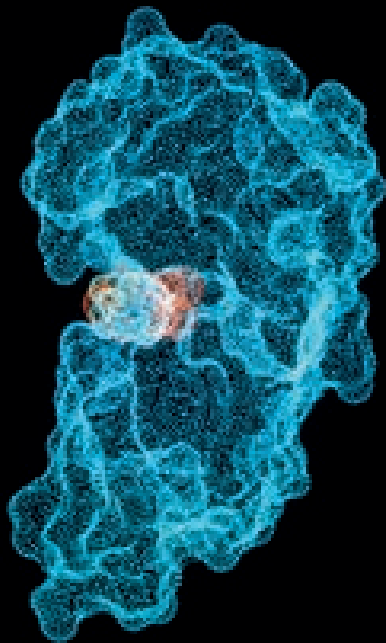
**RNS:** • Rövidebb életidejű másolatai a DNS-nek.

- mRNS (a DNS-ben tárolt információt továbbítják), tRNS, rRNS.

Ezeknek a makromolekuláknak óriási a változatossága, a négyféle monomer kombinatorikus szerveződés folytán szinte végtelen számú variációban hozhat létre molekulákat!

Az élőlényekben található nukleinsavak a monomerjeik sorrendjében hordozzák a fajra jellemző információkat.

A DNS-molekula jel/kód formában hordozza a biológiai információt, ami a fehérjék szerkezetébe íródik át.



# 10. Enzimek és működésük

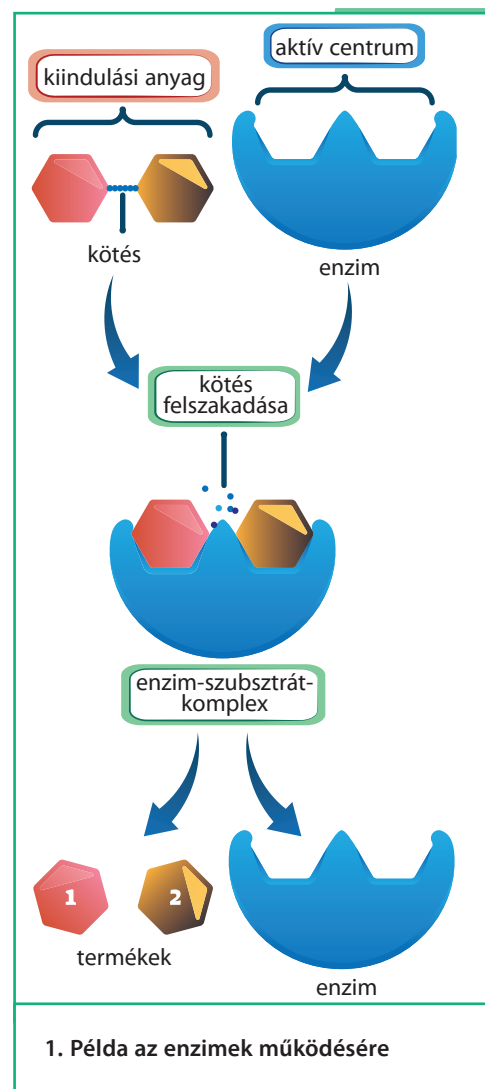
1. Milyen molekulákat nevezünk enzimeknek?
2. Hogyan működnek az enzimek?
3. Miért van szükség a szervezetünk minden sejtjében enzimekre?
4. Mik a feltételei az enzimek működésének?

Mi szükséges ahhoz, hogy két anyag egymással kémiai reakcióba lépjen? Mindenekelőtt találkozniuk, ütközniük kell. Az is szükséges, hogy **aktivált állapotban** legyenek, hogy energiaszintjük egy bizonyos értéket meghaladjon. A kötések átalakulásához, a régi kötések felszakadásához és új kötések kialakulásához megfelelő energiamennyiség (aktiválási energia) kell. Az élő szervezeten kívül az anyagok kémiai átalakulását a hőmérséklet emelésével vagy katalizátor alkalmazásával lehet elérni. Az élő szervezetben a magas hőmérséklet roncsoló hatású lenne, ezért élőlényekben biokatalizátorok, **enzimek** teszik lehetővé, hogy a reakciók viszonylag **alacsony hőmérsékleten nagy sebességgel** menjenek végbe. Az enzimek a reakciók végén változatlan formába alakulnak vissza.

A szervezetünk enzimjei általában fehérjék. Működésükhöz megfelelő körülményeket (hőmérséklet, pH stb.) kell biztosítani. Az enzimek **fajlagosak**, ami azt jelenti, hogy egy adott enzim csak meghatározott anyagokat (szubsztrát) köt meg, és csak meghatározott átalakításokat (kémiai reakciókat) végez el az anyagokkal. Például az májban található alkohol-dehidrogenáz enzim megkötöi és lebontja az alkoholokat, de nem köti meg a szőlőcukrot, és nem épít monomerekből polimereket. Általában elmondhatjuk, hogy szervezetünkben a biokémiai átalakulásokat más-más enzimek végzik.

## Hogyan működnek az enzimek?

Az élő szervezetben működő biokémiai folyamatok enzimek nélkül túl lassan mennének végbe. Az enzimeknek több különböző típusa létezik, mindegyik más típusú reakciót katalizál. A legtöbb enzim a sejtekben dolgozik, de vannak enzimek, amik a sejten kívül, de a szervezetben belül végzik a feladatukat (pl. gyomorüregben, vékonybél üregében).





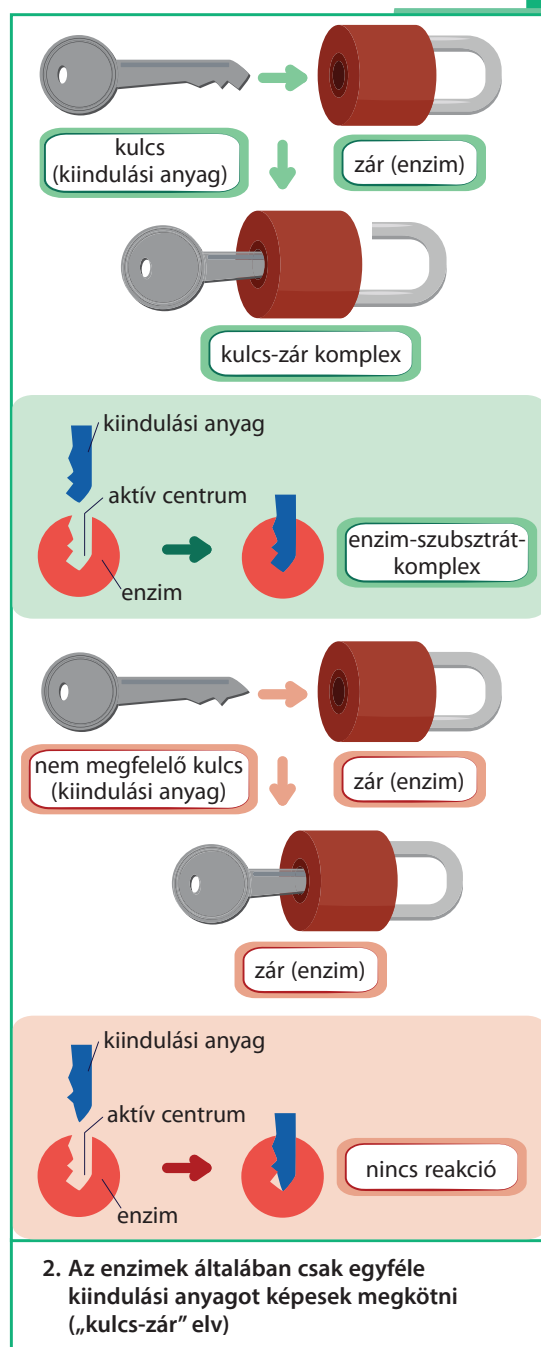
Az enzimek által katalizált reakciók három csoportba oszthatók:

1. **Nagy molekulák kis molekulákká való bontása** (1. ábra)  
Ezek az enzimek a szervezet anyagforgalma miatt fontosak. Képesek a nagy méretű molekulákat lebontani kisebbekre, amiket felveszünk és hasznosítunk. Az emberi tápcsatornában működnek ilyen emésztőenzimek, de a baktériumok is kibocsátanak magukból hasonló enzimeket, amelyekkel a környezetükben lévő nagy molekulákat bontják le.
2. **Nagy molekulák felépítése kis molekulákból**  
A kisebb molekulák (pl. glükóz) összekapcsolhatók nagyobb molekulákká. A sejtekben ezek az enzimek például képesek felgyorsítani a glükóz keményítővé vagy glikogénné alakítását, így energiaraktárakat alakítanak ki. Növényi sejtekben a glükózból történő cellulóz-előállítást képesek felgyorsítani.
3. **Kis molekulák egymásba való átalakítása**  
Sok kémiai reakció csak kisebb változtatást végez, eltávolít vagy hozzáad atomokat vagy funkciócsoportokat a sejtekben található molekulákhoz. Például vannak enzimek, amelyek a hidrogénatomokat távolítják el különböző molekulákról.

**Az enzimek jellemzői:**

1. Általában fehérjék (de kapcsolódhatnak hozzájuk más jellegű molekularészek is).
2. Egy enzim egy, vagy néhány reakciót katalizál.
3. Újra és újra felhasználhatók.
4. Működésüket befolyásolja a hőmérséklet.
5. Működésüket befolyásolja a kémhatás (pH).

Az enzimek általában **fehérjemolekulák**, amelyek több különböző térszerkezetet vehetnek fel. Az energia (ATP) hatására történő **szerkezetváltozás** az **enzimaktivitás** egyik kulcsa. Egy enzim általában csak egyféle reakcióban szerepel katalizátorként. Ez magyarázza, miért van sok különböző enzim: *egy enzim – egy reakció*. Az enzimek által katalizált reakciókban a **kiindulási anyagok** termékekké alakulnak (1. ábra). Megfigyelhető, hogy a kiindulási anyag (szubsztrát) beleillik az enzim egy részébe, a két molekula megközelítőleg a „**kulcs-zár**” elv alapján kapcsolódik. (Azért megközelítőleg, mert nem annyira merev szerkezetekről van szó.) Csak a megfelelő alakú molekulák tudnak az enzimhez kapcsolódni, és csak ebben az esetben képes az enzim a reakciót végrehajtani (2. ábra). Amikor létrejön egy vagy több **termék**, azok elhagyják az enzimet, így lehetőséget adnak arra, hogy új, átalakítandó molekula kapcsolódjon az enzimhez.



# Kísérletezz!

## Enzim kivonása élő sejtekből – a katalizátorszerep bizonyítása

Az oxigénes légzést végző szervezetek sejtjeiben melléktermékként mérgező hidrogén-peroxid jöhet létre. Az evolúció során megjelent ez ellen védő kataláz enzim a hidrogén-peroxidot ártalmatlan vízzé és oxigénné bontja.

### Szükséges anyagok és eszközök:

apróra vágott máj, 3%-os hidrogén-peroxid-oldat, víz, barnakőpor, dörzsmozsár, 25 cm<sup>3</sup>-es mérőhenger, tölcser, szűrőpapír, 7 db kémcső, kémcsőfogó, borseszégő, gyufa, fecskendőpalack (spricflaska), spatula, 2 db Pasteur-pipetta, filctoll

### Kísérlet menete:

1. Az aprított májat dörzsöld el a dörzsmozsárban 20 cm<sup>3</sup> desztillált vízzel!
2. Tölcser és szűrőpapír segítségével szűrd át a dörzsmozsárban lévő folyadékot egy kémcsőbe!
3. Oszd kétfelé a szűrletet! (A–B kémcsövek)
4. Önts 2-2 cm<sup>3</sup> hidrogén-peroxid-oldatot négy kémcsőbe! (1–4 kémcsövek)
5. Adj az 1-es kémcsőhöz néhány cseppet az A kémcső tartalmából!
6. B kémcső tartalmát melegítsd forrássig, majd folyó csapvíz alatt hűtsd vissza szoba-hőmérsékletűre!
7. B kémcsőből adj néhány cseppet a 2-es kémcsőhöz!
8. Egy újabb kémcsőbe tegyél spatulahegyni barnakőport, és önts rá 1 cm<sup>3</sup> desztillált vizet! Rázd össze!
9. A 3-as kémcsőhöz öntsd a barnakőporos kémcső tartalmát!
10. Egy újabb kémcsőbe tegyél spatulahegyni barnakőport, és önts rá 1 cm<sup>3</sup> desztillált vizet! Rázd össze, és hevítsd forrássig, majd folyó csapvízzel hűtsd szoba-hőmérsékletűre!
11. A 4-es kémcsőhöz öntsd hozzá a kiforralt barnakőporos kémcső tartalmát!

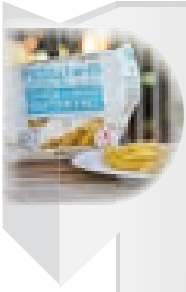
### Figyeld meg!

Melyik esetben tapasztaltál változást a kísérletek során?

1. hidrogén-peroxid-oldat + májból készült szűrlet
2. hidrogén-peroxid-oldat + májból készült kiforralt szűrlet
3. hidrogén-peroxid-oldat + barnakőpor
4. hidrogén-peroxid-oldat + kiforralt barnakőpor

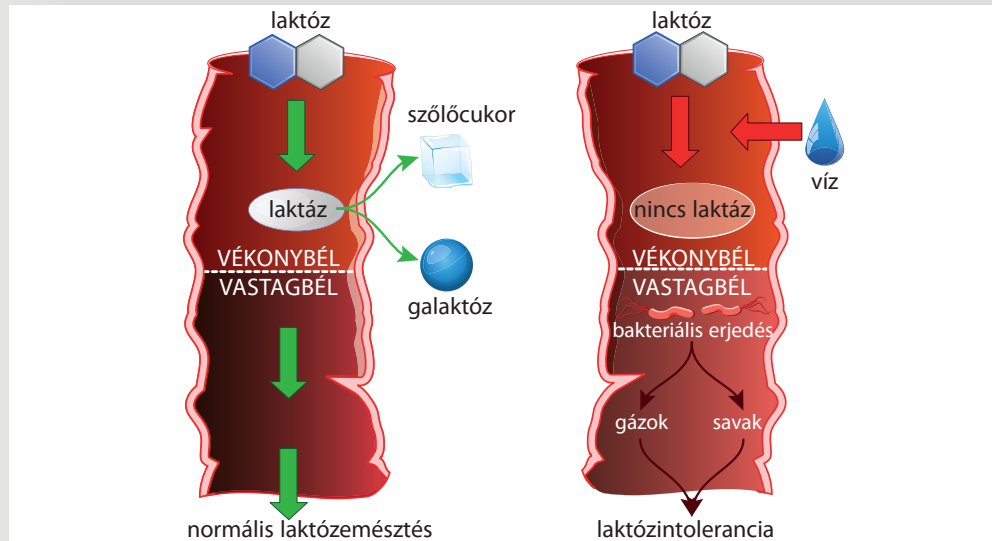
### Magyarázd meg!

- Melyik anyag okozta az 1. és 2. esetben tapasztaltakat? Milyen hatással van a hő erre az anyagra?
- Melyik anyag okozta a 3. és 4. esetben tapasztaltakat? Milyen hatással van a hő erre az anyagra?
- Melyik anyag katalizátor az előző kérdésekben szereplők közül? Melyik enzim?
- Mi a különbség a szerves katalizátorok (barnakőpor) és az enzimek között?



### Rakjuk össze!

Az alábbi feladat egyéni kutatásként vagy csoportmunkában is elvégezhető. Alakítsatok öt csoportot! Mindegyik kutasson egy választott témában! Az eredményeket osztászatok meg egymással!



#### A kutatási témák:

- 1. Alkoholok és enzimek.** Sajnos előfordul, illegális módon, mások életét veszélyeztetve, hogy alkoholos italba metil-alkoholt (metanolt) kevernek, és így adják el. Ennek az emberi szervezetre nézve súlyos, halálos következményei lehetnek. Bizonyos mennyiségű metanol szervezetbe jutásakor segítség lehet egy másik alkohol, az etil-alkohol. Keress rá, hogy enzimműködés szintjén melyik folyamat teszi ezt lehetővé!
- 2. Mérgek és enzimek.** Nézzetek utána, mi a kapcsolat a mérgek és az enzimműködések között, pl. a kígyómérgek vagy a cian (hidrogén-cianid) kapcsán!
- 3. Vitaminok és enzimek.** Nézzetek utána olyan enzimeknek, amelyek vitamint tartalmaznak alkotórészként, és a vitamin nélkül nem működnének!
- 4. Ribozimek.** Hogyan igazolták a kutatások, hogy ezek lehetnek az első enzimek?
- 5. Enzimbetegségek.** Valójában enzimhiányról vagy nem megfelelő enzimműködés következményeként megjelenő betegségekről van szó, ilyen pl. a tejcukor-érzékenység (laktózintolerancia), a fenilketonuria. Az ábra alapján magyarázzátok meg, mi az oka a tejcukor-érzékenységnek, és milyen tünetekkel jár! Nézzetek utána, melyik enzimmel kapcsolatosak a betegségek! Mi a gyógyítás módja?

### Enzimek:

- Biológiai katalizátorok, amelyek lehetővé teszik, hogy a szervezet körülményei között (pl. viszonylag alacsony hőmérsékleten) nagy sebességgel menjenek végbe a biokémiai reakciók.
- A kiindulási anyagok termékekké való átalakulását segítik, eközben pl. kis molekulákból nagy molekulákat építenek, vagy nagy molekulákat bontanak le kicsikké.
- Általában fehérjemolekulák, az átalakítandó anyag molekulájával megközelítőleg a „kulcs-zár” elv alapján kapcsolódnak.
- Az élőlények biokémiai folyamatainak biokatalizátorai az enzimek.

## 10. Összefoglalás

### Az élővilág egységét bizonyító tények:

- Az élőlények elemi összetétele hasonló.
- A víz nélkülözhetetlen minden élőlény életfolyamataihoz.
- Az élőlényeket felépítő anyagokban kulcsszerepe van a szénnek – az ismert életformák szénalapúak.
- Az élővilágban azonos építőegységekből jönnek létre a fajra jellemző makromolekulák.
- ATP az általános energiatároló vegyület (közös energiavaluta).
- Az élőlényeknek folyamatos (fény, kémiai) energiaellátásra van szükségük ahhoz, hogy fenntartsák rendezett (alacsony entrópiájú) felépítésüket.
- Enzimek teszik lehetővé, hogy a biokémiai folyamatok az élő szervezetekben uralkodó körülmények között nagy sebességgel menjenek végbe.
- Minden élőlényben a DNS az örökletes információt tároló és átadó molekula.

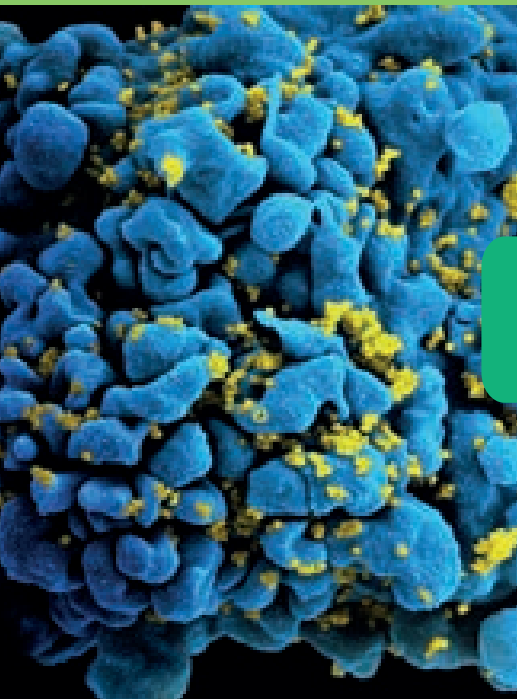
## II. Összefoglalás

# SEJT ÉS GENOM III.



11. Vírusok
12. Baktériumok
13. A DNS-től a tulajdonságokig
14. A sejtciklus
15. A sejt felépítése és működése





# 11.

## Vírusok

1. Hogyan derült ki, hogy vannak a baktériumoknál kisebb méretű kórokozók?
2. A vírusok élők vagy élettelenek?
3. Miért és hogyan okoznak megbetegedést, halált?
4. Hogyan védekezhetünk ellenük?



### Hangolódj rá!

Csak a 20. században több mint 300 millióan haltak meg himlővírusok okozta járványok következtében – ez mintegy háromszor annyi áldozatot jelent, mint amennyit a század összes háborúja okozott.

# Fedezd fel! Tervezz!

## Honnan tudjuk, hogy vannak a baktériumok méreténél kisebb kórokozók?

Az első baktériumokat a holland A. Leeuwenhoek látta az általa készített nagy nagyítású (kb. 200-szoros) lencsével a 17. század második felében. A 19. század híres mikrobiológusa, a francia L. Pasteur megmentett egy kislít, akit a veszttség kórokozója fertőzött meg, de a kórokozót (annak kis mérete miatt) nem láthatta mikroszkópban. Ugyanebben a században a szintén francia Ch. Chamberland mikrobiológus létrehozott egy porcelánszűrőt, amelynek pórusai kisebbek voltak a baktériumok méreténél. 1892-ben D. Ivanovszkij orosz biológus a dohánynövény mozaikbetegségét tanulmányozta, és úgy találta, hogy a levelek lédús kivonata porcelánszűrőn átszűrve is fertőzőképes marad. Ő azt feltételezte, hogy a betegséget a baktériumok által termelt anyagok (toxinok, mérgek) okozhatják. Ezért lett a kórokozók neve virus, ami magyarul mérget jelent. 1898-ban a holland M. Beijerinck megismételte Ivanovszkij kísérleteit (lásd kísérletleírás), és arra a következtetésre jutott, hogy a dohánylevelek kóros elváltozásáért valamilyen addig ismeretlen kórokozó felelős. Képek készítése a vírusokról (1941) azután vált lehetségessé, miután kutatók elkészítették első elektronmikroszkópot (1933). Manapság már különleges mikroszkóp, az ún. krio-elektronmikroszkóp használatával és modern képfeldolgozási módszerek alkalmazásával lehet a vírusokat láthatóvá tenni, 3D-ben rekonstruálni.

**Ítéld meg!**

Sorold fel azokat a tudományos eszközöket, amelyeket a szöveg megemlít, majd egy-egy mondatban fogalmazd meg az eszköz tudományos jelentőségét!

A természetben levéltetvek terjesztik a dohány-mozaikvírust. Mi lehet ennek az oka? Hogyan lehetne ezt bizonyítani?

**Tervezz!**

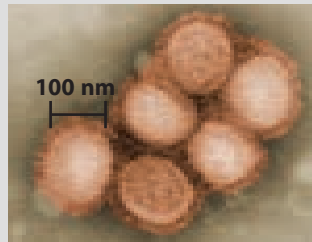
Hogyan tudnád bizonyítani, hogy a vírusok különböznek a mérgektől?

Miért javasolják a dohányosoknak, hogy érdemes kezet mosniuk, mielőtt kerésszékedésbe fognának?

**Számold ki!**

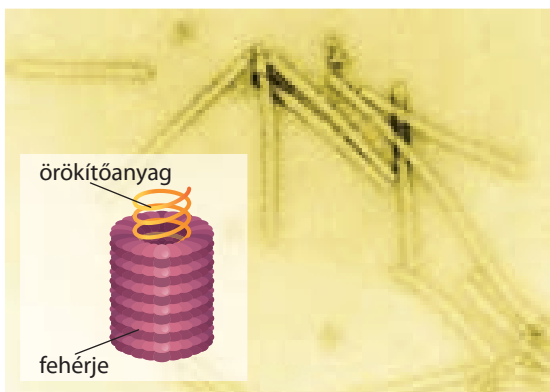
**A füzetedben dolgozz!**

Az influenzavírus mérete kb. 100 nanométer (nm), ami a sejtjeink méretének az 1/1000–1/100 része. Ez azt jelenti, hogy ha a vírus 1 méter lenne, akkor ehhez arányosítva a sejt átmérője ..... méter, a te magasságod ..... km lenne.

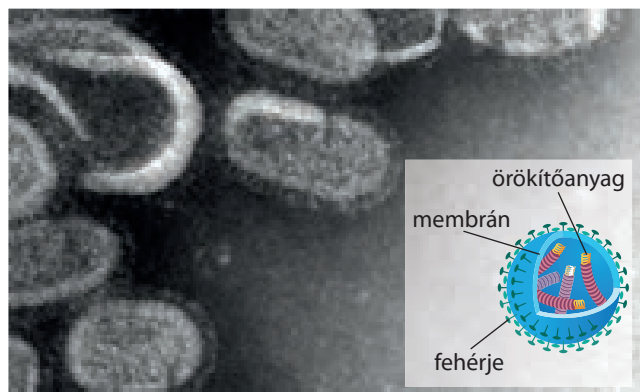
**Sajátítsd el! Kérdezz!**

Fogalmazd meg három-négy kérdést az alábbi szöveg egyes részeivel kapcsolatban! Pármunkában egymásnak is feltehetitek ezeket a kérdéseket!

**Felépítés:** A vírusok a baktériumoknál jóval kisebbek, mindössze néhány száz nanométeresek (kb. tízezred milliméteresek). A legegyszerűbbek **külső (fehérje) burokból** és **örökítőanyagból** állnak (1. ábra). Szerkezetük rendkívül szabályos, több közülük kristályos formában hosszú éveken át változatlan formában fenn tartható. Vannak köztük olyanok is, amelyeket hártya (membrán) vesz körül, de ez a membrán minden esetben a gazdasejtől származik (2. ábra).



1. A dohány-mozaikvírus (DMV) foltokban a dohány levelének sárgulását okozza



2. Az influenzavírusnak számos típusa van. Egyesek súlyos világjárványokért felelősek.

Méretetek: DMV = 18 nm (átmérő), illetve 300 nm (hossza), és az influenza = 100 nm.

## A vírusok jelentősége

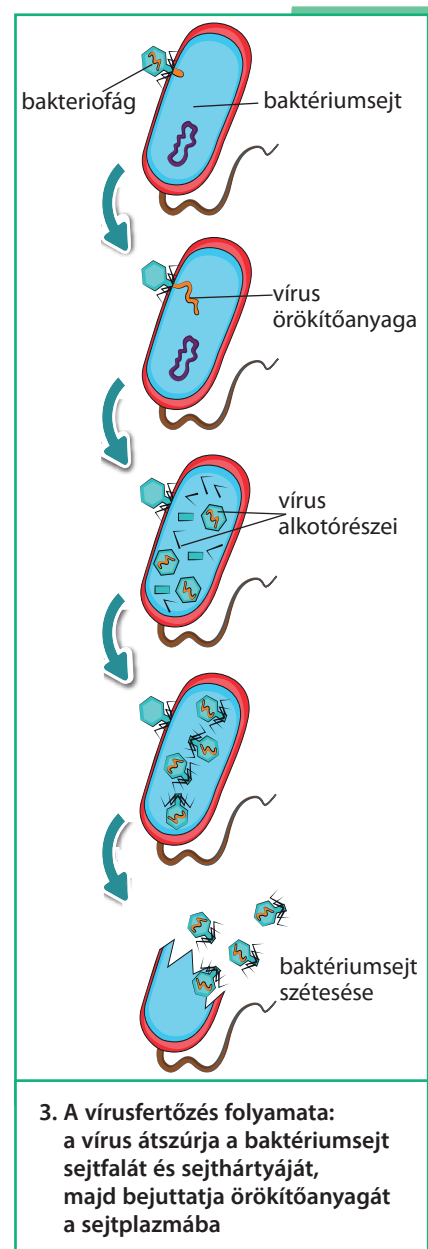
A vírusok baktériumokban, növényekben, állatokban, emberben egyaránt élősíködhetnek. Az emberi betegségek közül vírúsfertőzés okozza többek között az influenzát, a bárányhimlőt, a kanyarót, a veszettséget, a járványos gyermekbénulást, az AIDS-et és a fertőző májgyulladást (hepatitisz).

## Származás, rendszerezés

A vírusok származása, rendszertani helye erősen vitatott. Abban egyetértés van a tudósok között, hogy sejtés szerveződésű élőlényekből alakulhattak ki az evolúció során, tekintettel arra, hogy **kizárólag élő sejtekben képesek sokszorozódni**. A vírusok osztályozása az alak, az örökítőanyag, illetve a gazdasejt típusa szerint (pl. növényi és állati vírusok, bakteriofágok) történik.

## Sokszorozódás

A vírusok **sejtélősíködők**. Saját anyagcseréjük nincs, kizárólag más élő szervezetek sejtjeiben, azok anyagait, sejtalkotóit felhasználva képesek sokszorozódni. Ezért **nem tekintjük élőlényeknek** a vírusokat. A **vírúsfertőzés** menetét a baktériumokat fertőző bakteriofágokon mutatjuk be. A fág átszúrja a baktériumsejt falát és sejtártyáját, majd bejuttatja örökítőanyagát a sejtplazmába. A bejutott örökítőanyag **átprogramozza a fertőzött sejt működését**, és megkezdődik a vírus alkotórészeinek képzése. Végül **a vírusalkotó részek összekapcsolódnak**. A vírusok rendszerint annyira elszaporodnak, hogy a gazdasejt szétesését okozzák. Az elpusztult sejtéből kiszabadult vírusok újabb sejteket fertőznek meg, és a folyamat kezdődik előlről (habár egyes vírusok évtizedekig lappanghatnak). A vírus és a gazdasejt kapcsolata specifikus, csak meghatározott gazdasejte(ke)t fertőzhet meg (3. ábra).



### Ítéld meg!

Miben más egy számítógépvírus, mint egy biológiai szerveződésű vírus?

**Megelőzés.** A vírusok nem élőlények, tehát nem is lehet őket megölni, csak inaktíválni, azaz fertőzési képességüket tudjuk gátolni. Vírusonként eltérő lehet a megelőzés módja. Influenza megelőzésre a rendszeres, alapos **kézmosást**, a fertőzött vagy fertőzésgyanús személyekkel való kontaktus és a zsúfolt helyek kerülését javasolják. Köhögéskor vagy tüsszentéskor az orrot és a száját minden esetben el kell takarni. Aki fertőzött vagy fertőzött lehet, annak **karantén**ba kell vonulnia – ez elkülönítést jelent, valamely járvány terjedésének megakadályozására alkalmazzák.

**Gyógyítás.** Az influenza is vírus által okozott megbetegedés. Esetében tüneti kezelés lehetséges, elsősorban folyadékpótlás, láz- és fájdalomcsillapítás, ágyynyugalom. Más betegséget okozó vírusok esetében a működési mechanizmusukat tekintve széles körűek lehetnek a gyógyítás lehetőségei: blokkolhatják például a vírusok sejtbe való

bejutását, az onnan való kijutásukat, az RNS- vagy DNS-szintézisüket, fehérjéik előállítását. A vírusok okozta megbetegedések kialakulása ellen a jövőre vonatkozóan a molekuláris biológiai, biotechnológiai módszerek kecsegtetnek kiváló eredményekkel.

**Tévképzetek.** Nem a hideg az elsődleges oka az influenza kialakulásának, illetve az influenzát okozó vírus terjedésének. Megfázásról akkor beszélhetünk, ha a hideg miatt összeszűkültek a hajszálereken át nem tudnak kilépni immunrendszerünk sejtjei. Ezáltal a szervezetbe került kórokozókkal szemben nem tudnak védekezni. Ez a rövid időszak elegendő a kórokozók elszaporodásához. Gyakori tévhit az is, hogy az AIDS betegség (ellentétben az influenzával) cseppfertőzéssel terjed. Azt is tudnunk kell, hogy a télen szedett nagyobb mennyiségű vitaminok önmagukban nem védenek a fertőzésektől. Az antibiotikum sem vírusellenes szer, de felírhatja az orvos a bakteriális eredetű felülfertőzések elkerülése vagy kialakulása miatt. A védőoltások nem károsak, nemcsak az oltottak lesznek védettek, hanem azok is, akik nem kaphatnak valamilyen okból oltást. Nem igaz, hogy a koronavírus csak idős embereket fertőz. Bármely életkorú ember megfertőződhet. Idősebb emberek és azok, akik egyébként is valamilyen egészségügyi kockázattal (pl. asztma, cukorbetegség, magas vérnyomás, szívbetegségek, immunégtelenség, daganatos megbetegedés) bírnak, fokozottan veszélyeztetettek.



### Javasolt kiselőadási témák:

Vírusok a történelemben  
A legveszélyesebb vírusok:  
a fekete himlő, az ebola  
és társai

**Érdekes.** Az influenzát okozó vírusok fennmaradásának okai: a vírus széles gazdaköre (több fajban is képes szaporodni), genetikai anyagának változékonysága (mutáció), valamint a humán influenzavírusok és más fajokban szaporodó, influenzát okozó vírusok közötti információk keveredési lehetősége. A vírusok elterjedésének okai: a vírus hordozó fajok szoros együttélése, nagy egyedszám (egyedsűrűség), fogékonyság, optimális klimatikus körülmények egyaránt hozzájárulnak a sikerességhez. Vannak a vírusoknál kisebb, egyszerűbb felépítésű, kisebb, méretű kórokozók is: pl. a **prionok**. Ezek sem élőlények, hanem olyan fehérjemolekulák, amelyek más fehérjék térszerkezetében tudnak károsodásokat előidézni. Prionbetegség volt az ezredforduló idején Nagy-Britanniában pusztító kergemarhakór is.

### Kérdezz!

Mit mond egy szakértő a világjárványok (pl. a COVID-19, koronavírus-betegség) okozta gazdasági és társadalmi következményekről? Keress ezzel kapcsolatos híreket! Te milyen választ adnál erre a kérdésre?

### Válj szakértővé!

A koronavírus (SARS-CoV-2 a vírus neve) terjedése kapcsán felmerült, hogy fertőzések száma exponenciális növekedést fog mutatni. Matematikusok pontosították ezt a kijelentést a vírus terjedését leíró matematikai modell alapján. **Keress a modellt leíró tanulmányokat, és értelmezd az adatokat! Osszátok meg egymással a következtetéseket!**

### Gondolkodj kritikusán!

Az életnek sincs jól körülírt, pontos definíciója, akkor miért kérdés, hogy a vírusok élőlények-e vagy sem? Vitára okot adó tényező az óriásvírusok léte, bennük ugyanis vírusok élőködnek!

Miért vannak a vírusok, ha „csak” a sejt pusztulását okozzák?



### Reagálj!

Olvasd el M. Beijerinck kísérletének lényegét, majd válaszold meg a kérdéseket, és mutasd meg társadnak! Hasonlóan tegyen ő is! Mondjátok el egymásnak a gondolatmeneteket!

- Levet vont ki olyan dohánylevélből, amelyen a mozaikosság tünetei észlelhetők voltak.
- A kapott levet átszűrte porcelán baktériumszűrőn.
- A kapott szűrletet bedörzsölte ép dohánylevelekbe.
- Egy idő után ezeken a leveleken is észlelhető volt a mozaikosság.

**1. Mekkora lehetett a baktériumszűrő mérete? Válaszodat indokold!**

**2. Miért dörzsölte be a kutató az ép levélbe a szűrletet, miért nem lett volna elég, ha csak ráönti az ép levél felszínére?**

**3. Mire utal, hogy mozaikos színelrendezésben látszik a levélfelszín?**

Sok biológus nem gondolja, hogy a vírusok élő szervezetek,

- mert **nem sejtes felépítésűek**. Alapvetően örökítőanyagból (DNS vagy RNS) és azt körülvevő (fehérje)burokból épülnek fel.
- mert **nincs önálló anyagcseréjük és szaporodásuk**. Az alapvető életfunkciókhoz, mint például a szaporodás és az anyagcsere, be kell jutniuk egy élő **gazdasejtbe**. Ennek anyagait, energiáját használják fel arra, hogy újabb vírusok jöjjenek létre, ami a sejt pusztulásához, illetve a gazdaszervezet megbetegedéséhez vezethet. Egyes vírusok beépülhetnek a gazdasejt DNS-ébe, ahonnan akár évek-évtizedek múlva aktiválódva okoznak betegségeket (ilyen pl. a humán papillomavírus, a HPV okozta méhnyakrák). A vírusok megfertőzhetik az élet minden sejtformáját – baktériumokat, ősbaktériumokat és eukariótákat, így az embert is.
- mert a vírusok **sejtparaziták**. Sejten kívül nem mutatnak életjelenségeket, élettelen táptalajon nem tenyészthetők, ellentétben a baktériumokkal.

A vírusok által megfertőzött szervezetben **betegség** alakulhat ki, mert az életfolyamatok a normálistól jelentősen és tartósan eltérhetnek, és ezek jellegzetes tünetekkel járhatnak: pl. influenza esetén magas láz és (ízületi, izom-, torok-) fájdalom.

A vírusok elleni védekezésben fontos tényezők:

- a **megelőzés** (a vírus terjedésének megakadályozása: pl. a higiénias szabályok fokozott betartása, elkülönítés, védőoltások)
- a **gyógyítás** (az orvos által előírt vírusellenes hatóanyagok alkalmazása, illetve tüneti kezelés: pl. lázcsillapítás, folyadékpótlás).

# 11. Összefoglalás





## 12. Baktériumok

1. Mi teszi lehetővé a baktériumok gyors szaporodását, nagymértékű alkalmazkodását?
2. Miért és hogyan töltenek be fontos szerepet a bioszférában, illetve az emberben?

### Hangolódj rá!

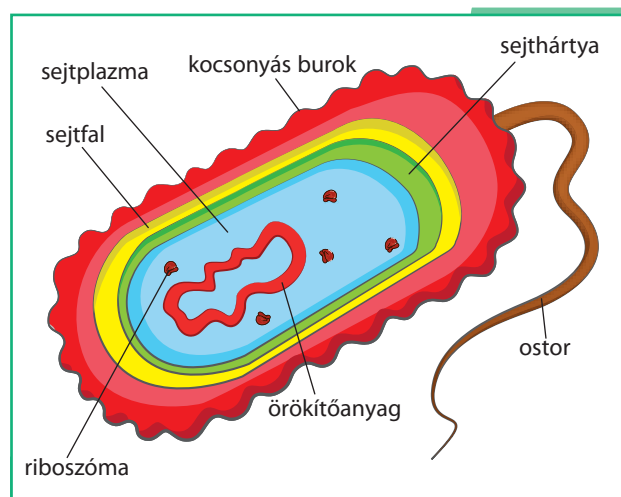
Egy felnőtt emberben közel 39 billió baktériumsejt él, míg az emberi sejtek száma kb. 30 billió. A baktériumok alapvető szerepet töltenek be fejlődésünkben és egészségünkben.

1 m<sup>3</sup> levegőben, egy tanteremben vagy lakásban kb. 100 000 db vírus, illetve 100 000 db baktérium van (kültérben a számuk jóval kevesebb). 1 teáskanálnyi termőföldben 100 millió és 1 billió közötti baktériumot számlálhatnánk meg. Hazánkban az ivóvizet állandóan ellenőrzik mikrobiológiai szempontból is, így ivóvíz eredetű járványok nem fordulhatnak elő. Más országok esetében érdemes szakemberek véleményét kikérni, hivatalos egészségügyi oldalról tájékozódni, hiszen viszonylag sok betegség (pl. kolera, hastífusz, szalmonella) terjed a fertőzött ivóvizeken át.

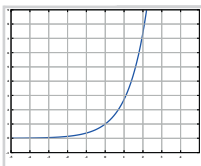
### Sejtfelépítés – rendszerezés

Az élőlényeket sejteik felépítése szerint két nagy csoportra osztjuk. A **prokarióták** (sejtmagnélküliek) sejteiben nincs elkülönült sejtmag (1. ábra), míg az **eukarióta** (valódi sejtmagvas) sejtekben a mag anyagát hártya választja el a sejtplazmától. Prokarióták a baktériumok és a kék-baktériumok, eukarióták a növények, az állatok és a gombák.

A sejtmagnélküliek, más szóval a prokarióták közé tartoznak a mai élővilág legegyszerűbb felépítésű élőlényei. Nevük arra utal, hogy sejteikben nem különül el a sejtmag, örökítőanyaguk a sejtplazmában, az úgynevezett maganyagban található. A sejtmagnélküliek közé tartoznak a **baktériumok**. Ha ezt a szót hallod, elsőként szinte biztosan az jut róluk az eszedbe, hogy betegségeket okozó, az ember számára káros élőlények. Valóban ez az igazság?



1. A baktériumok állandó sejtalkotói a sejtfal, a sejtplazma, a sejthártya, a riboszómák és a maganyag



### Számold ki!

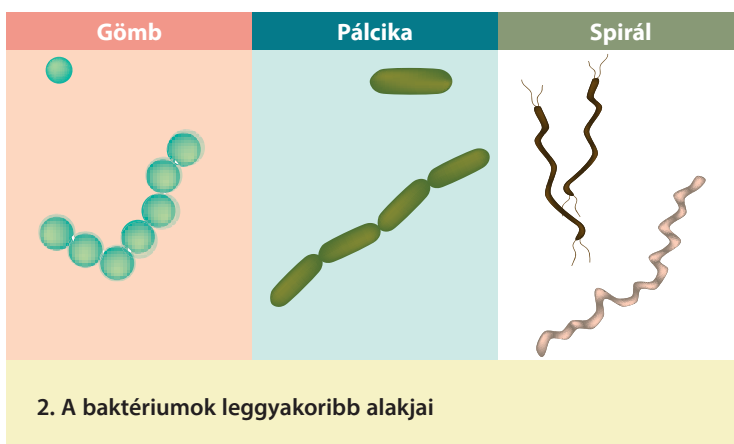
Az *Escherichia coli* nevű baktérium osztódási ideje 20 perc. Tegyük fel, hogy egy iskolában 6 órát tartózkodunk! Ha egyetlen baktériumból indulunk ki, és minden keletkező sejt tovább tud ugyanígy, ugyanennyi idő alatt osztódni, akkor a 6. óra végén hány baktériumsejtünk lesz?

### Felépítés

A sejtagnélküliek sejtjei jóval kisebbek a valódi sejtmagvas sejteknél, rendszerint csak néhány mikrométeresek (1 mikrométer =  $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ). Alakjuk **gömb**, **pálcika** vagy **csavart** (2. ábra). A baktériumsejtek belsejét a **sejt plazma** tölti ki, ebben található az **örökítőanyag** is. A sejt plazmát a **sejthártya** határolja el a külvilágtól. A szilárdabb **sejtfal** kívülről borítja a sejthártyát, szerepe a védelem. Egyes baktériumokban a sejtfalon kívül nyálkás burok, úgynevezett **tok** is körülvéshi a sejtet, ami fokozottabb védelmet nyújt, például az immunsejtek ellen.

A baktériumsejteknek mozgásszervecskéjük, csillójuk vagy **ostoruk** lehet (1. ábra). A fotoszintézisre képes baktériumok sejtjei különböző színanyagokat tartalmaznak, rendszerint a sejthártyájukban, mert szintestjeik nincsenek. A baktériumok kedvező körülmények között rendkívül gyorsan, egyszerű **kettéosztódással szaporodnak**. Ha az életfeltételek kedvezőtlené válnak, sejtjeik köré vastag burkot növesztenek, anyagcseréjük lecsökken. Ezt az állapotot nevezük **baktériumspórának**, ebben a formában akár több évig is megőrizhetik életképességüket.

A baktériumok örökítőanyaga a nagy **kör alakú** (zárt láncú) **DNS**, amely diffúz módon szabadon helyezkedik el a sejt plazmában. Számos prokarióta kis méretű, kör alakú **DNS-molekulákat**, **plazmidokat** is hordoz, amelyek alkalmazkodási előnyöket (pl. ellenállóságot egy vagy több antibiotikummal szemben) nyújthatnak egy adott környezetben, és ivaros szaporodásukat segíti. Ezek a plazmidok fontos szerepet játszanak a géntechnológiában.



### Magyarázd el!

A tankönyvi szöveg és saját tájékozódásod alapján tarts kiselőadást, érvelj a baktériumok hasznossága mellett!

### Alkoss!

A betegségek, tünetek, fertőzés módja kapcsán készítsetek minél több csoportosítást! A bemutatáshoz készítsetek plakátot vagy számítógépes előadást!

### Tervezz!

Tegyük fel, hogy egy egészségügyi szervezet tagjai vagytok. Egy világjárvány (pandémia) idején a ti feladatotok a kormány számára javaslatokat tenni. Tervezzétek meg, hogyan lehetne megelőzni a fertőzések terjedését! Milyen javaslatokat tennétek az ország vezetésének, milyen rendeleteket alkossanak?

## Anyagcsere

A baktériumok többsége **heterotróf** anyagcseréjű. Nagyon sok a **lebontó** (szaprofita) szervezet közöttük. Ilyenek például az anyagok körforgásában fontos korhadékbontó **talajbaktériumok**, amelyek a légköri oxigén felhasználásával lebontják a talajba került szerves maradványokat. Anyagcseréjük révén gazdagítják a talajt ásványi sókban, a légkörbe pedig szén-dioxidot juttatnak. Heterotrófok az élő szervezetekben megtelepedő, azok anyagaival táplálkozó **élősködő** (parazita) baktériumok is. Minden bizonnyal ezek a legismertebbek, hiszen sok **emberi kórokozó** tartozik közéjük. Baktériumfertőzés következménye többek között a vérhas, a vérmérgezés, az orbánc, a pestis, a kolera stb.

A pillangós virágú növényekkel (bab, borsó, lucerna, lóhere) együtt élő (szimbionta) **nitrogénygyűjtő baktériumok** különleges anyagcseréjüknek köszönhetően felhasználhatóvá teszik a légköri nitrogént a társnövény számára, amely ugyanakkor szerves tápanyagokkal látja el a baktériumokat (3. ábra). **Szimbiózis** a közösleges bélbaktériumok és az ember kapcsolata is. Az ember vastagbélében élő, a béltartalomtól szerves tápanyagokat nyerő baktériumsejtek létfontosságú vitaminokat termelnek, amelyek felszívódnak keringési rendszerünkbe, és eljutnak sejtjeinkhez.

A baktériumok között vannak **autotrófok** is. A fotoszintetizálók színanyagaik segítségével a napfény energiáját hasznosítják a szerves anyagok előállításához, majd azok lebontásából nyernek energiát életműködésükhez. Legjelentősebbek közöttük a **cianobaktériumok**, amelyek **fotoszintézise** a magasabb rendű növényekéhez hasonlóan **oxigént** termel. Az autotróf anyagcseréjű baktériumok fontos termelőszervezetek, kedvező feltételek mellett gyorsan szaporodnak, így bőséges táplálékforrást jelentenek életközösségük kis méretű fogyasztó szervezeteinek, például a papucsállatkáknak és az amőbáknak. Ugyanakkor fontos megemlíteni, hogy a cianobaktériumoknak negatív hatásuk is lehet az élővilágra (4. ábra). Képesek kedvező körülmények között hirtelen elszaporodni (vízvirágzás), és így nagy mennyiségű toxint juttathatnak a vizekbe, károsítva ezzel a vízterek élővilágát.

A fotoszintézis mellett az autotróf anyagcserének egy különleges módja is megfigyelhető a baktériumok körében. A **kemoszintézis** során a baktériumsejtek egyes kémiai átalakulások energiáját hasznosítják szerves anyagaik egyszerű alkotórészekből történő előállításához. Kemoszintetizáló szervezetek például a talajban élő **nitrifikáló baktériumok**, amelyek a talajban levő nitrogénvegyületeket alakítják át. Az ammóniumionokat ( $\text{NH}_4^+$ ) nitrítékké ( $\text{NO}_2^-$ ), illetve nitrátokká ( $\text{NO}_3^-$ ) oxidálják. Ezeknek a kémiai reakcióknak az energiáját hasznosítva szén-dioxidból és vízből szerves anyagokat állítanak elő. A nitrifikáló baktériumok tehát **autotróf** és **kemotróf** szervezetek.

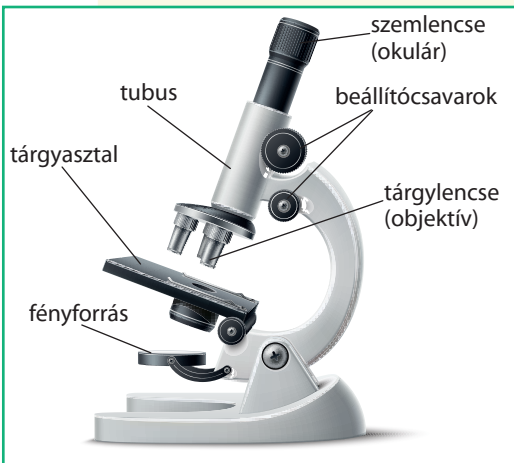
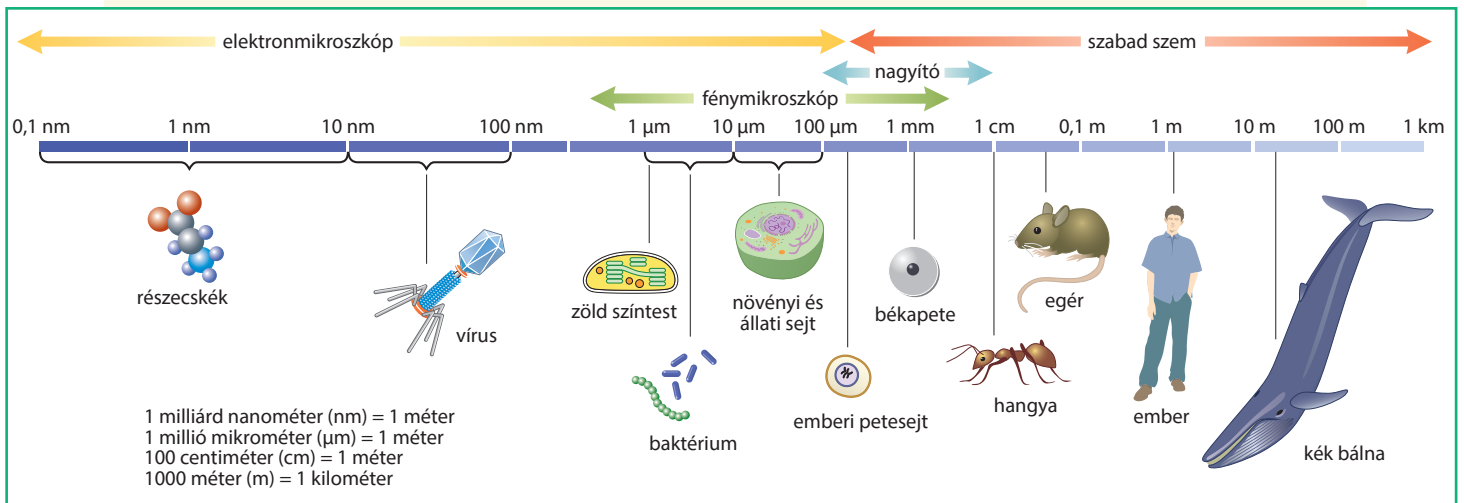


3. Gyökérgümők a pillangós virágú növények gyökerén



4. Nagy tömegben elszaporodott cianobaktériumok

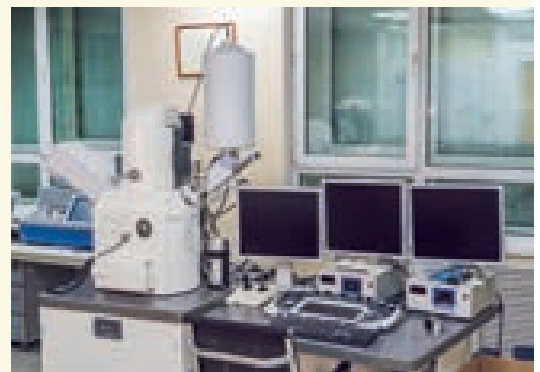
## Kicsit nézel – nagyot láatsz!



A mikrobiológiai, sejt- és szövettani vizsgálatok nélkülözhetetlen eszköze a mikroszkóp, melynek első formája a fénymikroszkóp volt. Nevét két görög eredetű szóból kapta: *mikrosz* = kicsi, *szkopeo* = nézek. Összetett nagyítókészülék, melyhez általában két nagyítólencsét használunk. Az egyik nagyítólencse (objektív = tárgylencse) egy fényrel átvilágított üveglemez fölött helyezkedik el. Ez a lencse igen domború, így az üveglemezen elhelyezett tárgy nagyított (pl. 40×) képe csak 15-20 cm távolságra vetődik ki. Ezt a képet felülről egy másik lencse, az ún. szemlencse (okulár) tovább nagyítja (pl. 10×). A teljes nagyítás így 400-szoros, vagyis a tárgylencse és a szemlencse nagyításának szorzata. A lencserendszer mellett több kiegészítő eleme is van a fénymikroszkópnak, ezek: tubus, állványzat, beállítócsavarok, fényforrás.

A biológiai fénymikroszkóp az emberi szem által látható legkisebb méretet, a felbontóképességet (kb. 0,2 mm) kb. az 1000-szeresére növeli. Így a fénymikroszkópban még láthatjuk a papucsállatkákat, a baktériumokat, de nem láthatjuk a vírusokat. A vírusok nanométeres ( $10^{-9}$  m) nagyságrendűek, így ezek láthatóvá tételéhez sokkal nagyobb nagyítás kell, amelyet ún. elektronmikroszkóppal lehet elérni. Ezekben nem fénysugarakat, hanem elektronsugarakat, és nem optikai, hanem mágneses „lencsét” használnak fel képképzésre, így a felbontóképességük általában 0,5 nm, de sikerült elérni a 0,1 nm felbontást is.

Az elektronmikroszkóp alapvetően változtatta meg a sejtek felépítéséről és működéséről alkotott tudásunkat is, ennek alapján különböztetjük meg a fénymikroszkópos (pl. sejtthártya, sejtmag) és az elektronmikroszkópos (pl. sejtmagpórus, riboszóma) sejtalkotókat. Az elektronmikroszkópban élő minták nem vizsgálhatók, csak különlegesen előkészített preparátumok.



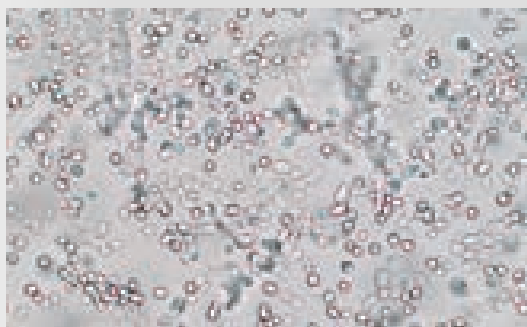
### Nézz utána!

A fény és az elektronsugár átbocsátásával működő fénymikroszkóp és elektronmikroszkóp jellemzően síkbeli képet ad a metszetekről. A térbeli viszonyok érzékelése is fontos lehet a biológiai vizsgálatokban. Erre a tárgyra eső, majd arról visszaverődő sugarak leképezése ad lehetőséget. Így működnek a sztereo-fénymikroszkópok, valamint a szkennning (scanning) elektronmikroszkópok.

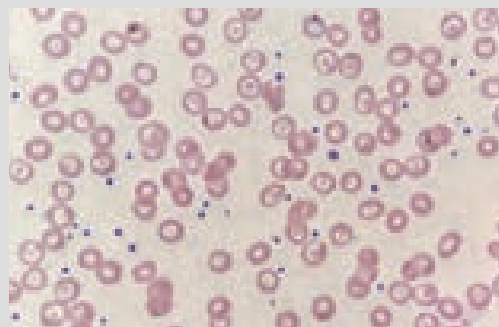
1. Nézz utána, hogy milyen mérettartományú dolgokat lehet vizsgálni sztereo-fénymikroszkóppal!
2. Keress szkennning elektronmikroszkópos képeket az interneten! Fogalmazd meg tapasztalataidat a képek által nyújtott élményről!

### Próbálkozz!

Az alábbi képeken látható nagyítást próbáld meg beállítani fénymikroszkóppal! Ezután nézd meg a nagyításhoz használt okuláron és objektíven látható feliratokat. Magyarázd meg a látottakat!



Élesztő sejtek



Humán vér

# Fedezd fel!

- Sok angol nyelvű internetes oldalt találsz (pl. UNIVERSCALE, Cell SIZE and Scale), ahol egyre nagyobb nagyításban, felbontásban nézhetsz meg szabad szemmel egy-egy élőlényről, anyagról készült képet azáltal, hogy változtatod a méretskálát! Próbáld ki!
- A méretskála alapján állíts fel egy hipotézist az élőlények mérete és valamilyen más tulajdonsága (pl. alakja) közötti kapcsolatra, összefüggésre vonatkozóan! Hiteles források alapján igazold feltételezésedet!

### Meséld el!

- Mi lenne a következménye annak, ha az emberi szem felbontóképessége az ezerszeresére nőne? Végezzetek gyűjtőmunkát, készítsetek egy kisfilmet, vagy írjatok egy rövid történetet!



## A prokarióták jelentősége

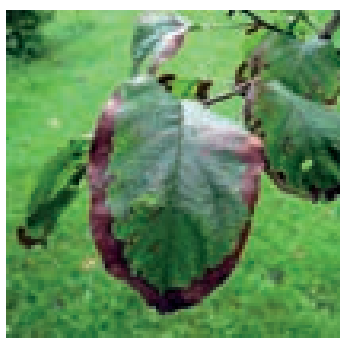
A baktériumok ipari, mezőgazdasági, ökológiai és egészségügyi szempontból egyaránt jelentősek. Az élelmiszeriparban felhasználják például a **tejsavbaktériumokat** a tej és tejtermékek savanyítására, a joghurt, tejföl, sajt előállítására (5. ábra).

A gyógyszeripar számára nagyon fontosak azok a baktériumok, amelyek más prokarióta szervezetek anyagcseréjét vagy osztódását gátló vegyületeket, úgynevezett **antibiotikumokat** termelnek. A természetes eredetű antibiotikumok és származékaik nagyon eredményesen alkalmazhatók a baktériumok okozta betegségek gyógyításában.

A mezőgazdaságban elsősorban a **növényi és állati kórokozók** jelentenek problémát. Baktériumfertőzés következménye például a gyümölcsfák hajtásának gyors elszáradásával járó, ún. tűzhalásos megbetegedés (6. ábra). Az állati kórokozók közül emberre is veszélyt jelent többek között a szarvasmarhákban élősködő, tüdőbajt okozó baktérium (7. ábra).



5. Joghurt nagyüzemi előállítása tejsavbaktériumokkal



6. Tűzhalásos fertőzés almafa levelén



7. Tuberkulózisbaktérium (tbc)

Betegség neve	Tünetek	Fertőzés módja
Lyme-kór	Vörös bőrpír a csípés helye körül. Fáradékonyság, ízületi gyulladás, végtagfájdalom.	A baktérium a kullancs élősködője, így annak a csípésével terjedhet. Hazánkban a kullancsok jelentős része fertőzött.
Kolera	Erős hasmenés, hányás, kiszáradás. A tüneteket a baktérium toxinja okozza.	Cseppfertőzés, szennyezett ivóvíz és élelmiszer.
Tífusz (hastífusz)	Magas láz, erős hasi fájdalmak, nyirokcsomók duzzadása, tudatvesztés.	Cseppfertőzés, ivóvíz, élelmiszerek.
Tuberkulózis (tüdőbaj, gümőkór, tbc)	Étvágytalanság, fogyás, visszatérő láz, görcsös köhögés, gyulladós góccok a tüdőben, a vesében, a csontokban.	Cseppfertőzés.
Tetanusz	Görcsös izom-összehúzódás. A tüneteket a baktérium toxinja okozza.	Szennyeződéssel, seben keresztül. A baktérium oxigén hiányában, levegőtől elzárt sebben szaporodik csak.
Diftéria (torokgyík)	A torokban, a garatban, a gégen, az orrüregben szürkés színű lepedék alakul ki, ami akadályozza a légzést. Láz. A baktérium toxinja okozza a tüneteket.	Cseppfertőzés.
Szamárköhögés (pertussis)	A légutak nyálkahártyájának gyulladása, láz, görcsös, fuldokló köhögés.	Cseppfertőzés.

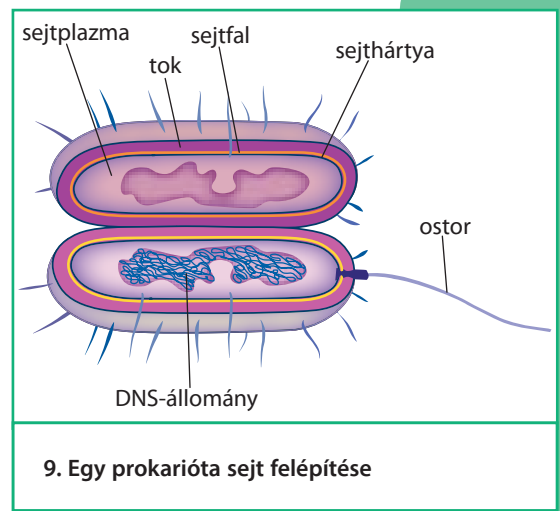
8. Gyakori bakteriális megbetegedések legfontosabb jellemzői

## Fedezd fel! Értékelj!

1. Nézzetek meg mikroszkópban előre elkészített baktériumkeneteket! Hányszoros nagyítást alkalmaztatok?
2. Keress az interneten olyan kutatásokat, amelyeknek célja különböző használati tárgyak bakteriális fertőzőtségének vizsgálata volt! Vajon melyik tárgyon van több baktériumfaj, a számítógép billentyűzetén, a készpénzen, az ajtókilincsen vagy a mobiltelefon képernyőjén?
3. Egy erre alkalmas közeli laboratóriumban vagy az iskolai eszközök segítségével végezzetek vizsgálatot! Mosatlan és szappannal alaposan megmosott kézzől vetessetek mintákat, és néhány napos tenyésztés után értékeljétek a kitenyésztés eredményét!

## A prokarióta és az eukarióta sejtek összehasonlítása

Ahogy azt korábban már tanultuk, a prokarióta sejtekben nincsenek membránnal határolt sejtalkotók, sejtplazmájuk nem tagolódik terekre, örökítőanyaguk a sejtplazmában található (9. ábra). A sejtműködésre vonatkozó információkat egy gyűrű alakú DNS-molekula tárolja. A fehérjeszintézis a riboszómák felületén történik. Egyetlen membránjuk, a sejthártya felületét betűrődések nagyobbítják. Sejthártyájuk enzimszereket tartalmaz, a kékbaktériumokban itt található például a fotoszintézisben szerepet játszó fehérjék. Sejtfaluk kémiai összetétele különbözik az eukariótákétól (9. ábra).



Jellemző	Prokarióta sejt	Eukarióta sejt
sejtmag	nincs	van
membránnal határolt sejtalkotók	nincsenek	vannak
sejthártya	van	van
riboszómák	vannak	vannak
DNS-állomány	gyűrű alakú DNS-molekula	több, fonál alakú DNS-molekula, amelyekhez szerkezeti fehérjék kapcsolódnak

### 10. A prokarióta és az eukarióta sejtek összehasonlítása



### Alkoss!

A pestis és a kép összekapcsolása révén írd meg egy korabeli hírt, amelyben cáfolatot fogalmazol meg a képpel kapcsolatban!

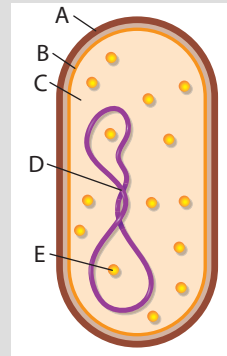
# Fedezd fel!

Az evolúció során a sejtek mérete növekedett. Mit gondolsz, ez a növekedés milyen problémákat vet fel a térfogathoz viszonyított felületre vonatkozóan? Hogyan oldódott meg az evolúció során ez a probléma? Miért mondhatjuk, hogy szinte minden sejtünkben van „baktérium”?

## Idézd fel!

Dönts el, hogy melyik nagybetűvel jelölt ábrarészletre vonatkozik a sorozámozott megállapítás!

1. A penicillin nevű antibiotikum ennek a sejtalkotónak a felépülését gátolja, és így megszűnik a baktérium ellenállása az alapállomány belső nyomásával szemben, a sejtek osztódás után elpusztulnak.
2. Kb. 80%-a víz, itt állítódnak elő a baktérium fehérjéi.
3. A baktériumsejt örökítőanyaga.
4. ATP-t előállító és az anyagokat áteresztő, válogató fehérjék rögzülnek benne.



Számos prokarióta kis méretű, kör alakú DNS-molekulákat, úgynevezett **plazmidokat** is hordoz, amelyek különböznek a nagy kör alakú DNS-től, és alkalmazkodási előnyöket (pl. ellenállóságot egy vagy több antibiotikummal szemben) nyújthatnak egy adott környezetben. Az **endoszimbionta** elmélet szerint ősi eukarióta sejtalkotó baktériumokat kebeleztek be, de nem emésztették meg ezeket, így alakult ki néhány eukariótasejt-alkotó, mint például a mitokondrium és a zöld színtest.

## Ítéld meg!

A baktériumok örökítőanyagát nem veszi körül sejtmaghártya. Vajon mi lehet ennek az evolúciós oka? Szabad-e használni azt a kifejezést, hogy az eukarióta sejt fejlettebb, mint a prokarióta?

## Gondolkozz!

Egyes elméletek szerint a sejtmaghártya hiánya is előny lehet, mert könnyebben jut plusz és cserélhető genetikai információhoz (plazmidoktól) a baktérium. Más szempontból viszont hátrány, például egyes vírusok genetikai anyaga könnyebben be tud épülni a baktérium DNS-ébe, hiszen az „védtelen”. Mivel támasztanád alá a fenti kijelentéseket?

## Sajátítsd el!

Házi feladat keretében, de az online térben oldjátok meg közösen a feladatokat! Kísérjétek figyelemmel, kövessétek egymás tevékenységét! Osszátok meg egymással a megoldásokhoz talált hiteles forrásokat!

## Sajátítsd el!

A táblázat két oszlopa betegségeket, illetve ezek ismertetőjegyeit tartalmazza. A jobb oldali oszlopban azonban összekeveredtek az egyes betegségek, nem felelnek meg a bal oldali meghatározásoknak.

**Feladatod, hogy a füzetedben párosítsd a számokat a megfelelő betűkkel!**

1. A himlők közül ez a legkevésbé ártalmas. Azonban ha rózsahimlőn át nem esett terhes nőt fertőz meg a vírus – főként az első három hónapban –, a magzati szervek kialakulását károsítja.	A. kullancs által terjesztett agyhártyagyulladás
2. A betegséget okozó mikroszervezetek fertőzött hús- és tojáskezelési folyamatokkal jutnak be leggyakrabban az emésztőrendszerünkbe, ahol 6–12 óra alatt elszaporodnak, ételmérgezési tüneteket okoznak.	B. rubeola
3. A nyirokcsomók nagybodása, hasmenés, fogyás, lázroham, az immunrendszer leépülése jellemezheti.	C. kanyaró
4. Gümőkór néven is ismert rettegett betegség, a kórokozó a tüdőt támadja meg, Magyarországon régóta szűrik.	D. tetanusz
5. A kullancs csípése után néhány nappal egy piros, körkörös, gyűrű alakú folt jelenhet meg a bőrön, ami aztán magától elmúlik. A betegséget nem könnyű megállapítani, de kezelni kell, mert ha krónikussá válik, ízületi gyulladást (akár részleges mozgásképtelenséget is), idegrendszeri panaszokat, memóriazavart, szívizomgyulladást stb. okozhat.	E. herpesz
6. Visszatérő láz, tarkómerevség, fejfájás, hányás jellemezheti, kullancs terjeszti leginkább.	F. tbc
7. Sajnos még mindig szedi áldozatait, főleg az idősebb korosztályból, akik rég kaptak az utolsó védőoltást (vagy egyáltalán nem kaptak), és félvállról veszik a földdel szennyezett sérüléseket. Mély szúrt sebbel jut általában a kórokozó az emberbe, toxint termel, melynek hatására fokozódik az ember görcskészsége.	G. hepatitisz
8. A szervezet legyengülésekor jelentkezik elsőként kiütés formájában, leggyakrabban az ajkakon. Majd nem minden ember hordozója a kórokozónak.	H. AIDS
9. Rendkívül fertőző gyermekkori megbetegedés, melyet testszerte megjelenő kiütések jellemeznek. A betegség enyhe lefolyású, a szövődményei veszélyesek.	I. veszettség
10. A kórokozó a harapott vagy karmolt, sérült bőrön és nyálkahártyán, illetve az így szabaddá váló idegvégeken jut az emberi szervezetbe, és a központi idegrendszer megbetegedését okozhatja. A háziállatok elsősorban beteg állatokkal történő marakodás révén fertőződnek.	J. influenza
11. Legtöbbször cseppfertőzéssel jut a légutakba, ahol szaporodni kezd a kórokozó vírus. Lappangási ideje 1-2 nap, majd hirtelen magas láz jelentkezik. Ezt kísérik az általános tünetek: az elesettség, a végtagok gyengesége, gyakran fejfájás és izomfájdalmak, torokfájás és száraz köhögés.	K. szalmonella
12. A vírus típusától (A, B, C) függően különböző lefolyású betegség. A vírust a beteg a székletével üríti, és többnyire a piszkos kezével terjeszti, a páciens pedig benyalja. Ezért fontos étkezés előtti kézmosásra nevelni a gyermekeket! A máj funkciózavarával alakul ki a jellegzetes klinikai kép, pl. sárgaság.	L. Lyme-kór

**A baktériumok sejtes szerveződésű, viszonylag egyszerű felépítésű, ezért is gyors szaporodású élőlények. Sokféle anyagcsereutat bejárnak, ezért szinte mindenhol előfordulnak.**

**Emberben egészségügyi szempontból lehetnek kórokozó (torokgyík, számarköhögés, merevgörccs, fogszuvasodást, illetve gyulladást okozó baktériumok) és az ember számára hasznos baktériumok (pl. bél- és bőrflóra).**

**Az élelmiszeriparban számos baktériumot felhasználunk (pl. tejsavbaktériumok), a gyógyszeriparban sokféle gyógyszert (antibiotikumok, hormonok) állítanak elő baktériumok segítségével.**

**Az ételek romlását okozó baktériumokkal szemben pl. megfelelő hűtéssel, melegítéssel, savanyítással, vízelvonással védekezhetünk.**

**Ökológiai szempontból minden anyag körforgásában kiemelkedő szerepet töltenek be a baktériumok (pl. a lebontó baktériumok).**

# 12.

## Összefoglalás



# 13. A DNS-től a tulajdonságokig

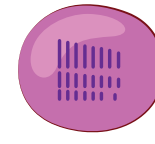
1. Miért lehet előnyös az örökítőanyag többszintű szerveződése?
2. Mindig X alakúak a kromoszómák?
3. Mi a gén? Mit jelent, hogy aktív?
4. A szerzett tulajdonságok is öröklődhetnek?
5. Hogyan lehet kijavítani egy hibás gént?

## Hangolódj rá!

Ha egy testi sejtünk sejtmagjában megtalálható információtároló molekulát, a DNS-t kinyújtanánk, akkor az több mint két méter hosszú lenne.

Nézzünk meg egy testi sejtet a szájnyalkahártyánkban! Ebben a sejtben benne van az összes tulajdonságunkra vonatkozó információ! Mivel a megtermékenyített petesejtből (zigótából) alakul ki az ember összes sejtje, ezért kétszeresen, apai és anyai eredetűen is. Hogyan fér el egy sejtben a 2 méter hosszú DNS? Ennek egyik magyarázata az, hogy nem egy darabban van jelen, hanem  $2 \times 23$  db hosszabb-rövidebb DNS-szakasz van a sejtmagban, ráadásul jelentős mértékben tömörítve.

Petesejt 23 kromoszómával



Hímivarsejt 23 kromoszómával



+

=



Zigóta 46 kromoszómával

**Az emberi zigóta genetikai állománya.**  
A zigóta a petesejt és a hímivarsejt egyesülésével jön létre. A petesejt az anyai, a hímivarsejt az apai eredetű kromoszómákat tartalmazza. Ha a hímivarsejtben X ivari kromoszóma van, akkor az utód leány, ha Y kromoszóma, akkor fiú lesz.

## Fedezd fel!

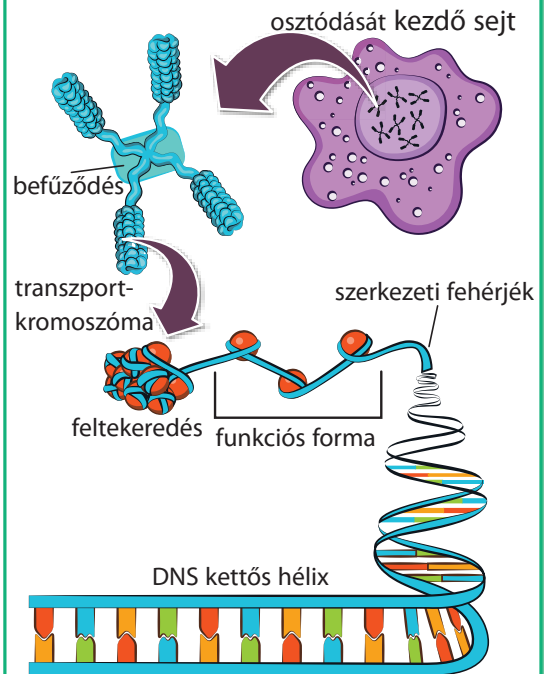
Egy cipőfűzőt vegyetek kettéhajtva a kezetekbe, és tekerjétek a két végén ellentétes irányba, de mindig feszítve! Majd lassan (a két véget továbbra is fogva) közelítsétek a két véget egymáshoz! Mit tapasztaltok?

### Számold ki!

Az emberi genom (teljes genetikai állomány) kb. 3 milliárd bázispárból áll. 10 bázispár kb. 3,4 nm hosszan helyezkedik el a DNS-ben. Számítsd ki, milyen hosszú a DNS, vesd össze az így kiszámolt adatokat a fentiekkel! Nézd meg, mekkora átmérőjű egy átlagos emberi sejtmag, ez alapján hányszorosa rövidülésben van bennünk a DNS-ünk?

### Sajátítsd el! Kérdezz!

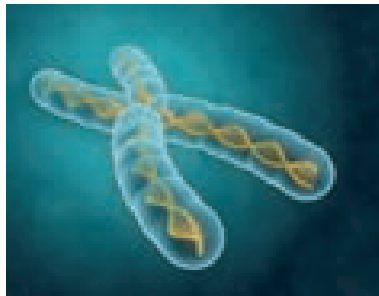
Osszátok fel a következő szöveget három-négy mondatos részekre! Mindketten olvassátok el, majd tegyetek fel három-négy kérdést az adott szövegrésszel kapcsolatban egymásnak!



1. A kromoszóma felépítése a sejt osztódásának kezdetén. A kettős hélix mintegy 200 nukleotidos szakaszai feltekerednek a fehérjékre.

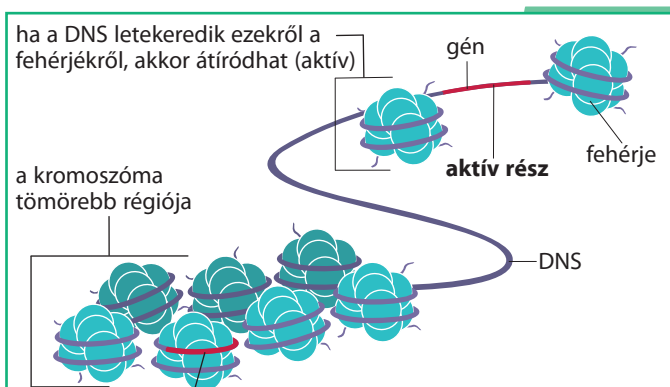
Sejtjeinkben a DNS nem önmagában van jelen: fehérjékhez kapcsolódik, fehérjékre tekeredik rá. A DNS-fehérje-együttest nevezük **kromoszómának**, ami a sejtosztódás során még tömörebb állapotú, mint a nem osztódó sejtben (1. ábra).

*Miért lesznek a kromoszómák a sejtosztódásra X alakúak?* Ennek oka, hogy a DNS minden sejtosztódás előtt megduplázódik. A keletkező két DNS kettős szálát speciális fehérjék tartják össze. Ezt a helyet a kromoszómán elsődleges befűződésnek nevezzük. Tehát az X alakú kromoszóma **két darab folytonos DNS-molekulát** tartalmaz (2. ábra).



2. Egy kromoszóma

*Miért lehet előnyös az örökítőanyag többszintű szerveződése?* A DNS-nek a fehérjékre történő tekeredéseken át a kromoszómákba szerveződésig egy rendkívüli rövidülése jön létre. Viszont egy tömör, sokszorosan feltekeredett állapotban a DNS információtartalma nehezen hozzáférhető. A kromoszómáknak azonban vannak olyan nem tömör, **kitekeredett** szakaszai, ahol a **DNS információja hozzáférhető**, ez a szakasz **aktív**. Más-más sejtjeinkben más-más kromoszómaszakasz aktív (3. ábra). Ezért van az, hogy ugyanaz a DNS van a szájnyálkahártya sejtjeiben, mint a hasnyálmirigyünkben, de az előző nem termel inzulin hormont, míg az utóbbi szerv sejtjei igen. Hasonlatban: ugyanaz a könyv megvan mindkét helyen, de más-más oldalon van nyitva.



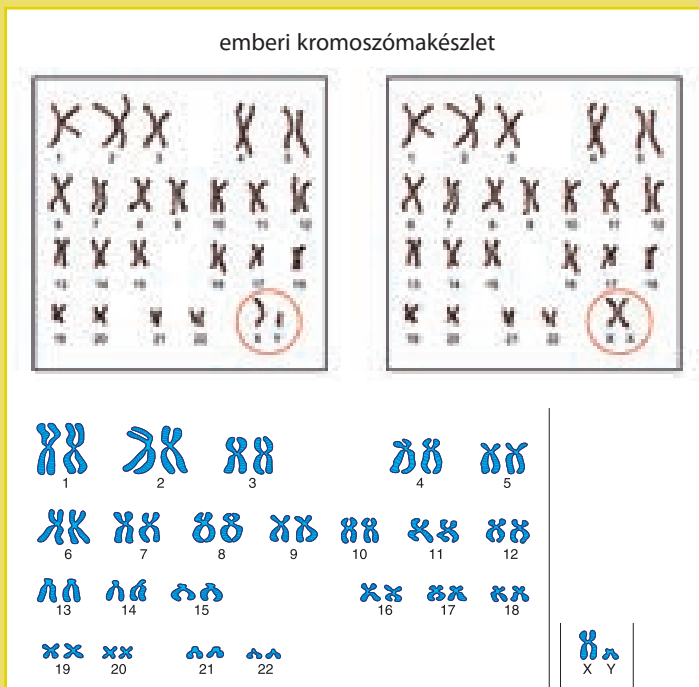
a DNS itt nem tud letekeredni a fehérjékről, nem válik szabaddá, nem íródik át, nem aktív

3. A DNS aktív és ideiglenesen inaktív szakaszai



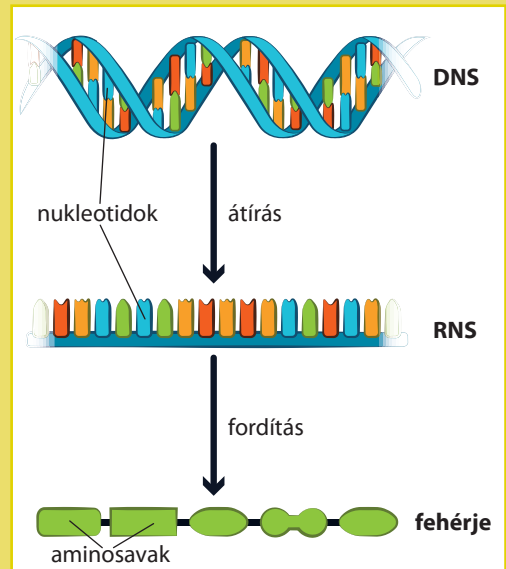
# Fedezd fel!

Nézd meg az ábrán szereplő kromoszómákat! Milyen hasonlóságokat és a különbségeket találsz az egyes kromoszómák között, illetve a női és férfi kromoszómakészlet között?



Felül DNS duplikáció előtt. Minden kromoszómapár egyik tagja apai, a másik anyai eredetű. Alul DNS-duplikáció után (ezért X alakúak). Figyeld meg, hogy minden kromoszóma X alakú, csak az elsődleges befűződés helye lehet más és más! Az Y-kromoszóma az ivart meghatározó, azaz szexkromoszóma egyike (a másik az X-kromoszóma). A nem ivari kromoszómákat testi (autoszóma) kromoszómáknak nevezzük.

Nézzük meg egy példán, mit jelent az, hogy egy DNS-szakasz aktív! Hogyan jutunk el a DNS-től a tulajdonságokig?



A DNS a sejtek információtároló vegyülete. Bázissorrendje meghatározza az RNS bázissorrendjét, az pedig megszabja a fehérjék aminosavsorrendjét. Kettős hélix szerkezete lehetővé teszi a molekula megkettőződését, így a genetikai információ átadását az utódsejtekbe a sejtosztódás során.

A DNS-t négyféle alapegység, azaz bázis építi fel: adenin (A), timin (T), guanin (G) és citozin (C). A DNS bázissorrendje jelenti az információt (mint a betűk sorrendje a szavak jelentését), amely egy molekula (RNS) közvetítésével egy fehérje aminosavsorrendjét határozza meg. Egyszerűbben: **a DNS a bázisok sorrendjében tárolja azt az információt, ami egy meghatározott fehérjét kódol.** Ez a fehérje lehet például egy olyan enzim, aminek hatására kialakul az a barna színanyag (melanin), ami meghatározza a bőr, a haj és a szem színét.

Ha valamilyen okból a DNS bázissorrendje megváltozik, és így a barna színanyag nem termelődik megfelelő mennyiségben, akkor teljes albinizmus alakulhat ki, amit világos bőr, világos haj, piros szem jellemez (festékanyag hiányában a vérereket lehet látni) (4. ábra).



4. Albinó afrikai kisgyermek

Hiba volna azonban azt gondolni, hogy a DNS-szakasz információja és a kialakult tulajdonság (pl. bőrszín) között ennyire egyszerű a kapcsolat. Nézzük meg, miért! Határozzuk meg a következőképpen és egyszerűen a **gén** fogalmát: **a DNS-molekula adott szakasza, amely egy vagy több funkcionális terméket, például valamilyen fehérjét kódol.** A DNS információja alapján képződött molekulák (pl. különböző fehérjék, enzimek) az **anyagcsere-folyamatok szabályozásán keresztül közvetve** határozzák meg az élőlények (külső és belső) tulajdonságait: pl. testfelépítését, élettani és viselkedésbeli tulajdonságait. Ezeket a tulajdonságokat **fenotípusnak** nevezzük. A tulajdonságok megjelenésében a géneken kívül nagy szerepe van a **környezetnek** is. Az emberi bőrszín is több gén és környezetük kölcsönhatása alakítja ki.

A gének **kódoló** és **szabályozó** részből állnak. A szabályozó rész határozza meg, hogy az élőlény sejtjeiben egy gén mikor kapcsoljon be, és meddig működjön. A szabályozó részhez kapcsolódnak az átírást megvalósító fehérjék.



### Alkoss!

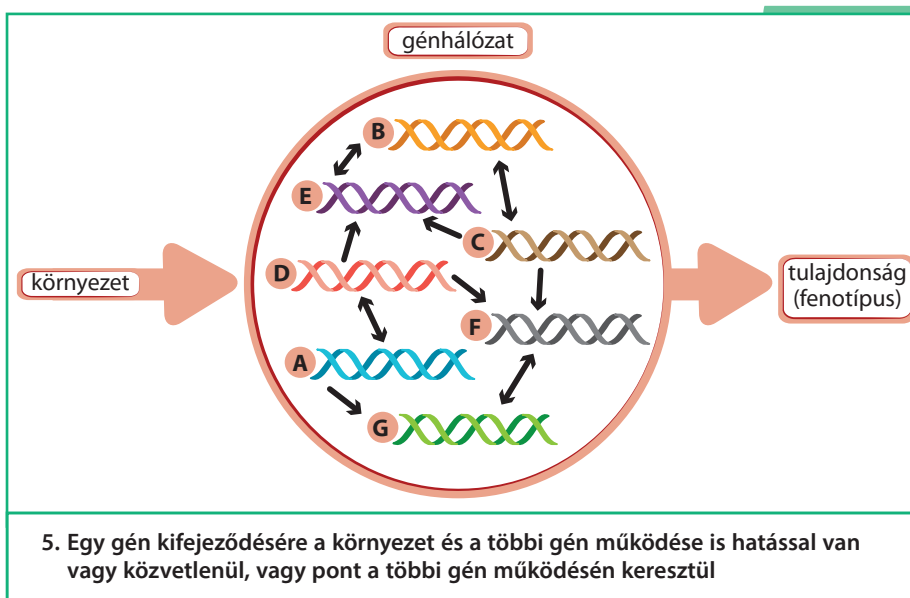
Az ábrán bemutatott hasonlatot fogalmazd meg saját szavaiddal! Keress további, hasonlóan érzékletes példát!

### Sajátítsd el!

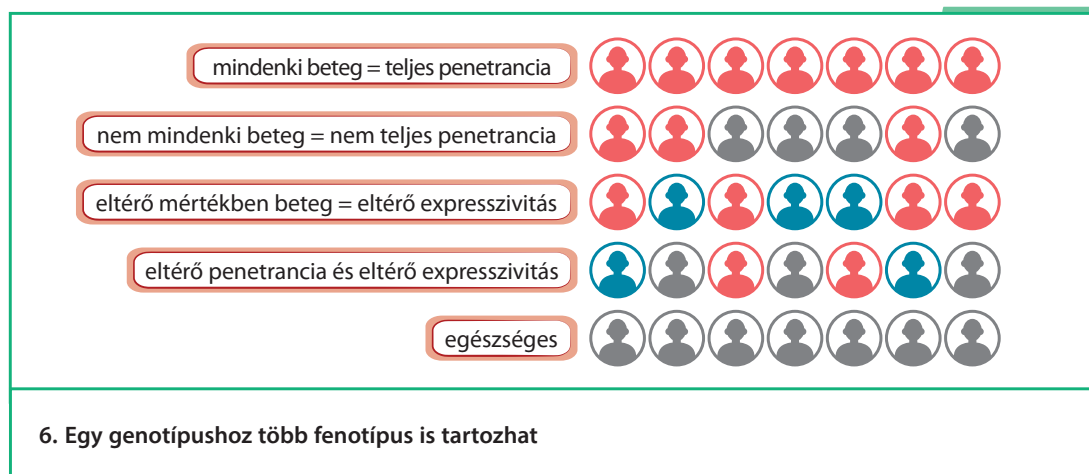
A szöveg elolvasása és az ábrák értelmezése után válaszolj a kérdésekre!

Miért van sok esetben, hogyha valakinél kialakul egy betegség, akkor nagyobb valószínűséggel kialakul egy másik is? Miért van az, hogy ugyanannak a betegségnek eltérő megnyilvánulásai vannak?

A legtöbb tulajdonság nem egyedi gének, hanem a **gének kölcsönhatásaként** nyilvánul meg. A **génhálózatok** a környezettel kölcsönhatásban alakítják ki a fenotípust. Ebben az összefüggésben ugyanazon gén kettő vagy több tulajdonsághoz, betegséghez is tartozik (5. ábra).



Több gén egymásra hatásával, illetve a környezettel való kölcsönhatásával magyarázható, hogy azonos génváltozatokkal rendelkező egyedek csoportjában az egyedek eltérő mértékben (eltérő százalékban) mutathatják a gének által közvetve meghatározott fenotípust (penetrancia). De ezen okokra vezethető vissza az is, hogy **az egyedekben a fenotípus kifejeződésének mértéke eltérő lehet** (expresszivitás) (6. ábra).



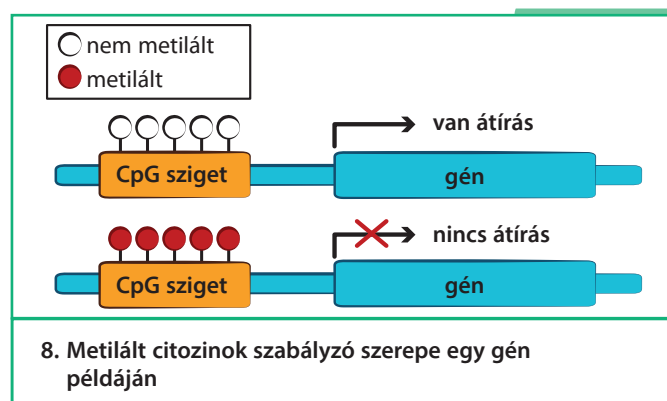
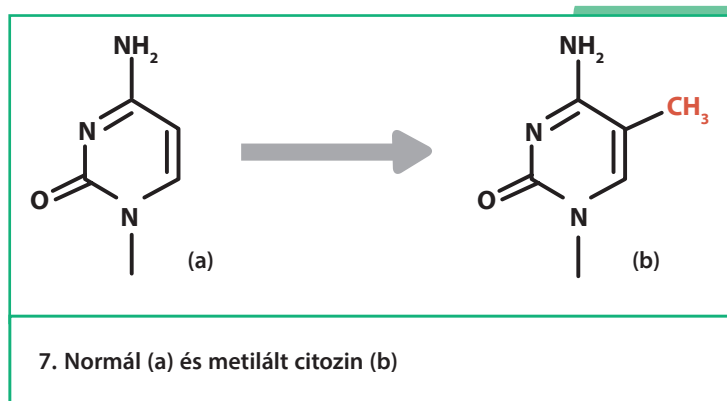
### Sajátítsd el! Kérdezz!

Osszátok fel a következő szöveget három-négy mondatos részekre! Mindketten olvassátok el, majd tegyetek fel három-négy kérdést az adott szövegrészsel kapcsolatban egymásnak!

## Epigenetika

A tudomány újabb eredményei alapján kiderült, hogy nemcsak a DNS bázissorrendjében tárolható biológiai információ.

A DNS-ben nemcsak a bázissorrend fontos. Az egyik bázis (C-citozin) kétféle formában is előfordul (7. ábra). A **metilcsoport hozzákapcsolódásával** módosított (metilezett vagy metilált) C szakaszok **nem íródnak** át, némák. Amennyiben a metilált citozinok elvesztik a metiláltságukat, a szabályozott gén átíródása fel szabadul a gátlás alól (8. ábra).



**Gondold újra!**

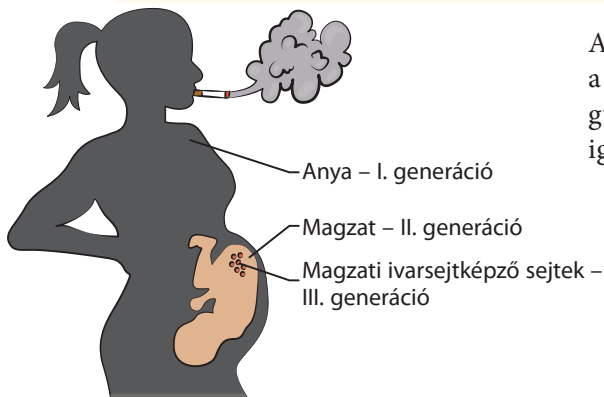
Az alábbi tanulmány elolvasása után hogyan fogalmaznád meg, mi a gén?

**Értékelj!**

A tanulmány elolvasása után milyen életmódbeli tanácsokat tudnál megfogalmazni a környezetekben élők számára?

A mozgásszegény életmód, a rossz táplálkozás és az új technológiák, amelyek csökkentik a fizikai aktivitást, továbbá a stressz, mind-mind egészségügyi problémákat okoz és okozhat az egész világon. A csökkent energiafelhasználással együtt megnövekedett energiabevitel súlygyarapodáshoz vezet, és ez megnövekedett egészségügyi kockázatot jelent. Az elhízás kockázati tényezője lehet a 2. típusú cukorbetegség és a szív- és érrendszeri betegségek kialakulásának, mivel a zsírszövetnek központi szerepe van a folyamatok alakulásában. A 2. típusú cukorbetegség kialakulásában genetikai és életmódbeli tényezők együttesen meghatározók. A testmozgás fontos az egészség megőrzésében, a testsúly, a vérnyomás normál értéken tartásában. A génaktivitás megváltoztatásával a sejten belüli, molekuláris mechanizmusokra is hat. Hat hónapon keresztül rendszeres mozgást végző, de előtte nem mozgó egészséges, normál testsúlyú és túlsúlyos férfiak zsírszövetében vizsgálták a DNS metilációs mintázatát. Hat hónap után változást tapasztaltak, eltérő lett a metilezettségi mintázatuk. A vizsgálat kezdetén a normál testsúlyú és a túlsúlyos férfiaknál nem találtak lényeges különbséget a DNS metilezettsége között. A két csoport együttes vizsgálata során a zsírszövet DNS-metilezettségében bekövetkező változások a megnövekedett fizikai aktivitásnak voltak tulajdoníthatók. A 2. típusú cukorbetegséggel 45 gén hozható kapcsolatba, amelyek közül 21-ben történt változás a rendszeres testmozgás hatására. Összefoglalva: a rendszeres testmozgás hatással van a genetikai állományunkra is, módosul a DNS metilezettségi mintázata azokon a helyeken is, amelyek a 2. típusú cukorbetegség kialakulásával vagy az elhízással hozhatók kapcsolatba.

Forrás: plosgenetics.org



A mozgásszegény életmódon kívül a stressz, a táplálkozás, a dohányzás, az alkoholfogyasztás olyan ható tényezők, amelyeknél igazolható az utódokra gyakorolt epigenetikai, azaz **génaktivitás-módosító hatás**. Vegyük példának a dohányzást, amelynek három generációra van hatása, hiszen a várandós anyán kívül még a magzat fejlődő ivarsejtjeiben is kimutatható.

## Génterápia

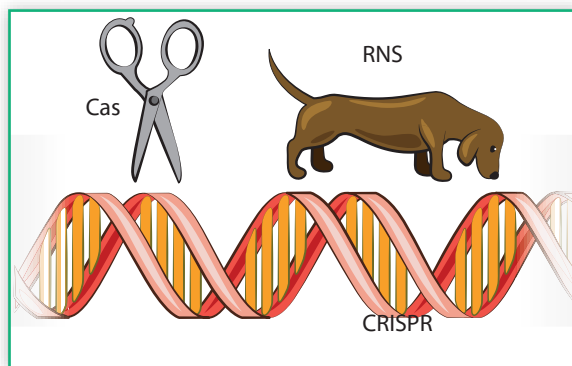
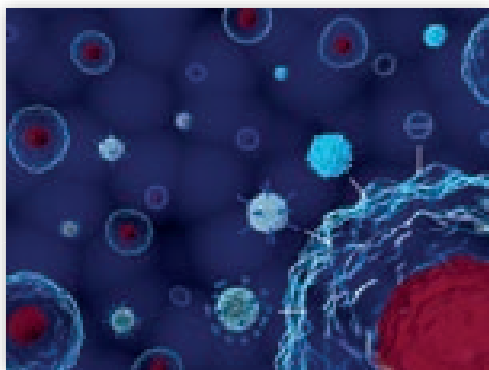
A sejtekben található gének szándékos módosítása, amelynek célja az **emberi betegségek kezelése**, gyógyítása, a **genetikai hibák javítása**.

### A génterápia módszerei:

- A betegből kiemelnek sejteket, és pl. módosított vírusokkal genetikai információt juttatnak a sejt genetikai állományába, amelynek hatására azután már normál működésű lesz a sejt. Ezt el lehet érni egy működő gén kikapcsolásával vagy egy nem működő gén kijavításával, pótlásával.
- Irányított génmódosítás: A baktériumokban találtak olyan nukleinsav-enzim (CRISPR-Cas/kriszpör-kes) együttest, amelyek a baktériumokban a védekezést valósítják meg a vírusok ellen. A CRISPR rész azonosítja a vírusnukleinsavat, a Cas mint enzim elbontja. Humán célú felhasználáshoz ezt a rendszert módosították úgy, hogy a CRISPR rész azt a DNS-szakaszt találja meg az emberi DNS-en, amit szeretnénk, a Cas pedig módosították, hogy ne hasító enzim legyen, hanem a gének ki-, illetve bekapcsolója.
- Epigenetikai módosulást eredményeznek a kromoszómát alkotó fehérjékben bekövetkező kémiai és szerkezetbeli változások is, amelynek során a DNS szabaddá válik, és információtartalma átíródhat. A fehérjét kódoló gének átíratát, az mRNS-eket más DNS-szakaszokról átíródó RNS-ek is gátolhatják.

### Meséld el!

Az alábbi ábrákat felhasználva beszélj a génterápiás módszerekről!



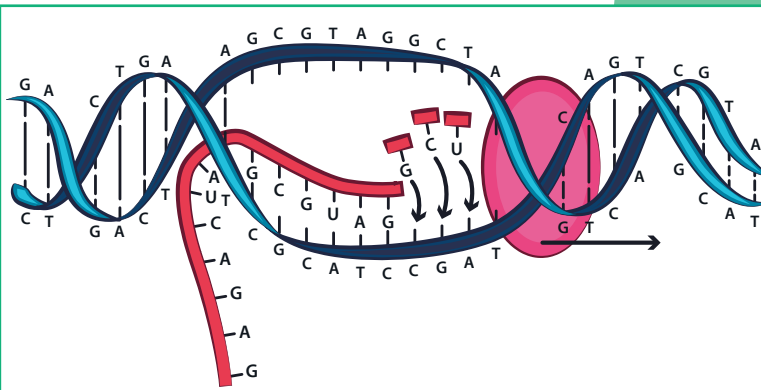
### Ítéld meg!

Az albinizmus nem fertőz, mégis a környezet sok esetben elítélően és ellenségesen közelít az albinó emberek felé. Voltak olyan területek is, ahol mágikus tulajdonságokat tételeztek fel róluk, és vadásztak rájuk. Honnan eredeztethetők ezek az elítéletek?

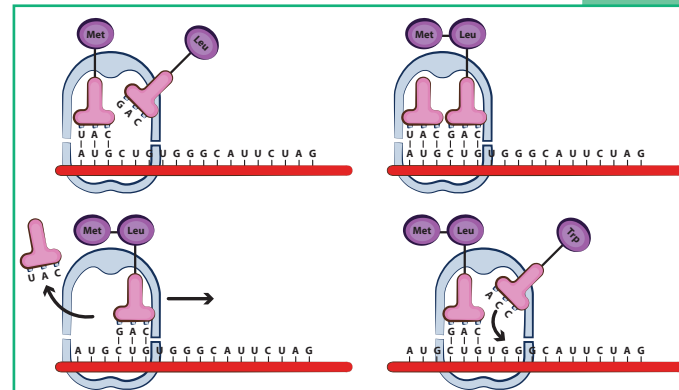
Vannak, akik úgy gondolják, hogy a testi sejteket érintő génterápiás beavatkozás megengedett, de az ivarsejteket érintő nem. Fogalmazd meg véleményed!

## A fehérjeszintézis részletesebben

A fehérjeszintézis kezdő lépéseként a DNS egyik száláról (a komplementaritás alapján) **hírvívő RNS** (mRNS) íródik át (9. ábra). Az aminosavakat **tRNS-ek** szállítják a fehérjeszintézis helyére, a **riboszómához**. A DNS-szálon három bázis **kódnak**, az átíródo mRNS-en pedig **kodonnak** nevezünk. A tRNS bázishármasait **antikodonnak** hívjuk, amelyek mRNS-kodonokat ismernek fel. Egy aminosavat három bázis kódol. A fehérjeszintézis folyamata a riboszómákon zajlik. A folyamat során a riboszómaegységek elmozdulnak az RNS-szálon. A kapcsolódó tRNS-ek (egy időben maximum kettő) által szállított aminosavak **peptidkötéssel** kapcsolódnak össze (a riboszóma mint enzim kapcsolja össze). Az mRNS által szállított információ így fehérje(peptid)láncot eredményez (10. ábra).



9. mRNS épül a DNS bázissorrendje alapján



10. Fehérjeszintézis a riboszómán

Egy adott fehérje szintézise során a kodonok számánál eggyel kevesebb az antikodonok száma, hiszen az mRNS bázishármasai között **stopkodonokat** is találunk, melyek leállítják a szintézist, ezekhez nem kapcsolódik antikodon. A kész fehérjelánc pedig még az antikodonok számánál is eggyel kevesebb aminosavegységet tartalmaz, mivel az elsőként kapcsolódó lánckezdő metionin leválik.

A kodonszótárból (11. ábra) kiolvasható, hogy az aminosavak jelentős részét nem egy, hanem több bázishármas is kódolja. A **genetikai kód** csaknem az egész élővilágban **egységes**, vagyis néhány ritka kivételtől (egyes ejsajtűtektől és a mitokondrium genetikai kódjától) eltekintve a különböző élőlényekben ugyanaz a bázishármas ugyanazt az aminosavat jelenti. Ez döntő bizonyítéka az élőlények egységes származásának. A DNS-szótárt kód-szótárnak, míg mRNS-szótárt kodonszótárnak nevezik.

Az mRNS bázishármasa (kodon)

1. bázis	2. bázis				3. bázis
	U	C	A	G	
U	fenilalanin	szerin	tirozin	cisztein	U
	fenilalanin	szerin	tirozin	cisztein	C
	leucin	szerin	STOP	STOP	A
	leucin	szerin	STOP	triptofán	G
C	leucin	prolin	hisztidin	arginin	U
	leucin	prolin	hisztidin	arginin	C
	leucin	prolin	glutamin	arginin	A
	leucin	prolin	glutamin	arginin	G
A	izoleucin	treonin	aszparagin	szerin	U
	izoleucin	treonin	aszparagin	szerin	C
	izoleucin	treonin	lizin	arginin	A
	metionin lánckezdő	treonin	lizin	arginin	G
G	valin	alanin	aszparaginsav	glicin	U
	valin	alanin	aszparaginsav	glicin	C
	valin	alanin	glutaminsav	glicin	A
	valin	alanin	glutaminsav	glicin	G

11. Kodon szótár. A genetikai kód egyértelmű, vagyis egy adott bázishármasnak csak egyféle jelentése van.



A táblázat első két sora a közöséges bélbaktérium egy génjének részletét mutatja. A táblázat 3. sorában a génről átíródó mRNS bázissorrendje olvasható.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
A	T	A	C	C	C	C	T	T	C	A	A	G	T	C	A	A	T	C	T	T	T
B	A	T	G	G	G	G	A	A	G	T	T	C	A	G	T	T	A	G	A	A	A
mRNS	A	U	G	G	G	G	A	A	G	U	U	C	A	G	U	U	A	G	A	A	A
Fehérje	1.		2.			3.			4.			5.			6.		7.				

a) Melyik a DNS aktív szála?

b) Add meg a fehérjébe beépülő aminosavak nevét a kódszótár segítségével!

A teljes folyamat lényege a következő kis hasonlaltal szemléltethető: Van egy könyvtár (sejtmag), ahol egy 46 kötetből álló receptgyűjtemény (23 pár kromoszóma) tartalmazza az összes olyan étel (a fehérjék) receptjét (a géneket), amelyeket annyira szeretünk, hogy szinte élni sem tudnánk nélkülük. Mivel ezek rendkívül fontos könyvek, ha bármi történne velük (mutáció), például kiszakadna egy lap, az végzetes veszteség lenne, ezért nem lehet kikölcsonözni őket. Ha főzni szeretnénk valamelyik recept alapján, még a könyvtárban le kell fénymásolnunk az adott oldalakat (átírás). A fénymásolásban segít nekünk a könyvtáros (RNS-polimeráz enzim). A lefénymásolt receptet (m-RNS) már el lehet vinni a könyvtárból a konyhába (sejtplazma vagy endoplazmatikus membrán), és ez alapján a szakácsok (riboszómák) elkészíthetik az ételt. A recept „bázisul” van, de a szakács csak „aminosavul” tud, így azt le kell fordítani (ez a transzláció). A szakácsoknak specifikus fordítóik vannak, minden hozzávalót (az aminosavakat) csak egy fordító (t-RNS) tud lefordítani, és egyúttal viszi is magával azt a szakácsoknak. A fordításhoz szükséges a recept megértését lehetővé tevő kódszótár. Ahhoz, hogy az étel ehető legyen (működőképes fehérje), fontos, hogy a hozzávalókat a receptben leírtaknak megfelelő sorrendben (aminosavak sorrendje) adjuk hozzá.

Forrás: biokemonline.com

A DNS többszörösen feltekeredett állapotban van jelen a sejtmagban. Azok a DNS szakaszok, ahol kitekeredett a DNS, aktívvá is válik: információja átíródhat, a gén megnyilvánulhat, és közvetve kialakítja az élőlények tulajdonságait.

A gének ki- és bekapcsolása a szabályozó részekkel kapcsolatosak. A gének általában nem önmagukban hoznak létre tulajdonságokat, hanem egymással és környezettel kölcsönhatásban.

A génterápia a sejtekben található gének szándékos módosítása, amelynek célja emberi betegségek kezelése, gyógyítása, a genetikai hibák javítása.

Epigenetikai megközelítésből nemcsak a bázissorrend meghatározó a tulajdonságok kialakításában, hanem pl. a DNS metilációja, a DNS-fehérje-kapcsolat lazulása is a kromoszómákban.

## 13. Összefoglalás

# 14. A sejtciklus

1. Hogyan pótlódnak az elpusztult sejtjeink?
2. Miért nem hasonlítanak teljes mértékben a testvérek egymásra?
3. Hogyan alakulnak ki a rákbetegségek a sejtosztódások kapcsán?
4. Mik azok az őssejtek, milyen területeken ígéretes az alkalmazásuk?

## Mitózis

### Hangolódj rá!

Egy felnőtt emberben naponta több mint 50 milliárd sejt pusztul el. Ezek nem véletlenszerű események, hanem egy finoman hangolt biológiai mechanizmus részét képezik, amit **programozott sejthalálnak** hívnak. A sejthalál megakadályozza a sejtek túlszaporodását és a sérült sejtek felhalmozódását. Ez az egyensúly elengedhetetlen az egészséges szervezet fenntartásához és a betegségek megelőzéséhez. Ez egyben a kórokozókkal szembeni védekezés alapvető mechanizmusa is, mivel a baktériumokkal vagy vírusokkal fertőzött sejteket is így távolítja el a szervezetünk. Az elhalt sejtek anyagai a szervezetünkben újrahasznosulnak a sejtek pótlódása során. A pótlás a sejtek osztódásával valósul meg. A bőrünkben, a vöröscsontvelőben, a bélfalban állandóan osztódnak a sejtek, míg más területeken, pl. agyunkban az idegsejtek többsége, izmainkban az izomsejtek, tartós nyugalomban vannak. Ha a sejtosztódás során vagy az azt megelőző folyamatokban hiba jelentkezik, akkor ez súlyos következményekkel járhat: rák és egyéb kóros állapotok alakulhatnak ki.

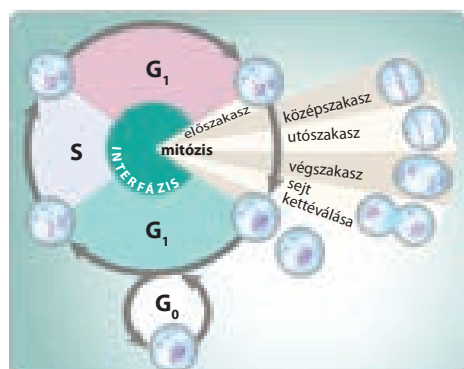
A **sejtciklus**, ahogyan nevében is benne van, körfolyamat (1. ábra). Alapvetően négy szakaszból ( $G_1$ , S,  $G_2$ , M) áll a ciklus, amelyek közül ami igazán látványos (akár fénymikroszkópban is nyomon követhető), az a sejt osztódása. Az M betű jelölheti a **MITÓZIS** és a **MEIÓZIS** nevű folyamatot is. Nézzük meg, melyik mikor és hol megy végbe!

### Magyarázd meg!

A szöveg elolvasása után indokold, miért jelent a MITÓZIS szám-tartó osztódást!

### Sajátítsd el!

A mitózis folyamatát leíró szöveget vedd össze egy internetes animációval, majd próbálj meg te lenni a narrátor! Mondd el társadnak a mitózis folyamatát a lenémített animáció bemutatásával!



1. A sejtciklus

Alapvetően kétféle sejtípusunk van: **testi sejtek** és **ivarsejtek**. A testi sejtjeinkben  $2 \times 23$ , azaz 46 darab kromoszóma található, mindegyik kromoszóma tartalmaz egy folyamatos DNS-molekulát. A sejtosztódás előtt a sejt felkészül az osztódásra: megduplázza a DNS tartalmát (S szakasz), és a szükséges fehérjéket is előállítja ( $G_1$  és  $G_2$ ), így mire az M szakaszhoz érünk, mindegyik kromoszóma X alakú lesz (összesen 46 db X alakú kromoszóma egy testi sejtben), és mindegyik dupla DNS-tartalommal rendelkezik (összesen 92 db DNS egy testi sejtben). A mitózis során lényegében ezek az X alakú kromoszómák felsorakoznak egymás alá/mögé, és elválik egymástól a dupla DNS-tartalmuk, azaz az X alakú kromoszómából két szimpla kromoszóma lesz, az X fele az egyik utódsejtbe, a másik fele a másik utódsejtbe jut: a keletkező két utódsejt a kiindulási sejt kromoszómaszámával és DNS-mennyiségével is megegyezik.



### Számold ki!

Ha a sejtek egyharmadát 5 szakaszban látjuk, amely körülbelül 7 órán keresztül tart, akkor körülbelül mennyi a sejtciklus időtartama?

46 db szimpla kromoszóma (sejtciklus kezdetén)

46 db X alakú, dupla DNS-t tartalmazó kromoszóma (a sejtosztódás kezdetén)

46-46 szimpla kromoszóma a keletkező két utódsejt mindegyikében (sejtosztódás után)

kromoszómaszám és DNS-tartalom-változás nincs a kiindulási sejthez képest egy-egy sejtre vonatkoztatva: MITÓZIS = számtartó osztódás

A mitózis funkciója az elpusztult sejtek pótlása vagy a növekedéshez szükséges új sejtek létrehozása. A bőrödben, a csontvelődben, a bélfalban most is zajlik benned.

### Magyarázd meg! Légy kreatív!

A mitózis a görög 'mitos' szóból ered, amely fonalat jelent: jelentheti a kromoszómák fonál alakját, de a fonalat is, ami összeköti a múltat a jelennel, jövővel. Hogyan kapcsolható össze ez a fogalomeredet a mitózis folyamat lényegével?

**Ábrázold** kördiagramon, hogy az általad kikeresett adatok alapján mennyi ideig tartanak az egyes szakaszok!

## Meiózis

### Magyarázd meg!

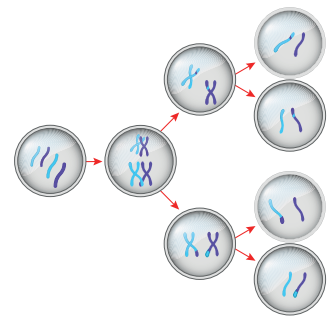
A szöveg elolvasása után indokold, miért jelent a MEIÓZIS számfelező osztódást!

### Sajátítsd el!

A meiózis folyamatát leíró szöveget vesd össze egy internetes animációval, majd próbáld meg te lenni a narrátor! Mondd el társadnak a meiózis folyamatát az animáció bemutatásával, a hangot lenémítva!

A MEIÓZIS **számfelező** osztódást jelent. Olyan sejtekből indul ki, amelyekben  $2 \times 23$ , azaz 46 db kromoszóma van. A sejtosztódás előtt a sejt felkészül az osztódásra: megduplázza a DNS tartalmát (S szakasz) és a szükséges fehérjéket is előállítja ( $G_1$  és  $G_2$ ), így mire az M szakaszhoz érünk, mindegyik kromoszóma X alakú lesz (összesen 46 db X alakú kromoszóma egy testi sejtben), és mindegyik **dupla DNS-tartalommal rendelkezik** (összesen 92 db DNS egy testi sejtben).

A meiózis során **kétszer történik sejtszétválás**. Először a kiindulási sejt kettéválik, és a keletkező két sejt mindegyikébe a 46 db X alakú kromoszóma fele, azaz 23-23 jut. Így egy-egy sejtben 23 db X alakú kromoszóma lesz: ezek a kromoszómák sejtenként felsorakoznak egymás alá/mögé, és elváltak egymástól a dupla DNS-tartalmuk, azaz az X alakú kromoszómából két szimpla kromoszóma lesz, az X fele az egyik utódsejtbe, a másik fele a másik utódsejtbe jut: a keletkező **négy utódsejt** a kiindulási sejt kromoszómaszámának és DNS-mennyiségének a **felével** rendelkezik (2. ábra).



2. A meiózis folyamata

46 db szimpla kromoszóma (sejtciklus kezdetén)

46 db X alakú, dupla DNS-t tartalmazó kromoszóma (a sejtosztódás kezdetén)

Első sejtszétválás: két sejt lesz, mindegyikben 23 db X alakú kromoszóma lesz (sejtosztódás során)

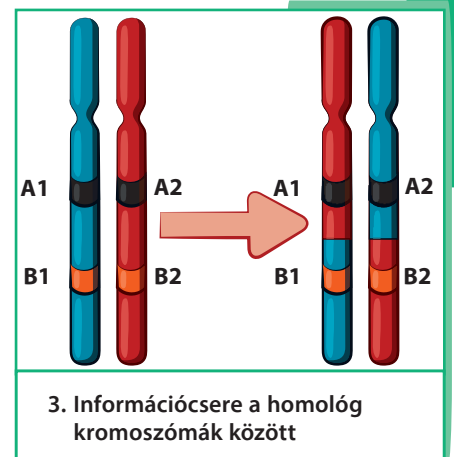
Második sejtszétválás: 23-23-23-23 db szimpla kromoszóma lesz a keletkező négy utódsejt mindegyikében (sejtosztódás után)

kromoszómaszám-változás van a kiindulási sejthez képest: egy sejtre vonatkoztatva: feleannyi kromoszómaszám és DNS-tartalom  
MEIÓZIS = számfelező osztódás

Idáig megismertük a mechanizmust (hogyan?), most próbáljuk megérteni a funkciót (miért?). Az ivarsejtek egyesülésével keletkező sejt osztódásai során alakul ki az emberi test. Az ivarsejtek kromoszómaszáma 23, ezt egyszeres kromoszómakészletnek is nevezzük, és  $n$  betűvel jelöljük. Két ivarsejt egyesülésével testi sejtek alakulnak ki, ezek  $2n$ -es sejtek, kromoszómaszámuk 46, azaz tartalmazzák az **anyai eredetű** (petesejt) és az **apai eredetű** (hímivarsejt) információtartalmakat is. A meiózis az a folyamat, amikor is ezek az információk megkeverednek, helyesebben **kombinálódnak**: nézzük meg, hogyan!

1. A meiózis elején az **apai és anyai eredetű kromoszómák** közül azok, amelyek információtartalma közel megegyezik (pl. azonos helyen azonos tulajdonságokra vonatkozó információt tartalmaznak) **párokat képeznek** (23 homológ pár) és a párok tagjai kicserélhetik egyes kromoszómaszakaszaikat, így **információcsere** is történhet (3. ábra). Például az apai eredetű kromoszómán A1 és B1 is egy-egy tulajdonságot meghatározó géntartomány, míg az anyai eredetű kromoszómán A2 és B2. A kromoszómaszakaszok kicserélődésének eredményeképpen az ivarsejtbe már olyan kromoszóma kerülhet, ami egy **új változatban** tartalmazza a tulajdonságokat (pl. A1-B2).
2. Az anyai és apai eredetű kromoszómapárok közül csak az egyik jut be egy ivarsejtbe, de véletlenszerű, hogy a párok tagjai közül melyik. Rendkívül kicsi a valószínűsége tehát, hogy egy ember ivarsejtjébe csak apai vagy csak anyai eredetű kromoszómák jutnak. A kombinációk száma rendkívül sok, pl. lehet olyan ivarsejt, amelyikbe 10 apai eredetű és 13 anyai eredetű kromoszóma jut, míg egy másikba 17 apai eredetű és 6 anyai eredetű stb. Ráadásul láthattuk, hogy az apai eredetű kromoszóma is megváltozhat: a kicserélődés folyamata révén anyai eredetű kromoszómadarab lehet benne.

Mindez azt eredményezi, hogy nagyon-nagyon kicsi a valószínűsége, hogy bármely két ivarsejt információtartalma megegyezzen, így ez a folyamat is az élőlények sokféleségéhez vezet.



3. Információcsere a homológ kromoszómák között

# Játssz! Mozdulj!

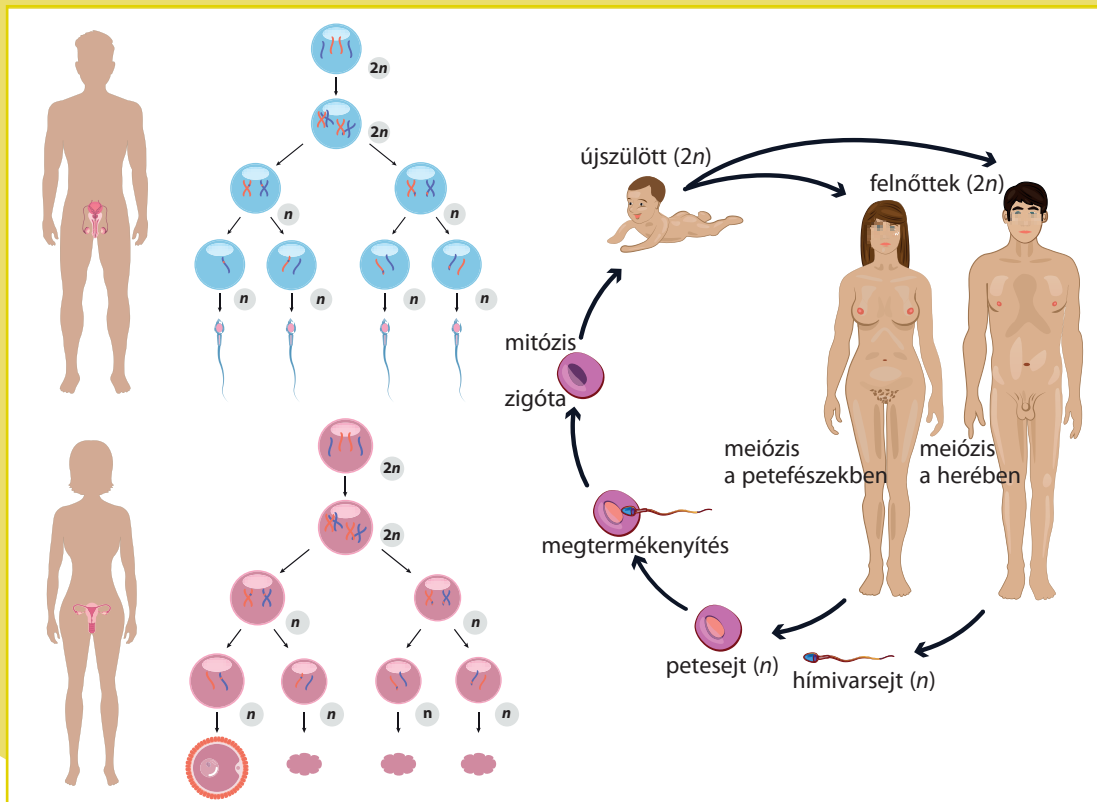
Egy lány és egy fiú alkosson egy (homológ) kromoszómapárt, és játsszátok el az apai és anyai eredetű kromoszómák véletlenszerű felsorakozását és szétválását!

# Fedezd fel!

Különböző számú gyufaszálakkal modellezd a kromoszómákat, és igazold, hogy  $2^n$  a variációk száma, hogy egy ivarsejtbe hányféleképpen kerülhetnek be az apai eredetű vagy anyai eredetű kromoszómák! Mi lehet az  $n$  hatványkitevő?

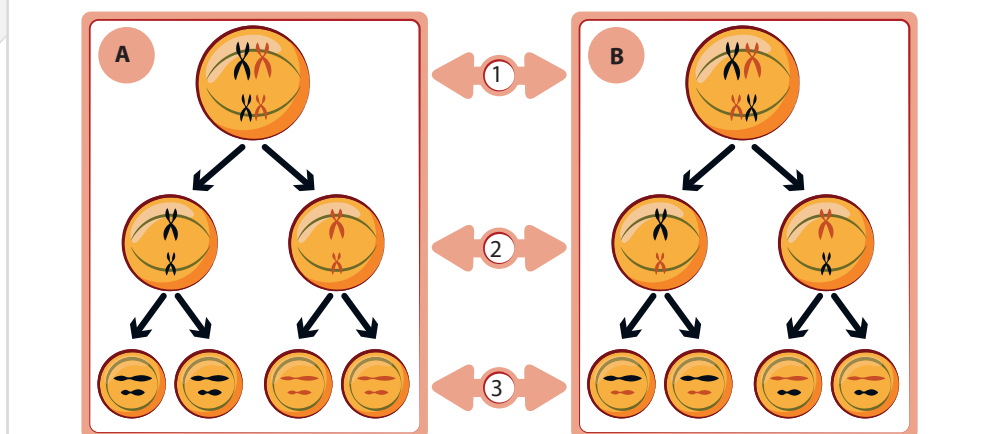
## Magyarázd el!

Az ábrák alapján próbáld elmondani a meiózis folyamatát a hímivarsejtek és a petesejt képződése kapcsán! Miért hasonlíthat egy gyerek az egyik (nagy)szülőre jobban, mint a másikra?



## Kérdezz!

Tegyél fel egy kérdést az alábbi ábrával kapcsolatban társadnak! Ügyelj arra, hogy az ábrán bemutatott folyamattal legyen kapcsolatban! Ne eldöntendő kérdést tegyél fel! Ha egy másik társadat megkérdezel, akkor is ugyanaz legyen a helyes válasz!



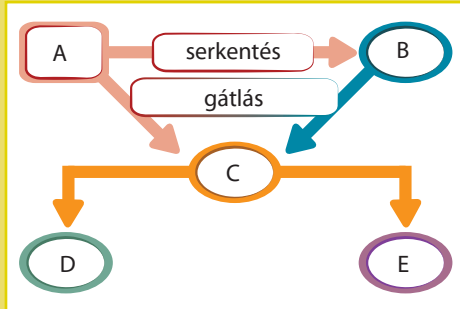
## Rákos sejtek, őssejtek, differenciált sejtek

## Fedezd fel!

A szöveg elolvasása után azonosítsd, hogy az ábra betűi milyen fogalmakat takarnak!

Melyik betű jelöli:

1. a daganatelnymó fehérjéket?
2. a programozott sejthalált?
3. az onkogéneket?
4. a karcinogéneket?
5. a nyugalmi állapotot?

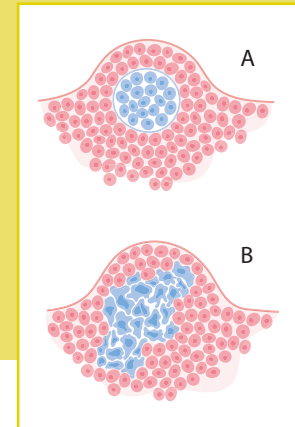
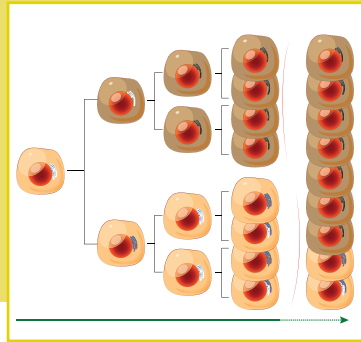
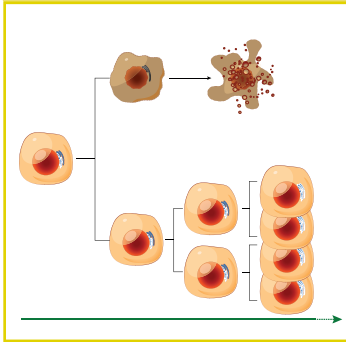


## Válg szakértővé!

Keress hiteles információkat a jóindulatú és a rosszindulatú daganatokkal kapcsolatban! Tanulmányozd a két (A és B) ábrát! Melyik ábra mutatja a jóindulatú daganat képét? Válaszod indokold az alábbi szavak felhasználásával: elhatárolt, áttét, sejtszótódás.

## Magyarázd el!

Az ábrák alapján mondd el, mi a különbség a normál és a rákos sejtszótódás között? Hiteles forrásokból ellenőrizd állításaidat!



## A rákbetegségek sejtbiológiai alapjai

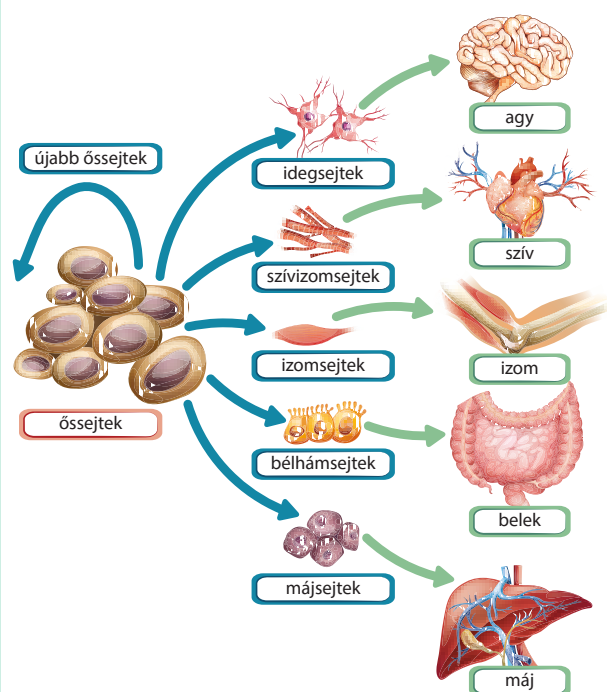
Alapvető fontosságú, hogy a sejtciklus egyes fázisai a megfelelő sorrendben következzenek, és a sejt csak akkor tudjon átlépni egy következőbe, ha az előzőt tökéletesen befejezte. Ellenkező esetben a kromoszómák eloszlásában zavarok léphetnek fel. Egész kromoszómák vagy kromoszómareészletek veszhetnek el, vagy egyenlőtlenül oszlanak el a két utódsejt között. Éppen ezért a sejtekben olyan **ellenőrző mechanizmusok** fejlődtek ki, amelyek meghatározott ellenőrző pontokon leállítják a sejtciklust addig, amíg az előző fázis eseményei tökéletesen be nem fejeződtek. Ez lehetőséget teremt a hibák kijavítására, még mielőtt a DNS-állomány megkettőződne. Ilyenkor jutnak szerephez az ún. **daganatelnymó fehérjék**, amelyek vagy nyugalmi állapotba viszik a sejtet – ahol megtörténik a DNS kijavítása –, vagy súlyos sérülés esetén programozott sejthalálra készítetik a sejtet.

A daganatok kialakulásában az ún. **onkogének** játszanak alapvető szerepet. Az onkogének olyan gének kóros változatai, amelyek normális esetben a megfelelő ütemű sejtszótódást, a normális sejtciklust szabályozzák (normális alakjukban e géneket protoonkogéneknek nevezik). A protoonkogének többek között **rákkeltő** (karcinogén) **anyagok** hatására alakulhatnak át sejten belüli (celluláris) onkogénné. A mai elméletek szerint több ilyen változás szükséges egy kóros sejtszaporulat, azaz a **rákos daganat** kialakulásához.



## Őssejtek

Korábban szó volt arról, hogy az ember test sejtjei a megtermékenyített petesejt osztódásából kiindulva keletkeztek, és így hihetetlenül nagyszámú ( $10^{13}$ ) sejt jön létre. Az **őssejtek** különleges tulajdonsága, hogy osztódásuk során **kétféle sejt** jön létre: egy **újabb őssejt** (önmegújító képesség) és egy **differenciált sejt**. Ez utóbbi sejtípus valamely funkció irányába már elkötelezett, és ez gyakran jár a felépítésének megváltozásával is (4. ábra). Őssejtek emberben megtalálhatók az embrionális korban és felnőttkorban is szinte minden szervben. Ez utóbbiak a legtöbb szövetben az összes sejt egy-két százalékát jelentik. Ezek a szöveti őssejtek fontos szerepet töltenek be sérülések után a szervek felépítésének és működésének helyreállításában, illetve egyes szövetek (pl. a vér) folyamatos megújításában.



4. Az őssejtekből képződő elkötelezett sejtek felépítése és funkciója is megváltozik

## Reflektájl!

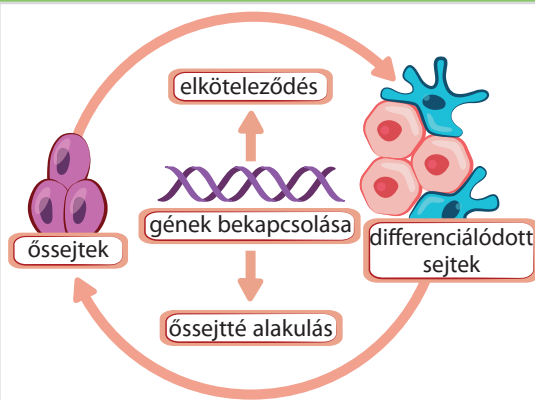
A következőkben egy kutatóval történő interjú részletét olvashatod. Fogalmazd meg a véleményed: mire jó az őssejt, mi lehet a veszélye a felhasználásának?

- Jamanaka Sinja bebizonyította, hogy a már differenciálódott szöveti sejteket is vissza lehet programozni őssejteké. Milyen hozadéka lehet a Nobel-díjas japán kutató felfedezésének?
- Ezekkel a sejtekkel számtalan betegségmodellt lehet létrehozni, jobban értelmezhető lesz egy-egy betegség mechanizmusa, ezáltal új gyógymódokat lehet majd kifejleszteni, illetve elképzelhető a pluripotens őssejtek sejterápiás alkalmazása is, ez azonban inkább csak a jövő reménye. A cél, hogy a vizsgálati eredményeket az orvostudomány is hasznosítsa a különböző terápiák alkalmával. Érdekes módon a kutatók és az orvostudomány is szkeptikus volt, amikor 2006-ban először publikálta felfedezését Jamanaka Sinja. Én is elképzelhetetlennek, már-már sci-fibe illőnek gondoltam, hogy néhány gén bekapcsolásával egy felnőtt sejt visszavihető embrionálisszerű állapotba. Ma pedig éppen ezen a részterületen vizsgálódk munkatársaimmal.
- Miért olyan különlegesek, mindentudóak ezek az őssejtek?
- Az indukált pluripotens őssejtek (iPS) előállítására és alkalmazására esetében nincs szükség embriók felhasználására, a már differenciált szövetekből személyre szabott, az embrionális őssejtekhez hasonló sejtek hozhatók létre. A pluripotens állapot azt jelenti, hogy a sejt még nyitott minden fejlődési irányra, tehát belőle bármilyen sejtfejlés létrejöhet. Ugyanakkor a pluripotens jelleg bizonyos értelemben hátrányt is jelent, mivel minden irányba elindulhat a sejtek fejlődése, sőt ezek a sejtek embrionális tumorokat is létrehozhatnak.

Forrás: [webbeteg.hu](http://webbeteg.hu)

**Alkoss!**

2012-ben orvosi Nobel-díjat kapott két kutató az őssejtkutatással kapcsolatban. Az ábra bemutatja kutatásuk lényegi eredményét. Alkoss saját szöveget arról, amit az ábra bemutat! Hiteles forrásokból ellenőrizd az általa megfogalmazottakat!



Korábban fénymikroszkóppal a sejtciklusból csak a sejtosztódást lehetett látni, mert ekkor jelentek meg a kromoszómák (a görög *chroma* = *színes*, és *soma* = *test* szavakból, jól festhető képletek). A többi részt nyugalmi szakasznak nevezték. Azonban kiderült, koránt sincs nyugalomban a sejt, hiszen akkor mennek végbe a  $G_1$ ,  $S$ ,  $G_2$  szakaszok folyamatai. Ma egy sejt nyugalmi állapotának a  $G_0$ -t mondjuk (lásd 1. ábra), pl. ilyen állapotban vannak most benned az idegsejtjeid többsége. ( $G$  = gap = rés/szünet,  $S$  = szintézis [DNS]).

Honnan kapta a nevét a rák? A kóros sejtszaporodással járó rákbetegség az ízeltlábú állatról kapta a nevét. Persze nem a magyarban, hanem görög nyelven; a görög elnevezést magától Hippokratésztól eredeztetik, aki többféle ráktípust is leírt. (Egyébként nem ő volt az első, már i. e. 3000-ból Egyiptomból is vannak adatok a rákbetegségről.) Hippokratész a jóindulatú tumorokat (daganatokat) *onkosznak* nevezte, ami 'duzzanat'-ot jelent. Az *onkosz* tő található meg az onkológia kifejezésben is: ez a daganatos megbetegedésekkel foglalkozó orvostudományi ág. A rosszindulatú tumorokat pedig a *karcinosz* szóval jelölte, ami görögül 'rák'-ot jelent. A névválasztás oka állítólag az volt, hogy a rosszindulatú daganat alakja hasonlított az állat felépítéséhez: egy központi részből különböző irányokba tartó nyúlványok nőnek ki, mint a rák testéből a lábai. A *karcinosz*ból származik a karcinóma elnevezés, amely az orvosi szaknyelvben ma is használatos bizonyos típusú rosszindulatú daganatokra. A *karcinosz* elnevezést Celsus római orvos fordította latinra az 1. században, így vált bevetté a *cancer* elnevezés, amely az angol nyelvből lehet ismerős. A magyar rák a latin *cancer* tükörfordítása.

A sejtciklus része a sejt osztódása. Ha a sejt kettéválik, és a kiindulási sejt és a keletkező sejtek kromoszómaszáma (információtartalma) megegyezik, ekkor a folyamat neve MITÓZIS. Funkciója az új sejtek létrehozása.

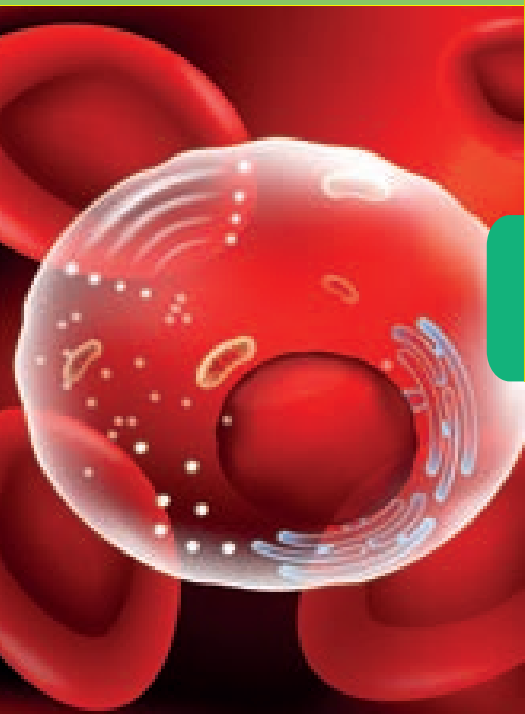
Abban az esetben, ha egy kiindulási sejtől négy ivarsejt lesz (emberben), és a keletkező sejtek kromoszómaszáma fele a kiindulási sejtnek, akkor a folyamat neve MEIÓZIS. Funkciója a különböző információtartalmú ivarsejtek létrehozása, ezzel is a változatosság biztosítása.

Ha a sejtciklus szabályozásában zavar lép fel, kóros sejtszaporulattal (daganattal) járó rákbetegségek alakulhatnak ki.

Az őssejtekből bármilyen sejtípus kialakulhat, gyógyászati felhasználásuk szigorú szabályokhoz kötött és jelenleg is kutatott.

A differenciált sejtek valamilyen funkció irányába elkötelezett sejteket jelentenek, az emberi szervezetben több mint kétszázféle sejtípus létezik.

# 14. Összefoglalás

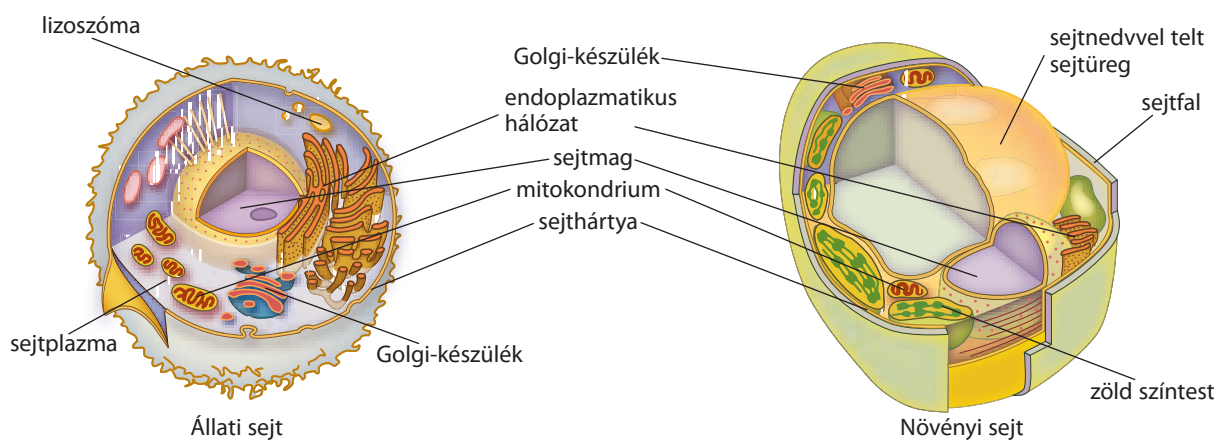


# 15. A sejt felépítése és működése

1. Mennyiben hasonlít egy sejt működése egy ház vagy egy város „működéséhez”?
2. Hányféle sejtalkotó van egy májsejtben?
3. Ugyanazok a sejtalkotók vannak az idegsejtben, mint a vörösvértestekben?
4. Hogyan kommunikálhat a sejt a környezetével?

## Hangolódj rá!

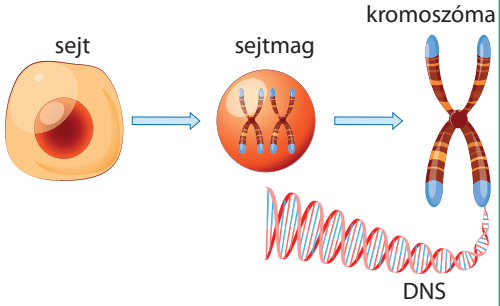
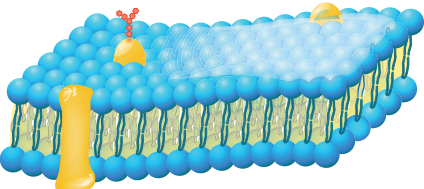
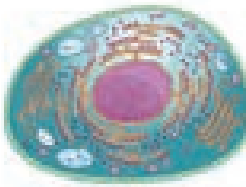
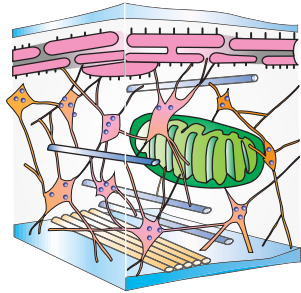
Rendkívül sokféle sejtípus fordul elő az élővilágban. Érdekes módon a sejtet felépítő sejt szervecskék megléte vagy száma is tükrözi az adott sejt funkcióját. Egyes sejteknek hatalmas sejt plazmanyúlványuk van: az emberi mozgatóidegsejt hossza a gerincvelőtől a nagylábujjig több mint egy méter hosszú lehet. Egyes fehérvérsejtben olyan sejtalkotók (lizoszómák) található nagyobb számban, amelyeknek a kórokozók lebontásában van szerepük. A májsejtben végbemenő méregtelenítés, fehérje-előállítás folyamataihoz sok energia kell, ezért ezekben a sejtekben különösen sok a mitokondrium, amelyek a sejtek erőműveiként működnek. A növények levelének fő tömegét alkotó sejtekben a zöld színtestek száma magas, itt történik a napfény energiájának hasznosítása, amelynek során szőlőcukor és oxigén keletkezik.



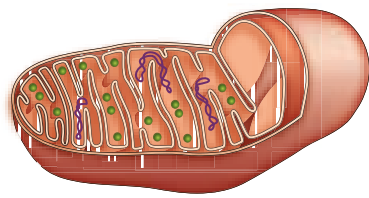
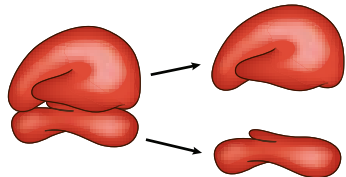


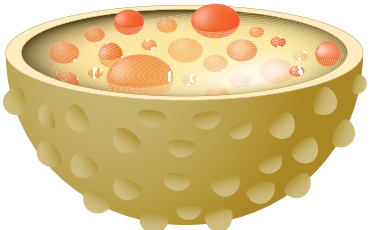
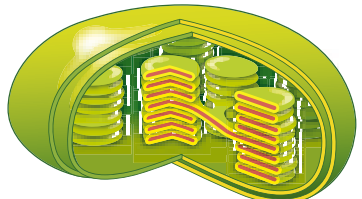
1. Állati és növényi sejtek szerkezete

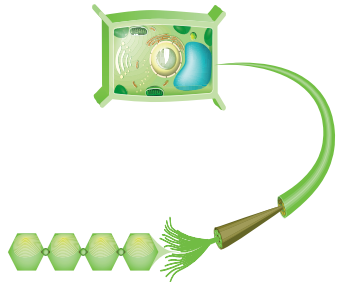
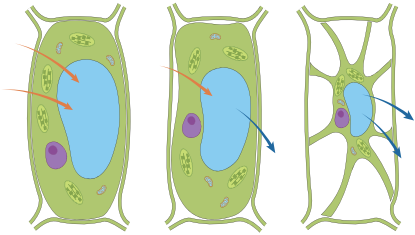
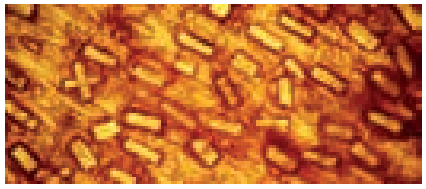
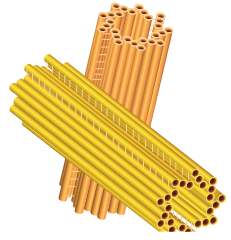
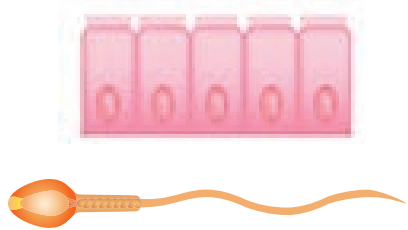
**Térképezd fel!**

Nézzétek meg az állati és növényi sejtalkotókat együtt (1. ábra) és külön-külön (táblázat) is bemutató ábrákat! Hozzátek az ábrákat összefüggésbe a táblázatban leírtakkal, és ezek alapján válaszoljatok: miben hasonlít egy sejt felépítése és működése egy házhoz vagy egy városhoz? Tegyétek ezt úgy, hogy alkosson két-három fő egy csoportot, és válasszatok, hogy a sejtnek a házhoz vagy a városhoz való viszonyait, hasonlóságait és különbségeit gyűjtitek-e össze. Pl. mi lenne a polgármesteri hivatal, az erőművek, üzemek, a napelemek, a posta, az úthálózat, a várfal, a pillér, a hulladékfeldolgozó stb., és miért?

SEJT	
SEJTALKOTÓ	FELÉPÍTÉS és MŰKÖDÉS
sejtmag	<p>A sejtműködések irányítója. Benne található a kromoszómák, illetve a sejt DNS-ének döntő többsége. Itt történik a DNS információjának átírása. Általában egy van egy sejtben. Az emberi érett vörösvértestekben nincs sejtmag.</p> 
sejtmembrán	<p>Lipid-kettősréteg (elhatárol, mert a középső rész víztaszító), receptorfehérje (jelfelfogás), ioncsatorna-fehérje (ionok átérésztése), szállítófehérjék (anyagok átjuttatása), szénhidrátok (jelzés pl. ABO vércsoport). A jelzőanyagok (antigének) azonosságát, különbségét vizsgálni kell véradásnál, szervátültetésnél.</p> 
sejtplazma	<p>Vizes oldat, benne sejtalkotók, enzimek és egyéb fehérjék, ionok, cukrok, zsírcseppek.</p> 
sejtváz	<p>Fehérjefonalakból és fehérjecsövekből álló hálózat, amely rögzíti a sejtalkotókat, megadja a sejt alakját, részt vesz a sejtmozgásokban és a sejtben belüli anyagszállításban. Különösen szabályos elrendezésben található meg a vázizmokban.</p> 

## SEJT

SEJTALKOTÓ	FELÉPÍTÉS és MŰKÖDÉS
<b>mitokondrium</b>	<p>Kettős hártával határolt, önálló DNS-sel, riboszómákkal, enzimekkel rendelkező sejtalkotó. A biológiai oxidáció (nagy része) és így az ATP-termelés is itt zajlik. Viszonylag sok van belőlük a májsejtekben, vesesejtekben. Az érett vörösvértestekben hiányzik.</p> 
<b>riboszóma</b>	<p>A fehérjék előállításában vesz részt. Viszonylag sok van belőlük pl. a hasnyálmirigyben, a májban.</p> 
<b>belső membránrendszerek</b>	<p>A maghártával kapcsolt, riboszómákkal teli rész, a fehérjeszintézis helye. A másik része lipideket állít elő (pl. herében), vagy kalciumraktár (pl. vázizmokban), vagy méregtelenítő enzimeket tartalmaz (pl. májban).</p> 
<b>Golgi-készülék</b>	<p>Hártyákból és hólyagocskákból épül fel: fehérje jelzése és membránba csomagolása a feladata.</p> 
<b>lizoszóma</b>	<p>Hártya határolja, bontó enzimeket tartalmaz, a sejt nem szükséges anyagait, illetve a kívülről sejtbe jutó egyes anyagokat (pl. baktériumok anyagai) bontja le. Viszonylag sok van belőlük a fehérvérsejtekben.</p> 
<b>zöld színtest</b>	<p>Kettős hártával határolt, önálló DNS-sel, riboszómákkal, enzimekkel rendelkező sejtalkotó. A fotoszintézis és így a szénhidrátok (glükóz, keményítő) előállítása zajlik itt. A növények levelében, zöld szárában viszonylag sok van belőlük.</p> 

SEJT	
SEJTALKOTÓ	FELÉPÍTÉS és MŰKÖDÉS
sejtfal	<p>Növényeknél főként cellulózból, gombák többségénél kitinből, baktériumoknál szénhidrátokból és fehérjékből épül fel. Mechanikai védelmet biztosít (pl. nagyobb belső nyomást kibír a sejt).</p> 
sejtnedvvel telt üreg (központi vakuólum) növényi sejtalkotó	<p>Festékanyag (sejttérfogat szabályozása, anyagraktározás)</p> 
zárvány	<p>A sejt számára káros vagy felesleges anyagok elkülönítése, amelyek így már nem vesznek részt az anyagcserében. Lehetnek kristályzárványok (pl. kalcium-oxalát), de tartalék tápanyagok (fehérje, keményítő, olaj) is.</p> 
Sejtközpont	<p>A sejtosztódás során a kromoszómák mozgásában, a sejt kettéválásában van szerepe. Két egymásra merőleges henger, egy henger 9×3 db fehérjecsövecskéből áll.</p> 
Ostor, csilló	<p>Aktív mozgásra képes plazmanyúlványok. Például a sejtmozgásokban van szerepük: a légcső csillós hámja a garat felé mozgatja a porral, korommal, baktériumokkal szennyezett nyálkaréteget. A hímivarsejtek is ostor segítségével mozognak.</p> 

**Alkoss!**

Gyurmából vagy általad választott egyéb anyagokból építs egy állati vagy egy növényi sejtet! Fényképezd le és feliratozd, majd oszd meg társaiddal a képet!



### Gondold újra! Reagálj!

Egy általad választott, a mindennapi életből vett hasonlat alapján mutass be egy sejtalkotót (pl. olyan, mint: könyvtár, raktár, erőmű, posta stb). A többiek mondják meg (vagy internetes szavazórendszerrel küldjék be) annak a sejtalkotónak a betűjelét, amelyet a felépítésével és/vagy működés hasonlósága alapján azonosítottak. Az eredmények alapján a hasonlatot adó személy gondolja újra, hogy megfelelő-e a hasonlata. Próbáljatok érvelni az eredeti elgondolás mellett vagy ellen!

# Kísérletezz!

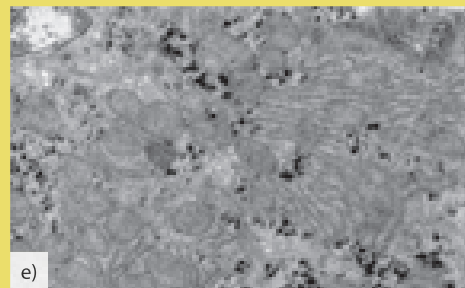
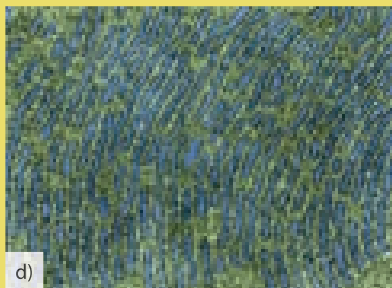
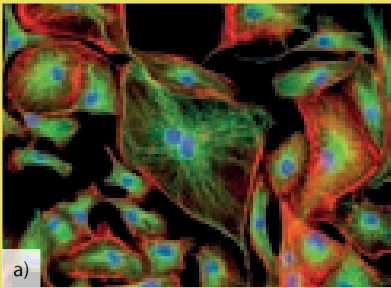


Vöröshagyma külső, száraz buroklevelében figyeld meg mikroszkópban a kristályzárványokat!

Tervezz kísérletet, amelyben igazolhatod, hogy a zárvány anyaga kalcium-oxalát vagy kalcium-karbonát!

### Fedezd fel!

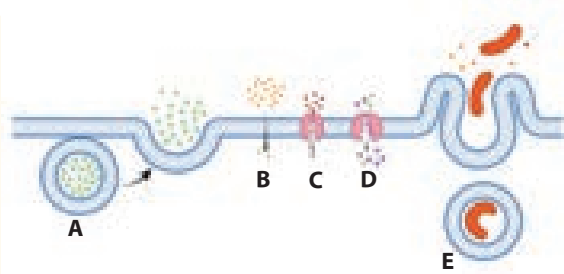
Melyik sejtalkotókat tudod azonosítani a mikroszkópos képeken? Hasonlítsd össze eredményedet a többiekével!



**Magyarázd el!**

A szöveg alapján próbáld azonosítani, hogy mely transzportfolyamokat mutatja az A–E betűk? Mondd el a többieknek, hogy miért, hogyan jutottál ezekre az eredményekre!

A sejtek a sejthártyán keresztül a környezetükkel anyag-, energia- és információcserét végeznek. Az anyagáramlás (pl.  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ , glükóz) a sejt és környezete között történhet a nagyobb koncentrációjú hely felől az alacsonyabb koncentrációjú hely felé (passzív transzport, diffúzió), valamint külső energia, ATP befektetésével (aktív transzport) a kisebb koncentrációjú hely felől a nagyobb koncentrációjú hely felé (pl. ionok, cukor). Egyes esetekben az anyagok nagyobb méretük miatt membránnal együtt kerülnek be (endocitózis) a sejtbe vagy ki (exocitózis) a sejtből.

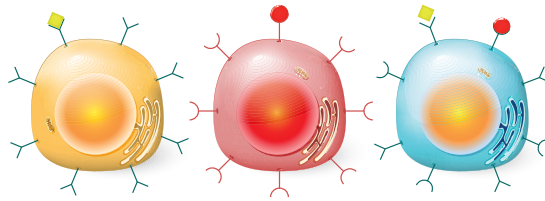
**Vesd össze!**

A szöveg elolvasása után válaszolj, hogy mi döntheti el, hogy a májsejt felveszi vagy leadja a cukrot?

A sejtek közötti kommunikációban nagy szerep jut különböző hírvivő molekuláknak (pl. hormonoknak), amiket egy másik sejt a receptorai-val fog fel, és ennek hatására a sejtben valamilyen anyagcsere-változás megy végbe.

Például legyen az egyik sejt a hasnyálmirigy sejtje, amely egy inzulin nevű hormont bocsát ki. Ez a testfolyadékokon keresztül eljut pl. a májsejtek receptoraihoz, és a májsejtekben anyagcsere-változást idéz elő. Felveszik a vérből a szőlőcukrot (csökken a vércukorszint) és glikogén nevű raktározott szénhidrátot készítenek.

A másik példa: izgalom hatására a mellékvese adrenalin nevű hormont juttat a testfolyadékba, így eljut a májsejtekig, ott egy másik receptorhoz kötődik, és a májsejtben egy másik anyagcsere-változás jön létre: a raktározott glikogént egy enzim lebontja szőlőcukorrá, ami kikerül a sejtből, ennek következtében a vércukorszint emelkedik.



## Hogyan gondolod? Fedezd fel!

*Mitokondriális betegségek. Izomgyengeség, látászavar, nagyothallás, tanulási nehézségek, memóriazavar, cukorbetegség, epilepszia, fiatalkori stroke, migrén, pajzsmirigy betegség: látszólag egymástól teljesen különböző betegségek, amelyek háttérében gyakran az ún. mitokondriumok hibás működése áll. A mitokondriális betegségek mintegy 30-40 százalékban már gyermekkorban jelentkeznek, még hozzá nagyon súlyos formában...*

*A sejtszervecskék hibás működése részben örökletes, de egyre gyakoribbak a szerzett mitokondriális hibák is.*

*A mitokondriális betegségeket meggyógyítani ugyan nem lehet, ám lassítani, mérsékelni lehet az általuk okozott életminőség-romlást.*

*Forrás: semmelweis.hu*

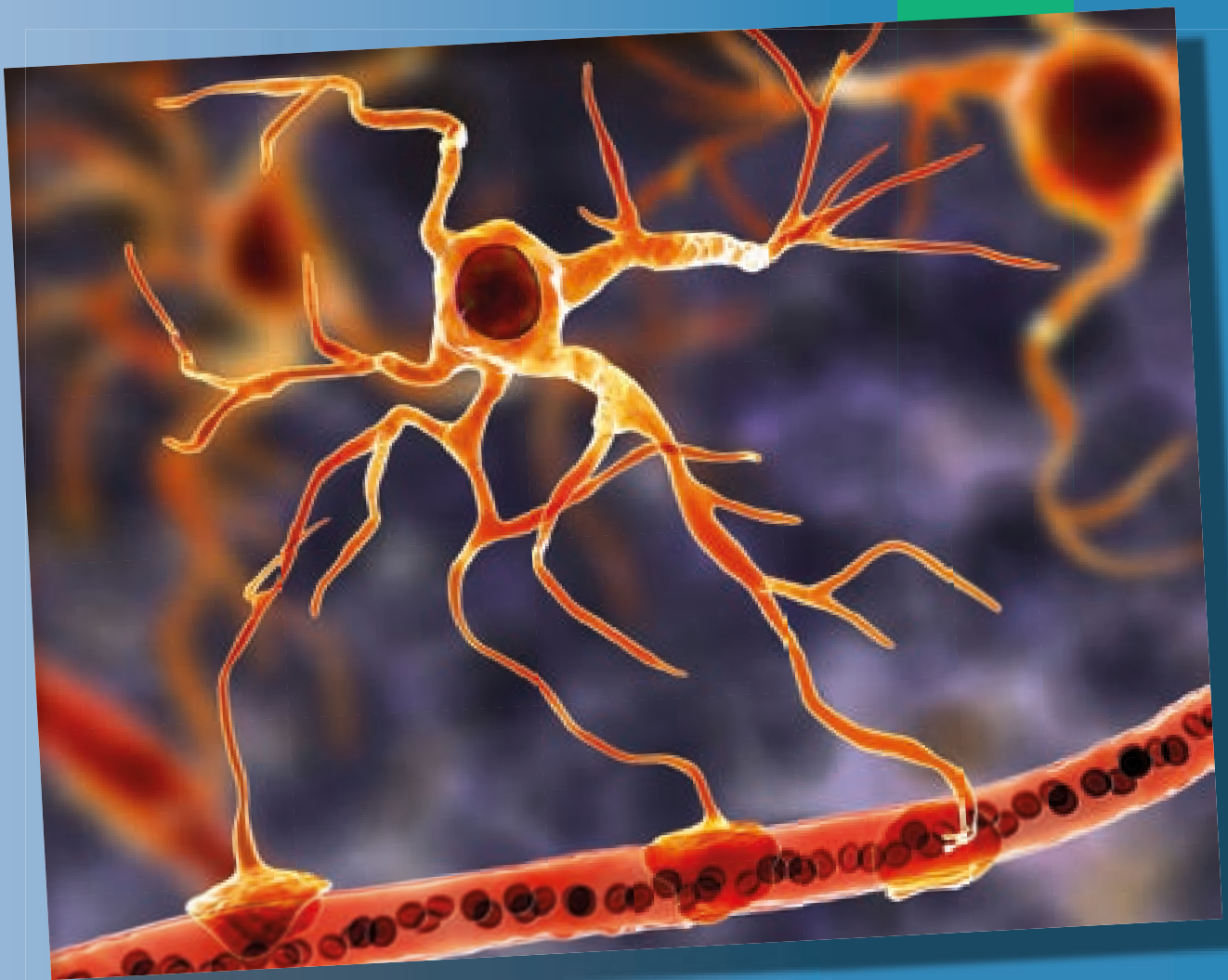
1. Magyarázd meg, mi lehet a közös a felsorolt betegségekben, hogyan hozható ez kapcsolatba a mitokondrium működésével?
2. Mit jelent az, hogy megszerezhetők a hibás mitokondriális működések?
3. A megtermékenyítés során a hímivarsejtből nem jutnak be a mitokondriumok a petesejtbe, így minden mitokondrium anyai eredetű. Milyen következtetéseket tudsz ez alapján levonni a mitokondriális betegségek öröklődésével kapcsolatban?
4. Az új mitokondriális molekulák újratermelődését nagy mértékben segíti a napi rendszerességgel végzett mozgás is. Mit gondolsz, miért?

Az eukarióta sejtben található sejtalkotók összességükben az életkritériumok teljesülését szolgálják. Biztosítják az elhatárolódást és a kapcsolatot a környezetükkel, anyagforgalmat bonyolítanak le, energiát alakítanak át és információs működéseket végeznek. Ennek érdekében

- irányítják a sejtműködéseket (sejtmag)
- anyagokat állítanak elő (riboszómák)
- anyagokat bontanak le (lizoszómák)
- a sejt környezetével kapcsolatot tartanak (sejthártya)
- fényenergiát kémiai energiává alakítják át (zöld színtest)
- illetve a biológiai oxidáció, azaz a sejtlélegzés során közös energiavallutát, ATP-t állítanak elő (mitokondrium)

# 15. Összefoglalás

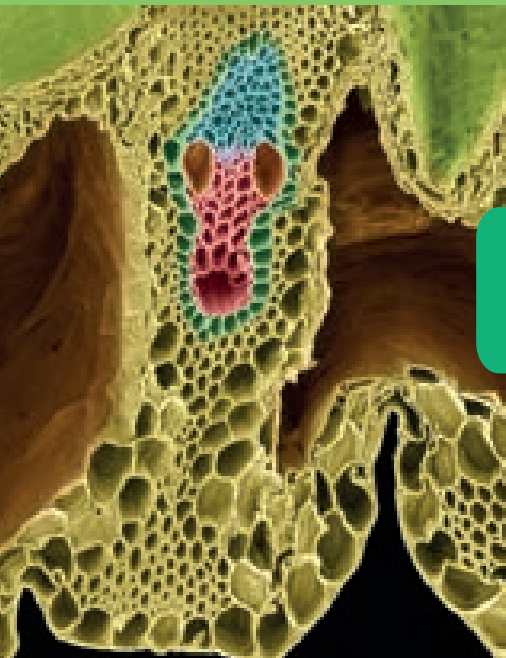
# SEJTEK ÉS SZÖVETEK IV.



16. Növényi szövetek

17. A zárva termő növények szerveinek szövettana

18. Állati szövetek



# 16.

## Növényi szövetek

1. Vajon miért jelent evolúciós előnyt a szövetek kialakulása?
2. Miben térnek el a növényi és állati szövetek egymástól?
3. Van-e közös szövettípusuk a növényeknek és az állatoknak?
4. Milyen tulajdonságok alapján lehet csoportosítani a szöveteiket?

Az evolúció során a többsejtű szervezetek közül azok voltak képesek a legjobban kihasználni környezetük erőforrásait, amelyek sejtcsoportjaik működését specializálták egy vagy néhány feladatra, azaz differenciálttá vált működésük. Így jöttek létre a növény- és állatvilág **szövetes** élőlényei (1. ábra).

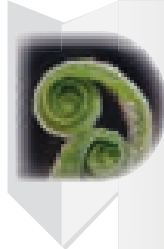
A közös eredetű, azonos feladatra differenciált sejtek szöveteket alkotnak. A differenciálódás folyamata során a sejtek fizikai és kémiai jellemzői úgy alakulnak ki, hogy az adott sejt **csak a szövetre jellemző** feladatot legyen képes ellátni. A folyamat során a sejtek **fokozatosan elveszítik osztódóképességüket**. Ugyanakkor a soksejtű szervezetben a sejtek folyamatosan pusztulnak, azokat is pótolni kell. Ezt a feladatot az **összejtek** végzik el. Ezek olyan **nem differenciálódott** sejtek, melyek **megőrizték osztódóképességüket**, és **egy vagy több szövettípus** kialakítására képesek.

A növények evolúciójának egy döntő lépése volt a szárazföldre való kilépés. A szárazföldön nem volt jelen az addig körbeölelő vizes közeg, nem volt egyenletesen elosztatva a testük körül a tápanyag, nem hatott rájuk a felhajtóerő. Ezeket a problémákat csak különböző működésre specializálódott szövetekkel lehetett sikeresen megoldani. A szövetes növények gyorsan előnybe kerültek a telepes társaikkal szemben, meghódították a szárazföldeket.

A hajtásos növényeknek meg kellett küzdeniük testük vízvesztésének megakadályozásával, ugyanakkor biztosítaniuk kellett az irányított anyagfelvételt és -leadást, valamint az elhatárolást. Ezekre a feladatokra **bőrszövet** differenciálódott. A növényi testen belüli anyagszállítás feladata a **szállítószövetekre** hárul. A növényben található egyéb feladatokat az **alapszövetek** látják el. Ezeket a szöveteket összefoglalóan állandósult szöveteknek hívjuk. Az állandósult szöveteket az **osztódószövet** hozza létre.



1. A szövetes növények szerveződési szintjei



### Idézd fel!

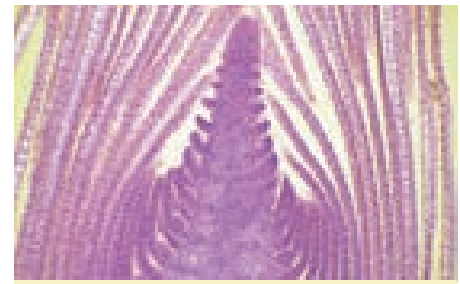
Melyik növénycsoportra jellemző, hogy az első szárazföldi szövetes, hajtásos növények?

Melyik növényfajok tartoznak ebbe a csoportba? Sorolj fel néhányat!



## I. Osztódószövet

A **hajtás- és a gyökércsúcsban** található osztódószövet a hosszirányú növekedést segíti (2. ábra). Egyszikű növények esetében ezt a szártagokban lévő osztódószövet is segítheti. Az **oldalirányú** növekedésért a **kambium** felelős, osztódásának köszönhetően szállítószöveti elemek keletkeznek. A kambium a **szállítónyalábokban** a hánccs- és faelemek között fordulhat elő. Minden osztódószöveti sejtre jellemző, hogy a folyamatos osztódás miatt sejtjeik **sok sejtplazmát tartalmaznak, vékony a sejtfaluk, bennük a sejtmagok nagyok** (3. ábra).



2. Hajtáscsúcs 40-szeres nagyításban

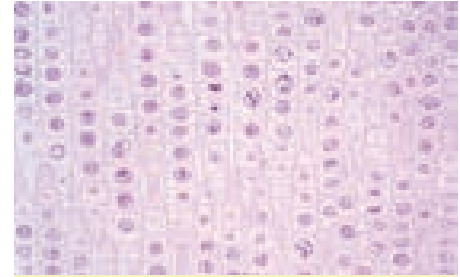


### Tervezz!

Tervezz kísérleti berendezést, amivel mérni lehet egy osztódó növényi sejtöteg által termelt széndioxid mennyiségét! A tervezésnél vedd figyelembe, hogy a csírázás normál légköri viszonyok között zajlik!

### Nézz utána!

Mire használják a növényi biotechnológiában az osztódó sejtöveget, a kalluszt? Hogyan állítanak elő kalluszt a már differenciálódott sejtekből?



3. Osztódószövet 400-szoros nagyításban

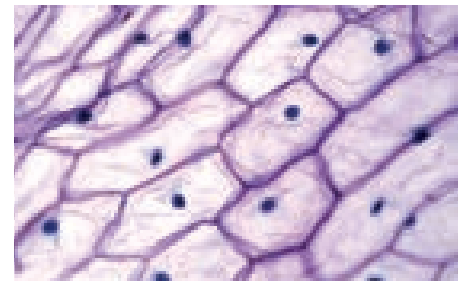
## Bőrszövet

A bőrszövet alapvető feladata a növény védelme és elhatárolása a környezetétől. Ennek megfelelően **szorosan illeszkedő sejtek** alkotják. A vízvesztést a bőrszöveti sejteken található **kutikularéteg** akadályozza meg. A fiatal bőrszövet egy sejtréteg vastagságú, és sejtjei nem tartalmaznak (a gázcserenyílás zárósejtjeit kivéve) zöld színtesteket (4. ábra).

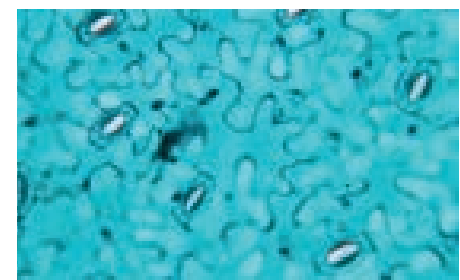
Az egy sejsornyi bőrszövet nem akadályozza a növényt az anyagok felvétele és leadása során, a tápanyagok is a bőrszöveten keresztül kerülnek a növénybe. A gyökér bőrszövege különleges, mivel nem fedi kutikula, és gázcserenyílásokkal sem rendelkezik.

A **gázcserenyílások** a bőrszöveten keresztül végbemenő anyagfelvételre és -leadásra szolgálnak. Segítségükkel oxigén és szén-dioxid cserélődik ki, valamint vizet is párologtatnak.

A gázcserenyílások légrését két bab vagy súlyzó alakú zárósejt fogja közre (5. ábra). A zárósejt a bőrszöveti sejtek között különlegesek, mivel tartalmaznak zöld színtesteket. Ezek működésével képesek az ozmotikus koncentrációjukat megemelni, így vizet vesznek fel. A megnövekedett víznyomás (turgornyomás) miatt a légrés kinyílik. A légrés mentén a sejtfa vastagabb, mint a zárósejt más részein,



4. Bőrszöveti sejtek hagymából

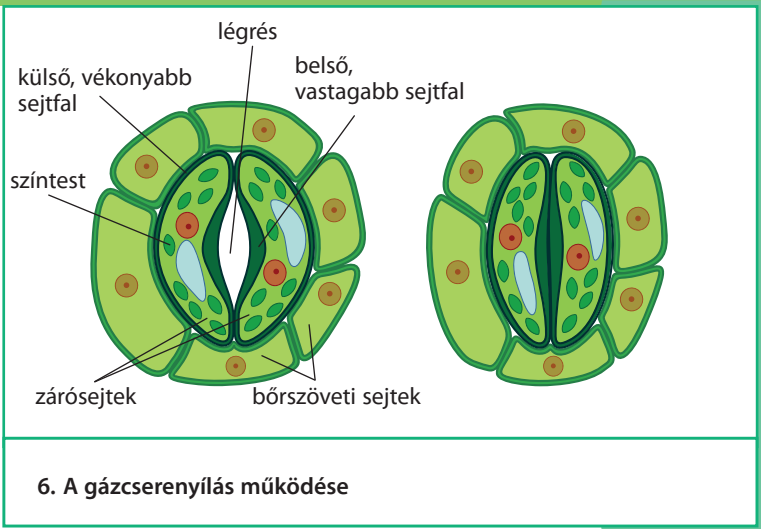


5. Nyitott gázcserenyílások



ezért a víznyomás a vékonyabb sejtfalrészeknél tudja duzzasztani a sejteket. Az oldalirányú duzzadás miatt a légrés kinyílik (6. ábra).

A bőrszövet **módosulásai** közül a legismertebb a gyökérszőr, amely a zárva-termő növények gyökerének felszívófelületét növeli. Emellett a fedőszőröknek, csalánszőröknek (7. ábra), mirigyszőröknek a védekezésben is fontos szerepük van.



6. A gázcserenyílás működése

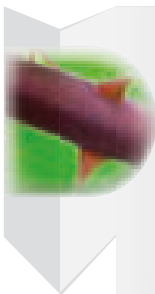


7. Csalánszár makrofotója



8. Tölgyfakéreg

Az egyéves hajtásokat **elsődleges bőrszövet** borítja, a többéves hajtásokon **másodlagos bőrszövetet**, héjkérget figyelhetünk meg (8. ábra). A héjkéreg a fa vastagodása során az egyre inkább kifelé tolódó és közben felhasadozó, elhalt szövetrétegek mellett tartalmaz sebszövetet is. Ez utóbbit osztódóképességüket visszanyert sejtek hozzák létre.



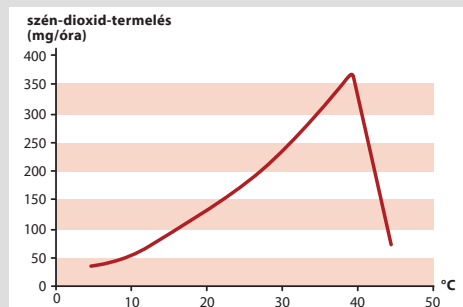
### Ítéld meg!

Mi a különbség a tüske és a tövis között? Helyes-e a „Nincsen rózsza tövis nélkül” közmondásunk?

### Magyarázd meg!

1. Az alábbi grafikon az osztódószövet aktivitását mutatja be a hőmérséklet függvényében.

- Miért lehet az osztódószövet aktivitására következtetni a szövet szén-dioxid termeléséből?
- Magyarázd a görbe lefutását!



2. Mi az összefüggés a bőrszövet feladata és sejtjeinek hullámos szélé között?

### Alkoss!

Készíts modellt a gázcserenyílás működésére 2 lufi, vastag papír és ragasztó segítségével!

# Fedezd fel!

## A bőrszövet vizsgálata

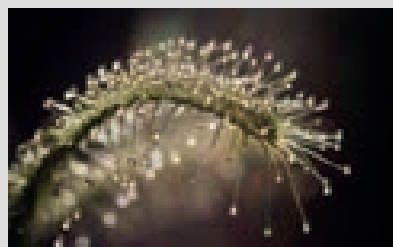
A bőrszövet sejtjei olyan szorosan kapcsolódnak egymáshoz, hogy rétegük egyszerűen lehúzható az alattuk levő alapszöveti sejtekről. Így könnyen készíthető a mikroszkópos vizsgálatokhoz bőrszöveti nyúzat.

Borotvapengével óvatosan ejts kis bemetszést egy szobanövény, például ciklámen frissen levágott levelének színén (fény felőli oldalán), majd a fonákján (árnyékos, alsó felszínén). Csipesszel húzd le az átlátszó bőrszöveti réteget! Tedd a metszeteket tárgylemezre, cseppents rájuk vizet, és vizsgáld meg mindkettőt mikroszkóppal! Készíts rajtot, és lásd el feliratokkal az azonosított részeket! Keresz magyarázatot arra, miért a levél fonákján vannak legtöbbször a szárazföldi növények gázcserenyílásai, és miért hiányoznak a levél színéről!

## Nézz utána!

Hogyan képes a zárósejt változtatni sejtplazmájának ozmotikus koncentrációját? Milyen ionok és hormonok lehetnek ebben fontosak?

Az ábrán egy harmatfűfaj leveléről készült makrofotót láthatsz. Mi a tentákulum? Miért van szüksége rovar-emésztésre a harmatfűnek? Milyen rovaremésztő fajokat ismersz? Milyen módon ejtik csapdába a rovarokat ezek a növények?



## II. Szállítószövet

A szállítószövet feladata a növényen belüli anyagmozgatás. A vizet és az ásványi sókat a **farész** szállítja a gyökértől a hajtás többi része felé. A **hánccs részben** a fotoszintézis során keletkezett szerves anyag mozog (általában szacharózoldat formájában) a felhasználási helyek felé. A farészben nagy méretű lyukak láthatók, ezek az elhalt, vastag falú **vízszállító csövek**, amelyek vízszállító sejtekből épülnek fel. A vízszállító csövek **csak a zárwatermőkben** fordulnak elő (9. ábra). A vízszállító sejtek a harasztok és a nyitwatermők egyedüli vízszállító elemei. A faelemek élő elemei a faparenchima sejtek, ezek tartalék tápanyagot raktároznak.

A **hánccs részben rostasejteket** és **rostacsöveket** láthatunk. A rostacsövek a rostasejtek egyesüléséből jönnek létre, és csak a zárwatermő növényekre jellemzők. Mindkét hánccs részben sejtplazma található, tehát a farésszel ellentétben sok élő elemet tartalmaz a hánccs rész. A rostacsöveket a lyukacsos rostalemezek választják el egymástól, ezeken ke-



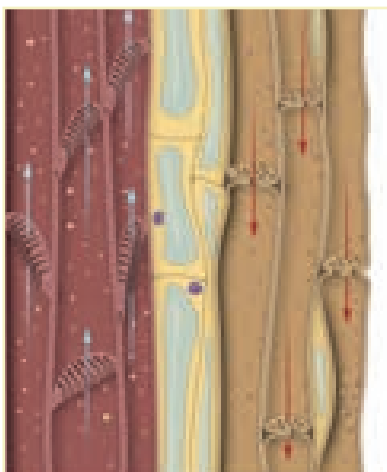
9. Lágy szárú, kétszikű növény szárának keresztmetszete fénymikroszkópos felvételen

## Nézz utána!

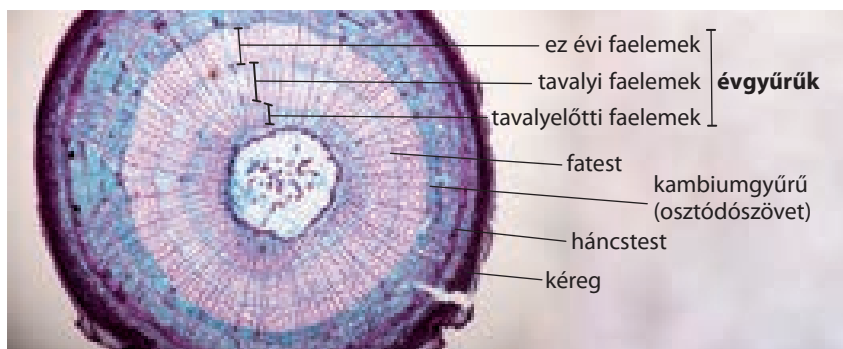
Mi a bélsugár, mi a feladata a fás szárban?

resztül történik a szerves anyagok átadása két rostacsótag között (10. ábra).

A szállítószövetek a hajtásos növényekben **edénynyalábokat** alkotnak. Az edénynyalábok szerвенként eltérő felépítésűek lehetnek. A gyökerekben egyszerű edénynyalábot találunk, ezek vagy farészt, vagy háncsrészt tartalmaznak. A szárban az edénynyalábok összetettek, fa- és háncsrészt is tartalmaznak. Ha két rész között kambium található, akkor **nyílt** nyalábról beszélünk (9. ábra), míg ha hiányzik az osztódószövet, akkor **zárt** az edénynyaláb. A nyílt nyalábok képesek növekedésre, és elsősorban az évelő kétszikűek lágy szárában találhatók. A zárt nyalábok az egyszikűek szárában és a levelekben fordulnak elő. A fás szárú növényekben a növekedés során a nyílt nyalábok kambiumai egyesülnek, és egységes **kambiumgyűrűt** alkotnak. Az egységes kambium-henger hozza létre a fatestet (11. ábra) és a háncrestet.



10. Szállítónyaláb hosszmeteszete



11. Fás szár keresztmeteszete

### Alkoss!

A harasztok gyöktörzsében különleges felépítésű edénynyalábok találhatóak. Készíts a különböző növényi törzsekben előforduló edénynyalábokról posztert!

### Magyarázd meg!

Eddigi ismereteid alapján indokold meg, hogy miért fontos az, hogy egy évelő növény szárában nyílt edénynyaláb legyen!

### Számold ki!



1. Mekkora hidrosztatikai nyomást kell elviselnie egy 30 méter (h) magas fa vízszállító csöveinek a talajszinten? (A hidrosztatikai nyomás képlete:  $p = \rho gh$ , ahol  $h$ : a magasság,  $\rho$ : a sűrűség,  $g$ : a nehézségi gyorsulás.)
2. A légköri nyomásnak (101,3 kPa) hányszorosa az itt mérhető nyomás? (Vigyázz, a légköri nyomás is hat a fára!)
3. Mekkora a lakások vízvezetékében mérhető nyomás?

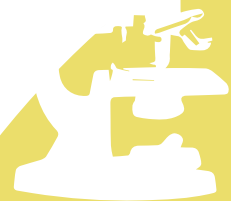
# Kísérletezz!

## A szállítószövet vizsgálata

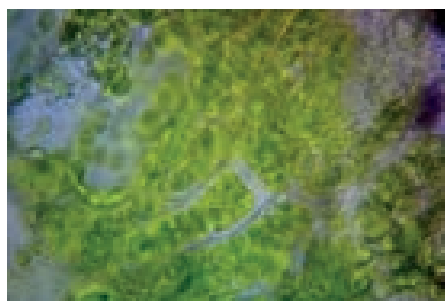
A szállítószövet edénynyalábjai a növény egész testét behálózzák. Erről magad is könnyen meggyőződhetsz, ha elvégzed a következő egyszerű kísérletet.

Vágd le egy fehér virágú növény hajtását, és állítsd zöld tintával megfestett vízbe! Világítsd meg a hajtást, és figyelj meg a szirmok elszíneződését!

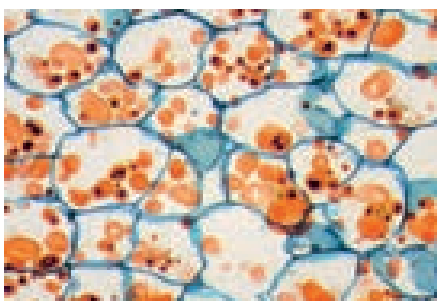
A szirmleveleken a felszívott festékanyagnak köszönhetően jól látható, hogy a nagyobb edénynyalábok egyre kisebb ágakra bomlanak.



## Alapszövetek



12. Fotoszintetizáló alapszövet levélből



13. Burgonya gumójának raktározó alapszöveve keményítőszemcsékkel



14. Vöröshagyma-fellelélben megfigyelhető kalcium-oxalát-kristályok

Az alapszövetek a növény szerveiben a bőrszövet és a szállítószövet között helyezkednek el. Több típusát különböztetjük meg: A fotoszintetizáló vagy **táplálékkészítő** alapszövet (12. ábra) végzi a növény felépítő folyamatainak döntő részét. Feladatának megfelelően sejtjei sok **zöld színtestet** tartalmaznak, és közelükben nagy **sejt közötti járatok** találhatóak, melyek a gázcserejükhöz szükségesek. Szivacsos és oszlopos változatát különböztetjük meg.

A **raktározó** alapszövet (13. ábra) sejtjeiben **zárványokban** találhatóak meg a növény **tartalék tápanyagai**. A föld alatti raktározószervekben (pl. gumó, gyök-törzs), a termések falában (pl. makktermés), a magvak sziklelevelében (pl. bab) vagy tápszövetében (pl. gabonafélék) leggyakrabban **keményítőszemcsék** raktározódnak. Tartalék tápanyag lehet az **olaj** (pl. napraforgó kaszattermése) vagy a **fehérje** (pl. szója) is.

A **kiválasztó** alapszövet szintén zárványokban, pl. kalcium-oxalát-kristályokban (14. ábra), tejnedvben (pl. pongyolapitypang), gyantában (pl. fenyő), illóolajokban (pl. narancs) különbözteti el a növény számára feleslegessé vált anyagcseretermékeket.

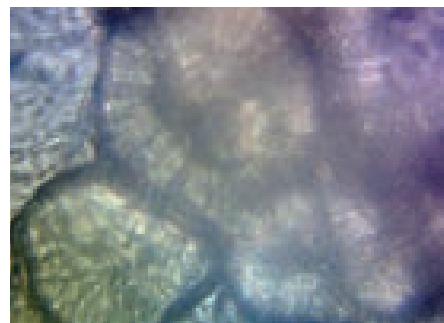
A szárazsághoz alkalmazkodott pozsgás növények **víz tartó** alapszövettel rendelkeznek. Ezek a növények sziklagyepekben, szikes területeken, sivatagokban élnek. A száraz környezethez való alkalmazkodás miatt magas víztartalmú sejteket halmoznak fel.

A vízinövényeknél különösen nagy jelentősége van a sejteket oxigénnel ellátó **átszellőztető** alapszövetnek (15. ábra). Az átszellőztető alapszövet a táplálékkészítő alapszövet körül is megfigyelhető, így biztosítja a fotoszintézist végző sejtek szén-dioxid-ellátását.

A **szilárdító** alapszövet a növényi test szilárdítását végzi. A szövetet alkotó sejtek vastag sejtfallal rendelkeznek, olykor teljesen elhaltak (kősejtek, 16. ábra).



15. Átokhínár szárkeresztmetszetének átszellőztető alapszöveve



16. Szilárdító alapszövet körte terméséből

### Nézz utána!

Mire használják a szilárdító alapszövetet az iparban? Milyen növényeket termesztene elsősorban a szilárdítószöveveik miatt?

Nézz utána Jared Diamond *Háborúk, járványok, technikák* című könyvében, hogyan határozták meg a világtörténelmet az egyes földrészek eltérő gazdasági növényei!

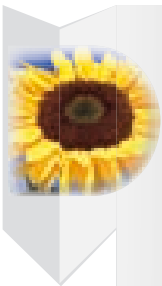
# Kísérletezz!

## Raktározó alapszövet vizsgálata

Áztass be néhány órára egy babszemet! Távolítsd el a maghéjat, válaszd szét a két vastag sziklevelet! Készíts a sziklevelekből borotvapengével vékony keresztmetszetet! Tedd tárgylemezre, cseppents rá vizet, és fedd le! Ezután a fedőlemez egyik oldalára tegyél néhány csepp jódooldatot (Lugol-oldat)! A fedőlemez másik oldalára helyezz egy szűrőpapírcsíkot!

A szűrőpapír átszívja a jódooldatot a metszeten. A jód a raktározó alapszövet keményítőzárványait kékre színezi, így azok könnyebben azonosíthatók.

Vizsgáld meg a metszetet mikroszkópban, készíts rajzot! Ismereteid alapján magyarázd meg, miért tartalmaznak a magvak sok raktározott tápanyagot!



### Fedezd fel!

Keress földrészenként egy-egy olyan növényt, amelyeket keményítő-, fehérje- vagy olajtartalmú raktározó alapszövetük miatt természetnek!

Milyen a víztartó alapszövet nyálkaanyagainak kémiai felépítése, hogyan járul ez hozzá a sejtek vízmegtartó feladatához? Miért simul ki a kaktuszok barázdált szára eső után?

### Alkoss!

Készíts posztert a hánccrostonövények feldolgozásáról! Hogyan dolgozzák fel manapság, hogyan történt a paraszti gazdaságokban? Milyen eszközöket használtak régen erre a munkára?

### Gondolkodj!

Miért veszik körül a fotoszintetizáló alapszövetet nagy sejtek közötti járatok? Kövesd végig az oxigén és a szén-dioxid útját a növényekben!

A növényi szövetek négy alaptípusa: osztódó-, bőr-, szállító- és alapszövet.

Az osztódószövetből származtatható minden szövettípus. Ezek eltérő differenciálódás során jönnek létre.

A bőrszövet a növényt védi, határolja, környezetével gázcserét folytat és párologtat.

A szállítószövet farésze vizet és ásványi sót, hánccsrésze szerves anyagot szállít. Vastag falú, a szállítás irányában megnyúlt sejteket tartalmaz.

Az alapszövetek a növényi anyagcsere egy-egy jellegzetes részfolyamatára specializálódnak.

## 16. Összefoglalás

## 17.

## A zárva termő növények szerveinek szövettana

1. Hogyan működnek együtt a szövetek egy adott szervben?
2. Miről árulkodik egy szárkeresztmetszet?
3. Miért látható egy körlap a keresztbevágott sárgarépa gyökér felszínén?
4. Mit árulhat el a szövettani vizsgálat a növény élőhelyéről?

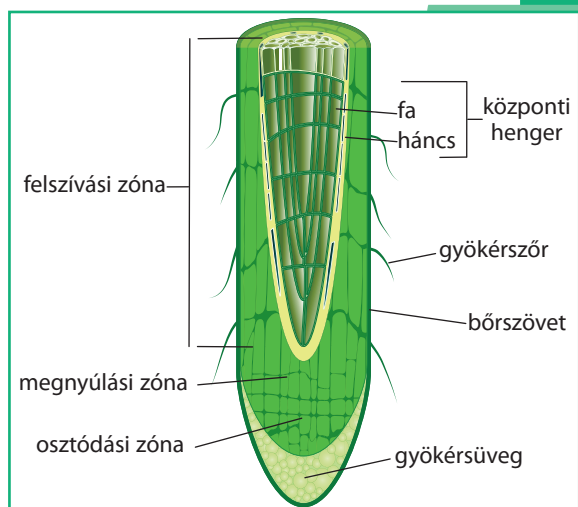
## I. A gyökér felépítése

A gyökér feladata a növény **rögzítése**, valamint a **víz és az ásványi sók felvétele** a talajból. A gyökér bőrszöveti sejtjeinek sejthártyájában olyan **fehérjemolekulák** találhatóak, melyek képesek a talajoldatban levő ionok szelektív megkötésére és **aktív transzporttal** való felvételére. Ennek következtében megnő a sejtek ozmotikus koncentrációja, ami a víz passzív beáramlását eredményezi a gyökérbe.

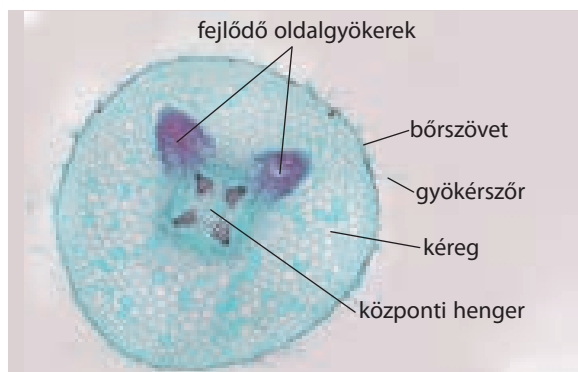
A **gyökérszőrök**, melyek a zárvatermők evolúciós újításai, nagymértékben megnövelik a gyökér felszívófelületét, így a tápanyagok felvétele gyorsabbá válhat. A gyökércsúcstól távolodva fokozatosan differenciálódó szöveteket figyelhetünk meg. Ezek a gyökér hosszmetését jellegzetes megnyúlási, felszívási, szállítási, elágazási zónákra osztják fel (1. ábra).

Az osztódási zónában található a gyökércsúcs osztódószöve, melynek folyamatos mitózisai hozzák létre a gyökér összes sejtjét. A gyökércsúcsra boruló gyökérsüveg védi az osztódószövetet a sérüléstől. A **megnyúlási** zónában megy végbe a gyökér sejtjeinek differenciálódása, azaz kialakul a végleges feladatnak megfelelő felépítésük. A **felszívási** zónában található a gyökérszőrök, itt megy végbe a víz és az ásványi anyagok felszívása. A felette található **szállítási** zónában figyelhetők meg a gyökércsúctól felfelé haladva először az egyszerű fa- és háncsnyalábokat alkotó szállítószöveti elemek. Az **elágazási** zónában a gyökér elágazik, oldalgyökerek keletkeznek.

A gyökér keresztmetszetében (2. ábra) kívül a bőrszövet található, amelyen nincsenek gázcserenyílások. Ezután a kéregrészt követik, amelyet alapszövet épít fel (pl. raktározó). A gyökér belsejében a központi henger a bélrészt szilárdító alapszövetéből és egyszerű edénynyalábokból jön létre.



1. A gyökér hosszmetsete



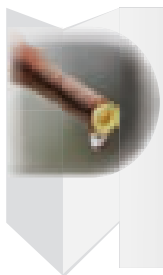
2. A gyökér keresztmetszete



# Kísérletezz! Fedezd fel!

Milyen reagenssel mutathatjuk ki a gyökérben raktározott keményítőt egy mikroszkópi metszeten?

Vegyél kezvedbe egy keresztben és egy hosszában félbevágott (főtt) sárgarépagyökér-darabot! Milyen színű részeket lehet elkülöníteni a sárgarépán? Vizsgáld meg a belső rétegben található növényi rész szerkezetét! Milyen szövet építheti fel a belső réteget? Kóstold meg a sárgarépát! Milyen alapszövet építheti fel a gyökeret?



## Alkoss!

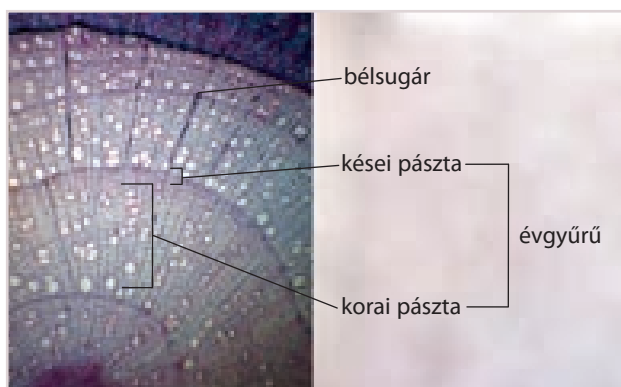
A gyökér a talajjal a bőrszövet sejtjein keresztül érintkezik. A gyökér a vizet passzív transzporttal veszi fel. Hasonlítsd össze a gyökér sejtjeinek és a talajvíz oldatának ozmotikus koncentrációját! Hogyan függ össze ezek alapján a gyökér víz- és ionfelvétele? Készíts posztert arról, hogyan mozog a víz a gyökértől a hajtás csúcsa felé!

## A szár felépítése

A szár feladata a növény **tartása**, a **tápanyagok szállítása** a talajból a levélbe, illetve a **szerves anyagok** felhasználási helyük felé **továbbítása**. Ezeket a feladatokat a szállítószövetből felépülő **összetett edénnyalábokkal** hajtják végre. A szárak mechanikai tulajdonságának kialakításában szerepet kapnak a szilárdító alapszövet **rostjai** is.

A hajtásos növény lehet fás és lágy szárú. Az idősödő **fás szárban** a szállítószövetet képző kambium osztódószöveve egységes gyűrűt képez. A kambium minden évben **új fa- és háncsrészt** képez. A farész ráépül a már meglévő faelemekre, így **fatestet** hoz létre. A fatest legbelső rétege a **geszt**, amely eltömődött, szállítást nem végző sejtekből áll. A fatest külső része a **szíjács**, ami még működő elemeket tartalmaz. Az új háncsrész beemelődik a kambium és az előző évi háncsrész közé. A fás szár legbelső alapszöveti rétege a bél, az innen kiinduló sejtnyalábok, a **bélsugarak** adják meg a fa mintázatát, textúráját. A bélsugarak feladata a szárban a **raktározás** és az **oldalirányú szállítás**. A fás szár növekedése során a farész minden évben bővül egy réteggel, míg az előző évi háncsrész felrepedezik, elhal. Ez a rész hozza létre a fás szarát burkoló héjkerget.

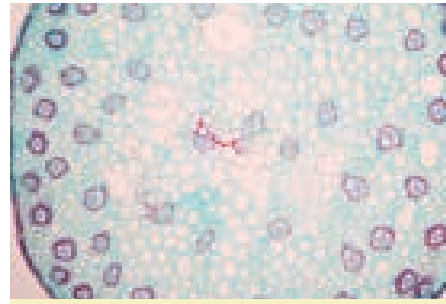
Azokon a területeken, ahol a csapadék eloszlása nem egyenletes, a kambium sem működik egyenletesen az év során. Ezekon a területeken a fatesten **évyűrűket** láthatunk (3. ábra). Az északi félteke mérsékelt övében tavasszal nagyobb mennyiségű csapadék hul-



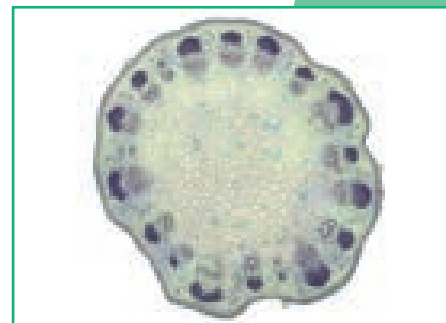
3. Kislevelű hárs (*Tilia cordata*) évyűrűi 40-szeres nagyításban

lik. A hőmérséklet emelkedésével megindul a lombképzés, ami nagy mennyiségű víz és ásványi só szállítását igényli. Ekkor a kambium nagy átmérőjű vízszállító elemeket hoz létre, ezek alkotják az évgyűrű korai pásztáját (tavaszi). A lombfakadást követően a csapadék mennyisége és az elpárologtatott víz mennyisége is csökken, ekkor keletkezik a szűkebb átmérőjű edényekből álló kései pászta (ősz). Egy korai és egy késői pásztából áll egy évgyűrű. Mivel normális esetben minden évben egy korai és egy késői pászta keletkezik, az évgyűrűkből meg lehet állapítani a fás szárú növény életkorát. A korai pászta vízszállító elemei tág üregűek, ezért világosabb színűek. A kései pászta, melyben a sejtfaalak szorosan egymás mellett helyezkednek el, sötétebb színű.

A fás szárhoz képest a **lágyszárban** a szállítónyalábok elkülönülten találhatók meg, azokat alapszövet választja el egymástól. A **kétszikű szárban** a szállítónyalábok egy **koncentrikus körben** (4–5. ábra) helyezkednek el, míg a **egyszikűeknél** a szállítónyalábok **szórtan**, valójában több körben találhatók meg. Ha a növény egyéves, akkor szállítónyalábjai **zártak**, nem tartalmaznak kambiumot. Az évelő lágyszárúak a fa- és hancsrész között kambiumot tartalmazó, **nyílt** nyalábokkal rendelkeznek. Az alapszöveti sejtek között (zöld szár esetén) asszimiláló, szilárdító és raktározó alapszövetet találunk.



4. Egyszikű lágyszár



5. Kétszikű lágyszár



## Kísérletezz! Fedezd fel!

A szállítószövet vizsgálatához legkönnyebben lágyszárú növény fiatal szárából készíthetsz keresztmetszetet.

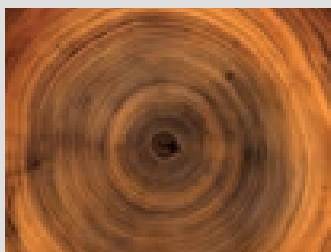
A szárra merőlegesen borotvapengével levágott vékony szeletet tedd tárgylemezre, cseppents rá vizet, és vizsgáld meg mikroszkóppal! A metszeten elsőként azonosítsd a bőr-, az alap- és a szállítószöveteket. Ezután válassz ki egy edénynyalábot, és vizsgáld meg nagyobb nagyítás mellett! Keresd meg a farészt, és benne a tág üregű vízszállító csöveket. Figyeld meg a hancsrészt, és ha van, az osztódószövetet! Segítségül használd a 4. és 5. ábrát! Készíts rajzot a füzetedbe, nevezd meg az ábra részeit!

A radiokarbonos kormeghatározást Willard Frank Libby dolgozta ki. A lényege az, hogy a szén 14-es izotópjának bomlása révén meg lehet határozni egy adott fosszília korát. A vizsgálatok kiderítették, hogy a módszer nem egészen pontos.

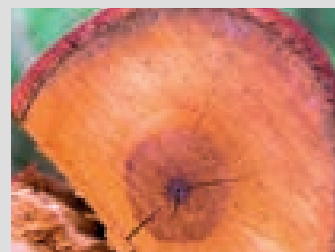
**Hogyan pontosították a borostásfenyő évgyűrűi segítségével a radiokarbonos módszert?**

### Vesd össze!

Milyen eltéréseket fedezel a fel az egyenlítői övből származó mahagóni- és a mérsékelt övezeti tölgyfa fatestének felépítése között? Mi lehet a különbség oka?



Tölgyfa törzsének keresztmetszete



Mahagónifa törzsének keresztmetszete

### Magyarázd el!

Hogyan hatnak az évgyűrűrendszerre a következő hatások?

- Gyapjaslepke-tarrágás következik be tavasz végén.
- A nyári erdőtüzet túléli a fa, de elveszíti lombzatát.

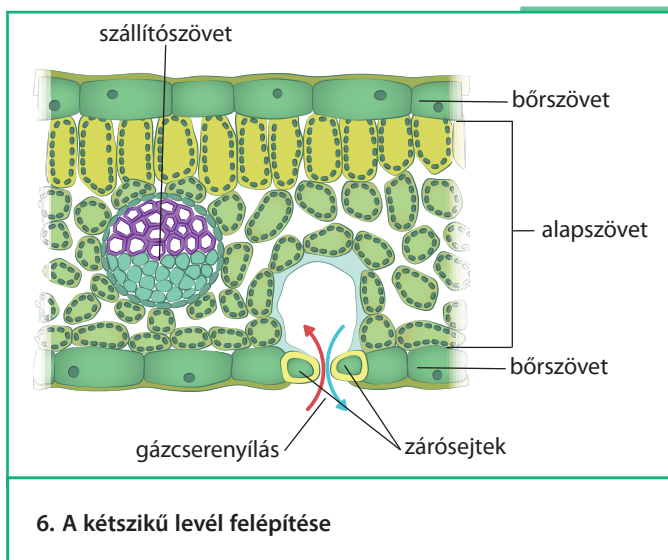
### Alkoss!

A fás szár szerkezete eltérő lehet. Némelyik fa könnyebben hasítható, némelyik nehezebben. Készíts plakátot a hazánkban előforduló puha- és keményfákról! Mutasd be a faanyagok mintázatát, színét!

## II. A levél felépítése

A levél feladata a **fotoszintézis**, valamint az ehhez szükséges **gázcsere** és a **párolgatatás**. Ennek megfelelően a levél legfőbb tömegét **táplálékkészítő** alapszövet tölti ki. A fotoszintézis folyamata szén-dioxidot igényel és oxigént termel, ezek a bőrszövet **gázcserenyílásain** keresztül cserélődnek ki. A gázcserenyílásokat a levél belsejében légudvar veszi körül. A fotoszintézist végző sejtek felé a gázok a légudvarba nyíló sejtek közötti járatokon keresztül jutnak el (6. ábra). A gázcserenyílások a kétszikűeknél általában a fonák oldalon helyezkednek el, míg az egyszikűeknél mindkét levélfelületen megtalálhatók.

A talajból felvett víz és ásványi sók a **levélerek** farészén jutnak fel a levelekbe, az itt keletkezett szerves anyagok a háncsrészen távoznak a levélből. A levélerek farésze a kétszikű levél színe felé, háncsrésze a fonák felé található. Az erek zárt nyálbók, azaz nem található meg bennük kambium.



### Nézz utána!

Marcello Malpighi olasz tudós vizsgálta a szerves anyag áramlását a háncsrészben. Hogyan jött rá arra, hogy a háncsrész a levelek fonákja felé néz?

### Magyarázd el!

A párolgatatás mértékét érdemes a levél felületére vonatkoztatni. Fénymásolót, ollót, vonalzót és pontos mérleget használva hogyan lehetne megállapítani a levél felszínét?

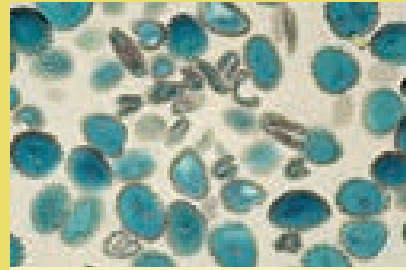
# Kísérletezz!

## Első kísérlet:

Csíráztass babot, helyezd a már több levéllel rendelkező palántákat egyenként azonos mennyiségű vízbe. (Érdemes átlátszó, keskeny, műanyag edényeket használni.) Oszd két részre a palántákat: az egyik csoportot hagyd meg kontrollnak, a másiktól vágd le a levelek felét! A kísérlet kezdetén jelöld meg a víz szintjét! A párologtatás során elfogyott víz mennyiségét a tápoldat szintjének csökkenésével követheted. Hasonlítsd össze a kontrollal az eredményeket! Milyen környezeti tényezők befolyásolhatják a kísérleted eredményeit? Hogyan lehet a zavaró hatásokat kivédeni?

## Második kísérlet:

Figyeld meg mikroszkóppal a virágporszemeket, a pollent! Készíts egy kis kaparékot a portok felületéről! Kézi nagyító alatt a kaparékot tedd tárgylemezre cseppentett vízbe! Fedd le egy fedőlemezzel, majd figyeld meg mikroszkóppal! Rajzold le a megfigyeléseidet!

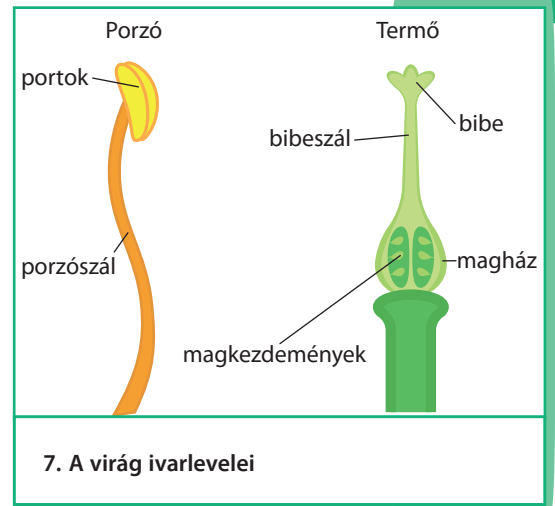


Liliompollenek

## A virág, a mag és a termés felépítése

A harasztok szárazföldi elterjedését korlátozta ivaros szaporodásuk vízhez kötöttsége. Az újabb nagy lépés a szárazföld meghódításában a növény ivaros életszakaszának víztértől függetlenné válása volt. A víztől való elszakadásnak köszönhetjük a **virág** megjelenését, mely a **nyitva- és zárvatermőkre jellemző szaporítószerv**. A két törzset magvas vagy virágos növényeknek nevezzük.

A virág termőből és porzóból, valamint takarólevelekből áll. A **zárva termő kétszikűek** osztályában a takarólevelek kétfélek. Kívül vannak a gyakran zöld színű **csészelevelek**, belül a színes **szíromlevelek**. Az **egyszikűek** osztályában a kétféle virágtakaró mellett gyakoriak az egynemű takarólevelek, amelyeket **lepelleveleknek** nevezünk. A takarólevelek védelmében helyezkednek el a **porzók és termők**. A porzó a **hím ivarszerv**, benne a **virágporszemek** (pollen) képződnek (7. ábra).



7. A virág ivarlevelei

### Gondkoddj!

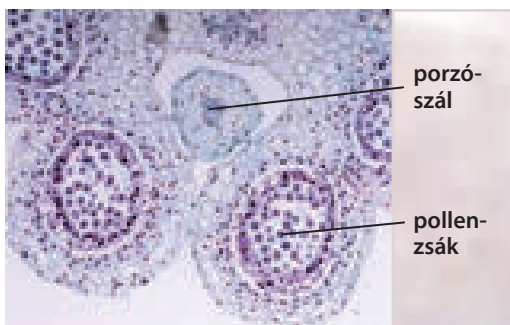
Előzetes ismereteid alapján gondold végig, hogy mi a különbség az egyivarú és kétivarú virágok között? Miben térnek el egymástól az egylaki és kétlaki növények?

Mi lehet az oka annak, hogy a különböző növényeknek különbözők a pollenjeik is?

Milyen különbségeket fedezel fel egy szélporozta és egy rovarporozta növény pollenjei között?

Az ivaros életszakasz kezdetén meiózissal spórák jönnek létre. A **diploid spóraanyasejtek** a porzó és a termőlevél falában találhatók meg (8–9. ábra). A számelező osztódás eredménye a virágpor és a magkezdemény belsejében található **embriózsák**. A nyitvatermők ivarlevelei nem forrnak össze, így ott ezek a spórák szabadon találhatók meg. A zárvatermőkben a magház belsejében elzártan zajlik le az ivaros életszakasz. A magházban végbemenő **megtermékenyítés** eredménye a **zigóta**. A magkezdemény védi a zigótából fejlődő csírárt, és kialakul a **mag**.

A magban megfigyelhető **csírárt** jellemzően **osztódószövet** építi fel. A magban raktározó alapszövet is található. Az ebben tárolt **tartalék tápanyag** biztosítja a csírázáshoz, az osztódószövet folyamatos mitotikus osztódásaihoz szükséges energiát. A magvakat sok esetben **terméshéj** veszi körül. A termések egy részében szintén raktározó alapszövet figyelhető meg. Feladata általában a mag terjesztésének elősegítése.



8. Porzó keresztmetszete



9. Magház keresztmetszete

A növényi szerveket feladatuknak megfelelően eltérő módon és arányban építik fel a növényi szövetek.

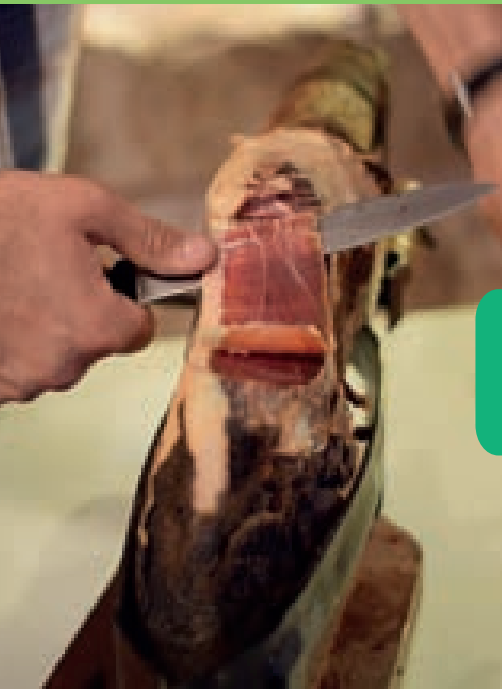
A gyökér a talaj víztartalmának felvételére specializálódott. A gyökérben található edénnyalábok egyszerűek: fa- vagy háncsrészt tartalmaznak.

A szár feladata a víz és a szerves anyagok szállítása, továbbá a növény tartása. Felépítésében a szállítószövet és a szilárdító alapszövet dominál. Szállítónyalábjai összetettek, a fás szárban egységes kambiumhenger hozza létre a fatestet és a háncstestet, a lágyszárban a szállítónyalábok egymástól elkülönülve helyezkednek el. Az egyéves lágyszár szállítónyalábjában nem található meg a kambium, ezek az edénnyalábok zártak.

A levél feladata a fotoszintézis, ennek megfelelően asszimiláló alapszövetet tartalmaz. Bőrszövetében gázcserenyílásokat figyelhetünk meg. A levél víz- és ásványisó-ellátását a levelek zárt szállítónyalábjainak farésze végzi, a szerves anyagokat a háncsrész szállítja el.

A magokban, bizonyos terméstípusokban, módosult szervekben (burgonya szárgumója, sárgarépa karógyökere) is nagy mennyiségben találunk raktározó alapszövetet. A mag csírája elsősorban osztódószövetből épül fel.

## 17. Összefoglalás



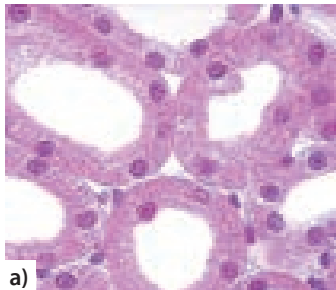
# 18. Állati szövetek

1. Hogyan tükrözi egy szövettípus felépítése a működését is?
2. Miért színesek a sejtek a szövettani metszeteken?
3. Milyen vastag egy szövettani metszet?

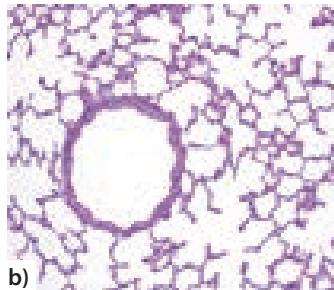
## I. Hámszövetek

Az állati szervezetet felépítő szövettípusok közül a fedést, elhatárolást, védelmet a hámszövetek végzik el. Minden állat kültakarójának külső rétegét és a belső szervek falát hámszövet borítja. Ezeket az alapfeladatokat teljesítő hámokat **fedőhámoknak** hívjuk.

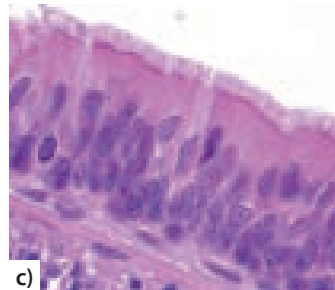
A hámszövetre jellemző, hogy sejtjeik **szorosan illeszkednek, nincs sejt közötti állományuk** (1. ábra). Mivel erek nem szövik át, ezért a tápanyagokat az alatta található érhalózatból **diffúzióval** veszi fel.



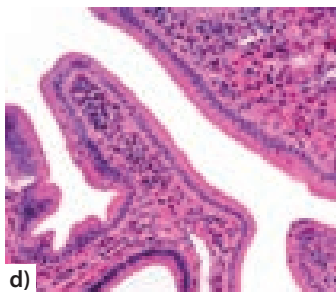
a)



b)



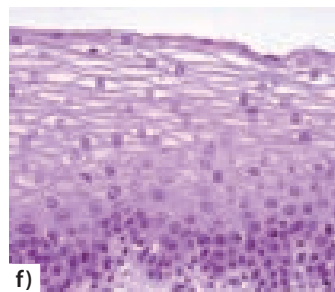
c)



d)



e)



f)

### 1. Fedőhám típusok

a) Egyrétegű köbhám; b) Egyrétegű laphám; c) Többmagsoros csillós hengerhám; d) Egyrétegű hengerhám; e) Többrétegű elszarusodó laphám; f) Többrétegű el nem szarusodó laphám

Melyik szervből készülhettek a képek? A lecke szövege alapján felfedezheted!





# Fedezd fel!

A tüdő léghólyagjainak egyrétegű laphámja nagyon sérülékeny.

1. Milyen munkakörökben alakul ki egészségtelen mechanikai terhelés a tüdőben?
2. Miért káros a dohányzás a tüdő egyrétegű laphámjára?
3. Mi a COPD, milyen tünetei vannak?

## Alkoss!

Készíts posztert arról, hogy az emberi testen hol, milyen hámtípusok találhatóak!

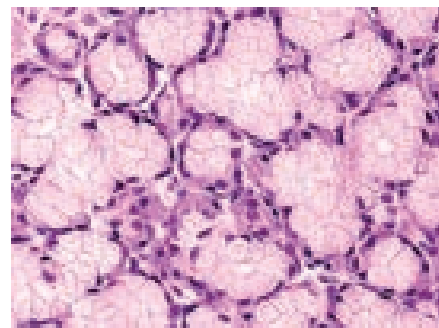
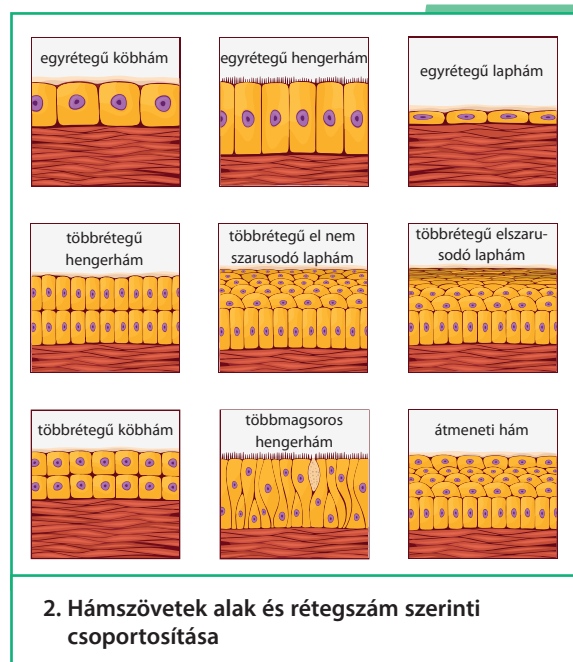
A hámszöveteket **rétegszámuk** és a **sejtek alakja** alapján csoportosíthatjuk. Megkülönböztetünk egyrétegű laphámot, köbhámot és hengerhámot, valamint többrétegű el nem szarusodó és elszarusodó laphámot is (2. ábra). A többrétegű hámnál a felső sejtréteg folyamatosan elkopik, leválik a felületről. A többrétegű elszarusodó laphám sejtszelei a felszín felé haladva keratinnal, egy apoláris fehérjével telnek meg.

A hámszöveteket **feladatuk szerint** is csoportosíthatjuk. Ennek alapján a hámok lehetnek: **fedőhámok**, **mirigyhámok**, **felszívóhámok** és **érzékőhámok**.

**Egyrétegű hengerhám** a gerinctelenek kültakarója, valamint a középbél **felszívóhámja** rendelkezik. A középbélben nagy a mechanikai megterhelés, emiatt henger alakúak a sejtek. A megterheléstől függetlenül ugyanakkor biztosítani kell a felszívódást, a megemésztett tápanyagok felvételét a keringési rendszerbe, ezért egyrétegű a hám. A felszívódás sebességét a felületnövelő képződmények, például **mikrobolyhok** növelik.

Vannak olyan szervek az emberi szervezetben, amelyek egészséges állapotában a hámok mechanikai megterhelése minimális, de nagymértékű a rajtuk keresztül végbemenő **anyagfelvétel és -leadás**. Ilyen szervrészek a **kapillárisok** és a **tüdő léghólyagjai**. Itt egyrétegű **laphám** alakul ki, ami biztosítja az anyagok gyors diffúzióját.

A gerinceseknek **többrétegű laphámjuk** van. A szárazföldi alkalmazkodást a hám **elszarusodása** tette lehetővé (többrétegű elszarusodó laphám), mivel a szaru a vízzel szemben átjárhatatlanná teszi az állat bőrét. **Többrétegű el nem szarusodó laphámmal** a halak és kétélűek (gyengén elszarusodó) rendelkeznek. Ez a hámtípus a **szájüregben és a nyelőcsőben** is megtalálható, ahol fontos, hogy a szervben levő anyag mozgatása során a súrlódás kicsi legyen, ezt a fokozatosan leváló sejtek csökkentik.



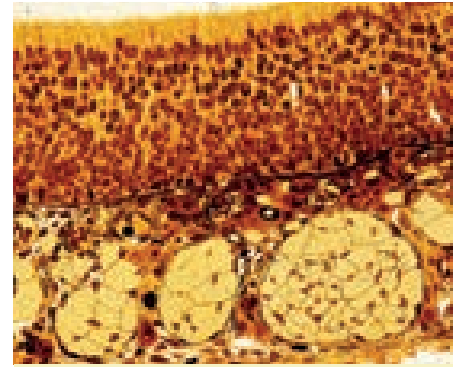
3. Mirigyszövet

A **mirigyhámok** a váladékképzésben kapnak szerepet. A **külső elválasztású** mirigyek váladékukat a test külső vagy belső felületére öntik. Ezeknek mindig van egy végkamrájuk (3. ábra), ahol a váladék képződik, amit egy csatorna vezet a felületre. A váladék gyakran fehérjetartalmú, ezért a mirigysejtekben gazdag a belső membránhálózat, ami köb- vagy hengerhámokban fér el. Ilyen külső elválasztású mirigyre példa a **verejtékmirigy**, a **faggyúmirigy**, valamint a **nyálmirigy**. A **belső elválasztású** mirigyek váladékukat a vérbe juttatják, ezeket a szabályozó anyagokat nevezzük **hormonoknak**.

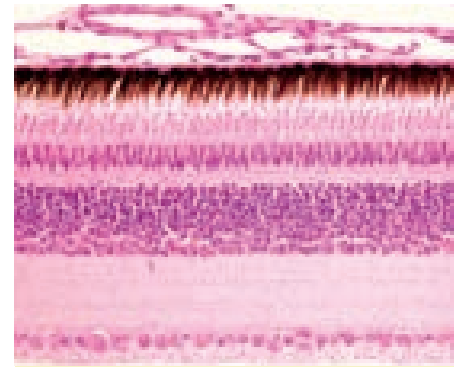
A **légutakban** előforduló különleges hám a **többsoros csillós hengerhám**, melyben a sejtek mindegyike az alaphártyáról indul ki, de eltérő magasságúak, így sejtmagjaik több sorban helyezkednek el. A hengerhámsejteknek a légutak ürege felé néző részén csillókat találunk, melyek aktív mozgásukkal eltávolítják a levegőben lévő porszerű szennyeződések.

Szintén különleges felépítésűek az ingerfelvételre specializált **érzékhámok**. Ezek a sérülékeny szövetek az érzékszerveket borítják. Ilyen például az **orr szaglóhámja** (4. ábra) vagy a szemben található **retina** (5. ábra).

A hámok fokozottabb mértékben ki vannak téve a **rosszindulatú sejtburjánzások**, a daganatok kialakulásának. Az egyik leggyakoribb rákos elváltozás, a karcinóma hámszöveti eredetű. Ilyenek a mell, a prosztata, a tüdő, a vastagbél, a bőr, az emésztőrendszer vagy a mirigyek rákjai. Fontos tehát, hogy a hámszöveteink környezeti károsodását tudatosan alacsony szinten tartsuk!



4. Az orrüregben található szaglóhám



5. A szem retinájának érzékhámja

### Idézd fel!

Milyen úton jut ki a mirigyvégkamra sejtjeiből a váladékban található fehérjemolekula? Kövesd az útját a DNS-ről történő átírástól a sejtártyáig!

### Gondolkodj!

A nagymértékű igénybevétel miatt minden hámnak szüksége van az állandó megújulásra. Milyen típusú sejtek találhatóak meg a hámszövetek alaphártyáján, amelyek ezt a megújulást segíthetik?

## Részösszefoglalás

A hámszövetek a test külső és belső felületét burkolják. Feladatuk a test elhatárolásán és védelmén túl biztosítani a szervek anyagfelvételét és -leadását, különféle váladékok termelését, ingerek felvételét. Felépítésükre jellemző, hogy sejtjeik szorosan illeszkednek egymáshoz, nincs sejt közötti állományuk, erek nem szövik át, a tápanyagokat a hám alatt elhelyezkedő szövetekből veszik fel diffúzióval. A hámok sejtjeinek rétegszáma és a hámot alkotó sejtek alakja a feladatnak megfelelően alakult ki.

## II. Kötőszövetek

A kötőszövetek minden szerv felépítésében szerepet kapnak. Mint nevükből is következik, a **szerveket felépítő szövetek között** találhatóak, azok összeköttetését biztosítják. A kötőszövetek eredete közös, felépítésük kevés kivétellel azonos: folyékony sejt közötti állományban **fehérjerostok** figyelhetők meg, melyek között sejtek találhatóak. A kötőszövetek nagyon sokféle működésre specializálódtak.

Mivel a kötőszövetek behálózzák az egész szervezetet, és gazdag érhálózattal rendelkeznek, ezért más szövetek tápanyagellátásában is szerepet játszanak.

### Laza rostos kötőszövet

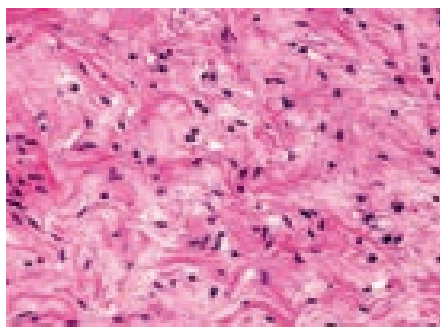
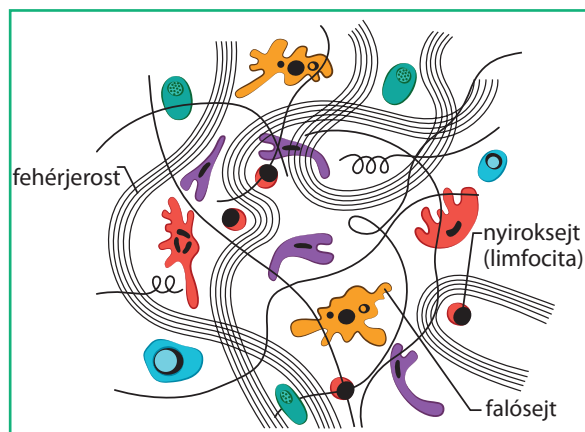
A laza rostos kötőszövetre jellemző, hogy sejtjeik **egymástól elkülönülve** figyelhetők meg (6. ábra). A sejt közötti állományban **szabálytalan lefutású fehérjerostok** találhatóak. Szervezetünkben hárttyákat, lemezeket hoznak létre. Gazdag érhálózatával táplálni tudja az erekkel nem rendelkező szöveteket, a hám- és porcszöveteket. Körülveszi az izomszöveteket, az általa létrehozott hárttyákban futnak az erek és idegek. Rosthálózatával nagy mennyiségű vizet képes megkötni. Mivel a laza rostos kötőszövet behálózza az egész szervezetet, így az immunrendszer számára egyfajta hadiutat képez.

### Tömött rostos kötőszövet

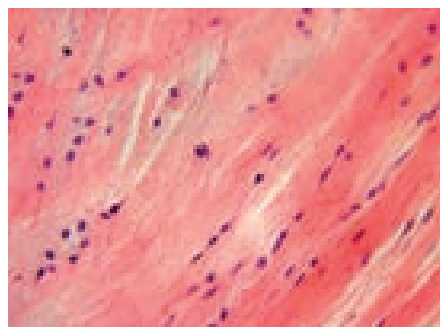
A tömött rostos kötőszövet sejt közötti állománya nagy mennyiségű párhuzamos elrendezésű rostot tartalmaz (7. ábra). A rostok között helyezkednek el a hosszú, megnyúlt **kötőszöveti sejtek**. Nagy mechanikai ellenálló képességgel rendelkezik, szakítószilárdsága nagy. A **párhuzamosan elrendezett kollagénrostok inakat** alkotnak, az izmok munkáját átadják a csontoknak. Az **ízületi szalagokban** található **rugalmas (elasztin) rostok** elnyelik a testet ért erőhatásokat.

### Zsír szövet

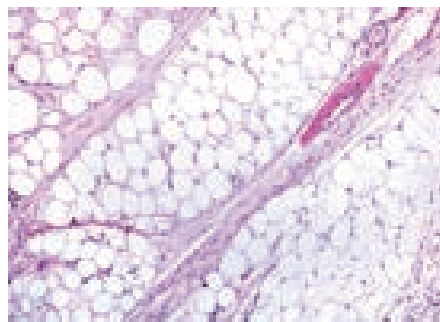
A zsír szövetre jellemző (8. ábra), hogy nagy méretű sejtjeinek jelentős részét zsírcseppek töltik ki. A sejt plazma és a sejt mag perifériálisan, szélő helyzetben található meg. A zsír szövet nem tipikus kötőszövet, hiszen sejtjei között nem találunk jelentős sejt közötti állományt. A zsír szövet **tartalék tápanyagot raktároz**. A bőr alatt felhalmozódó zsír szövetnek **mechanikai védő** és **hőszigetelő** szerepe is van.



6. Laza rostos kötőszövet kötőszöveti sejtekkel és szabálytalan lefutású rostokkal



7. Tömött rostos kötőszövet



8. A (fehér) zsír szövet nagy méretű sejtjei

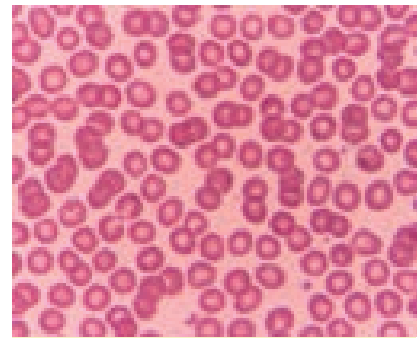
#### Nézz utána!

Milyen hormonokat termelnek a zsír szövetek?  
Milyen hatásuk van ezeknek a hormonoknak?

## Vér

A vér mint folyékony szövet összeköti a zárt keringési rendszerrel rendelkező állatok szerveit. Vérpazmából és alakos elemekből, sejtekből épül fel. A **vérpazma** folyékony sejt közötti állomány, nem tartalmaz rostokat, a benne található sejtek egymástól elkülönülve sodródhatnak. A sejtek optimális működéséhez tartalmaznia kell a **tápanyagokat**, az **oxigént** és különféle **ionokat**, valamint elszállítja a sejtek anyagcseréje által termelt **mérgező anyagokat** és a **szén-dioxidot**. A vérpazma ion- és fehérjetartalma ozmotikus szívóerőt hoz létre, ezzel szabályozva a test víztartalmát. A vérpazma fehérjeit a máj állítja elő.

A vér alakos elemei közül legnagyobb számban a **vörösvértestek** találhatók meg (9. ábra). A vörösvértestek az emlősöknél sejtmag és mitokondrium nélküliek, a gerincesek többi osztályában sejtmagvasok. A vörösvértesteket a csontok **vöröscsontvelőjében** levő **őssejtek** állítják elő. A vér bejárja a szervezet majd minden szegletét, így természetes, hogy sejtek elemei között a belső vagy külső kórokozókra vadászó immunrendszerben is szerepet kapnak. Ezt a feladatot a **fehérvérsejtek** látják el, amelyeknek három fő típusát különböztetjük meg: kis falósejtek, nagy falósejtek és a nyiroksejtek. Az alakos elemek közé tartoznak a **vérlemezkék** is, amelyek a **véralvadás** folyamatának elindításáért felelősek.



9. Vérkenet  
Miért látszanak lyukasnak a vörösvértestek?

### Magyarázd el!

Mit jelent a hús hártázása? Milyen szövetet távolítunk el ilyenkor?

### Számold ki!

Mekkora energia szabadul fel 1 g olaj (glicerin-trioleát) és 1 g glükóz elégetése során? Adatok: 1 mol glicerin-trioleát 881 g, és elégetésekor 34 529 kJ energia szabadul fel. 1 mol glükóz 180 g, elégetésekor 2916 kJ energia szabadul fel. Milyen következtetést lehet levonni a kiszámolt égéshőkből?

## Fedezd fel!

1. Mi az ödéma? A laza rostos kötőszövet melyik feladatával kapcsolható össze az ödéma kialakulása? Milyen betegségek, sérülések kísérő tünete az ödéma?
2. Az anorexiás emberek gyakran szenvednek vitaminhiányos betegségekben. Mi lehet ennek az oka? Milyen vitaminok hiányoznak szervezetükből?
3. Az állati szervezetek legelterjedtebb zsírszövege a fehér zsírszövet. Ritkábban fordul elő a barna zsírszövet. Mi ennek a zsírszövetnek a feladata, hol fordul elő az állatokban és az emberben?

## Részösszefoglalás

	Laza rostos kötőszövet	Tömött rostos kötőszövet	Vér	Zsírszövet
<b>Felépítés</b>	Sejt közötti állománya jelentős			Nincs sejt közötti állomány
	Fehérjerostok szabálytalan hálózata + sejtek	Párhuzamos rostok + sejtek	Nincsenek rostok	Nagy zsírcsippet tartalmazó sejtek
<b>Feladat</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Összeköti a szerveket felépítő szöveteket</li> <li>2. Hártaképzés</li> <li>3. Érhálózatával táplál más szövetek</li> <li>4. Vízet raktároz</li> <li>5. Segíti az immunrendszer működését</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Izmok és csontok közötti kapcsolat biztosítása</li> <li>2. Ízületi szalagok képzése</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sejtek optimális működésének biztosítása</li> <li>2. A szervezetet veszélyeztető paraziták kiszűrése</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tartalék tápanyag raktározása</li> <li>2. Hőszigetelés</li> <li>3. Mechanikai védelem</li> <li>4. DEAK-vitaminok raktározása</li> </ol>

## Támasztószövetek

A gerinces élőlények mozgásához szükséges egy **belső váz**, amihez kapcsolódva az izomszövet képes erőt kifejteni. Erre a feladatra a **csont- és a porcszövetek** alkalmasak. A támasztószövetekre jellemző, hogy a sejtek mellett **szilárd sejt közötti állományt** találunk.

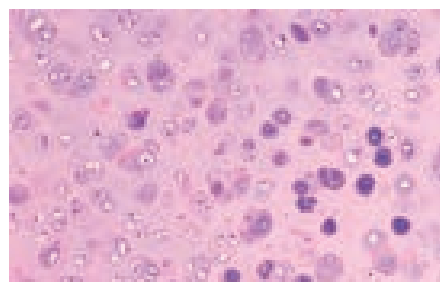
A porcszövetek között a leggyakoribb az **üvegporc** (10. ábra). Kisebb csoportokba tömörülő sejtekből és azokat körülvevő kollagénrostokat tartalmazó áttetsző sejt közötti állományból állnak. A porcszövetet nem szövik át erek, táplálását a porcot körülvevő laza rostos kötőszövet érhalózata látja el.

A porcszövetek sejt közötti állománya rugalmasan képes elnyelni a testre ható erőket, illetve merevíti a légutakat (pl. légcső). Az üvegporc az **ízületeket alkotó csontok végein**, a csontok közötti **porcos kapcsolatokban** (pl. bordák és szegycsont között), valamint a **légcső falában** található meg.

A **kollagénrostos porcszövet** a csigolyákat összekötő **porckorongokat** építi fel, jelentős a teherbíró képessége. A **rugalmas rostos porc** a **fül** és az **orr** porcos vázát építi fel.

A **csontszövet** keresztmetszeti képén koncentrikusan elhelyezkedő **csontsejtek** figyelhetők meg (11. ábra). A csontsejtek egymással **nyúlványokkal** kapcsolódnak össze. A csontsejtkörök egy **csatorna** körül alakulnak ki, amiben **erek és idegek** találhatóak. A csontsejtek a tápanyagokat az erekből veszik fel, és nyúlványaikkal diffúziós úton osztják el egymás között.

A csontszövet szilárd sejt közötti állománya **szervetlen** és **szerves** részből áll. A szervetlen részt főleg **kalcium- és magnéziumsók** alkotják, ezek adják a csont szilárdságát és keménységét. A szerves rész többek között **kollagénrostokból, fehérjékből és csontsejtekből** áll, ez a rész a rugalmasságért felelős.



10. Üvegporc



11. Csontszövet keresztmetszete

### Nézz utána!

Mi a kondroitin-szulfát, kinek ajánlanád az ezt tartalmazó táplálékkiegészítők szedését?

### Következtess!

A Bernoulli-törvény szerint egy közeg (pl. levegő) áramlásakor a sebesség növekedése a nyomás csökkenésével jár. Mi a feladata az üvegporcnak a légcsőben?

# Kísérletezz! Fedezd fel!

Zsírtalaníts három csirkecsontot mosogatószerrel! Az egyiket tedd el kontrollnak, a másikat helyezd ecetoldatba, a harmadikat égesd meg! (Tartsd gázlángba, de vigyázz, az égő csont bűdös, ha lehet, nyílt területen végezd el a műveletet!) Hasonlítsd össze a kontrollal a kezelt csontok mechanikai tulajdonságait! Mit bizonyítanak a kísérletek?

Melyik vitamin szükséges a csontszövet képződéséhez? Melyik betegség alakul ki ennek a vitaminnak a hiányában? Miért adják ezt a vitamint csecsemőknek és időskorban hazánkban?



**Magyarázd el!**

Hogyan változik a csont sejt közötti állományának kalciumsó-tartalma a várandósság időszaka alatt a nőkben?

**Tervezz!**

Tervezz kísérletet a csont szeretlen állományában található kalciumionok kimutatására!

## Részösszefoglalás

	Porcszövet	Csontszövet
Sejtes állomány	Kevés porcsejt porcudvarokban	Koncentrikusan elhelyezkedő nyúlványos csontsejtek
Sejt közötti állomány	sejt közötti állománya jelentős	
	Kollagénrostok és szénhidrátok	Kalciumsók és kollagénrostok
Feladat	A testre ható erők rugalmas elnyelése Csontkapcsolatok kialakítása Belső szervek merevítése	A test támasztása A mozgás passzív része Belső szervek védelme
Előfordulás	Ízületek, légcső, csigolyák közötti porckorong, bordák és szegycsont között	Gerincesekben (kivéve a porcos halakat)

### III. Izomszövetek

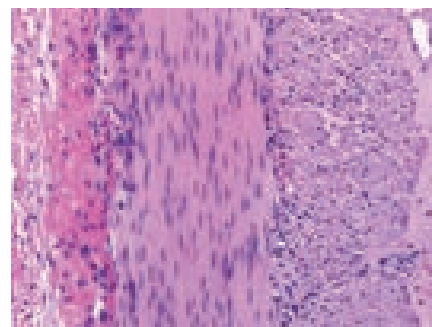
Az izomszövetre jellemző, hogy sejtjeik összehúzódásukkal erőt fejtenek ki. Az izomsejtek nagy részét a fehérjékből (aktinból és miozinból) álló **izomfonalak** építik fel.

Minden izomszövet összehúzódása **energiaigényes folyamat**, működésük során az izomsejtekben ATP bomlik.

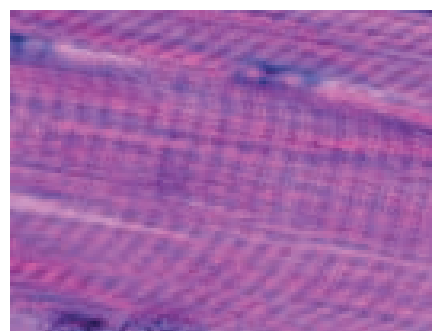
Az állatokban hely- és helyzetváltoztató mozgásra, valamint a szervezetükön belüli anyagmozgatásra három izomszövettípus alakult ki.

A **simaizomszövetben** (12. ábra) hosszú, orsó alakú sejtek találhatók, melyekben pálcika alakú, központi sejtmag helyezkedik el. Működésére jellemző, hogy **lassan húzódik össze**, és általában **kisebb mértékű erő kifejtésre** képes. A simaizomszövettel perisztaltikusan mozognak a férgek, puhatestűek. Az állatok belső szerveinek falában szintén simaizomszövetet találunk, például a tápcsatornában, az erekben, a légzőszervekben, az ivarutakban és a húgyutakban.

A **vázizomszövet** egységei az **izomrostok**, amelyek izomsejtek összeolvadásából jönnek létre az egyedfejlődés során. A vázizomrostok több sejtmagot tartalmaznak. Ezek a sejtplazmával és a mitokondriumokkal együtt a sejtthártyához simulnak. A rostokat szinte teljesen kitöltik az **izomfonalak**, melyeket döntő mértékben **miozin és aktin fehérjék** építenek fel. A miozin- és aktinmolekulák rendezett elhelyezkedése alakítja ki a vázizomszövet **harántcsíkoltságát** (13. és 14. ábra). A vázizom összehúzódása **gyors, nagy erejű, akarattal befolyásolható**. Összehúzódásának maximális mértéke rövid ideig váltható ki. A váz-



12. Simaizomszövet



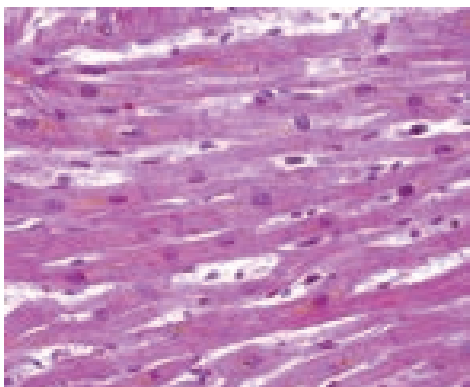
13. Vázizom hosszmetsete, harántcsíkolt izomszövet



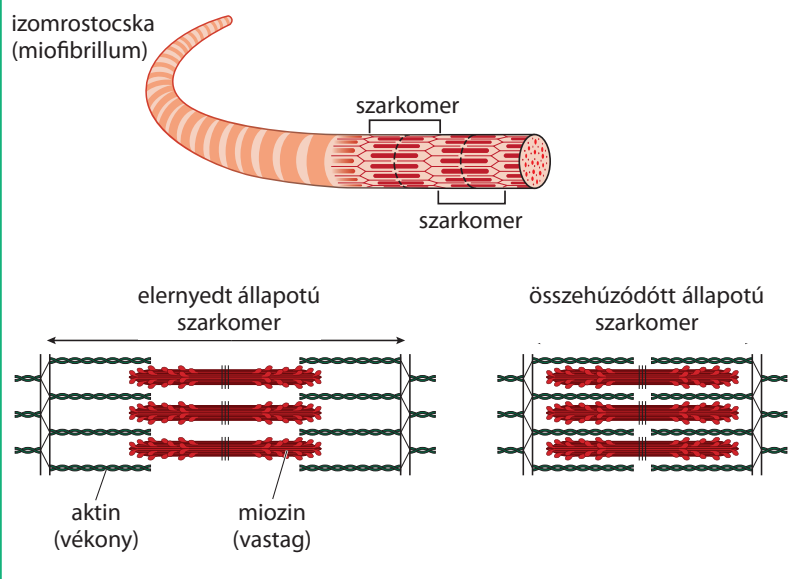
izomszövet az ízeltlábúak és a gerincesek mozgásában kap szerepet. Az emberi szervezetben inakon keresztül csontokhoz kapcsolódik, de a rekeszizmot, nyelvet, garatot és egyes szervek záróizmát (pl. végbél, húgycső) is vázizomszövet alkotja.

A **szívizomszövetben** (15. ábra) a sejtek egy központi sejt-maggal rendelkeznek, villásan elágaznak. Mikroszkópos képekre (a vázizomszövethez hasonlóan) jellemző a harántcsíkolt.

A szívizomszövet munkájára a **gyors, hosszan tartó, el nem fáradó**, fokozat nélküli, **nagy erejű összehúzódás** jellemző. A szívizomszövetben **ingerképző központok** találhatóak, ezek idegrendszeri parancs nélkül is képesek a szívizomszövet összehúzódását kiváltani. A szívizomszövet a gerincesek szívének felépítésben kap szerepet, akarattal nem befolyásolható a működése.



15. Szívizomszövet



14. A vázizomrostok működési egységei (szarkomer) elernyedtt és összehúzódott állapotban

### Kérdezz!

Mit kérnél a hentesboltban, ha rántott húst, zúzapörköltet vagy pacalt szeretnél készíteni? Mit kérdeznél a hentesboltban ugyanezekkel az ételekkel kapcsolatban akkor, ha ott anatómiaprofesszorok szolgálnának ki?

### Nézz utána!

Mi a tetanusz? Melyik baktérium fertőzése okozza? Hogyan lehet ellene védekezni?

### Számold ki!

Egy vörösvértesthez (7,2  $\mu\text{m}$ ) képest hány-szor nagyobb egy 1 cm hosszú vázizomrost? Ha egy ember lenne a vörösvértest, melyik állatnak felelne meg a vázizomrost?

### Alkoss!

Keress animációkat az izomműködést leíró csúszó-filamentum-elméletre! Dolgozd fel egy poszteren az izom-összehúzódás folyamatát!

# Fedezd fel!

Mi az Eberth-féle vonal, mi köze van a szívizom speciális működéséhez?

# Részösszefoglalás

	Simaizomszövet	Vázizomszövet	Szívizomszövet
Felépítés	Hosszú, orsó alakú sejtek Központi pálcika alakú sejtmag	Nagy méretű vázizomrostok: sok perifériális sejtmaggal Harántcsíkoltat mutató izom-fonalak	Elágazó szívizomsejtek központi sejtmaggal Harántcsíkoltat mutató izom-sejtek
Összehúzódás	Lassú Kitartó (gyenge)	Gyors Hamar fáradó Nagy erővel	Gyors Nem fáradó Fokozat nélküli Nagy erejű
Melyik állattörzsben kap szerepet a helyváltoztató mozgásban?	Férgeknél	Ízeltlábúaknál, gerinceseknél	Egyik sem (gerincesek szívében)
Emberi szervezeten belül hol található?	Üreges zsigeri szervekben: tápcsatorna, légutak, húgyutak, ivarutak, erek falában	A csontrendszerhez kapcsoltn Rekeszizom Záróizmok	Szív

## Az idegszövet

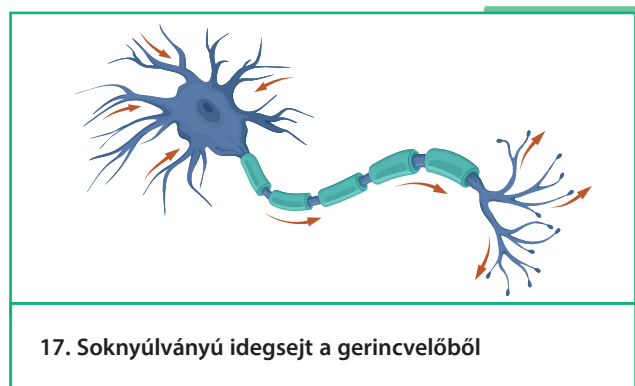
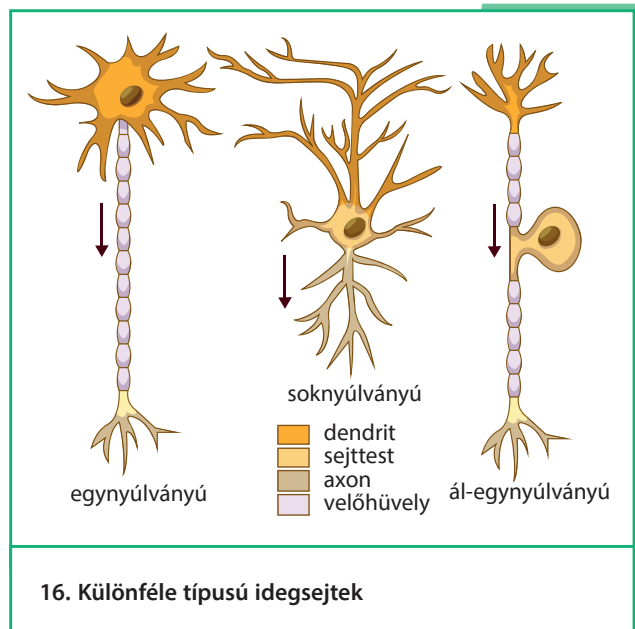
Az idegszövet a szervezet életműködéseinek **szabályozásában** vesz részt. Kapcsolatot teremt a különböző szervek, szövetek sejtjei között, gyorsan futó elektromos jelek, ingerületek révén összehangoltan szabályozza azok működését.

Az idegszövet alapvetően kétféle sejttypusból, az **idegsejtből** (neuron) és a **támasztósejtekből**, az ún. **gliasejtekből** áll.

Az idegsejtek plazmájában **sok endoplazmatikus membrán és riboszóma** található. Ezek szerepe a neuronok felépítéséhez és működéséhez szükséges fehérjék előállítására. Plazmájukban a belső sejtvázat alkotó neurofilamentumok (kb. 10 nm átmérőjű fehérjefonalak) és neurotubulusok (kb. 24 nm átmérőjű, csőszerű képletek) találhatóak. Utóbbiak az idegsejt transzportfolyamataiban is részt vesznek.

Az idegsejteket nyúlványaik alapján egynyúlványú (az emberben kevés helyen pl. retinában), álegynyúlványú (gerincvelő melletti érződucok idegsejtjei), kétnyúlványú (szem ideghártyájának közbülső neuronjai) és soknyúlványú (multipoláris) típusokba sorolhatjuk (16. ábra). Utóbbiak jellegzetes képviselői pl. az agykéreg piramisidősejtjei.

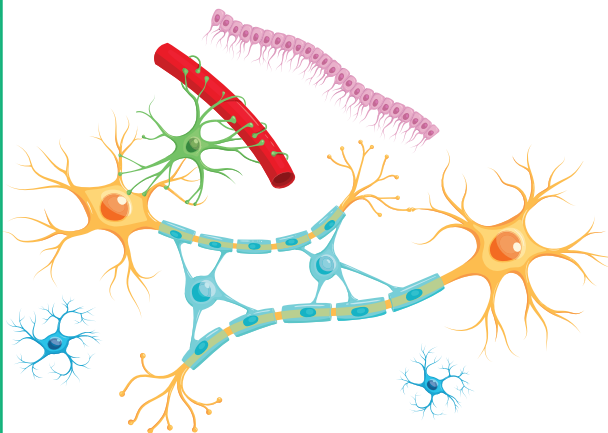
A **soknyúlványú idegsejtek** (17. ábra) plazmájából eredő rövidebb nyúlványok a **dendritek**. Ezek rendszerint más sejtetktől veszik át az ingerületet, és továbbítják a sejttet felé. A dendritek száma, nagysága az egyes idegsejtekre jellemző. Az egyetlen hosz-



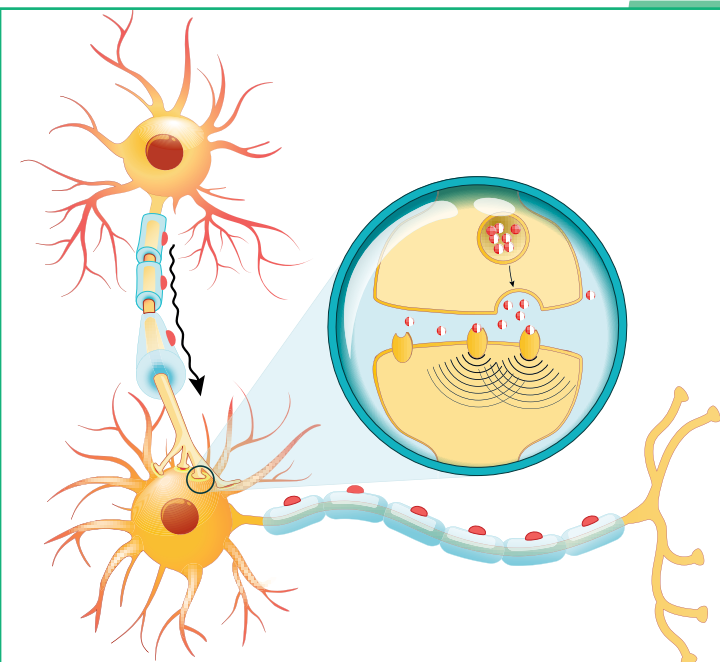
szabb, de elágazásokat is kialakító nyúlvány az **axon**, amely az ingerületet a sejttest felől az axonvég felé vezeti. Körülötte az idegszövet támasztósejtjei velőshüvelyt alakítanak ki, ezt **velőshüvelyes idegrostnak** nevezzük. Az idegsejtek a dendritek és az axonok többszázszoros, vagy akár többezerszeres kapcsolódásával igen **összetett hálózatot alkotnak**, amelyben a magasabb rendű idegrendszeri működések mehetnek végbe.

A támasztósejtek membránjainak betüremkedései a vékonyabb idegrostokat néhány, a vastagabbakat akár 70-80 rétegben is körülvehetik. Egy idegsejt axonja körül egymás után sok-sok gliasejt helyezkedhet el (18. ábra). A gliasejtek szigetelik az axont, így nagy sebességgel terjedhet végig az elektromos jel a következő sejtig.

Az idegsejtek közötti jelátvitel a hálózatként való működés feltétele. A sejtekben keletkező elektromos jelek **jelátvivő kémiai anyagok** (neurotranszmitterek) segítségével tevődhetnek át másik idegsejtekre. A jelet adó idegsejt nyúlványának végződéséből felszabaduló vegyület molekuláit a fogadó sejt membránjában lévő **receptorok** érzékelik, ennek alapján megváltozik a sejt elektromos állapota (19. ábra). Az átvivőanyagok hatása lehet **serkentő** (pl. adrenalin hatása) vagy **gátló** (pl. glicin hatása).



18. Különféle gliasejtek és az idegsejtek kapcsolata



19. Az idegsejtek közötti jelátvitel

### Nézz utána!

Milyen hatása van a szervezetre az adrenalinak?  
Az idegsejteken kívül még hol termelődik az emberi szervezetben?  
Mi okozza a Parkinson-kórt, és milyen tünetei vannak?

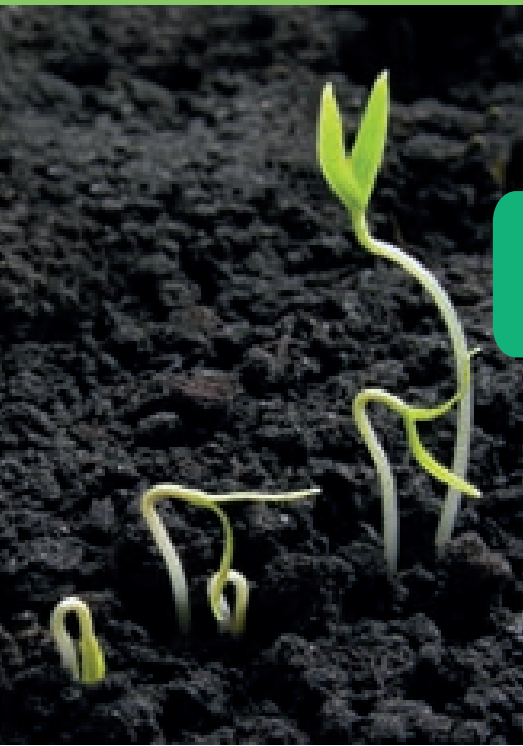
## Részösszefoglalás

Az idegszövet idegsejtekből és támasztósejtekből épül fel. Az idegsejtekben képződő jeleket rövid és hosszú nyúlványok, dendritek és axonok továbbítják. A magasabb rendű idegi működések az idegsejtek hálózataiban mennek végbe.

# ÉLET ÉS ENERGIA V.



19. Az élőlények felépítő anyagcseréje
20. A fotoszintézis
21. A biológiai oxidáció
22. Az erjedés
23. A szén körforgása



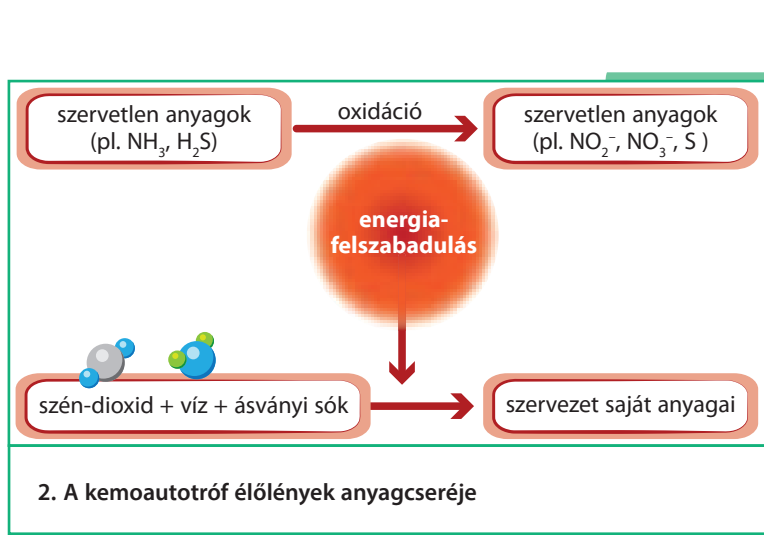
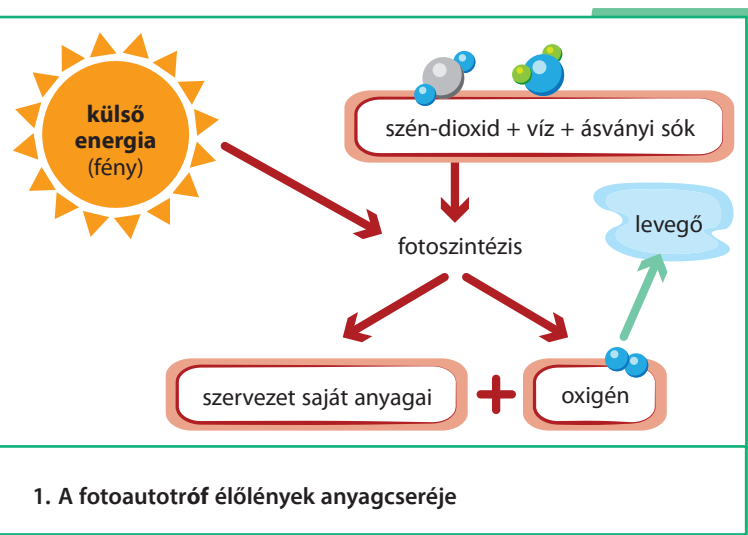
# 19. Az élőlények felépítő anyagcseréje

1. Hogyan használják fel az élőlények a környezetük anyagait a saját testük szerves anyagainak felépítéséhez?
2. Milyen energiaforrásokat használnak a környezetükből felvett anyagok átalakításához?
3. Hogyan történik az energia és az anyagok átalakítása az élő rendszerek különböző szerveződési szintjein?
4. Miben különbözik az energia- és az anyagforgalom folyamata?

Az élőlények anyagokat vesznek fel környezetükből, azokat a sejtekre jellemző kismolekulákká alakítják, majd a sejteikben felhasználják, átalakítják, a felesleges és káros anyagokat pedig leadják környezetükbe. A sejtekben az anyagok felhasználásához, átalakításához szükséges biokémiai folyamatokat **anyagcserének** nevezzük.

Az anyagcserét nemcsak anyag-, hanem energia- és információáramlás is jellemzi.

A **felépítő anyagcsere-folyamatok** során az élőlények saját, magas energiatartalmú szerves anyagaikat előállíthatják szervetlen anyagokból és szerves anyagokból is. Azokat az élőlényeket, melyek szervetlen szénforrásból (alapvetően széndioxidból) képesek előállítani saját testük szerves anyagait, szénforrásuk alapján **autotrófoknak** nevezzük (1. és 2. ábra).



# Alkoss!

Alakítsatok ki párokat vagy kisebb csoportokat! A megismert fogalmak és az 1–4. ábrák segítségével alkossatok közösen definíciókat a következő fogalmakra: **fotoautotróf, fotoheterotróf, kemoautotróf, kemoheterotróf!**

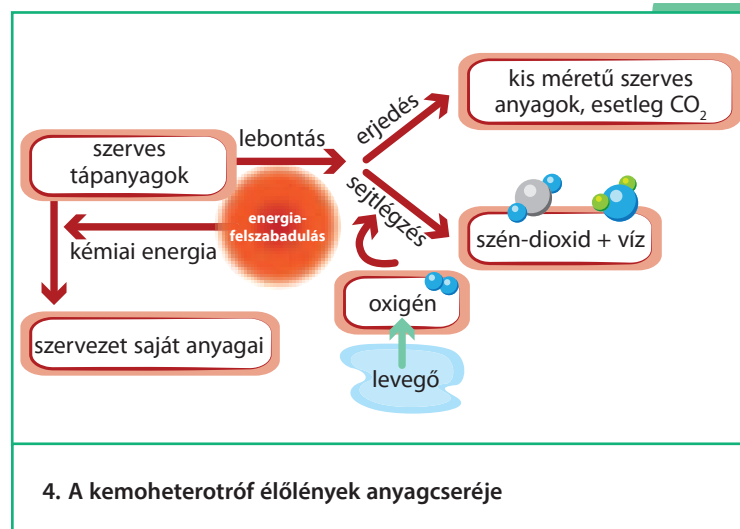
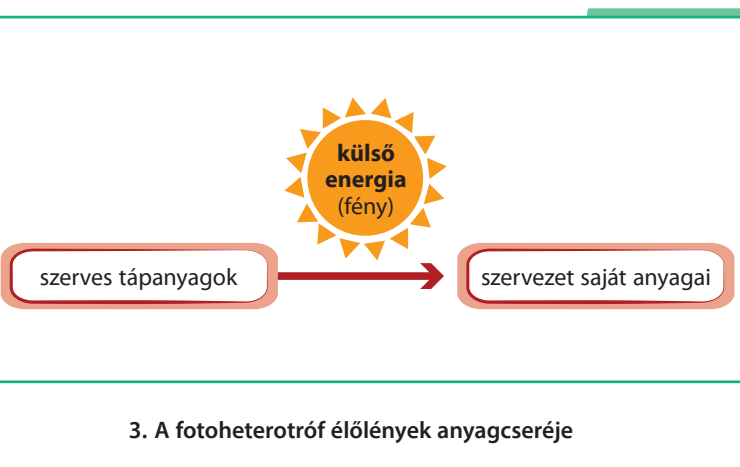
## Magyarázd el és reflektálj!

Osszátok meg egymással a megalkotott definíciókat, és beszéljétek, vitassátok meg, hogy az egyes definíciók megfelelőek voltak-e! Tartalmaznak-e minden szükséges elemet ahhoz, hogy a definíciók pontosak és egyértelműek legyenek?

A **heterotróf** élőlények más (eredendően autotróf) élőlények által előállított szerves anyagokat vesznek fel a környezetükből ahhoz, hogy saját szerves anyagaikat felépíthessék (3. és 4. ábra). Az anyagcsere-folyamatok során hidrogénre is szükség van, ezt az autotróf növények a víz bontásából fedezik, míg a heterotróf élőlények ezt is a szerves tápanyagokból nyerik. Ha az élőlény a felépítő folyamatokhoz szükséges energiát képes a napfény energiájából hasznosítani, akkor energiafelhasználás szempontjából **fototrófnak** (1. és 3. ábra), ha kémiai anyagok lebontásából származó kémiai energiát használ, akkor **kemotrófnak** nevezzük (2. és 4. ábra).

## Ítéld meg!

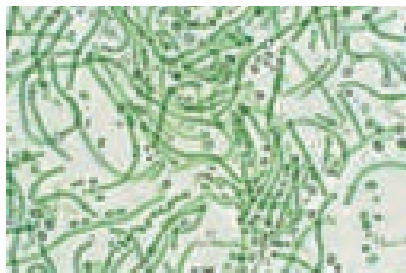
Miért központi jelentőségű az egész élővilág szempontjából a fotoautotróf életmód?





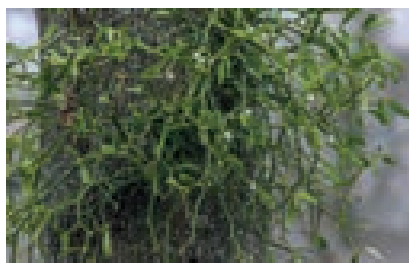
## Vezesd le!

Az alábbiakban néhány élőlény anyagcsere-folyamatainak jellemzőit olvashatod. Sorold be őket a megfelelő kategóriákba (fotoautotróf, fotoheterotróf, kemoautotróf, kemoheterotróf)!

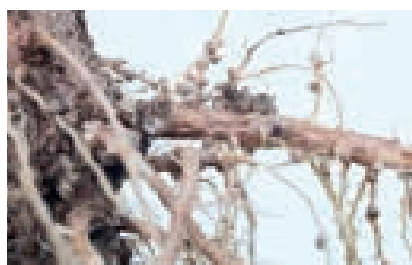


A **kékbaktériumok** a napfény segítségével hasznosítják a vizet és a vízben oldott szén-dioxidot.

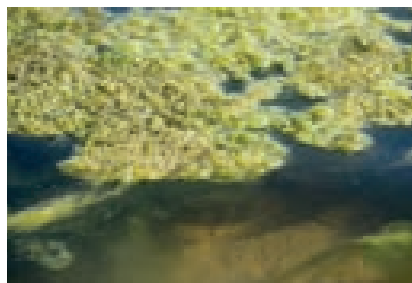
A **bíbor kénbaktériumok zöld** (*bakterioklorofill-a* és *-b*) és sárga (*karotinoidok*) színyanyagokkal rendelkeznek, fény jelenlétében szén-dioxidot redukálnak, különlegességük azonban, hogy a redukáláshoz szükséges elektronokat és protonokat nem a vízből, hanem kén-hidrogénből szerzik, így nem oxigént termelnek, hanem elemi ként.



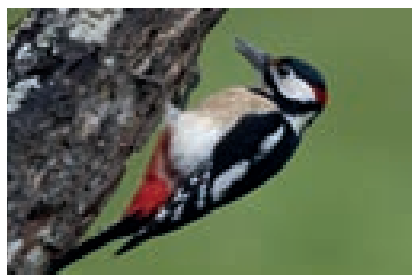
A **fagyöngy** gyökereivel a gazdanövényének (pl. tölgy, nyárfa, akác) szöveteibe hatol, és onnan szívja ki a vizet és az ásványi anyagokat, melyeket aztán a zöld leveleiben hasznosít.



A növények gyökérgümőiben élő **nitrogénkötő baktériumok** (pl. *Rhizobium*-fajok) ammóniával látják el a gazdanövényt, cserébe pedig szerves anyagokat kapnak a növénytől.



A **békanyálmoszatok** színyanyagaik segítségével, fény jelenlétében állítják elő saját szerves anyagaikat, miközben oxigént termelnek.



A **nagy fakopáncs** a fák kérge alól szedi ki a neki táplálékul szolgáló rovarok lárváit, bábjaikat.



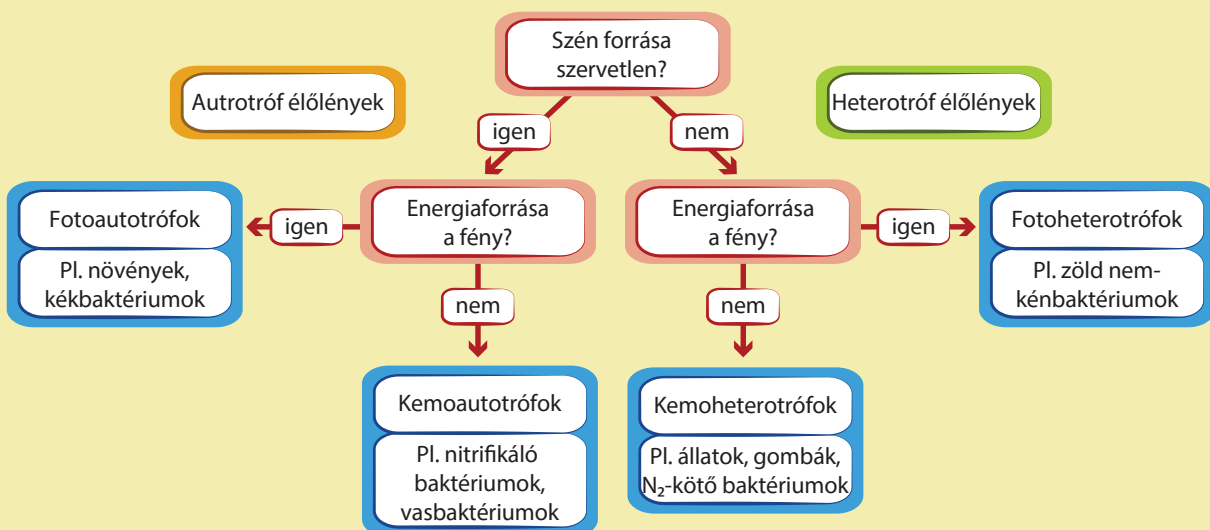
A **közönséges aranka** (növény) sárgás színű szárán nincsenek levelek, zöld színanyagokat nem tartalmaz, az életéhez szükséges szerves anyagokat más növényfajokból (pl. csalán, komló) szívja ki.

A **nitrifikáló baktériumok** az ammónia nitríté (Nitrosomonas-fajok) vagy a nitrít nitráttá (Nitrobacter-fajok) oxidálásából nyerik az energiát ahhoz, hogy a környezetükben lévő szén-dioxidot be tudják építeni szerves anyagaikba.

A **bíbor nemkén baktériumok** is rendelkeznek azokkal a színanyagokkal, mint a bíbor kénbaktériumok, de szénforrásként és elektrondonorként szerves anyagokat hasznosítanak.

Az élőlények szénforrás szempontjából lehetnek autotrófok és heterotrófok, energiafelhasználás szempontjából pedig fototrófok és kemotrófok.

Minden élőlényre igaz, hogy szénforrást és energiaforrást is kell használniuk saját testük felépítéséhez, így besorolhatók a fotoautotróf, fotoheterotróf, kemoautotróf vagy kemoheterotróf kategóriák valamelyikébe.



# 19. Összefoglalás

# 20.

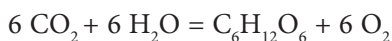
## A fotoszintézis

1. Miért alapvető folyamat a fotoszintézis a földi élet szempontjából?
2. Melyik molekula bontásából keletkezik a levegőben található oxigén?

### Idézd fel!

Foglald össze néhány mondatban, hogy mit tanultál korábban a növényi sejt felépítéséről, a zöld színtestről, a táplálékkészítő alapszövegről és a sejtekben az energiát szolgáltató ATP-molekuláról!

A fotoszintézis az egész élővilág szempontjából alapvető jelentőségű **felépítő folyamat**. Alacsony energiatartalmú kiindulási anyagokból (szén-dioxidból és vízből) magas energiatartalmú, hidrogénben gazdag termék, **szőlőcukor képződik**. A folyamat energiaigényét **fényenergia** biztosítja. A zöld növények és a kékbaktériumok sejtjeiben zajló fotoszintézis az alábbi egyszerűsített egyenlettel írható le:



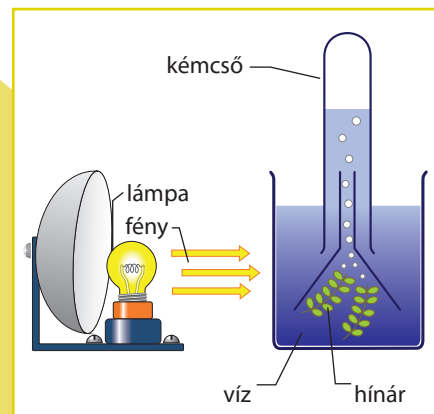
A fotoszintézis két, egymással párhuzamosan zajló, egymást feltételező szakaszra osztható: a **fényszakaszra** és a **sötétszakaszra**. Eukarióta élőlényekben a fotoszintézis a **zöld színtestekben** történik. A fényszakasz a gránumokban, a sötétszakasz a színtest alapállományában zajlik. A gránum (szemcse) a zöld színtest belső membránjából képzett lapos, korongszerű képletekből épül fel.

# Fedezd fel!

## A fotoszintézis vizsgálata

Állítsd össze az ábrán látható kísérleti berendezést!

Tölts meg egy nagy méretű mérőpoharat 20 °C-os vízzel, helyezz bele 10-12 db 1,5-2 cm-esre vágott hínárnövényt (lehet kanadai átokhínár, érdes tócsagaz vagy süllőhínár)! Helyezz rájuk egy tölcsért úgy, hogy az összes növény a tölcsér belsejében legyen, majd a tölcsér cső alakú végére húzz rá egy vízzel teli, levegőmentes kémcsövet! Világítsd meg az edényt egy erős fényű lámpával először 30 cm, majd 10 cm távolságból! A kísérleti berendezés összeállítása után várj 3 percet, és utána kezdj hozzá a méréshez!



10 percen keresztül számold meg a hínár leveleinek felszínéről percenként távozó buborékokat! A számolás eredményének rögzítését megkönnyíti az alábbi táblázat kitöltése. **A füzetedben dolgozz!**

A lámpa távolsága	A keletkező buborékok száma											
	1 perc	2 perc	3 perc	4 perc	5 perc	6 perc	7 perc	8 perc	9 perc	10 perc	átlag	
30 cm												
10 cm												

### Értékelj!

Miért alkalmas a buborékok számolása (vagy a keletkező gáz térfogatának a mérése a kémcsőben) a fotoszintézis intenzitásának vizsgálatára? Melyik gáz alkotja a keletkező buborékokat?

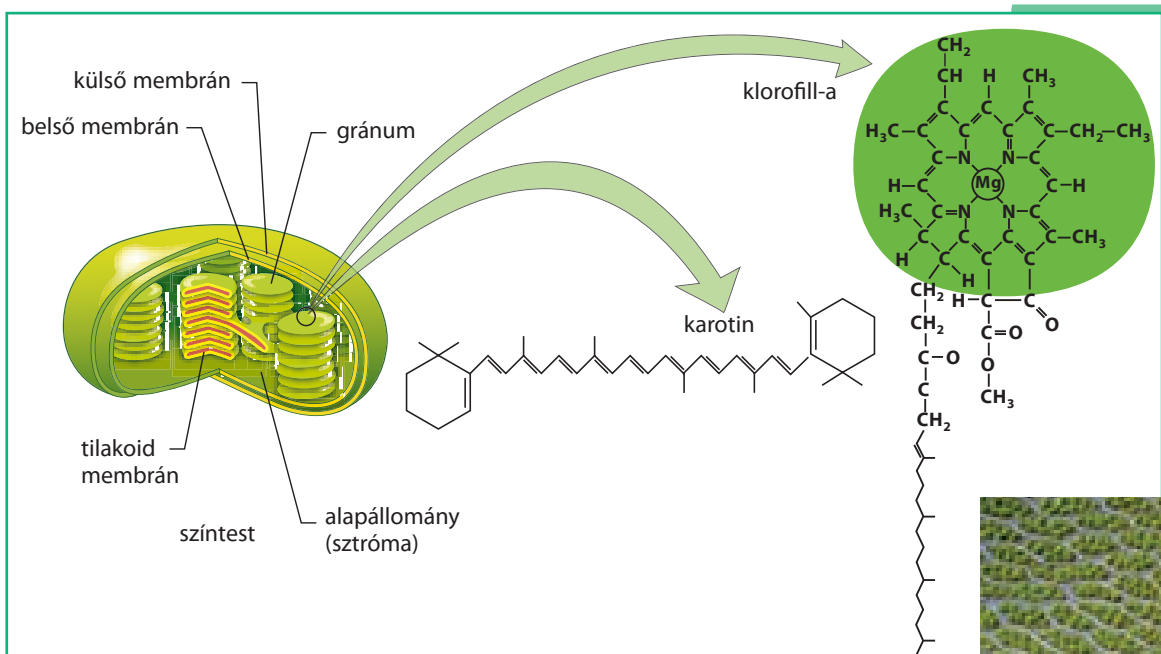
Van-e különbség a percenként felszálló buborékok számában? Adj magyarázatot a jelenségre!

Milyen környezeti tényezők befolyásolhatják még a fotoszintézis mértékét a fényerőn kívül?

### Tervezz!

Tervezzetek kísérletet a jelenlegi kísérleti berendezés alkalmazásával a felsorolt környezeti tényezők változásának fotoszintézisre gyakorolt hatására!

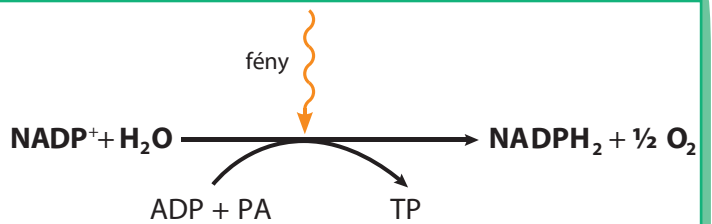
## A fényszakasz



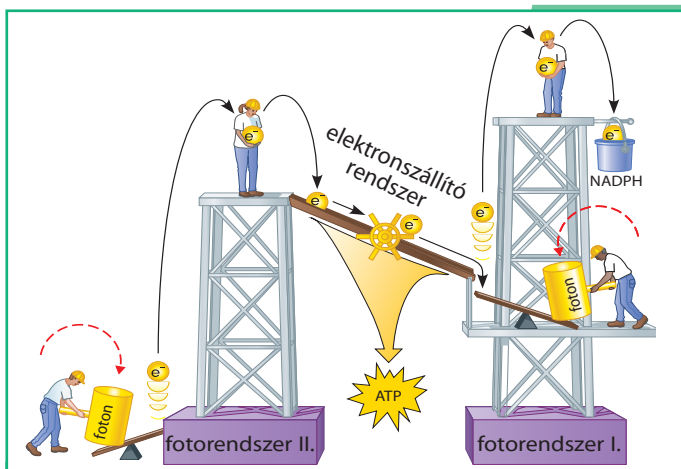
2. A növényi színanyagok. A színanyagok a színtestek gránumjainak membránjában találhatóak. A klorofilok és a karotinoidok közös jellemzője, hogy a molekulában található (konjugált kettős) kötések elektronjai fény hatására könnyen magasabb energiaszintű pályára lépnek. Ez teszi alkalmassá ezeket az anyagokat a fényenergia megkötésére.

1. Színtestek fénymikroszkópos felvételen

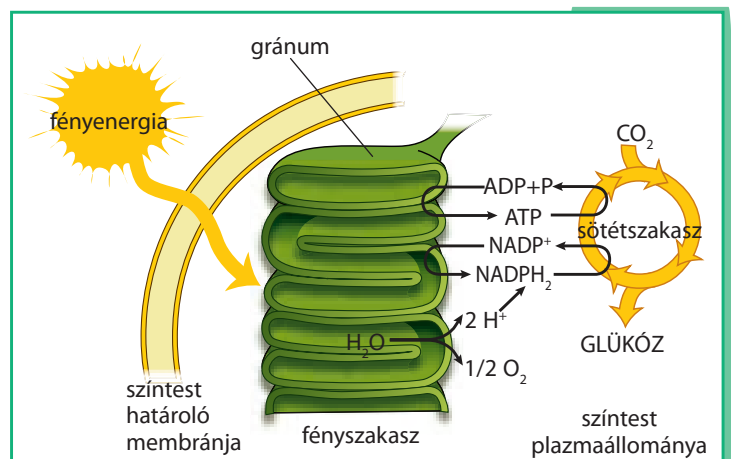
A **fényszakaszban** a **fényenergia kémiai energiává való átalakítása**, valamint a szerves anyagok előállításához szükséges **redukálóképesség megszerzése** történik. A folyamat során ATP és hidrogénszállító redukált koenzimmolekula (a  $\text{NADH}_2$ -hoz hasonló:  $\text{NADPH}_2$ ) képződik. A fényenergia megkötése a színanyagok, köztük a zöld színű klorofill, a narancssárga karotin és a sárga xantofill feladata (1–2. ábra). A hidrogénszállító molekula ( $\text{NADP}^+$ ) redukciójához szükséges hidrogén **vízbontásból** (fotolízis) származik. A folyamat során oxigén is keletkezik (3. ábra).



3. A fényszakasz lényege



4. A fotoszintézis fényszakaszában végbemenő folyamatok szemléltetése: a klorofillmolekulából a fényenergia hatására magasabb energiaszintre került elektronok a gránumok membránjában lévő szállítórendszer molekuláin haladnak át, eközben az energiájuk ATP-képződésre fordítódik. Egy második energiafelvételt követően hidrogénszállító molekulák formájában létrejön a redukálóképesség.



5. A fényszakasz és a sötétszakasz kapcsolata. A fényszakaszban termelt redukált koenzim ( $\text{NADPH}_2$ ) és ATP a sötétszakaszban a szőlőcukor szintéziséhez használandó fel.

## A sötétszakasz

A fotoszintézis másik szakaszában, a **sötétszakaszban** (Calvin-ciklus) hidrogénszállító molekula ( $\text{NADPH}_2$ ), valamint ATP felhasználásával a **szén-dioxid megkötése és redukciója** zajlik. A több lépésből álló átalakulás elsődleges terméke a **szőlőcukor**, amiből azután más vegyületek építőkövei (pl. aminosavak, zsírsavak) vagy keményítő, illetve cellulóz képződhetnek. A táplálékkészítő alapszövet sejtjeinek színtestéből a szőlőcukor a szállítószövet háncsrészébe kerül, és a növény minden sejtjéhez eljut.

### Nézz utána!

Keress az interneten ábrát a növények fénykompenzációs görbéjéről! Magyarázd el annak segítségével a növények oxigén- (és szervesanyag-) termelésében mutatkozó éjszakai és nappali különbséget! Mit jelent a fénykompenzációs pont és a fényteltési pont?

## A fotoszintézis jelentősége

A fotoszintetizáló, autotróf élőlények (kékbaktériumok, eukarióta moszatok, növények) az életközösségek legfontosabb **termelő szervezetei**. A földtörténet korai időszakában, a kékbaktériumok által több milliárd évig végzett fotoszintézis



6. A fotoszintézis tartja el a teljes táplálékláncot, számos energiaforrásunk alapja, és a légkör összetételét is meghatározza

megemelte a légkör oxigéntartalmát, ennek következtében visszaszorultak az anaerob baktériumok, és megjelentek az oxigénes légzést folytató aerob élőlények. A fotoszintézis során a Nap sugárzó energiájának csak töredékét (1–3%) kötik meg, de végső soron minden heterotróf (fogyasztó és lebontó) szervezet az általuk létrehozott szerves anyagokkal táplálkozik (6. ábra).

A fotoszintézis alapvető jelentőségű folyamat a légkör összetételének alakításában is, hiszen a leghatékonyabb energianyeréshez, a biológiai oxidációhoz szükséges **oxigén** is ennek a folyamatnak a terméke. A növények a **szén-dioxid megkötése** révén **szén raktároznak** a testükben, aminek nagyobb része a légzésük és végső lebomlásuk során visszajut a környezetbe. A növényi biomassa, főként a lábön álló erdők fáiban tárolt mennyisége kulcsfontosságú az éghajlatváltozás mérséklésében, mivel hatalmas szénraktárként működve csökkenti a légköri szén-dioxid mennyiségét.

A zöld növények és más fotoautotróf élőlények fotoszintézise nélkülözhetetlen a mai élővilág számára.

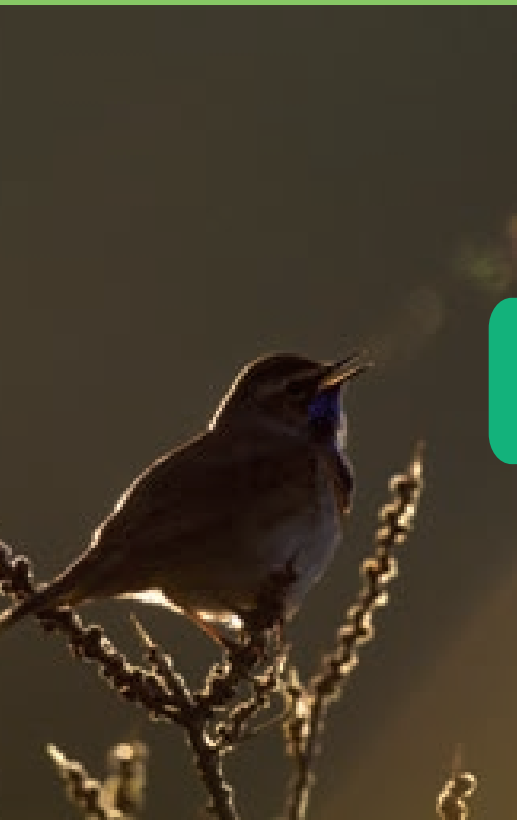
Fotoszintézisükkel megkötik a levegőben lévő és a vízben oldott szén-dioxidot, valamint szerepet játszanak a légköri oxigénkoncentráció egyensúlyának megőrzésében.

A fotoszintézis fényszakasza során a fényenergia kémiai energiává alakítódik át, és vízmolekulákból a szén-dioxid redukálásához szükséges protonok és elektronok szabadulnak fel ( $\text{NADPH}_2$ ), melléktermékként oxigén keletkezik.

A sötétszakaszban zajlik a szén-dioxid megkötése és szerves anyaggá redukálása, amihez felhasználódik a fényszakaszban termelt  $\text{NADPH}_2$  és ATP.

## 20. Összefoglalás





# 21.

## A biológiai oxidáció

1. Mik lehetnek a Szent-Györgyi Albert-idézetben szereplő apró energiacsomagok?
2. Mit jelent ezeknek az energiacsomagoknak a kipakolása?
3. Hogyan hasznosítják a sejtek az energiacsomagokból ki-nyert energiát?
4. Milyen szerepet játszik az energiaátalakításban a biológiai membránok sajátos felépítése?



### Hangolódj rá!

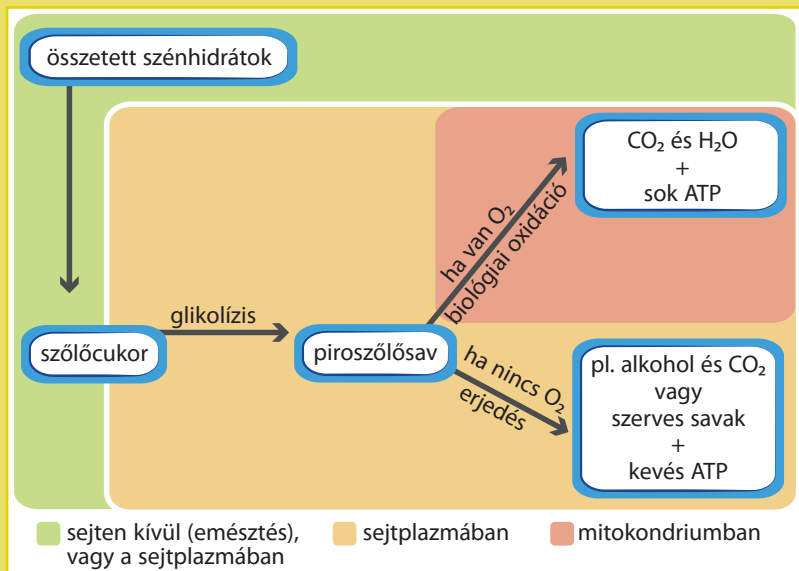
*„Akármit csinál egy sejt, meg kell fizetnie érte, és az élő szervezetnek ez a valutája, amiben a sejtnek fizetnie kell: az energia. [...] Ennek az energiának végső soron az egyedüli forrása a Nap sugárzása. De ezt a sugárzást, mint olyant, nem lehet közvetlenül az élet fenntartására hasznosítani, különben éjjel az élet lehetetlen lenne. Ezért a klorofillt tartalmazó növények kloroplasztjai a sugárzó energiát apró csomagokba zsúfolják. Ha a sejtnek energiára van szüksége, nem a sugárzást használja fel, hanem kipakolja ezeket az [...] energiacsomagokat.”*

(Szent-Györgyi Albert: Az élő állapot)

Az anyagcsere során a sejt szerves anyagai meghatározott rendben, a szükségleteknek megfelelően állandóan átalakulnak, lebomlanak és felépülnek. A **felépítő folyamatokban** jönnek létre a sejtek saját makromolekulái, valamint az olyan anyagok, amelyek nem a sejtekben kerülnek felhasználásra, mint például a bélcsatornában működő emésztőenzimek vagy a vérplazma fehérjéi. A **lebontó folyamatok** során a sejtek nagyobb méretű, magasabb energiaszintű szerves molekulákat alakítanak át kisebb méretű, alacsonyabb energiatartalmú részecskékké. A lebontás során felszabaduló energia egy része ATP képzésére fordítódik, másik része hőenergiává alakul. Az ATP kötéseiben tárolt kémiai energia az energiaigényes életműködésekhez: a felépítő folyamatokhoz, az aktív transzportoz, a mozgáshoz stb. használandó fel. A lebontás során számos olyan köztes termék is keletkezik, amelyek a felépítő anyagcseréhez szükségesek. A felépítés és a lebontás összhangja, egyensúlya a normális sejtműködés alapfeltétele.

# Elemezz!

Figyelmesen nézd meg az ábrát, majd szövegesen foglald össze, hogy a lebontó (energianyerő) folyamatoknak milyen lehetséges útvai vannak az élőlények sejtjeiben!

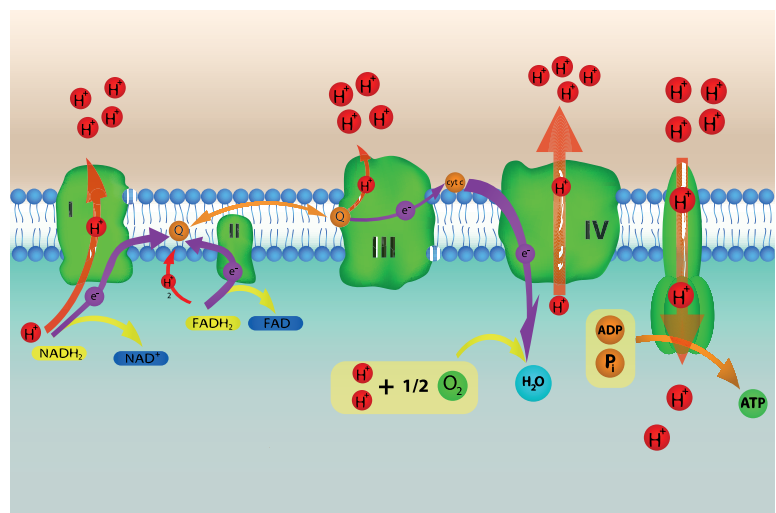


## A biológiai oxidáció

A szerves anyagok energianyerés céljából történő lebontása a sejtekben alapvetően két úton mehet végbe. Ha oxigén hiányában, azaz anaerob feltételek mellett, közvetlenül szerves anyagok lebontásához kapcsolódva zajlik az energianyerés, akkor **erjedés** (fermentáció) történik. Ha a lebontásból származó elektronok és protonok ( $H^+$ ) szállítórendszeren áthaladva, valamilyen membránhoz köthető folyamatban termelnek energiát, akkor általánosságban **légzésről** beszélünk. A baktériumok sokféle anyagcseréjük révén oxigénmentes környezetben is képesek lehetnek (anaerob) légzésre, ezáltal hatékonyabb energiatermelésre és sokféle környezeti anyag átalakítására. Az eukarióta sejtekben, illetve számos prokariótában ez a folyamat oxigén jelenlétében, azaz aerob feltételek mellett megy végbe. A **sejtlézés**, azaz a **biológiai oxidáció** folyamata során a szerves anyagok szénatomjai széndioxidá oxidálódnak, miközben hidrogéntartalmuk szállítómolekulára (NAD koenzim) kerül. Eukarióta sejtekben a biológiai oxidáció több lépésben megy végbe. A glikolízis a sejtplazmában játszódik le, a citromsavciklus és a terminális oxidáció szintere pedig a mitokondrium (1. ábra).

### Idézd fel!

Hogyan kerülhettek az eukarióta sejtekbe a mitokondriumok és a kloroplasztiszok?  
Idézd fel az elmélet bizonyítékait!

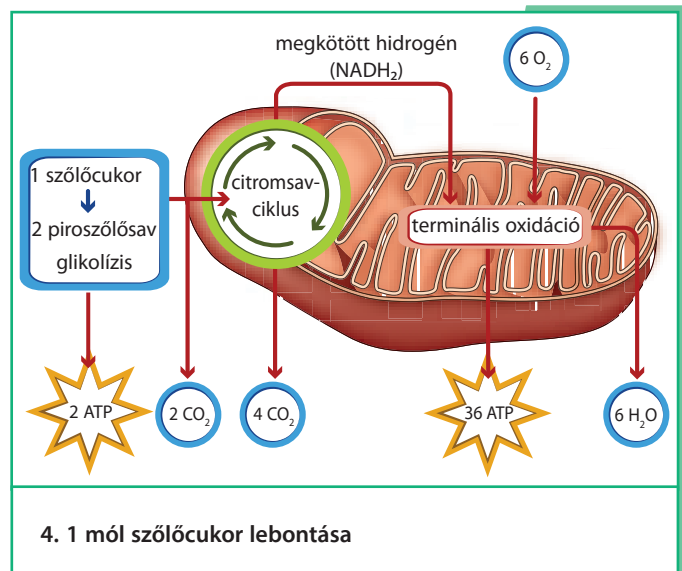
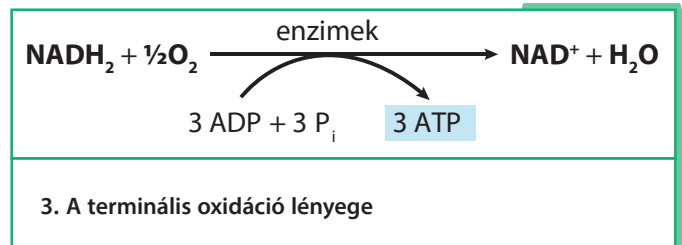
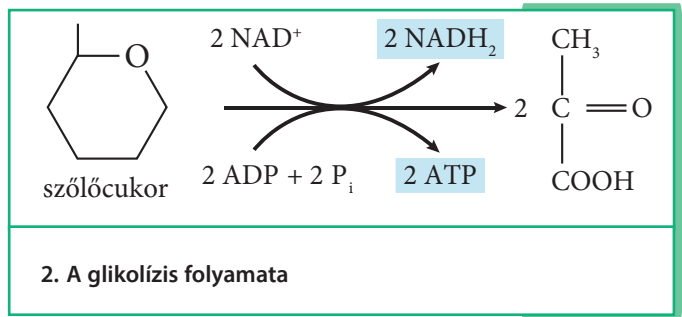
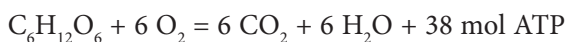


1. A mitokondriális elektronszállító rendszer elemei és működése

## A szőlőcukor biológiai oxidációja

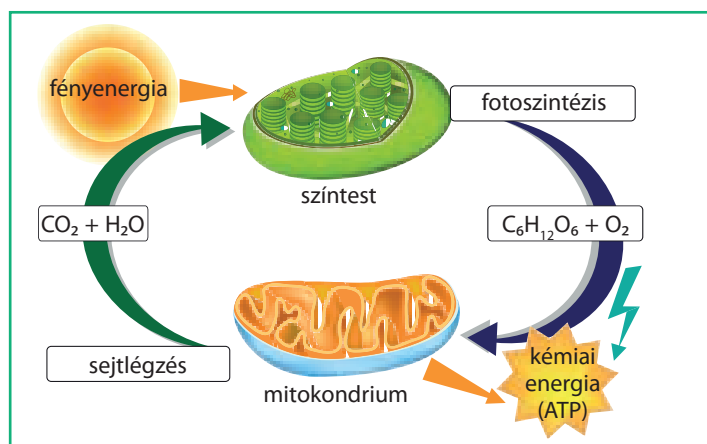
Az emberi szervezet sejtjeinek energiaigényét legnagyobb részt a szőlőcukor lebontása fedezi. A folyamat első szakasza a **glikolízis**, melynek enzimelei a sejtplazmában találhatóak. Közreműködésükkel a szőlőcukor több egymást követő lépésben három szénatomos piroszőlősavra bomlik (2. ábra). Aerob feltételek mellett a piroszőlősav oxidációja a mitokondriumban folytatódik. A mitokondrium alapállományában a **citromsavciklusnak** nevezett folyamatban szén-dioxid és nagyszámú hidrogénnel feltöltött szállítómolekula ( $\text{NADH}_2$ ) képződik. Utóbbiak a **terminális oxidációnak** nevezett folyamatban a mitokondrium belső membránjába épült **elektron szállító enzimrendszer** segítségével oxidálódnak. A folyamatban a hidrogénionok a mitokondriumok kettős membránja közti térben halmozódnak fel. A kialakult **koncentráció különbségből** adódó **kémiai energia** fordítódik az ATP-molekulák képződésére. A belső membránba épült ATP-képző enzimrendszeren áthaladó hidrogénionok egyesülnek a légből származó és az elektron szállító rendszer által aktivált oxigénnel ( $\text{O}_2$ ), és vizet képeznek.

A terminális oxidáció során jelentős mennyiségű ATP keletkezik. (3. ábra). Az oxidált koenzimek ( $\text{NAD}^+$ ) újabb piroszőlősav-molekulák oxidációjában vehetnek részt. 1 mól szőlőcukor biológiai oxidációval történő lebontásakor összesen **38 mól ATP** képződik (4. ábra). A szőlőcukor biológiai oxidációjának összesített egyenlete tehát:



## Magyarázd el!

Az ábra alapján magyarázd el, hogyan függenek össze a sejt szintű anyagcsere-folyamatok a napfény energiájának felhasználásával!



# Kísérletezz!

Csíráztass bab- vagy borsómagvakat, majd tegyél 10-15 csírázásnak indult magot egy oldalcsöves kémcsőbe. Dugaszold be a kémcsövet, az oldalcsövére húzz gumicsövet! Egy másik kémcsőbe mérj ki 3-5 ml meszes vizet, és egy átfúrt dugóval ezt is dugaszold be. Az oldalcsöves kémcsőhöz csatlakoztatott gumicsövet vedd be az átfúrt dugón keresztül a meszes vizet tartalmazó kémcsőbe úgy, hogy a gumicső beleérjen a meszes vízbe. Az összekötött két kémcsövet helyezd el egy kémcsőállványba!

Végezd el a kísérlet kontrollját is!

Rajzold le a füzetedbe az összeállított kísérleti berendezést, tüntesd fel a rajzodon a megfigyelt változásokat is! Milyen változást tapasztaltál? Mi okozta a változást? Melyik lebontó folyamat (aerob vagy anaerob) ment végbe a csírázó magvakban? Írd fel a meszes víz állapotában végbement változás hátterében álló kémiai reakció egyenletét!

## Keress rá!

Keress az interneten a biológiai oxidáció során végbemenő elektronszállító láncot (electron transport chain) bemutató animációt! Foglald össze néhány mondatban a folyamat lényegét!

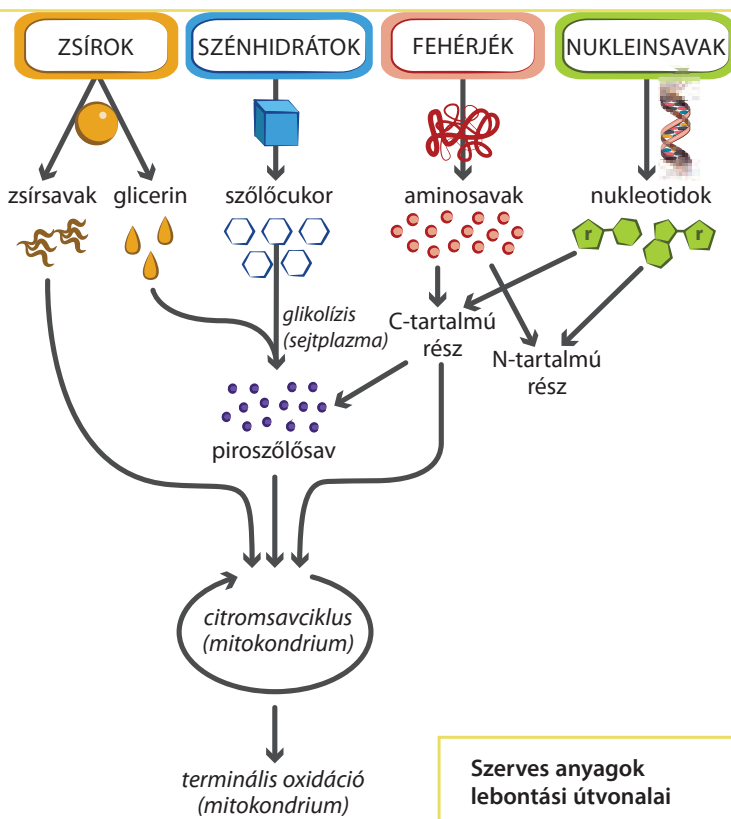
A biológiai oxidáció más útvonalon is végbemehet, amelynek eredményeképpen nem 38 mól, hanem 36 mól ATP keletkezik 1 mól glükóz lebontása során. Melyik ez az útvonal? Mi okozza a különbséget?

## Gondolkodj!

A Szent-Györgyi Alberttől származó idézet segítségével fogalmazd meg, hogyan zajlik és mi a lényege a terminális oxidációnak!

„A  $H_2$ -nek  $H_2O$ -vá oxidálása 68 000 kalóriát szolgáltat, és ilyenformán egyike a kémikusok számára ismeretes, energiában leggazdagabb reakcióknak. A biológiai oxidációnak nem az a célja, hogy ezt az energiát felszabadítsa. A cél az, hogy oly módon szabadítsa fel ezt az energiát, hogy átvihető legyen az energiát igénylő sejt folyamatok számára. A hővé alakult energia az élő gépezet számára elveszett. Úgy látszik, hogy az egyetlen H-atom oxidációja során felszabaduló energiámenyiség túlságosan nagy ahhoz, hogy a sejt bánni tudjon vele. Ezért a sejt más utat igényel. A H tehát nem egyesül rögtön az oxigénnel, amely egyesülés a teljes energiát szolgáltatná, hanem sorban egymás után egy sereg anyaghoz kapcsolódik hozzá. Valamennyi új lépés során energia szabadul fel. Így a H darabonként oxidálódik, és az energia felszabadulása eloszlik egy hosszú reakciósorozat mentén.”

Szent-Györgyi Albert: Az élő állapot



A szőlőcukor biológiai oxidációja kapcsán megismert anyagcsereutakhoz a többi szerves vegyület lebontása is kapcsolódik valamelyik ponton. A citromsavciklusban tehát nemcsak a szőlőcukorból, hanem a zsírokból és a fehérjékből származó szénatomok is oxidálódnak, illetve a terminális oxidációban a zsírokból és fehérjékből származó hidrogének is szintén oxidálódnak és hozzájárulnak a sejt energiatermeléséhez.

## Érdekes adatok, tények

- A különböző tápanyagok 1 grammjának oxidációja eltérő mennyiségű energiát szolgáltat a szervezet számára. A szénhidrátok lebontása a sejtlegzés során 17,2 kJ/g (4,1 kcal/g), a zsíroké 39 kJ/g (9,3 kcal/g) energia felszabadulásával jár.
- Az emberi szervezet energiaigényét 75%-ban a szénhidrátok lebontása fedezi. Az idegsejtek ugyanakkor szinte kizárólag a szőlőcukrot képesek hasznosítani.
- A raktározott zsírok egyes élőlényekben nemcsak energia-, hanem víztartalékot is jelentenek. Közismert például, hogy a tevék a púpjukban felhalmozott zsíroknak is köszönhetik, hogy jól bírják a szomjazást a forró sivatagi éghajlaton. A magas hidrogéntartalmú zsírok biológiai oxidációját ugyanis nagy mennyiségű víz képződése kíséri.
- Az aminosavak lebontása során az emberi szervezet májsejtjeiben a szén-dioxid és a víz mellett nitrogéntartalmú anyagcsere termék, karbamid is képződik. A májból a karbamid a vérbe kerül, a vérből a vese választja ki a vizeletbe.
- A nukleinsavak lebontása során az adeninből és a guaninból nitrogéntartalmú anyagcsere termék, húgysav keletkezik. Ez rosszul oldódik vízben, így a vese csak nehezen tudja a szervezetből kiüríteni.

A lebontó, energiatermelő folyamatok a sejtekben végbemehetnek aerob és anaerob módon. Az aerob feltételek mellett történő lebontás a sejtlegzés (biológiai oxidáció). Három részfolyamata a glikolízis, a citromsavciklus és a terminális oxidáció. A szerves vegyületekből származó szénatomok széndioxiddá, a hidrogénatomok pedig vízzé oxidálódnak.

A fotoszintézis és a sejtlegzés energiaátalakító folyamata közötti hasonlóság a membránokba épült elektronszállító és ATP-képző rendszerek működése.

Egy mól szőlőcukor lebontása 38 mól ATP keletkezését eredményezi, mely energiát a sejt különböző energiaigényes működésekre (pl. fehérjeszintézis, sejtosztódás, anyagfelvétel, mozgás, ingerlékenység) fordít.

# 21. Összefoglalás



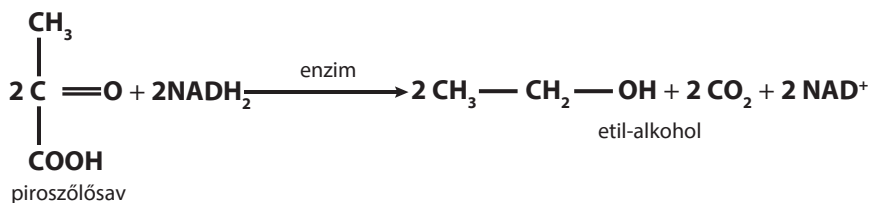
## 22. Az erjedés

1. Miért kell elővigyázatosnak lenni a borospincékben a must erjedésekor?
2. Miért használnak a kenyérsütéshez élesztőt vagy kovászt?
3. Mit jelent a joghurtokon olvasható „élőflórás” kifejezés?
4. Hogyan lesz a tejből aludttej?

### Idézd fel!

Mit jelent az aerob és anaerob kifejezés? Mely vegyületek képződnek a szénhidrátok aerob lebontása során? Mennyi energiát (hány mól ATP-t) termel egy mól szőlőcukor lebontása? A sejt melyik részén játszódik le a glikolízis? A baktériumok mely ipari, mezőgazdasági hasznosításáról hallottál?

Egyes élő szervezetek, illetve bizonyos szöveti sejtek oxigén hiányában, azaz **anaerob** feltételek mellett is képesek szerves anyagok lebontásából energiát nyerni az erjedésnek, azaz **fermentációnak** nevezett anyagcsere-folyamatban. Az élesztőgombákra jellemző **alkoholos erjedés** terméke az **etil-alkohol** (etanol) és a **szén-dioxid**. Egy mól szőlőcukor alkoholos erjedése összességében **két mól ATP** képződését eredményezi (1. ábra). A szőlő alkoholos erjesztésével bort, a gabona-félékével sört állítanak elő. Az élesztőt kelt tészták készítésére (pl. kenyér, kalács) is használják, az erjedés során képződő szén-dioxid teszi szivacsossá, „könnyűvé” a tésztát. Az erjedést katalizáló enzimek a **sejtplazmában** találhatóak, így ezek a folyamatok ott játszódnak le.



### 1. Az alkoholos erjedés





# Kísérletezz!

1. MÉRJ KI HÁROM, 250 ml-es keskeny szájú lombikba 12-12 g sütőélesztőt! A lombikba apróra szétmorzsolva szórd be az élesztőt!
2. Készíts 100-100 ml 5 g/l, 10 g/l és 20 g/l koncentrációjú glükózoldatot!
3. Öntsd az egyes lombikokba a 100 ml glükózoldatot, majd jól keverd el az élesztőt az oldatban! Mindegyik lombikra írd rá markertollal a glükózkoncentrációt!
4. 4-5 perc várakozás után húzz a lombikok szájára egyforma lufikat, majd madzag és vonalzó segítségével mérd meg a legnagyobb átmérő mentén mindegyik lufi kerületét 30 és 45 perc múlva! Az adatokat jegyezd fel a táblázatba!

## Számítsd ki!

Számítsd ki, hogy 30 és 45 perc alatt 5 g/l-es, 10 g/l-es és 20 g/l-es glükózkoncentráció esetén mekkora térfogatú gázt termelődött, ez hány mól glükóz elfogyasztását jelentette, illetve 1 g élesztő a rendelkezésre álló glükóz hány százalékát hasznosította! A számítások menetét rögzítsd a füzetedben, a számítások végén pedig az eredményt két tizedes pontossággal add meg, és írd be a táblázatba is! Ügyelj a helyes mértékegység-használatra is!

(A számítás egyszerűsítése érdekében tekintsd úgy, hogy a teremben 25 °C és standardállapot uralkodott, a lufi kiindulási térfogata 0 cm<sup>3</sup>, a felfújódó lufi alakja pedig szabályos gömb, valamint a lufi tágulását nem befolyásolta az anyagminőség és a külső légnyomás.  $V_{\text{gömb}} = (4\pi r^3)/3$ ,  $M_{\text{glükóz}} = 180 \text{ g}$ ).

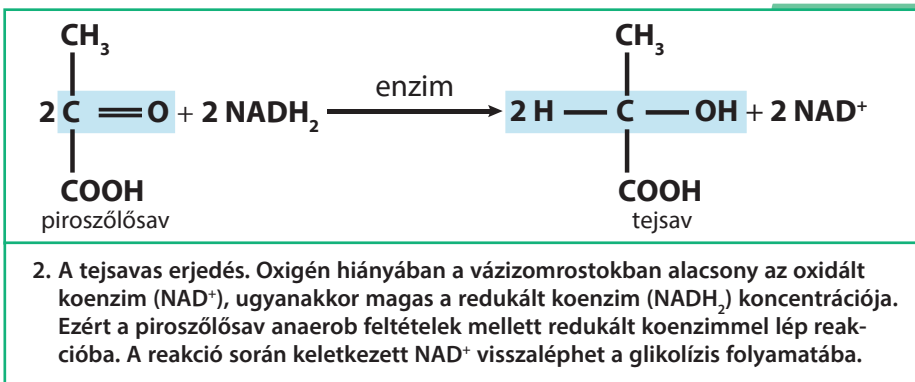
Ábrázold milliméterpapíron, hogy a glükózkoncentráció függvényében hogyan változott a megtermelt CO<sub>2</sub> térfogata! Illessz egyenest a kapott pontokhoz! (Ha szeretnéd, a grafikus ábrázolást elkészítheted az Excel program segítségével is.)

## Tervezz!

Hogyan állítanád össze egy kontroll-lombik tartalmát, hogy igazold, a gázfejlődésért valóban az élesztőgombák lebontó tevékenysége felel? Tervezd meg a kontroll-lombik tartalmának összetételét! Füzetedbe dolgozz!

Glükózkoncentráció		5 g/l	10 g/l	20 g/l
A lufi kerülete	30 perc múlva			
	45 perc múlva			
A termelődött CO <sub>2</sub> térfogata	30 perc múlva			
	45 perc múlva			
Az elfogyasztott glükóz mennyisége	30 perc múlva			
	45 perc múlva			
1 g élesztő által fogyasztott glükóz és a kiindulási oldat glükózmennyiségének az aránya százalékban kifejezve	30 perc múlva			
	45 perc múlva			

Az erjedésnek más módja is ismert az élővilágban. A gerincesek intenzíven működő **vázizomrostjaiban** oxigén hiányában **tejsavas erjedés** történik. A glikolízist követően a piroszőlősavból nem szén-dioxid és víz képződik, hanem tejsav. Egy mól szőlőcukor tejsavas erjedése csak két mól ATP képződésével jár, hiszen végtermékének, a tejsavnak magas az energiatartalma (2. ábra). Az ATP a glikolízis folyamatában keletkezik. A tejsavas erjedés nemcsak a vázizomrostokra jellemző, egyes baktériumok és gombák is képesek ily módon energiát nyerni. Közülük a **tejsavbaktériumok** gazdasági szempontból is jelentősek, mivel közreműködésükkel állítanak elő savanyított élelmiszereket (pl. savanyú káposzta, tejföl, joghurt, sajtok).



### Nézz utána!

Mi a gazdasági jelentősége az alkoholos, illetve a tejsavas erjedésnek? Tejtermékeken kívül milyen élelmiszereket állítanak még elő tejsavas erjedéssel? Mire használják a tejsavas erjedést a mezőgazdaságban?

### Kutass!

A kenyér készítése során a múltban és a kézműves eljárásokban ma is használnak kovászt. Nézz utána, hogy készül! Milyen élőlények és folyamatok jellemzőek rá?

### Gondolkodj!

Magyarázd meg, miért képződik kevesebb ATP egy mól szőlőcukor tejsavas erjedésekor, mint biológiai oxidációjakor!

Milyen jellemzői vannak a szén-dioxid molekulának, ami miatt veszélyes lehet az ember számára??

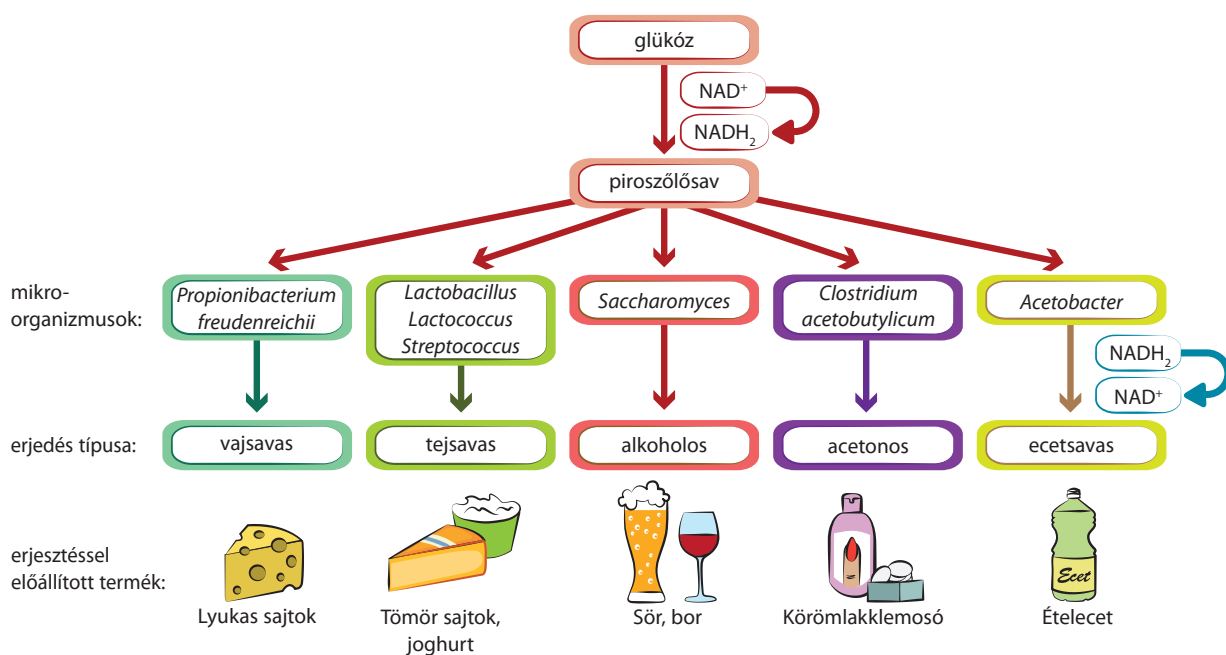
### Következtess!

Tekintsd át az ábrát, és gondold át a következőket!

Mely kémiai anyagok jelentik az egyes erjedések végtermékeit?

Az alkoholos erjedésen kívül melyik erjedés során keletkezik még szén-dioxid? Miben mutatkozik ez meg az előállított terméken?

Melyik erjedés kivételes abból a szempontból, hogy oxigén jelenlétében, azaz aerob módon játszódik le?



Az erjedés különböző típusai és felhasználásuk az iparban

Az erjedés – általában – anaerob körülmények között zajló lebontó folyamat. A végtermékek alapján többféle típusát különböztetjük meg. Az élelmiszeriparban és az otthoni élelmiszer-előállításban is a leginkább alkalmazott erjedési típusok az alkoholos és a tejsavas erjedés. Az alkoholos erjedés során szén-dioxid is képződik.

Az erjedés folyamatának enzimek által katalizált lépései a sejtplazmában játszódnak le.

## 22. Összefoglalás



# 23.

## A szén körforgása

1. Mit jelentenek a következő fogalmak: autotróf, heterotróf, fotoszintézis?
2. Az élővilág mely csoportjai képesek fotoszintézisre?
3. Mely sejtalkotóban játszódik le a fotoszintézis? Mi a fotoszintézis lényege? Miként írható fel a fotoszintézis alapegyenlete?
4. Az élőlények mely csoportjai képesek sejtlegzésre, azaz biológiai oxidációra?
5. Mely sejtalkotókban játszódnak le a biológiai oxidáció rész-folyamatai?
6. Miként írható fel a biológiai oxidáció alapegyenlete?

### Számítsd ki, és hangolódj rá!

Számítások szerint egy falombkőbméternek megfelelő fotoszintetizáló felület ( $4 \text{ m}^3$ ) évente kb. 430 gramm oxigént termel és kb. 590 gramm szén-dioxidot köt meg. Hány kilogramm oxigént termel és hány kilogramm szén-dioxidot dolgoz fel egy 50 éves fa, aminek lombkoronája  $116 \text{ m}^3$ ?

A növények az általuk megkötött szén egy részét légzésük során újra szén-dioxiddá alakítják, miközben a fotoszintézis során termelt oxigénnek is egy részét elhasználják. Összességében azonban több oxigént termelnek, mint amennyit fogyasztanak. Ennek ellenére miért nem növekszik folyamatosan a levegő oxigéntartalma?

Egy háztartásban felmérték a család éves energiafelhasználását és ezen keresztül szén-dioxid-kibocsátását. A következő adatokat kapták:

- elhasználtak  $410 \text{ m}^3$  földgázt ( $1 \text{ m}^3$  földgáz elégetése során  $1,85 \text{ kg CO}_2$  keletkezik),
- a villamosenergia-fogyasztás  $3280 \text{ kWh}$  volt ( $1 \text{ kWh}$  energia nyerése során  $0,55 \text{ kg CO}_2$  kerül a légtérbe),
- a családi autóval egy év alatt  $43\,570 \text{ km}$ -t tettek meg (az autó átlagos  $\text{CO}_2$ -kibocsátása  $183 \text{ g/km}$ ), a fűtési időszakban  $11\,945 \text{ kg}$  fát égettek el ( $1 \text{ kg}$  fa elégetése során  $1,302 \text{ kg CO}_2$  keletkezik).

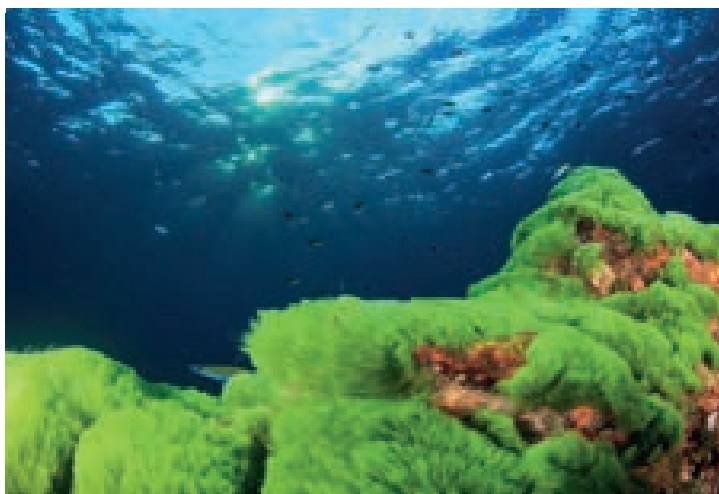
Egy hektár mérsékelt övi erdő kb.  $22 \text{ tonna CO}_2$ -t hasznosít a légkörből. A családnak van  $12,6$  hektár erdeje. Megköti-e ez az erdő a család által kibocsátott  $\text{CO}_2$ -mennyiség egészét?

### Elemezz!

Az eddig tanultak és a 3. ábra alapján értelmezd a szárazföldi ökoszisztémák szénkörforgását! Olvasd le az ábráról, hogy mely folyamatok növelik, illetve csökkentik a levegő szén-dioxid-tartalmát! Fogalmazz meg, mi a feltétele annak, hogy a levegő szén-dioxid-tartalma hosszú távon állandó maradjon!

## Ökológiai rendszerek

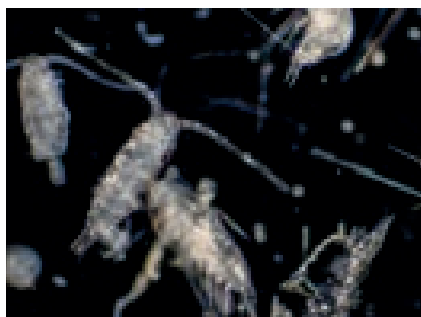
Az életközösséget alkotó populációk a rájuk ható környezeti tényezőkkel együtt egységes ökológiai rendszert, **ökoszisztémát** alkotnak. Az ökoszisztémákban szabályozott anyag- és energiaforgalom zajlik. Az **anyagforgalom** szempontjából a bioszféra **zárt rendszernek** tekinthető, mert ökoszisztémái nem hasznosítanak Földön kívülről származó anyagokat. A bioszférában zajló folyamatokat a Nap sugárzó energiája tartja fenn, az **energiaforgalmat** tekintve a bioszféra **nyílt rendszer** (1. ábra). Az ökoszisztémákban a különböző fajok populációi meghatározott szerepet töltenek be: lehetnek **termelők**, **fogyasztók** vagy **lebontók**. Az **autotróf** anyagcseréjű **termelők**, elsősorban a fotoszintetizáló kékbaktériumok, a növényi egysejtűek és a növények szerves anyagot állítanak elő. Ezt a szerves anyagot egyrészt saját maguk, másrészt a társulás heterotróf anyagcseréjű, fogyasztó és lebontó szervezetei is felhasználják. A **heterotróf** élőlények táplálkozásuk során a szerves anyagokkal együtt hozzájutnak a szerves anyagokba beépített energiához is. Az ökoszisztéma növényevő állatai az **elsődleges fogyasztók** (2. ábra), ragadozói pedig a **másodlagos**, illetve a **harmadlagos fogyasztók**. A termelőkből és a fogyasztókból szerves hulladékok, szerves maradványok jutnak a környezetbe, amelyeket a **lebontók** alakítanak át ásványi anyagokká.



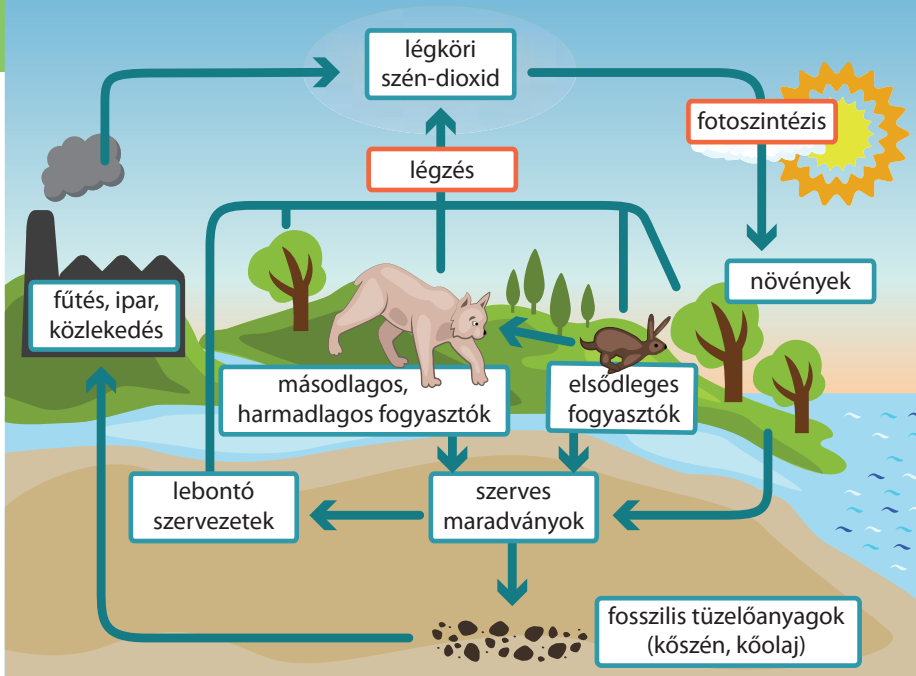
1. Zöldalgák a tengerfelszín alatti sekélyebb, jól megvilágított mélységben

### Anyagforgalom az ökoszisztémákban

Az ökoszisztémák anyagforgalma **körfolyamat**, mert a felhasznált anyagok a termelőktől a fogyasztók szervezetébe kerülnek, majd az élőlények maradványaiból származó anyagokat a lebontók ismét a termelők számára felvehető formába alakítják. Ez azt jelenti, hogy a víz, valamint az oxigén, a szén és más elemek atomjai **újra és újra felhasználhatók** az ökoszisztémákban. A különböző anyagok körforgása egyidejűleg zajlik, számos ponton találkozik, és együttesen alkotják az ökoszisztémák anyagforgalmi rendszerét.



2. Tengeri zooplankton (krillek)



3. A szárazföldi szén ciklus

### A szén körforgása

A szén körforgása közvetlenül kapcsolódik az élőlények anyagcsere-folyamataihoz. A **fotoszintetizáló** szervezetek a légkörben lévő vagy a vizekben oldott **szén-dioxidot hasznosítják szerves vegyületek** előállítására. A szerves szénvegyületek egy része a táplálkozás során a termelőkből a fogyasztók testébe jut, végig halad a táplálékláncon. A táplálékláncok tagjai a szerves anyagokból légzésük során **szén-dioxidot termelnek**, amely a légkörbe kerül. A szerves hulladékokat, maradványokat a lebontók szén-dioxiddá, vízzé és ásványi anyagokká alakítják. A légköri szén-dioxid mennyiségét a tüzelőanyagok elégetése és a vulkáni tevékenység is növeli (3. ábra).

A szén körforgásában részt vevő anyagok egy része hosszabb-rövidebb időre kikerülhet a ciklusból. A földtörténet során sokszor és sok helyütt előfordult, hogy a szerves anyagok lebontási folyamatait a környezet gátolta, például az élőlények maradványait az üledék betemette vagy a víz elborította. Ilyen körülmények között a szerves maradványokból kőszén, illetve kőolaj, földgáz keletkezett. Ezeket összefoglaló néven **fosszilis tüzelőanyagoknak** nevezzük. Elégetésük során az évmilliókkal ezelőtt fotoszintézissel megkötött szén **visszakerül a körforgásba** (4. ábra).



4. 50 millió éve növényekbe beépült szén kerül újra szén-dioxidként a légkörbe

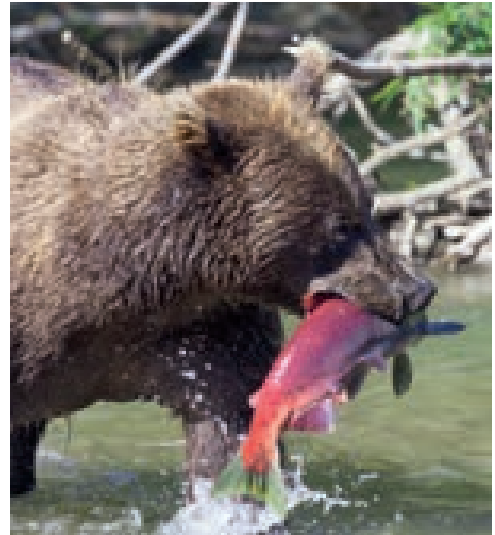
### Gondolkodj!

A bioszférában különböző széntárolók (rezervoárok) léteznek. A levegő  $\text{CO}_2$  formájában 735 milliárd tonna szenet tartalmaz, a szárazföldi élővilág 560 milliárd tonna szenet tárol, aminek 3/4-e az erdőkben található. A talaj szervesanyag-maradványok formájában 1200–1400 milliárd tonna szenet raktároz – vagyis az erdők és a talaj szerepe is igen nagy jelentőségű a szén körforgásában. Mi az oka annak, hogy bár a trópusi erdők szénkészlete csaknem másfélszerese a mérsékelt övi erdőkének, mégis a mérsékelt övi erdők talajai majdnem háromszor annyi szenet raktároznak, mint a trópusi erdők talajai?

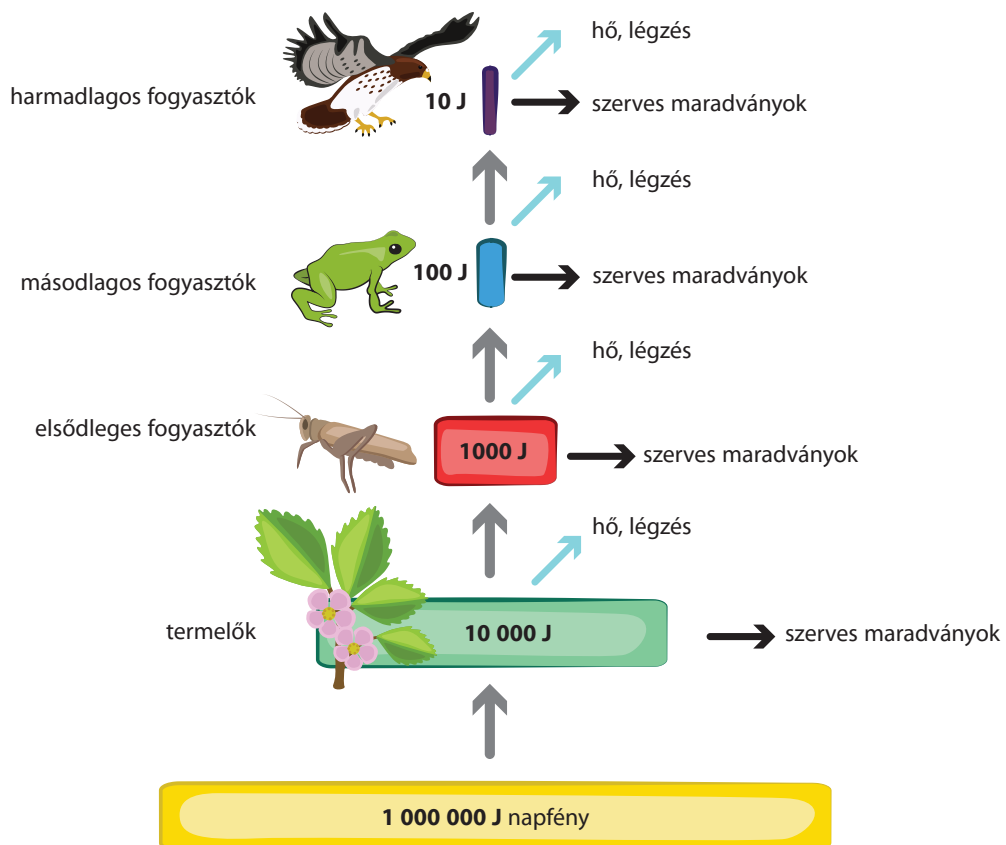


## Energiaáramlás az ökoszisztémákban

Az ökoszisztémák energiaáramlása **egyirányú folyamat**. A termelők megkötik a napfény energiáját, és szerves vegyületek kötései-  
ben tárolt kémiai energiává alakítják át. A megtermelt szerves anyagok egy részét felhasználják saját testük felépítéséhez, más részét a sejtlégzés során lebontják, hogy energiát nyerjenek életműködésükhez. Az energiaátalakítás jelentős hővesztéssel jár. A növények fotoszintézise során képződött szerves anyagoknak tehát csak egy része jut a fogyasztókhoz. A fogyasztók a felvett szerves anyagokat testük felépítésére és energianyerésre hasznosítják. Az elsődleges, a másodlagos stb. fogyasztók szintjén is jelentős az **energiavesztés** hőenergia formájában. Az elsődleges fogyasztóktól csak kevés szerves anyagban tárolt energia juthat a másodlagos fogyasztókhoz, illetve innen még kevesebb a harmadlagos fogyasztókhoz (5. ábra). A veszteségek miatt a táplálkozási szintekre jutó szervesanyag-mennyiségnek **átlagosan a 10%-a** jut tovább a következő szintre. Minden szintről jelentős mennyiségű energia távozik szerves hulladék formájában is, amelyet a lebontók hasznosítanak (6. ábra).



5. Lazacot fogyasztó csúcsragadozó barna medve



6. Az ökoszisztéma energiaáramlása

Hogyan lehet jellemezni, összehasonlítani a különböző ökoszisztémák energiaforgalmát? Egy ökoszisztémában egyidejűleg található élőlények összömege a **biomassza**. Az a folyamat, amelyben a szerves anyag, a biomassza megtermelődik, a **biológiai produkció**. Az ökoszisztémák produkcióját általában az egy év alatt termelt biomassza alapján hasonlítják össze.

### Gondolkodj!

A szén-dioxid vízben oldódik, a Föld felszínének 2/3 része tenger és óceán. Miért nem tudja ez a hatalmas mennyiségű víztömeg a benne lévő termelő szervezetekkel együtt az ember gazdasági tevékenysége által a levegőbe juttatott szén-dioxid jelentős részét elnyelni, s kompenzálni ezáltal az emberi többlet-szén-dioxid-kibocsátást?

# Tervezz és alkoss!

Alkossatok kisebb, három-négy fős csoportokat, és tervezetek, majd készítsetek közösen legalább A3-as méretű posztert a szén körforgásáról! Használjátok fel a tankönyvi ábráról és a tankönyvi szövegből nyerhető információkat, de vegyétek figyelembe még az alábbi folyamatokat is!

- A tengereknek, óceánoknak is megvan a szén ciklusuk a maguk termelő, fogyasztó és lebontó szervezeteivel.
- A mészvázás tengeri élőlények váza kiülepedhet, üledékes kőzeteket hozva létre.
- A mészkőhegységekből mállás közben is szabadulhat fel szén-dioxid.
- A mészkőhegységekben a barlang- és cseppkőképződés közben is használódik el, illetve termelődik CO<sub>2</sub>.
- Vulkáni tevékenység is juttatott CO<sub>2</sub>-t a légkörbe.
- Az emberiség a fűtésen, iparon és a közlekedésen kívül más tevékenységeivel is tudja befolyásolni a levegő CO<sub>2</sub>-tartalmát.

Mutassátok be egymásnak az elkészített posztereket, és vitassátok meg, hogy a szén ciklus minden folyamatát, lépését megfelelően ábrázoltátok-e!

Az Erdőbiológiai Monitoring és Kutatási Program (EMKP) honlapján a következőket olvashatjuk:

### **Nem az oxigén – a szén-dioxid!**

*Közkeletű szakmai hiedelem szerint az erdők egyik legfontosabb szerepe a létünkhöz oly nélkülözhetetlen oxigén termelése. Gyakran találkozni olyan véleményekkel, hogy „az erdők a Föld tüdeje”, vagy „a zöld fák rengetege termeli az életet adó oxigént”. Könnyen belátható, hogy ez a hiedelem alapvetően téves. Az erdő növényei termelnek ugyan oxigént, de ennek nagy részét saját maguk azonnal felhasználják, a maradék nagy részét pedig az erdőben állandóan zajló, a korábban képződött és elhalt szerves anyag lebontását előidéző folyamatok kötik le. Az azonnal fel nem használt mennyiség igen csekély a levegő oxigéntartalmához képest. Hasonlóképpen, az emberek légzése, illetve az emberi tevékenység oxigénfogyasztó folyamatai (pl. fűtés, közlekedés, az ipari termelés stb.) akármilyen sok oxigént is emésztenek fel, csak a töredékét fogyasztják el annak, ami a levegőben van.*

*A levegőben ugyanis irdatlan mennyiségű oxigén van. A levegő jelenlegi magas oxigéntartalma valóban a növényi fotoszintézis eredményeként alakult ki, azonban ehhez több milliárd évre volt szükség. Ez alatt a hosszú idő alatt a levegő oxigén tartalma kb. 21%-ra (210 ezer ppm) növekedett. Ez a nagy mennyiség csökken ugyan valamennyit az említett emberi tevékenységek hatására, de ez a csökkenés (évente kb. 4 ppm) a mérés határ közelében van. Az oxigénóceánból kimert néhány vedernyi hiánynak – legalábbis eddigi ismereteink szerint – nincs is különösebb hatása életünkre vagy környezetünkre.*

*Forrás: Erdőbiológiai Monitoring és Kutatási Program*

### **Gondold újra, ítéld meg!**

Mivel indokolja azt a szerző, hogy mai világunkban az „erdők a Föld tüdeje” értelmezés téves? Igazat adsz-e neki? Válaszodat indokold is!

Még ha igaznak is tekintjük, hogy az erdők nem számítanak a Föld tüdejének, a nagyobb településeken, városokban a zöld növényzet hiányában nincs, ami oxigént termelne. Mivel magyarázható, hogy ezeken a helyeken is van élet, és a heterotróf szervezetek nem fulladnak meg oxigén hiányában?

Miért tarthatja azt az írás szerzője fontosabbnak, hogy az erdők szerepét ne az oxigén termelésében lássuk, hanem a szén-dioxid megkötésében (lásd az olvasmány címe)?

Az ökoszisztémákat anyag- és energiaforgalom jellemzi. Az anyagforgalom szempontjából az ökológiai rendszerek zártak, az anyagok körforgást végeznek. Energiaforgalom szempontjából az ökoszisztémák nyitottak, az energiaáramlásuk egyirányú folyamat.

Az autotróf és heterotróf élőlények az ökoszisztémákban betöltött szerepük szerint lehetnek termelők, fogyasztók és lebontók.

A szén körforgásában nagyon fontosak a levegő és a vizek CO<sub>2</sub>-tartalmát szerves anyaggá alakító, illetve az élőlényekben és a különböző élő eredetű szerves anyagokban lévő szén eloxidálását jelentő folyamatok.

## 23. Összefoglalás

# AZ ÉLET EREDETE ÉS FELTÉTELEI

## VI.



24. Életjelenségek és életkritériumok

25. Az élet megjelenése

26. Az ősbaktériumok jelentősége



# 24. Életjelenségek és életkritériumok

1. Mitől nevezünk valamit élőnek?
2. Hol a határ élő és élettelen között?
3. Vajon a vírusok élnek?
4. Hogyan keletkezhetett az élet?
5. Lehet-e élet az űrben?
6. Milyenek voltak az első élőlények?
7. Hogyan alkalmazkodtak az ősbaktériumok az extrém környezeti viszonyokhoz?

Az élet legkisebb, önállóan is életképes egysége a sejt. A többsejtű élőlények testét is sejtek építik fel. Több azonos működésű sejt együttesen szövetet alkot, amelyek szervek részét képezik. A szervek szervrendszereket és végső soron egy működő szervezetet alkotnak. Egyetlen sejtben éppúgy végbemennek életfolyamatok, mint egy többmillió sejtből álló szervezetben. De mikor mondhatjuk valamire azt, hogy élő?

Számos kutató megfogalmazta már azt, hogy milyen életjelenségekkel rendelkeznek az élőlények, legyenek egysejtűek vagy többsejtűek. Az életjelenségeken belül több olyan tényező van, amelyek együttes megléte szükséges ahhoz, hogy valamit élőnek nevezhessünk. Ezeket a tényezőket együttesen **életkritériumoknak** nevezzük. Az általánosan elfogadott életkritériumok a következők:

Elhatárolódás és kapcsolódás	Energiaforgalom, anyagátalakítás	Információtárolás és továbbítás	Szaporodás és fejlődés
Az élet vizes közegben jött létre és a sejtekben is vizes oldat található. A sejhártya vízben nem oldódó és oldódó anyagokból áll, így elválasztja és össze is kapcsolja a belső rendezett világot a külső élettelen környezettel. Ennek köszönhető, hogy a sejtek a környezetükkel anyag-, információ- és energiacsere-t végző nyílt rendszerek.	Az életfolyamatok energiát igényelnek, de érzékenyek a túl magas hőmérsékletre. Ezt az ellentmondást sajátos molekuláris szerkezetek, az enzimek oldják fel, amelyek alacsonyabb hőmérsékleten is biztosítják az anyagok átalakítását. Így nem károsodik a sejtek belső rendje és a folyamatok kellő időben és a megfelelő helyen mehetnek végbe. Az energia forrását az élettelen világ adja, kémiai anyagok vagy napfény formájában.	Az élet lényege abban rejlik, hogy valahogyan meg kell őrizni és folyamatosan helyre kell állítani a belső rendezettséget. A sejtek szintjén erre sajátos óriásmolekulák szolgálnak, a nukleinsavak (DNS, RNS). Bennük tárolódik az enzimek kódja, így a sejt működésének irányításáról is gondoskodnak.	A nukleinsavakban tárolt biológiai információ lemásolható és a szaporodás során tovább adható utódsejtek számára. Több-kevesebb változás mindig történik, így az utódok sokfélék lehetnek. Az információ továbbadásának képessége eltérő mértékű, általában ez a fejlődés kulcsa is. Ha mégsem, akkor a véletlen változások módosítják ezt a szabályt.



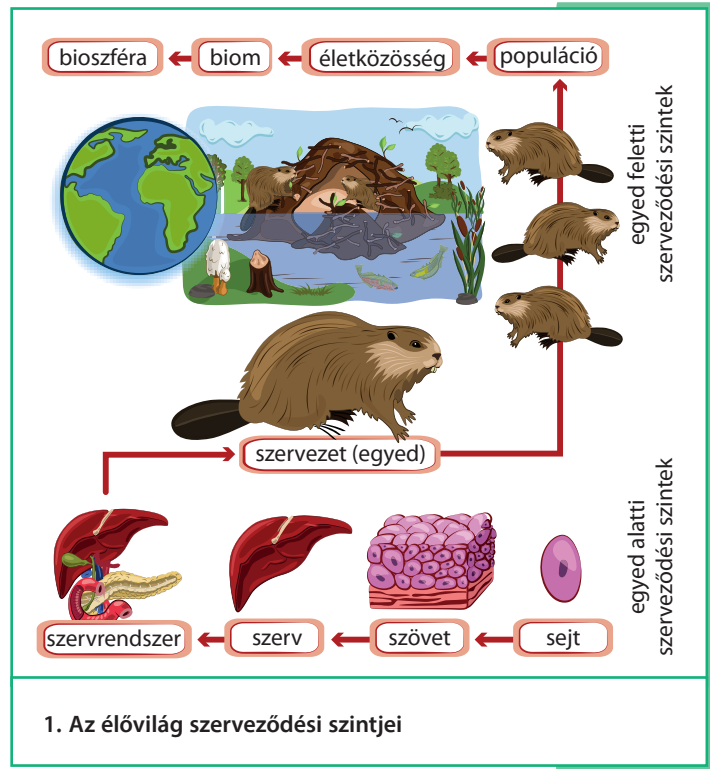
## Életjelenségek

Az élet mélyebb kritériumai alakítják ki a megfigyelhető életjelenségeket. Ilyenek pl. a **mozgásképeség**, az **anyagcsere**, vagy az **érzékelés és alkalmazkodás** képessége. Számunkra ezeket a legjobban az állatok jelenítik meg, ahogyan pl. egy kutya fut, eszik, szimatol. A növények mozgása inkább helyzetváltoztató, az anyagcseréjüket kísérő gázcserét sem látjuk. Az állat- és növényvilág fejlődéséről sem lehetnek napi tapasztalataink, mert az evolúciós folyamatok igen lassúak.

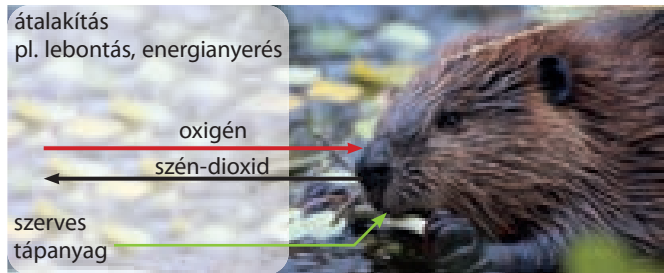
A technológiai rendszerek néha megtévesztően hasonlóak az élőlényekhez. Gondoljunk csak egy automata mosógépre, amit ruhákkal „táplálunk”, majd energiát vesz fel az elektromos hálózatból, tiszta vizet a vezetékéből, végül szennyvizet ad le a csatornába. Mindezt egy tárolt és rugalmasan alakítható program alapján végzi, hasonlóan a sejtek DNS-éhez. A robotok korábban sorolhatnánk még példákat...

Az élővilág **egymásra épülő szerveződési szintekre** tagolható (1. ábra). A biológusok a különböző szerveződési szinteket vizsgálva más és más szempontok alapján próbálják meg felderíteni az élet lényegét. Az élőlények táplálkoznak, lélegeznek, egyszóval **anyagcserét folytatnak**: anyagokat vesznek fel környezetükből, azokat felhasználják, átalakítják, majd a felesleges, káros anyagokat leadják környezetükbe (2. ábra). Mozognak, és a mozgáshoz szükséges energia saját anyagcseréjükből származik (3. ábra).

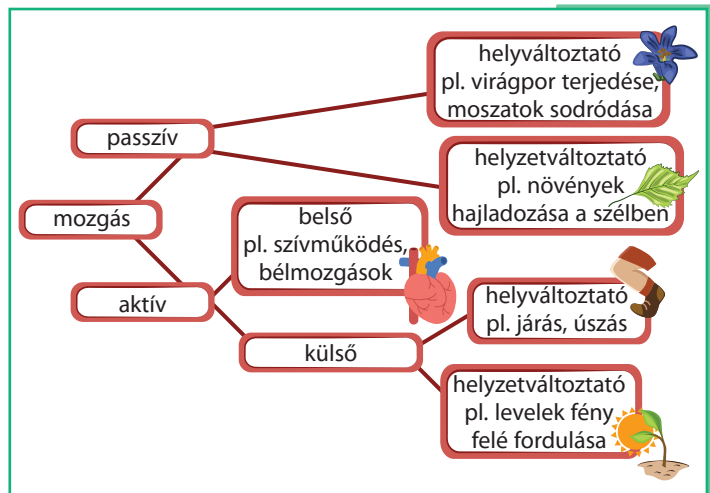
Az élőlények **alkalmazkodnak** környezetük változásaihoz. Ez egyrészt azt jelenti, hogy képesek a külső és belső környezetükből származó hatásokat, más szóval az ingereket felfogni, és azokra úgy válaszolni, hogy többé-kevésbé megőrizték belső állapotukat. A hód bőrében található érzékszervek például felfogják a külső hőmérséklet változását. Hideg hatására fokozódik a hód sejteiben a hőtermelés, így a külső hőmérséklet csökkenése ellenére testének belső hőmérséklete állandó marad. Az ingerlékenység eredményeként az élőlények rövid távon alkalmazkodnak környezetük változásaihoz. Az élőlények testfelépítésükben, viselkedésükben hosszú távon is alkalmazkodnak környezetükhöz. Sok-sok év alatt a fajok egyedeiben olyan



1. Az élővilág szerveződési szintjei



2. Az anyagcsere



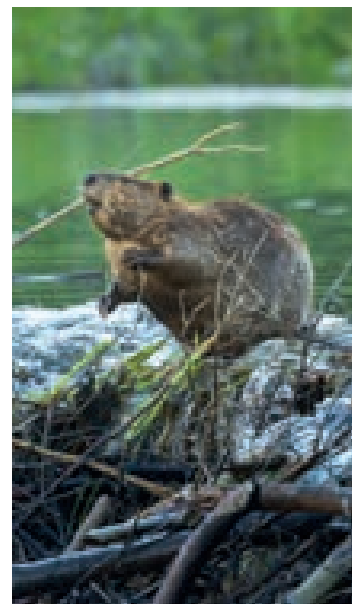
3. Mozgásformák – Az ábra példáinak segítségével fogalmazd meg, mi a különbség a passzív és az aktív mozgás között!



tulajdonságok jelennek meg, amelyek lehetővé teszik a folyamatosan változó környezetben való fennmaradást, elterjedést. A hód vízi életmódjára utal úszóhárttyás lába, tömött, vízhatlan szőrzete, elzárható orr- és fülnyílásai. Rendkívül erős metszőfogaival képes lehántani a fák kérgét. Végül, de nem utolsósorban gátak építésével biztosítja búvóhelyének védelmét (4. ábra). A gátak építésében a hódcsalád tagjai segítik egymást, az együttműködés hatékonyan szolgálja a csoport túlélését. Mindezek a tulajdonságok, amelyek segítik a faj egyedeinek alkalmazkodását élőhelyük környezeti feltételeihez, évezredek, évmilliók alatt a faj fejlődése, **evolúciója** során alakultak ki. A környezethez való alkalmazkodást az evolúcióképes örökítőanyaguk tette lehetővé.

Az élőlények **szaporodnak**, vagyis önmagukhoz hasonló utódokat hoznak létre, ezzel biztosítják a faj fennmaradását. Az élőlények **növekednek, fejlődnek**, míg el nem érik azt a fejlettségi állapotot, amikor maguk is utódokat hozhatnak létre.

Az élőlények fontos jellemzője az **öröklődés**, vagyis az, hogy a testük felépítésére és működésére vonatkozó információkat hordozó örökítőanyagot továbbadják egyik nemzedékről a másikra. Az anyagcsere, a mozgás, az alkalmazkodás, a szaporodás, a növekedés, a fejlődés és az öröklődés mind-mind az életjelenségek közé tartoznak. Az életjelenségek egy része (anyagcsere, mozgás, alkalmazkodás) az egyes egyedek túlélését, míg a többi (szaporodás, fejlődés, növekedés, öröklődés) a faj fennmaradását szolgálja.



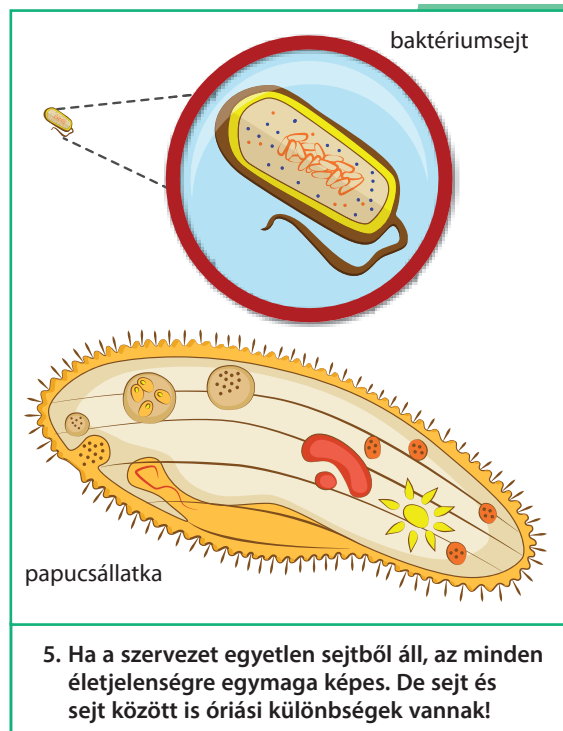
4. Gátat építő észak-amerikai hód

## Rendezettség, szerveződési szintek

Egy rendszer és környezete együtt újabb, magasabb szintű rendszert alkothat. Példa lehet erre a város, amelyet az épületek, a közöttük futó utak és közművek, zöld területek alkotnak. Önmagukban ezeket vizsgálva azonban nem tudjuk megmagyarázni, miért élhető a város. **A magasabb szerveződési szinten**, a város egészében **új tulajdonságok jelennek meg**, amelyek nem jellemezték az egyes részeket. Ezt nevezzük **emergenciaelvnek**, a magasabb szintek kizárólagos jellemzői az emergens tulajdonságok.

Minden élőlény testének alapvető felépítési és működési egysége a sejt. Minden sejtre és így minden élőlényre jellemző a homeosztázis (belső egyensúly, állandóság), azaz minden élőlény képes szabályozni például sejtjei vízállapotát, hőmérsékletét stb.

Az **egysejtűek** szervezete egyetlen sejtből áll, ami minden életműködés ellátására alkalmas. Egysejtű élőlény például az egyszerű felépítésű bélbaktérium és a jóval bonyolultabb papucsállatka is (5. ábra). A **többsejtűek** teste rendszerint sokféle különböző alakú és működésű sejtből áll. A különböző sejtek, sejtcsoportok közötti feladatmegosztás révén a többsejtűek szervezete hatékonyabb működésre képes. A legfejlettebb élőlények közé tartozó hód testében a hasonló alakú és működésű sejtek szöveteket alkotnak. A szövetek szerveket, a szervek szervrendszereket hoznak létre. A szervrendszerek építik fel a hód szervezetét. A **sejtek**, a **szövetek**, a **szervek** és a **szervrendszerek** az **egyed alatti biológiai szerveződési szintek**. Az élő-



5. Ha a szervezet egyetlen sejtből áll, az minden életjelenségre egymaga képes. De sejt és sejt között is óriási különbségek vannak!

lények a természetben nem magányosan, nem egymástól függetlenül léteznek. A fajtársak kisebb-nagyobb létszámú népeiségeket, más szóval **populációkat** alkotnak. Az egy helyen, egy időben előforduló populációk pedig életközösségekbe, **társulásokba** szerveződnek. Az eurázsiai hódnak például kis létszámú populációi élnek a Tisza partját kísérő fűz-nyár ligeterdőkben. A fűz-nyár ligeterdő-társulásban olyan növények, állatok, gombák populációi élnek egymással szoros kölcsönhatásban, amelyek mind itt találják meg a számukra fontos környezeti tényezőket. A különböző társulások a Földön az éghajlati öveknek megfelelően társulásegységekbe, más szóval **biomokba** rendeződnek (6. ábra). A fűz-nyár ligeterdők a mérsékelt övezeti füves puszták vagy a mérsékelt övezeti lombhullató erdők biomjába tartoznak. Végül a biológiai szerveződés legmagasabb szintje a **bioszféra**, amely magában foglalja az egész földi élővilágot. A populációk, a társulások, a biomok és a bioszféra a biológiai szerveződés egyed feletti szintjei. Vizsgálatukkal az ökológia tudománya foglalkozik.

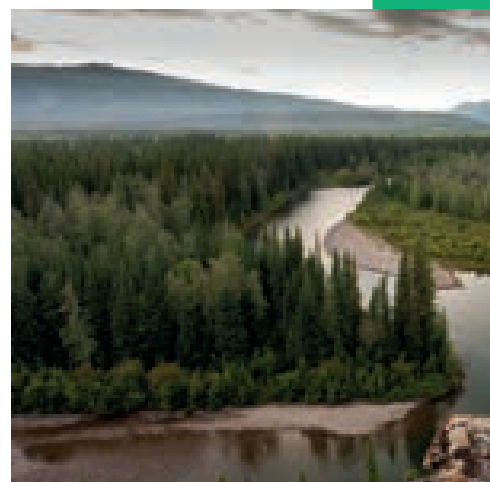
Az élőlények az élettelen környezettel is rendszerszintű kapcsolatokat alakítanak ki, ezek az életközösségek az **ökoszisztémák**. Ebben részt vesz a légkör, a vízburok és a kőzetburok is, biztosítva az anyagok áramlását a rendszerben. A Föld teljes élővilága, a bioszféra ma már meghatározó kapcsolatban áll az ember alkotta világgal, a technoszférával is.

## Anyagcsere

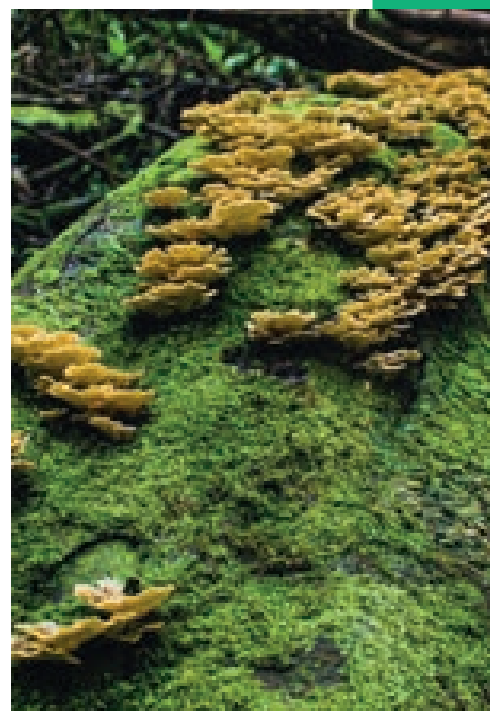
Az élő szervezetek **rendezettségének** kialakítása és fenntartása nagyon **energiaigényes**. Energia hiányában a rendezettség hamarosan megszűnik, az életműködések leállnak, bekövetkezik a pusztulás, a halál. Az élet fenntartásához szükséges energiát az élőlények anyagcsereje biztosítja. A heterotróf élőlények a táplálékkal a víz és az ásványi sók mellett energiaszolgáltató szerves anyagokat is felvesznek. A tápanyagok egy részéből felépítik testük anyagait: növekednek, fejlődnek, pótolják elöregedett, elpusztult sejtjeiket. A szerves tápanyagok nagyobbik hányadát azonban elégetik sejtjeiben. Ez a folyamat a sejtlégzés, amely valójában lassú égés. A sejtlégzés során a nagy molekulájú szerves tápanyagok oxigén jelenlétében szén-dioxiddá és vízzé alakulnak át. Eközben jelentős mennyiségű hő- és kémiai energia szabadul fel. A hőenergia biztosítja a test melegét, a kémiai energia pedig az életműködésekhez (növekedés, fejlődés, mozgás stb.) szükséges. A heterotróf szervezetek közé tartoznak többek között az állatok és a gombák (7. ábra). A növények környezetükből egyszerű felépítésű, alacsony energiatartalmú tápanyagokat: szén-dioxidot, vizet és ásványi sókat vesznek fel. Fotoszintézisük során a napfény energiájának felhasználásával magas energiatartalmú szerves anyagokat állítanak elő, amelyekből azután felépítik saját testüket, illetve lebontásukkal energiát nyernek életműködésükhez. A növények (kevés kivételtől eltekintve) előállítják maguknak az életműködésükhez szükséges szerves anyagokat, ezért autotróf (auto- ön-, saját) élőlények. Az eukarióta növények mellett a prokarióta cianobaktériumok is a fotoszintetizáló szervezetek közé tartoznak.

### Hasonlítsd össze!

Milyen előnyök és milyen hátrányok járnak az autotróf és a heterotróf anyagcsérével?



6. Kanadai boreális erdő. A Föld egyik legnagyobb kiterjedésű biomját az északi félteke túlevelű erdőségei alkotják.



7. Ehető taplógomba egy kidőlt fatörzsön

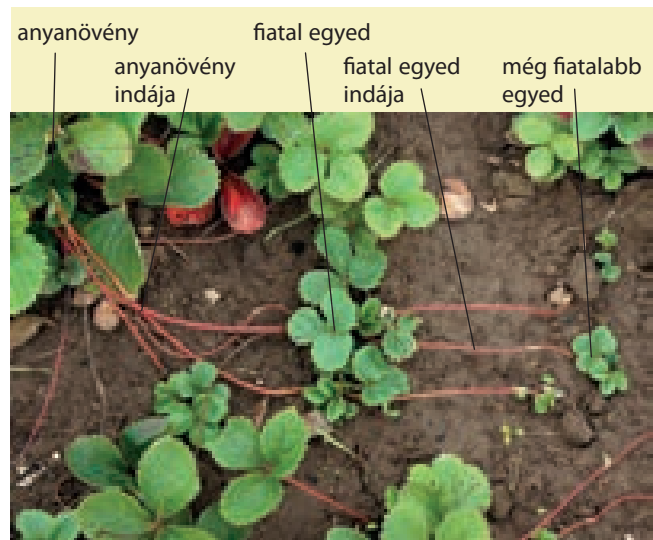
## Szaporodás, egyedfejlődés

Szaporodásuk során az élőlények önmagukhoz többé-kevésbé hasonló utódokat hoznak létre. Az élő szervezetek túlnyomó része **ivarosan** szaporodik. Ez azt jelenti, hogy utódaik a két ivarsejt egyesülésével kialakuló megtermékenyített petesejtéből, a zigótából indulnak fejlődésnek. A hímivarsejt az apai, a petesejt az anyai tulajdonságokat hordozza, így az utódok két szülő tulajdonságait, örökítőanyagát egyesítik magukban. Az élővilágban, különösen a növények körében elterjedt az ivarsejtek nélkül történő **ivartalan** szaporodás is. Legegyszerűbb módja, amikor egy egysejtű szervezet osztódik, és két új sejtet hoz létre. Ivartalan szaporodás a növények legyökerező oldalhajtásokkal, indával, gyökérágakkal, sarjhagymával, gumóval történő terjedése is. Az ivartalan szaporodást gyakran sokszorozódásként is említik, hiszen eredményeként egyetlen szülői egyed hasonmásai, klónjai jönnek létre (8. ábra). Az ivaros szaporodó élőlények egyedfejlődése során a zigótából kialakul az új egyed. Egyelőre még kevés ismeretünk van arról a bonyolult folyamatról, melynek során ebből az egyetlen sejtből kifejlődik egy többsejtű, összetett, bonyolult élőlény, megjelennek a fajára, szüleire jellemző tulajdonságai (9. ábra). Annyi azonban biztosra vehető, hogy az **egyedfejlődés** pontos programját az **örökítőanyag** tartalmazza.

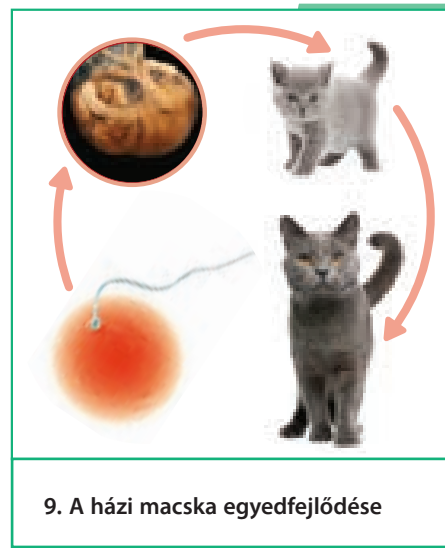
### Hasonlítsd össze!

Az okos gépek és az élőlények közötti fő különbség a fejlődés vagy fejlesztés eltérése.

1. **Hogyan történik pl. az autók vagy a ruházati termékek fejlesztése?**
2. **Mikor lesz sikeres egy termék?**



8. Ivartalan sokszorozódás a földieper példáján



9. A házi macska egyedfejlődése

# Kísérletezz!

Az alábbi anyagok és eszközök felhasználásával alkoss olyan rendszereket, amelyek valamelyik életjelenséget mutatják!

### Eszközök:

Petri-csészék, főzőpoharak, nátrium-acetát, desztillált víz, kalcium-karbonát, szörp, papírhajó

## Öröklődés

A populációk fennmaradását szolgáló életjelenség az öröklődés is. Lényege, hogy a szaporodás során az élőlények örökítőanyagának (DNS, azaz dezoxiribonukleinsav) másolatai létrehozzák a következő nemzedéket. A másolás nagy pontossággal történik, ezért egy populáció egyedei nagymértékben hasonlítanak egymásra. Az örökítőanyag kémiai szerkezetében azonban kisebb-nagyobb mértékű **változások** is történnek, és az ivaros szaporodással kialakuló utódokban a szülők tulajdonságai **kombinálódnak** is. Ennek köszönhetően a populáció egyes egyedei nem teljesen egyformák, a szaporodás során új tulajdonságokkal rendelkező egyedek is megjelennek a népségben. Az örökítőanyag szerkezetének, a tulajdonságok változatosságának köszönhetően az élőlények túlélési esélyei nem azonosak. Vannak közöttük olyan egyedek, amelyek sikerebben alkalmazkodnak környezetükhöz, mások pedig kevésbé rátermettek. Az élőlények változatossága teremti meg az alapját az élővilág folyamatos változásának, átalakulásának, az **evolúciónak**. Az evolúció során új tulajdonságok, új fajok, élőlénycsoportok jelennek meg, míg mások eltűnnek, kihalnak. A hódoknak ma két fajtát különböztetjük meg: az eurázsiai és a kanadai hódot. Néhány ezer évvel ezelőtt a hódok korábban egységes csoportjai elkülönültek egymástól, és olyan mértékű különbségek alakultak ki az észak-amerikai és az eurázsiai hódok között, hogy megszűnt közöttük a szaporodás lehetősége.

### Keress példát!

Nézz körül a környezetedben, és írd meg példákat élettelen dolgokra, amelyek mutatnak egy-egy életjelenséget!

### Nézz utána!

Ki volt Gánti Tibor? Hogyan köthető munkássága az élet vizsgálatához? Mit és hogyan vizsgál az elméleti biológia tudománya?

Akkor nevezünk valamit élőnek, ha az alábbi életkritériumoknak megfelel:

- anyagcsere
- változékony információhordozó anyag (DNS) megléte
- stabilitás és belső állandóság
- szabályozottság
- szervezettség/rendezettség

Az élőlények a szénforrásuk alapján lehetnek autotrófok vagy heterotrófok.

Az élőlények energiaforrásuk alapján fototrófok vagy kemotrófok lehetnek.

# 24. Összefoglalás



# 25.

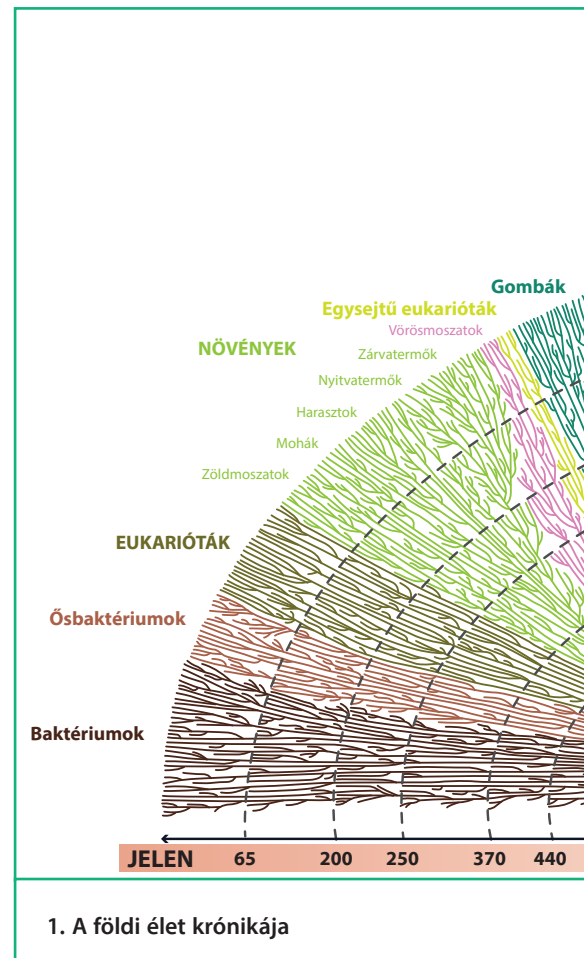
## Az élet megjelenése

1. Hogyan keletkezett az ősseves?
2. Kik ették meg az őssevest?
3. Hogyan és hol alakulhatott ki az első élő sejt a Földön?
4. Miért és hogyan kutatják a Földön kívüli élet keletkezésének lehetőségét?
5. Hogyan alakulhatott ki hajdanán az eukarióta sejtípus?
6. Mit jelenthet az, hogy sejtjeinkben baktériumok ősei élnek?

### A földi élet megjelenése

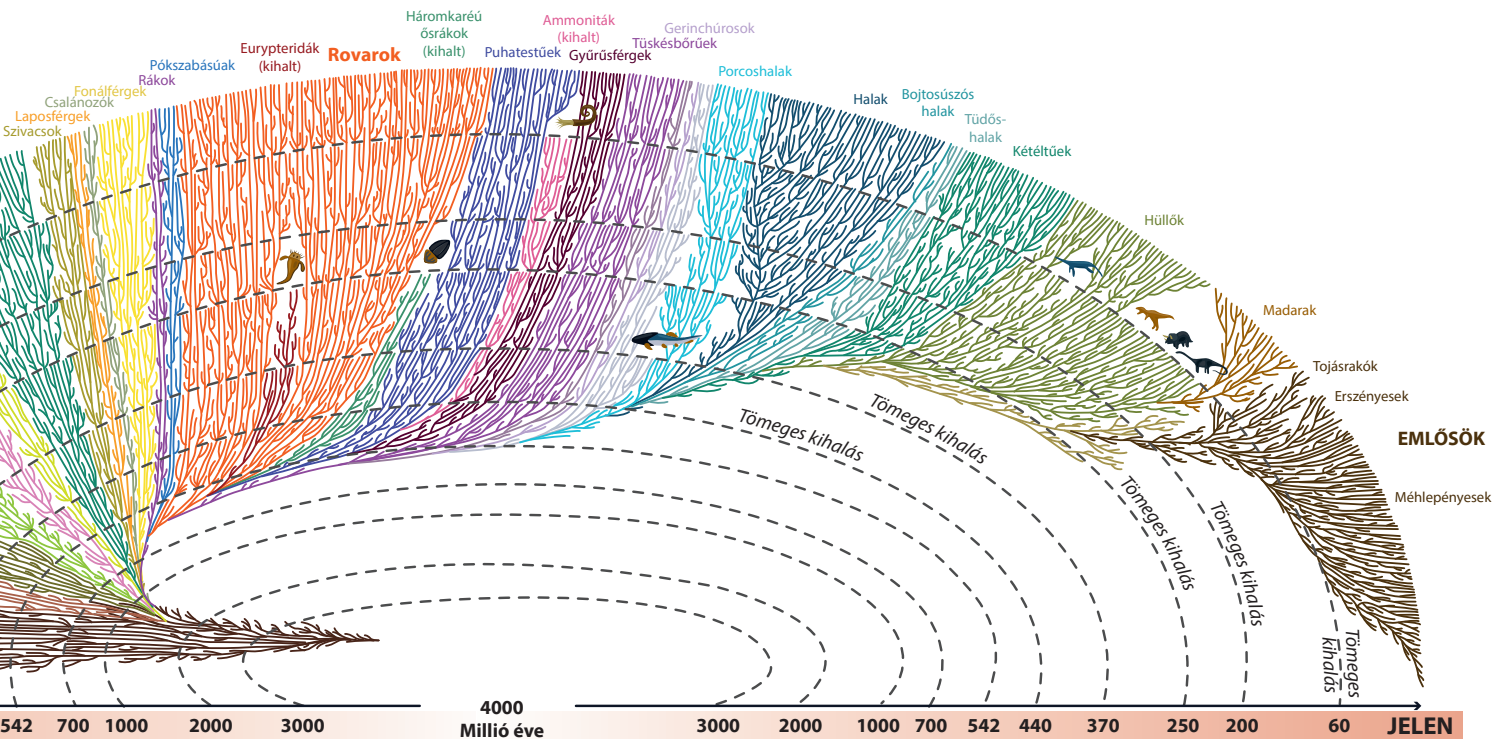
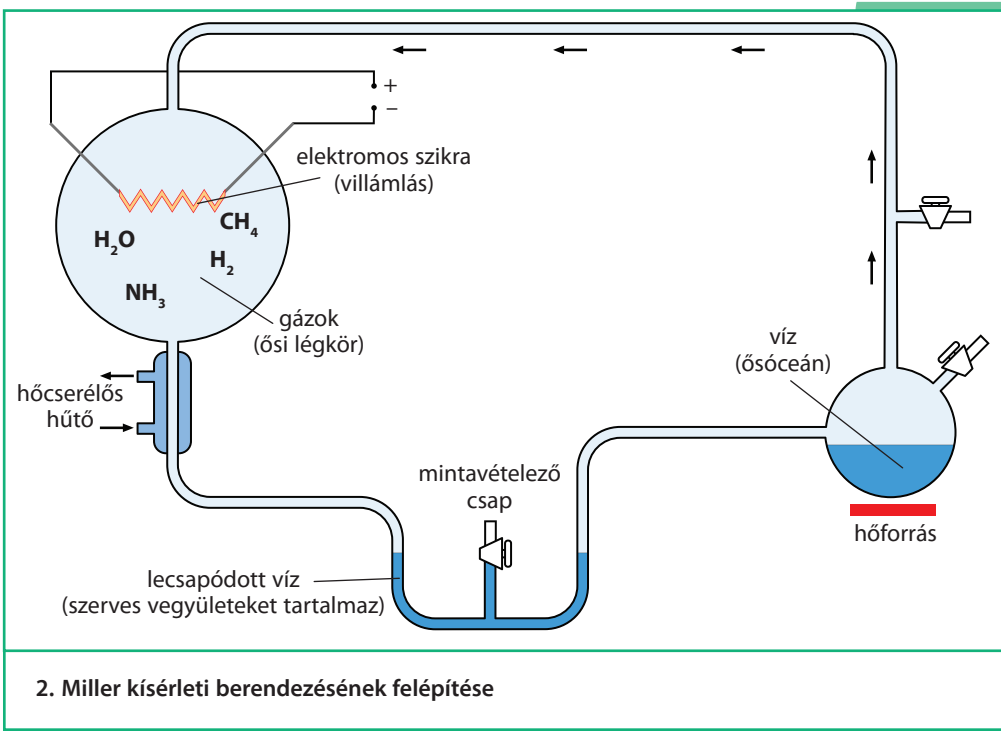
Jelenlegi ismereteink szerint a Föld kb. 4,6 milliárd éves. A legrégebbi kőületek tanúsága szerint bolygónkon az élet legalább 3,8 milliárd évvel ezelőtt jelent meg (1. ábra). Ezek az ősmaradványok egykor élt baktériumokból származhatnak. A kőzetekbe zárt fossziliák vizsgálataival rendkívül sokféle, egyre bonyolultabb testszerveződésű élőlény-csoport megjelenésére, elterjedésére derült fény. Azt azonban máig sem tudhatjuk, hogy az első sejtek hogyan alakultak ki Földünkön. Erre vonatkozóan több, biológiai szempontból elfogadható magyarázat kínálkozik.

Az evolúciókutatók ma azt tartják a legvalószínűbbnek, hogy az egykori földi környezet a légkörben és az óceánok vizében található anyagokból lehetővé tette a szerves vegyületek kialakulását. Stanley Miller laboratóriumi keretek között 1953-ban bizonyította be, hogy az **őslégkörben lévő anyagokból létrejöhetett szerves anyag**. Elméletét ősseves-elméletnek hívják. Az őslégkör hidrogénből, metánból, ammóniából és vízgőzből állhatott. Ebben a keverékben a légköri villámok hatására egyszerű szerves vegyületek jöhettek létre. Egy lombikban vizet forralt, s ennek gőzét egy elektródákkal felszerelt edénybe vezette. Az edényben gyakori elektromos kisüléseket hozott létre (villámok szimulációja), és a gázt egy hűtőn keresztül vezette vissza a vizet tartalmazó edénybe (2. ábra). A vízgőzből és a gázokból az elektromos kisülések hatására több szerves molekula is keletkezett. A kísérlet nagy jelentőségét az adja, hogy sikerült egyszerűbb aminosavakat is szintetizálni, amelyek az élő szervezetet felépítő fehérjék építőkövei. Feltételezések szerint ezek a szerves molekulák bemosódtak az ősóceánba, így jött létre az **ősseves**.



1. A földi élet krónikája







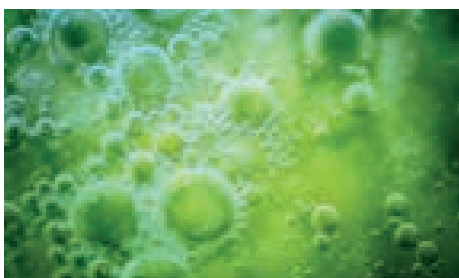
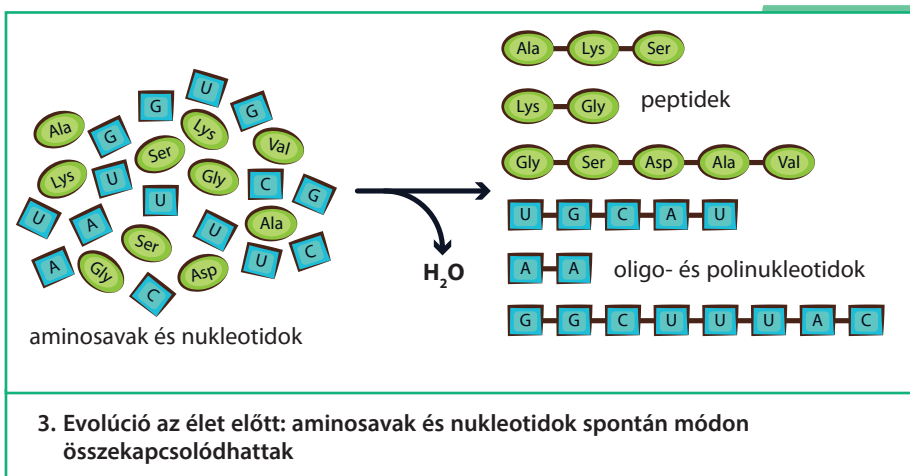
A laboratóriumi kísérletekből az is kiderült, hogy az aminosavakból bizonyos feltételek mellett fehérik, a nukleotidok alkotóiból pedig nukleinsavszerű molekulák képződhetnek (3. ábra).

Sőt, az ilyen oldatokban burokkal határolt, elkülönülő egységek alakultak ki, amelyek valamelyest a sejtekre emlékeztethettek. A szerves molekulából kialakuló óriásmolekulák egy ismert sajátossága az, hogy oldatban cseppekké képesek tömörülni. Az ilyen mikroszkópikus cseppeket tartalmazó oldatot **koacervátumnak** hívjuk (4. ábra). A koacervációt Oparin vizsgálta mélyrehatóan.

A koacervátumok több életjelenséget is mutatnak, azonban még nem rendelkeznek minden életkritériummal. Nyílt rendszerként működnek, anyagcserét folytatnak, növekednek, szaporodnak, viszont többek között nincsenek öröklődő tulajdonságaik, nincs homeosztázisuk, nem ingerlékenyek.

A koacervátumokból hiányzó tulajdonságok Gánti Tibor **kemotonmodelljében** már megvannak. A kemotonmodell az életjelenségeket mutató élő rendszerek leegyszerűsített modellje. A modell szerint az élő rendszereknek három alapvető részrendszerből kell állniuk. Kell egy **határoló rendszer**, amely a külvilágtól elhatárol, ugyanakkor kapcsolatot is tart a környezettel. Emellett szükség van egy **anyag- és energiaátalakító rendszerre** is, valamint egy **információs rendszer** megléte is nélkülözhetetlen. A modellben egymással összekapcsolódó, önmaguk létrejöttét katalizáló (autokatalitikus) **kémiai reakcióhálózatok, szabályozott körfolyamatok** működtetik a rendszert. Az így keletkezett rendszer már önfenntartó és önreprodukáló egyaránt. A rendszer rendelkezik anyagépítő és energiaszolgáltató ciklussal, az ehhez szükséges membránokat megkettőző ciklussal és az egész irányítását végző örökítőanyag-megkettőző ciklussal is.

Az első sejtek kialakulásához vezető kémiai folyamatok összességét **kémiai evolúciónak** nevezzük. Sajnos arra nincsenek bizonyítékok, hogy a szerves anyagokból miképpen jöttek létre a valódi sejtek. Hogyan alakult ki a nukleinsavak genetikai információtároló és -átadó szerepe, valamint a kémiai reakciókat írá-



**4. A koacervátumok felépítése**

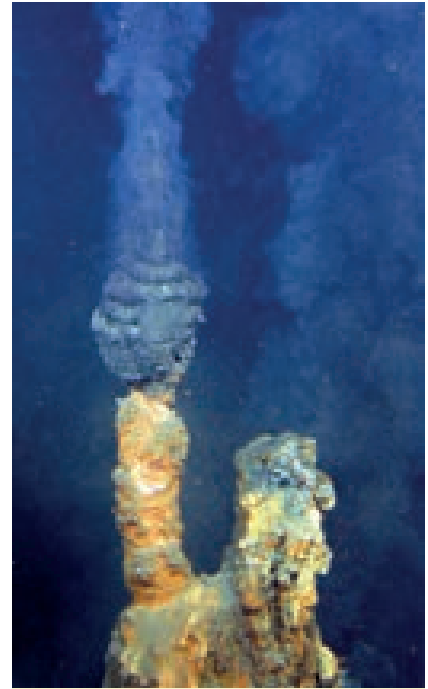
### Keress rá!

A liposzómák a kozmetikai szerek világában ismertek. Keress információkat a felépítésükről és a gyakorlati alkalmazásukról! Miért hasonlíthatók a koacervátumokhoz?

nyító enzimszerek összekapcsolódása – vagyis az anyagcserét folytató és osztódó sejt?

Újabban annak a lehetőségét is fölvetették a kutatók, hogy az élet esetleg nem is az őslégkör anyagaiból, hanem a mélytengerekben alakult ki, ahol az aljzatról feltörő meleg források kén-hidrogénben, ammóniában, szén-dioxidban gazdagok. Ezeken a helyeken is létrejöhetnek a sejtek felépítéséhez szükséges szerves molekulák, amelyekből kialakulhattak az első sejtek. A tenger mélyén a világűrrel érkező káros (pl. ibolyántúli) sugárzás sem fenyegette a sejteket, hiszen a felső vízrétegek elnyelik azt. Napjainkban népes életközösségek fedezhetők fel ezeken az élőhelyeken (5. ábra).

Végül az sem zárható ki, hogy az élet akár a világegyetem egy másik pontjáról is érkezhetett a Földre. Egyes meteoritokban szerves molekulákat, aminosavakat találtak. A **pánspermia-elmélet** lényege az, hogy az élet nem a földön keletkezett, hanem a földön kívül. Az elméletet igazolandó az űrexpedíciók folyamatosan kutatják az üstökösöket. Az eddigi kutatások során több szerves molekulát is találtak az űrben. Azt is fontos kiemelni, hogy találtak a Földön olyan a Marsról származó meteoritot, amely egyes feltételezések szerint kezdetleges élet nyomait hordozza (ALH84001 meteorit). A kutatások azonban nemcsak élő anyag keresésére irányulnak, hanem olyan bolygó keresése is cél, amely egyes feltételezések szerint alkalmas lehet az élet megtelepedésére. Ennek érdekében a kutatások a Naprendszeren kívüli, ún. exobolygókra is kiterjednek.



5. A kén-hidrogénben gazdag aljzaton a kemoszintetizáló baktériumok az életközösség termelői

## Hogyan fedezik fel az exobolygókat?

*Kezdetben többnyire úgy mutatták ki a csillag körül keringő bolygót, hogy a csillagról készített színekben a spektrumvonalak észlelt hullámhosszának változását keresték, mivel a csillag és a bolygó alkotta rendszerben mindkét égitest a rendszer tömegközéppontja körül kering, a pálya menti mozgás során pedig a csillag egy ideig közeledik felénk, majd távolodik tőlünk a bolygó keringési periódusának megfelelő ütemben váltakozva. A csillag színekében kialakuló vonalak hullámhossza a látóirányú sebesség változása következtében periodikusan változik a laboratóriumban mérhető értékhez képest – ez a hétköznapi életben a hanghullámokra jól ismert Doppler-hatás megfelelője fényhullámokra. A legelső exobolygókat mind ilyen módon, a Doppler-effektus kimutatásával fedezték fel. A csillagászati spektroszkópia tökéletesítésével ma már a látóirányú sebesség néhány cm/s mértékű változását is ki lehet mutatni a színekpvonalak hullámhosszát megmérve. Ezzel a módszerrel azonban csak a csillagukhoz közel keringő és/vagy a Földénél sokkal nagyobb tömegű – leginkább a Jupiterhez hasonló – óriásbolygók kimutatására van esély, és csak a spektroszkópiai úton jól vizsgálható, fényes csillagoknál.*

Forrás: mta.hu

### Elemezz!

A fenti tudományos cikkből szedd ki a természettudományokhoz köthető szak kifejezéseket, és magyarázd meg azokat! Figyeld arra is, hogy tudományterületenként is csoportosítsd a kifejezéseket!

# Alkoss!

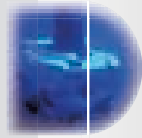
Tegyük fel, hogy te dolgozol Miller laboratóriumában, és eszedbe jutott egy ötlet az élővilág keletkezésével kapcsolatban. Hogyan fogalmaznád meg a hipotézisedet, és milyen kísérletet terveznél a hipotézis igazolására?

## Idézd fel!

Korábban tanultál a kísérlet feltételeiről. Az előző feladatban tervezett kísérletben melyek a függő, független és rögzített változók?

## Nézz utána!

Mi a hasonlóság az Európa és az Enceladus holdak között?  
Mi volt az Alvin-expedíció jelentősége?

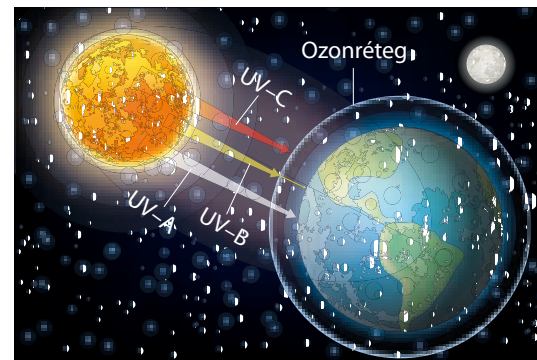


## Az élet feltételei módosultak

Biztosak lehetünk benne, hogy az ősi élet sokáig csak a tíz méternél mélyebb vizekben maradt fenn. A felszínen és a felső vízrétegekben ugyanis a világűrből érkező intenzív **ultraibolya sugárzás** a nukleinsavak és a fehérjék roncsolódását okozta volna, ott tehát sejtek nem maradhattak fenn. Az élőlényeket károsító sugárzást napjainkban a magaslégtéri ózonréteg szűri ki (6. ábra), az őslégtér azonban oxigént – és a belőle képződő ózont – nem tartalmazott.

Az elsőként megjelent primitív sejtek a mai **prokariótákhoz** hasonlíthatnak. Feltehetően **heterotróf** anyagcseréjűek voltak, a vízben felhalmozódott, oldott szerves anyagokat hasznosították. Oxigén hiányában energiaszükségletüket **erjedés** fedezte. Idővel megjelentek az **autotróf** anyagcseréjű sejtek, amelyek az ősóceán szervesanyag-készletének csökkenésekor szelekciós előnybe kerültek. Az ősi fotoszintetizáló baktériumok azonban nem termeltek oxigént. Mintegy 3,5 milliárd évek azok a kőzetek, amelyekben kimutatták a **kékbaktériumok** jelenlétét. Ezek a szervezetek fotoszintézisük során oxigént termeltek, és ezzel elkezdődött a légkörben az **oxigén felhalmozódása**.

Az oxigéntermelés eredményeként a légkörben nemcsak kétatomos oxigén- ( $O_2$ ), hanem háromatomos **ózonmolekulák** ( $O_3$ ) is keletkeztek, amelyek a magaslégtérben felhalmozódva **védtek a Nap káros UV-sugárzása ellen**. Ez tette lehetővé a tengerek sekélyebb vízrétegeiben és a szárazföldön is az élet megjelenését.



6. A különféle hullámhosszú UV-fényt tartományok elnyelődése a Föld légkörében

## Gondolkodj!

Miért tűnt el a prokarióták jó része a légköri oxigénszint növekedésével párhuzamosan?

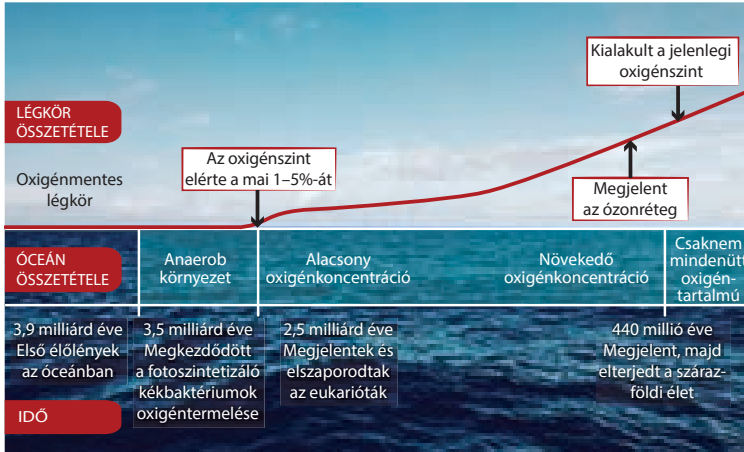
## Számolj!

Tegyük fel, hogy Miller olyan laboratóriumi berendezést hozott létre, amelyben már növények is vannak. A fotoszintézisről szerzett tudásod felhasználásával számold ki az alábbi feladatot!

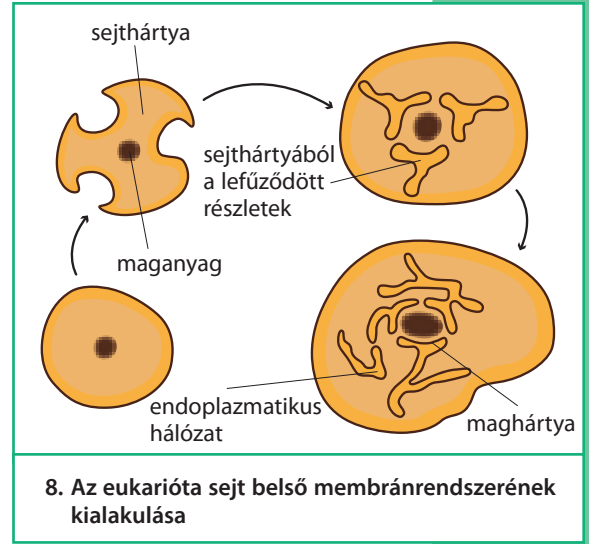
Egy növény ideális fényviszonyok között  $2590 \text{ dm}^3$  szén-dioxidot köt meg egy nap. Számítsd ki, hogy ez hány gramm szén-dioxidnak felel meg! Továbbá azt is számold ki, hogy ez a mennyiség hány gramm szőlőcukor elkészítéséhez elegendő!

## Az eukarióták kialakulása és jelentősége

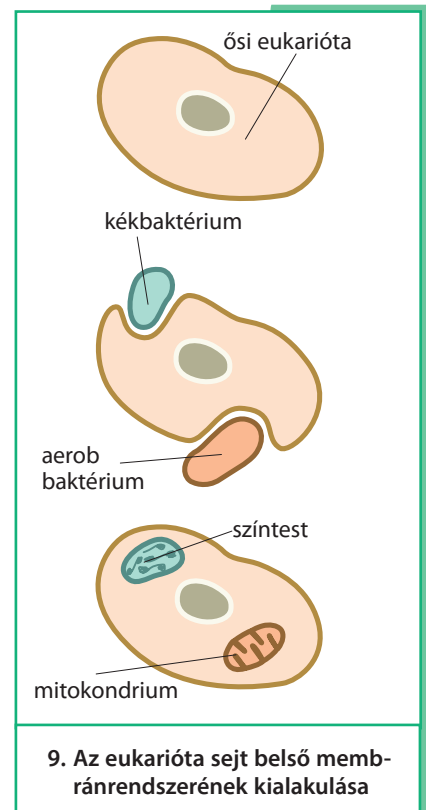
A légkörben lassan növekvő mennyiségű oxigéngáz erősen oxidáló hatása újabb szelekciós tényezőként hatott. Az oxigéntartalom növekedése miatt az anaerob sejtek jelentős része kipusztult. Közben azonban kialakultak, majd egyre jobban elterjedtek az aerob, vagyis oxigénigényes sejtek. Amikor a légkörben az oxigén koncentrációja elérte a mai érték 1%-át, akkor lehetővé vált az erjedés mellett a biológiai oxidáció, vagyis a sejtlegzés. A sejtlegzés az erjedésnél mintegy hússzor jobb hatásfokú energianyerést biztosít. A jobb energiahasznosítás megteremtette az eukarióta sejtek kialakulásának és a sejtek differenciálódásának lehetőségét. Ezzel megindulhatott a soksejtű szövetes szervezetek evolúciója (7. ábra).



7. A légköri oxigénszint alakulása és hatásai



Az eukarióta sejtek valószínűleg 1,5–2 milliárd éve jelentek meg. A **belső membránrendszerekkel tagolt** sejtekben az anyagcsere-folyamatok hatékonyabbak, magasabb szinten szerveződnek. Az egymástól membránokkal elválasztott belső terekben a felépítő és a lebontó anyagcserefolyamatok jól szabályozható módon, egyidejűleg játszódhatnak le. A belső membránok jelentőségét bizonyítja, hogy a szövetes szerveződés csak az eukarióta élőlények körében fordul elő. Az eukarióta sejtek kialakulására vonatkozóan többféle elmélet létezik. A sejt belső membránrendszerei valószínűleg a **sejthártya betűródéseiként**, befelé irányuló nyúlványaiként alakultak ki. A sejt belsejében a sejthártyáról leváló membránzsákokból jöhetett létre a **maghártya** és az **endoplazmatikus hálózat** (8. ábra). Az eukarióta sejt mitokondriumai és színtestjei más eredetűek: valószínűleg különböző anyagcseréjű sejtek tartós együttélésének eredményeként alakultak ki. A mitokondrium létrejöttékor az ősi eukarióta sejt aerob baktériummal lépett szimbiózisra. Ezzel az eukarióta sejt képessé vált a biológiai oxidációra. A fotoszintézis képességét kékbaktériummal való szimbiózis fennmaradása alakította ki (9. ábra). A mitokondriumok és színtestek kialakulását **endoszimbiózisnak** nevezzük, mivel az együttélés a sejt belsejében történik (endo: belső). Az elmélet alátámasztására több bizonyíték is kínálkozik. Ezeket a sejtalkotókat **kettős membrán** határolja, bennük a prokarióta sejtekéhez hasonló **riboszómák**, valamint **gyűrű alakú DNS** található, és az is lényeges, hogy a **sejten belül önálló osztódásra képesek**.



## Sorozatos endoszimbiózis

Az endoszimbiózis elmélete szerint a mitokondriumok és a színtestek mellett az ostorok és a csillók is bekebelezett baktériumsejtekből származnak. Sőt, az evolúció során úgynevezett másodlagos endoszimbiózis is történt: a közismert egyszéjtű, a zöld szemesostoros rokonsági körének kialakulása során az ősi eukarióta egyszéjtű egy eukarióta zöldmoszatsejtet kebelezett be, így alakult ki a szemesostorosok színteste.

## Párhuzamos elméletek

A sejtmaggal, belső membránrendszerrel és sejtvázzal rendelkező eukarióta sejtek kialakulásának módjára vonatkozóan nincs egységes álláspontjuk a tudósoknak. Az „endocitózisos” elmélet hívei szerint az ősi prokarióta sejtek először elvesztették szilárd sejtfalukat, és kialakult bennük a sejt alakját és mozgását biztosító fonalrendszer, a sejtváz. A sejtfal eltűnése lehetővé tette a táplálék bekebelezéssel történő felvételét és feldolgozását. Úgy érvelnek, hogy a sejten belüli emésztés jóval kisebb energiavesztéssel jár, mint a sejtől leadott enzimekkel történő lebontás. Az elmélet hívei szerint a sejtváz megjelenését követően a mitokondriumok és a színtestek kialakulásában ugyancsak a bekebelezés játszhatta a vezető szerepet. Az „energetikai” hipotézis követői szerint a sejtváz működtetése olyan sok energiát igényel, ami elképzelhetetlen a sejt lélegzés képessége nélkül. Ezért úgy érvelnek, hogy a sejtfal nélküli, sejtvázzal rendelkező eukarióta sejt megjelenését megelőzte a sejt lélegzés képességének kialakulása. Elképzelésük szerint az energiatermelő prokarióta sejt a sejtfal anyagát fellazítva juthatott a másik prokarióta belsejébe. A két sejt szimbiózisra lépett egymással. Ezt követően történhetett meg a sejtfal elvesztése és a sejtváz kialakulása. Abban megegyezik a kutatók álláspontja, hogy a színtestekhez bekebelezéssel jutott az ősi eukarióta sejt.

### Tervezz!

A sejtváz anyaga fehérje. Fehérje található a tojásfehérjében is. Az alábbi anyagok és eszközök segítségével tervezz kísérletet, hogyan mutatnád ki a fehérjét! Törekedj arra, hogy többféle kísérletet állíts össze!

Szükséges anyagok és eszközök:

borszeszegő, gyufa, Fehling-I oldat, Fehling-II oldat, kémcső, kémcsőállvány, tojásfehérje-oldat

A Föld kb. 4,6 milliárd éves.

- az élet kb. 3,8 milliárd éve jelent meg.

Az élet kialakulását több elmélettel magyarázzák:

- ősléves-elmélet
- koacervátumok
- kemotonmodell
- panspermia-elmélet

Az első élőlények prokarióták voltak.

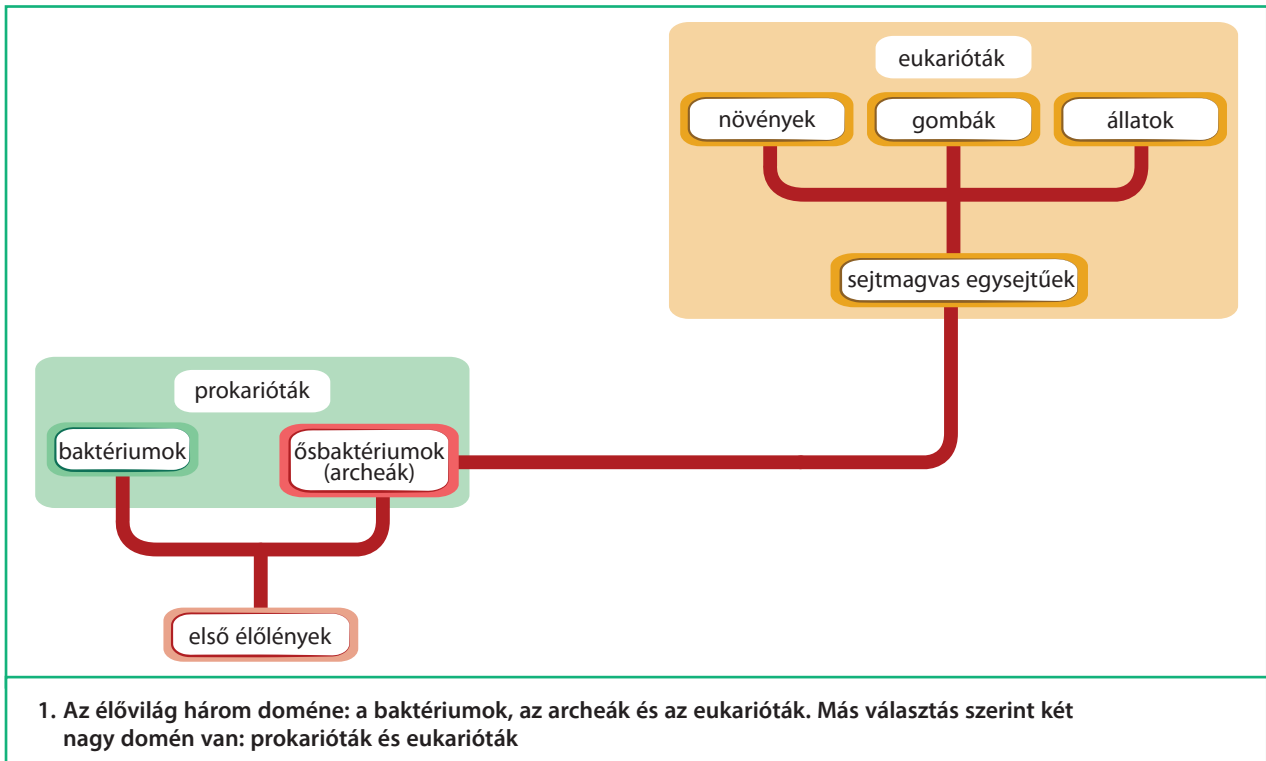
- az endoszimbiózis-elmélet szerint az eukarióták különféle prokarióták sorozatos bekebelezése, majd tartós együttélése útján alakulhattak ki.

# 25. Összefoglalás



## 26. Az ősbaktériumok jelentősége

1. Milyen baktériumok élnek az emberi vastagbélben?
2. Miért sajátos élőhely a Holt-tenger?
3. Miért nem pontos az ősbaktériumok elnevezésében szereplő „ős” jelző?



A sejtek kémiai felépítése és az örökítőanyag vizsgálata alapján a prokariótákat két nagy csoportba sorolják, az **ősbaktériumok** és a **valódi baktériumok** közé. Az élővilág rendszerének **háromdomén-elmélete** szerint ezeken túl a harmadik nagy csoportot (domént) az **eukarióták** alkotják (1. ábra). A két baktériumcsoport tagjainak sejtfelépítése sok tekintetben hasonló, de környezeti igényeik, anyagcseréjük nagymértékben különbözik egymástól. A valódi baktériumoktól elsősorban a sejtfal és a sejtmembrán felépítésében, az örökítőanyag működésében térnek el.

Az **ősbaktériumokat** (Archaea) az 1970-es évek végén fedezték fel a Yellowstone Nemzeti Park hőforrásaiban. Miért csak akkor? A válasz nagyon egyszerű:



a tudósok nem is feltételezték, hogy ilyen **szélsőséges életfeltételek** mellett egyáltalán előfordulhatnak élő szervezetek, így aztán nem is keresték őket. Kimutatták, hogy a hőforrásokon kívül a mélyebb vizekben, erősen savas közegben, sós tavakban rothadó lápokban és mocsarakban is megtalálhatók ezek a szélsőséges törésű prokarióta egyséjtűek (2. ábra). Létük igazolja, hogy az ősi Föld szélsőséges környezeti feltételei mellett is kialakulhatott az élet az ősóceánokban. Az ősi élővilág jelentős részét ezek az élőlények adták, mivel az akkor uralkodó extrém környezeti viszonyokat csak ezek voltak képesek elviselni. Az extrém viszonyok elviselését elsősorban a sejthártya éterkötései segítik, ezek a kötések erősebbek, mint a más élőlények membránjában lévő észterkötések.

Elterjedésük alapján az alábbi főbb csoportok emelhetők ki.

### Sótűrő baktériumok

Rendkívül magas sókoncentráció (pl. Holt-tenger, kiszáradó sós tavak) mellett élő autotróf vagy heterotróf anyagcseréjű élőlények.

### Hő- és savtűrő baktériumok

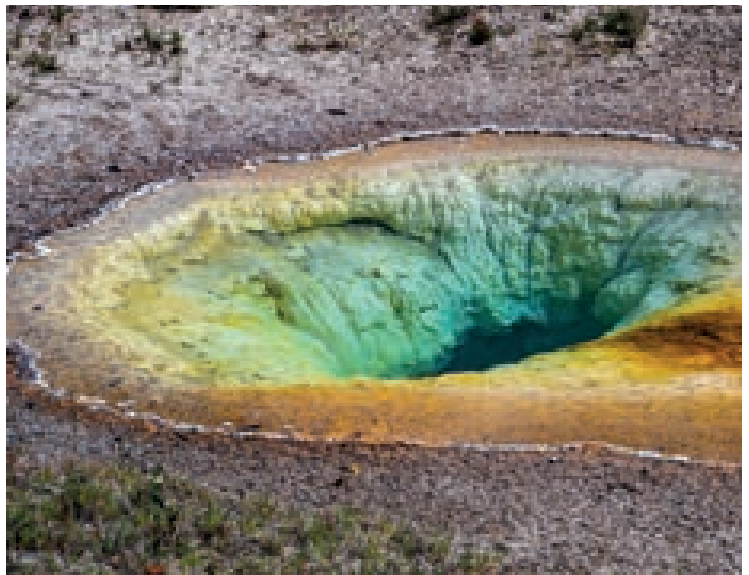
Gejzirekben, mélytengeri hőforrásokban megtalálható heterotróf élőlények. Jól tűrik a kénben gazdag, extrém savas közeget is (3. ábra).

### Metanogén baktériumok

A metanogén baktériumok anyagcseréjük során szén-dioxidból és hidrogénből metánt állítanak elő. Kizárólag oxigénmentes (anaerob) környezetben, például lápokban, mélytengerekben élnek. Az ősi viszonyok között elsősorban szervesen szénhez juthattak hozzá, amit kémiai energia segítségével alakítottak át. A metanogén baktériumok megtalálhatók a kérődző állatok összetett gyomrában is.



2. Sótűrő baktériumok színezik az erősen sós tavak vizét, a sótelepek felszínét. Sejtjeikben vörös színanyagot tartalmaznak, a napfényből nyernek energiát az életműködésükhez



3. Hőtűrő baktériumok telepei a Yellowstone Nemzeti Park gejzírje körül

### Kutass!

A biogáz a megújuló energiaforrások egyik fajtája. Keres információkat a témáról az alábbi szempontok alapján!

Milyen alapanyagokból és milyen körülmények között termelhető biogáz?

Hogyan lehet felhasználni a biogázt energiatermelés céljára?

Milyen érvek szólnak az eljárás mellett és ellene?



Jellegzetes lápi életközösség

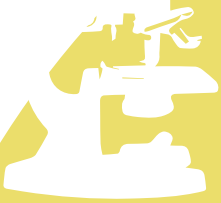
**Nézz utána!**

Nézz utána az interneten, hogy milyen módszerekkel állítanak elő biogázt!

A lápok titokzatos világához emberemlékezet óta mesék, mondák, különös történetek fűződnek szerte a világon. A lápi tüzek, az éjszakánként fel-felvillanó lidércfény, a lápba vesztett állatokról és emberekről szóló elbeszélések nem a képzelet szülöttei. De mi a láp? Van-e tudományos magyarázatuk a mesébe illő történeteknek?

A lápok csaknem egész évben vízzel borított, magas vízállású területek. Az állandóan vizes, oxigénben szegény talajban a növényi részek nem tudnak lebomlani, eloxidálódni. Az idős lápok mélyén ezért évszázadok alatt nagy mennyiségű barnás színű, nagy víztartalmú üledék, tőzeg halmozódik fel. A tőzegesedés a szénképződés első állomása. A láptalaj a lassú bomlás miatt rossz minőségű, tápanyagokban szegény, savas kémhatású. Oxigén híján a lebontás során különféle gázok, köztük metán ( $\text{CH}_4$ ), kén-hidrogén ( $\text{H}_2\text{S}$ ) és foszfor-hidrogén ( $\text{PH}_3$ ) képződik a metántermelő ősbaktériumok hatására. A foszfor-hidrogén a levegőbe jutva már alacsony hőmérsékleten meggyullad, és a metánt is lángra lobbantja. Ez az a lidércfény, amely a lápok fölött éjszakánként itt-ott felbukkanva imbolygó, kékes színű lángként jelenik meg. A gázképződés miatt a nagy kiterjedésű lápok levegője, különösen a meleg nyári napokon bűzös, fojtó lehet.

# Tervezz kísérletet!



**Hogyan állapítanád meg egy extrém sótűrő ősbaktérium tenyészközegének optimális sókoncentrációját?**

**Hogyan igazolnád, hogy a sótűrő az nem egyenlő a sókedvelővel?**

**Az alábbi eszközök állnak rendelkezésedre, segítségükkel tervez meg egy kísérletet! Figyeld a kísérleti jegyzőkönyv elkészítésére is!**

- Petri-csészék és lombikok
- folyékony baktérium-táptalaj (steril)
- oltókacs
- konyhasó
- desztillált víz
- analitikai mérleg
- inkubátor
- Halobacterium salinarum baktérium-tenyészet

A *Deinococcus radiodurans* baktérium arról nevezetes, hogy rendkívül jól tűri a radioaktív sugárzást. Amerikai tudósok most közelebb jutottak titkának megfejtéséhez: a baktérium örökítőanyaga ugyan károsodik, de a hibás DNS-t javító fehérje ellenáll a sugárzásnak, ezért képes marad a DNS kijavítására.

A baktérium sugárállóságát 1956-ban fedezték fel, amikor egy besugárzással csírátlanított (sterilizált) daráltmarhahús-konzerv megromlott. Ez a baktérium olyan sugáradagokat visel el, amelyek ezredrésze már megölné más szervezeteket. A sugárzások hatására az élő szervezetek örökítőanyaga, a DNS sérül, ez vezet végül a szervezet pusztulásához. A *D. radiodurans*-ban olyan javítómechanizmus működik, amely 24 órán belül hibátlanra javítja a sugárzás által megrongált DNS-t.

A sugárzástűrő baktérium szerepet kaphat a sugárzó és mérgező anyagokat tartalmazó szennyezett területek megtisztításában. Olyan erősen sugárzó környezetben is bevethető, ahol minden más élet elpusztulna. A baktériumot és közeli rokonait sokfelé megtalálták már a Földön, az antarktisi gránitban éppúgy, mint Dániában egy erős kobalt-60-as besugárzó víztartályában. Az egyedülállóan hatékony DNS-javító mechanizmus részleteinek feltárása hozzásegíthet az emberi sejtfolyamatok rákos elváltozásokhoz vezető hibáinak jobb megértéséhez is.

Forrás: Magyar Tudomány

### Gondolkodj!

Hogyan rajzolnád fel a *Deinococcus radiodurans* radioaktivitással szembeni tűrőképességi görbéjét?

Tételezzük fel, hogy ez a faj csak 25-30 Celsius-fok körüli hőmérsékletet kedvel. Hogyan nézne ki a hőmérséklettel szembeni tűrőképességi görbéje?

Mit gondolsz, miben különböznek a termofil ősbaktériumok enzimjei más élőlényekétől?

### Keress rá!

Keress a fenti olvasmányhoz hasonló tudományos cikket az interneten! Értelmezd az idegen szavakat és tegyél fel kérdéseket a cikkel kapcsolatban társaidnak!

Próbáld meg a cikkből egy néhány soros hamis hírt írni! Milyen címet adnál az álhírednek?

Az ősbaktériumok alapvetően prokarióta felépítésűek, de bizonyos tulajdonságaikban közelebb állnak az eukariótákhoz.

Az ősbaktériumok előfordulnak az extrém élőhelyeken, de megtalálták már őket az emberi bélrendszerben vagy a talajban is.

Az ősbaktériumok között – ellentétben a valódi baktériumokkal – nincsenek kórokozók.

A metántermelő ősbaktériumok felhasználhatók biogáz előállításra, de szerepet játszanak a globális éghajlatváltozásban előidézésében is.

## 26. Összefoglalás

# A VÁLTOZÉKONYSÁG VII. MOLEKULÁRIS ALAPJAI



27. A DNS megkettőződése és a mutációk
28. A génkifejeződés környezeti feltételei
29. A géntechnológia
30. Genetikai mérnökség és a GMO-k hasznosítása
31. Bioinformatika
32. Bioetika



# 27.

## A DNS megkettződése és a mutációk

1. Mi a mutáció?
2. Milyen hatások okozhatnak mutációt?
3. Milyen következményei lehetnek a mutációknak?
4. A mutációk mindig öröklődnek az utódokra?

A DNS nemcsak tárolja a sejt, a szervezet tulajdonságaira vonatkozó információt, de kettőshélix-szerkezete azt is lehetővé teszi, hogy a sejtosztódás során információtartalma átkerüljön az utódsejtekbe. Ennek az a magyarázata, hogy mindkét szála mintaként szolgálhat egy-egy új polinukleotid-lánc képződéséhez. A DNS megkettződése a sejtosztódást előzi meg.

### A DNS megkettződése

A DNS-szintézis kezdetén a két polinukleotid-lánc **enzimek közreműködésével felnyílik**, és a két lánc eltávolodik egymástól (1. ábra). Ezt követően a **szintézist irányító enzim** mindkét szál mellett megkezdi **egy-egy új polinukleotid-lánc** felépítését. Az enzim a bázispárképzés szabályainak megfelelően dezoxiribóztartalmú nukleotidegységeket épít be az épülő láncba: adeninnel szemben timint, guaninnal szemben citozint, és fordítva. A két DNS-molekula egyik szála régi, a másik új. Könnyű belátni: amennyiben a másolás közben nem történik hiba, két **teljesen megegyező bázissorrendű** kettős hélix képződik.



1. A DNS megkettződése

#### Olvasd el a szöveget, és válaszolj a kérdésekre!

Miért lehet a szervezet számára előnyös, hogy nem a két régi és a két új szál alkot párt?  
A nagyszámú bázis másolása és javítása során milyen hiba válik ezáltal kiküszöbölhetővé?

A DNS megkettződése során a szétváló kettős spirálnak mindkét szála mintaként szolgál. Ezekhez a már kipróbált és jól működő szálakhoz készít a szervezet egy-egy új szálát. Így az elkészült DNS egyik szála a régi, a másik szála pedig az újonnan létrehozott. Ezt nevezik félig régi – félig új másolásnak.



## A mutációk

### Gondoltad volna?

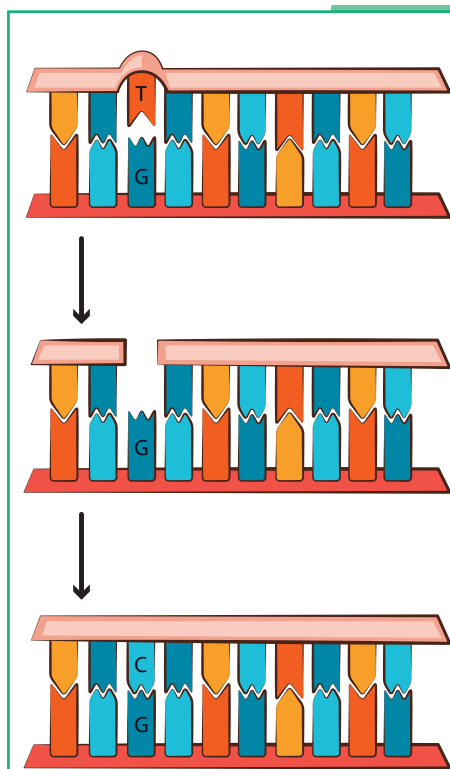
A mutációknak lehet előnyös hatása is. Az élőlények változatosságának alapját a mutációk is szolgálják, például az alkalmazkodáshoz szükséges különböző színeket közvetve létrehozó gének változatait kialakítva.

### Számold ki!

Az emberi genom 3 milliárd ( $3 \times 10^9$ ) bázispárból áll. A genom egyszeri lemásolása során kb. 3000 hiba keletkezik, ami mutációt okozhatna, ám ezeket a szervezet általában kijavítja. Egy felnőtt emberben másodpercenként hozzávetőleg egymillió sejt pusztul el, és ugyanennyi keletkezik. Minden sejt keletkezésekor a teljes genom lemásolódik. Hány hibát kell javítania a szervezetnek percenként?

## Másolási hibák és javítómechanizmusok

A megkettőződést irányító enzimek pontosan dolgoznak, ennek ellenére előfordulnak **másolási hibák**. Ilyenkor az épülő új láncba nem a megfelelő nukleotidot építi be a szintézist irányító enzim (2. ábra). A leggyakoribb másolási hiba az, amikor hasonló méretű bázist tartalmazó nukleotid kerül az új szálba ( $A \leftrightarrow G$ ,  $C \leftrightarrow T$ ). A másolási hibák jelentős részét vagy maga a szintézist irányító enzim, vagy kifejezetten ezt a feladatot ellátó **javító enzimek** állítják helyre. Kivágják a hibásan beépült nukleotidot, és pótolják a megfelelővel. A javítómechanizmusnak köszönhetően a DNS-szintézis végeredménye egy rendkívül pontos megkettőződés.



2. A DNS-szintézis javítómechanizmusa. A javítás során az enzim felismeri a hibás beépülést. Másolási hiba esetén ugyanis a két lánc azon a ponton eltávolodik egymástól, hiszen a bázisok között nem alakulhat ki szabályos hidrogénkötés.

### Kritikus gondolkodás

Kutatók több ezer emberi betegséget okozó mutációt hasonlítottak össze 100 állatfaj hasonló DNS-szekvenciáival. Sok olyan mutációt találtak, amelyek az egyik élőlényben súlyos megbetegedéseket okoznak, a másokban pedig nem. Keresz magyarázatot a jelenségre!

## A génmutáció

A javítómechanizmus ellenére is maradhatnak, bár nagyon kis számban, hibásan beépült nukleotidok az új szálban. (Átlagosan minden  $10^8$  beépülésre esik egy-egy hiba. Ez azt jelenti, hogy 100 millió bázispár között egy-egy hibásan beépült akad.) Ez a következő megkettőződésekben **báziscserét** eredményez, amely az egyik utódsejtben jelentkezik (3. ábra). Ha egy gén bázissorrendje módosul, az maga után vonhatja az általa kódolt fehérje **aminosavsorrendjének**, ezzel együtt **térszerkezetének és működésének változását**. A DNS bázissorrendjének egy ponton történő megváltozását génmutációnak

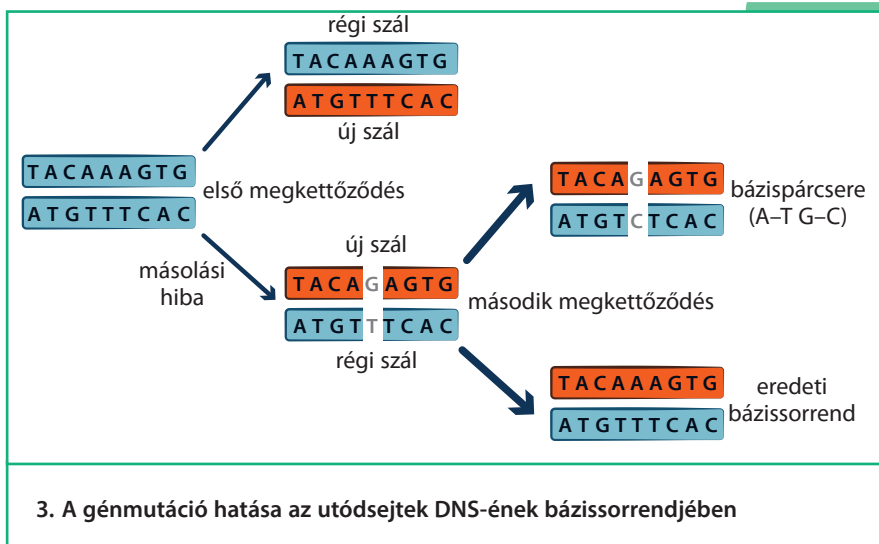
### Nézz utána!

Milyen betegségeket ismer ma az orvostudomány, melyeket egy gén hibája okoz?

Mit gondolsz, milyen módon lehet ezeket a rendellenességeket kiszűrni?

Készíts kiselőadást a tejcukor-érzékenység és a fenilketonuria genetikai hátteréről!





(pontmutáció) nevezzük. A génmutáció következménye a tulajdonságok megváltozása lehet (4. ábra). Pontmutációval egy génnek többféle változata alakulhat ki. Egy gén különböző bázissorrendű változatai az **allélok**. Javarást az allélok sokféleségével magyarázható az élőlények változatossága és genetikai sokszínűsége, vagyis az, hogy egy fajon belül az egyes egyedek különböző tulajdonságúak.

A gén bázissorrendjének megváltozása nem mindig jár együtt a kódolt fehérje aminosavsorrendjének megváltozásával, hiszen egy aminosavat több bázishármas is jelölhet. Előfordul, hogy a mutációval létrejött bázishármas ugyanazt az aminosavat kódolja, így a pontmutáció rejtve marad.

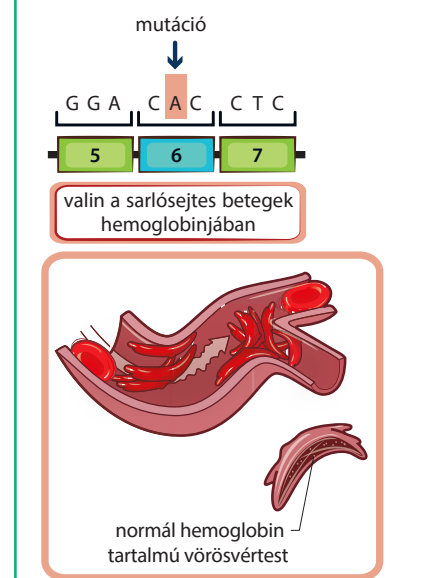
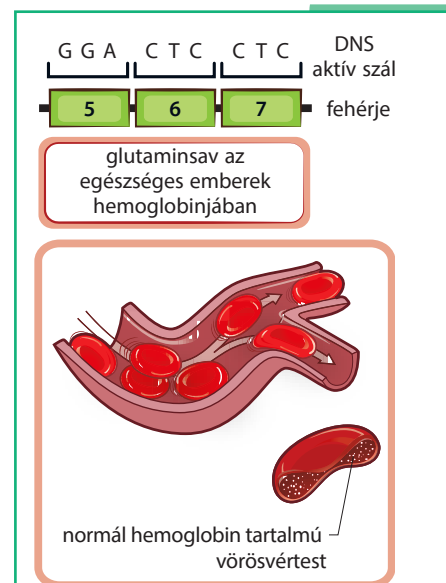
Génmutáció nem csak a DNS megkettőződése során történhet. A sejteket folyamatosan éri olyan hatások, amelyek megváltoztatják a DNS bázissorrendjét. Ilyen, úgynevezett **mutagén hatás** az erős **ultraibolya és röntgensugárzás**, de **számos kémiai anyag** is előidézhethet mutációt. A mutagének hatására a mutációk gyakorisága az átlagérték sokszorosára növekedhet. Az UV-sugárzás leggyakrabban a bőr hámsejtjeiben idéz elő mutációt, ennek következtében a **bőrrák** kialakulásának kockázata sokkal nagyobb lesz. Ez az oka annak, hogy kerülni kell az erős napfényt és a szolárium túlzott használatát.

### Tudtad?

A dohányfüstben hatvan különböző mutációt kiváltó anyag van!

A szervezetet érő különböző mutagén hatások, például dohányfüst, UV-sugárzás, röntgensugárzás hatásai összeadódnak, és együttes hatásuk következményeivel kell számolnunk!

A xeroderma pigmentosum (XP) egy genetikai rendellenesség következtében kialakuló súlyos érzékenység az UV-sugárzással szemben. Az úgynevezett „holdfény-gyerekek” soha nem mehetnek a fényre, mert az halálos veszélyt jelent rájuk nézve. Az élet számukra éjszaka kezdődik, amikor a Nap lemegy, és így nem érheti őket fény. Az ok egy mutációból származó genetikai hiba. A betegek szervezetéből hiányzik az az enzim, ami az UV-sugarak okozta károkat helyre tudná hozni. A bőrsejtek elhalnak, és végül rákos daganatok alakulnak ki.

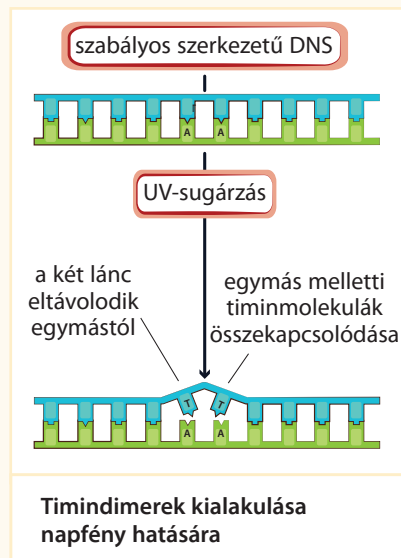


4. A sarlósejtes vérszegénységben szenvedő emberek vörösvértesteinek alakja eltér a normálistól. A hemoglobin térszerkezetének megváltozása miatt a vörösvérsejtek sarló alakban meggyűrűsödnek. A betegség hátterében a hemoglobin aminosavsorrendjét meghatározó gén mutációja áll.

**Olvasd el a szöveget, és válaszolj a kérdésre!**

Milyen következményekkel járhat, ha a mutagén hatások érik a szervezetet, és a DNS másolása során keletkező hibák száma nagyon megnövekszik?

Sejtjeinkben léteznek olyan mechanizmusok, amelyek mérséklik a mutagének hatásait, kijavítják a DNS-ben kialakult hibákat. Az erős ultraibolya sugárzás hatására például a DNS-ben a szomszédos timin nukleotidok összekapcsolódhatnak egymással. Ennek következtében megszűnik a másik láncsal létesített hidrogénkötés, ezért a két lánc eltávolodik egymástól. Az ilyen jellegű károsodás leggyakrabban az UV-sugárzásnak közvetlenül kitett bőrfelszín hámsejtjeiben következik be. Sejtjeinkben vannak olyan enzimek, amelyek kijavítják ezeket a hibákat. Megszüntetik a timin nukleotidok közötti kapcsolódást, és helyreállítják a szabályos hidrogénkötéseket. A javítómechanizmus létezésére az hívta fel a figyelmet, hogy vannak olyan örökletes enzimhibában szenvedő emberek, akikben ez a javítómechanizmus nem működik. Az ok a javító enzimet kódoló gén mutációja, aminek következtében a javító enzim térszerkezete sejtjeinkben nem megfelelő, így az enzim nem működőképes.



**A mutáció:** Az örökítőanyagban bekövetkező öröklődő változás, mely nem a tulajdonságok kombinálódásával valósul meg.

**A mutációt kiváltó (mutagén) hatások:** Ezek lehetnek fizikai tényezők, melyek közül a legjelentősebbek az UV-sugárzás, a röntgensugárzás és egyes radioaktív sugárzások. Számos kémiai vegyület is lehet mutagén, mint például a policiklusos aromás szénhidrogéneket tartalmazó vegyületek, ezek közül számos vegyület a dohányfüstben is jelen van, vagy ilyen az egy bizonyos gombafaj által termelt aflatoxin. Biológiai mutagén tényezőként a HPV vagy az Eppstein–Barr-vírusok említhetők meg.

**A mutációk következményei:** A mutációk egy része nem okoz változást az élőlények tulajdonságaiban, ezeket néma mutációknak nevezzük. Mint a bevezetőben is olvashattad, lehetnek előnyös mutációk is, például egy betegséggel szembeni ellenálló képesség kialakulása. Számos mutáció azonban különféle fejlődési rendellenesség vagy betegség kialakulásért felelős, ilyen a sarlósejtes vérszegénység és számos rákos megbetegedés is.

**A mutációk öröklődése:** A mutációk abban az esetben öröklődnek az utódokra, ha az ivarsejteket érintik, ezek az ún. csíravonal-mutációk. A testi sejtekben bekövetkező, más néven szomatikus mutációk az utódokra nem öröklődnek át, de több esetben rákos megbetegedést váltanak ki.

## 27. Összefoglalás

# 28.

## A génkifejeződés környezeti feltételei



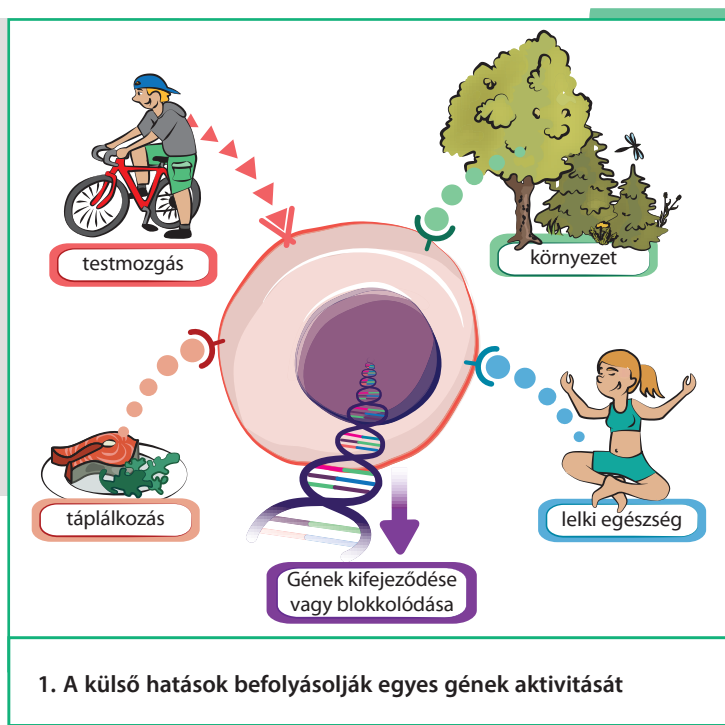
1. Mi az az ikerkutatás, és milyen eredményei vannak?
2. Hogyan lehet az egypetéjű ikrek számos tulajdonsága eltérő, ha a genetikai állományuk azonos?
3. Csak a génjeinktől függ, hogy milyenek lesznek a tulajdonságaink?
4. Mi az a sejtemlékezet? Hatással van az életmódunk a génjeink működésére?
5. Számít, hogy egy tulajdonságunkat melyik szülőnktől örököltük?

### Hallottál róla?

Ha az egypetéjű ikrek például háborúk vagy környezeti katasztrófák miatt nagyon eltérő környezetben nevelkednek, jelentős mértékben különbözhetnek egymástól, pedig az anyaméhben ugyanabból a megtermékenyített petesejt-ből kezdtek el kifejlődni, tehát genetikai állományuk azonos. Milyen további okai lehetnek még az eltéréseknek?

### Mi az epigenetika?

Az „epi” görög kifejezés jelentése: fölött, rajta. A génkifejeződés környezeti okait, a genetikai állomány kifejeződését befolyásoló tényezőket az **epigenetika** tudománya vizsgálja. Az ember génállománya több, mint 20 000 génből áll, amely két független személy esetén 99,9%-ban azonos, mégis nagyon-nagyon sokfélék vagyunk. A kutatók rájöttek, hogy tulajdonságaink nem csupán a DNS bázissorozatától, illetve génjeink kombinációjától függnek, hanem az **egyes gének kifejeződési lehetőségeitől** is. A gének kifejeződését nagymértékben befolyásolják a DNS-molekulához **specifikus helyeken hozzákötődő**, zárszerűen működő (ki-be kapcsoló) **kémiai csoportok** (metilcsoportok). Ezek megakadályozzák, vagy épp lehetővé teszik egy-egy gén kifejeződését (1. ábra).



Az életmódunk, szokásaink jelentős mértékben meghatározzák a DNS-állományunk egyes géneinek kifejeződéséért felelős ún. **metilációs mintázatot**. Ez ahhoz hasonlítható, mint amikor egy könyvben néhány lap össze van ragadva, így az ott lévő szöveg bár megvan, de nem olvasható. Ez a mintázat pedig már a korai magzati korban kialakul, így az anya táplálkozási és sportolási szokásai vagy dohányzása, esetleg alkoholfogyasztása jelentős hatást gyakorol születendő gyermekének génkifejeződési mintázatára (tulajdonságaira), így az egészségére is (2. ábra).



2. Az egészségtelen életmódot folytató (pl. dohányzó) várandós nők jelentősen befolyásolják születendő gyermekük géneinek kifejeződését

## Emlékeznek a sejtjeink?

Az imprinting kifejezés az állatok viselkedéséből ismert, amikor egy érzékeny időszakban egy információ bevéssődik egy élőlény emlékezetébe, például a tojásból frissen kikelt kiskacsa egy életre megtanulja az anyja és így fajtársai alakját. Az emberi genom több mint 20 000 génből áll, melyből a legtöbb minden utódban két példányban van jelen és működőképes, egyik az apától, a másik az anyától származik. Van azonban mintegy 100 gén, amely vagy az apai, vagy az anyai ivarsejtben inaktív, így nem képes kifejeződni. A nem kifejeződő gének mintázatát megjegyzik a sejtek, azt is mondhatnánk, hogy emlékeznek rá. Ez a mintázat aztán átöröklődik az utódokra, ezt a jelenséget nevezzük **genom imprintingnek**. A folyamat során a szülők mindig az ellentétes nemű utódaikra örökítik ezt a mintázatot, így az anya a fiára, majd a fiú apaként a lányára. Ebből következik, hogy egyes tulajdonságok vagy betegségek esetén nem mindegy, hogy egy adott gén az apától vagy az anyától származik.

### Keressetek közösen választ!

Hogyan jutnak át a magzat szervezetébe a cigarettában lévő káros anyagok? Milyen későbbi hatással lehet az anya dohányzása születendő gyermekére? Mit tehet a későbbiekben a dohányzásról leszokott anyuka gyermeke egészsége érdekében?

### Számold ki!

Ha feltételezzük, hogy géneink egyenlően oszlanak el a kromoszómák között, a fenti adatokkal számolva, egy-egy kromoszómán a géneknek hány százaléka lehet inaktív?

Az epigenetikai változás olyan, a sejtről utódsejtjeire átadódó változás, amelynek során nem a DNS bázissorrendje, hanem például egyes DNS-bázisok metilációja változik. Ezzel együtt változik a gének aktivitása is.

A két szülői ivarsejt egyesülésével létrejött új egyedben az apai és anyai eredetű gének egy részében az aktivitás nem egyforma: vagy csak az apai, vagy csak az anyai aktív.

# 28. Összefoglalás



# 29.

## A géntechnológia

1. Mi jelent a GMO kifejezés?
2. Hogyan lehet a DNS-t módosítani?
3. Milyen élőlények közt valósulhat meg génátvitel?
4. Milyen célból hoznak létre genetikailag módosított élőlényeket?
5. Mi az a klónozás?
6. Hogyan lehet a klónozást végrehajtani?

### A géntechnológia lényege

- Mi az előnye a géntechnológiának a hagyományos nemesítéssel szemben?
- Milyen veszélyei lehetnek a módszereknek?
- Milyen előzetes információk szükségesek a géntechnológia alkalmazásához?

Az élőlények tulajdonságait alapvetően génjeik határozzák meg. Ha egy élőlény tulajdonságait meg szeretnénk változtatni, akkor a genetikai állományát is meg kell változtatnunk. Az ember évezredek óta törekszik haszonnövényeinek, illetve háziállatainak tulajdonságait a saját igényeinek megfelelően alakítani. Ez a viszonylag lassú, hosszadalmas folyamat az **állat- és növénynemesítés**. E folyamat során az ember a meglévő tulajdonságok közül választja ki a számára legkedvezőbbeket, miközben tulajdonképpen az élőlény genetikai állománya is változik. Ma a géntechnológia lehetőséget nyújt ahhoz, hogy a **DNS tervezett megváltoztatásával** nagyon rövid időn belül képesek legyünk egy élőlénybe szinte bármely kiválasztott tulajdonság génjét beültetni, és így az élőlényt a kívánt tulajdonsággal felruházni. Ezzel az eljárással egymástól **rendszerintanilag nagyon távol eső fajok** tulajdonságai is átvihetők, például egy baktériumba beépíthetők emberi gének. Az ilyen módon létrehozott organizmusokat hívjuk genetikailag módosított organizmusnak, GMO-nak. Általánosan megfogalmazva: a **genetikailag módosított szervezetek** (röviden: GMO-k) olyan szervezetek, amelyekben a genetikai örökítőanyagot (DNS-t) **mesterségesen átalakították** úgy, ahogy az a természetben nem fordul elő.

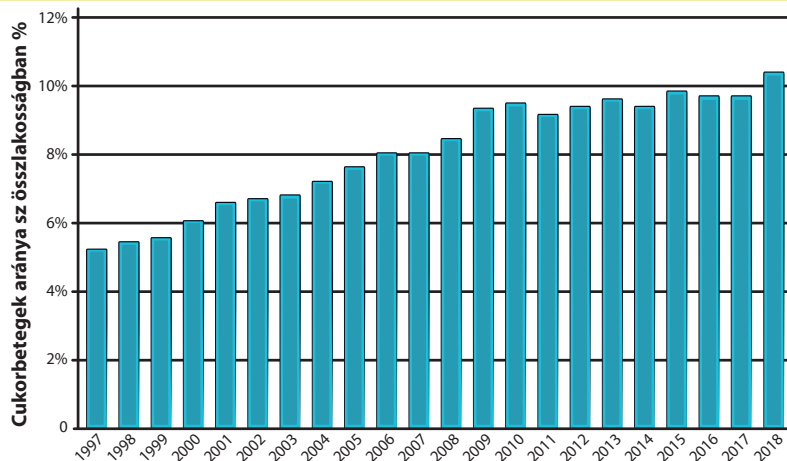
#### Számolj!

Hány százalékkal növekedett a cukorbetegek száma 1997-től 2018-ig? A következő szövegben található adatok alapján átlagosan hány cukorbeteg gyerek járt egy 30 fős amerikai osztályba 2018-ban?



# Értékelj! Gondolkodj!

A cukorbetegségben szenvedő emberek száma az életszínvonal emelkedésével egyre növekszik. Az ábra az elmúlt két évtized cukorbetegének arányát mutatja az USA-ban. Ezeknek a betegeknek a legtöbb esetben naponta többször inzulininjekcióra van szükségük. Az inzulin egy olyan hormon, melyet az szervezet egyetlen génje határoz meg. A géntechnológiát megelőzően főként sertések szervezetéből próbálták az inzulint kinyerni. A kis mennyiségű, nehézkesen kinyert, drága inzulinnak pedig sok esetben komoly „mellékhatásai” is voltak. Mára a kutatók a géntechnológia segítségével olyan baktériumokat állítottak elő, melyekbe az emberi inzulingént sikerült beilleszteni. A folyamatot a (1. ábra) mutatja. Ezek a baktériumok képesek teljesen tiszta, emberi inzulint előállítani és fedezni a napjainkban egyre fokozódó inzulinigényt is.



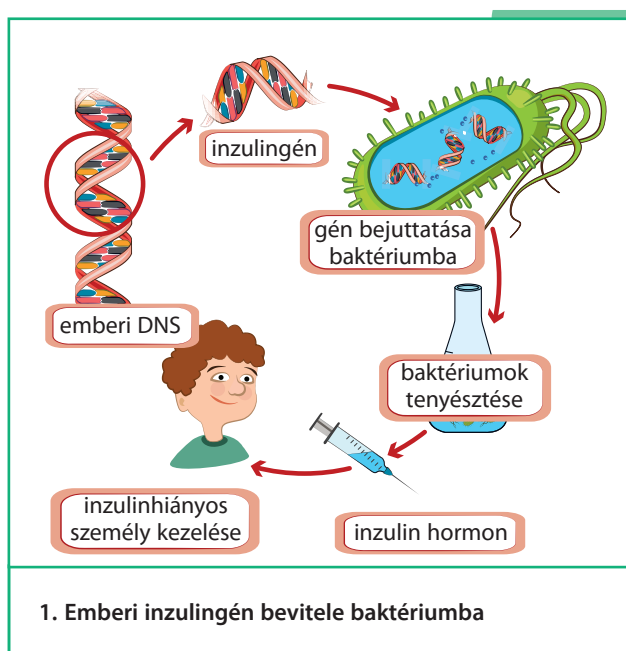
A cukorbetegségben szenvedő betegek aránya az összlakosághoz képest 1997 és 2018 között az USA-ban

**Véleményed szerint mi okozhatja a cukorbeteg számának erőteljes növekedését? Hogyan lehetne ezt a folyamatot megállítani, illetve visszafordítani?**

## A genetikai módosítás folyamata és lépései

A génmódosítás során egy új tulajdonság kialakításáért felelős gént szeretnénk egy másik élőlénybe beültetni, így azt az élőlényt is felruházni az új tulajdonságokkal. Ez a folyamat ahhoz hasonlítható, mint ha egy szakácskönyvbe szeretnénk egy új receptet beleilleszteni. Az emberi inzulingén beültetése egy baktériumba egy ilyen folyamat (1. ábra).

1. Először is meg kell keresni, hogy melyik élőlény rendelkezik az adott tulajdonsággal, és azt mely gének kódolják. Tehát megkeressük azt a könyvet, amelyik tartalmazza a kívánt leírást.
2. Ezután a keresett gént ki kell vágni, ahogy a könyvből is kivágnánk az adott fejezet lapjait. Ehhez a kutatók speciális enzimeket használnak olló helyett.
3. Az így kinyert gént, azaz DNS-darabot, működőképességének megőrzése mellett, be kell juttatni a cél élőlénybe, és beépíteni annak DNS-molekulájába. Hasonlóan, ahogy egy könyvbe beragasztanánk az új fejezet lapjait. A gének beültetését a kutatók gyakran vírusok segítségével oldják meg, melyekbe előzetesen beviszik a kívánt tulajdonság génjét.





Sokáig a kutatók nem tudták meghatározni, hogy a beültetendő gének a fogadó élőlény DNS-molekulájának mely részébe kerüljenek bele, így nagyon sok próbálkozás kellett egy-egy sikeres gén átvitelhez. Hasonlóan egy szakácskönyv esetén is komoly zavart okozna, ha az új receptet egy másik étel leírásának középebe, vagy épp a tartalomjegyzékbe illesztenék be. Mára egy **új technológia**, az ún. **CRISPR** módszer lehetővé teszi, hogy a kívánt génszakaszt **nagy pontossággal** és a **kívánt helyre** lehessen beilleszteni.

## Klónozás

- **Mi is a klón? A fogalmat különböző szerveződési szinteken értelmezhetjük: röviden genetikailag megegyező másolatot jelent.**

A klónozás során egy élőlényről ivartalan úton, **genetikailag teljesen azonos másolat** keletkezik (2. ábra). Ennek a folyamatnak a természetben is számos formája létezik, de mára az ember is képes mesterséges klónozásra.

Egyetlen gén klónozására is lehetőség van, például ha az ember inzulin-génjét beültetjük egy baktériumba, és ott felszaporítjuk.

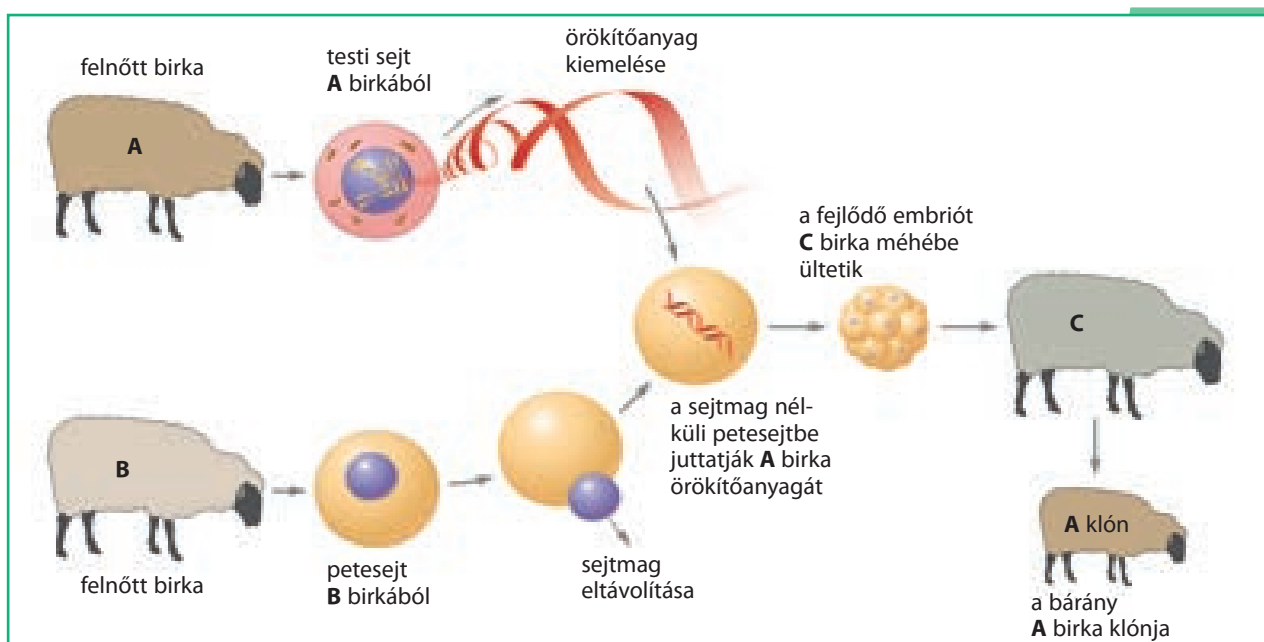
Sejt klónozásának tekinthető a természetben általánosan lezajló **mitotikus sejtosztódás is**. Ilyenkor az osztódó sejteknek teljesen **pontos másolata** keletkezik. Ezzel a folyamattal keletkeznek az élőlények testi sejtjei.

Természetesen lehetséges egész, soksejtes élőlény klónozása is. A növényvilágban az **ivartalan szaporodás** számos formája ismert, akár természetes módon az indákkal történő szaporodás, akár a például a mesterséges töosztás is klónozásnak tekinthető.

A teljes élőlények mesterséges klónozásának egyik módszere a **sejtmagátültetés**. Az eljárás során a klónozni kívánt élőlény egy testi sejtjének a sejtmagját eltávolítják, majd beültetik egy sejtmagjától megfosztott petesejtbe (3. ábra). Az így



2. A sci-fi szerzők már évtizedekkel ezelőtt leklónozták a maguk hadseregét – a valóságban szerencsére idáig (még) nem jutott el a tudomány



3. Emlősállat klónozása

létrejött sejt úgy viselkedik a továbbiakban, mint egy megtermékenyített petesejt. Ha ezt a petesejtet a megfelelő körülmények közé helyezik, például emlősállat esetén beültetik egy anyaállat méhében, ott osztódásnak indul, és kifejlődhet belőle egy új élőlény. Az első emlősállat, melyet klónozással hoztak létre, egy birka volt (4. ábra).

Az **embrióosztás** a klónozás egy másik formája. Itt tulajdonképpen a mesterséges megtermékenyítést követően az osztódásnak induló embriót nyolcsejtes állapotig hagyják osztódni, majd szétválasztják négy, egyenként kétsejtes utódra. Az ilyen módon keletkezett sejtek igazából nem szüleikkel, hanem egymással lesznek teljesen azonos genetikai állományúak.

### A klónozás felhasználása és problémái

Klónozásra tulajdonképpen akkor lehet szükséges, ha egy élőlényt a **tulajdonságainak megváltozása nélkül** szeretnénk szaporítani. Ilyenek a gyakorlatban a hosszú folyamat révén létrehozott élőlények, melyek lehetnek egy növénynemesítés, vagy épp génmódosítás eredményei. A klónozni kívánt élőlény sejtmagja azonos korú a klónozendó élőlénnel, így a klónozott élőlény a születés pillanatában már „öreg” DNS-sel rendelkezik.



4. Dolly, az első klónozással előállított emlősállat. 1996. június 5-én született Edinburgh-ban.

#### Gondolkozz kritikusan!

Van-e olyan terület, ahol veszélyes lehet a GMO-k előállítása?  
Milyen világméretű problémák orvosolhatók a GMO-val?

**Genetikailag módosított organizmus (GMO),** olyan élőlény, melynek génállományát és így tulajdonságait géntechnológiai eljárással módosították.

A genetikai módosítás során egy kiválasztott tulajdonságért felelős gént a megfelelő módszerek segítségével beillesztünk egy másik élőlénybe, mely ezek után a kívánt tulajdonsággal rendelkezni fog.

A génátvitel lehetőségei elméletileg korlátlanok, szinte bármilyen két élőlény közt megvalósulhat a gének átültetése.

A klónozás valamely gén, sejt vagy élőlény ivartalan úton történő felszaporítása, melynek során a klónozott organizmus genetikailag teljesen megegyezik az eredetivel.

A klónozás legáltalánosabb módja a sejtmagátvitel, amikor egy petesejt sejtmagját eltávolítják, és a helyére a klónozni kívánt élőlény testi sejtjének sejtmagját ültetik be, majd ebből alakul ki az új, klónozott élőlény.

## 29. Összefoglalás



# 30.

## Genetikai mérnökség és a GMO-k hasznosítása

1. Mit jelent a genetikai mérnökség?
2. Mit tervez egy genetikai mérnök?
3. Milyen orvosi, gyógyszeripari vagy mezőgazdasági felhasználási lehetnek a genetikailag módosított organizmusoknak?

### Genetikai mérnökség az orvostudomány szolgálatában

**Gyógyszerfejlesztés:** Az előző fejezetben olvashattál arról, hogy a genetikai mérnökök képesek olyan baktériumokat létrehozni, melyek emberi inzulint állítanak elő a cukorbetegek számára. A genetikai tervezés mára lehetővé tette, hogy az inzulingén átalakításával a természetesnél gyorsabban ható inzulint is előállítsanak arra az esetre, ha hirtelen vércukorszint-emelkedés lépne fel. De képesek sokkal lassabban, ám hosszabb ideig ható inzulint is előállítani, mely így egyfajta inzulinbázist képez a vérben.

A törpeség genetikailag öröklődik. A törpe szülőknek a gyermekeik is törpe növésűek lesznek, mivel szervezetük nem termel elegendő növekedésserkentő hormont. Ha azonban ezeknek a gyerekeknek rendszeresen, injekció formájában pótolják a hiányzó hormont, normál növekedésűek lesznek. A növekedésserkentő hormont az inzulinhoz hasonlóan, genetikailag módosított mikroorganizmusok segítségével állítják elő. Hasonló módon állítanak elő pajzsmirigyserkentő hormont, valamint a véralvadáshoz szükséges fehérjét (VIII. faktor) is.

#### Csoportmunka



Alakítsatok négy csoportot, és mind a négy csoport tervezzen genetikailag módosított élőlényeket: egy növényt, egy állatot, egy élelmiszerként felhasználható élőlényt és valamilyen gyógyszerhatóanyagot előállító élőlényt! Az élőlényeket bármilyen valós tulajdonsággal felruházhatjátok. Ezt követően a tervezett élőlényeket bocssáátok nyílt vitára! Vitassátok meg előnyeiket, hátrányaikat, veszélyeiket!

**Nézz utána!**

Kik voltak azok a híres történelmi személyek, akik vérzékenységekben szenvedtek? Milyen neműek voltak? Hogyan lettek betegek? Mi állhat a betegség hátterében, és hogyan oldja meg ezt a modern orvoslás?

## Védőoltás, azaz vakcinagyártás

A human papillomavírus (HPV) fertőzés felelős a méhnyakrák kialakulásáért. Mára már elérhető a védőoltás bárki számára, melyet az orvosok szintén genetikai mérnökök segítségével állítottak elő. E munka során elemezték a vírus örökítőanyagát, valamint az általa létrehozott fehérjeburkot. Ezt követően egy olyan molekulát állítottak elő, ami a vírust megfelelőképpen utánozza az emberi szervezetben, azonban nem okoz megbetegedést. Ha ez sikerült, az oltóanyag kulcsát képező molekulát szintén nagy mennyiségben elő kellett állítani valamilyen mikroorganizmus segítségével, majd kinyerve lehetett védőoltásként alkalmazni. Ez a molekula az emberi szervezet immunrendszerében kialakítja a vírussal szembeni védettséget, így a vírus már nem okozhat a későbbiekben megbetegedést (1. ábra).



1. Vakcina és az oltás beadása

## Genetikai szűrés

A géntechnológia segítségével lehetőség van arra, hogy egy genetikai állományt megvizsgálva kimutassák, hogy hordozza-e valamely betegség kialakulásáért felelős gént. Ilyenkor a vizsgált személy DNS-állományát leolvassák, majd számítógép hasonlítja össze az egészséges, illetve a betegséget hordozó DNS-mintákkal. Végül a kapott hasonlóság vagy különbség alapján születik meg a diagnózis. Például egy olyan nő esetében, akinek a családjában előfordult mellrák, kimutatható, hogy ő maga is hordozza-e a betegséget okozó gént. Ha igen, akár megelőző műtétet is végezhetnek.

A genetikai szűrést azonban el lehet végezni néhány sejtes embriókon vagy fiatal magzatokon is, ha valamely súlyos genetikai rendellenesség esélye fennáll. Ezek a vizsgálatok, valamint az azokat követő döntések azonban nagyon komoly etikai kérdéseket vetnek fel, ezért ezzel a bioetika című leckében fogunk részletesebben foglalkozni.

## Génterápia

A génterápia lényege, hogy egy hibás, betegséget okozó génszakaszt például kicserélnek egy normál működésű génszakaszra, így a rendellenes DNS-szakasz kijavítható (2. ábra). A génterápia kutatása az 1990-es években indult el, és gyorsan kiderült, hogy a folyamat sokkal több nehézséget rejteget, mint az eredetileg gondolták a kutatók. Az első probléma az, hogy ha egy kifejlődött szervezet néhány sejtjében végzik el a javítást, az a többi sejt hibás működését nem befolyásolja. Csupán a javított sejt és annak utódsejtjei fognak egészségesen működni. Ennek ellenére, ha megfelelő megfelelő számú, összejtéknént működő sejtet tudnak egy szervezetbe juttatni, azzal már lehet pozitív eredményeket elérni.

2006-ban sikeresen kezeltek génterápiával egy súlyos immunhiányos betegségben (SCID) szenvedő négyéves kislányt. Az ilyen betegek sajnos általában már csecsemőkorban meghalnak egyszerű fertőzések következtében, mivel az immunrendszerük nem működik, így gyakran steril műanyag buborékkamrában kell élniük. Bár a gyógyulás nem volt végleges, a kislánynak öthavonta vérátömlesztéssel kellett génkezelt vért kapnia, de a steril kamrát elhagyhatta, és normális életet is élhetett. Sajnos az ugyanebben a betegségben kezelt gyerekeknél a terápiából kifolyólag súlyos mellékhatások is felléptek.

## GMO a mezőgazdaságban

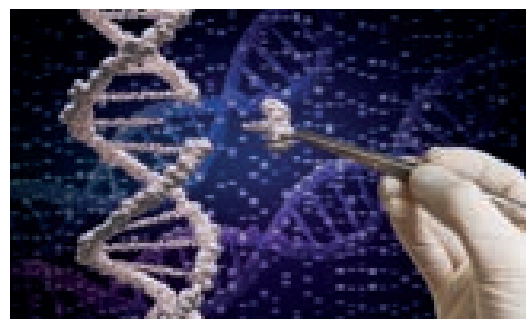
A növekvő létszámú emberiség élelmiszerrel való ellátása komoly kihívás elé állítja a mezőgazdaságot. Ennek a feladatnak a megoldására is számos próbálkozást láthatunk mind a növénytermesztés, mind az állattenyésztés során. A cél általában az előállított termékek tulajdonságainak javítása, például nagyobb, szebb, magasabb tápértékű növények előállítása.

Egy másik betegség a cisztás fibrózis. Az ebben szenvedő betegek szervezetében egyetlen gén hibája miatt a légutakban nagy mennyiségű és sűrű váladék keletkezik. A génterápia itt is ígéretesnek mutatkozik, mivel egyetlen gén hibáját kell kijavítani.

## GMO a növénytermesztésben

Ma a növénytermesztésben széles körben elterjedtek azok a növények, melyek valamely gyomirtó szerrel szemben ellenállóak (3. ábra). Ezek a növények nagy területeken, teljesen gyommentesen termeszthetők, mivel az adott gyomirtó szer minden más növényt elpusztít. Az ilyen növényekkel szemben azonban több probléma is felmerült. Az a legfontosabb, hogy a gyomirtószerrel szembeni ellenálló képesség például a virágpor révén átkerülhet közeli rokon növényekbe, vagy akár gyomnövényekbe is, ami jelentős ökológiai kockázatot jelent.

A másik széles körben alkalmazott genetikai módosítás során egy növényt rovarölő hatású fehérjét termelő génnel ruháznak fel. Így ezeket a növényeket nem kell rovarölő szerekkel permetezni. Ilyen gyakorlatban is



2. A génterápia lényege, hogy egy hibás, betegséget okozó génszakaszt kicserélnek egy normál működésű génszakaszra

### Nézz utána!

Milyen valós alkalmazások, illetve milyen lehetőségek vannak a génterápiában?

Készíts kiselőadást a génterápia orvosi lehetőségeiről!

### Gondolkozz kritikusan!

Vajon ma a világ élelmiszer-előállítása és a föld összlakossága milyen arányban áll egymással?

A világ mely részein fordul elő tömeges éhezés?

Nézz utána, mely országok hozzák létre a legtöbb GMO mezőgazdasági terméket?

Vajon ezek elérhetőek a szegény országok számára?



3. Fialat génmódosított kukorica-növény

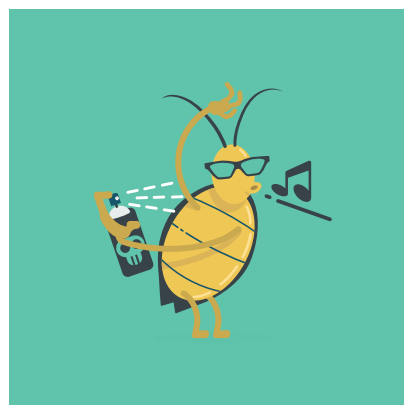
termesztett növény például a kukorica, a gyapot, a szója vagy a dohány is. Veszélyek itt is fennállnak. Az egyik, hogy az elsodródó, mérgező virágpór más természetes növénytársulásokba, vagy akár vizekbe jutva komoly mérgezéseket okozhat. A másik gond, hogy mivel az ízeltlábúak nagyon gyorsan szaporodnak és nagyszámú utódot hoznak létre, így könnyen kialakulhatnak olyan egyedek, melyek ellenállóak lesznek a rovarölő gén termelte méreggel szemben (4. ábra). A harmadik gond pedig az, hogy a rovarölő tulajdonság áttevéődhet más, nem haszonnövényekbe is.

### Problémák és kérdések

Általános probléma a GMO növényekkel kapcsolatban, hogy a vetőmagok igen drágák. További gond, hogy a termésből származó magok, például kukoricaszemek vetőmagként nem használhatók fel a továbbiakban, mert belőlük nem fejlődik ki termékeny növény. Egy másik veszélyforrás a genetikai sokféleség nagymértékű csökkenése. Mivel a genetikailag módosított élőlények 100%-ban azonosak, így a környezeti változásokra is teljesen egyformán reagálnak. A jelenleg is érzékelhető klímaváltozás azokon a területeken, ahol sok a GMO növény, szintén komoly veszélyeket jelent, mert egy váratlanul kialakuló szélsőséges időjárás esetén a teljes növénykultúra pusztulását okozhatja. Így fokozottan fontos a génbankok létrehozása, melyek lehetőséget biztosítanak a hagyományos fajták genetikai sokszínűségének megőrzésére.

#### Gondolkozz kritikusán!

Milyen következményei lehetnek annak, ha egy gyomnövény egyszerre válik gyomirtó szerrel szemben ellenállóvá és rovarölővé egyben?



4. Kialakulhatnak rovarölő fehérjével szemben ellenálló rovarok is

### Aranyrizs

A világ szegény országaiban nagyon komoly gondot jelent a nem megfelelő minőségű táplálkozás. Sajnos nagyon kevés vitaminforráshoz, zöldséghez, gyümölcshöz és húshoz jutnak hozzá az emberek. Az A-vitamin hiánya nagyon sok embernél okoz komoly látási zavarokat, vagy akár vakságot is, és az A-vitamin az immunrendszer egészséges működéséhez is elengedhetetlen. A WHO becslése szerint évente félmillió gyermek vakul meg és 2,5 millió hal meg az A-vitamin-hiány következtében. A probléma megoldására fejlesztették ki az aranyrizs nevű, genetikailag módosított rizst (5. ábra). Ennek a rizsnek a szemtermésében nagy mennyiségű karotinoid vegyület van, melyet a szervezet képes A-vitaminná alakítani. Mivel a fent említett területeken a rizs az egyik legalapvetőbb élelmiszer, így az aranyrizs segíthetne a vitaminhiány okozta problémák enyhítésében, illetve megoldásában. Annak ellenére, hogy az aranyrizs már a 2010-es évektől rendelkezésre állna, a mai napig nem került kereskedelmi forgalomba. Ennek hátterében az egyes országok engedélyezési folyamatai és politikai döntések állnak. Sokan úgy gondolják, hogy a szegénységet kellene megoldani, és ez az A-vitaminhiányt is megoldaná. Ugyanakkor ez hosszabb időbe telhet, mások viszont a gyors segítséget sürgetnék az aranyrizs által.



5. A GMO aranyrizs segíthetné a szegény országok lakosainak A-vitamin ellátását



### Foglalj állást!

Alakítsatok két csoportot, és vitassátok meg az aranyrizs kérdését!  
Keresd ki a fenti szövegből az idegen kifejezéseket és értelmezd azokat!

### GMO az állattenyésztésben

Az élelmiszeriparban felhasználható genetikailag módosított állatok száma jóval kevesebb, mint a növényeké. Az egyik ilyen a növekedésserkentő hormonnal kezelt lazac és tőkehal. Ezek az állatok három év helyett tizennyolc hónap alatt elérik a kifejlett méretüket (6. ábra). Bár az eddigi kutatások alapján nincs káros hatása az emberi szervezetre az így előállított húsnak, egyelőre még egyetlen ország sem engedélyezte az emberi ételmezésben való felhasználását.



6. Azonos korú génmódosított és nem génmódosított lazacok. A génmódosított lazac nem nő nagyobbra, de gyorsabban éri el a kifejlett testméretet.

### Gondolkozz kritikusán!

Alakítsatok két csoportot, egyik a GMO mellett, a másik ellene foglaljon állást! Készüljete fel a vitára! Gyűjtsetek minél több tudományos érvet és ellenérvet, valamint megvalósult alkalmazásokat, illetve felmerült problémákat! Vitassátok meg álláspontjaitokat a növényi, az állati és humán vonatkozásokban is!



A genetikai mérnökök tervezik meg és hozzák létre a génmódosított élőlényeket. Ezek felhasználhatóak az orvostudomány számos területén, például gyógyszerek vagy védőoltások gyártásában, valamint génterápia során is.

A GMO-kat a mezőgazdaság is használja főként a növénytermesztésben, de már vannak próbálkozások az állattenyésztés területén is.

## 30. Összefoglalás

# 31. Bioinformatika

1. Miért van szükség az informatikára a biológiában?
2. Mi az a humán genom program?
3. Mit lehet kideríteni a genetikai adatbázisokból a betegségekkel kapcsolatban? Miért jó, ha modellezni tudjuk a sejteken belüli kommunikációt?
4. Hogyan segíti az informatika a modern származástani kutatásokat?

A modern biológiai kutatások során az egyik legérdekesebb kérdés a gének által kódolt információk megfejtése. A génjeink meghatározzák jó és rossz tulajdonságainkat. Felelősek egyes betegségeink kialakulásáért, vagy meghatározhatják kiemelkedő képességeinket is. Az egyszerűbb élőlények genomja, azaz teljes genetikai állománya is igen nagy mennyiségű adatot jelent, de az **emberi genom** kb. 3,2 milliárd bázisból áll (1. ábra).

Az ilyen óriási méretű adatbázisok kezelése elképzelhetetlen nagy teljesítményű számítógépek nélkül. Ezekhez a speciális adatokhoz és számítógépekhez pedig speciális programokra is szükség van. A bioinformatika tehát ötvözi a biológia, a számítástechnika és az informatika tudományos eredményeit. Lehetővé teszi a biológiai, főként a genetikai kutatásokból származó óriási adatmennyiség biztonságos tárolását, valamint a gyors hozzáférés lehetőségét. Továbbá megteremti a feltételeket, hogy ezekből az adatbázisokból a kutatók értékes információkat nyerhessenek ki.



1. Az ember teljes génállományát 3,2 milliárd bázis kódolja. A kód betűi négyfélék lehetnek: A, G, T, C.

## Számold ki!

Ha feltételezzük, hogy egy sűrűn telegépelte A/4-es oldalon átlagosan 2000 karakter fér el, akkor hány darab 1000 oldalas könyvbe lehetne legépelni a teljes emberi genomot? (1 millió = 1 000 000 000).

## A humán genom program (HGP)

A teljes emberi génállomány, azaz a humán genom elolvasása és feltérképezése, bátran mondhatjuk, hogy az emberi tudomány egyik legnagyobb közös teljesítménye volt. A célkitűzés ahhoz hasonlított, mintha egy óriási könyvtár rengeteg kötetét szerették volna elolvasni, és elkészíteni a könyvek teljes katalógusát és minden könyv tartalomjegyzékét. Tehát a kutatók kíváncsiak voltak rá, hogy az emberi génállomány egyes kromoszómáin milyen gének találhatók és milyen sorrendben, valamint hogy ezeket mely bázisok (betűk) alkotják (2. ábra). Természetesen ebből következik az újabb kérdés, hogy az egyes bázisok által kódolt géneknek mi a feladatuk.

A program 1990-ben kezdődött, és a teljes emberi DNS leolvasása 2000-ig tartott. Az adatok egyeztetése, értelmezése és értékelése pedig a mai napig folyamatosan folyik. Hat ország 16 kutatócsoportja egyszerre dolgozott a genom egyes részletein, amit végül egyesítettek. Az így leírt mintegy 21 000 gén bázissorrendje 3 gigabájtnyi információt jelent betűkben kódolva. A vizsgálat során minden nagyrasszból férfiak és nők DNS-ét is megvizsgálták.

### A humán genom program eredményei

A program számos új eredményt hozott, ezek közül néhányat emelünk ki. Kiderült, hogy két idegen ember DNS-állománya **99,9%-ban azonos**, tehát az emberiség csodálatos sokszínűségét a maradék 0,1% különbség adja. Ez 3 millió bázis különbséget jelent a két ember teljes DNS-állománya között. Fény derült arra is, hogy a DNS- molekula jelentős része **nem kódol információt**. Ezek a részek többek között a kódoló szakaszok **szabályozásában** és a **DNS-struktúra kialakításában** vesznek részt. Természetesen számos betegség kialakulásáért felelős gént is sikerült azonosítani, aminek a jövő orvostudományában óriási a jelentősége. Továbbá felfedezték azt is, hogy az emberi genom jelentős részében találunk **mozgó géneket**, melyek képesek a helyüket a DNS állományában megváltoztatni.

#### Gondolkozz kreatívan!

Képzeld el az ember teljes DNS-készletét úgy, mint egy sok kötetből álló könyvtárat! Gondold végig! Mik lesznek a kromoszómák, a gének, a kódoló és nem kódoló szakaszok, a bázisok? Hogyan lehetne megtalálni az egyes könyveket?

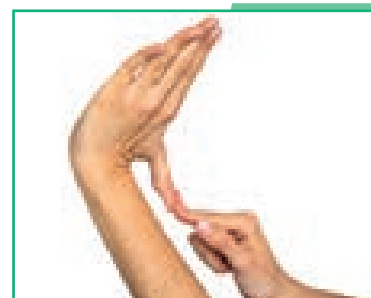
### A humán genom program és a betegségek

Az emberi genom leírásának köszönhetően mára közel kétezer betegséget tud az orvostudomány a génállományból tesztek segítségével kimutatni (3. ábra). A betegségek, valamint a megbetegedésre való hajlam kimutatása a genomból számos további kérdést vet fel, mellyel a Bioetika című részben foglalkozunk. A genetikai rendellenességek kimutatása és a betegségek öröklődésének felderítése azonban nagyon fontos az érintett házaspárok genetikai tanácsadása esetén. Ilyen egy gén hibájából adódó genetikai hátterű betegség például a cisztás fibrózis, ahol a beteg légútjaiban nagy mennyiségű, sűrű váladék keletkezik, ami erősen nehezíti a beteg légzését. Ezt a betegséget ma már génterápia segítségével kezelni lehet.



2. A humán genom projekt során azonosították az emberi DNS teljes bázis-sorrendjét, amely alapot teremt többek között a genetikai eredetű betegségek diagnosztizálására

Készíts kiselőadást a humán genom program során létrejött nemzetközi tudományos összefogásról!



3. Az ízületek hipermobilitásával járó Ehlers-Danlos-szindróma

## Információs hálózatok a sejteken belül

A sejteken belül a különböző molekulák, például a fehérjék bonyolult hálózatokat alkotnak. Ezeknek tagjai szállítják a különböző információkat a sejteken belül és a sejtek között is. Működésük elengedhetetlen az egyes sejtek egészséges életéhez, meghibásodásuk viszont különféle zavarokat, betegségeket okozhat. A DNS-molekula összehangolt működése, valamint a fent említett bonyolult kapcsolatok, az ún. **jelátviteli folyamatok** szorosan összefüggnek. Ezek egészével foglalkozik a **genomika**, ami a bioinformatika egyik gyorsan fejlődő, új területe. Az eddig megismert sejt belüli rendszereket és hálózatokat szintén nagy teljesítményű számítógépekkel elemzik. Lehetőség van számítógépes modellek készítésére is, melyekkel akár az egyes meghibásodások vagy kívülről bevitt molekulák hatását bizonyos valószínűséggel előre tudják jelezni. Ezek a sejteken belüli összetett folyamatok hasonlítanak egy nagyváros életéhez, ahol az utak, a jelzőlámpák, a buszok vagy a rendőrök mind fontos szerepet töltenek be.

### Nézz utána!

Szedd össze gondolatban, milyen módokon juthat el egy hagyományos levél egy városban a feladótól a címzetthez! Próbáld ezeknek a szállítási módoknak a megfelelőit megtalálni a sejteken belül.



## Bioinformatika az evolúciókutatás és a rendszertan szolgálatában

Az emberhez hasonlóan számos más élőlény teljes genetikai állományát, genomját is feltérképezték már, így például a szója, a kukorica, a rizs vagy az ecetmuslica, az egér és a csimpánz teljes genetikai kódja is ismert. Ezeket az adatokat hatalmas nemzetközi adatbázisok tárolják, ahol a kutatók a számukra fontos adatokhoz hozzáférhetnek. Egy ilyen óriási adatbázis az NCBI (National Center for Biotechnology Information).

### Keress rá!

Vajon a kedvenc állatod vagy növényed genetikai állományát megfejtették-e már?

Az adatoknak ez az újfajta, számítógépes adatbázisban tárolt módja számos lehetőséget biztosít a tudomány számára. Egy ilyen kutatási terület a rendszertani kapcsolatokat vizsgáló tudomány, a taxonómia. Kezdetben az élőlényeket külső tulajdonságaik alapján próbálták rendszerezni, ezek voltak a mesterséges

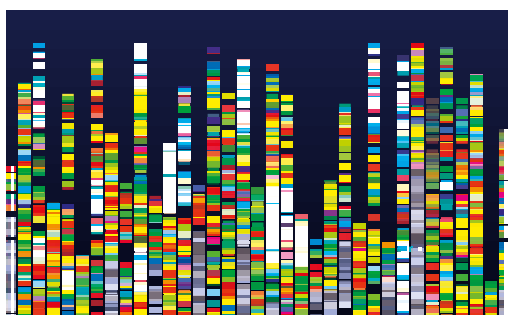
# Játsszatok!

Valaki találjon ki egy összetett mondatot, írja le, majd súgja a szomszédja fülébe! Ő is írja le, mit hallott, majd súgja tovább, és így tovább! A lánc legyen legalább tíztagú! A végén az első és utolsó ember mondja el a mondatát. Ezután a többi mondatot tartalmazó papírt tegyék egy kalapba, és kihúzva az egyes mondatokat próbáljátok kitalálni, hányadik lehetett a sorban!

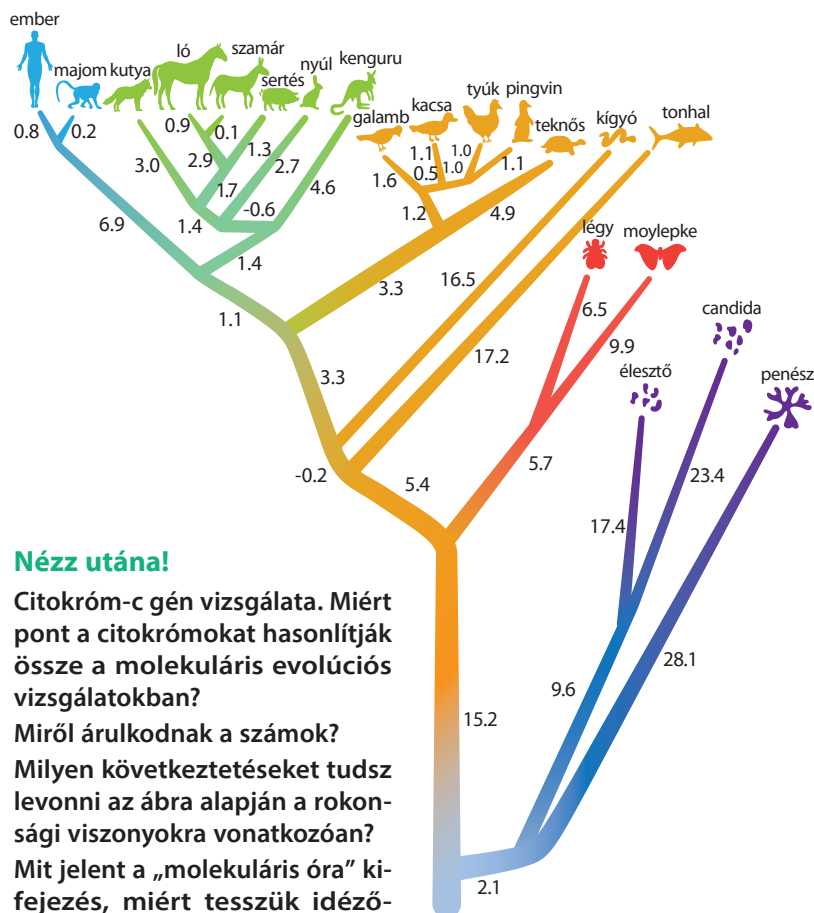
A mondat betűinek, illetve szavainak változása hasonlít a DNS-állomány kódjainak változásához. Néha olyan is előfordulhat, hogy egy elrontott betű, illetve kód a következő rontásnál visszaalakul az eredeti helyes kóddá.

A folyamat hasonlít az evolúció során bekövetkező változásokhoz, mutációkhoz.

rendszerek. Charles Darwin óta azonban a rokonsági kapcsolatokat, azaz a leszármazást próbálják kideríteni. Az élőlények evolúciója során a tulajdonságok megváltozása mögött a DNS-állomány változása, és így a fehérjék megváltozása állhat. Ha a felépítő molekulák pontos sorrendjét ismerjük, össze tudjuk hasonlítani őket, és így az eltérések mértékéből meg lehet állapítani a rokonság mértékét is (4. ábra). Ezzel a módszerrel már egész pontosan fel lehet térképezni az élővilág rokonsági kapcsolatait, melyeket **származási** (filogenetikai) **törzsfák** segítségével ábrázolnak (5. ábra).



4. Géntérkép. Az ábrán egy oszlop egy kromoszómát ábrázol, minden ember esetében az oszlopon megfigyelhető mintázat egyedi, csak az adott személyre jellemző.



### Nézz utána!

**Citokróm-c gén vizsgálata. Miért pont a citokrómakat hasonlítják össze a molekuláris evolúciós vizsgálatokban?**

**Miről árulkodnak a számok?**

**Milyen következtetéseket tudsz levonni az ábra alapján a rokonsági viszonyokra vonatkozóan?**

**Mit jelent a „molekuláris óra” kifejezés, miért tesszük idézőjelbe?**

5. Különböző élőlények rokonsági kapcsolatait ábrázoló törzsfák

A bioinformatika a számítástechnika és az informatika eszközeivel segíti a biológiai kutatások eredményeinek tárolását és feldolgozását.

A humán genom program során sikerült a teljes emberi genomot feltérképezni, meghatározni ez egyes gének felépítését és helyét. Eredményei révén számos betegség genetikai hátterére sikerült fényt deríteni, valamint gyógyításukat elősegíteni.

A bioinformatika segítségével modellezni lehet a sejteken belüli és a sejtek közötti bonyolult kapcsolatokat, aminek nagy jelentősége van egyes folyamatok megértésében, egyes betegségek gyógyításában és bizonyos gyógyszerek fejlesztésében is.

Az evolúciókutatásban és a rendszertani vizsgálatokban is a bioinformatika segítségével lehet a nagy mennyiségű és bonyolult adatot kezelni és elemezni.

# 31. Összefoglalás



## 32.

## Bioetika

1. Mi a bioetika, és mik az alapelvei?
2. Melyek a genetikai vizsgálatok előnyei és kockázatai?
3. Milyen etikai szabályai vannak a szervátültetéseknek?
4. Ki védi a kísérleti állatokat?

A bioetika az élővilág etikai kérdéseivel foglalkozó komplex tudomány, mely a biológia tudományához kapcsolódó erkölcsi kérdéseket foglalja össze. Jelentősebb területei az emberrel kapcsolatos ún. orvosi etika, a környezetvédelmi etika, valamint a kísérleti állatok etikai kérdései is. Bár a bioetika egyes kérdéseinek megítélése erősen függhet a belső meggyőződéstől, világnézettől vagy valamilyen hit elfogadásától, mégis bizonyos alapelvek megkérdőjelezhetetlenek.

## A bioetika alapelvei

„Minden ember egyenlőnek születik, méltóságuk és jogaik egyenlőek” – ezt mondta ki az ENSZ Emberi jogok deklarációja 1948-ban. A bioetika egyik legfontosabb alapelve az emberi méltóság tisztelete. Ennek alapja az emberi fajhoz tartozás méltósága nemre, bőrszínre, vallási vagy nemzeti hovatartozásra való tekintet nélkül. Ez a méltóság magában foglalja az emberi test sérthetlenségét, az élethez való jogot, valamint a szabad akarat tiszteletét, mellyel minden ember eldöntheti, mivé szeretne válni.

### Az orvosi etika négy alapelve

1. Ne árts! Az orvosnak úgy kell eljárnia, hogy ne okozzon egészségügyi kárt betegének.
2. Jótékonyág: Az orvosnak kötelessége úgy dolgozni, hogy páciense egészségének érdekeit előremozdítsa.
3. Autonómia: Az orvosnak kötelessége segítenie páciensét a saját magára vonatkozó egészségügyi döntések meghozatalában, és döntéseit tiszteletben kell tartania.
4. Igazságosság: Az orvosnak kötelessége a korlátozottan rendelkezésre álló egészségügyi erőforrások igazságos elosztása a páciensek között.

A fenti alapelvek bár nem tesznek minden kérdést egyértelművé, mégis segítenek az eligazodásban.



## Az emberi élet kezdete

Biológiai meghatározás szerint (tekintsünk el a genetikai betegségektől) az ember olyan élőlény, amely az emberre jellemző 46 db kromoszómával rendelkezik. E tekintetben a biológia tudománya egységesen azt mondja, hogy a petesejt megtermékenyítésekor beáll az emberre jellemző kromoszómaszám. Az így kialakuló embrió életjelenségeket mutat, és a későbbiekben a működő DNS-állomány meghatározza a személyre jellemző egyedi tulajdonságokat.



1. Emberi magzat 3D ultrahangfelvételen

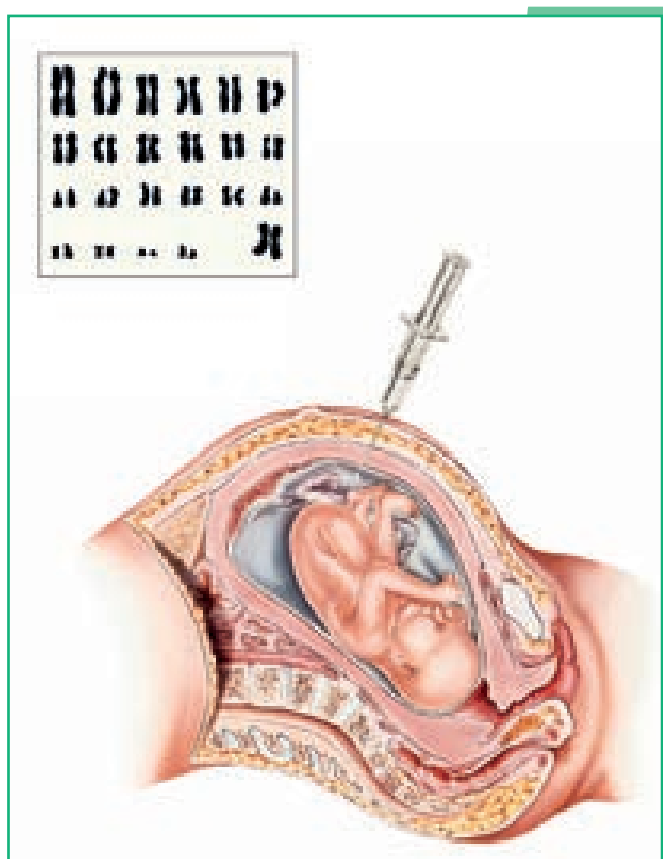
## Magzatok genetikai vizsgálata, lehetőségek és veszélyek

A várandós anyák a terhességvizsgáló rendszernek köszönhetően meghatározott időközönként **szűrővizsgálatokon** vesznek részt. A vizsgálatok egyik célja a magzat esetleges **fejlődési rendellenességének** kimutatása. A terhesség 11. hetétől a magzat fejlődését **ultrahangvizsgálatokkal** ellenőrzik (1. ábra). Ezek a vizsgálatok alkalmasak a genetikai hátterű anatómiai rendellenességek megállapítására. Ha komoly gyanú merül fel valamilyen eltérésre, akkor mintát vesznek a méhlepényből vagy elvégzik a magzatvízvizsgálatot (2. ábra). Mindkét eljárás célja a magzati sejtek kromoszómaszámának és kromoszómaszerkezetének meghatározása, az egyértelmű diagnózis felállítása. **A magzati diagnosztika** számos kérdést vet fel. A legfontosabb az emberi élet értékének kérdése. Sajnos a magzati diagnosztika azt sugallja, hogy az élet értékét az egészség vagy a képességek adják. A születést követően már mindenki számára egyértelmű, hogy a más, a beteg vagy a fogyatékkal élő emberek is ugyanolyan értékesek, mint az egészségesek (3. ábra).

Felmerül továbbá a magzati vizsgálati eljárások kockázata is, mivel a magzatvízvétellel járó vizsgálatok sajnos az esetek néhány százalékában akár vetélést is okozhatnak.



3. Down-szindrómás fiatal férfi képe



2. Magzatvízvizsgálat. A vizsgálat során a hasfalat és a méhfalat átszúrva mintát vesznek a magzatvízből. A magzatvízből centrifugálással kinyerik a magzati sejteket, megfelelő eljárással felszaporítják, majd megvizsgálják a kromoszómaszerelvényüket.

### Gondolkozz kritikusan!

A fogyatékoság hosszan tartó fizikai, értelmi, pszichoszociális vagy érzékszervi károsodás, amely számos egyéb akadállyal együtt korlátozhatja egy adott személy teljes, hatékony és másokkal egyenlő társadalmi szerepvállalását. A fogyatékoság változó fogalom, bárki bármikor fogyatékosá válhat. A fogyatékoság nem zárja ki az egészséget: nem betegség, hanem állapot, ami a fogyatékosággal élő személyek és az attitűdbeli, illetve a környezeti akadályok kölcsönhatásának következményéből adódik. Ezen akadályok gátolják a fogyatékos személyt a társadalomban való teljes és hatékony, másokkal azonos alapon történő részvételben.

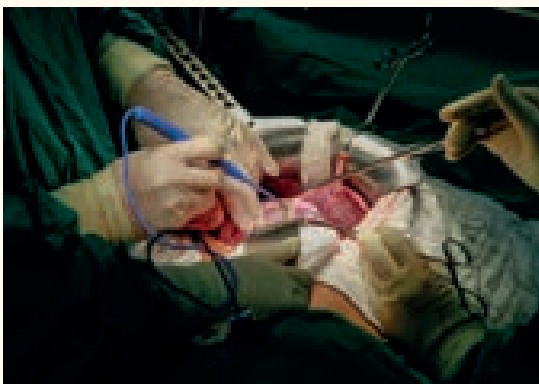
Forrás: A fogyatékosággal élő személyek jogairól szóló egyezmény

### Értelmezd a szöveget, és reflektálj!

#### Transzplantáció lehetőségei és veszélyei

A **szervátültetés** (transzplantáció) számos esetben az egyetlen megoldás bizonyos betegségek esetén. A leggyakrabban átültetésre kerülő szervek a vese, a szív és a máj. A fő nehézséget a megfelelő adó (donor) személy megtalálása jelenti, mivel csak az **immunológiailag nagyon hasonló** szervezetek közt valósulhat meg az átültetés. Ellenkező esetben a beültetett szerv **kilökődik**, és ez súlyos, életveszélyes helyzetet idézhet elő. A szervátültetés történhet élő emberből, például egy testvér vagy szülő egyik veséjét odaadhatja beteg családtagjának, mivel az adományozó egy vesével is tud élni. A szervátültetés azonban gyakran történik elhunyt egészséges személyből, például balesetet követően. A szervátültetés kapcsán számos kérdés felmerül, melyeket az egyes országok törvényei szigorúan szabályoznak. Ezek közül a legfontosabbak:

- Élő személy esetén az önkéntesség biztosítása, akár csak a lelki nyomás elkerülése is.
- Az ingyenesség biztosítása, az esetleges szervkereskedelem kivédése.
- A bűnügyi esetek kizárása az orvosi adatok titkossága által.
- Elhunyt személy esetén a halál beálltának biztos, orvosi megállapítása.
- Elhunyt személyek esetén az orvosi és kegyeleti szempontok helyes mérlegelése.



Veseátültető műtét

## Állatetika

A **kísérleti állatok** az orvosi és gyógyszeres kutatások elengedhetetlen segítői (4. ábra). Ezek az állatok segítenek számos betegség vagy gyógyszerhatóanyag megismerésében. Ezzel együtt nagyon fontos, hogy a velük szemben tanúsított magatartás is a lehető legemberségesebb legyen. A kísérleti állatokra vonatkozó engedélyeket és szigorú szabályokat hazánkban az Magyar Állatetikai Bizottság adja ki és ellenőrzi. A legfontosabb alapszabályok közé tartozik, hogy **ha csak lehet, más kísérletekkel kell helyettesíteni az állatkísérleteket**. A lehető legkevesebb állatot kell felhasználni a kísérletek során, és mindig a legkevesebb fájdalmat szabad csak okozni az állatoknak. Szabályozzák továbbá **tartásuk körülményeit**, hogy mekkora helyen, milyen ellátás mellett és hogyan szabad őket tartani és szaporítani.



4. Laboratóriumi kísérleti egér



Miért lehetne ez a bioetika jelképe?

### Gondold végig!

Egy fontos új gyógyszer létrehozásához kísérleti egereket is fel kell használni. Te milyen konkrét etikai szabályokat határoznál meg annak érdekében, hogy a gyógyszer is elkészülhessen, és az állatok jogait is mindinkább figyelembe kelljen venni?

A bioetika a biológia erkölcsi kérdéseivel és jogi szabályaival foglalkozó tudományterület.

A bioetika szabályainak alapját az egyetemes emberi jogok alkotják.

Az orvosi etika az orvosok betegekkel szembeni viselkedését határozza meg.

A magzati diagnosztika kapcsán legfontosabb kérdés az emberi élet tiszteletben tartása.

A kísérleti állatokkal kapcsolatos szabályok az állatok kísérletekben történő felhasználását, valamint tartásuk körülményeit szabályozzák.

# 32. Összefoglalás

# EGYEDSZINTŰ VIII. ÖRÖKLŐDÉS



- 33. A genetika évszázada
- 34. Genetikai alapfogalmak
- 35. Egy gén, egy tulajdonság
- 36. Változatok több génre
- 37. Mennyiségi jellegek öröklődése és a környezet hatása



# 33.

## A genetika évszázada

1. Vajon csak a gének alakítják ki a tulajdonságainkat?
2. Mi áll az egyes betegségek genetikai hátterében?
3. Gyakoribb a sötét szín az élővilágban?
4. Hogyan befolyásolják őseink génjei a sajátjainkat?
5. Hogyan kell értelmezni egy családfát?

Az emberi szemszín sokféle lehet, akár csak a hajunk vagy a bőrünk színe. Tulajdonságaink kialakulásáért szüleink ivarsejtekben továbbadott genetikai információi is meghatározók. Ebben a témakörben arról tanulsz, miként alakulnak ki az egyedek tulajdonságai. Visszatekintünk a genetika tudományának kezdeti időszakára, és előre is nézünk a jövőben alkalmazható genetikai alapú eljárásokra. Megvizsgáljuk az egy és a több géntől függő tulajdonságok öröklődését és azt is, milyen törvényszerűségei vannak a nemektől függő öröklődésnek. A humángenetika témakörben a genetikai betegségek különféle típusai és esetei is látókörünkbe kerülnek. Megismerhetjük a genetikai családfák értelmezését éppúgy, mint a gazdaság különböző területein, valamint az egészségügyben alkalmazott genetikai eljárásokat.

A genetika az öröklődés törvényszerűségeit kutató tudomány, amely vizsgálati módszereit tekintve alapvetően három nagy területre osztható. A **klasszikus genetika** azt vizsgálja, miként adódnak át az élőlények tulajdonságai a szülőkről az utódokra, egyik nemzedékről a másikra. A **molekuláris genetika** az öröklődés biokémiai hátterét igyekszik felderíteni. A **populációgenetika** pedig az egy fajhoz tartozó egyedek szaporodási közösségeinek, más szóval populációinak genetikai összetétel-változását és annak okait kutatja.









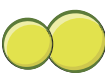





Az öröklődés törvényszerűségeinek leírása **Gregor Mendel** (1. ábra) osztrák tudós nevéhez fűződik. Korszakalkotó örökléstani felfedezéseiért a genetika atyjaként tiszteli az utókor. Ágoston-rendi szerzetesként a cseh országi Brnóban szolgált, egy kolostorban végezte híres kísérleteit. A veteményborsó hét tulajdonságának öröklődését vizsgálta (2. ábra) egymást követő nemzedékekben. Különböző tulajdonságokra (pl. virágszín, maghéj, mag alakja, termés alakja) eltérő növényeket keresztezett egymással, és írta le a jellegek öröklődését. Kísérleteinek eredményeit matematikai-statisztikai módszerekkel elemezte, és arra a következtetésre jutott, hogy az öröklődésnek van alapegysége, amit ő faktornak nevezett el.

A veteményborsó minden egyes tulajdonságra vonatkozóan két-két örökletes faktort tartalmaz, amelyek egy növényben lehetnek egyformák, de különbözőek



1. Mendel, a genetika atyja



Mag		Virág		Hüvely		Szár
alak	szíkvél	szín	helyzet	alak	szín	méret
						
sima	zöld	fehér	szárközépen	bő	zöld	magas
						
ráncos	sárga	lila	szárvégen	szűk	sárga	alacsony

2. A borsónövény Mendel által vizsgált tulajdonságai

is. A faktorok közül minden jellegre nézve csak egy-egy kerül be az ivarsejtekbe. A faktorok szétválása és kombinálódása az utódokban véletlenszerű. Mendel feltételezte, hogy a különböző tulajdonságokat kialakító faktorok egymástól függetlenül öröklődnek. A Mendel által faktoroknak nevezett egységek alapján született meg a **gén** fogalma, amely a molekuláris ismeretek bővülésével mélyebb értelmezést nyert. A gének változatait **allélok**-nak nevezzük. Azt is tudjuk, hogy a meiózis során kerül minden faktorból (génből) egy-egy példány az ivarsejtekbe. Az utódokban az apai és az anyai eredetű gének kombinálódnak.

Az embereknek már Mendel előtt is voltak elképzeléseik az öröklődésről. Megfigyelték, hogy az utódok hasonlítanak a szüleikre, tehát az utódok tulajdonságait valamiképpen a szülők határozzák meg. Már időszámításunk előtt is keletkeztek olyan tárgyak, amelyeken állattenyésztéssel kapcsolatos törvényszerűségek figyelhetők meg.

Az emberek arra is rájöttek, hogy a szülői tulajdonságok az ivarsejtek közvetítésével jutnak át az utódokba. Nagy kérdés volt a 19. században, hogy a tulajdonságok hogyan kerülnek be az ivarsejtekbe? A 19. század elején még úgy gondolták, hogy a szaporodási időszakban minden egyes szervből parányi részecskék (gemmulák) gyűlnek az ivarsejtekbe, és ott összekeverednek. Ezt nevezték pángenezisnek, vagy keveredő öröklődésnek.

### Nézz utána!

Mezopotámiában készítettek olyan agyagcserepet, amelyen állatok tenyésztéséről szóló információk vannak. Nézz utána, hogy milyen leletről van szó, és mi volt ennek a jelentősége!

# Alkoss!

Eddigi ismereteid alapján készíts plakátot arról, hogy a Bibliában milyen genetikával kapcsolatos történetek vannak!



## Muslicák a laborban

Azt, hogy a mendeli faktorok a kromoszómákon találhatóak, **Thomas Hunt Morgan** (3. ábra) fedezte fel 1910-ben. Morgan a New York-i Columbia Egyetem állattani tanszékén dolgozott. Ecetmuslicákat (*Drosophila melanogaster*) tenyésztett, próbálta felderíteni a tulajdonságokat meghatározó gének anyagi összetételét. Az ecetmuslica szerencsés választásnak bizonyult a genetikai kísérletekhez. Egyetlen muslicapár a párzást követően nagyszámú, akár száz utódot is létrehoz, a bábból kikelő rovarok alig tíz nap múlva már ivarérettek. Az ecetmuslica tulajdonságai is változatosak (a szemszín, a testszín, a szem alakja, a szárny alakja stb.), és mikroszkópos vizsgálattal könnyen azonosíthatók. Így a keresztezési kísérletekben öröklődésük könnyen nyomon követhető. Az ecetmuslica szöveti sejtjeiben négy pár jól megkülönböztethető kromoszóma található, köztük egy pár ivari kromoszóma (nőstények XX, hímek XY). A tudományos sikert az a fehér szemű (4. és 5. ábra) hím ecetmuslica hozta, amelyet Morgan egyik nap felfedezett tenyészetében.



3. Thomas Hunt Morgan  
(1866–1945)



4. Fehér szemű ecetmuslica



5. Vörös szemű ecetmuslica

### Gondkoddj!

1. A fenti szöveg alapján foglald össze azokat az előnyöket, amelyekkel Morgan kísérleti állatai rendelkeznek!
2. Az ecetmuslicákon kívül milyen állatokat használnak gyakran genetikai kísérletekben?

Kíváncsi volt, hogyan öröklődik tovább ez a szokatlan tulajdonság a következő nemzedékekre. Kísérletei arra a meglepő eredményre vezettek, hogy a szemszín kialakító gén az X ivari kromoszómán található. Ez azért is volt érdekes, mert Morgan korábban elvetette azt a lehetőséget, hogy az öröklődésért felelős gének a kromoszómákon lennének. Eredményei alapján Morgan megváltoztatta korábbi álláspontját, és megfogalmazta az öröklődés kromoszómaelméletét. Kimondta, hogy **a gének a kromoszómákon helyezkednek el**. Azt is megállapította, hogy egy kromoszómán nagyon sok gén található, és azok együttesen öröklődnek tovább, vagyis **kapcsolódási csoportot** alkotnak. Ez azt jelenti, hogy az egy kromoszómán található gének nem egymástól függetlenül öröklődnek.

A **genomika** tudománya az 1980-as években jelent meg. Ez a tudomány vállalkozik arra, hogy a genom leírását, feltérképezését elvégezze. A **humán genom projekt** (HGP) keretében mára már a teljes emberi genomot feltérképezték. A genom teljes ismerete teszi lehe-

## Alkoss!

A megismert információk és további kutatásaid alapján készíts egyszerűsített magyarázó ábrát a DNS szekvenálásának egyik módszeréről!

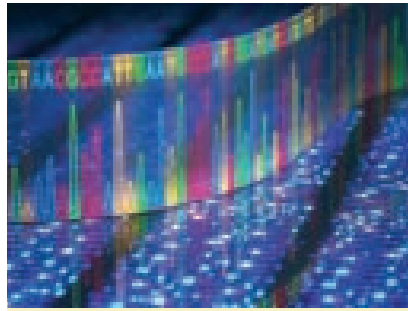
**Gondkoddj!**

1. Mire használnád egy faj teljes genomjáról szerzett információkat az alábbi területeken:
  - gyógyászat;
  - gyógyszeripar;
  - élelmiszeripar;
  - evolúciókutatás?
2. Milyen más területek jutnak eszedbe, ahol a genom ismerete fontos lehet?

tővé a személyre szabott gyógyászat fejlődését is. Ez egyrészt a hagyományos gyógyszerek egyénekre összeállított kombinációit jelenti, másrészt új, egyénspecifikus gyógymódok bevezetését foglalja magába.

Az egyén genomjának ismerete alapján valószínűsíteni lehet egyes betegségek kialakulását, ami lehetővé teszi a kockázatokat csökkentő, megfelelő életmód kialakítását és a célzott, egyénre szabott orvosi vizsgálatok elvégzését is.

A genom bázisszámjének rövid idő alatt (óra/nap) történő meghatározására a nanotechnológián alapuló automata **szekvenálóberendezéseket** (pl. az újgenerációs szekvenálás módszerénél) (6. ábra) használnak, de a különböző méretű (az alkotó bázisok száma miatt eltérő hosszúságú) DNS-darabok elválasztása történhet **gélelektroforézissel** is (7. ábra). Ez utóbbi módszernél a negatív töltéssel rendelkező, különböző méretű (bázisszámú) DNS-darabok az elektromos erőterben a pozitív pólus felé vándorolnak, de pont a méretük miatt eltérő sebességgel. A kisebb méretűek előbbre jutnak, mint a nagyobbak. Ezzel a módszerrel akár egyetlen bázisszámú DNS-darabokat is el lehet választani egymástól.



6. DNS-szekvencia



7. DNS gélelektroforézises elemzése

**Keress rá!**

Keress animációkat az interneten a DNS-szekvenálás folyamatáról!

A 19. században Mendel nevéhez köthető klasszikus genetikával megindult a **genetika tudományának fejlődése**.

A modern kori genetika a 20. század elejétől indult rohamos fejlődésnek, amit Morgan nevéhez köthetünk.

A genetikai kísérletekben olyan fajok biztosították az információkat, melyek könnyen és gyorsan hoznak létre új generációkat, és a vizsgált fenotípusok könnyen érzékelhetők, összehasonlíthatók.

Egy egyedben egy génnek (általában) két változata lehet, a génváltozatokat **alléleknek** nevezzük.

# 33. Összefoglalás

# 34.

## Genetikai alapfogalmak

1. Miért mondható, hogy a fenotot meghatározó tulajdonságok összessége sokkal komplexebb a genomnál?
2. A géneken kívül mi határozza meg még a tulajdonságok kialakulását?
3. Hányféle változata lehet egy génnek?

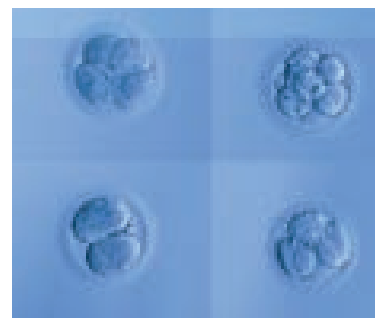
A **genom** a szervezet teljes genetikai anyaga, mindazon biológiai információ, amely az egyed jellegzetességeit DNS-ben (vagy néhány vírus esetében RNS-ben kódolja). A genom kifejezést az 1920-as években hozták létre, magában foglalja a kromoszómát, valamint a DNS nem kódoló részeit is. A genom funkcionálisan megjelenő formája a **fenom**, amely a fenotípusok összességét jelenti. A mérhető vagy érzékelhető jellemzők leírásával adható meg.

*Sokak szerint ma a fenotípus-elemzésben rejlő lehetőségek feltérképezése jelenti a legnagyobb kihívást a biológiában: az egyént legpontosabban jellemző fenotípusos jegyek összességének meghatározása – a fenomika – éppolyan mértékben viheti előre az élettudományokat, mint ahogy a teljes humán genom megismerése paradigmaváltást hozott az orvostudományban az ezredfordulón. Minél több információt gyűjtünk az egyénre jellemző, megfigyelhető tulajdonságokról, úgy az egész szervezet, mint annak legapróbb építőkövei, az egyes sejtek szintjén, annál jobban megérthetjük, miért és hogyan idéz elő elváltozásokat a genetikai és a környezeti tényezők egymásra hatása. Ennek alapján pedig képessé válhatunk arra, hogy már a legapróbb sejszintű változásokból előre jelezzünk bizonyos kórfolyamatokat, és akár már a tünetek megjelenése előtt beavatkozzunk a nemkívánatos folyamatokba.*

Forrás: mta.hu

### Genotípus – fenotípus

Az ivarosán szaporodó élőlények teste egyetlen testi sejtől, a megtermékenyítés során kialakuló zigótából indul fejlődésnek (1. ábra). Az **ivarsejtek haploidok**, kromoszómakészletük egyszeres ( $n$ ). Az ivarsejtek összeolvadásával létrejövő zigótában megtalálhatók a petesejtől származó anyai és a hímivarsejtből származó apai eredetű kromoszómák. A **zigóta** és a belőle kialakuló **szöveti sejtek** ezért **diploidok**, kromoszómakészletük kétszeres ( $2n$ ). A zigóta kromoszómái tartalmazzák a szervezet felépítésére vonatkozó genetikai információt. Ez a génállomány jelenti az egyed **genotípusát**, amelynek összehangolt működése alakítja ki közvetve az élőlény megjelenési formáját, mérhető, megfigyelhető alaki és működési sajátosságait, más szóval **fenotípusát** (pl. szem- és hajszín, vércsoportok).



1. Barázdálódó emberi zigóta

## Homozigóta – heterozigóta

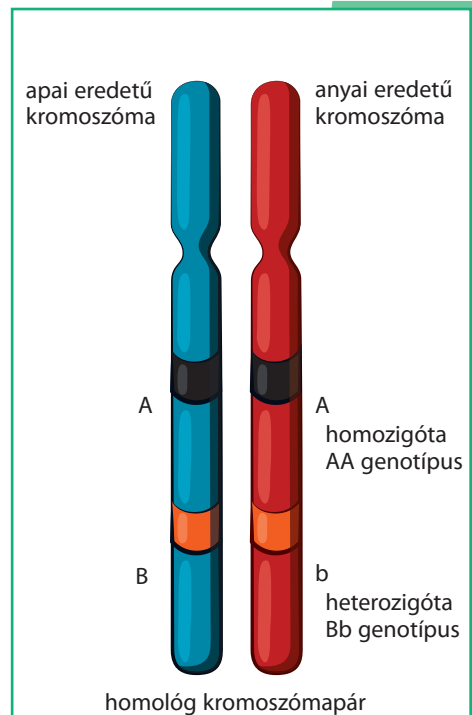
A diploid szervezetek szöveti sejtjeiben az egyes gének általában két példányban vannak jelen úgy, hogy egy-egy példány a homológ kromoszómák azonos helyén található. Ugyanannak a génnek a változatait **alléloknak** nevezzük. A **homozigóta** egyedek sejtjei a vizsgált génre nézve **azonos allélok**at tartalmaznak. A **heterozigóta** egyedek sejtjeiben a vizsgált génre nézve két **különböző allél** található. A genetikai leírásokban a különböző géneket más-más betűvel jelöljük (pl. A, B, C, D), egy gén alléljait pedig ugyanannak a betűnek valamilyen eltérő módon megkülönböztetett változataival (pl.  $A_1 - A_2$  vagy  $A - a$ ) (2. ábra).

### Gondkoddj!

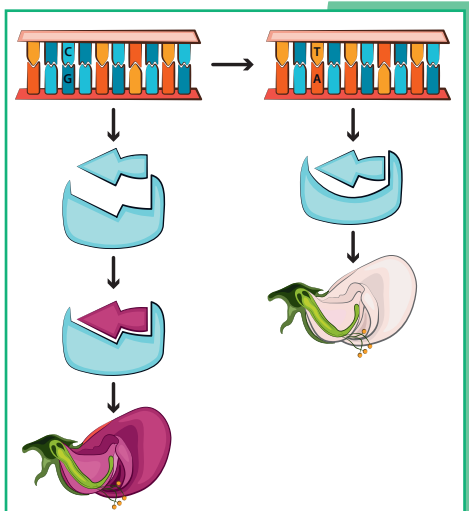
Add meg annak a diploid sejtnek a genotípusát, amely A génre nézve heterozigóta, B génre nézve homozigóta és C génre nézve heterozigóta!

## Az öröklődés változatossága

A legegyszerűbb esetekben, ilyen például a veteményborsó virágszíne, a vizsgált tulajdonság kialakításában **egyetlen gén alléljai** vesznek részt. A veteményborsó virágszínét meghatározó génnek például két allélváltozata van. Az A allél által kódolt enzim felületén a szintelen előanyag megkötődik, és vörös festékanyaggá alakul. Az a allél által kódolt enzim a génben bekövetkezett mutáció miatt nem működőképes. A szintelen előanyag nem kötődik meg a felületén, ezért nem is alakul át (3. ábra). Számos esetben **több gén együttműködése** alakítja ki a vizsgált jelleget (4. ábra). Ilyenkor fel



2. Allélpárok egy diploid sejt homológ kromoszómáin. Az A génre nézve az egyed sejtjei homozigóták, mivel homológ kromoszómáin egyforma allélok (A és A) vannak. A B génre nézve az egyed heterozigóta, mert a génnek különböző alléljait (B és b) tartalmazza.



3. A veteményborsó virágszíne vörös, ha a virágszín kialakító gén A allélját tartalmazza. Fehér a virág akkor, ha sejtjeiben csak az a allél található meg.

### Számolj!

Jellemezd annak az egyednek a genotípusát, amelyik ABCd genotípusú hímivarsejt és Abcd genotípusú petesejt egyesülésével jött létre!

1. Hányféle különböző genotípusú ivarsejt jöhet létre erre a négy génre nézve az egyed ivarszerveiben a meiózis során?
2. Milyen számszerű összefüggés van az allélek kombinálódása és a vizsgált gének száma között?



4. A dobermann barna vagy fekete szőrzetszínét két gén alakítja ki. Az A gén által kódolt enzim (E1) szintelen előanyagból barna festékanyagot hoz létre, amit a B gén által kódolt enzim (E2) fekete pigmentté alakít.

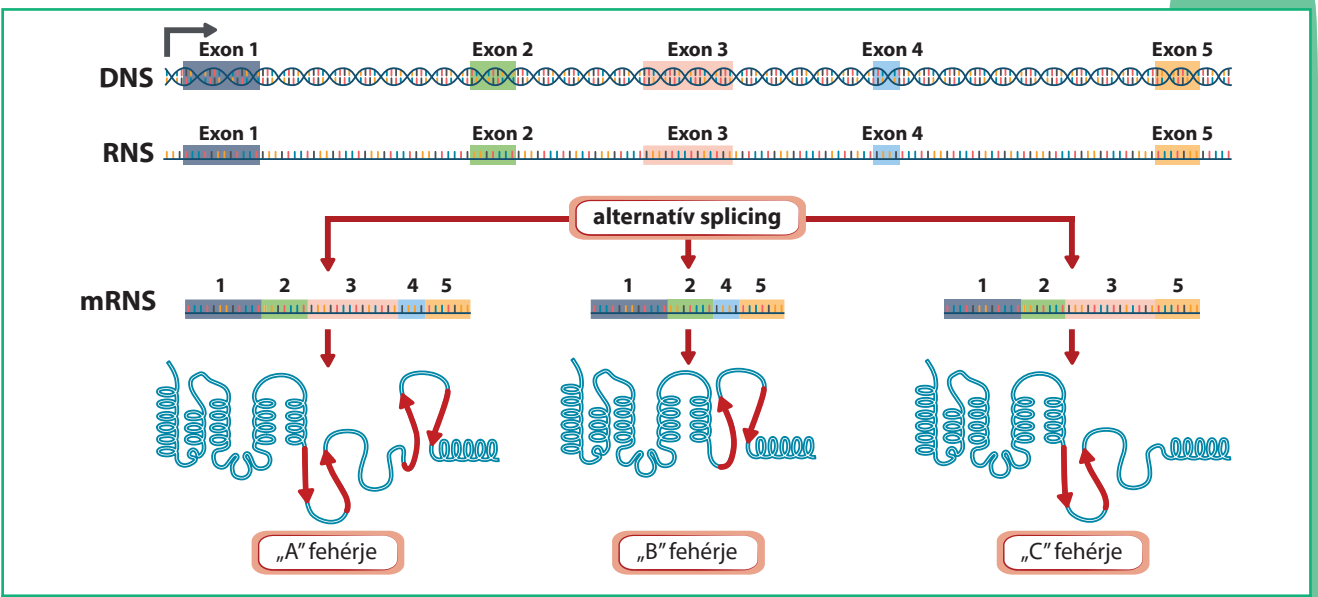
kell deríteni, hogy a különböző gének és azok alléljai hogyan befolyásolják egymás hatását. Gyakran egyetlen gén több tulajdonság kialakulására is hat.

A fenotípus kialakulását nemcsak a genotípus határozza meg, a DNS információ tartalmának kifejeződésére a **környezetnek** is hatása van (5. ábra). A testméreteket (tömeg, magasság) például a genotípuson túl a táplálék mennyisége és minősége, valamint a testmozgás is befolyásolja.

Egy rendkívül érdekes mechanizmus létezik az élőlényekben, amely lehetővé teszi, hogy viszonylag **kevés genetikai információval** rendkívül **sokféle géntermék** jöhessen létre. Az emberi gének több mint 90%-a nemcsak egyféle génterméket képes létrehozni: pl. az ember immunfehérjéiből (immunglobulinok)  $10^{11}$ -félét képes előállítani **néhány száz gén**. A magyarázat az, hogy a gének **darabokban** (exonok) vannak jelen a genomban, és átrendeződhetnek a **kész fehérje elkészülte előtt** (1. ábra).



5. A környezet hatása. A sziámi macskák bundája születéskor egyszínű, füleik, mancsaik, orruk és farkuk sötét mintázata csak később alakul ki. Sejtjeikben a sötét festék képződéséért felelős enzim hőmérsékletre érzékeny, kb. 32 °C-on működőképes. Ezért a macskáknak csak az átlagosnál (38 °C) alacsonyabb hőmérsékletű, könnyen lehűlő, kiálló testrészeiken képződik festék.



6. A DNS-ről készült éretlen mRNS másolatból még többféle érett mRNS is kialakulhat, ezáltal megsokszorozható a DNS információ tartalma

Az élő szervezetek genetikai információinak összessége a genom, ami a gének genotípusában értelmezhető. A genotípust allélpárokkal jellemezhetjük, melyekben azonos (homozigóta) vagy eltérő (heterozigóta) allélek lehetnek. Ez a háttér alakítja ki közvetve az élőlények sajátos mérhető, észlelhető, összehasonlítható tulajdonságait, a fenotípust.

A tulajdonságok kialakításában több gén is részt vehet. A DNS információján túl a fenotípust a környezet és az életmód is befolyásolja. A genomika tudománya (többek között a szekvenálás módszerével) lehetővé teszi a gének és a teljes genom pontos leírását.

# 34. Összefoglalás





## 35. Egy gén, egy tulajdonság

1. Mik a mendeli genetika korlátai?
2. Lehet-e két Rh-pozitív vércsoportú szülőnek Rh-negatív gyermeke?
3. Lehet-e 0-s vércsoportú gyermeke egy A és egy B vércsoportú szülőnek?
4. Miért nagyobb az öröklődő vérzékenység gyakorisága a férfiak, mint a nők körében?

Az öröklődés alapvető törvényszerűségeinek megismerését azokkal a tulajdonságokkal kezdjük, amelyek kialakításában **egyetlen gén** alléljai vesznek részt. Ezekben az esetekben a fenotípust az határozza meg, hogy az egyed sejtjeiben az adott génnek mely **alléljai** vannak jelen, és azok milyen kapcsolatban, kölcsönhatásban vannak egymással.

### Keresztezési kísérletek

A genetikai vizsgálatokban a kutatók a kérdéses tulajdonság öröklődésének tisztázására keresztezéseket végeznek. Az adott jellegre nézve eltérő tulajdonságú egyedeket szaporítanak egymással, és megfigyelik a jelleg alakulását a következő nemzedékekben. Gregor Mendel kísérleteiben a vizsgált jellegre nézve homozigóta egyedeket használt. Két eltérő származású, a gén két különböző alléljára homozigóta csoport (jelölése: AA és aa) keresztezéséből következtetett a kiválasztott jelleg öröklődésére. A keresztezések kiinduló egyedeit nevezzük **szülői nemzedéknek** (jelölése: P), leszármazottaik az **első utódnemzedék** vagy első hibrid nemzedék (jelölése:  $F_1$ ). Az  $F_1$  nemzedék egyedek egymás közti keresztezéséből származik a **második utódnemzedék** vagy második hibrid nemzedék (jelölése:  $F_2$ ).

Kísérletei alapján Mendel az öröklődés általános törvényszerűségeire vonatkozó következtetéseket vont le. Ezeket a megállapításokat nevezte el az utókor Mendel-törvényeknek.

- Az **uniformitás törvénye** (Mendel I. törvénye) kimondja, hogy eltérő jellegű homozigóta szülők keresztezéséből származó első hibrid nemzedék ( $F_1$ ) valamennyi egyede egyforma.
- A **hasadás (szegregáció) törvénye** (Mendel II. törvénye) szerint az  $F_1$  egyedeket egymás közt keresztezve az  $F_2$  nemzedékben ismét megjelennek a szülői tulajdonságok.
- A **független kombinálódás törvényét** (Mendel III. törvénye) kettő vagy több gén által meghatározott kettő vagy több tulajdonság esetén értelmezzük, ha a gének függetlenek egymástól, azaz nem ugyanazon a kromoszómán helyezkednek el. Ebben az esetben, ha homozigóta szülők keresztezéséből indulunk ki,  $F_2$ -ben a tulajdonságok mindenféle kombinációban megjelenhetnek.



Ma már tudjuk, hogy a Mendel-törvények csak korlátozottan, bizonyos megkötésekkel érvényesek, pl. a géneknek a sejtmagi kromoszómákon kell elhelyezkedniük, és nem ugyanazon a kromoszómán. Az uniformitás törvénye korlátozottan érvényes az ivari kromoszómához kötött jellegek öröklésében is.

### Gondold végig!

1. Milyen módszerekkel jósolhatod meg egy focimeccs végeredményét? A csapatok mely jellemzőire koncentrálsz, amikor ilyen jóslásba bocsátkozol? Ezek a jellemzők egyértelműen megadják a mérkőzés végső kimenetelét?
2. Dobj föl egyszerre két különböző érmét! Hányszor mutatnak a leesett érmék „fej” és „írás” felületet? Jegyezd föl a kapott eredményeket! Mire következtetsz ezekből? Milyen arány várható, ha az érmefeldobást egyre többször megismétled?

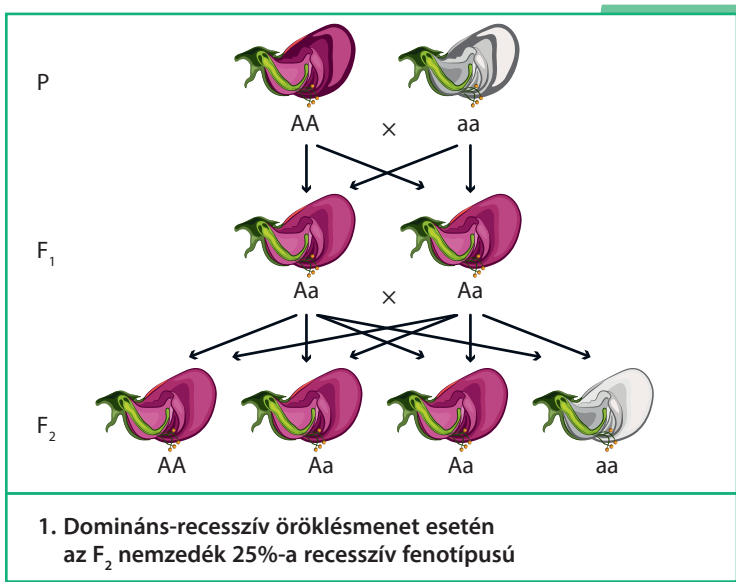
## Domináns-recesszív öröklésmenet

Keresztezési kísérleteiben Mendel többek között a veteményborsó virágszínének öröklését vizsgálta.

- I. Homozigóta bíbor virágú (AA), illetve homozigóta fehér virágú (aa) egyedeket keresztezett egymással. Az F<sub>1</sub> nemzedék valamennyi egyede bíbor virágot hozott.
- II. Az F<sub>1</sub> nemzedék egyedei között végrehajtott keresztezés az F<sub>2</sub> nemzedékben körülbelül háromszor annyi bíbor virágú utódot eredményezett, mint fehérét (1. ábra).

Hogyan magyarázható ez az eredmény?

A szülői nemzedék (P) tagjai az adott jellegre nézve homozigóták (AA, illetve aa), ezért haploid ivarsejtjeikbe csak egyféle allélt (A, illetve a) örökíthetnek. Így az F<sub>1</sub> nemzedék valamennyi egyede heterozigóta (Aa) lesz. Mivel virágaik egyöntetűen bíborszínűek, megállapítható, hogy a bíbor virágszín kialakító allél (A) a heterozigótákban „elnyomja” a másik allél (a) hatását. A heterozigóta egyedek fenotípusát az uralkodó, más szóval a **domináns** allél határozza meg. A domináns allél jelenlétében a lappangó, **recesszív** allél hatása nem jut érvényre, rejtve marad. Az F<sub>1</sub> nemzedék heterozigóta egyedei ivarsejtjeikbe a meiózis révén 50-50%-ban örökítik a domináns, illetve a recesszív allélt. Ezért az F<sub>1</sub> egyedek egymás közti keresztezése 3 : 1 arányban bíbor és fehér virágú utódokat eredményez. **Domináns-recesszív öröklés** esetén tehát a homozigóta domináns és a heterozigóta egyedek fenotípusa megegyezik, így a három lehetséges genotípushoz (példánkban AA, Aa, aa) csak kétféle fenotípus (példánkban bíbor, illetve fehér virágszín) tartozik. A domináns allélt egyezményesen nagybetűvel, a recesszívet kisbetűvel jelölik.



### Gondold végig!

Melyik Mendel-törvény érvényesül az I. és a II. esetben?

(Megjegyzés: A tulajdonságokra mondjuk, hogy domináns vagy recesszív. Domináns, ha homozigóta és heterozigóta állapotban is nyilvánul, és recesszív, ha csak homozigóta állapotban nyilvánul meg. Az utóbbi években azonban elterjedt a domináns allél – recesszív allél kifejezés is a szövegben leírt módon.)

Az ún. Punnett-tábla áttekinthető formában mutatja az  $F_1$  egyedek keresztezésének várható eredményét. A táblázat első sorában az  $F_1$  nemzedék egyedei által termelt hímivarsejtek, első oszlopában a petesejtek lehetséges genotípusát tüntettük fel. A táblázat az ivarsejtek egyesülésével kialakuló diploid sejtek lehetséges genotípusát és az egyes genotípusok arányát szemlélteti (2. ábra).

A vércsoporttípusok közül az ún. **Rh-vércsoport** is domináns-recesszív öröklésmentet mutat. Az emberi népesség 15%-a Rh- vércsoportú, ez a tulajdonság recesszív. Az Rh+ vércsoport domináns homozigóta és heterozigóta formában fordulhat elő. (Az Rh elnevezés onnan ered, hogy ezt a vércsoportot a *Macacus rhesus* majom vérében mutatták ki először.)

Az emberi betegségek jelentős része veleszületett és genetikailag meghatározott. Vannak dominánsan öröklődők és recesszívek is.

Az albinizmus (latin albus: „fehér” szóból) a színanyag képződésének veleszületett zavara, mely csökkent vagy hiányzó pigmentációban nyilvánul meg. A rendellenesség recesszíven öröklődik, testi kromoszómán. A melanin nevű festékanyag hiánya előfordulhat a bőrben, a szőrzetben és a szemben egyszerre (albinó) vagy külön-külön. Az albinók bőre tejfehér, hajuk fehér, szemük pedig pirosas. Az albinizmus jelensége az emlősökön (beleértve az embert is) kívül előfordul halak, madarak, hüllők és kételtűek egyedeiben is (3. ábra).

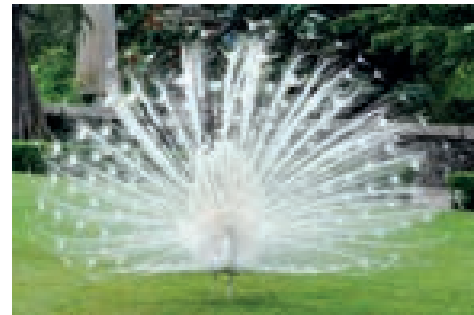
A fenilketonuria egy recesszíven öröklődő genetikai anyagcserezavar. A létfontosságú fenilalanin aminosav lebontásáért felelős enzim hiányzik a szervezetből. A lebontás elmaradása visszafordíthatatlan idegrendszeri károsodásokhoz vezet. A betegség súlyossága diétával csökkenthető.

Bár a testi kromoszómán öröklődő betegségek nagy része recesszíven öröklődik, néhány rendellenesség domináns öröklésmentet mutat. Ez a fajta öröklődés érvényesül az achondropasia esetén, ami a porcképződés zavarával jár együtt, amely a magzati korban kezdődik, és törpenövést eredményez.

		Hímivarsejtek	
		A	a
Petesejtek	A	AA	Aa
	a	Aa	aa

2. A Punnett-tábla szemléletesen mutatja az ivarsejtek lehetséges kombinációit

Genotípus	Fenotípus
DD, Dd	Rh+
dd	Rh-



3. Albinó páva

### Számolj!

1. A cisztás fibrózis (CF) a külső elválasztású mirigyek kóros váladéktermelésével járó, örökletes betegség, mely az érintett szervek (tüdő, orr- és melléküreg, hasnyálmirigy, máj, emésztőrendszer, izzadságmirigyek és nemi szervek) jellegzetes másodlagos károsodásához vezet. Főként súlyos légúti és emésztőszervi szövődeményeket okoz. Ez a genetikailag öröklődő betegség a domináns-recesszív öröklésmentet törvényszerűségeit követi. A heterozigóta egyének (Ff) hordozói ennek a betegségnek. Ők egészségesek. A homozigóta recesszív egyének viszont (ff) betegek. Punnett-tábla segítségével elemezd két egészséges hordozó szülő várható gyermekeit a betegség öröklődési valószínűségére vonatkozóan!
2. Mendel egyik keresztezési kísérletében zöld magvú és sárga magvú, a vizsgált jellegre homozigóta borsónövényeket keresztezett egymással. Az  $F_1$  nemzedék valamennyi egyede sárga magvú lett. Az  $F_2$  nemzedék terméseiben 2001 sárga és 705 zöld magvú borsószemét számolt. Melyik öröklésment jellemző a vizsgált jelleg esetében? Válaszodat a kísérlet eredményeivel indokold! Írd fel a keresztezésekben szereplő egyedek (szülők és utódok) genotípusát!

## Tesztelő keresztezés

Hogyan lehet megállapítani, hogy az  $F_2$  nemzedék bíbor virágú borsói közül melyik hetero- és melyik homozigóta? A megoldás viszonylag egyszerű: az ismeretlen genotípusú egyedeket homozigóta recesszív egyedekkel kell keresztezni. Ez az eljárás a **tesztelő keresztezés** (4. ábra).

A tesztelő keresztezés **homozigóta recesszív egyedekkel** történő keresztezést jelent. Ha a keresztezésből csak bíbor virágú utódok származnak, akkor az ismeretlen genotípusú egyed nagy valószínűséggel homozigóta domináns (AA) volt. Ha a tesztelő keresztezés megközelítőleg 50-50% bíbor, illetve fehér virágú utódot eredményez, akkor az ismeretlen genotípusú egyed heterozigóta (Aa) lehetett.

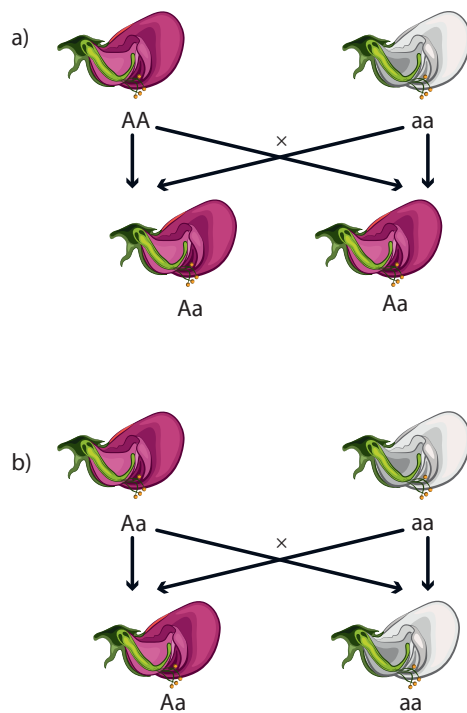
### Készíts tervet!

1. Egy paradicsomfajta termésének színe piros és sárga lehet. A piros színt kialakító allél domináns a sárga színt meghatározó alléllal szemben.

Tervezz keresztezési kísérletet annak eldöntésére, hogy egy piros termést hozó paradicsom homozigóta vagy heterozigóta-e a termésszínt kialakító génre!

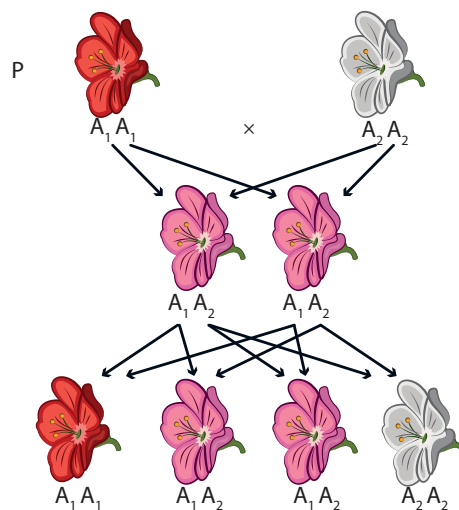
## Intermedier öröklésmenet

Egy közismert kerti dísznövény, a csodatólcsér virágszínét egyetlen gén két allélja ( $A_1$  és  $A_2$ ) alakítja ki. A piros virágú egyedek homozigóták ( $A_1A_1$ ), egymás közti keresztezésükből csupa piros virágú utód származik. A fehér virágúak ugyancsak homozigóták ( $A_2A_2$ ), keresztezésük csak fehér virágú utódot ad. Egy genetikai vizsgálatban piros és fehér virágú egyedeket kereszteztek egymással. Az első utódnemzedék valamennyi egyedének virágai rózsaszínűek lettek. A szülői nemzedék (P) homozigóta piros ( $A_1A_1$ ) és homozigóta fehér ( $A_2A_2$ ) virágú egyedei a virágszínre nézve csak egyféle allélt örökíthetnek. A piros virágú egyedek haploid ivarsejtjeibe csak  $A_1$ , a fehér virágúakéba csak  $A_2$  allél kerülhet. Így az  $F_1$  nemzedék valamennyi egyede heterozigóta ( $A_1A_2$ ) lesz. A heterozigóták virágszíne átmenetet mutat a szülői fenotípusok között. A két allél gyengíti egymás hatását, így a heterozigóták ún. köztes, **intermedier** fenotípusúak. Az  $F_1$  egyedek haploid ivarsejtjeibe 50-50% valószínűséggel az  $A_1$  vagy az  $A_2$  allél kerülhet. Az ivarsejtek egyesülésével az  $F_2$  utódnemzedékben a piros, a rózsaszín és a fehér virágú utódok aránya rendre 1 : 2 : 1 (5. ábra). A fentiekben vázolt **intermedier** (köztes) **öröklésmenet a nem teljes** (inkomplett) **dominancia** példája, mivel a piros színt kialakító allél részlegesen mégis hatással van a heterozigóta egyedek fenotípusára. Ebben az esetben a három különböző genotípus három eltérő fenotípust alakít ki, így az egyedek fenotípusából egyértelműen következtetni lehet a genotípusra.



### 4. Tesztelő keresztezés.

- a) Ha a bíbor virágú egyed homozigóta (AA), akkor a tesztelő keresztezésből származó utódok mindegyike bíbor virágú.
- b) Heterozigóta (Aa) egyed esetén az utódok várhatóan 50-50%-ban bíbor és fehér virágúak.



5. Intermedier öröklésmenet. A könnyebb áttekinthetőség kedvéért az  $F_2$  nemzedékben az ivarsejtek és az összeolvadásukkal kialakuló diploid sejtek genotípusát táblázatban is feltüntettük. A táblázatból a lehetséges geno- és a fenotípusok mellett kiolvasható azok aránya is.

		Hímivarsejtek	
		$A_1$	$A_2$
Petesejtek	$A_1$	$A_1A_1$	$A_1A_2$
	$A_2$	$A_1A_2$	$A_2A_2$

## Kodomináns öröklésment

### Gondolkodj!

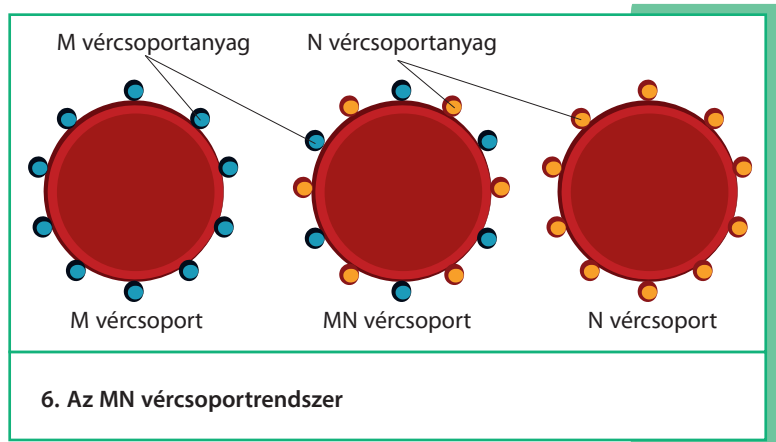
1. Tegyük fel, hogy az énekhang magasságát egy allélpár alakítja ki. Családi kórus tervezéséhez az alábbi információk állnak rendelkezésre.

A férfiak basszus és a nők alt hangja a VV allélpár által meghatározott. A Vv allélpár a férfiak bariton és a nők mezzoszoprán hangját, míg a homozigóta és recesszív vv allélpár a férfi tenor, illetve a női szoprán hangot eredményezi. Egy bariton hangú férfi álma, hogy családja szextettben énekelhessen együtt (azaz hat különböző hangmagassággal). Milyen allélpárral kell rendelkeznie a feleségének ahhoz, hogy ez az álom statisztikailag megvalósulhasson?

2. A kertész csak piros virágokat szeretne a kertben nevelni. Rózsaszín virágú csodatölcsérének virágját egy fehér virágú egyed termékenyítette meg. Milyen beavatkozással kaphat a kertész piros színű virágokat termő magvakat?

Az emberi népségek genetikai állományának vizsgálatához fontos információkkal szolgálhat a vércsoportok meghatározása. Az ún. **MN vércsoportrendszerben** az emberek genotípusa háromféle lehet. Az  $L^M L^M$  homozigótákban M jelű vércsoportanyag, az  $L^N L^N$  homozigótákban pedig N jelű vércsoportanyag található a vörösvértestek sejtthártyájában. Az  $L^M L^N$  heterozigóták vörösvértesteiben pedig mind az M, mind az N jelű anyag kimutatható (6. ábra). A heterozigóta egyénekben tehát a gén mindkét alléljának hatása teljes egészében érvényre jut a fenotípusban. Ez a jelenség a **kodominancia** (egyenlő megnyilvánulási erély). Az MN vércsoportnak nincs jelentősége a vérátömlesztésben. Az emberi népségek genetikai vizsgálatára alkalmas.

A vérátömlesztés szempontjából jelentős az **ABO vércsoportrendszer**. A különböző vércsoportokat (A, B, AB, 0) kialakító génnek a humán populációban alapvetően három allélja van jelen. Egy egyedben a háromból kettő vehet részt a vércsoport kialakításában. Az  $I^A$  és  $I^B$  egyaránt domináns allél az  $i$  alléllal szemben. Mivel a diploid szervezetben a homológ kromoszómák azonos helyein csak két allél lehet, így ezek viszonya határozza meg az utódokban kialakuló vércsoportot.



Genotípus	Fenotípus
$I^A I^A$ és $I^A i$	A
$I^B I^B$ és $I^B i$	B
$I^A I^B$	AB
$ii$	0

## Halált okozó (letális) génkombinációk

A halva születés jelensége a letális génkombináció eredménye. A homozigóta rendellenességre visszavezethető halál a növény- és állatvilágban is gyakori. Az egyik ilyen klasszikus példa az egerek szőrzetszíne. A sárga szőrzetű házi egér heterozigóta a szőrzetszínre nézve. Amikor két sárga egyed keresztezésének utódait elemezzük, akkor a mendeli öröklődés 3 : 1 arányától eltérő 2 : 1 eloszlást kapunk, azaz 2 sárga, 1 aguti (szürkés) szőrzetszínű utódot. A homozigóta sárga bundájú egérutód a vemhesség időszakában elhal. Ebben a példában a sárga szőrzetszín kialakító génnel (S) rendelkező egyed csak és kizárólag heterozigóta formában életképes, homozigótaként elhal. A recesszív homozigóták (ss) mind agutiszínűek.



7. Különbéféle szőrzetszínű, genetikailag módosított egerek egy laboratóriumban

### Gondold végig, és számolj!

1. Kovácsné és Szabóné ugyanazon a napon és ugyanabban a kórházban szültek, mindketten leánygyermeket. Kovácsné leánya a Márti, Szabóné gyermeke a Kati nevet kapta. A hazatérés után Kovácsné gyanakodott, hogy összecserélhették a babákat. Ennek kiderítésére vércsoportvizsgálatot kért a kórháztól. Kovácsné vércsoportja A volt, míg férjéé, Kovács úré B. A Szabó szülők vércsoportja A volt. Márti vércsoportja 0, míg Katié B.

- Valóban történhetett babacsere?
- Válaszodat a megismert szakkifejezések alkalmazásával fogalmazd meg, és használj Punnett-táblát is magyarázatodhoz!

2. Az alábbi táblázat öt esete alapján dönts el, és magyarázattal igazold, melyik vér szerinti családi kapcsolat lehetséges genetikailag, és melyik nem (mutációtól eltekintünk)!

	GYERMEK VÉRCSOPORTJA	ANYA VÉRCSOPORTJA	APA VÉRCSOPORTJA
a	0, Rh <sup>+</sup>	A, Rh <sup>+</sup>	B, Rh <sup>-</sup>
b	0, Rh <sup>-</sup>	A, Rh <sup>+</sup>	B, Rh <sup>-</sup>
c	A, Rh <sup>+</sup>	0, Rh <sup>+</sup>	A, Rh <sup>-</sup>
d	AB, Rh <sup>-</sup>	0, Rh <sup>+</sup>	A, Rh <sup>-</sup>
e	B, Rh <sup>-</sup>	0, Rh <sup>-</sup>	B, Rh <sup>+</sup>

## Nemhez kötött öröklődés

A tulajdonságok közül eddig csak olyanokkal foglalkoztunk, amelyek a vizsgált egyedek nemétől, ivarától függetlenül a **testi kromoszómák** (autoszóma) génállománya alapján öröklődnek. Számos olyan jelleget ismerünk azonban, amelynek öröklődése valamilyen módon kötődik az egyedek neméhez. Ha olyan jellegeket vizsgálunk, amelyek génjei **ivari kromoszómán** találhatóak, akkor az öröklődés törvényszerűségei az eddigiektől eltérnek. Ez a különbség az X- és az Y-kromoszómák eltérő alakjából, méretéből származik. Az elsődleges nemet kialakító X- és Y-kromoszómáknak megfelelően a **férfiakban** az ivari kromoszómán levő génekből csak **egy-egy allél** van jelen. A **nők** esetében az apai eredetű X- és az anyai eredetű X-kromoszómák **egy gén kétféle allélját** is hordozhatják (de sejtenként csak ezek egyike aktív), ami lehetőséget ad a **génhibák kompenzálására**. Az ivari kromoszómához kötődő recesszív jellegek ennek eredményeként férfiakban sokkal gyakrabban alakulnak ki.



Az X ivari kromoszómához kötötten, recesszíven öröklődik a **vörös-zöld szín-tévesztés**. A szintévesztéshez hasonlóan öröklődik a véralvadási zavarokkal járó **vérzékenység** (hemofília) is.

Az Y-kromoszómához kötődő jellegek természetesen csak férfiakban jelennek meg, hiszen nők a 23. kromoszómapáron ezzel nem rendelkeznek. Az Y-kromoszómán helyezkednek el a hímivarsejtek éréséért felelős gének, valamint az SRY gén is, amelynek fehérjeterméke olyan génekhez kapcsolódik, amelyek aktivitásának bekapcsolásával a herék kialakulását idézik elő.

- **Miért pont az Y nevet kapta a hím jellegeket kialakító kromoszóma?**
- **X-kromoszóma nélkül nem lehet férfi a férfi. Vajon miért nem?**
- **Az Y-kromoszóma kb. 300 millió éves. Honnan tudható ez?**

### Az ivarmeghatározás

Az eukarióta élőlényekben az ivar a génállományban meghatározott, öröklődő sajátosság. A növények ivarát általában egy vagy két gén alakítja ki. A legtöbb állat és néhány növény diploid sejtjeiben két ivari kromoszóma van a többi, úgynevezett testi kromoszóma mellett. Az ivari kromoszómák felelősek – több más tulajdonság mellett – az ivari jellegek kialakulásáért. Az emlősökben és sok más állatcsoportban a hím egyedek diploid sejtjei két különböző (X és Y), a nőivarúaké két hasonló (XX) ivari kromoszómát tartalmaznak.

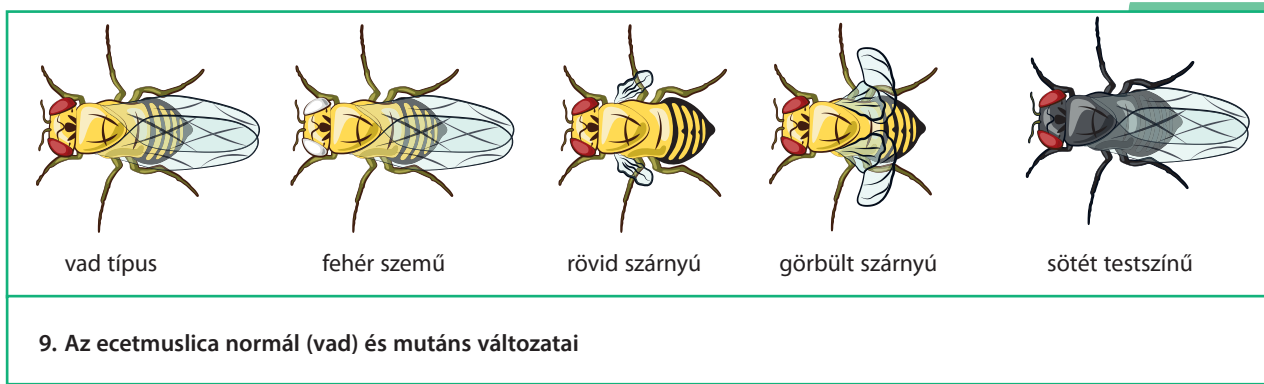
Egyes csoportokban, például a hullókbán és a madarakban éppen fordítva van: a nőtényekre jellemzők az XY, a hímekre pedig az XX ivari kromoszómák. Az X és az Y ivari kromoszómák lényegében nem homológok (csak kis százalékban), hiszen alakjuk és információtartalmuk is eltérő, azaz különböző tulajdonságokra vonatkozó génsorozatokból épülnek fel (8. ábra). Az XY genotípusú egyedek szöveti sejtjeiben az ivari kromoszómákon található génekből ezért csak egy-egy példány van, emiatt nem lehetnek heterozigóták, csak ún. hemizigóták (hemi = fél). Az XX genotípusú egyedekben azonban kettő-kettő gén van jelen, ebben az esetben tehát lehet heterozigóta egyedekről beszélni. Emiatt az ivari kromoszómához kötődő jellegek öröklődése a két nemből eltér egymástól.

A genetikai kísérletek kedvelt anyaga az ecetmuslica, mivel könnyen tenyészthető és nagyszámú, mutációval kialakult változata van. A nőtények XX, a hímek XY ivari kromoszómájúak. A szemszín meghatározó gének egyike az X ivari kromoszómán található. A normális (a leggyakoribb, ún. „vad”) vörös szemszín kialakító allél ( $X^A$ ) domináns, a fehér szemszín meghatározó alléllal ( $X^a$ ) szemben. Ha vörös szemű homozigóta nőtényeket ( $X^A X^A$ ) és fehér szemű hímeket ( $X^a Y$ ) kereszteznek egymással, akkor az  $F_1$  nemzedék valamennyi egyede vörös szemszínű (50%  $X^A X^a$  nőtény, 50%  $X^A Y$  hím) lesz. Az  $F_1$  egyedek egymás közti keresztezése az  $F_2$  nemzedékben 3 : 1 arányban vörös (25%  $X^A X^A$ , 25%  $X^A X^a$ , 25%  $X^A Y$ )



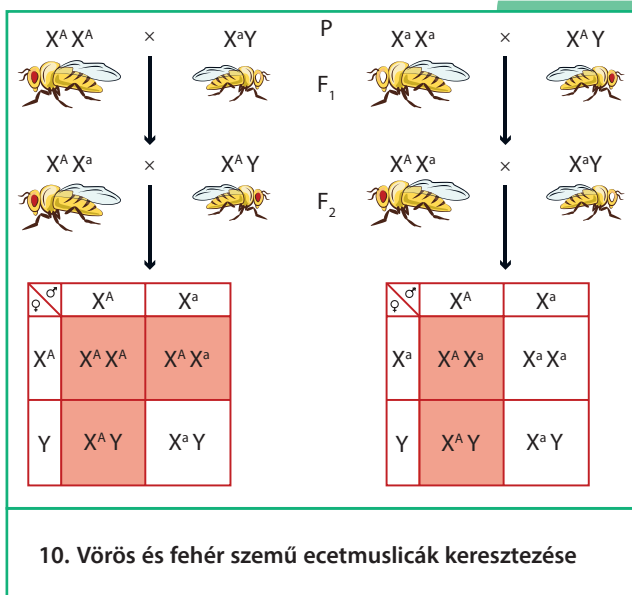
8. Az ember ivari kromoszómái. Az ember X-kromoszómája jóval nagyobb méretű, mint az Y-kromoszóma. Az X-kromoszómán a nem sajátosságokat meghatározó géneken kívül több létfontosságú gén is található. Az Y-kromoszóma génei elsősorban a here, vagyis a férfi ivari jelleg kialakításában játszanak szerepet.





és fehér szemű (25%  $X^aY$ ) utódokat eredményez, de a fehér szemszín csak a hímekben jelenik meg (9. ábra).

Az előző kísérlettől eltérő eredményre vezet az a keresztezés, amelyben a nőtény szülők a fehér ( $X^aX^a$ ) és a hímek a vörös ( $X^AY$ ) szeműek (reciprok keresztezés). Ekkor az  $F_1$  nemzedék egyedei nem egyformák, a hímek fehér ( $X^aY$ ), a nőtények vörös ( $X^AX^a$ ) szeműek. Az  $F_1$  nemzedék egyedeinek egymás közti keresztezéséből származó  $F_2$  nemzedékben az utódok fele fehér ( $X^aX^a$ ,  $X^aY$ ), fele pedig vörös szemű ( $X^AX^a$ ,  $X^AY$ ), a kétféle fenotípus a hímekben és a nőtényekben is megjelenik (10. ábra). Az X ivari kromoszómához kötött jellegek öröklődésére általánosan jellemző, hogy az XY ivari kromoszómákat hordozó egyedekben az allélpár hiánya miatt a recesszív jellegek gyakrabban jelennek meg.

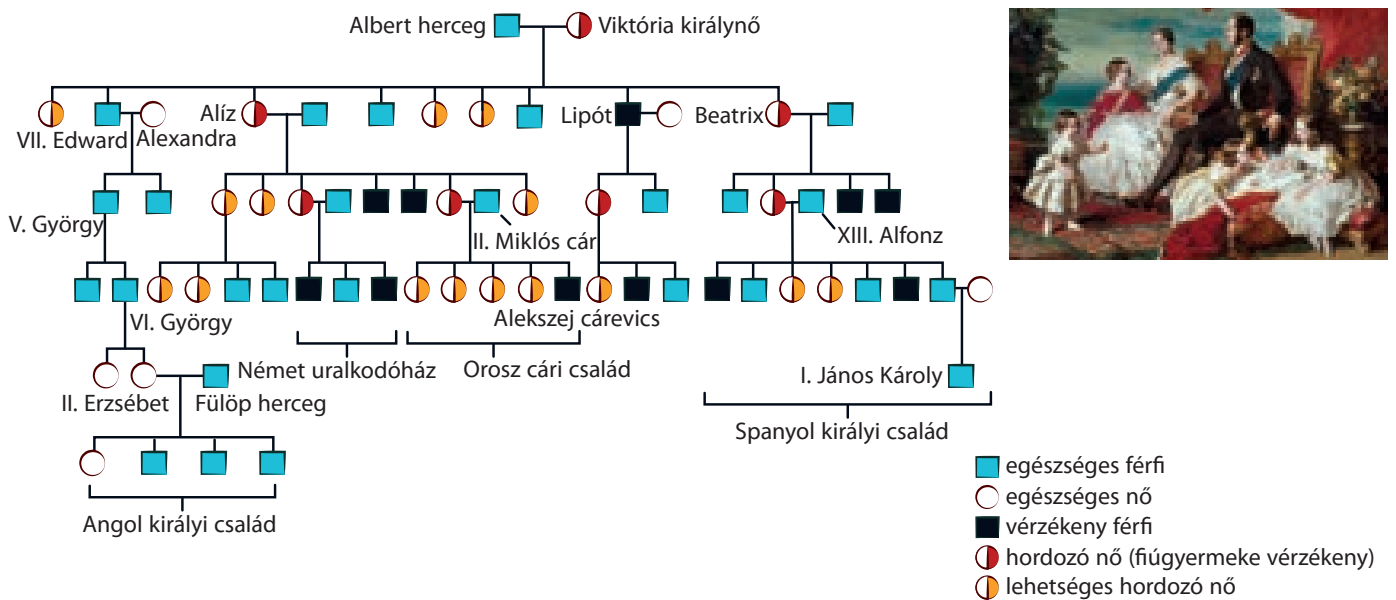


## X-kromoszómához kötött öröklődés

A nemhez kötött öröklődés volt az első bizonyíték arra, hogy minden génnek meghatározott helye van a kromoszómán. Ugyancsak nemhez kötötten, az X-kromoszómához kötött az öröklődő hemofília (közismert nevén a vérzékenység) betegsége is. Elsősorban a fiúk az érintettek. A vérzékeny fiúk szülei lehetnek erre a betegsége nézve egészségesek, de a betegséget okozó recesszív génváltozatot az anya hordozza az ivari kromoszómájához kötötten, és adja tovább fiú utódaiba (11. ábra).

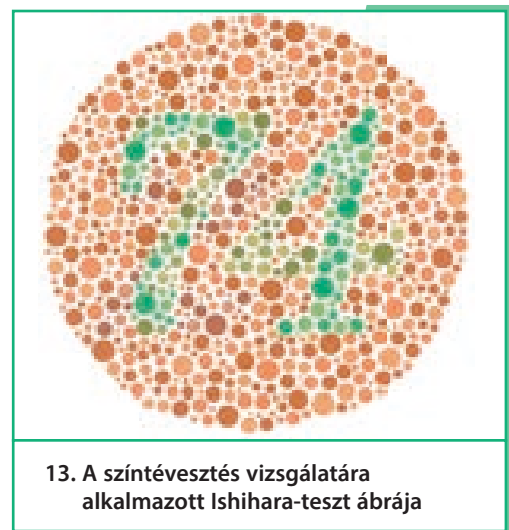
### Gondold végig!

Egy hemofiliás fiú házasságot köt egy erre a jellegre nézve egészséges nővel. Milyen eloszlásban várható az utódok között vérzékeny egyed? Lesznek-e hemofiliás fiúk, és ha igen, milyen arányban? Lesznek-e hordozó leánygyermekük? Válaszodat Punnett-táblával egészítsd ki, és indokold!



11. A vérzékenység öröklődése. A családfa Viktória angol királynő (1819–1901) leszármazottait ábrázolja. A királynő hordozó volt a vérzékenységre (hemofília A) névre. Kilenc gyermeke közül egyik fia vérzékeny volt, lányai közül ketten egészen biztosan hordozták a recesszív allélt, mert voltak vérzékeny fiúgyermekük. A királyi családfán jól látható, hogy a recesszív allél hatása nőkben nem nyilvánul meg. A hordozó nők 50%-os valószínűséggel örökölték recesszív alléljukat gyermekeikre. Az egészséges férfiaknak nem lehet vérzékeny leánygyermekük, fiaik is csak anyai ágon örökölhették a jelleget.

A szintévesztés öröklődhet. A szintévesztés a színlátás zavara. Az érintett személyek ebben az esetben nem tudnak különbséget tenni olyan színek között, amelyeket az egészséges emberek eltérőként érzékelnek. Az örökletes szintévesztés lehet veleszületett, vagy kialakulhat az élet későbbi szakaszaiban is. Az ilyen módon, az X-kromoszómához kapcsolódó nemhez kötött vöröszöld szintévesztés recesszív jelleg, az öröklésmenet során a hordozó nő 50%-os valószínűséggel adja át a jelleget hordozó X-kromoszómáját a gyermekének. A statisztikák szerint a nőknek csak két százaléka, míg a férfiak nyolc százaléka szintévesztő. Mivel a lányoknak egy testi sejtben két X-kromoszómájuk van (XX), így a pigmentekért felelős génből kettővel rendelkeznek. Ennek megfelelően, ha egy lánynak van egy hibás génváltozata, a másik génváltozatnak köszönhetően normál pigmentekkel fog rendelkezni, és nem lesz szintévesztő (12–13. ábra).



13. A szintévesztés vizsgálatára alkalmazott Ishihara-teszt ábrája

	$X^A$	$X^a$		$X^A$	$X^a$
$X^a$	$X^A X^a$ normál	$X^a X^a$ szintévesztő	$X^A$	$X^A X^A$ normál	$X^A X^a$ normál
$Y$	$X^A Y$ normál	$X^a Y$ szintévesztő	$Y$	$X^A Y$ normál	$X^a Y$ szintévesztő

a) Normál látású, hordozó nő ( $X^A X^a$ ) és szintévesztő férfi ( $X^a Y$ ) gyermekeinek lehetséges genotípusa

b) Normál látású, hordozó nő ( $X^A X^a$ ) és normál látású férfi ( $X^A Y$ ) gyermekeinek lehetséges genotípusa

12. A szintévesztés öröklődése. Heterozigóta (hordozó) anyának a fiúgyermekei 50%-os valószínűséggel szintévesztők, függetlenül attól, hogy az apa szintévesztő (a) vagy normál látású (b).

A nemhez kötött tulajdonságok nagy része recesszív jelleg, azonban domináns jellegre is találunk példát. Ilyen például a hiányzó fogzománcképzés. Ekkor a zománcreteg hiánya miatt a fogak könnyen szuvasodnak, elszíneződnek: a fogfelszíni repedésekben baktériumok bújhatnak meg, és a rendszeres fogápolás ellenére is kifejtik élettani hatásukat, ami a fog sötétebb árnyalatát eredményezheti (14. ábra).

### Nézz utána!

Az Y-kromoszómához is kötődhetnek fenotipikus jellegzetes-ségek? Sokáig úgy gondolták, hogy a fül túlzott szőrössége Y-kromoszómához kötött, de egy tanulmány ezt cáfolta.



14. Zománcképzési rendellenesség következtében károsodott fogsor

A keresztezések kiinduló egyedeit nevezzük szülői nemzedéknek, leszármazottaikat pedig az első utódnemzedéknek vagy első hibrid nemzedéknek. Az  $F_1$  nemzedék egyedeinek egymás közti keresztezéséből származnak a második utódnemzedék tagjai.

A heterozigóta egyedek fenotípusát az uralkodó, domináns allél határozza meg. Ennek jelenlétében a lappangó, recesszív allél hatása nem jut érvényre. A domináns-recesszív öröklődés esetén a homozigóta domináns és a heterozigóta egyedek fenotípusa megegyezik.

Az inkomplett dominancia esetén a heterozigóták vizsgált tulajdonsága átmenetet mutat a szülői fenotípusok között. A két allél gyengíti egymás hatását, így a heterozigóták köztes, ún. intermedier fenotípusúak.

A kodominancia esetén ezzel szemben a heterozigóta egyénekben a gén mindkét alléljának hatása teljes egészében érvényre jut a fenotípusban.

Az ivar a génállományban meghatározott sajátság. A növényeknél ezt általában egy vagy két gén alakítja ki, míg a legtöbb állat és néhány növény diploid sejtjeiben két ivari kromoszóma van a testi (autoszómális) kromoszómák mellett.

Az emberi tulajdonságok közül több is az X ivari kromoszómához kötötten öröklődik: például a vörös-zöld színtévesztés vagy az öröklődő véralvadási zavar, a hemofília (A és B).

Az ivari kromoszómához kötődő recesszív jellegek férfiakban gyakoribbak, mivel nincs kompenzáló másik X-kromoszómájuk.

Az Y-kromoszómához kötődő jelleg csak férfiakban jelennek meg, mivel a nőknek ilyen kromoszómájuk nincs.

## 35. Összefoglalás

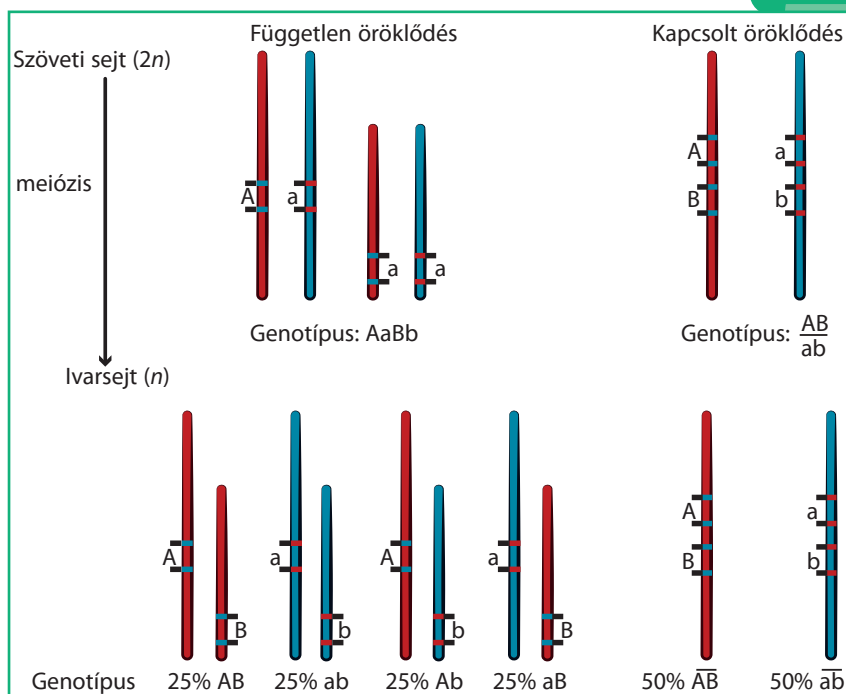
# 36. Változatok több génre

1. Miért öröklődnek egyes tulajdonságok gyakran együtt?
2. Mit jelent az, hogy legtöbb tulajdonság kialakulása több gén kölcsönhatására vezethető vissza?
3. Honnan tudható, hogy a gének a kromoszómákon helyezkednek el?

Ha két tulajdonság együttes öröklődését vizsgáljuk, akkor alapvetően két eset lehetséges. Amennyiben a vizsgált jellegeket kialakító gének különböző kromoszómákon vannak, akkor a két tulajdonság egymástól függetlenül öröklődik. Az ivarsejtekben véletlenszerűen kombinálódnak az apai és az anyai eredetű allélok. Nem ez a helyzet, ha a két gén **ugyanazon a kromoszómán** van, vagyis egy **kapcsolódási csoportba** tartozik. Ez esetben a két jelleg nem függetlenül, hanem **kapcsoltan öröklődik**. Az apai és az anyai eredetű allélok az allélcserélődés gyakoriságától függően rekombináálódnak az ivarsejtekben (1. ábra).

## Két tulajdonság független öröklődése

Mendel a veteményborsó több tulajdonságának, többek között a virág és a maghéj színének együttes öröklődését is vizsgálta. Egy keresztezési kísérletben homozigóta, bíbor virágú (AA) és sárga magvú (BB) egyedeket keresztezett ugyancsak homozigóta, fehér virágú (aa) és zöld magvú (bb) egyedekkel. Az első utódnemzedék ( $F_1$ ) valamennyi egyede bíbor virágú és sárga magvú lett. Az  $F_1$  nemzedék egyedeinek egymás közti keresztezéséből származó  $F_2$  nemzedékben a következő arányt kapta: 9/16 rész bíbor virágú, sárga magvú, 3/16 rész bíbor virágú, zöld magvú, 3/16 rész fehér virágú, sárga magvú és 1/16 rész fehér virágú, zöld magvú utód. A kísérlet eredményei alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy mindkét jelleg domináns-recesszív módon öröklődik. A szülői nemzedék bíbor virágú és sárga magvú (AABB)

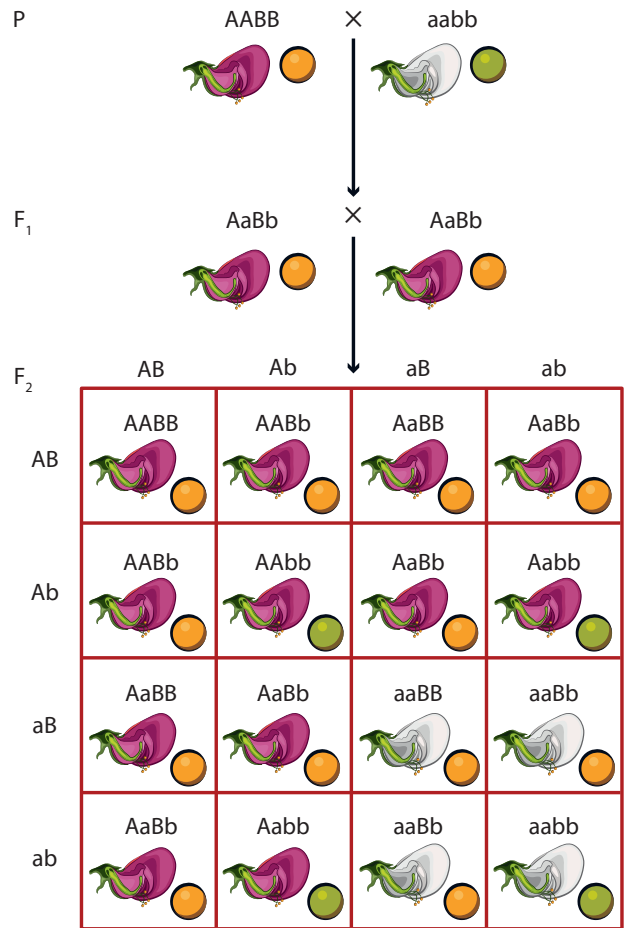


1. Független és kapcsolt öröklődés. Mindkét génre nézve heterozigóta egyedekben független öröklődés esetén 25-25%-os valószínűséggel négyféle ivarsejt képződhet a meiózis során. Kapcsolt öröklődés esetén, ha nem történik allélcserélődés, akkor csak kétféle ivarsejt képződhet 50-50%-os valószínűséggel.

egyedeinek haploid ivarsejtjei AB genotípusúak lehetnek, míg a fehér virágú, zöld magvú (aabb) egyedekben ab genotípusú ivarsejtek képződhetnek. Az F<sub>1</sub> nemzedék egyedei e kétféle ivarsejt egyesülésével jönnek létre. Genotípusuk szerint tehát mindkét jellegre nézve heterozigóták (AaBb). Fenotípusukból pedig arra következtethetünk, hogy a bíbor virágszín, illetve a sárga maghéj a domináns jelleg. A heterozigóta egyedekben független öröklődés esetén – a homológ kromoszómák véletlenszerű kombinálódásának megfelelően – négyféle ivarsejt (AB, Ab, aB, ab) képződhet 1 : 1 : 1 : 1 arányban. Ezek egyesülésével az F<sub>2</sub> nemzedékben négyféle fenotípus alakulhat ki 9 : 3 : 3 : 1 arányban. Ez a szabad kombinálódás törvénye (Mendel III. törvénye), amely kimondja, hogy az egyes tulajdonságok egymástól függetlenül öröklődnek. Ugyanakkor Morgan az ecetmuslicánál végzett kísérleteiben felismerte a kapcsoltság jelenségét, így a III. törvény csak akkor érvényesülhet, ha a tulajdonságot meghatározó gének külön kromoszómákon helyezkednek el (2. ábra).

### Gondolkodj!

- Milyen ivarsejtek képződhetnek és milyen arányban az alábbi genotípusú élőlényekben?  
a) AABb b) Aabb c) AaBBCC d) AABbCc
- Milyen geno- és fenotípusú utódok várhatók az AaBb genotípusú, bíbor virágú és sárga maghéjú veteményborsó tesztelő keresztezéséből?



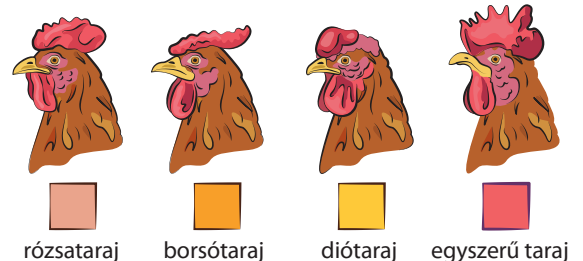
- A veteményborsó virág- és magszínének öröklődése. A táblázat segítségével add meg a mindkét jellegre homozigóta, illetve a mindkét jellegre heterozigóta utódok várható arányát az F<sub>2</sub> nemzedékben!

## Gének kölcsönhatása

Két vagy több gén esetén az is előfordul, hogy amennyiben az eltérő kromoszómákon elhelyezkedő gének rendelkeznek domináns és recesszív alléllal, akkor a domináns alléljaik kölcsönhatásba kerülnek egymással (3. ábra). A házityúk taréjformájának öröklődése két gén által meghatározott fenotípusos jelleg, amely lehet rózsza alakú (R) vagy borsó formájú (B). Amikor legalább egy domináns rózszaformát kialakító allél jelen van a homozigóta recesszív borsótarajformával (RRbb vagy Rrbb), akkor rózsatarajformát kaphatunk. Ennek ellentétes kombinációja (rrBB vagy rrBb) borsótarajt eredményez. Ha a két génből legalább egy-egy domináns allél jelen van a zigótában,

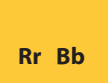
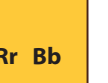
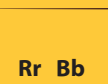
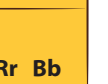
### Számolj!



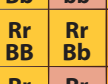

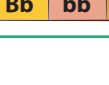





Milyen utódok és milyen arányban várhatóak két (mindkét génre nézve) heterozigóta diótarjú baromfi keresztezéséből?



P: RR bb × rr BB  
rózsataraj borsótaraj

F<sub>1</sub>: Rr Bb × Rr Bb  
diótaraj diótaraj

	Rb	Rb
rB	Rr Bb 	Rr Bb 
rB	Rr Bb 	Rr Bb 

	RB	Rb	rB	rb
RB	RR BB 	RR Bb 	Rr BB 	Rr Bb 
Rr	RR Bb 	RR bb 	Rr Bb 	Rr bb 
rB	Rr BB 	Rr Bb 	rr BB 	rr Bb 
rb	Rr Bb 	Rr bb 	rr Bb 	rr bb 

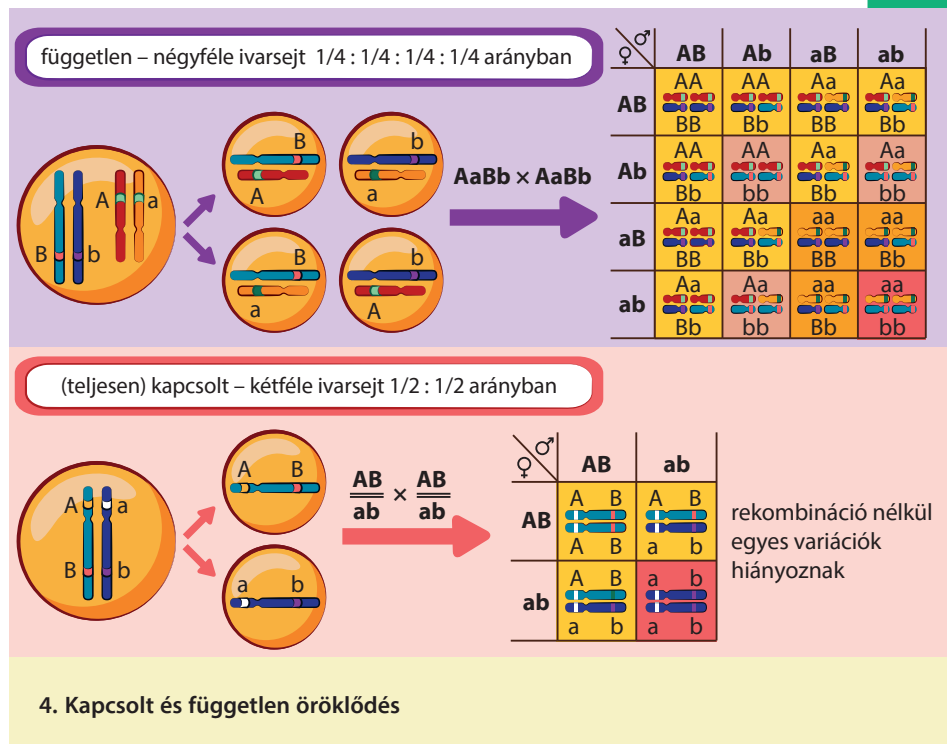
- Taréjformák öröklődése



úgy az utód taraja dió formájú lesz (RRBB, RrBB, RrBb, RRbb). A két gén kombinációjából már csak a homozigóta recesszív maradt ki, amikor a genotípus rrrb és a fenotípus fűrész alakú, egyszerű taraj lesz.

## Kapcsolt öröklődés

Morgan kísérletei rámutattak arra, hogy bizonyos tulajdonságok nem válnak szét egymástól, nagyon gyakran kapcsoltan öröklődnek (4. ábra). Morgan kísérletei tehát a mendeli független öröklődés várható eredményeitől eltértek. Az egyik ilyen kísérletben az ecetmuslica vad típusú egyedeit (ép szárny – S, normál hosszú potroh – P) keresztezték a mindkét jellegre nézve homozigóta recesszív egyedekkel (sspp). Természetesen az F<sub>1</sub> nemzedékben a várákozásnak megfelelő utódok születtek. Mindnyájan a domináns fenotípust mutatták, azaz ép szárnyal és normál potroh-hosszal születtek. A további keresztezést követően a független öröklődésben megszokott F<sub>2</sub> eloszlás (9 : 3 : 3 : 1) helyett 3 : 1 arányban jelentek meg az eredeti szülői tulajdonságok. Ez csak abban az esetben történhetett meg így, ha az allélpárok egymással kapcsoltan kerültek át az utód egyedekbe. Ez azonban azt is jelenti, hogy ezek a gének a kromoszómán is egymáshoz kapcsolt módon öröklődnek az utódokba. Ezeket a géneket **kapcsolt géneknek** nevezzük. A később elvégzett morgani kísérletsorok azt bizonyították, hogy az együtt öröklődő tulajdonságok a kromoszómák azon szakaszaival hozhatók kapcsolatba, amelyek közeli kapcsolatban vannak egymással. Az ún. **géntérképezés** segítségével a pontos távolságot is meg lehet határozni.



A nemhez kötött öröklődés elsőként bizonyította, hogy a géneknek meghatározott helyük van a kromoszómákon.

Az ivarsejtekben véletlenszerűen kombinálódnak a szülői eredetű allélok. Ha két gén egy kapcsolódási csoportba tartozik, akkor a két jelleg nem függetlenül, hanem kapcsoltan öröklődik.

Az apai és az anyai eredetű allélok az allélcserélődés gyakoriságától függően rekombinálódnak az ivarsejtekben. Általában egy tulajdonság kialakításáért több allélpár felel.

# 36. Összefoglalás





# 37.

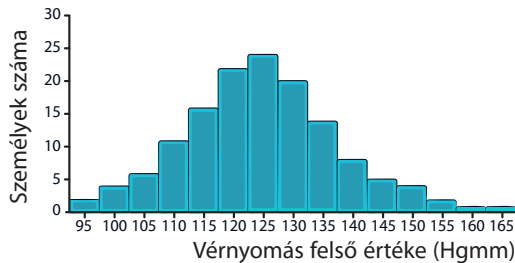
## Mennyiségi jellegek öröklődése és a környezet hatása

1. Miért gyakoribbak az átlagos magasságú emberek?
2. Hogyan dönthető el, hogy egy tulajdonság testi vagy ivari kromoszómához kötött, illetve domináns vagy recesszív?
3. Miért vizsgálják az ikrek tulajdonságainak öröklődését?

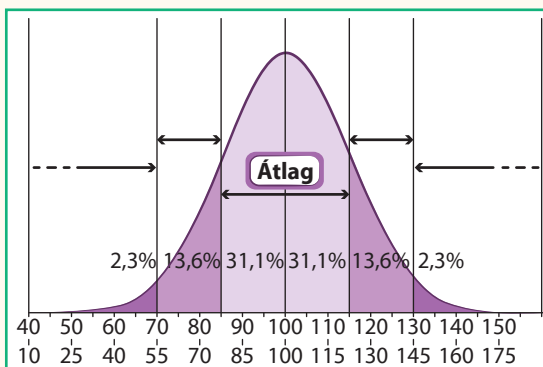
Mindeddig olyan jellegek öröklődésével foglalkoztunk, amelyek alapján a vizsgált egyedeket egyértelműen be lehetett sorolni egy-egy jól elkülöníthető kategóriába. Ilyen jelleg többek között a virág színe (pl. bíbor vagy fehér), a mag színe (sárga vagy zöld), a színlátás (színtévesztő vagy normál látású). Ezeket a sajátságokat **minőségi jellegeknek** nevezzük.

### Mennyiségi jellegek

Vannak azonban olyan, ún. **mennyiségi jellegek**, amelyek alapján az egyedek nem sorolhatók be egymástól jól elhatárolódó csoportokba. Mennyiségi jelleg például a testtömeg, a testmagasság, a szemszín vagy a hajszín mélysége, de az intelligencia, az alapanyagcsere mértéke és a nyugalmi szívfrekvencia, valamint a vérnyomás értéke is. A mennyiségi jellegek esetén nagyszámú egyed fenotípusát megvizsgálva két szélső érték között többé-kevésbé folyamatos sorozatot kapunk (1. ábra). A mennyiségi jellegek öröklődésének hátterét vizsgálva a kutatók arra a megállapításra jutottak, hogy az ilyen tulajdonságok kialakításában rendszerint **nagyszámú gén** vesz részt, és a gének, illetve azok **alléljainak hatása összegződik**. Az IQ (intelligence quotient), azaz az intelligenciahányados mért értéke egy **normál eloszlás** alapján szóródik, többségében 85–115 értékek között, ahova az emberi populáció 2/3-a tartozik. Az IQ-érték kialakításában a gének és a környezet (a nevelés szociális hatások stb.) együtt vesznek részt (2. ábra).



1. Nyugalomban mért vérnyomás alakulása nagyszámú mintán



2. Az intelligenciahányados eloszlása

### Elemezz!

Az alábbi grafikon a népesség IQ-eloszlását mutatja. Elemezd az ábrát!

## A mennyiségi jellegek öröklődése

Egy növény testmagasságát 3 gén 2-2 alléja (A-a, B-b, C-c) határozza meg. Az aabbcc genotípusú növények átlagosan 5 cm magasra nőnek, az AABBCC genotípusú növények pedig átlagosan 35 cm magasak. Egy kísérletben alacsony (aabbcc) növényeket kereszteztek magas (AABBCC) növényekkel. Az F<sub>1</sub> nemzedékben az utódnövények magassága 20 cm körül alakult. Az F<sub>1</sub> nemzedék egyedeinek keresztezésével kapott F<sub>2</sub> nemzedék fenotípusos megoszlását és a lehetséges genotípusokat foglalja össze a (3. ábra). Az eredményekből látható, hogy a testmagasság a **domináns allélok számától** függ. Minden egyes domináns: A, B, C allél 5-5 cm-rel járul hozzá a testmagasság növekedéséhez. Az F<sub>2</sub> egyedek magasság szerinti megoszlása normál eloszláshoz hasonlít (4. ábra).

### Gondolkodj!

A 3. ábra táblázata és az 5. ábra grafikonja alapján fogalmazd meg az adott növény testmagasságának öröklődési jellegzetességeit!

Domináns allélok száma	Lehetséges genotípusok	Egyedszám (Σ = 641)	Testmagasság (cm)
0	aabbcc	11	5
1	Aabbcc, aaBbcc, aabbCc	59	10
2	AABbcc, aaBBcc, aabbCC, AaBbcc, AabbCc, aaBbCc	148	15
3	AABbcc, AaBbCc, AabbCC, AaBBcc, AaBbCc, aaBBCC, aaBbCC	201	20
4	AABBcc, AaBbCC, AABbCc, AaBBcc, AaBbCC, aaBBCC	152	25
5	AABBCC, AaBBCC, AABbCC	61	30
6	AABBCC	9	36

3. Egy növény testmagasságának öröklődése

## A gének és a környezet kölcsönhatása

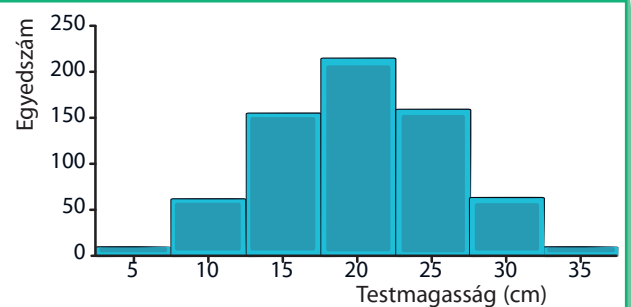
A mennyiségi jellegek kialakulása sokszor erősen függ a környezeti hatásoktól. A genetikai állományban kódolt testtömeg vagy testmagasság csak abban az esetben alakul ki, ha a növekedés időszakában az egyed megfelelő mennyiségű és minőségű táplálékhoz jut, nem érik más negatív környezeti hatások sem (pl. súlyos betegség). Ugyanígy a természetett növények termésátlaga csak akkor éri el a kívánt értéket, ha a növény fejlődéséhez biztosítottak a környezeti feltételek (pl. ásványi anyagok, víz, napfény, megfelelő hőmérséklet). A kivételes intelligencia, értelmi képesség is csak akkor teljesedik ki, ha a tehetséges ember minőségi oktatásban, nevelésben részesül. A **környezeti feltételek** tehát jelentős mértékben **módosíthatják** a genetikai állományban kódolt jellegek kialakulását (5. ábra).

### Számoldj!

5 cm és 35 cm magas növényeket kereszteztek egymással. Várhatóan hány cm magasak az F<sub>1</sub> nemzedék növényei? Mekkora testmagasságú utódok várhatók az AAbbcc és aaBBcc növények keresztezéséből? A megoldáshoz használd a 3–4. ábrát!



5. Ókori település nyomai tűnnek elő egy szántóföldön. Az épületek falai, árkai már nem látszanak, de a felszín alatt eltérő környezeti feltételeket jelentenek a növények számára.



4. Az egyedek magasság szerinti eloszlása egy keresztezési kísérletben

A környezeti hatások játszanak szerepet számos betegség, például az asztma kialakulásában is (6. ábra). A hörgőrendszer krónikus gyulladásával járó betegségre való **hajlam** öröklődik. Asztmás szülők gyermeke nagyobb valószínűséggel lesz beteg, de a betegség kialakulásában nagyon fontos szerepe van a környezetnek: a szennyezett levegőnek, az aktív vagy passzív dohányzásnak, a stressznek. Az egészséges életmód, a tiszta levegő csökkenti a betegség kialakulásának kockázatát. A rákos megbetegedések többségének hátterében is kimutatható az örökletes hajlam (pl. családi halmozódás) és az életmódból adódó kockázati tényező (pl. helytelen táplálkozás, egészségtelen környezet, stressz). Környezeti tényező nem csak külső hatás lehet. Befolyásolják a genetikai állomány működését többek között a **hormonok** is. A pajzsmirigy tiroxin hormonjának hiányában a fejlődő magzat, csecsemő idegrendszere súlyosan károsodik, és aránytalan törpeség alakul ki. Ha az agyalapi mirigy növekedési hormonjának termelődése marad el a kívánatostól, akkor a következmény arányos törpenövés lehet. A növekedési hormon túltermelődése pedig óriásnövéssel járhat.



6. Egészséges és asztmás kórképet mutató beteg hörgőjének keresztmetszeti képe

## Ikervizsgálatok

Az egészség megőrzése szempontjából fontos annak kiderítése, hogy milyen mértékben befolyásolják a környezeti hatások egyes tulajdonságok kialakulását. Ezt a célt szolgálják az egypetűjű és kétpetűjű ikrekkel végzett ikervizsgálatok.

Az ikervizsgálatok alapja, hogy az **egypetűjű ikrek** természetesen előforduló klónok, akiknek minden génje közös. Másrészt a kétpetűjű vagy „testvér” ikrek génállománya átlagosan fele részben közös. Ha feltételezzük, hogy az ikerpárokat ugyanazok a környezeti hatások érik mind az egypetűjűek, mind a kétpetűjűek esetében, akkor az egypetűjű pároknál megfigyelt bármely, a kétpetűjűekénél szorosabb hasonlóság a gének, a genetika meghatározottságra utal (skizofrénia), illetve fordítva a környezeti meghatározottságra (bulimia).

Az egypetűjű ikrek genetikai állománya ugyanis 100%-ban megegyezik, ezért ha bármilyen különbség mutatható ki közöttük, akkor az az eltérő környezeti hatásokra vezethető vissza. Ikervizsgálatok alapján megállapították, hogy a nyaki artériában kialakuló érelmeszesedésnek 70% az örökölhetősége. Vagyis ha a szülők ilyen betegségben szenvednek, akkor 70% az esélye annak, hogy gyermekeik is betegek lesznek. Ha egy betegségnek magas az örökölhetősége, akkor érdemes **szűrővizsgálatokat** végezni, hogy idejében felismerjék és kezeljék azt. Az érelmeszesedésre és a magas vérnyomásra való hajlam 40-50%-os örökletességet mutat. Tehát kialakulásukban a genetikának és a környezetnek, az életmódnak is nagy szerepe van. A környezeti hatások génekre gyakorolt hatásával a korábbi fejezetekben megismert epigenetika tudománya foglalkozik.

### Gondolkodj!

Ismerünk olyan eseteket, amikor egy erősen dohányzó emberben nem alakul ki tüdőrák. Ugyanakkor az is előfordul, hogy egy nem dohányzó ember ebben a betegségben hal meg. Magyarázd meg ezt a jelenséget! Válaszodban használd a hajlam, a kockázati tényező, az epigenetikus hatás fogalmakat!

## Genetikai betegségek

Az újszülötteken jelentkező veleszületett betegségek nem mindegyike vezethető vissza a szülők valamilyen génhibájára. A magzati géneket károsító (teratogén) hatások is okozhatnak rendellenességeket, ennek egyik megdöbbentő példája volt a Contergan-katasztrófa. 1957–1961 között az akkori Nyugat-Németországban ez a terhesség alatt szedett nyugtató bizonyult súlyosan magzatkárosítónak.

A veleszületett betegségeket a szülőktől örökölt hibás gének is okozhatják. Ilyen esetben beszélhetünk genetikai betegségekről. Ma már több ezer ismert kórkép mögött találtak öröklött genetikai tényezőket (7. ábra). Ezek típusa szerint a betegségek gyakorisága, kialakulási valószínűsége és kimenetele is eltérő lehet. Meghatározó lehet az érintett gének száma (egy vagy több) és jellege is (domináns vagy recesszív).



7. A Marfan-szindróma egyik tünete a kötőszöveti elváltozás, ami az ujjak ízületeinek visszahajlíthatóságát okozza

### Egy gén által okozott, monogénis betegségek

A **dominánsan** öröklődő betegségek jellemzői:

- Heterozigóta állapotban is megjelennek a fenotípusban, azaz kialakul a betegség.
- Beteg és egészséges egyén gyermekei 50% valószínűséggel lehetnek betegek.
- Ha a beteg egyik szülője sem érintett, akkor a petesejt vagy a hímivar-sejt új mutációja okozza.
- Az érintettekben a betegség különböző tüneteket okozhat (változó expresszivitás).
- Számos esetben a tünetek csak később, esetleg felnőttkorban jelentkeznek (pl. Huntington-betegség).
- Általában szabályozó fehérjéket, szerkezeti vagy membránfehérjéket érintő rendellenességek okozzák (ezért 50%-os csökkenés már tüneteket okoz).

Érintett szervrendszer	Betegség	Előfordulási valószínűség (élve született csecsemőkben)
Idegrendszer	Huntington-betegség	1 : 2500
	Neurofibromatózis (I.)	1 : 3000
	Myotonia dystrophica	1 : 20 000
	Sclerosis tuberosa	1 : 6000
Vizeletkiválasztó rendszer	Policisztás vese	1 : 1250
Vérképző rendszer	Öröklődő hemolitikus vérékenység	1 : 5000
	Von Willebrand-betegség	1 : 1000
Csontrendszer	Marfan-szindróma	1 : 20 000
	Achondroplasia	1 : 20 000
Anyagcsere	Öröklődő magas koleszterinszint	1 : 500

**Dominánsan öröklődő genetikai betegségek**

A **recesszíven** öröklődő betegségek jellemzői:

- A tünetek már az élet korai szakaszában jelentkeznek.
- Új mutáció révén is kialakulhatnak.
- Nehezen ismerhetők fel a tünetmentes hordozók.
- Enzimeket érintő mutációk is lehetnek.
- Heterozigótákban egyenlő mértékben termelődik hibás és normális enzim, ezzel kiegyenlítődik a hiba.

Érintett szervrendszer	Betegség	Előfordulási valószínűség
Anyagcsere	Cisztás fibrózis	1 : 2000
	Fenilketonuria	1 : 12 000
	Galaktozémia	1 : 50 000
	Wilson-kór	1 : 33 000
	Hemokromatózis	1 : 300
	Mukopoliszacharózis	1 : 75 000
Vérképző rendszer	Sarlósejtes vérszegénység	1 : 625 (afroamerikai népességben)
	Talasszémia	1 : 2500
Csontrendszer	Ehlers–Danlos-szindróma (EDS)	1 : 5000
	Alkaptonuria	1 : 250 000
Idegrendszer	Friedreich-ataxia	1 : 50 000
	Gerincvelő eredetű izomsorvadás (SMA)	1 : 10 000
<b>Recesszíven öröklődő genetikai betegségek</b>		

## Több génre visszavezethető, poligénes genetikai betegségek

Általában mennyiségi típusú jellegekkel függenek össze. Ezeket „kis hatású gének” (minor gének) határozzák meg, egy-egy tulajdonságot több ilyen gén (gén-sorozat) is befolyásolhat.

A **környezeti hatások** is módosítják a genetikai tényezők működését (környezetszennyezés, szociális környezet).

Mivel a károsító gének változó számban és mértékben lehetnek jelen egy egyedben, ezért a betegség csak egy küszöbérték (elegendő számú káros allél) felett jelenik meg.

A több génre visszavezethető **multifaktoriális háttér**, valamint a **környezet és az életmód** hatása miatt ezek a típusú genetikai betegségek nem mutatnak jellegzetes öröklődési mintázatot. Inkább egyfajta **hajlanként** értelmezhetők, amelyek bizonyos betegségek kockázatait hordozzák magukban, de nem valamiféle elrendelt módon. Az érintettek környezete és életmódja gátolhatja, de elő is segítheti a hajlamok betegséggé válását.

A kockázat mértékét az öröklött mutáns gének száma határozza meg. Nagyobb a kockázat olyan beteg testvéreiben, akinél a betegség súlyos formában jelentkezett. A betegség megjelenésének valószínűsége (2–7%) egyforma az érintett egyed minden elsőfokú rokonában (szülő, testvér, gyermek). A betegség gyermekekben való ismétlődésének kockázata a korábbi terhességek kimenetelétől függ. Ha egy gyermek érintett, akkor 7%, ha kettő, akkor a harmadik már 9% valószínűséggel lesz beteg.

Betegségek: cukorbetegség, magas vérnyomás, asztma, skizofrénia, epilepszia, mániás depresszió, veleszületett szívbetegségek.

## Citogenetikai eredetű eltérések, szindrómák

Ezek hátterében kromoszóma-rendellenességek állnak. Gyakoriságuk kb. 1 : 200 (~200 újszülöttről 1). Vizsgálati módszerként kariotípus-elemzés alkalmazható (kromoszómafestéssel).

### Kromoszómaszám-eltérések emberben:

- Normál, diploid kariotípus: 23 pár ( $2n$ , azaz 46 db kromoszóma) jelölés 46, XX vagy 46, XY.
- Poliploid: 23 egész számú többszöröse ( $3n, 4n\dots$ ).
- Aneuploid: A  $2n = 46$  kromoszómaszámtól való eltérés (oka: a sejtosztódás során a kromoszómák rendellenes szétválása).
- Triszómia: Valamely kromoszómából +1 (azaz 3 db) van (bizonyos esetekben túlélhető, de betegséget okoz).
- Monoszómia: Valamely kromoszómából -1 (azaz 1) db van. Autoszómák esetében letális! Ivari kromoszóma esetében nem letális pl. a Turner-szindróma 45, X0.
- Mozaicizmus: A szervezetben két eltérő kromoszómaszámú, de azonos eredetű sejtvonal található. Ezek vagy aneuploid vagy poliploid mozaikok.

### 21-es triszómia (Down-szindróma)

47, XX +21 vagy 47, XY +21

Kockázati tényező a viszonylag magas anyai életkor. A szindróma tünetegyüttest jelent. A Down-szindrómás csecsemők izomtónusa általában gyenge, és az ízületeik lazák. A végtagok és az ujjak gyakran rövidebbek a megszokottnál. A Down-szindrómások feje kisebb lehet az átlagosnál, tarkónál pedig laposabb. A kisbabák sokszor testileg is lassabban gyarapodnak és kisebbek társaiknál, általában kicsi a szájuk, az orruk és a fülük is, orrnyergük lapított. Ettől azonban nem lesznek kevésbé aranyosak, mint más kisbabák. Érzelmi intelligenciájuk (EQ) átlag feletti. A Down-szindróma nem egy betegség, hanem genetikai állapot. A Down-szindrómások között sok betegség gyakrabban fordul elő, mint a nem Down-szindrómások között, de egyetlenegy olyan betegség sincs, ami csak a Down-szindrómások között fordul elő.



Down-szindrómás fiú

A genetikai eredetű betegségek, eltérések felderítésére ma már **génvizsgálatok** is lehetőséget adnak. Ehhez nem is szükséges a teljes genom szekvenálása, elegendő lehet bizonyos genomelemek azonosítása. Erre szolgál pl. a DNS-chip technológia, amellyel néhány  $\text{cm}^2$  felületen több ezer próbát elvégezhetnek egyszerre.

A genetikai eredetű betegségek örökletes okai ma még nem kezelhetők, ezért fontos, hogy a családi előfordulás vagy más hajlamosító tényezők fennállása esetén a gyermeket vállaló párok igénybe vehetnek **genetikai tanácsadást**. Az elvégzett vizsgálatok segíthetnek a családtervezésben, a hordozótság szűrésében, de tanácsokat adhatnak a gyermekekkel kapcsolatban is.



## A szemek színe

A 15. kromoszóma egy adott régiója nagy szerepet játszik a szem színének a kialakításában. Ezen a régión belül két gén található egymáshoz nagyon közel: OCA2 és HERC2. Az OCA2 génből előállított fehérje, az úgynevezett P-protein döntő szerepet játszik az íriszben (szivárványhártyában) lévő melanin (a festékanyag neve) mennyiségében és minőségében. Az OCA2 gén számos általános variációja (polimorfizmus) csökkenti a termelődő funkcionális P protein mennyiségét. A kevesebb P-protein azt jelenti, hogy kevesebb melanin van jelen az íriszben, és ezeknél az embereknél a barna szem helyett pl. kék szemük lesz.

A közeli HERC2 gén szabályozza az OCA2 gén aktivitását (expresszióját), szükség szerint be- vagy kikapcsolva. A HERC2 gén ezen területén legalább egy változatánál kimutatták, hogy csökkenti az OCA2 expresszióját, ami kevesebb melanint eredményez az íriszben és a világosabb szemben (8. ábra). Számos más gén kisebb szerepet játszik a szemszín meghatározásában. Ezen gének egy része a bőr és a haj színezésében is részt vesz. A szemszínben szerepet játszó gének közé tartozik, ezeknek a géneknek a hatása valószínűleg az OCA2 és a HERC2 hatásaival kombinálódik, így folytonossá válik a szem lehetséges színárnyalata a különböző embereknél. A kutatók korábban azt hitték, hogy a szem színét egyetlen gén határozza meg, és egy egyszerű öröklési mintát követtek, amelyben a barna szem domináns, a kék a recesszív. Így azok a szülők, akiknél mindkettő kék szemű volt, nem lehetne barna szemű gyermekük. A későbbi tanulmányok azonban azt mutatták, hogy ez a modell túl egyszerű. Noha ez ritka, a kék szemű szülőknek is születethet barna szemű gyermekük. A szemszín öröklése összetettebb, mint eredetileg feltételezték, mivel több gén vesz részt.

Egy másik, heterokrómianak nevezett állapotot különböző színű szem jellemzi ugyanazon egyénnél.

## Családfaelemzés

Az emberi tulajdonságok öröklődésének genetikai hátterét a klasszikus genetika módszereivel, jellemzően a családfaelemzéssel, meglehetősen nehéz felderíteni. Ennek oka, hogy az utódok alacsony száma miatt a statisztikai törvényszerűségek sokszor nem érvényesülnek. Ezért gyakran nehéz következtetéseket levonni a vizsgált jelleget kialakító génekre vonatkozóan, illetve a gének és az allélok közötti kölcsönhatások típusát illetően. A hagyományos családfaelemzést a technika fejlődésével egyre inkább háttérbe szorítják a molekuláris biológiai módszerek: a DNS és a fehérjék szerkezetének vizsgálata.

A családfán szereplő egyedek fenotípusából következtetni lehet az allélikus kölcsönhatás típusára (domináns-recesszív, intermedier vagy kodominancia), valamint arra, hogy a vizsgált jelleget kialakító gén testi, illetve ivari kromoszómán található-e. Meg lehet jósolni, hogy egy érintett házaspár születendő gyermekei milyen valószínűséggel örökölhetik a vizsgált jelleget, mekkora a kockáza-

**Keress** grafikonokat, melyek a Down-szindróma kialakulása és az anyai életkor kapcsolatát mutatják!

**Ítéld meg!**

Miért nem mindegy, hogy betegségnek vagy genetikai állapotnak nevezzük?

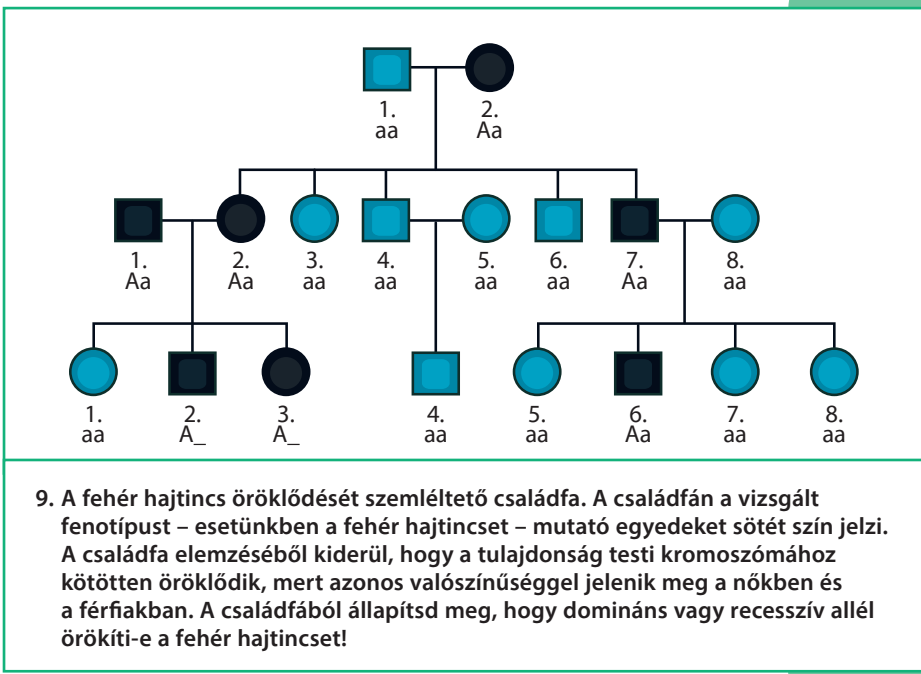
**Keress rá!**

Mivel foglalkozik a molekuláris medicina?

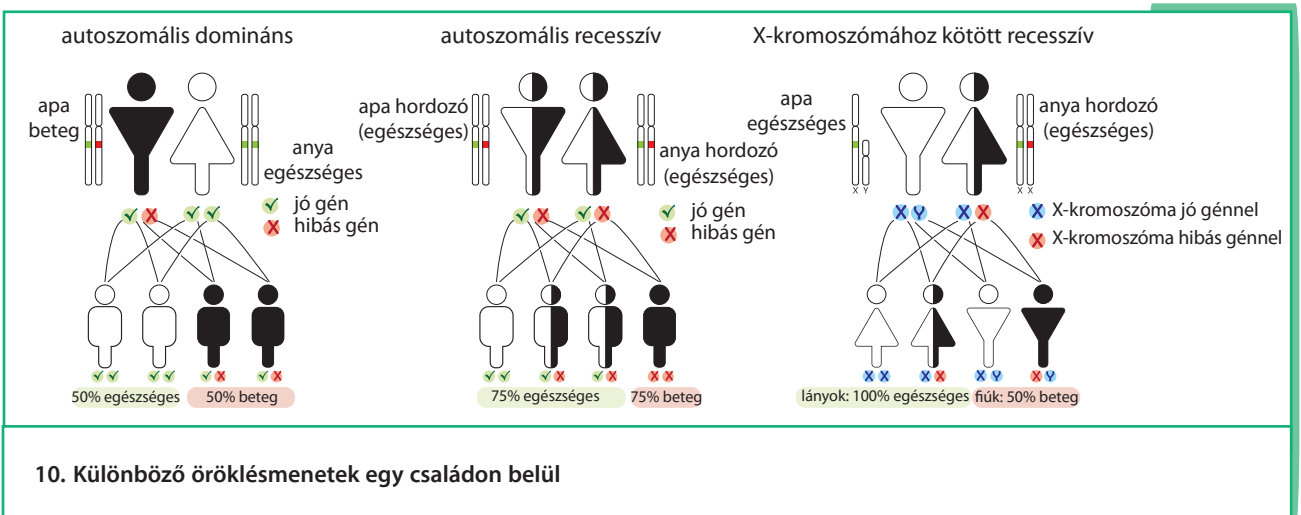


8. A szemszín egy öröklött tulajdonság, több gén kölcsönhatása alakítja ki

ta a vizsgált öröklődő betegség kialakulásának. A családfán a nőket körrel, a férfiakat négyzettel jelölik, az egymást követő generációk külön sorokban szerepelnek. A szülőpárokat egy vízszintes vonallal kötik össze, gyermekeiket a következő sorban születésük sorrendjében balról jobbra ábrázolják (9. ábra). A családfák elemzésekor meg kell határoznunk, hogy a vizsgált jelleg **autoszómán** (testi kromoszómán) vagy **ivari kromoszómához kötötten** öröklődik. Ugyancsak törvényszerűségeket mutat az is, hogy a jelleg **dominánsan** vagy **recesszíven** fejeződik ki az utódban (10. ábra).



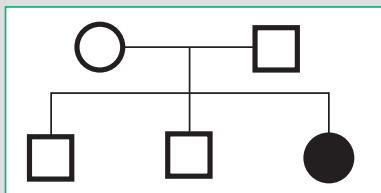
A születendő vagy már megszületett gyermek esetleges öröklődő betegségeinek időben történő megállapítása fontos feladat. Ha egy házaspárnak öröklődő betegségben szenvedő gyermeke születik, vagy szülei-nagyszülei közt előfordul ilyen eset, akkor célszerű, ha **genetikai tanácsadáson** kéri annak megállapítását, hogy tervezett vagy születendő gyermekükben mekkora valószínűséggel jelenhet meg a betegség, mekkora a kockázata annak, hogy beteg gyermekük születik.



### Gondolkodj!

#### 1. Hogyan öröklődik a jelleg: XR, XD, AR, AD?

(A négyzet férfiakat jelöl, a kör a nőket, sötét kör beteg nőt, az X ivari kromoszómát, az A autoszómát, az R recesszív, a D domináns jellegre utal.)



2. Képzeltetbi genetikai tanácsadóként az alábbi szülők fordulnak hozzád azzal a kérdéssel, hogy az általuk említett genetikai betegség vagy jelleg milyen valószínűséggel jelenhet meg gyermekükben. Gondold végig a felsorolt eseteket, és megfontoltan adj tanácsot! A szülők számára rajzolj családfát!

- A két szülő egészséges, de van egy cisztás fibrózisban szenvedő gyermekük. Mi a valószínűsége annak, hogy a következő gyermekük egészséges lesz?
- Egy egészséges házaspárnak albínó gyermeke született. Mekkora a valószínűsége annak, hogy második gyermekük egészséges lesz?
- Milyen gyermekei szülehetnek egy AB, Rh-negatív apának és egy 0, Rh-pozitív anyának?
- Egy egészséges anya azért aggódik, mert attól tart, hogy gyermeke örökölni fogja a nagypapa véralvadási zavarát. Jogos-e az aggodalom? Milyen esély van arra, hogy ez az örökletes betegség megjelenik a család következő tagján?

A mennyiségi tulajdonságok(at):

- valamilyen mértékkel, skálával jellemezhetők,
- több, kis hatású (minor) gén együttesen alakíthatja ki,
- gyakorisági grafikonjuk normál (statisztikus) eloszlást mutat, amely minimum-, átlag- és maximumértékkel jellemezhető,
- kialakulásuk a környezeti hatásoktól is függ.

A családfák a generációkon átívelő jellegzetességek öröklődésének feltárását teszik lehetővé.

Ezek az elemzések segítik az egyénre szabott gyógyászat tervezett terápiáit és eljárásait.

A családfák alapján az öröklött jelleg testi vagy ivari kromoszómához kötöttségét, a nemtől független vagy nemhez kapcsolt öröklődését lehet megállapítani, ennek alapján valószínűségi előrejelzés tehető.

## 37. Összefoglalás

# AZ EVOLÚCIÓ IX.



- 38. Az evolúció felismerése
- 39. Az evolúció mechanizmusa
- 40. A fajképződés lehetséges újtjai
- 41. Nagy lépések az evolúcióban

# 38.

## Az evolúció felismerése

1. Mit jelent az evolúció kifejezés?
2. Hogyan gondolkodtak az evolúció folyamatáról és mechanizmusáról az emberek?
3. Mi a darwini evolúciós elmélet lényege?
4. Ma is érvényes ez az elmélet?
5. Ki lehet győztes a létért való küzdelemben?

# Fontos!

### Feladat

Képzeld el, hogy a szó szoros értelmében idegenvezető leszel! Egy másik bolygóról érkező értelmes lényeknek kell elmondanod, hogy miért pont ilyenek a Föld élőlényei, mint amilyenek ők látják.

### Kiindulási pont

Az élő rendszerek működése (szerkezet és funkció, „hogyan” kérdések) aligha érthetők meg annak kialakulása, azaz evolúciós történetének ismerete nélkül („miért” kérdések).

### Kérdések

A képeket látva jogosan felmerülnek a következő kérdések: Miért vannak olyan élőlények, amelyek nagyon hasonlítanak egymásra, sok közös jellemzővel rendelkeznek, míg mások nem? A külső hasonlóság közelebbi rokonságot is jelent? Hogyan lehet megállapítani, melyik a közelebbi rokon, melyik a távolabbi? Miben mérhető a távolság? Melyik élőlény a közös ősök, mikor és miért lettek különbözőek?



**Mit gondolsz?**

A képen látható élőlények közül a delfinfajnak melyik élőlény a legközelebbi és a legtávolabbi rokona?



Közönséges ürge és a bobak (pusztai mormota)



Egy delfinfaj és egy cápafaj

Először is tisztázni kell néhány fogalmat, ami nem is olyan egyszerű, mert még a kutatók sem egyeztek meg mindegyikben. Ez önmagában nem gond, hiszen a tudomány eredményei változnak, és ennek fényében más megvilágításba kerülnek a korábbi tények.

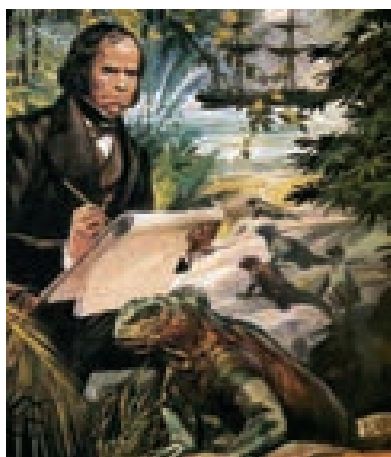
Ha az evolúció szó eredetének és értelmezésének utánanézzünk, akkor azt láthatjuk, hogy a „fejlődés”, „fokozatos változás” kifejezésekkel azonosítják. A latin eredetű szót a „kibontakozás” kifejezéssel érdemes leginkább a biológia nyelvére lefordítani. Ha az eddigieket összegezzük, a **biológiai evolúció** az élőlények (fokozatos) változását, történeti fejlődését foglalja magában. Tágabb értelemben az élőlények **örökölhető tulajdonságainak megváltozása** nemzedékről nemzedékre. A változás a tulajdonságok eloszlására vonatkozik, vagyis hogy az egyes tulajdonságok **mekkora gyakorisággal** fordulnak elő.



1. Darwin Föld körüli útja a Beagle fedélzetén



## Egy kaland, amelynek következménye örökre megmarad



2. Darwin a Galápagos-szigeteken

Az evolúció gondolata már az ókortól jelen volt a filozófusokban, tudósokban, de tudományosan is elfogadható magyarázatot az evolúció mechanizmusára először egy angol természettudós, Charles Darwin (1766–1848) adott. 1831 és 1836 között Föld körüli hajóúton vett részt, és tanulmányozta a különböző élőhelyeket és élőlényeket egyaránt (1. ábra). Tudományos módszere a tervszerű, minden körülményre kiterjedő pontos **megfigyelésekből**, kérdések felvetéséből, a gyűjtött **adatok** sokoldalú **elemzésén** alapuló **hipotézis** (felvetés, amely megfelel a tapasztalatoknak, és megfigyelt tényeket jól magyarázza) felállításából állt (2. ábra). Darwin más tudósok munkásságának eredményét összefüggésbe tudta hozni saját megfigyelési eredményeivel. Mindezek alapján magyarázatot talált és elméletet alkotott a fajok eredetére. Ez az elmélet

nemcsak a múlt és a jelen élővilág élőlényeinek eredetére és sokféleségére ad magyarázatot, hanem általa jövőbeni biológiai események is **előrejelezhetők**. Gondolatait *A fajok eredete* című könyvében publikálta, így az egész világgal megosztotta tudását (3. ábra).

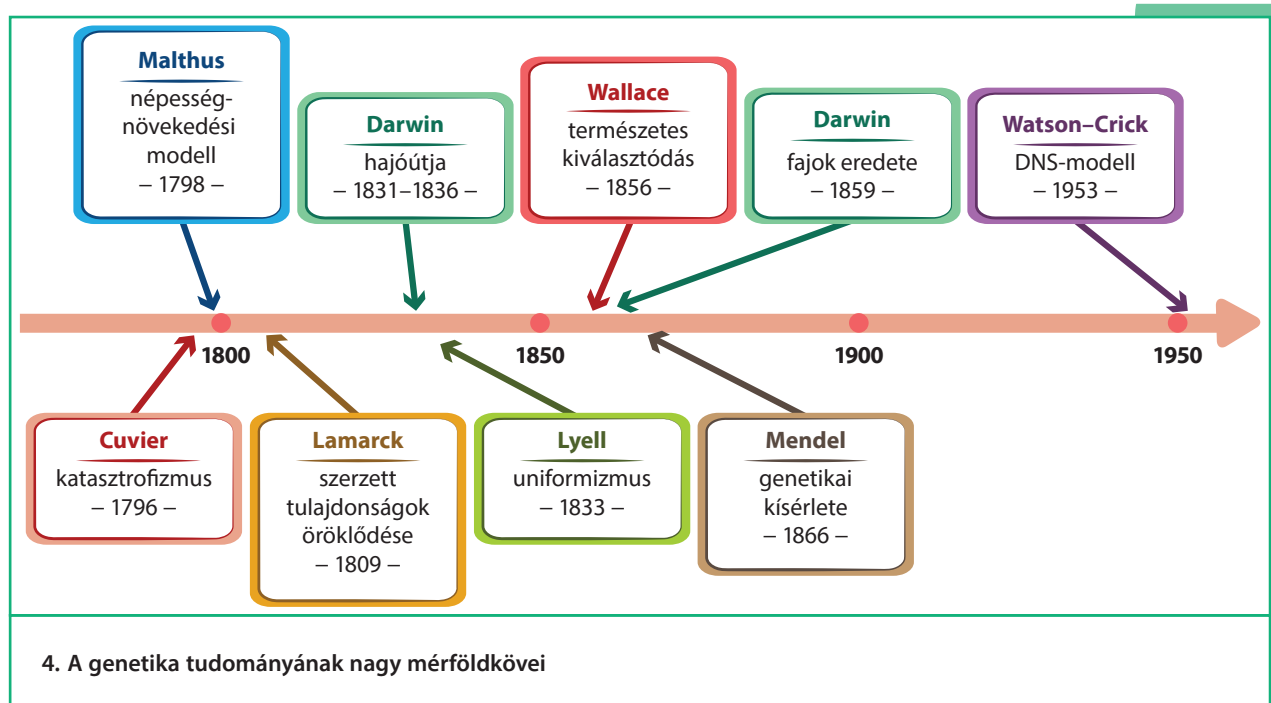
Mielőtt rátérnénk a darwini evolúciós elmélet összegzésére, vessünk egy pillantást arra, hogy kik azok a kutatók, akik hatottak Darwin gondolkodására. Az is látható, hogy a darwini elmélet és annak háttérében álló molekuláris mechanizmusok alapjait meghatározó DNS-modell megalkotása között közel száz év telt el (4. ábra)!



3. A fajok eredete egyik eredeti kiadása

### Ítéld meg!

Régi értelemben tudománynak, filozófiának vagy bölcseletnek nevezték a megismerő tevékenységek minden formáját, később ez a meghatározás jóval beszűkült. Melyeket alkalmaznád Darwin esetében?



4. A genetika tudományának nagy mérföldkövei

## Tudósok, akik hatottak Darwin gondolkodására



5. Georges Cuvier

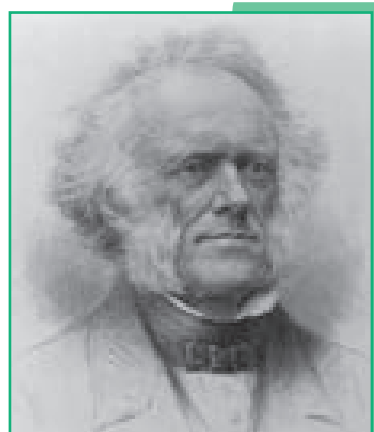
G. Cuvier (1769–1832) francia tudós, aki megalapozta a paleontológia (öslénytan) tudományát. Észrevette, hogy az üledékes kőzetek alsóbb rétegeiben található ősmaradványok (valaha élt élőlények maradványai) nagyobb mértékben különböznek a ma élőktől, mint a felsőbb rétegekben előfordulók. Feltételezte, hogy az élővilág történetében a katasztrófák kihalásokat okoztak, majd az élőlények a Földet újból és újból benépesítették (5. ábra).



6. Thomas Malthus

J.-B. Lamarck (1744–1829) francia természettudós azt fogalmazta meg, hogy a környezeti feltételek leküzdésében jobban használt testrészek erősebbek lesznek, és az így megszerzett tulajdonságok öröklődnek. Ezt a nézetet sokáig elutasította a tudomány. Ma már tudjuk, hogy a környezet képes befolyásolni tulajdonságainkat DNS-szinten is, és ez a mai molekuláris kutatások egyik központi témája (epigenetika).

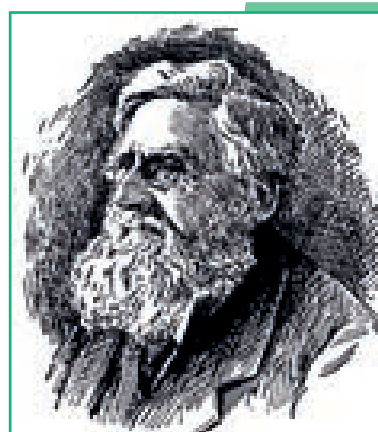
T. R. Malthus (1766–1834) angol közgazdász, népeségkutató matematikailag is megfogalmazta, hogy a nagyobb létszámú populációban több utód születik. A népesség nagyobb sebességgel (exponenciálisan) növekszik, mint a létfenntartáshoz szükséges javak mennyisége, vagyis a populációk növekedését a rendelkezésre álló táplálék mennyisége korlátozza (6. ábra).



7. Sir Charles Lyell

Ch. Lyell (1797–1875) skót geológus megállapította, hogy a Föld több száz millió éves. Megfogalmazta, hogy a földrajzi változásokat a múltban kialakító erők azonosak a ma is működőkkel, és ezek lassú, de állandó folyamatok (unifor-mizmus elve) (7. ábra).

A. R. Wallace teljesen függetlenül jutott ugyanarra a következtetésre, mint Ch. Darwin. Lényegében ő ösztönözte Darwint, hogy publikálja eredményeit (8. ábra).



8. Alfred Russel Wallace

### Magyarázd meg!

A tudományos elméletek és hipotézisek fontos tulajdonsága a cáfolhatóság. Miért?

### Reflektálj!

Válassz ki egy tudóst, és próbáld megfogalmazni, miért segíthette elő a darwini elmélet kialakulását! Fogalmazd meg, hogy a mai ismeretek alapján hogyan módosult a tudós által akkor leírt elmélet! Reflektálj a társad által elmondottakra is!

## Meséld el!

Először nézzük meg a darwini evolúciós elméletet megalapozó megfigyeléseket és következtetéseket. Utána próbáld elmondani ugyanezt saját szavaiddal egy történetbe ágyazva, csak a képek alapján!

Ehhez definiáljuk a populáció fogalmát a következőképpen: a faj egyedei által alkotott szaporodási közösség.

### Megfigyelések

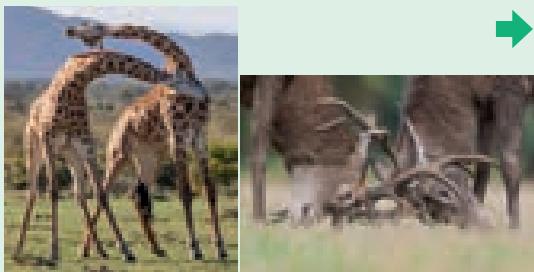
A populáció egyedei potenciálisan sokkal több utódot képesek létrehozni, mint amennyi a természetben megfigyelhető. A korlátozó tényező a (élő, élettelen) környezet.



A populációk egyedszáma közel állandó.



Az egyedek között küzdelem folyik az életben maradásért és a szaporodásért.



### Következtetések

Egy fajhoz tartozó különböző egyedek (változatok) eltérő túlélési és szaporodási valószínűséggel rendelkeznek. A természetes szelekció a kedvező egyedi különbségek és változatok megőrzéséhez és a károsak eltűnéséhez vezethet.

Ha vannak olyan változatok, amelyek olyan tulajdonsággal rendelkeznek, amelyek eredményeként túlélési és szaporodási teljesítményükben felülmúlják társaikat, és így a következő generációban több utódjuk lesz, akkor azt mondjuk, hogy nagyobb a rátermettségük (fitnessük).

A természetes szelekció (kiválasztódás) szerint azok a fenotípusok lesznek gyakoribbak, amelyek elősegítik az egyedek túlélési és szaporodási sikerét (növelik a rátermettséget).

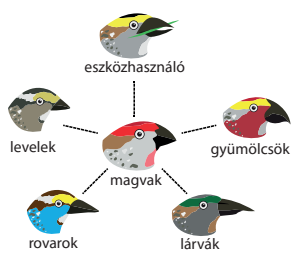


Mind a természetben, mind a mesterséges környezetben (háziiasítás) a fajok egyedei a sok hasonlóság mellett is változatosak, **különböznek** egymástól.

A különbségek nagyrészt **öröklődnek**.

A fajok **változnak**.

### Darwin-pintyek



A természetes szelekció(k) a faj tulajdonságainak megváltozásához vezethet és evolúció következik be.

Az új fajok a meglévő fajokból jönnek létre.



A küzdelemben azoknak a változatoknak a sikere várható, amelyek leginkább különböznek a közeli rokonaiktól a túléléshez és szaporodáshoz kapcsolódó szükségleteikben (a divergencia elve).

Megfordítva: a versengés gyengül, ha a változatok egyre különbözőbbekké válnak.

A Galápagos-szigeteken található pintyfajok **közös őse** Dél-Amerikában élt. Innen, a kontinensről kerültek át egyes példányok a szigetekre, és alakultak ki belőlük a galápagosi pintyfajok. Alkalmazkodó szétterjedésnek, **adaptív radiáció-nak** nevezzük azt a jelenséget, amikor az evolúció során egyetlen fajtól párhuzamosan egy egész sor különböző faj keletkezik. A pintyfajok szembetűnően a csőrük alakjában és méretében (de a hangjukban is) különböznek, más-más táplálékra specializálódtak. A földön élők életmódja hasonlít a dél-amerikai őse-

ik életmódjára (magevők), mások pl. rovarokkal táplálkoznak. 14 egymástól jól elkülöníthető ökológiai igényű faj jött létre. A madarak számbeli növekedését a rendelkezésre álló táplálék korlátozza. Mivel más-más táplálék a korlátozó tényező, így egymással nincsenek versenyben, vagyis az együttéléshez elegendő mértékben különböznek.

### Fedezd fel,

hogyan ír Darwin *A fajok eredete* című könyvében a házasítás során végbemenő változásokról!

## Megjegyzések, kiegészítések

1. A **rátermettséget** egyszerűen túlélési és szaporodási képességnek értelmezhetjük, amit kifejezhetünk az utódok abszolút számával. Például egy lepkefaj adott típusú egyedei által lerakott 100 petéjéből csak 1 éri meg az ivarérett kort, és lerak 200 petét, akkor az abszolút fitnessze  $0,01 \times 200 = 2$ .
2. A **szelekció** a fenotípusra hat, amit a genotípus, az epigenetikai tényezők és a környezet együttesen alakítanak ki. A fenotípus lehet anatómiai, élettani vagy viselkedésbeli jelleg is.
3. Ha a fenotípust meghatározó tényezők **szelekciós előnyt** biztosítanak az őket hordozó egyedeknek (növelik a rátermettségüket), akkor nagyobb valószínűséggel adódnak tovább a következő nemzedékekbe (jobban elterjednek a következő generációban).
4. A természetes szelekció eredményeként felhalmozódó jellegek a környezethez való **alkalmazkodást** (adaptációt) hozzák létre (9. ábra).



9. Nyírfaaraszoló lepke a nyírfa törzsén

### Válassz ki

egy élőlényt, és próbáld elmondani a saját szavaiddal, hogy milyen fenotípussal, milyen tulajdonságokkal rendelkezik, és ezek hogyan segítették elő a környezethez való alkalmazkodását!

## Kritikus pontok

1. A szexuális kiválasztódásról (szelekcióról) így írt Darwin: „Általában a legerőteljesebb hímek hagyják a legtöbb utódot, azok, amelyek a legjobban illeszkednek a természetben betöltött helyükhöz. Sok esetben azonban a győzelem nem annyira az általános erőtől, mint speciális, csak a hímek által birtokolt fegyverektől függ. Egy agancs nélküli szarvasbikának vagy egy sarkantyútlan kakasnak ugyanis kevés esélye van sok utódot hátrahagyni. A szexuális kiválasztódás, annak révén, hogy mindig a győztest engedi szaporodni, legyőzhetetlen bátorsággal, hosszú sarkantyúkkal és erőteljes szárnyakkal ruházza fel a kakast a sarkantyús lábbal való küzdelemhez, majdnem ugyanúgy, ahogy a kegyetlen kakasviadal-rendező teszi akkor, amikor gondosan a legjobb kakasait válogatja ki a tenyésztésre.” A szexuális kiválasztódás Darwin nem tartotta a természetes kiválasztódás részének. Később, az öröklési elméletek ismeretében azonban ez a tényező is beilleszkedett a természetes szelekció folyamatába (annak része lett).

2. Nem szükséges, hogy a küzdelem alatt fizikális küzdelmet és az azt követő pusztulást értsünk. Ez csak az egyik lehetőség. A nyírfaaraszoló lepkének (*Biston betularia*) a világos és a sötét változata is ismert. A világos változat (vad típus) az elterjedtebb Angliában, de nem mindig volt így. Az ipari forradalom idején, a megnövekedett széntüzelés miatt a világos nyírfakéreg sötétre szennyeződött. Ennek eredményeképpen a világos változatot könnyebben észrevették a ragadozó madarak, és ezért számuk csökkent, míg a sötét változatoké nőtt, ami az utódok számban is megnyilvánult. Itt semmilyen küzdelemre nem került sor, hanem a megváltozott környezet hozott létre egy szelekciós nyomást (10. ábra).
3. Kritikus pont a populáció és a faj fogalma is a populáció valamilyen vizsgálati szempont alapján azonosnak tekintett élőlények csoportja. A populáció (genetikai értelemben) az egy fajhoz tartozó, egymással szaporodni képes egyedek csoportja, szaporodási közösség. Az ökológiai populációfogalom tágabb értelmű (lásd ökológia). Többféle fajfogalom létezik, mindegyiknél más a hangsúly. Nézzünk meg ezek közül néhányat! A biológiai fajfogalom esetében a populációk azon csoportja alkotja a fajt, amelyek egyedei képesek egymással szaporodni (termékeny utódot létrehozni), más csoportoktól tehát a szaporodás terén elkülönültek. A biológiai fajfogalom értelemszerűen nem alkalmazható a kihalt fajokra és a nem ivaros úton szaporodó élőlényekre. Az evolúciós fajfogalom a közös őssel rendelkező élőlények csoportját tartja egy fajnak, amelyek önálló egységet alkotnak, tehát elkülönülnek más egységektől. Az ökológiai fajfogalom egy adott környezet erőforrásaihoz (lásd ökológiai fülke) legjobban alkalmazkodott élőlények csoportját tekinti fajnak.



10. A kép négy lepkéje közül csak az a kettő szembetűnő, amelyeknek a színe az adott háttértől elüt

### Helyezd el időben!

Melyik ipari forradalommal kapcsolatos a nyírfaaraszoló lepke története?

### Fedezd fel!

2012-ben (Science) felfedezték azt a gént is, amely felelős a lepkék szárnymintázatának kialakításáért. Olvasd el a *Nature*-ben 2016-ban megjelent cikket, számolj be, milyen új fejlemény derült ki a gén (*cortex* a neve) funkciójának más rovarokban is történő vizsgálatokor!

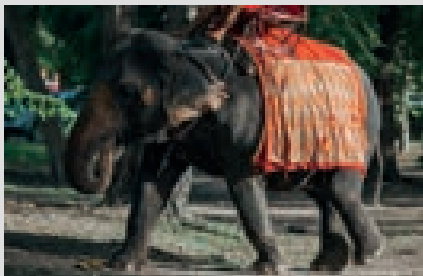
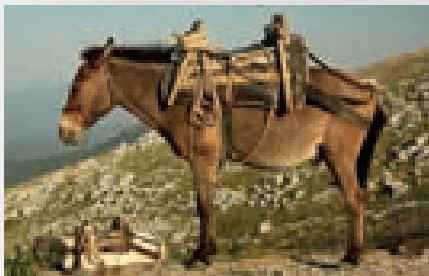
### Gondolkozz!

Melyik képen található egyedek összessége tekinthető genetikai értelemben egy populációnak?



**Dönts okosan!**

A képeken látható két emlős közül melyik nem felel meg a biológiai fajfogalomnak? Miért nem?



A biológiai evolúció fogalmán a köznap életben az élővilág történeti fejlődését értjük, vagyis azt, hogy hogyan és miért alakultak ki az évmilliók során az élővilág egyes csoportjai. Tudományos értelemben az élőlények öröklhető tulajdonságainak megváltozása nemzedékről nemzedékre. A változás a tulajdonságok eloszlására vonatkozik, vagyis hogy az egyes tulajdonságok mekkora gyakorisággal fordulnak elő.

Az evolúciót tehát szaporodás (képes sokszorosodni, utódokat létrehozni), öröklődés (sokszorosodás során megtartja a típusát, a szülői típus megjelenik az utódban is) és változatosság (több típus, illetve a típusoknak generációnként eltérő gyakorisága) jellemzi. Ebben az értelemben nem szükséges az evolúció során egy új típusnak, új tulajdonságnak a megjelenése, elég a meglévő típusok arányainak, gyakoriságának a megváltozása.

Az evolúció mechanizmusára (más tudósok eredményeit is figyelembe véve) Charles Darwin adott először tudományos magyarázatot. Elméletét *A fajok eredete* című könyvében publikálta.

Ebben a fajok eredetére vonatkozóan a következő megállapítások vonhatók le: Több utód születik, mint amennyi életben tud maradni.

Küzdelem folyik a létért, mert az egyedszám a környezet eltartóképessége feletti.

Az egyedek a sok hasonlóság mellett különböznek is egymástól.

A különbségek öröklődhetnek.

A környezethez való alkalmazkodás szempontjából az előnyös tulajdonságokkal rendelkezőknek nagyobb szaporodási és túlélési esélyük van (természetes szelekció).

Az ember mesterséges szelekciós tevékenysége a természetes szelekció működéséhez hasonló.

A szelekció során megmaradt egyedek utódai önmagukhoz hasonlóak lesznek, így ezek a változatok az egymást követő generációkban gyakoribbak lesznek.

Darwin szerint a különböző változatok új fajokká különülhetnek el.

## 38. Összefoglalás





# 39.

## Az evolúció mechanizmusa

1. Hogyan zajlik az evolúció?
2. Az evolúció véletlenszerű vagy nem véletlenszerű folyamatokon alapul?
3. Miért halnak ki fajok?
4. Miért fontos az élőlények változatossága?
5. Melyik szerveződési szinten zajlik az evolúció?

### Idézd fel!

- Az egyedek túlélési és szaporodási sikere az egyedek tulajdonságain múlik.
- Ha bizonyos változatok túlélési és szaporodási teljesítményükben felülmúlják társaikat, és így a következő generációban több utódjuk lesz, akkor azt mondjuk róluk, hogy nagyobb a rátermettségük (fitneszük).
- A természetes szelekció (kiválasztódás) alapján azok a fenotípusok lesznek gyakoribbak, amelyek elősegítik az egyedek túlélési és szaporodási sikerét (növelik a rátermettséget).
- Egy adott fenotípus sikere környezetfüggő. A gének és a környezet közötti kapcsolat a fenotípus (1. ábra).



1. A sarki róka fehér színe a havas környezetben előnyös, de másutt hátrányos volna

## Milyen mechanizmusok biztosítják az élőlények változatosságát?

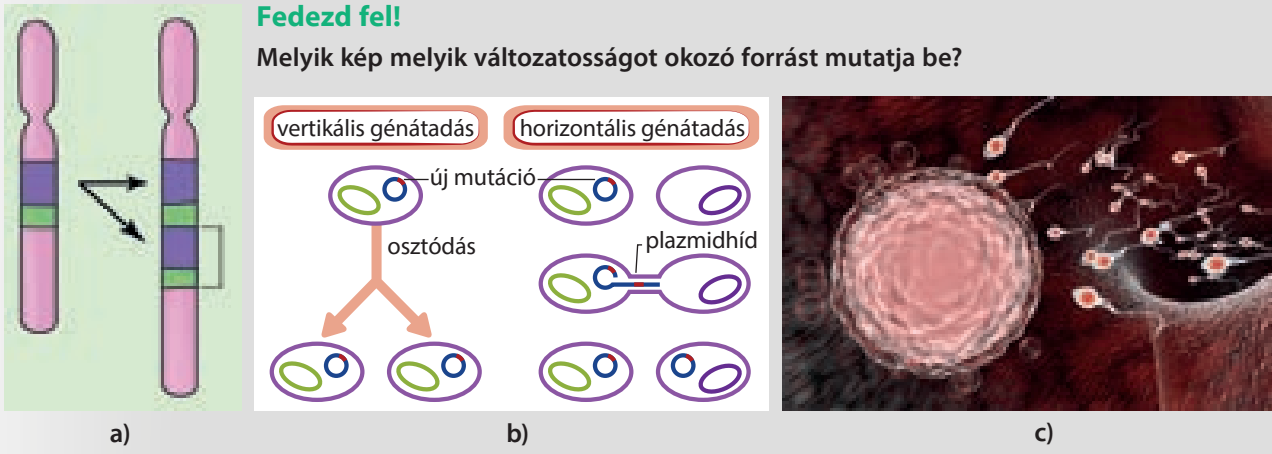
A továbbiakban nézzük meg, hogy mit értünk változatosságon! **A változatosság teremti meg ugyanis a természetes szelekció, az alkalmazkodás, az evolúció lehetőségét.**

### A változatosság eredete

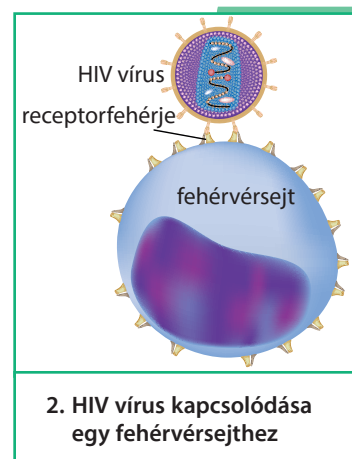
A korábbiakban említettük, hogy mind a házasítás során, mind a természetben megfigyelték (Darwin és kortársai is) az élőlények sokféle változatát. Miért fontos tényező ez?

Az evolúció nyersanyagai a változatok (variációk). Milyen mechanizmusok hozhatják létre a változatokat? Nézzünk erre példákat!

- Az örökítőanyagban bekövetkező öröklődő változás, a **mutáció** (génmutációk, kromoszómamutációk pl. génduplikáció, genommutációk),
  - a meiózis során létrejövő **rekombináció**,
  - az ivarsejtek **véletlenszerű találkozása** megtermékenyítéskor,
  - a **horizontális géntranszfer** (pl. endoszimbiózis).
- Általánosságban kifejezve a **genomot érintő** számos változás.



Érdekes, hogy az emberek egy része védett a HIV, az AIDS kórokozója ellen, mert egy, a sejtek felszínén lévő jelfelfogó receptorfehérjét (CCR5-receptor) kódoló génjükben (delta-32) mutáció történt, így a sejtjeikbe nem jut be a vírus. A receptor lényegében itt olyan szerepet tölt be, mint egy ajtó. A vírusnak is a receptorhoz kell kötődnie, hogy bejusson a sejtbe (2. ábra). Ha a receptor génje megváltozik, a fehérje nem jut a felszínre, nincs ajtó, amin keresztül bejuthat. Az is kiderült, hogy az ezzel a mutációval rendelkező emberek érzékenyebbek más betegségekre (pl. influenza).



## Hogyan terjedhet a változatosság?

### Nem véletlenszerű folyamat: a szelekció

Először a populáció szintjén fogalmazzuk meg, mit értünk szelekció alatt!

A szelekció (kiválogatódás) a nagyobb túlélési és szaporodási valószínűséget jelenti bizonyos tulajdonságú egyedek számára, ami megmutatkozhat az adott tulajdonsággal rendelkező egyedek számában a populációban. Fajtái: a természetes és a mesterséges szelekció.

Természetes szelekció esetében az ökológiai környezet mint ható tényező az előidéző oka a populáció adott tulajdonsággal rendelkező (változatú) egyedei fennmaradásának. A természetes szelekció eredményeként felhalmozódó jellegek a környezethez való alkalmazkodást (adaptációt) szolgálják. A természetes szelekció eredményeként a populációkban a környezethez egyre **jobban alkalmazkodó fenotípusok** terjednek el. Az evolúciónak ezt a formáját **adaptív evolúciónak** nevezzük.

### Ítéld meg!

Szelekciós előny, hátrány, vagy éppen közömbös a delta-32 mutáció? Mitől függ?

## Következtess!

Melyik szám melyik rócafajt jellemzi?

A három rócafaj közül a szubtrópusi éghajlaton élő **1.** testtömege a legkisebb, nagy füleinek felületén keresztül pedig jelentős hőleadásra képes. A tajgán és a tundrán élő **2.** testtömege nagy, dús szőrzete segít megőrizni a megtermelt hőt. Testfelülete a lehető legkisebb, apró fülein is kevés hő távozhat a környezetbe.

A **3.** a mérsékelt övezetben él, hőtermelése és hőleadása is közepes.

Állíts fel egy hipotézist, és igazold!

Milyen összefüggés van az állatok testfelépítése és a földrajzi elterjedése között?

Hogyan bizonyítanád a feltevéseidet?



Sarki róka



Vörös róka



Sivatagi róka

## Légy szabályos!

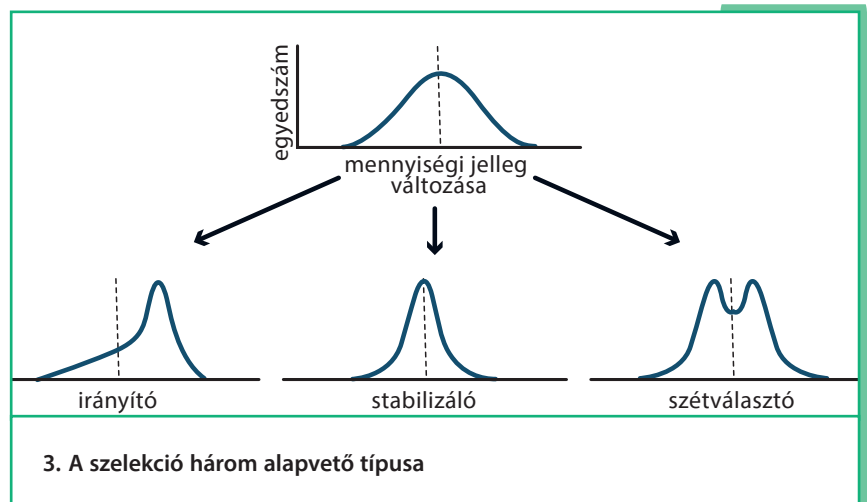
Mindegyik itt felsorolt szabályra keressél példát!

Allen-szabály, Bergman-szabály, Hesse-szabály, Gloger-szabály

## A szelekció iránya

A természetes szelekció hatásait, a természetes kiválogatódás elvét és evolúciós szerepét Charles Darwin elsősorban a mennyiségi jellegeken tanulmányozta. A mennyiségi jellegek tekintetében a populációk legtöbbször ún. **normál eloszlást** mutatnak, vagyis a legtöbb egyed testtömege, testhossza, hőigénye, pigmentációjának mértéke stb. egy átlagérték körül mozog, a szélső értékekhez jóval kevesebb egyed tartozik. Mennyiségi jellegeket vizsgálva a természetes szelekciónak három alapvető típusa van (3. ábra).

**Irányító szelekció** esetén a populációra jellemző átlag valamelyik lényeges tulajdonság tekintetében az egyik szélső érték felé tolódik el. Kiváltó oka a környezet tartós egyirányú változása (pl. lehűlés, felmelegedés, környezet-szennyezés). Ha egy élőhelyen az



átlaghőmérséklet tartósan emelkedik, akkor az a populáció melegkedvelő egyedeknek kedvez, ha pedig csökken, akkor a hidegkedvelők kerülnek előnyösebb helyzetbe. A nyírfaaraszoló lepkék sötét változatának nagyobb arányú elterjedésében a környezetszennyezés játszott szerepet.

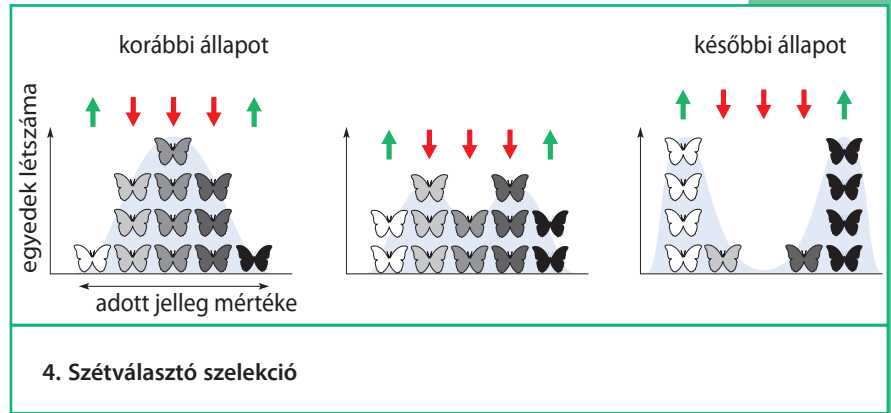
Az irányító szelekció fontos evolúciós tényező, amely **egy kiindulási fajból új faj** létrejöttéhez vezethet.

A **stabilizáló szelekció** kiküszöböli a populációból a szélső értékekhez tartozó fenotípusokat. Ez a jelenség akkor figyelhető meg például, ha az élőhely átlaghőmérséklete állandó. Egy másik példa a sarlósejtes vérszegénység esetében a heterozigóták rezisztenciája a maláriával szemben.

A **szétválasztó szelekció** a populáció köztes (leggyakoribb) fenotípusai ellen irányuló szelekciós nyomás, vagyis a szélső értékeket részesíti előnyben. A szétválasztó szelekciónak is fontos szerepe lehet az evolúcióban. A **kiindulási fajból két új faj** jöhet létre (4. ábra).

A mutáció-szelekció folyamatban a nagyobb rátermettségű egyed kiszoríthatja a kisebb rátermettségűt, ami a diverzitás csökkenéséhez vezet. A természetben azonban működnek olyan mechanizmusok, amelyek ez ellen hatnak, például egy recesszív jelleget meghatározó allél a heterozigótákban fennmarad, mert védelmet nyújt (heterozigóta-fölény): pl. sarlósejtes vérszegénység esetében a maláriás területeken vagy cisztás fibrózis esetében a kolera (esetleg a tuberkulózis) ellen. A heterozigóta-fölény tehát a változatosságot fenntartó tényező lehet.

**Mesterséges szelekció** esetében az ember az előidézője az adott tulajdonságokkal rendelkező egyedek fennmaradásának, nagyobb egyedszámának (pl. állattenyésztés, növénytermesztés) (5. ábra).



5. A nemesítés legelső formája az irányító szelekció volt, mára ennél sokkal kifinomultabb módszerekkel és eszközökkel tudják előidézni a kívánt tulajdonságokat

# Alkoss! Mutasd be!

Készíts egy kiselőadást vagy egy kisfilmet egy fajta tenyésztésének vagy termesztésének bemutatására. Rövid történeti áttekintés, a fajta bemutatása után térj ki az előnyökre, problémákra egyaránt! Oszd meg a kiselőadást, kisfilmet a többiekkel is!

## Véletlenszerű folyamatok

Vannak olyan mechanizmusok is, amelyek során szintén változik az egy adott tulajdonsággal rendelkező egyedek aránya a populációban, de nem a környezet hatása miatt (ami a környezethez való alkalmazkodáshoz vezet), hanem a **véletlen** miatt. A **genetikai sodródás** esetében például a populáció létszáma annyira alacsony, hogy egy adott tulajdonságot hordozó egyedek aránya véletlenszerű. Kialakulhat kis populáció katasztrófák következtében is, amikor véletlenszerű, hogy melyik egyed marad meg. A kis populáció az eredeti populáció génkészletének kis hányadát tartalmazza. Ez elvezethet a kis populáció kipusztulásához, vagy akár egy új faj képződéséhez is.



Nézzük az első esetet! Kis populációban gyakran felléphet **beltenyészet** (rokon vagy azonos genotípusú egyedek szaporodása), ami lecsökkenti a sokféleséget, így pl. egy járvány esetén nem lesz túlélő változat. **Kihalási küszöbnek** nevezzük azt a kritikus populációnagyságot, ami alatt a populáció már nem szaporodóképes. Ez fajoként eltérő nagyságú. Nagyragadozóknál néhány tucat, kisebb emlősöknél ennél több egyedet jelent. Az ilyen kis egyedszámú populációk génállománya a genetikai sodródás és a beltenyésztés miatt egyre romlik, csökken az egyedek életképessége és szaporodási képessége, ami egy bizonyos ponton túl a populáció kihalásához vezet.

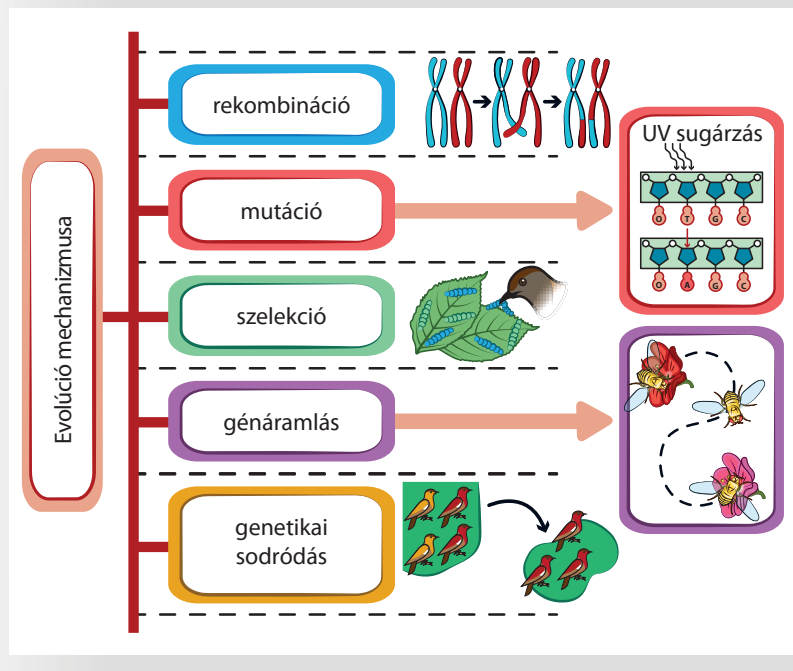
Egy másik esete a genetikai sodródásnak **az alapító hatás**. Néhány egyed kiszakad egy addigi nagyobb populációból, majd attól elszigetelt helyen a magukkal vitt töredék génkészlettel önálló populációt alkotnak. Akár új faj képződéséhez is vezethet (pl. szigetek fajai). A genetikai sodródásra példa ember esetében a 0-s vércsoport gyakorisága az amerikai őslakosok esetében.

**Génáramlásról** beszélünk, ha valamely gén (illetve annak alléljai) átjut valamely faj egyik populációjából a másikba, pl. az egyedek vándorlása útján. Például ember esetében a B vércsoport megjelenése Európában. A B vércsoport ázsiai, míg az A vércsoport észak-európai népcsoportokra jellemző.

Kb. 65 millió évvel ezelőtt következett be az egyik legismertebb kihalási hullám, amely végzett a fajok mintegy felével, köztük a dinoszauruszokkal is. Kutatók szerint nem az alacsony kihalási ráta, hanem a helyreállítási és alkalmazkodási képesség vezetett az emlősök virágzásához.

## Mutasd be!

Az alábbi ábra alapján foglald össze az evolúció mechanizmusát!





## Kihalás szélén

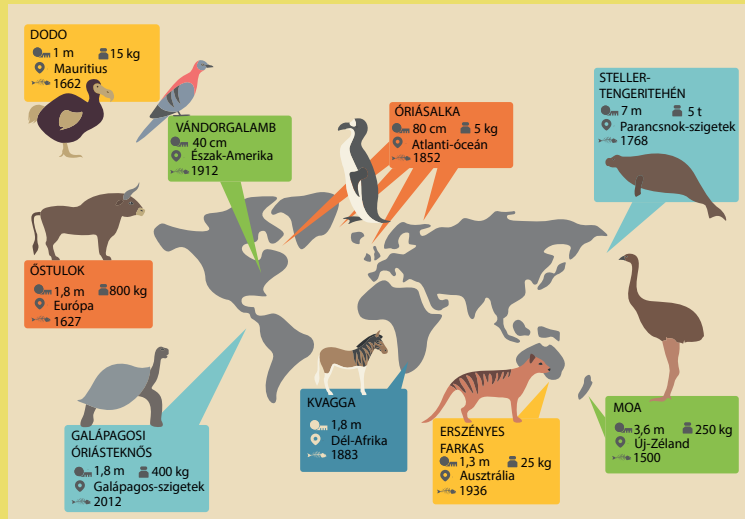
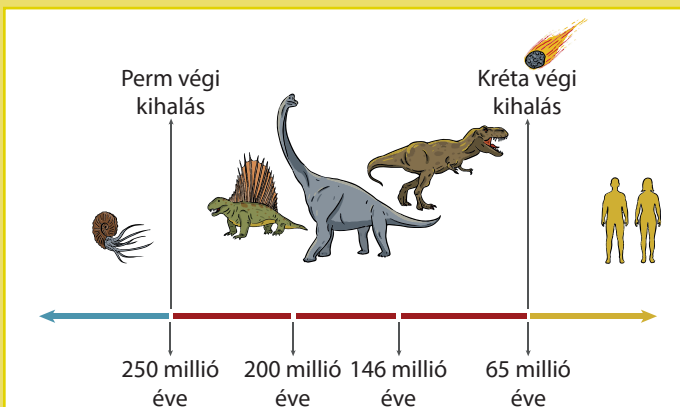
A világ leggyorsabb szárazföldi emlőse, a gepárd a kihalás szélén áll. A kőületek tanúsága szerint elődei több millió éven át nagy egyedszámban népesítették be az ázsiai és az afrikai kontinens füves területeit. Az egykor oly sikeres ragadozó mai populációi már csak Dél- és Kelet-Afrikában élnek, népességeik létszáma 20 ezer alá csökkent.

A gepárdok veszélyeztetettségének fő oka a genetikai sokféleség elvesztése. A vizsgálatok szerint a ma élő egyedek genetikai állománya csaknem teljesen azonos, genetikai sokféleségük 0%. A tudósok azt feltételezik, hogy mintegy 10–12 ezer évvel ezelőtt a gepárdpopulációk egyedszáma valószínűleg egy járvány következtében hirtelen, drasztikusan csökkent. A palacknyakhatás miatt a megmaradt kis létszámú populációk korábbi genetikai sokfélesége eltűnt. Ráadásul az alacsony egyedszám miatt fellépő beltenyésztés tovább csökkentette a genetikai sokféleséget, megnőtt azon egyedek száma, amelyek egyes káros, a mai populációk fennmaradását közvetlenül veszélyeztető recesszív allélokra homozigóták. A gepárdok különösen érzékennyé váltak egy fertőző bélgyulladás okozó vírusra. A hímek körében gyakori egy öröklődő rendellenesség, amelynek következtében ivarsejtjeik ostora szabálytalan alakú, emiatt a termékenység nagyon alacsony. A megszülető utódok gyengén fejlettek, ami a fizikai teljesítőképesség romlásához vezet. Ráadásul a gepárdok többnyire magányosan vadásznak, ez pedig tovább csökkenti versenyképességüket élőhelyük nagyragadozóival, az oroszánokkal szemben.

A tudósok azt feltételezik, hogy mintegy 10–12 ezer évvel ezelőtt a gepárdpopulációk egyedszáma valószínűleg egy járvány következtében hirtelen, drasztikusan csökkent. A palacknyakhatás miatt a megmaradt kis létszámú populációk korábbi genetikai sokfélesége eltűnt. Ráadásul az alacsony egyedszám miatt fellépő beltenyésztés tovább csökkentette a genetikai sokféleséget, megnőtt azon egyedek száma, amelyek egyes káros, a mai populációk fennmaradását közvetlenül veszélyeztető recesszív allélokra homozigóták. A gepárdok különösen érzékennyé váltak egy fertőző bélgyulladás okozó vírusra. A hímek körében gyakori egy öröklődő rendellenesség, amelynek következtében ivarsejtjeik ostora szabálytalan alakú, emiatt a termékenység nagyon alacsony. A megszülető utódok gyengén fejlettek, ami a fizikai teljesítőképesség romlásához vezet. Ráadásul a gepárdok többnyire magányosan vadásznak, ez pedig tovább csökkenti versenyképességüket élőhelyük nagyragadozóival, az oroszánokkal szemben.

# Alkoss!

Készítsetek közösen egy posztert, amely akár egy, akár több faj esetében is bemutatja kihalásuk okát, idejét, következményeit!



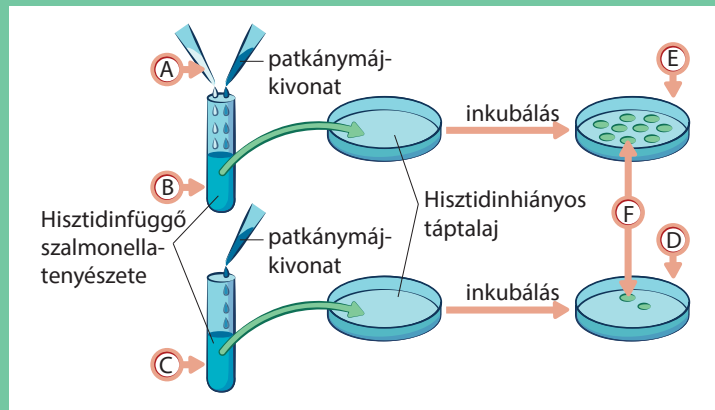


## Alkalmazzuk a mutációt és a szelekciót!

# Fedezd fel az Ames-tesztet!

Internetes keresés (cikkek, animációk, videók) alapján gyűjtsél minél több információt a tesztről! A felmerülő kérdéseket küldd be a csoportba és a tanárodnak!

Bruce Ames egy nagyon érzékeny tesztet dolgozott ki annak vizsgálatára, hogy egy adott anyag (kémiai vegyület) okoz-e mutációt. Ennek vizsgálata azért fontos, mert minden mutációt okozó anyag egyben rákkeltő is lehet. A teszt lényege, hogy hisztidinfüggő szalmonellabaktériumokon vizsgáljuk, hogy a baktériumok hibás génjét a vizsgált anyag által okozott mutáció visszaalakítja-e normális génné. A hisztidin a húsféle aminosav egyike, melyet egy hisztidinfüggő mutáns szalmonellabaktérium nem tud előállítani, mert a hisztidint előállító génje mutációja miatt nem működőképes.



A: a vizsgálandó anyag  
B–C: hisztidinfüggő szalmonellatenyészetek  
D–E: Petri-csészék, tenyészetek  
F: baktériumtelepek

### Válaszolj az alábbi kérdésekre!

Mi volt a kísérlet célja?

Mi volt itt a kontrollkísérlet?

Miért fordulhat elő, hogy a baktériumfoltok nagysága különböző ugyanazon tenyészetben?

Miért fordulhat elő, hogy a baktériumfoltok száma különböző a két tenyészetben?

## Kiegészítések

A változatosságot a biológiai szerveződés különböző szintjein értelmezhetjük. Ne feledjük, a magasabb szerveződési szint magában hordozza az alacsonyabb szerveződési szintek diverzitását is. Megkülönböztetjük a genetikai, faji és életközösségi szintű sokféleséget. Evolúciós szempontból a genetikai sokféleség tekinthető kulcsfontosságúnak (az alkalmazkodás és evolúció előfeltétele), a többi szint is ezen alapul.

### Egyed alatti szerveződési szintű változatosság

A gének szintjén azt jelenti, hogy **egy gének minél több változata** (allélja) van.

### Egyedszintű változatosság

A tulajdonságokat egyedekhez rendeljük. Egyedszintű tulajdonságok változatosságának a magyarázatához a gének és a tulajdonságok kapcsolatát (korábban már volt erről szó) kell felelevenítenünk. A genotípus tágabb értelemben egy egyed genetikai összetételét írja le, melyet a genomjában, a DNS-ben található informá-

ció határoz meg. Szűkebb értelemben a genotípus fogalma egy adott gén változataira vonatkozik, amelyek kombinációja képezhet egy genotípust, amely az azt hordozó élőlény fenotípusának kialakításában játszik szerepet. Egy-egy génnek a különböző egyedekben más-más változata lehet. A genotípus-fenotípus összefüggése igen áttételes. Egy gén több tulajdonság kialakításában is részt vehet, illetve egy tulajdonságot több gén együttesen, egymással kölcsönhatásban alakíthat ki. Éppen ezért csak a gének alapján nem lehet a pontos fenotípust megmondani (nagyon ritka az „egy gén – egy tulajdonság” eset). Sokkal inkább **génhálózatok** alakítják ki a fenotípust, az epigenetikai tényezőkkel (génműködések megváltoztatásával) és a környezettel együttesen.

**Egy adott genotípushoz tartozó egyedek** a génhálózatok működése és a különböző epigenetikai és környezeti hatások miatt **más-más fenotípusúak lehetnek**. Egyedszinten ez **anatómiai, élettani** vagy **viselkedésbeli** különbségeket jelenthet.

### Fajon belüli, populációk közötti változatosság

Az adott fajhoz tartozó egyedek szaporodási közösséget, **populációt** alkothatnak. A populációgenetikában egy egyedet egy gén képvisel, és egy génnek populációs szinten több száz változata lehet. Populáció szintjén a különböző tulajdonságokat hordozó egyedek egyedszáma, illetve az ebből számítható **gyakorisága** más-más lehet. Az eltérő tulajdonságok mögött eltérő génváltozatok lehetnek, így a különböző populációkban más-más allelgyakoriságok fordulhatnak elő.

Minél nagyobb genetikai (és fenotípusbeli) változatossággal rendelkeznek a populációk, annál nagyobb valószínűséggel alkalmazkodnak a különböző környezeti feltételekhez (6. ábra).

### Fajok közötti változatosság

Sokszor szembeűnően, a külső megjelenés alapján is jól elkülöníthetők a fajok, amelyek eltérő élőhelyekhez alkalmazkodtak (7. ábra).



6. Fajon belüli változatosságra jó példát mutatnak az igen különböző kinézetű kutyafajták



7. Változatosság a fajok között

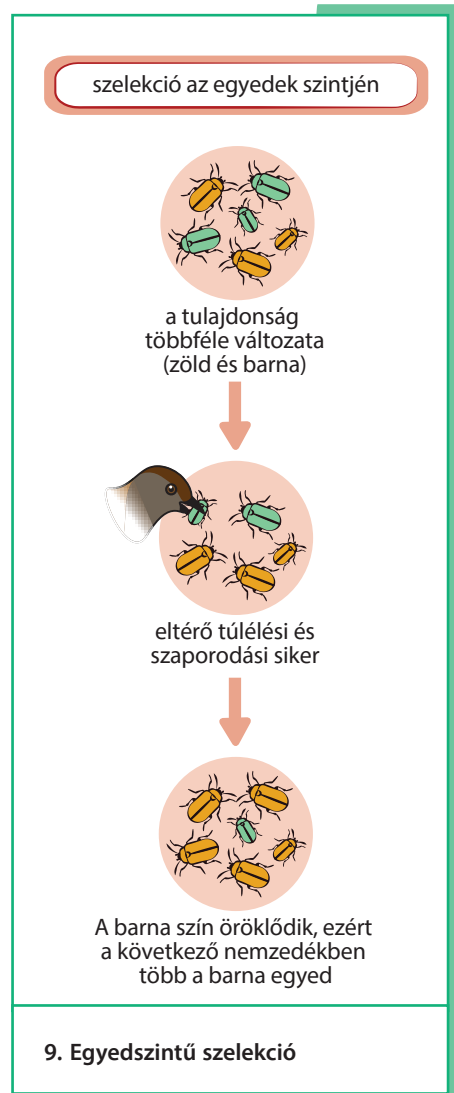
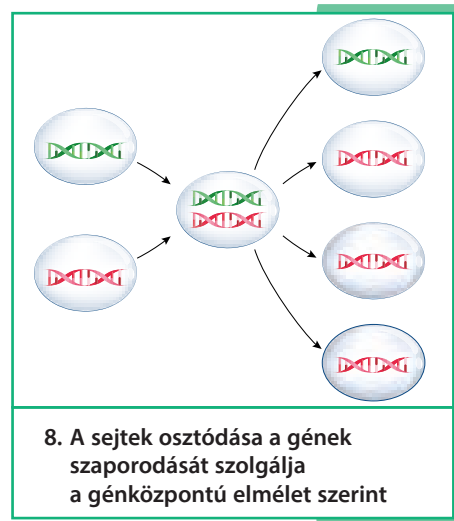
### Válj szakértővé!

Válassz ki egy szintet, tanulmányozd mélyebben! Ezután tapasztalataitokat, eredményeiteket kölcsönösen osszátok meg egymással!

## Kritikus pont I. – Mi a szelekció egysége?

A következőkben áttekintjük, hogy különböző nézőpontok szerint melyik szerveződési szinten zajlik a szelekció. A szelekció előfeltétele a fitnessre is hatással lévő változatosság.

- A gének központú elmélet szerint a **gének** a szelekció egységei. Minden evolúciós változás visszavezethető a génekre, és a gének mutációja és szelekciója zajlik az evolúció során, például ha egy géneváltozat (allél) nagyobb valószínűséggel másolódik és kerül át a következő nemzedékbe, mint egy másik. A szexuálisan szaporodó fajoknál kizárólag az egyedi gének adódnak át változatlanul nemzedékeken keresztül, ezért csakis ezek minősülhetnek a szelekció egységének. Az önzőgén-elmélet szerint a gének úgy változnak, hogy a saját túlélésüket és szaporodásukat biztosítsák, azt élőlények „csak” hordozói a géneknek, amelyek megőrzik és továbbadják ezeket (8. ábra).
- Egyed** (gének hálózatai). A gének funkciói, illetve a funkciót meghatározó kódoló génszakaszok hosszú idő alatt sem változtak annyit, hogy magyarázatul szolgáljanak az állandóan változó környezethez való alkalmazkodáshoz. A változások (mutációk) olyanok, hogy általában nem okoznak funkcióvesztést (pl. citokrómok). Ha a mutáció eredményeként mégis bekövetkezik funkcióvesztés, akkor ez szintén nem szolgálja a változó környezethez való alkalmazkodást. Mint kiderült, sokkal nagyobb szerepe van az alkalmazkodásban a gének **szabályozó részleteinek**, illetve a gének közötti **együtműködéseknek** (génhálózatok). Ha a gének nagyrészt változatlanok, akkor a környezethez való alkalmazkodásban szerepet játszó új tulajdonságok a meglévő gének közötti dinamikus (változó) kapcsolatokból eredhetnek. A gének összessége (kapcsolataikkal együtt) az egyed szintjén a szelekció egysége, mert az általuk meghatározott tulajdonságok az egyedhez köthetők (9. ábra).
- A **populációgenetikában** egy egyedet egy gén képvisel, így a génmutáció az egyedek szintjén valósul meg. Megfogalmaztuk már korábban is, hogy a populáció az egy fajba tartozó egyedek szaporodási közössége. A bekövetkező mutációk **megváltoztatják a populáció alléloszétételét**, és növelhetik a változatosságát. Egy génnek populációs szinten több száz változata lehet. A tulajdonságok változását az egyedek szaporodásán keresztül értelmezzük. Evolúciós hatás sok kutató szerint így csak a populációk szintjén értelmezhető. Egy egyed nem, de egy populáció a sok egyedén keresztül tartalmazhatja a faj teljes génkészletét (összes allélváltozatát). Minél nagyobb genetikai (és fenotípusbeli) változatossággal rendelkeznek a populációk, annál nagyobb valószínűséggel alkalmazkodnak a különböző környezeti feltételekhez. Minél nagyobb a genetikai változatosság és a különböző tulajdonságot hordozó egyedek gyakorisága a populációban, annál nagyobb valószínűséggel alkalmazkodnak a különböző környezeti feltételekhez (annál kisebb a véletlen szerepe). Szűkebb értelemben az evolúció a populáció allélgyakoriságának megváltozása.



- d) Egymással **kölcsönhatásban lévő populációk** szintje. Koevolúciónak nevezzük két faj egymással kölcsönhatásban történő evolúciós változását, példa rá a virágok és a beporzó rovarok, a krokodil és a krokodilmadár, a ragadozó és zsákmányállat, a gazdaszervezet és a kórokozó kapcsolata (10. ábra).

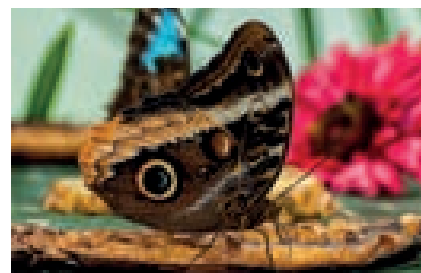
A populációk egymásra gyakorolt, **kölcsönös szelektációs hatása** a populációk génállományában is változást hozott létre, és hosszú távon azok az egyedek alkotják a populációkat, amelyek a kölcsönhatásban részt tudnak venni. A ragadozó és a zsákmányállat esetében a „hatékony támadás – hatékony védekezés” koevolúciója zajlott-zajlik. Kutatók egy része úgy tartja, hogy a fogyasztók, pl. a növényevő rovarok evolúciója csak követi a növények evolúcióját anélkül, hogy azt számottevő módon befolyásolná (11. ábra).

- e) Az **ökoszisztéma** ökológiai rendszert jelent. Ebben a részben azonban nem rendszermodellként (lásd ökológia), hanem szerveződési szintként értelmezzük a fogalmat: **társulások** és az **élőhelyek együttese**. A **társulás** (életközösség) különböző fajokhoz tartozó, egymással **kölcsönhatásban lévő populációk** együttese. Az alkalmazkodás az ökoszisztéma szétbomlásával és újraszervezésével valósulhat meg pl. a különböző éghajlati ciklusokhoz való alkalmazkodás során. Egy jégkorszaki klímaváltozás miatt más növényzet, más állatok stb. jelennek meg, egy egész rendszer alkalmazkodik az adott élőhelyhez. A Kárpát-medencében a jégkorszak idején számos faj természetes élőhelyét a havasi-alhavas területek szolgálták. Ezek közül néhány faj (hűvösebb élőhelyeken) ma is megtalálható hazánkban, pl. lisztes kankalin, kereklevelű harmatfű (12–13. ábra). Az akkori állatvilág (pl. gyapjas mamut, barlangi medve) nagyrészt eltűnt hazánk területéről, maradványaikat azonban gyakran megtalálták (14. ábra).

- f) A **többszintű szelektációs elmélet** szerint az alkalmazkodás (adaptáció) **egyidejűleg több szerveződési szinten** (gén, egyed, populáció, ökoszisztéma) is kialakulhat. Például egy egyed számára az önzetlenség lehet szelektációs hátrány, de a csoport számára szelektációs előny. Példa erre bizonyos mormotafajok vészjelzése: egyes egyedek őrt állnak, és ha veszélyt éreznek (ragadozó tűnik fel), akkor füttyhöz hasonló vészjelet adnak le a többiek számára. A füttyentő egyedek gyakrabban esnek áldozatul a ragadozóknak, viszont a csoport többi tagja megmenekül. A vészjel leadásának képessége öröklődő tulajdonság. A rokonszelekció elmélete alapján mindegy, hogy egy adott gén (illetve az általa kialakított fenotípus) hogyan jut a következő generációba: egy egyed szaporodása révén, vagy épp a hasonló génállományú – rokon – egyedeknek a szaporodásában nyújtott önzetlen segítségével (15. ábra). Nemcsak közeli rokon egyedekből felépülő csoport együttműködése lehet szelektációs előny. Amikor a csoportok közötti szelekció elég erőssé válik a csoporton belüli szelekcióhoz képest, a csoport magasabb szintű szervezetté válik. A biológiai evolúció folyamán nagyobb lépések esetében is megtörtént ez: pl. az egyszerűbb sejtek csoportjaiból kialakultak a többsejtű szervezetek, egyszerűbb életformákból (prokarióta) komplexebb (eukarióta) formák alakultak ki.



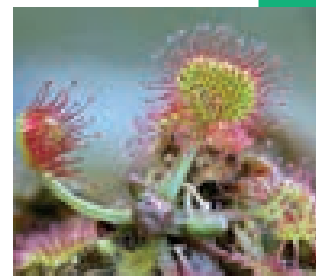
10. Nektárt fogyasztó kolibri



11. Gyümölcs nedveit fogyasztó lepke



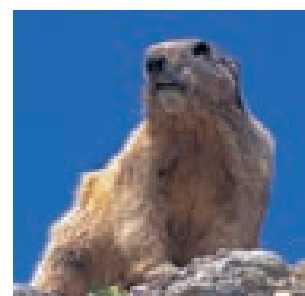
12. Lisztes kankalin



13. Kereklevelű harmatfű



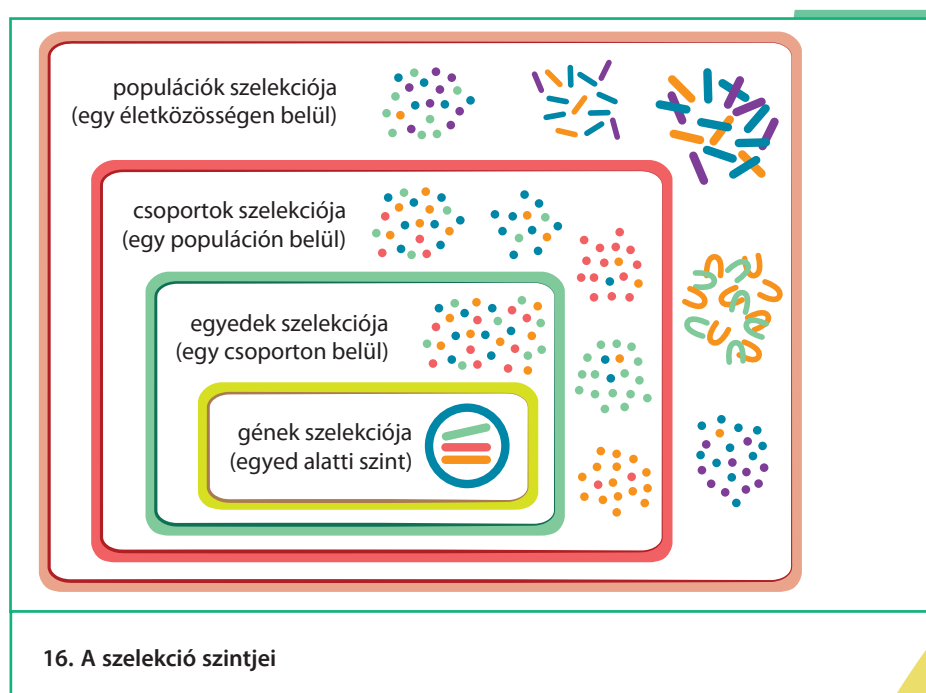
14. Gyapjas mamut



15. Őrt álló havasi mormota

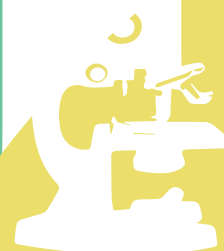
## Összegzés

Nem szabad a gondolkodásmódunkat csak génekre, egyedekre, populációkra korlátoznunk, amikor azt keressük, hogy melyik szinten hat a szelekció. A mutáció-szelekció mellett egy másik evolúciós mechanizmus is működik: az **együtműködés-szelekció**. A magasabb szerveződési szintek a náluk lejjebb lévő egységek együtműködése révén alakultak ki. Éppen ezért minden szerveződési szinten fellépnek olyan új tulajdonságok, amelyekkel a részek külön-külön nem rendelkeznek. Általában is elmondható: ha a tulajdonságok hatással vannak a túlélésre és a szaporodásra (azaz a fitnessre), akkor szelekcióról beszélünk. **A szelekció egyidejűleg különböző szinteken hathat**, együttesen alakítva az evolúció folyamatát (16. ábra).



## Kritikus pont II. – Öröklődés a géneken túl

a) Az epigenetika azokkal a mechanizmusokkal foglalkozik, amelyek eredményeképpen kialakuló örökölhető állapotok nem a DNS bázissorrendjének eltéréseire vezethetők vissza. Például a külső és belső környezeti tényezők (dohányzás, mozgás, alvás, stressz stb.) hatására módosulhat a gének működése: a genomon található metilcsoportok megléte vagy hiánya ki-be kapcsolhatja a géneket. A metilzettségi mintázat öröklődik, így lényegében elmondható, hogy az, hogy egy szülő hogyan élt (milyen környezetben, milyen életmódot folytatott) az az utódokra is kihat, az utódokban is kifejeződik (szerzett tulajdonságok öröklődése). A környezet által kiváltott fenotípusok így több generáción keresztül fennmaradhatnak. Az **epigenetikus öröklődés** fontos lehet az az új környezethez való alkalmazkodásban, különösen olyan esetekben, amikor a rendelkezésre álló genetikai variációk száma alacsony.



## Kutass!

Sejtszintű szelekció és a rák. Az evolúció alapvető elemei a variációk, az öröklődés és a szelekció.

**Próbáld meg ezeket a fogalmakat összekapcsolni a rákos sejtek kialakulásával és elterjedésével!**

### Válg szakértővé!

Milyen érvek szólnak a génközpontú elmélet mellett, illetve ellen?



Érdekes adat, hogy az emberi genomnak kb. 98%-a **fehérjét nem kódoló** részből áll. Erről korábban úgy gondolták, hogy nincs funkciója (evolúciós maradvány). A következő adat szintén meglepő volt: más főemlősökkel (csimpánz) összehasonlítva a kódoló részekben sokkal kisebb eltérések vannak, mint a nem kódoló részekben. Ráadásul a különbségek nagy része olyan gének környezetében (tehát a géneken kívül) található, ami a magatartással hozható összefüggésbe. Általában kiderült, hogy ezekről a nem kódoló részekről is átiródik egy speciális RNS (mikroRNS), ami a **gének működésének a szabályozásában** tölt be fontos szerepet, pl. megakadályozza, hogy egy adott génről fehérjetermék készüljön. Valószínűleg az evolúció folyamán egyre nőtt a fehérjéket nem kódoló szakaszok aránya, de ezzel együtt a génműködések szabályozottsága, és így a változó környezetre adható válaszok minősége is.

- b) Az evolúcióbiológusok egy része úgy gondolja, hogy az ember biológiai és a kulturális evolúciója egymásra ható tényezők. Azok az anyagi és szellemi értékek, amelyeket az emberi társadalom létrehozott a történelme folyamán, szelekciós tényezők lehetnek.

Az önzőgen-elméletet megalkotó R. Dawkins a kulturális evolúcióra is kiterjesztette elméletét. A **kulturális evolúció** információs egységét **mémnek** nevezte el, és a következőként határozta meg: „A mém egy dallam, egy gondolat, egy jelszó, egy ruhaidivat, edények készítésének vagy boltívek építésének módja. Éppúgy, ahogy a gének azáltal terjednek, hogy spermiumok vagy peték révén testből testbe költöznek, a mémek úgy terjednek a memkészletben, hogy agyból agyba költöznek egy olyan folyamat révén, amelyet tágabb értelemben utánzásnak nevezhetünk. Ha egy tudós egy jó gondolatot hall vagy olvas, akkor továbbadja a kollégáinak és tanítványainak. Megemlíti cikkeiben és előadásaiban. Ha egy gondolatnak sikere van, azt mondhatjuk, hogy agyról agyra terjedve elszaporodik.”

A génekhez hasonlóan a mémek „sikerét” is három feltételhez köti: hosszú élet, sokszorozódás, másolási megbízhatóság. Ez utóbbi három feltételt kiugróan magas színvonalon először a nyomtatott írás megjelenése biztosította. A kulturális evolúció folyamatában fontos szerepet tölt be az információáramlás. A nyelvnek kiemelkedő szerepe van a gondolatok, a kultúra közvetítésében és a csoportkohézióban, az egyedek közötti kooperációban egyaránt. Egy másik megközelítés a nyelvnek a tanulásban betöltött szerepét emeli ki, ugyanis általános tanulási képességben eltérünk más főemlősöktől, és ebben a nyelv az egyik meghatározó tényező.

A nyelvi evolúció kulturális elmélete szerint genetikai programunk nem a nyelvet, hanem egy olyan rugalmas (szociális) tanulási képességet határoz meg, amely lehetővé teszi az elődök által kialakított kulturális ismeretek és készségek (pl. a nyelv) elsajátítását. Így nem a nyelv, hanem az általa is elősegített hatékony tanulás az adaptivitást jelentő tulajdonság.

Az infokommunikációs technológia megjelenése újabb kiemelkedően fontos mérföldkövet jelent a kulturális evolúcióban.

Az önzőgen- és a mémelmélet más evolúciós elméletekhez hasonlóan vita tárgya. A tudomány minden bizonnyal egyre több nyitott kérdésre ad majd választ, és ezzel együtt újabb és újabb kérdéseket vet fel.



Ebben az évben nem alszunk téli álmot, mert annyi a kulturális változás, hogy nem tudnánk lépést tartani vele.

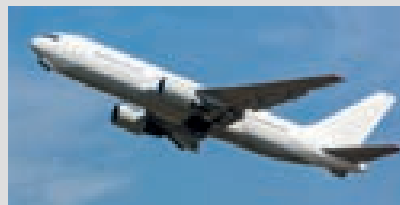


### Fedezd fel!

Milyen bizonyítékokra alapozzák elméletüket az evolúciós pszichológusok, miszerint a gondolkodás és a tudat is az evolúció terméke: a természetes szelekció azokat a viselkedési mintákat tanulási szabályokat, attitűdöket, cselekvési algoritmusokat részesítette előnyben, amelyek hozzájárultak őseink túlélési és szaporodási sikeréhez?

### Vesd össze!

Bizonyos nézőpontból az ember által létrehozott termékek is egyfajta evolúción esnek át. Mondj vagy keress ezekre példákat! Mi az analógia korlátja az élőlények evolúciójával összehasonlítva?



Korábban említettük, hogy az evolúció tudományos értelemben az élőlények örökölhető tulajdonságainak megváltozása nemzedékről nemzedékre. Az evolúciót a szaporodás (képes sokszorosodni, utódokat létrehozni), öröklődés (sokszorosodás során megtartja a típusát, a szülői típus megjelenik az utódban is) és változatosság (több típus, illetve a típusoknak generációnként eltérő gyakorisága) jellemzi. Ebben az értelemben nem szükséges az evolúció során egy új típusnak, új tulajdonságnak a megjelenése, elég a meglévő típusok arányainak, gyakoriságának a megváltozása.

Az evolúciós változásokat elemi folyamatokkal, így mutációval, szelekcióval, genetikai sodródással és génáramlással értelmezzük. Ezek közül a szelekció nem véletlenszerű folyamat.

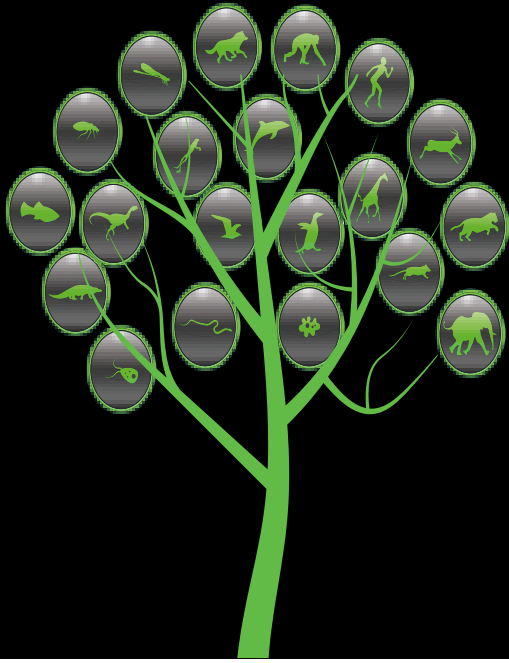
Az evolúciós változások alapvetően két lépésre bonthatók: a változatosság eredetére (pl. mutáció, rekombináció) és a terjedésre (szelekció, genetikai sodródás, génáramlás).

Új változatok folyamatosan jelennek meg, hiszen pl. a DNS-másolási hiba bekövetkezése független attól, hogy a tulajdonság, amelyre hatással van, előnyös lesz-e, befolyásolja-e és hogyan az élőlény szaporodási és túlélési esélyét. Előnyös, hátrányos vagy közömbös mutáció elnevezés azonban már a szelekcióval értelmezhető elterjedésre vonatkozik: a nyírfaaraszoló lepke sötétebb változatát előnyösnek nevezhetjük az ipari környezetben, de hátrányos attól távoli természetes környezetben.

A szelekció típusai: irányító, stabilizáló, szétválasztó, egy másik megközelítésből pedig lehet természetes és mesterséges.

A darwini elmélet szerint a szelekció egysége az egyed, újabban azonban egyre többen érvelnek amellett, hogy az evolúciós elmélet problémáit akkor lehet megoldani, ha feltételezzük, hogy más szelekciós egységek is léteznek, és rendszerszinten kezeljük a problémákat. Így evolúciós egység az, amely rendelkezik a szaporodás, az öröklődés és a változatosság tulajdonságokkal.

## 39. Összefoglalás

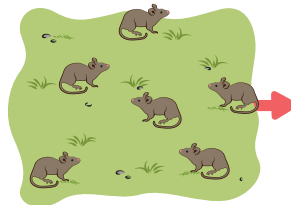


# 40. A fajképződés lehetséges útjai

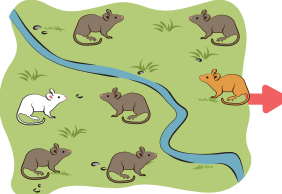
1. Miért van többféle fajfogalom?
2. Szüntelen a fajképződés?
3. Melyek azok a mechanizmusok, amelyek a fajok a megsokszorozódását eredményezik?
4. Hogyan lehet az evolúciós történéseket feltárni?
5. Hogyan szemléltethetjük a leszármazási kapcsolatokat?
6. Melyek az evolúció bizonyítékai?

A fajok kialakulása, egymástól való elkülönülése az **izolációs** (elkülönülési) **mechanizmusok** révén valósulhat meg. A fajképződés többféle úton mehet végbe. Nézzünk erre példákat!

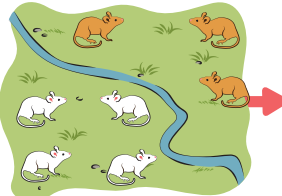
- a) Láthattuk az időskálán (38. lecke, 4. ábra), hogy darwini evolúciós elmélet leírása után Mendel örökléstani eredményei is megjelentek. A két tudós tudományos eredményeinek ötvözete lett később (1942) az ún. „a modern szintézis” elmélet, röviden **szintetikus evolúcióelmélet**. Ez genetikai alapon is magyarázta a darwini elméletet. A szintetikus elmélet alapján az evolúció a populációk allélgyakoriságának a megváltozása. Az elmélet szerint az evolúciós változások populációk szintjén mennek végbe: az allélgyakoriság véletlenszerű (lásd genetikai sodródás) események miatt, illetve a természetes szelekció a környezethez való alkalmazkodás során változik meg. Az új faj képződésének lehetőségéhez a földrajzi akadály (hegy, folyó stb.) következtében kialakuló **szaporodási izoláció** teremt alapot (1. ábra).



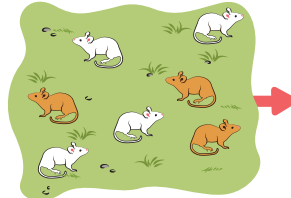
A területen élő egyedek szaporodnak egymással. Folyamatos a gének keveredése.



A génáramlás egy földrajzi akadály miatt megszűnik. Új változatok jelennek meg.



Eltérő szelektív nyomás és a genetikai sodródás eredményeként más-más változatok terjednek el a két területen.



Az eltérő változatok a földrajzi akadály megszűnését követően sem szaporodnak már egymással. Szaporodási izoláció jött létre.

## 1. Az allopatrikus fajképződés

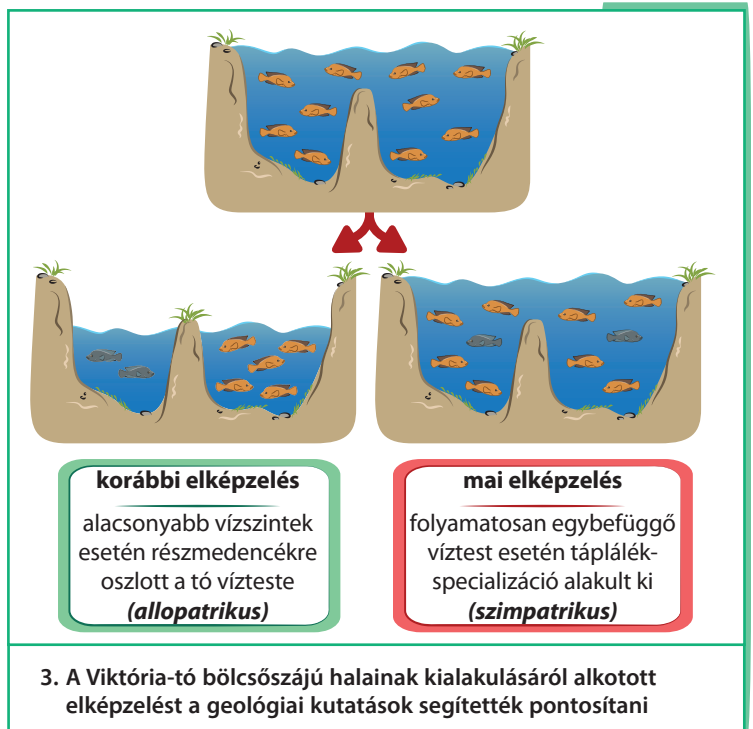
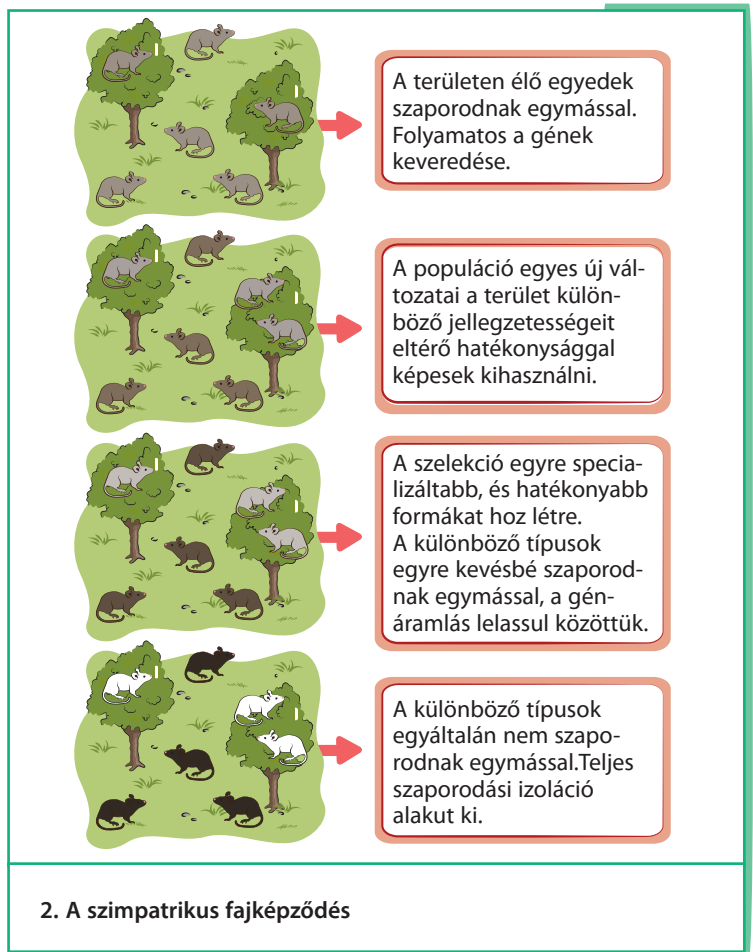
b) Kiderült azonban, hogy a genetikai sodródás önmagában nem lehet meghatározó oka a sok-sok faj kialakulásának (a folyamat ehhez viszonylag lassú), illetve a kölcsönös génáramlás (géncsere) sem elegendő az eltérő környezet (eltérő szelekciós nyomás) által létrehozott genetikai különbségek kialakulásának megakadályozásához. Térbeli izoláció (szétválás nélkül), földrajzi akadály nélkül is lezajlódhat a fajképződés. Ökológiai fajképződés esetében az eltérő korlátozó tényezőkhöz való alkalmazkodás eredménye az új fajok kialakulása (2. ábra).

Mind az afrikai bölcsőszájú halak, mind a Darwin-pintyek esetében megfigyelték a **földrajzi izoláció** nélküli fajképződést.

A Galápagos-szigeteken található pintyfajok csőrük alakjában és méretében különböznek, más-más táplálékra specializálódtak: rovarokra, kisebb magvakra, nagyobb magvakra stb.

A madarak számbeli növekedését a rendelkezésre álló táplálék korlátozza. Mivel más-más táplálék a korlátozó tényező, így egymással nincsenek versenyben, vagyis az együttéléshez elegendő mértékben különböznek. A szigeten élő pintyfajok közös őse Dél-Amerikában élt. Innen, a kontinensről kerültek át egyes példányok a szigetekre, és alakult ki belőlük a galápagosi pintyfajok. Korábban úgy gondolták, hogy az elszigetelődés a fajképződés oka, a genetikai vizsgálatok, valamint egy 2007-ben történt megfigyelés megerősítette azonban a földrajzi gátak nélküli fajképződést. A különböző méretű pintyfajok a méret alapján választanak párt maguknak. A kisebb méretű pintyeknek kisebb méretű utódai születnek. A kis és nagy méret kialakulásának oka, hogy száraz időszakban kis és nagy méretű, de vastag terméshallal körülvett magvak vannak a szigeten. A közepes méretű magvak hiányában a közepes testméretű magevő pintyek eltűnnek.

Az afrikai bölcsőszájú halak esetében is hasonló jelenséget tapasztaltak. Korábban az gondolták, hogy a Kelet-Afrikában megtalálható Viktória-tó az idők folyamán a vízszíntingadozások következtében több kisebb, különálló tóvá szigetelődött el, és ez az izoláció szolgáltatott alapot a különböző bölcsőszájú fajok kialakulására. Ma már tudjuk, hogy a tó mindig is egybefüggő volt, így a fajképződéseknek egy másik útja (szimpatikus) mehetett végbe (3. ábra). A böl-



csőszájú halak állkapcsának érdekes a felépítése, és emiatt is sokféleképpen módosulhat: más-más állkapocs (széles, illetve hosszú) más-más táplálékforrásra specializálódott (4. ábra).

Az **ökológiai környezet** mint ható tényező önmagában előidéző oka lehet egy faj több (egyre különbözőbb) változatának tartós fennmaradására. Ha több populáció növekedését egyetlen környezeti tényező szabályozza, akkor mindig csak az az egy populáció marad fenn, amelyet ez a tényező a legkevésbé gátol a növekedésben; a többi populáció kihal (kompetitív kizárás elve). Megfordítva: ha eléggé különbözőnek, akkor más-más élőhelyhez, környezeti tényezőkhöz alkalmazkodva nem rontják egymást túlélési esélyeit. Az **ökológiai fajfoglalom** egy adott környezet erőforrásaihoz (lásd később ökológiai fülke) legjobban alkalmazkodott élőlények csoportját tekinti fajnak.

Összefoglalva: A szintetikus elmélet nem vesz figyelembe egy fontos ökológiai kitételt: a divergencia elvét. A szintetikus elmélet szerint egy új változat akkor terjedhet, ha (túlélési, szaporodási) előnyt biztosít, és kiszorítja azokat a változatokat, amelyek nem rendelkeznek ilyen jelleggel. Az **ökológiai fajképződés** alapja, hogy az eltérő környezeti feltételekhez való alkalmazkodás miatt a két faj között a különbségek akkorák lesznek, hogy a **versengés közöttük csökken** (gyenül), és a **két faj** együtt fog élni.

### Keress

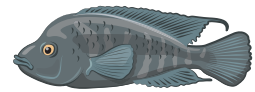
**további példákat a felsorolt fajképződési utakra, majd társadnak mondd el a példát, és a példa alapján sorolja be, hogy melyik fajképződés zajlott le!**

### Kérdezz!

**Érdekes problémákat vet fel az ún. hibridzóna. Kérdezz meg egy kutatót elektronikus levélben arról, hogy mit jelent ez, mi a szerepe a fajképződésben!**



*Amphilophus citrinellus*

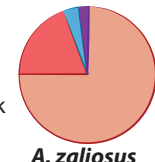


*Amphilophus zaliosus*



*A. citrinellus*

Táplálék:



*A. zaliosus*

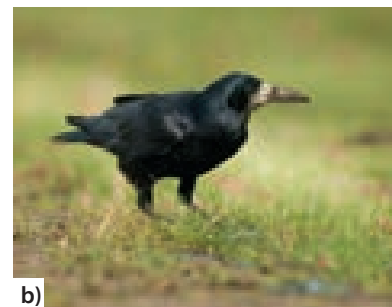
4. Két, azonos helyen élő bölcőszájú hal táplálék-összetétele

## Összegzés

Ha **azonos fajba tartozó két populáció** olyannyira **elszigetelt**, hogy közöttük **nincs** jelentős mértékű **gécseré** (génáramlás), akkor génállományuk szükségszerűen különböző irányba fog fejlődni. Nem fejlődhetnek egyazon irányban még akkor sem, ha hasonló környezeti feltételek között élve hasonló szelekciós nyomásnak vannak kitéve, hiszen végtelenül **kicsi a valószínűsége** annak, hogy a két populációban a mutáció és a szelekció **azonos módon** történjenek. Egy idő után e különbségek halmozódása odáig vezethet, hogy a két populáció tagjai többé már nem képesek géneket cserélni, így **új fajok** alakulnak ki (5. ábra). Ez nem kifejezetten mennyiségi kérdés. Gyakran egy populáción belül is hatalmas genetikai változatosság figyelhető meg, más esetekben – pl. egy kellően fontos ivari feromon génje esetében – **egyetlen gén mutációja** is elegendő lehet egy új faj keletkezéséhez.



a)



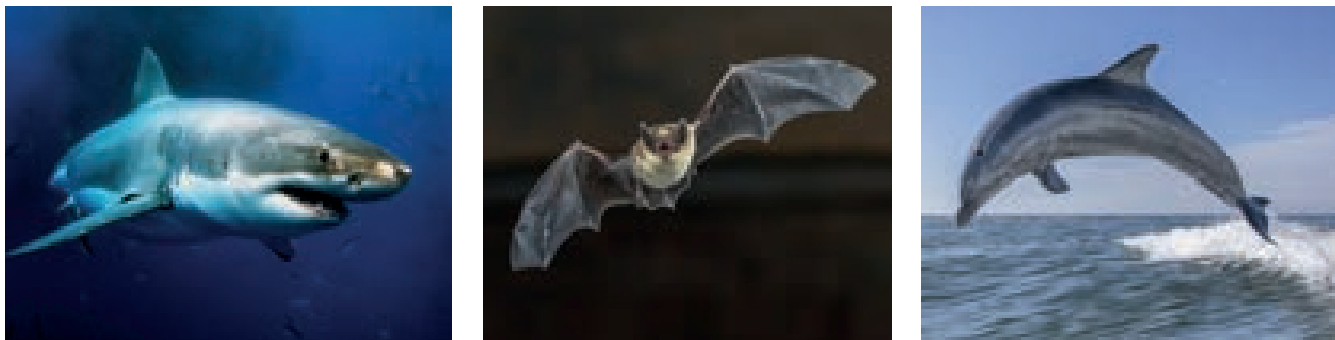
b)

5. A közönséges holló (*Corvus corax*) (a) és a vetési varjú (*Corvus frugilegus*) (b) két különböző faj

## Mikro- és makroevolúció

Amikor összehasonlítunk különböző élőlényeket, akkor a hasonlóságokat és a különbségeket egyaránt figyelembe kell venni az evolúciós változásoknál. A hasonlóság utal a közös ősrre, a különbségek pedig az őstől való eltérésre. De nem mindegy, hogy miben hasonlít két élőlény (csoport). A morfológiai hasonlóságok egyes esetekben félrevezetőek, mert két olyan élőlényt gondolunk közeli rokonnak, amelyek valójában (a DNS-vizsgálat alapján) nem azok. Gondoljunk például egy cápafajra és egy delfinfajra!

Evolúciós **konvergenciának** nevezzük azt a jelenséget, amikor az eltérő ősektől származó élőlények a hasonló ökológiai viszonyok között élve hosszú idő után



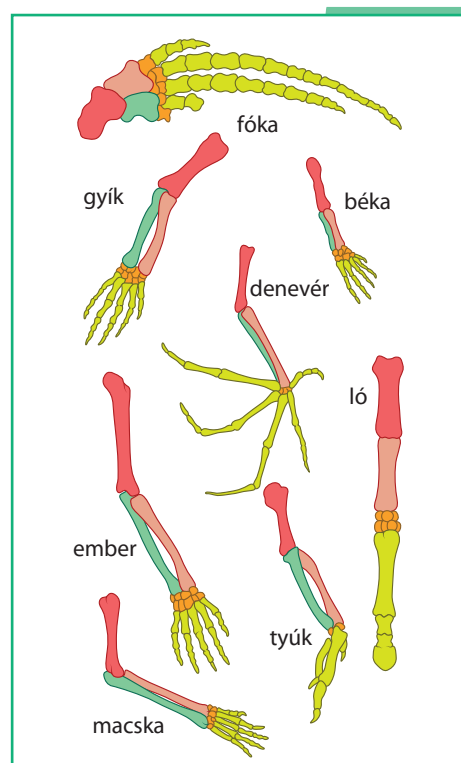
6. A látszat néha csal. A cápa és a delfin testfelépítésének hasonlósága konvergencia eredménye, a denevér és a delfin mellső végtagja divergencia eredményeként vált ennyire különbözővé.

fenotípusos hasonlóságot, pl. hasonló testfelépítést mutatnak (6. ábra). A hasonlóság a külső (áramvonalas test), az úszók funkciója is nagyrészt megegyezik (mozgás), de az úszók belső felépítése más: a cápánál porcból felépülő úszósugarak (porcpálcikák) merevítik az úszókat, a delfinek (emlős) esetében a páros úszók felépítése hasonló az emberi végtagok felépítéséhez (ötujjú végtagtípus).

**Analóg szerveknek** nevezzük az **azonos funkciójú, de eltérő felépítésű** szerveket. A cápa és a delfin úszóin kívül a rovarszárny-madárszárny is példa erre. Ezzel nagyrészt fordított folyamat a divergens evolúció és a homológ szervek esete. **Evolúciós divergenciának** nevezzük azt a folyamatot, amelynek során a közös őstől származó fajok – változatos élőhelyekre való adaptív szétterjedésük következtében – egyre nagyobb mértékben térnek el egymástól, az eltérő környezethez eltérő testfelépítéssel alkalmazkodnak. Ennek következménye a **homológ** szervek kialakulása, ahol a **belső felépítés megegyezik, de funkció eltérő**. Példa lehet erre a közös emlős őstől származó delfinfaj és denevérfaj esete. Ki gondolná, hogy közelebbi rokonok, mint a delfinek és a cápák! Ráadásul a végtagjaik felépítése is megegyezik (ötujjú végtagtípus) (7. ábra).

**Mikroevolúció:** Fajon belüli változások, amelyek elvezethetnek a fajképződéshez.

Az evolúció során a populációkban egyes öröklődő jellegek (illetve az ezeket meghatározó allélok) megritkulnak, mások gyakoribbá válnak, vagy új tulajdonságok jelennek meg, ezáltal a faj populációi az idők során kisebb-nagyobb mértékben különbözőkké válnak. A kis lépésekben zajló folyamatok összességét mikroevolúciónak nevezzük. A változások halmozódásával a populáció egyedei oly mértékben eltérővé válhatnak elő-



7. Homológ szervek. A gerincesek ötujjú végtagjainak számos variációja visszavezethető egy alaptípusra.

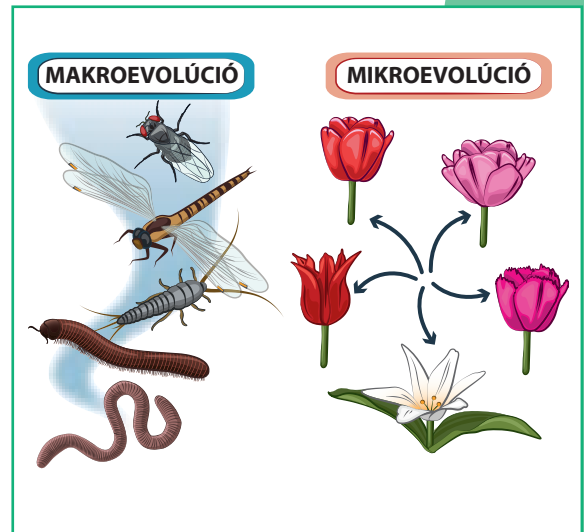


deiktől, hogy már nem is tekinthetők ugyanazon fajba tartozóknak, új fajok keletkeznek. A fajon belüli változatok (variációk) kialakulásában fontos szerepe van a mutációnak és rekombinációnak (de más folyamatoknak is). Mikroevolúciós folyamat a genetikai sodródás és a természetes szelekció is.

**Makroevolúció:** Faj feletti evolúciós folyamat. Az új fajok evolúciója végső soron elvezethet másféle szerveződésű, a kiindulási fajjal már csak távoli rokonságban álló csoportok (faj feletti rendszertani kategóriák) kialakulásához: új nemzetségek, családok, osztályok, törzsek stb. megjelenéséhez. Ezeknek a folyamatoknak az összefoglaló neve: makroevolúció (8. ábra).

Az evolúciós változásokat nyomon lehet követni a ma élő és a kihalt fajok (fosszilis anyagok) összehasonlító (morfológiai, molekuláris) vizsgálatával.

Az evolúciós fák a származástani kapcsolatrendszeret ábrázolják egy adott időskálán. A csomópontok a közös ősré



8. Evolúciós léptékek

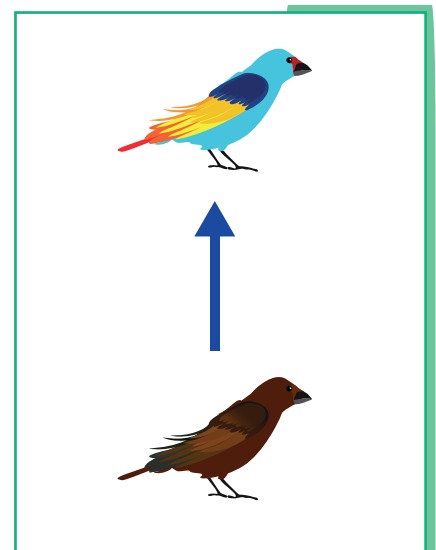


9. Híres élő kőület a bojtosúszójú hal

utalnak, az elágazások végpontjai jelzik a ma élő, illetve kihalt fajokat. Az evolúciós vizsgálatok például utaltak arra, hogy lehet találni a halak és a kételtűek között átmeneti csoportot. Ez szerencsére sikerült is: először fossziliákban találták meg a bojtosúszós maradványhalat, később (1938) kiderült, hogy ma is vannak élő példányai (9. ábra). **Élő kőületnek** nevezzük az olyan élőlényeket, amelyek nagyrészt változatlanul fennmaradtak több 10–100 millió év távlatában is.

## A leszármazási kapcsolatok vizsgálata: törzsfák

A filogenetika az **evolúciós leszármazási kapcsolatok** vizsgálatával foglalkozik, célja az evolúciós történet feltárása. Leszármazási sorok kapcsolata alatt a szétválásukat értjük egy közös ősötől. A filogenetika a biológia szemléletmódjának alapvető eleme, hiszen a biológiai sokszínűséget (a biodiverzitást), az élőlények változatosságát csak a leszármazás ismeretében érthetjük meg. Ősök és utódaik együttesen egy **leszármazási sort** alkotnak. Ilyen módon a megfigyelt változatosság információt hordoz azokról a folyamatokról, amelyek alakítják, másrészt az ősökről, azok tulajdonságairól, amelyekből származik. Az élőlények leszármazása, illetve



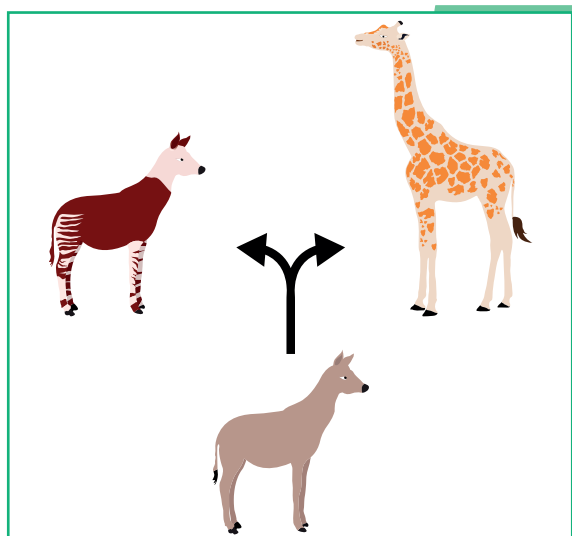
10. Anagenézis során egy faj fokozatosan másikká alakul, de közben nem jönnek létre további fajok



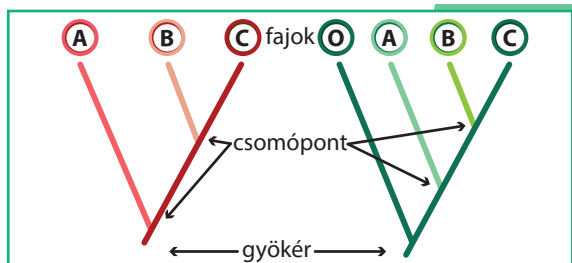
tulajdonságaik változása és változatossága egyaránt az *evolúció* folyamatának függvénye. Ezért evolúciós következtetéseink egyaránt vonatkozhatnak az élőlényekre és tulajdonságaikra.

A fajkeletkezést filogenetikai szempontból két típusra oszthatjuk. Az anagenezis során **nem jön létre új elágazás** a filogenetikai fán, ám az ősi alak a fiattól oly mértékben különbözik, hogy nem tekintjük őket egy fajnak (10. ábra). A kladogenezis során viszont **új elágazás jön létre** a filogenetikai fán, azaz egy közös ősi fajból kettő új lesz. Az egyik rendszerint megtartja az ős vonásait, a másik a megváltozott életkörülményekhez való alkalmazkodás során új (levezetett) vonásokat fejleszt ki (11. ábra).

A leszármazási kapcsolatok leírásának legfontosabb eszköze a **filogenetikai fa** vagy törzsfa. Bármilyen olyan rendszerre alkalmazható, amire az evolúciós változást értelmezhetjük. A filogenetikai fa a fajok evolúciós leszármazási kapcsolatait szemléltető diagram. Egy a fajokat ábrázoló filogenetikai fa elemei a levelek, amelyek esetünkben fajok (A, B és C az ábrán), a közös őseket szemléltető csomópontok és az azokat összekötő ágak. A legalsó csomópont az összes ábrázolt faj közös őse, az összes fajt végeredményben ebből származtatjuk. Kitüntetett szerepe miatt külön névvel illetjük, ez a filogenetikai fa gyökere. Rögzítését követően beszélhetünk a változás irányáról, leszármazási sorrendről a filogenetikai fán (12. ábra).



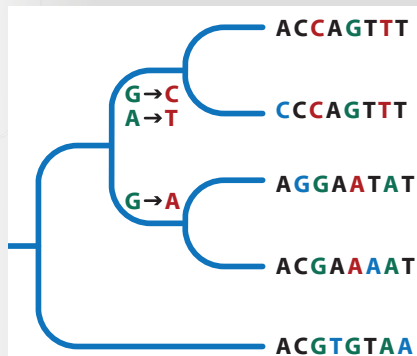
11. Kladogenezis során egy ősből két másik faj jön létre



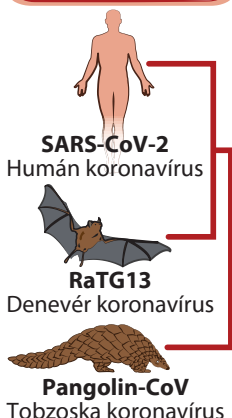
12. Filogenetikai fa

### Fedezd fel!

A fáknek különböző típusai vannak, ezek különböző információt hordozhatnak. Mit árul el az alábbi két fa? Külön-külön beszélj róluk!



Genom vizsgálat alapú fa



### Ítéld meg!

Miért jelent problémát megállapítani, hogy a fajok anagenezis vagy kladonezis útján keletkeztek?

## Az evolúció bizonyítékai

Az evolúció **közvetlen bizonyítékai** láthatók, tapasztalhatók: a múltban élt élőlények maradványaiból indul ki, nem a mai élő egyedek vizsgálatán alapul.

- **Kövület:** a szilárd vázzal rendelkező, korábban élt élőlényeknek a Föld szilárd kérgében beágyazva megtalálható, megkövesedett maradványai.
- **Lenyomat:** ősi (lágú testű vagy szilárd vázú élőlények) testformájának nyoma a szilárd kéreg közetében.

- Zárvány: olyan élőlény van bezárva, ami már nem létezik, pl. borostyánba zárt szúnyog, jégbe fagyott ember.
- Lerakódások – üledékes kőzet, pl. mészkő → élőlények meszes váza:
  - földtörténeti korjelző élőlények → magasabb rétegben fiatalabb;
  - ammonitesz – csigaházás polip: a földtörténeti középkor tengereinek vastag mészvázú, úszó vagy fenéklakó, ragadozó életmódú, jellegzetes fejlábú élőlényei (nagy tömegű fossziliájuk a középkor szintjelzője);
  - trilobita – háromkarjú ősrák: az óidőben igen elterjedt, szintjelző kővélet képező ízeltlábúak. Fejlett pajzsszerű váz borította testüket, mely szelvényezett volt és hosszirányban három részre tagolódott.
- Élő kővélet – olyan faj, amely viszonylag korán (régén) megjelent az evolúcióban, ám ma is változatlan formában jelen van, pl. bojtosúszójú hal, páfrányfenő, fodros cápa stb.

Az evolúció **közvetett bizonyítékai** nem láthatók, csak következtetni lehet rájuk.

- Molekuláris törzsfák: minél jobban megegyezik két élőlény DNS-, RNS-bázissorrendje vagy a fehérjéinek aminosavsorrendje, annál közelebbi rokonok. Olyan molekulát érdemes vizsgálni, ami nagyon sok élőlényben előfordul, ilyen pl. a citokróm-c (a biológiai oxidáció fehérjéje, tehát szinte minden élőlénybe előfordul).
- DNS-homológia: bázissorrendjében nagymértékben megegyező vagy olyan gén, ami hasonló tulajdonságokat kódol, pl. a hox gén – a testtájakat kialakító gén.
- Atavisztikus gének: az evolúció során funkcionálisan eltűnő gének újrakativálódása az emberben pl. fark, oroslánszőrzet alakulhat ki ennek révén.
- Genetikai kód: univerzális → ugyanazt jelenti a baktériumban és az emberben is.
- Sejtes felépítés: minden élőlény sejtes felépítésű, fajra jellemző különbségekkel.
- Divergencia: az a folyamat, amelynek során a közös őstől származó fajok – változatos élőhelyekre való adaptív szétterjedésük következtében – egyre nagyobb mértékben térnek el egymástól, az eltérő környezethez eltérő testfelépítéssel alkalmazkodnak, pl. emlős – delfin, denevér, oroslán, ló.  
→ Homológ szervek: belső felépítésük megegyezik, de a funkciójuk más.
- Konvergencia: az a jelenség, amikor az eltérő származású élőlények hasonló ökológiai viszonyok között élve, hosszú idő után fenotípusos hasonlóságot, hasonló testfelépítést mutatnak, pl. delfin, cápa.  
→ Analóg szervek: funkciójuk megegyezik, de a belső felépítésük más, pl. a madarak és rovarok szárnya; a delfinuszony és cápaúszó.
- Embriók hasonlósága: a korai farkbimbós stádiumban az embriók nagyon hasonlóak, ami a közös génekre, közös ősökre utal.
- Funkciójukat veszített szervek: Először a funkcióképes szervek jöttek létre, majd az alkalmazkodás során veszítették el funkciójukat, pl. a strucc szárnya, a fülmozgató izom, a farkcsont, az emberi vakbél (felületnövelés érdekében jött létre, de a középbél miatt már nincs rá szükség).

### Készíts képanyagot!

Minden felsorolt bizonyítékról mutass be egy képet! Ne felejtse el a forrásokat is feltüntetni. Magyarázd meg, hogy miért tekinthető az evolúció bizonyítékának!

**Készíts** egy-három oldalas esszét a következő témák közül egyet kidolgozva!

*Ma is tart az evolúció! A gyűrűfajok. Az ember evolúciója sem független a benne élő mikrobiom evolúciójától. Félreértett evolúció: Darwin, a bajok eredete.*

A fajképződésnek és az elszigetelődésnek (izoláció) is többféle formája is létezik. A szimpatrikus fajképződés esetében ökológiai, míg allopatrikus fajképződés földrajzi elkülönülés van. Az eredetileg egy fajba tartozó, de elszigetelt állományokból lényeges tulajdonságaikban különböző, egymással már nem szaporodó populációk, azaz új fajok alakulhatnak ki.

Egy új faj kialakulhat egy korábban létező fajból, amikor a populációk elkülönülnek egymástól, és az eltérő környezeti körülmények között elegendő különbség halmozódik fel ahhoz, hogy külön fajt alkossanak. Az eredeti faj ezután kihalhat, de akár korlátlanul tovább is élhet az eredeti élőhelyen. A mikroevolúció a fajon belüli, míg a makroevolúció a faj feletti változásokat jelenti.

A filogenetika az evolúciós leszármazási kapcsolatok vizsgálatával foglalkozik. Az evolúciós változásokat nyomon lehet követni a ma élő és a kihalt fajok (fossilis anyagok) összehasonlító (morfológiai, molekuláris) vizsgálatával.

Az evolúciós elmélet egyre meggyőzőbb bizonyítékokat tud felmutatni az élővilág kialakulásával és fejlődésével kapcsolatban. Az evolúcióelmélet – pontosabban a természetes kiválasztódás elve – nem ad magyarázatot az élet keletkezésére vonatkozóan, hanem az evolúciós változások mechanizmusát magyarázza. Az élet keletkezésére még csak hipotézisek vannak.

## 40. Összefoglalás

Az evolúció tudományos értelemben az élőlények örökölhető tulajdonságainak megváltozása nemzedékről nemzedékre. Az evolúciót a szaporodás (képes sokszorosodni, utódokat létrehozni), öröklődés (sokszorosodás során megtartja a típusát, a szülői típus megjelenik az utódban is) és változatoság (több típus, illetve a típusoknak generációnként eltérő gyakorisága) jellemzi. Ebben az értelemben nem szükséges az evolúció során egy új típusnak, új tulajdonságnak a megjelenése, elég a meglévő típusok arányainak, gyakoriságának a megváltozása.

Általánosságban: minden szinten, sőt más tudományterületekre vonatkozóan is a következőképpen lehet megfogalmazni a darwini evolúciós elméletet:

*„A természetes szelekció alapelve algoritmikus formában is megfogalmazható, és így egyrészt matematikailag is vizsgálható, másrészt egyéb tudományterületeken is alkalmazható. Az algoritmus szerint amennyiben léteznek olyan objektumok, amelyek*

- 1. önmaguk szaporítására képesek;*
- 2. a tulajdonságaikat átörökítik leszármazottaiknak;*
- 3. e tulajdonságok kis mértékben véletlenül megváltozhatnak;*
- 4. tulajdonságaik befolyásolják szaporodási sikerüket,*

*akkor az objektumok tulajdonságai az idővel úgy változnak meg, hogy egyre jobban alkalmazkodnak szaporodási környezetükhöz.*

*Mivel az élőlényekre az 1., 2., 3. és 4. feltételek igaznak bizonyultak, a természetes szelekció szerepet játszik a fajok alkalmazkodásában.”*

Forrás: darwinnap.hu

## IX. Összefoglalás



## 41. Nagy lépések az evolúcióban

1. Hogyan és miért alakultak ki az egysejtű és a többsejtű élőlények?
2. Hogyan hódították meg, népesítették be a vizeket, szárazföldet és a levegőt?
3. Miben különleges faj az ember?

A korábbi fejezetekben megtudtuk, hogy a földtörténeti ősidőben megjelent élőlények a mai prokariótákhoz hasonlíthatnak leginkább. Az első élőlények heterotrófok lehetettek, és később jelentek meg a fotoszintetizáló kékbaktériumok, amelyek már oxigént juttattak a légkörbe. Az eukarióta egysejtűek, majd a többsejtűek kialakulása az élővilág sokféle szerveződési típusát hozta létre: egysejtű, sejtársulás, fonalas, lemezes, teleptestes és szövetes. Az ősidő végéig a növényvilág evolúciója a teleptestes moszatokig jutott el. Az állatok országának fejlődése során megjelentek az összes, ma is élő gerinctelen állattörzs ősi, mész- vagy kovaváz nélküli képviselői: a szivacsok, a csalánozók, a különböző férgek és az ízeltlábúak.

### Ediacara

Az ősidőben élt állatvilág maradványainak leggazdagabb lelőhelye a dél-ausztráliai Ediacarából került elő. A több száz méter vastag üledékes kőzetben nagyszámú többsejtű, lágytestű tengeri állat lenyomatai találhatók, amelyek azonban meglehetősen kevés csoportot képviselnek. Túlnyomórészt csalánozók és gyűrűsférgek, valamint kevesebb ízeltlábú maradványait találták meg. Olyan állatok kövületei is előkerültek, amelyekhez hasonlóak napjainkban nem élnek, ezért rendszertani besorolásuk bizonytalan.

Az ősidei eljegesedést az óidő elején az éghajlat lassú felmelegedése követte, majd egyenletesen meleg klíma uralkodott. A felmelegedő tengervíz magasabb sókoncentrációja szerepet játszott abban, hogy a gerinctelen állatok több csoportjában szinte egyidejűleg kialakult a külső meszes váz.

## Az alkalmazkodás időben és térben

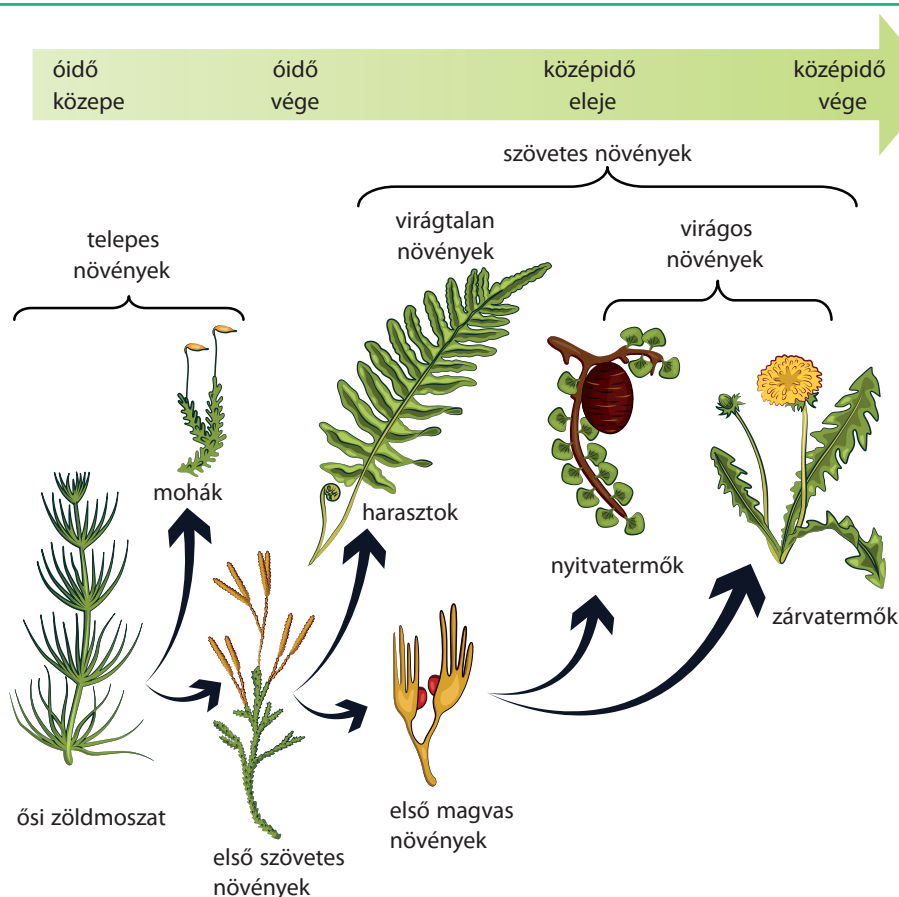
A ragadozók elleni védekezésben nyilvánvaló szelekciós előnye volt a szilárd külső burokkal bíró fajoknak, ezért nem meglepő, hogy az óidő elején, amikor a környezeti körülmények lehetővé tették, igen gyorsan és széles körben elterjedtek a mészből, illetve meszes kitinből felépülő, szilárd vázú állatok. Közülük legismertebbek a háromkarájú ősrákok (1. ábra). A **gerincesek** első ismert képviselői a páncélos őshalak voltak, ezek ősi képviselőiből fejlődtek ki később a **porcos** és a **csontos halak** máig fennmaradt csoportjai.

A kékbaktériumok és a moszatok elterjedésével, a tengeri növények fotoszintézisének növekedésével a légkör oxigéntartalma lassan elérte a jelenlegi szint 10%-át, ami már elegendő volt ahhoz, hogy a belőle kialakuló ózonpajzs kielégítő védelmet nyújtson az ultraibolya sugárzás ellen. Ez tette lehetővé, hogy az élőlények a tíz méternél mélyebb vízrétegekből a felszínhez közeledjenek, megjelenjenek a víz felszínén, és a szárazföldet is meghódítsák. Az erősen oxidáló légkör ugyanakkor megszüntette a kémiai evolúció megismétlődésének lehetőségét.

A földtörténeti óidő közepe táján a teleptestű **zöldmoszatok** evolúciója két irányba ágazott el (2. ábra). Egyrészt kialakultak a változó vízállapotú, kiszáradástűrő **mohák**, másrészt pedig a nedves környezetet kedvelő, de a kiszáradás-



1. Háromkarájú ősrák kövülete



2. A szárazföldi növények leszármazása

tól már némileg védett **ősharasztok** (3. ábra). Ezeknek a növényeknek a szárazföldi elterjedését a szövetes testszerveződés tette lehetővé. Vastag falú szilárdítószöveti sejtek biztosították a test megtartását, a szállítószövet továbbította az oldatokat a gyökértől a többi testtáj felé, a bőrszövet pedig a párologtatás szabályozásával korlátozta a kiszáradás lehetőségét. Emellett a vastag falú, szélel terjedő **spóra** a szárazföldi szaporodást és terjedést szolgálta. A megtermékenyítéshez azonban az ősharasztoknak is vízre volt szükségük, hímivar-sejtjeik vízben úszva érték el a petesejtet. Az ősharasztokból kiindulva a szárazföldi növényvilág gyors fejlődésnek és burjánzásnak indult, amivel egy időben az állatvilág szárazföldi elterjedése is elkezdődött az **ízeltlábúak** megjelenésével (4. ábra). A ma is legnagyobb fajsámú csoportot alkotó ízeltlábúak, a **rovarok** rövidesen az egész szárazföldet benépesítették.

A szövetes szerveződés lehetővé tette az ősharasztok méretének növekedését. Az első erdők a fatermetű ősharasztok kialakulása után jelentek meg. Később a harasztok mellett a nyitvatermők is egyre nagyobb szerepet játszottak az erdők összetételében. Az erdők megjelenésével ugrásszerű fejlődésnek indulhatott a szárazföldi élővilág, hiszen a fás társulások jóval nagyobb mennyiségű táplálékot és változatosabb élőhelyeket nyújtottak.

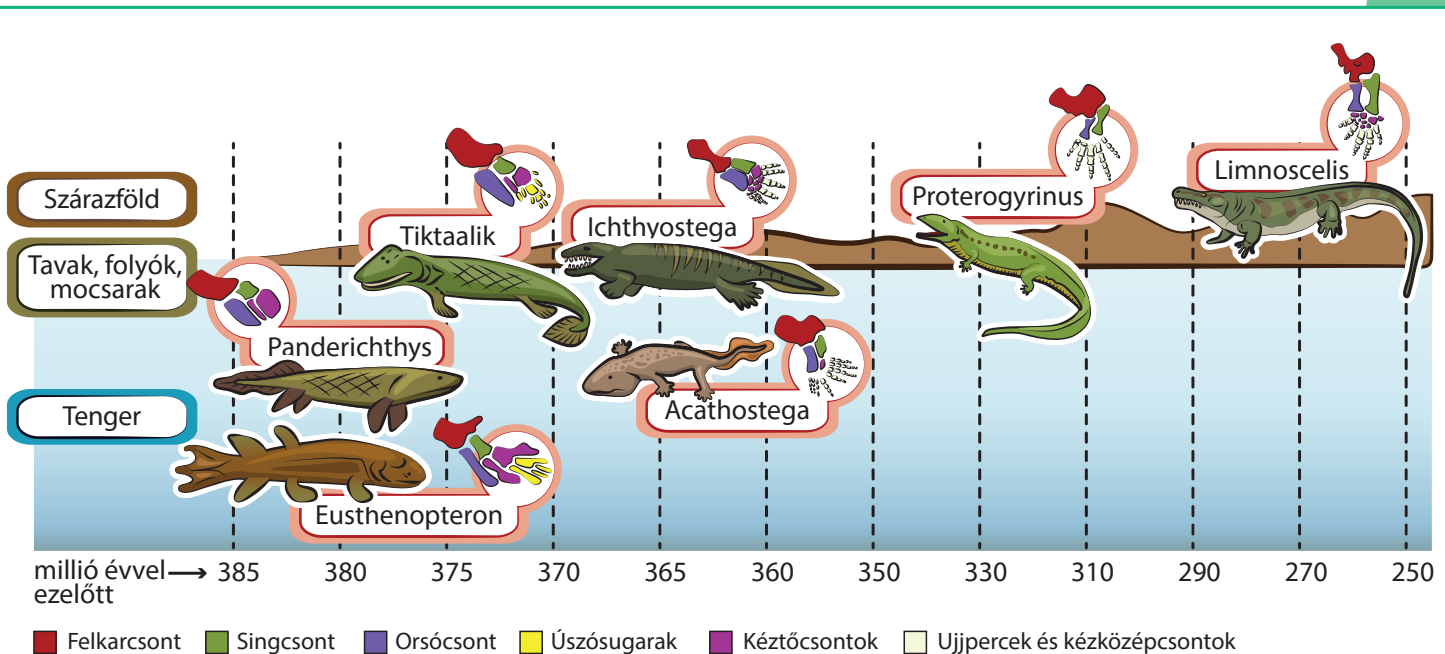
A nedves területeken virágkorukat élték az ősi bojtosúszós halakhoz hasonló ősből elkülönült **kétféltűek**. Bőrüket még vékony szaruréteg fedte, ami csekély védelmet nyújtott a vízvesztés ellen. A kétféltűek egyik csoportjából azonban kifejlődtek a **hüllők**, amelyek testfelületét már vastag szarubevonat borította és óvta a kiszáradástól.



3. Ősharaszt kövülete



4. Az első szárazföldi állatok az ízeltlábúak közé tartozó százlábúakhoz hasonlítottak



5. A gerincesek szárazföldre lépésének rekonstrukciója és a végtagok evolúciója a fossziliák alapján



## Kihalás az óidő végén

Az óidő végén az éghajlat hűvösebbé és szárazabbá vált. A fatermetű növények közül a víztől független szaporodású, szárazságtűrő nyitvatermőknek volt esélyük a túlélésre. Az egyre szárazabb klíma a hullók előretörésének kedvezett, a kételtűek csak a nedves területeken maradtak fenn. A hideg éghajlatú részeken alakultak ki az emlősszerű őshüllők, amelyek valószínűleg állandó testhőmérsékletű állatok voltak. Belőlük indult ki az emlősökhöz vezető fejlődés útja. Az üledékes kőzetek kőületeiben jól nyomon követhető, hogy az óidő végén egy nagyszabású kihalási hullám söpört végig az élővilágon. Kihaltak például a háromkaréjú ősrákok és a páncélos őshalak, a szárazföldön pedig eltűnt a kételtűek és a hullók családjainak nagy része. Becslések szerint a tengeri fajoknak több mint 90%-a, a szárazföldieknek pedig hozzávetőlegesen 70%-a pusztult el.

## Az élővilág új kibontakozása a középidőben

Az óidő végén bekövetkezett kihalási hullám után a tengerekben óriási faj- és egyedszámban terjedtek el a fejlábúak közé tartozó, mézsvázás ammoniteszek. A középidőből származó üledékes kőzetekben nagy tömegben megtalálhatók vázmaradványaik, amelyek változatos felépítéséből a kőzetek relatív korára is következtetni lehet (6. ábra). A szárazföldeken az éghajlat általában meleg és javarészt száraz volt. A középidő volt a **nyitvatermők** virágkora, így nagymértékben elterjedtek a fenyők. A **zárvatermők** a középidő vége felé jelentek meg, és néhány tízmillió év alatt a szárazföldek uralkodó növényeivé váltak. A gerincesek közül feltűnt a hullók uralma. Legismertebb képviselőik, a dinoszauruszok a szárazföldön éltek. Ragadozók, növényevők és mindenevők is voltak köztük. A dinoszauruszokon kívül számos más hullócsoporthoz is elterjedt a középidőben: egyesek meghódították a levegőt, mások vízi életmódra tértek át.



6. Ammonitesz fossziliája

## Az emlősök és a madarak megjelenése

A középidőben a hullók voltak a legelterjedtebb gerincesek, de evolúciójuk különösen jelentékeny fordulatokat vett. A középidő elején az emlősszerű őshüllőkből kialakultak az első valódi **emlősök**. Apró, jelentéktelen állatok voltak. Sokáig nem töltöttek be jelentős szerepet az élővilágban, de fejlett ivadékgondozásuk és a hullókhöz képest fejlett idegrendszerük lehetővé tette, hogy a „hüllők árnyékában” átvészeljék a középidőt. A középidő derekán az őshüllők egyik csoportjából fejlődtek ki az első **madarak**. A hullók és a madarak közötti átmeneti formát képviselte az ősmadár (*Archaeopteryx*), amely mindkét csoport jellemző vonásait magán viselte (7. ábra). Bizonyára nem repült jól, mivel szegycsonti taraja nem volt.



7. Az ősmadár fossziliája

## Kihalás a középidő végén

A földtörténeti középidő végén ismét nagyarányú kihalási hullám tizedelte meg az élővilágot a tengerekben és a szárazföldön is. Az ősmaradványok arra engednek következtetni, hogy az összes növény- és állatfaj 75%-a kipusztult. Eltűntek az ammoniták, a dinoszauruszok, valamint a repülő és a vízi őshüllők is.

# FEDEZD FEL!

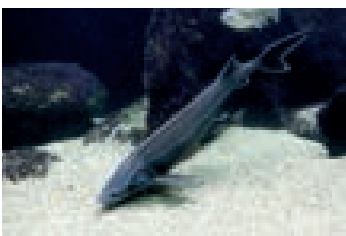


## Tanulj önállóan!

Oldd meg a feladatokat, válaszolj a kérdésekre a 25., a 41. és 42. fejezet alapján!

A válaszaidat írd le, és minden esetben indokold! A szelekciós tényezőkre mindig gondoldj! Az eseményeket helyezd el a 154-155. oldalon található időskálán is! Az eredményeket beszéljétek meg közösen!

- 1. A légkör összetételének változása**  
Az ózonpajzs kialakulása miért segítette elő, hogy az élőlények a vizek magasabb rétegébe és a szárazföldre jussanak?
- 2. Prokarióta-eukarióta szerveződés**  
Hogyan alakulhattak ki az eukarióta élőlények? Melyik elmélet a legelfogadottabb erre nézve? Milyen tényeken (bizonyítékon) alapul az elmélet?
- 3. Többsejtű életforma megjelenése**  
Miben jelenthet előnyt a többsejtű életforma? Milyen szerveződési típusai vannak?
- 4. Szimmetria és alkalmazkodás**  
Miért vannak aszimmetrikus, sugaras, illetve kétoldali szimmetriával rendelkező élőlények? Milyen környezeti tényezőkhöz alkalmazkodtak?
- 5. Alkalmazkodás a vízi életmódhoz**  
Mondj példákat, hogy a különböző élőlénycsoportok hogyan alkalmazkodtak a vízi életmódhoz!
- 6. Külső meszes váz**  
Melyik élőlénycsoport rendelkezett először külső meszes vázzal? Miért lehetett ez a struktúra szelekciós előny?
- 7. Alkalmazkodás a szárazföldi életmódhoz**  
Melyik élőlények lehettek az első szárazföldi növények? Miért? Melyik élőlények lehettek az első szárazföldi gerinctelen, illetve gerinces állatcsoport? Miért?
- 8. Alkalmazkodás a száraz, meleg éghajlathoz**  
Melyik növény- és állatcsoportnál jelent meg a víztől független szaporodás? Miért a hüllők uralták a Földet a középidőben? Mely szervek illetve folyamatok kialakulása tette lehetővé az alkalmazkodást?
- 9. Alkalmazkodás a hidegebb éghajlati övekhez**  
Mely élőlénycsoportok állandó testhőmérsékletűek? Milyen anatómiai és élettani feltételekhez kötött az állandó testhőmérséklet?
- 10. Alkalmazkodás a repülő életmódhoz**  
Mondj példákat, hogy a különböző élőlénycsoportok hogyan hódították meg a levegőt, hogyan (felépítés-működés) alkalmazkodtak a repülő életmódhoz!
- 11. Földtörténeti korszakok.** Az időskálán (154-155. oldal) a rajzon (a feliratokon kívül) mi jelöli a kihalási periódusokat?
- 12. Az ember alkalmazkodása**  
Mondj egy élőlényt korábbi tanulmányaidból, és sorold fel, hogy milyen közös biológiai tulajdonságokkal rendelkezel vele! Pl. közönséges földigiliszta: többsejtű, szövetes, szelvényes, vére van...  
Élt-e egyidejűleg több emberi faj is a Földön? Milyen, csak az emberre jellemző evolúciós újdonságot tudsz mondani? Sorold fel, hogy a humán nagyraszrok testfelépítése hogyan alkalmazkodott a földrajzi környezetükhöz! Érvelj amellett, hogy az ember evolúciója során kialakult nagyraszrok értékükben nem különböznek!

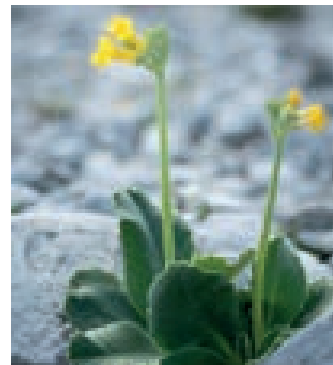


## A Föld az újidőben

Az újidő elejére már kialakult a kontinensek jelenlegi helyzete. Az utolsó 2,5-3millió évben az élővilágra nagy befolyást gyakorolt a több eljegesedési hullám során fokozatosan lehűlő éghajlat. Az újidő növényzetének uralkodó fajai a zárvatermők közül kerültek ki.

A zárvatermők evolúciójához kapcsolódva látványosan fejlődött a megporzásukban szerepet játszó rovarok osztálya is. Az új feltételekhez az emlősök és a madarak egyedülállóan sikeres adaptív evolúciós folyamatok révén alkalmazkodtak. Az **eljegesedési hullámok** a sarkok felől a kontinensek belseje felé haladtak, majd visszahúzódtak (8. ábra). Az élővilág is ilyen irányban vándorolt, az éghajlatváltozással párhuzamosan. Észak-Amerikában a vándorlási események a hegyvonulatok észak–déli iránya miatt zavartalanul történtek, Európában azonban a kelet–nyugati irányú hegyláncok ezt jelentősen nehezítették. Ezzel magyarázható, hogy az észak-amerikai kontinens fajgazdagsága lényegesen nagyobb, mint Európáé.

Az újidő legjelentősebb evolúciós eseménye az ember megjelenése és az emberi társadalmak kialakulása volt.



8. Cifra kankalin jégkori reliktumfaj Magyarországon. Már csak a hűvös mikroklímájú területeken található meg

A Föld 4,6 milliárd éves. Első légköre valamivel később alakult ki, és kémiaileg redukáló sajátságú volt. Az ősi légkör anyagaiból villámlás, ultrabolya sugárzás hatására szerves anyagok képződhettek, amelyekből létrejöttek az első élő rendszerek.

Az első élőlények a 10 méternél mélyebb vízrétegekben kialakult, a mai prokariótákhoz hasonló, heterotróf egysejtűek lehettek. A szerves anyagok fogyasztásakor evolúciós előnybe kerültek az időközben megjelent autotróf élőlények. Az oxigéntermelő fotoszintézist végző kékbaktériumok kb. 3,5 milliárd éve alakultak ki. Az oxigén lehetővé tette a biológiai oxidációt, a hatékonyabb energiahasznosítást pedig a többsejtűek kialakulását.

Az eukarióta sejtípus kb. 2 milliárd éve alakult ki a belső membránrendszerek fejlődésével és prokarióta egysejtűek szimbiózisával. Az ősidő végére megjelentek a moszatok és a gerinctelen állattörzsek ősi képviselői. Az őidő elején több állatcsoportban egyszerre fejlődött ki a külső meszes váz.

Az emelkedő oxigénszintből megkezdődött az UV sugárzástól védő ózonréteg kialakulása, ami lehetővé tette az élőlények megjelenését a szárazföldön. Az ősi zöldmoszatokból kifejlődtek az ősharasztkok, és velük párhuzamosan a mohák. Később a harasztkok fatermetű képviselői már hatalmas erdősegeket alkottak, és kialakultak a nyitvatermők is.

Az első szárazföldi állatok az ízeltlábúak közül kerültek ki, de rövidesen megjelentek a szárazföldön a gerincesek képviselői is: a bojtosúsós halakból kialakultak a kételtűek, majd belőlük a hüllők. Az őidő végén az élővilág nagy csoportjait érintő kihalás zajlott le.

A középidőben a többnyire száraz éghajlat kedvezett a nyitvatermők elterjedésének, később belőlük indultak fejlődésnek a zárvatermők. A középidőt a hüllők virágkorának is nevezik, hiszen a szárazföldek mellett meghódították a vizeket és a levegőt is. A hüllőkből kialakultak az első emlősök, majd később, a jura időszakban a madarak. A középidő végén nagyszabású kihalás zajlott, eltűntek az ammoniták és a dinoszauruszok is.

Az újidő második felében eljegesedési hullámok követték egymást. A növénytakaró meghatározó képviselői a zárvatermők lettek, elterjedtek a madarak és az emlősök. A főemlősökből megkezdődött az emberfélék evolúciója. Az emberiség ma élő képviselői egyetlen fajba tartoznak.

## Összefoglalás

# AZ EMBERI SZERVEZET X.



- 42. A bennünk élő múlt
- 43. Színes emberiség
- 44. Forma és funkció





# 42.

## A bennünk élő múlt

1. Hogyan befolyásolják az emberi test sokféleségét a nemek, valamint a rasszok?
2. Mitől függ a testünk külső képe, hogyan függ ez össze az énképünkkel?
3. Mi jellemzi és milyen tényezők alakítják az ember mozgás-képességét?

### Évmilliók öröksége

- Melyek voltak a mai emberi test kialakulásához vezető fejlődés mérföldkövei?

#### A testépítés kezdete

Az élet kialakulását követő kétmilliárd évben kizárólag baktériumok népesítették be a Földet. Egyszerű felépítésükkel sikeresen alkalmazkodtak a legkülönbézetesebb táplálékforrásokhoz, benépesítették a legszélsőségebb élőhelyeket (1. ábra). A fennmaradásért folyó versenyben azonban akadtak, akik másként próbáltak győzedelmeskedni. A különféle képességű baktériumok tartós együttéléséből kialakult az eukarióta sejt. A változatos egysejtűek számára a baktériumok világa jelenthette a táplálékot. A verseny azonban tovább folytatódott, és voltak, akik a további összefogásban keresték az erőt. A fejlődés háromfelé ágazott: megjelentek a soksejtű élőlények, a növények, gombák és állatok birodalmába vezető utak.

Az emberi test előtörténete az állatok világában követhető nyomon. A soksejtű állatok első képviselői kb. 750 millió évvel ezelőtt jelentek meg, a földtörténet kambrium korszakában. Több sejt összeállása akkor vezetett sikerre, ha jó megoldást találtak a munkamegosztásra. A **feladatok** a többsejtű szervezetben is az életkritériumokból következtek: **elhatárolódás, anyag- és információforgalom, szaporodás és evolúció.**

A **szivacs** testét alkotó sejtek nagyjából ezeket a szerepeket játsszák, de ha szétválasztjuk őket, akkor még képesek az önálló életre is. Ez a test tehát még csak sejttelep, nem valódi szövetekből felépített szervezet (2. ábra).

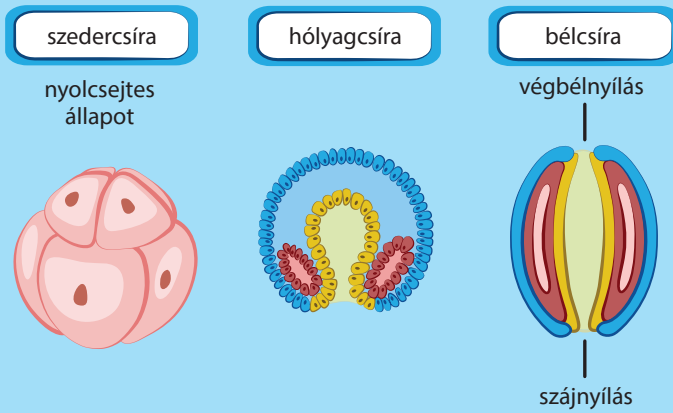
A szivacsok és a szövetes állatok megtermékenyített petesejtje a **zigóta**. Az új egyed kezdeménye, az embrió, ebből indul fejlődésnek. Az osztódással szaporodó sejtek összetapadása miatt a felszíne egyre job-



1. A Nagy Prizma-forrás a Yellowstone parkban. A változóan zöld és vörös színeket hőkedvelő ősbaktériumok alkotta bevonatoktól származnak. Az évszaktól és a vízhőmérséklettől függően változó arányban tartalmaznak karotinoid és klorofill színyanyagokat.



2. Korallszirten élő szivacs-telep



3. Az összajú állatok embrionális fejlődése



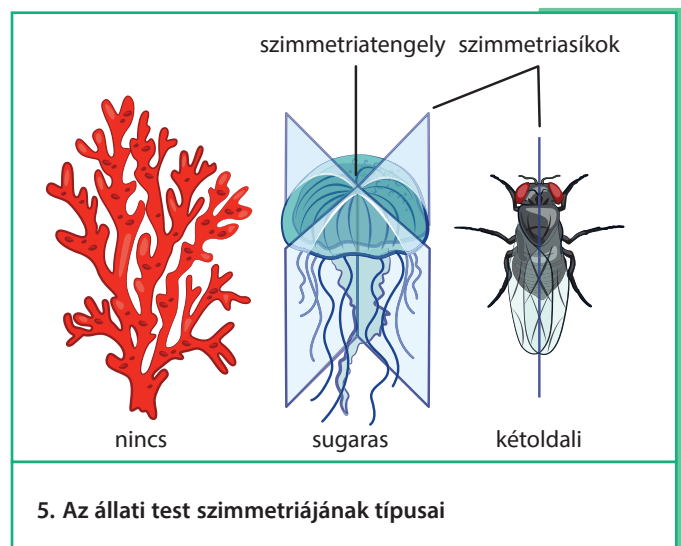
4. A legismertebb gyűrűsféreg: a földigiliszta

ban barázdálódik. A sejtsomó alakja miatt a szedercsíra nevet kapta. Ezután a belső sejtek elhalnak, és egy üreges gömb, a hólyagcsíra alakul ki. Ez később egy ponton betüremkedik, és egy belső sejtsor is kialakul. A kétrétegű fallal és egy nyílással rendelkező fejlődési állapot a bélcsíra. Az állatok egyik csoportjában a betüremkedés helyén kialakuló nyílás lesz a szájnyílás, vele szemben kialakul majd a végbélnyílás. Ezt a menetet követik az **összájú állatok** (3. ábra), azaz a férgek, az ízeltlábúak és a puhatestűek. A sejtek önállóságának elvesztése a férgek megjelenésével vált visszafordíthatatlanná. A legegyszerűbbek a **laposférgek**, nekik csak egyetlen testnyílásuk van, és az idegrendszerük is kezdetleges sejhálózat. A **hengeresférgek** teste hosszú cső, melyben újabb csövek húzódnak, ezek a bélcsatorna és az ivarszervek. Az igazi újtók a **gyűrűsférgek**, náluk jelenik meg először a **szelvényezett testfelépítés** (4. ábra). A hosszanti rekeszekre osztott szervezet könnyen működtethető, javítható és szaporítható. Az egyes szelvények kezdetben még nagyjából ugyanazt tartalmazták: mindegyikben megvolt az érrendszer, idegrendszer vagy a kiválasztószerv egy-egy eleme.

## Szimmetria

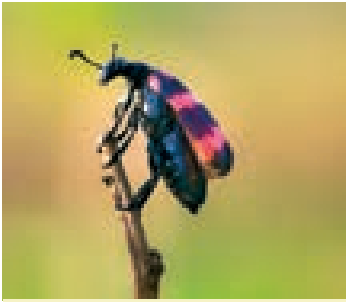
A természet formavilága az állatok esetében is igen gazdag. A testalkat egyik meghatározó jellege a szimmetria. A szivacsok még szabálytalan alakúak, a **sugaras szimmetria** a csalánozóknál (pl. medúzák) jelenik meg először, majd egy másik fejlődési ágon a tüskésbőrűeknél (pl. tengeri sünök) is feltűnik. A férgek újtása a kétoldali szimmetria (5. ábra). Jól látható ez a laposférgek külsején vagy a gyűrűsférgek belső szervein is. A jobb és bal testfél, a fej-farok, a hát-hasi tagolódás a fejlettebb állatok – beleértve mi magunkat is – alapvető testfelépítési jellemzője.

Az **ízeltlábúak** úgy fejlődtek tovább, hogy megtört a szelvények egyformasága, már nem mindegyik tartalmazta ugyanazokat a szerveket. A **rákok** és a **pókok** mellett ebbe a csoportba tartoznak még a **rovarok**, amelyek joggal pályáz-



5. Az állati test szimmetriájának típusai

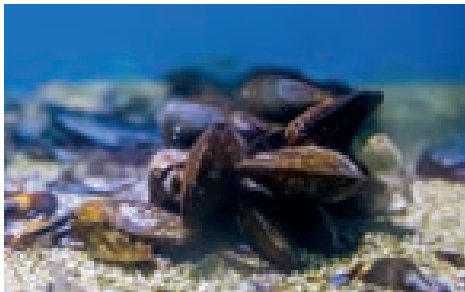




6. Szalagos hólyag-húzó bogár

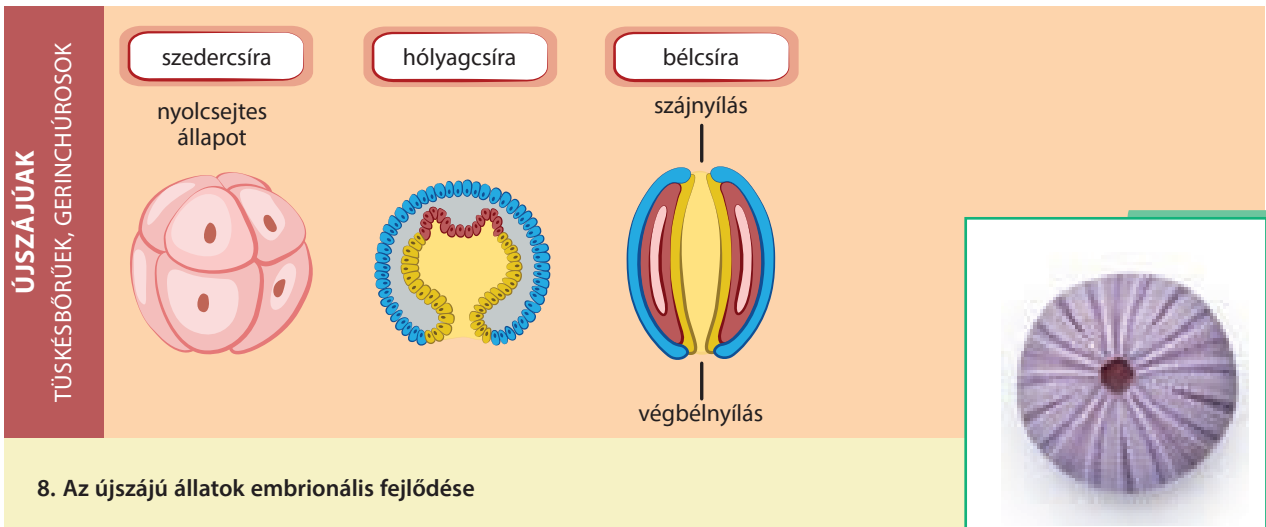
hatnának a testépítés bajnoki címére. Apró, de sokféle élőhelyhez és életmódhoz alkalmazkodó szervezetüknek köszönhetően mindenhol megtalálhatók. A rovarok nagy újtása a **kitinváz**, egy rugalmas páncél, ami az izomzattal kapcsolódva a mozgásképességhez is hozzájárul. A fej–tor–potroh tagolású test középső részéhez három pár járóláb kapcsolódik, de hártós szárnyakkal repülésre is képesek lehetnek (6. ábra). A rovarok testének első három szelvénye szájszervet alkot, melynek alaptípusa a harapófogszerű rágó. Módosulásával alakult ki a

szűrő, szívó, nyaló szájszervek többféle formája. Az igazán káprázatba ejtő sajátosságuk azonban a formák gazdagsága. Ma a rovarok több mint kétmillió faja ismert, de legalább ennyit még fel sem fedeztek.



7. Tengeri kagylók

Még a szelvényekre tagolt test kialakulása előtt a férgek ősi típusaiból fejlődtek ki a **puhatestűek**. Újszerűségüket a meszes váz jelenti: a kagylók és csigák a házépítést követően ennek üregében élnek (7. ábra). A váz építőanyagául szolgáló szén-dioxidból ma már kevesebb van a légkörben, és így a vizekben is, és a mészváz állatok sem találhatóak olyan hatalmas számban, mint a földtörténet korábbi időszakaiban.



8. Az újszájú állatok embrionális fejlődése



9. Tengerisün váza

Az **újszájú állatok** (8. ábra) első képviselői még másféle szimmetriával rendelkeztek: a háti és a hasi oldaluk különbözött, de testük egyébként sugaras, csillagszerű volt. A mai tengericsillagok és tengerisünök az ő leszármazottaik (9. ábra).

## A gerincesek színre lépése

- Miért tekinthető evolúciós mérföldkőnek a gerinces testfelépítés megjelenése?

500 millió évvel ezelőtt egy kis lépéssel kezdődött el az a fejlődés, amely tovább vezet az emberi test kialakulása felé. Egyes féregszerű tengeri állatok hátoldalán egy rugalmas porcrudacska fejlődött ki, amely mint belső váz segített a mozgás tökéletesítésében, és védte az idegrendszer sérülékeny sejtjeit (10. ábra). Ebből a **gerinchúrból** alakult ki később a csontos, csigolyákra tagolt **gerincoszlop**.

A gerinces állatok csoportjainak összehasonlításával a további fejlődés is felrajzolható. A **halak** páros mell- és hasúszói néhány faj esetében függesztőövekkel kapcsolódtak a gerinchez (11. ábra). Ebből alakultak ki a különféle végtagtípusok.



10. A fejgerinchúros lándzsahal testfelépítése



11. Bojtosúszós maradványhal



12. Ősi kétlábúak ábrázolása egy 19. századi metszeten

A **kétlábúak** kezdetleges járólába a szárazföld meghódítása során tökéletesedett, de még alkalmas volt a vízi életmódra is.

A szárazföldi körülményekhez alkalmazkodott **hüllők** testalkata többféle lehet, jellegzetes külsejüket a bőrből módosult szaruképződmények adják. A lábatlan kígyók gyorsan siklanak, a krokodilok a vízben élnek, a szárazföldön inkább csak csúszkálnak. A teknősök páncéljuk védelméből szemlélik a világot (13. ábra).

A legrejtélyesebbek mind közül a dinoszauruszok. Maradványaik tanúsága szerint ez a 180 millió évig élt csoport igen

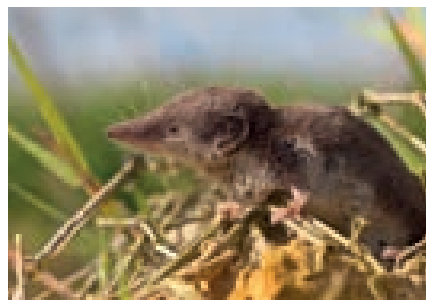
sokféle méretű és formájú fajból állt. A néglábúak mellett élő kétlábúak közös jellemzője volt az erőteljes farok, amelynek súlyával a test elülső fele kiegyensúlyozható volt. Az így felszabadult mellső végtag sok mindenre alkalmassá vált, a ragadozókkal ragadták meg zsákmányukat, a szelídebbek akár fészket is építhettek vele.

Az **emlősök** is a hüllőkből alakultak ki, de fejlődésükre csak a nagy testű rokonság kihalása után nyílt lehetőség. A hidegebb éghajlat ellen szőrrel védekeztek, és testhőmérsékletük állandó értéken tartására is képesek voltak (14. ábra).

A mellső végtagból az eltérő életmód sokféle végtagtípust fejlesztett ki. A patások jól futnak, a ragadozók mancsa a zsákmány elfogására alkalmas. A denevérek végtagjai és teste között bőrredő feszül, így szüretlik meg – a rovarok és a madarak után – a repülés feladatának harmadik megoldása.



13. Mocsári teknős



14. Ősi emlősök jegyeit hordozó mezei cickány

## Rokonok és ősök

- Milyen elődökön át vezetett az evolúció a mai emberi faj kialakulásához?

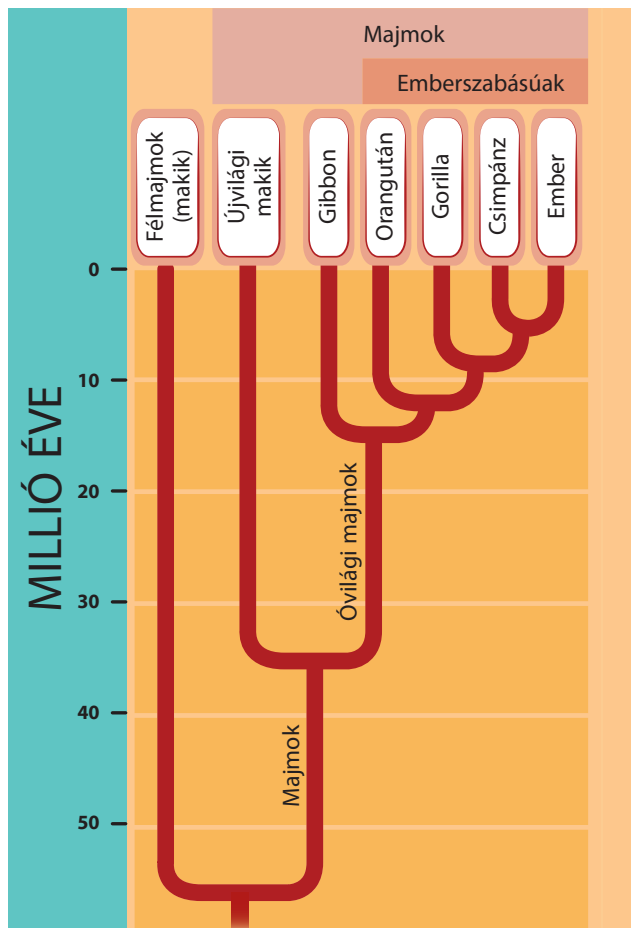
Legközelebbi rokonainkat a főemlősökhöz tartozó **emberszabású majmok** között kell kutatnunk. Az állatkertekbe látogató emberek szórakoztatónak tartják őket, viselkedésük mintha az emberi magatartás karikatúrája lenne, veszekednek, hangoskodnak, de kedveskednek is egymásnak. Molekuláris vizsgálati módszerrel kimutatták, hogy az emberszabású majmok és az ember DNS-e megegyezően hasonló. Az orangután DNS-bázissorrendje 96,4%-ban, a gorilláé 97,7%-ban, a csimpánzé pedig 98,4%-ban megegyezik az emberi DNS-ben találhatóival.

Mire elegendő a csimpánz és az emberi DNS közötti, alig 1,5%-os különbség? A természetes élőhelyükön megfigyelt csimpánzok viselkedése sokban hasonlít a korai emberfélékre. Közösségben élnek, a vadászatokon együttműködnek egymással, vannak jelei az eszközhasználat képességének is. A biológiai rokonságra utal az is, hogy számos kórokozó akadálytalanul jut át majomból emberbe.

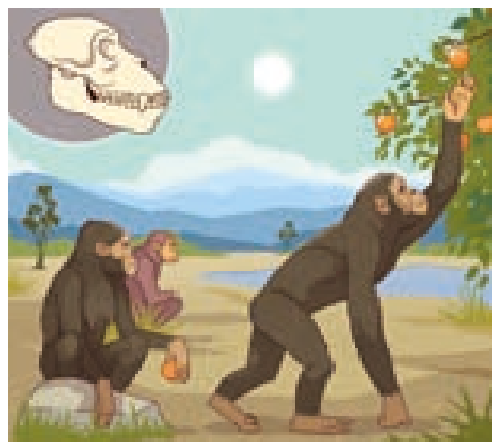
### A főemlősök evolúciója

Az ősi főemlősök leletei 60-70 millió évesek, a középidő végéről származnak. Maradványait az északi félgömbön több helyen megtalálták. A főemlősök evolúciója során a testfelépítés jelentősen átalakult. A **végtagok** alkalmassá váltak a markolásra, mivel a hüvelykujj szembefordítható lett a többi ujjal. A főemlősök elődei oldalirányba tekintő szemekkel környezetük nagy részét egyszerre láthatták, de két szemükkel más-más képet észlelhettek. Ettől eltérően a főemlősök szeme a koponya mellső részére, a homlok síkba került, így a két szem közös látótere lehetővé tette a **térlátást**, s ezáltal a távolság felmérését. A végtagok és a látás ilyen irányú átalakulása a fákon élő állatok számára volt előnyös. Az **agy** mérete a testtömeghez viszonyítva jelentősen **megnőtt**, ami javította a tanulási képességet, és ezzel megteremtette a környezet gyors változásaihoz történő alkalmazkodás lehetőségét.

A majmok ősei a kontinensek szétválásával földrajzilag két csoportra különültek el. Egyik csoportjukból Amerikában az újvilági majmok, másik csoportjukból Ázsiában és Afrikában az óvilági majmok alakultak ki. Az ember leszármazási vonala az óvilági majmok egyik fejlődési ágára vezethető vissza, köztük alakultak ki az emberszabásúak (15. ábra). Az **afrikai emberszabású majmok** ma is élő képviselői a **gorillák** és a **csimpánzok**; az **ázsiai emberszabású majmok** közül napjainkban az **orangután** él. Napjainkban elfogadottnak tűnik, hogy az ősi főemlősökből több mint 15 millió éve alakultak ki a mai emberszabású majmok és az ember közös ősei, a Ramapithecusok (pithecus: 'majom') (16. ábra). Ősmaradványaik Ázsiából, Európából és Afrikából is előkerültek. Hazánkban Rudabányán is találtak egy jelentős, kb. 10 millió éves leletet, amelyet lelőhelyéről Rudapithecusnak neveztek el.



15. A főemlősök rokonsági viszonyai, leszármazása



16. A Ramapithecus rekonstruált képe

## Az ember felé vezető evolúciós út

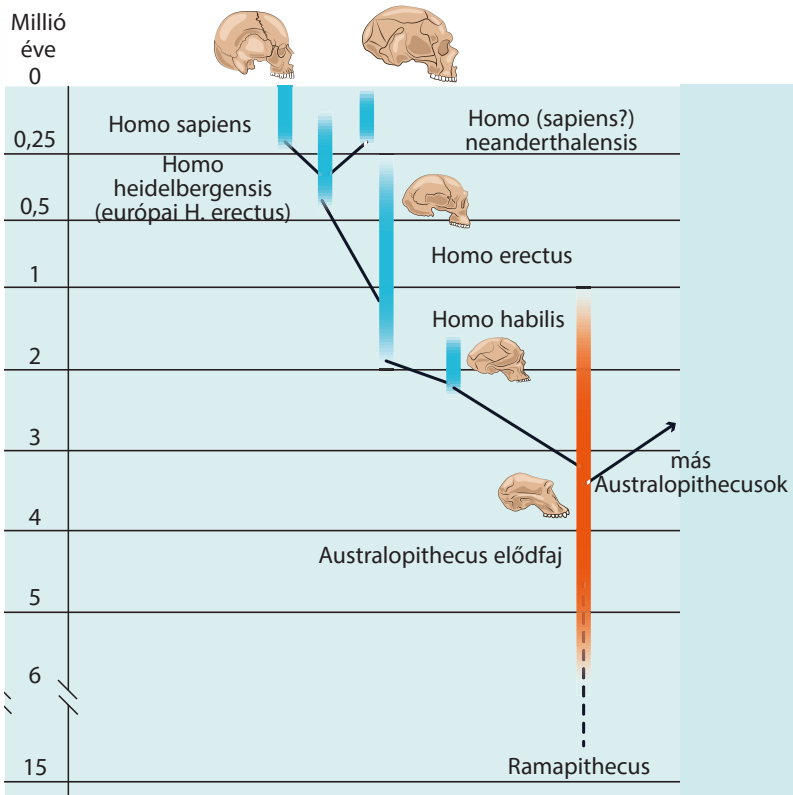
Az emberszabásúak és ezen belül az ember evolúciójának számos részlete bizonytalan. Az új kutatási eredmények tükrében a korábbi elméletek gyakran átértékelődnek. Az sem ritka, hogy a régről ismert csontmaradványokat a kutatók átminősítik, új vagy más fajokba sorolják. A szakemberek közt jelenleg is vita zajlik a leletek értelmezéséről, az emberi evolúció folyamatáról (17. ábra).

Az emberi faj elődeinek maradványai Afrikából kerültek elő. Tudjuk, hogy a néhány millió évvel ezelőtti időszakban a trópusi Afrika éghajlata lehűlt, emiatt az erdők területe csökkent. A szárazabb, ligetes **szavannákon** egészen más életmódra kellett áttérniük az emberelődöknek, mint amit a sűrű erdőben folytattak. Ennek következményeként három fő irányban zajlott evolúciós változás. Egyrészt a **két láb on járás kialakulása** lehetővé tette, hogy a kezek a helyváltoztatás helyett más tevékenységet végezzenek. Másrészt a **növényi táplálkozás** előtérbe kerülésével csökkent a szemfogak mérete, az őrlőfogak pedig megnagyobbodtak. Harmadrészt átformálódott és **növekedett az agykoponya**, ami az értelmi képességek további növekedését eredményezte.

Az emberi faj kialakulása felé vezető evolúciós út ősi képviselőinek tekintik az **Australopithecusokat** (jelentése: déli majom) (18. ábra). Ez a csoport kb. 6 millió éve jelent meg, és képviselői mintegy 5 millió évig éltek Afrikában. Csaknem 4 millió éves, megkövült lábnyomukból megállapítható, hogy két lábon jártak, és ezt 3 millió éves csontvázmaradványaik is igazolják (19. ábra). Agykoponyájuk még csimpánzszerű, lapos volt, agyuk térfogata 500 cm<sup>3</sup> körüli, testtömegük 50–60 kg lehetett.

## Az ember kialakulása

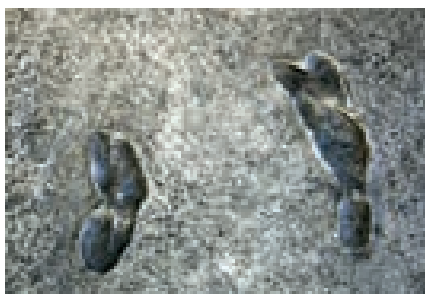
Az egykori Australopithecusokból kialakult első valódi emberi faj a **Homo habilis** (jelentése: ügyes ember) volt. A faj elnevezése onnan származik, hogy megmunkált kőeszközöket találtak a feltárt telephelyeken (20. ábra). Ez az emberelőd már célszerűen kialakított szerszámokat készített. A koponya vizsgálatából az is kiderült, hogy az agyvelő mérete elérte a 700 cm<sup>3</sup>-t. Az agy felépítése jobban hasonlított a mai emberéhez, mint az Australopithecusokéhoz, de beszéde a feltételezések szerint még nagyon kezdetleges lehetett. A Homo habilis eddig feltárt legidősebb csontmaradványai 1,8 millió évesek, de a legkorábbi kőeszközök kora 2,5 millió év.



17. Az ember származásának egyik lehetséges törzsfája. Értelmezd az ábrát! Mit jelentenek a színes sávok és a fekete vonalak?



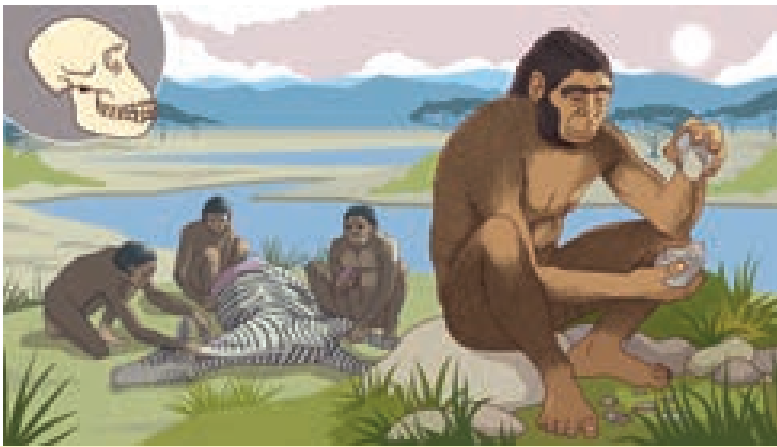
18. Az Australopithecus rekonstruált képe



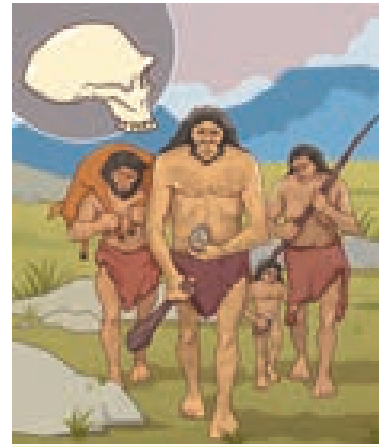
19. Egy Australopithecus-pár megkövült lábnyoma



20. Homo habilis kőeszköze



21. A Homo habilis rekonstruált képe



22. A Homo erectus rekonstruált képe

Az emberi evolúció következő lépésében, mintegy 1,5 millió éve a Homo habilisből kialakult a **Homo erectus** (jelentése: felegyenesedett ember), más néven előember (22. ábra). E faj fejlődése során az agy mérete jelentősen megnövekedett. Korai képviselőinek agytérfogata kb. 800 cm<sup>3</sup> volt, a késői típusoké viszont már meghaladta az 1200 cm<sup>3</sup>-t. Az agykoponya csontjaiból arra is következtetni lehet, hogy agyuk „beszédközpontjai” fejlettek voltak, tehát közösségben élő, beszéd útján kommunikáló emberek voltak. A leletek alapján megállapítható, hogy ismerték a tüzet, amelyet sütésre, főzésre használtak, ezenkívül meleget és fényt adott, sőt távol tartotta a vadállatokat is.

Afrikában több százezer éven át egymás mellett éltek a késői Australopithecusok, a Homo habilis (21. ábra) és a Homo erectus. Az Australopithecusok lassan kiszorultak, majd kb. 1 millió éve kihaltak.

Az **előemberek** vándorlásaik során benépesítették egész Afrikát, egyes csoportjaik elhagyták a kontinenst, megjelentek Ázsiában, és végül mintegy félmillió éve Európában is megtelepedtek. Az előemberek leleteit a magyarországi Vértesszőlősen is megtalálták. A ma leginkább elterjedt álláspont szerint az előemberek populációjából különült el a heidelbergi ember (Homo heidelbergensis), és ezt tartják a Neander-völgyi ember (Homo neanderthalensis), illetve a mai ember, a Homo sapiens közös ősének. A korai **Homo sapiens** kb. 250 ezer éve Afrikában jelent meg, aztán Ázsiában és Európában is szélesen elterjedt. A Neander-völgyi ember Európában fejlődhetett ki mintegy 200 ezer éve (23. ábra). Ez az embertípus a jégkorszaki körülményekhez alkalmazkodott, testfelépítése ennek megfelelően specializálódott. A Neander-völgyiek alacsony, zömök testalkatúak voltak, agytérfogatuk elérte az 1500 cm<sup>3</sup>-t. Vadász közösségben éltek, szépen megmunkált kőszerszöveget készítettek. Az állcsúcs hiánya miatt valószínűleg nem voltak képesek tagolt beszédre. Fejlett kultúrájukra utal, hogy halottaikat eltemették. Mintegy 28 ezer évvel ezelőtt elűntek.



23. A Neander-völgyi ember rekonstruált képe



## A modern ember

A korai Homo sapiensekből mintegy százezer éve, valószínűleg Afrikában fejlődött ki a máig fennmaradt **modern embertípus**. Széttérjedve benépesítette Ázsiát és Európát is, miközben a korábbi embertípusokat kiszorította e kontinensekről. A modern Homo sapiensek legismertebb képviselője a crô-magnoni ember (24. ábra). Csontmaradványainak jellemzői lényegében megegyeznek a ma élő emberével.

## Bizonytalanságok

Az emberi evolúcióval foglalkozó kutatók sokáig úgy vélték, hogy miután a Neander-völgyi ember eltűnt, a Homo nemzetségből csak a Homo sapiens faj maradt a Földön. Nagy meglepetést keltett, amikor 2003-ban az Indonéziához tartozó Flores-sziget egyik barlangjában különleges, apró emberi csontokra bukkantak. A fölfedezők az élőlényt külön fajba sorolták, s lelőhelyéről Homo floresiensisnek nevezték el. A leletek 35–14 ezer évesek, de a lelőhelyen talált kőszerszámok között 9400 éve készült eszközök is akadnak. A csontmaradványok alapján ezek az emberek 1 méter körüli magasságúak voltak, testtömegük mintegy 30 kg, agytérfogatuk pedig mindössze 420 cm<sup>3</sup> volt, szemben a ma élő Homo sapiens 1300–1400 cm<sup>3</sup> körüli agytérfogatával.

A flores-szigeti emberek leszármazási kapcsolatairól, evolúciós jelentőségéről élénk vita folyik felfedezésük óta. A kutatók egy része szerint ezek az emberek nem is sorolhatók külön fajba, mivel az egyedek talán csak egy betegség, örökletes elváltozás miatt lettek apró termetűek. 2008-ban Szibéria déli részén egy barlangban kb. 40 ezer éves emberi csontmaradványokat találtak. A DNS-vizsgálatokból kiderült, hogy ez az ember nem volt sem Neander-völgyi, sem modern ember, de a Neander-völgyiekkel közös származású. Ezek szerint a 40 ezer évvel ezelőtti időszakban legalább három, vagy talán négy emberi faj élt a Földön: a Neander-völgyi, a szibériai és a modern ember, illetve (ha külön faj volt) a Flores-szigeti.



24. A crô-magnoni ember rekonstruált képe

A ma élő emberekre jellemző testalkat eredete visszavezethető a törzsfajlódásra, az állatvilág evolúciós múltjába.

A többsejtű, szövetes állatok embrionális fejlődésük alapján az összájúak és újszájúak csoportjaira oszthatók.

Az állatvilágban kialakult bilaterális (kétoldalas) szimmetria és testtájtagozódás (hát/has, fej/farok) az emberi testre is jellemző evolúciós örökség.

Az emberi faj fejlődése néhány millió évvel ezelőtt a főemlősök csoportjából, az emberszabású majmoktól különválva kezdődött el.

A modern emberi faj, a Homo sapiens sapiens Afrikából kiindulva terjedt el a Földön, kiszorítva és részben beolvasztva a korábban elvándorolt elődeit (pl. a neander-völgyi embereket).

# 42. Összefoglalás





## 43. Színes emberiség

1. Mit jelent a mai emberek egy fajhoz (*Homo sapiens*) tartozása?
2. Mi jellemzi a fajon belül kialakult eltérő embertani csoportokat, a rasszokat?
3. Mi is az a testkép?

### Mindenki más kép

A különféle embercsoportok leírásával, jellemzésével az **embertan** (antropológia) tudománya foglalkozik. Az emberek biológiai tulajdonságait a fizikai antropológia, társadalmi viszonyaikat pedig a kulturális antropológia vizsgálja. Az előbbi a természettudományok közé tartozik, az utóbbi pedig társadalomtudományok közé.

**A ma élő emberiség egyetlen fajba tartozik.** Ezen a fajon belül a különböző helyi környezeti körülményekhez való alkalmazkodás eredményeként a testi jellemzőkben eltérő négy alfaj (nagyrasz) alakult ki (1-3. ábra). A csoportosításnál a külső testméretek, a jellegzetes fejformák, a csontozat, a bőrszín, a haj- és szőrzetszín tanulmányozása mellett ma már nagy szerepe van a genetikának és egyéb modern tudománynak is.



1. Az emberi faj nagyraszai. Azonosítsd a négy nagyraszot a fényképek alapján!

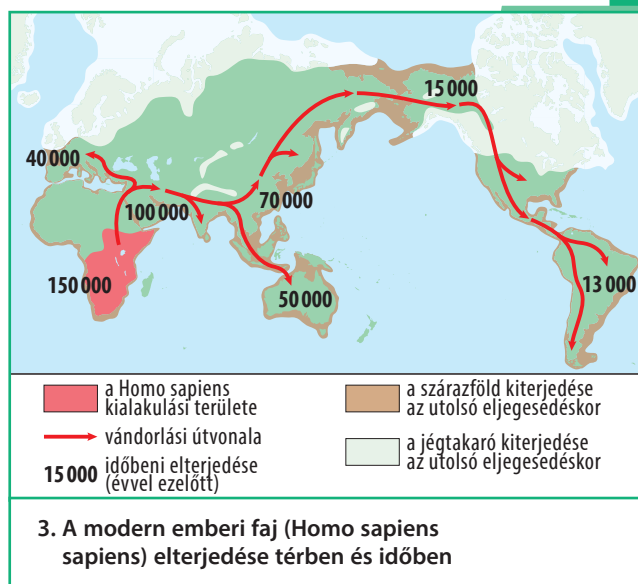
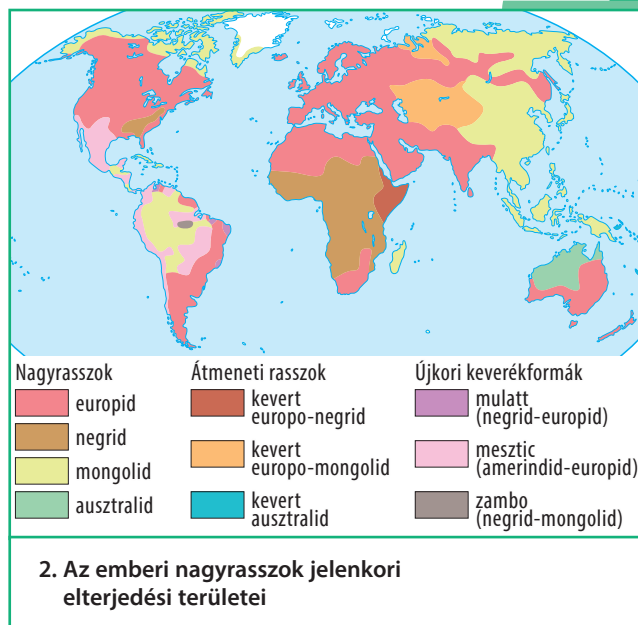
A **veddo-ausztraliid** rasszhoz tartozó emberek Ausztráliában, Tasmániában és Pápua Új-Guineán élnek. Jellemzőjük a sötét (de nem fekete) bőrszín, hajuk hullámos, orruk lapos. Megmaradt csoportjaikat Ausztráliában sok külföldi keresi fel, mert különleges művészetükkel, zenéikkel és táncaikkal egyre többen szeretnének megismerkedni.

Az **europid** nagyrassz képviselői nem csak Európában találhatóak meg. Az európaiak mindenfelé eljutottak, de europid őslakosai vannak Indiának, Iránnak, Törökországnak és az arab országoknak is. A bőr- és hajszínből is jelentős eltérések vannak a nagyrasszon belül. A kissé barnásabb bőrű, sötét hajú mediterrán emberek jelentősen különböznek a fehér bőrű és vörös vagy szőke hajú északiaktól. A barna bőrű indiaiak is sokban különböznek a szintén sötétebb bőrű araboktól. Ebbe a nagyrasszba tartozunk mi, magyarok is, de a honfoglalás előtti vándorlások és a Kárpát-medencében való letelepedést követő keveredés miatt inkább a sokféleség jellemző ránk.

A **mongolid** nagyrassz tagjai Dél- és Kelet-Ázsia őslakói, belőlük származnak az amerikai indiánok és az északi sarkvidéken elterjedt inuitok (eszkimók). Bőrük színe legfeljebb sárgás, de néha kifejezetten fehér, más típusoknál pedig barna. Jellegzetességük a mongolredő: ez a bőrredő a belső szemzugot fedi le, és egy kicsit a szemhéjra is ráborul. A mongolredő mellett az egyenes, fekete haj, az – európai átlaghoz képest – alacsony termet és a szélesebb arc teszi a csoportot egységesebbé. Természetesen a jobban ismert mongolok, kínaiak és japánok mellett a nagyrasszba tartoznak Szibéria őslakosai, a Koreai-félsziget, a Himalája, Burma, Thaiföld és Vietnám lakói is. Ázsián kívül legtöbbször a kínaiak és a japánok élnek.

A **negrid** nagyrassz képviselői eredetileg leginkább Afrikában éltek (az afrikai arab országokat kivéve). Ma azonban nagy számban élnek az amerikai kontinensen és Európában is egyaránt. Szintén nagyon változatos csoport. Közös jellegzetességük a göndör fekete haj. Orruk általában széles, de ebben vannak eltérések. Bőrük színe általában sötétbarna-fekete, de pl. a Kalahári-sivatagban élő busmanok vagy az egyenlítői esőerdőkben lakó pigmeusok bőrszíne jóval világosabb barna. A testmagasság is igen változó: az előbb említett két népcsoport tagjai pl. kifejezetten alacsonyak, de pl. a Nílus forrásvidékén élő nilotid rasszba igen magas termetű emberek tartoznak, ráadásul az orruk is keskeny, europid jellegű, a bőrük viszont igen sötét.

Az emberi nagyrasszok képviselői testalkatukban eltérnek, de értelmi és érzelmi fejlődésre irányuló adottságaikban nem különböznek egymástól. Ma már nagyon nagy mértékű az emberfajta keveredése, és földrajzilag sem különülnek el élesen egymástól.



## Szín és felszín

Az emberi test látványa a forma mellett mindenekelőtt a felszíntől függ. Emberi mivoltunk velejárója, hogy egész testünket szőr fedi, de ez mégsem olyan, mint az állatok bundája. Ami a piheszőrzeten kívül megmaradt, az egyben a nemek különbözőségét is jelzi, de a haj hosszában és színében nem lenne jelentős különbség. Idősebb korban a kopaszodás szinte kizárólag a férfiakra jellemző. Idősebb korban a kopaszodás szinte kizárólag a férfiakra jellemző, ami genetikai és hormonális okokra vezethető vissza, illetve a megnövekedett prosztaglandin  $D_2$  lipidmolekula szintre. A nemi érést követően a férfi és a női test a nemi szőrzet tekintetében is különbözik, a férfiaké a hason felfelé is folytatódik, nőké egy vonalban végződik, körvonala háromszögletű.

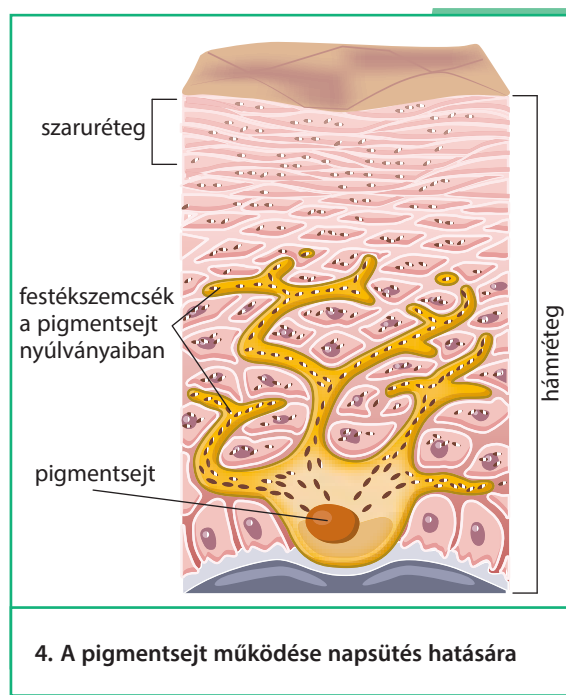
### Keress magyarázatot!

1. Milyen tudományos elméletek vannak az ember esetében a szőrzet elvesztésére, átalakulásra?
2. Melyik elmélet támasztható alá bizonyítékokkal, és melyik inkább csak hipotézis?

A látványon kívül a bőrünk másféle jelzéseket is kibocsát. A szőrtüszők között **verejtékmirigyek** vannak, amelyek a hőleadás mellett az egyéni testszag kialakításáért felelősek. Ebben közreműködnek a bőrben megtelepedett baktériumok is, amelyek „savköpeny” termelésével kórokozó társaik ellen is védik testünket. Utóbbiak ellen mi magunk tehetjük a legtöbbet, azzal, hogy tisztán tartjuk testünket.

A bőr színe a felhámiban elhelyezkedő **pigmentsejteknek** köszönhető. Sötét festékanyaga, a **melanin** elnyeli a nap ultraibolya sugárzását, így ezzel szemben védi szervezetünket. A napozás hatására a festékanyag termelése fokozódik, és a pigmentsejtek kiterjednek a bőrben, a festékanyagot a hámsejtek is átveszik, amely ezáltal sötétebbé válik (4. ábra). Az ultraibolya sugárzás nagy energiájú, túlzott mennyisége károsítja a sejteket, mert megváltoztatja a DNS-molekulák szerkezetét.

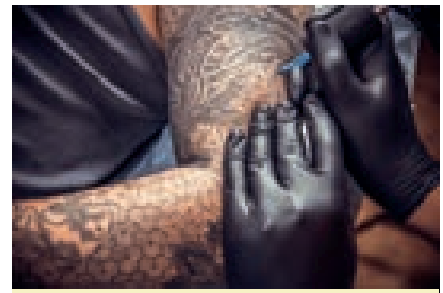
Az emberiség fejlődése során az élőhely környezeti viszonyaihoz való alkalmazkodás következtében különböző bőrszínű népcsoportok alakultak ki (5. ábra). A trópusi övezetben intenzív a napsugárzás, ezért az itt élő afrikai és ausztrál őslakók sötét bőrűek. Az európaiak világos bőre



5. Különböző bőrszínek eltérő pigmentáltsága

ugyancsak a környezethez való alkalmazkodást tükrözi. A mérsékelt övezetben az UV-sugárzás nem túl erős, és a sötét bőrszín meggátolná az UV sugarak bejutását a bőrbe, és ezzel a D-vitamin szintézisét. Valójában azonban egy-egy népcsoport tagjai sem teljesen azonos bőrszínűek, hanem e tekintetben is jellegzetes változatosság figyelhető meg.

Vannak emberek, népcsoportok, akik, illetve amelyek a bőr természetes színezettsége mellett különféle ábrákat, mintákat is viselnek testük felszínén. Ezek az egyszerű díszítésen túl az önkifejezést is szolgálják, de kisebb közösségekben, rangot, hovatartozást is jelezhetnek. A maradandóbb alkotásokat a bőr alatti irharétegbe tetoválják (6. ábra), de testékszert is viselhetünk, amelyet a bőr kilyukasztásával helyeznek el.



6. Tetoválás

### Alkoss véleményt!

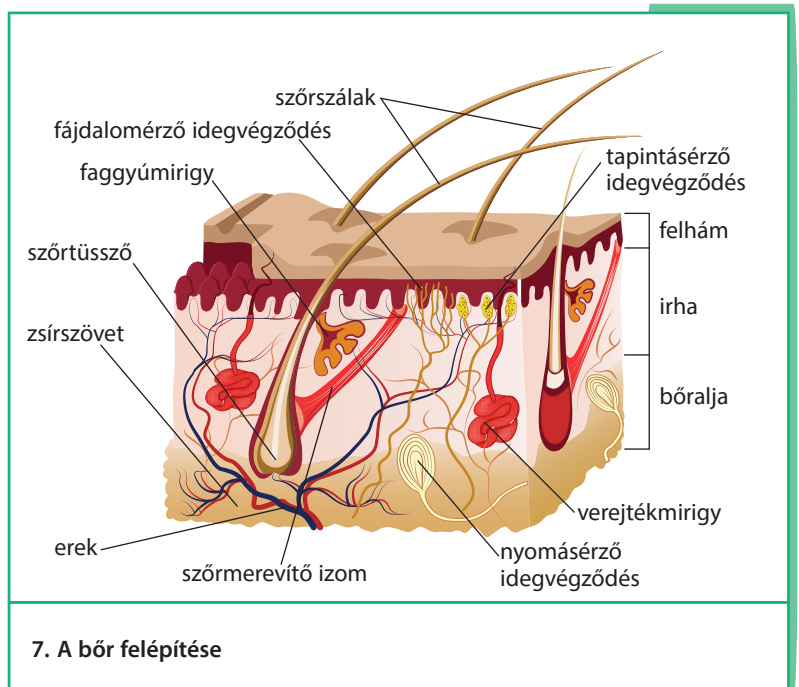
A tetoválás vagy a testékszer egyesek számára visszatetsző, mások kedvelik és divattá teszik.

1. Fogalmazz meg többféle szempontból véleményt ezekkel a testmódosításokkal kapcsolatban!
2. Vitassátok meg ezeket a véleményeket!

Az emberi bőrt három réteg alkotja: a felhám, az irha és a bőralja (7. ábra). A **felhámot** többrétegű, elszarusodó laphám alkotja. A hámréteg alsó sejtjei osztódnak, és az idősebb sejteket fokozatosan a felszín felé tolják. A felszín közelében a sejtek ellapulnak, szaruanyag halmozódik fel bennük, végül vékony szarupikkelyléc alakulnak, és elpusztulnak. Az elhalt sejtekből kialakuló szaruréteg véd a kémiai és mechanikai hatásoktól, gátolja a párologtatást és a kórokozók bejutását a szervezetbe.

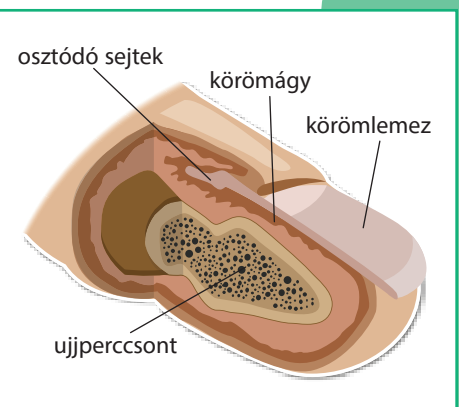
Az **irharéteg** fő tömegét alkotó laza rostos kötőszövet biztosítja a hámsejtek tápanyagellátását, szabálytalan lefutású rostjai nagyban hozzájárulnak a bőr rugalmasságához. Melegben vagy sportolás közben az erek kitágulnak, több vér áramlik át rajtuk, a bőr kipirul. Az áramló meleg vér több hőt ad le a környezetbe, ami hűti a szervezetet. Hidegben a bőr erei szűkülnek, ami mérsékli a hővesztést. A hőleadás párologtatással is megvalósulhat. Az irhában és a bőraljában nagyon sok verejtékmirigy található, amelyeknek vékony kivezetőcsövei a hám felületére nyílnak. Amikor a verejték elpárolog a bőr felszínéről, hőt von el, ezzel hűti a szervezetet. A magas hőmérséklet, az erős fizikai megterhelés vagy az izgalom serkenti a verejtékmirigyek működését.

A **bőralja** az alatta levő izomhoz vagy csontozathoz kapcsolja a bőrt. A benne lévő zsírszövet energiát és zsírban oldódó vitaminokat raktároz. Fontos szerepe van a hőszigetelésben és a mélyebben húzódó szövetek, szervek mecha-

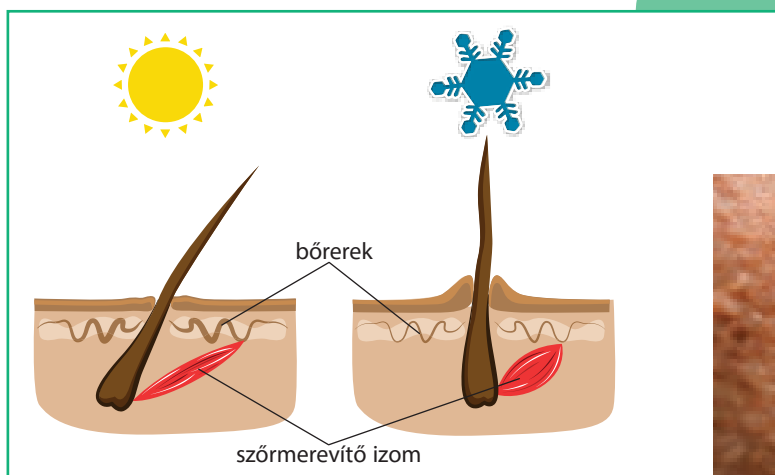


7. A bőr felépítése

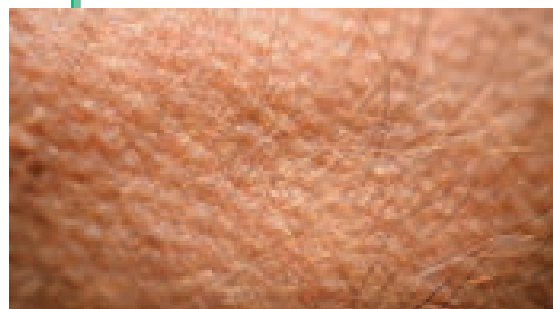
nikai védelmében. Elhelyezkedése, mennyisége függ a nemtől, az öröklött hajlamtól és az életmódtól. Utóbbi esetében a táplálékkal felvett energia mennyisége és annak testi és szellemi aktivitással való felhasználása közötti egyensúlyra kell ügyelnünk. Az ujjak végén a bőr irhába nyúló hámrétege hozza létre a **körmököt** (8. ábra). A szőrszálak a **szórtüszőkben** képződnek. A szórtüszőket a hám alsó felszínével szőrmerevítő izom köti össze, amely hidegben összehúzódik, a szőrszálát felmeresztí, vagyis libabőrök leszünk (9–10. ábra). A szórtüszőbe kerül a **faggyúmirigyek** zsíros váladéka, amely a szőrszál mentén a bőr felszínére kerül. Az így kialakult zsíros réteg hatékonyabban védi a szervezetet a kiszáradástól és a kórokozóktól.



8. A köröm kialakulása

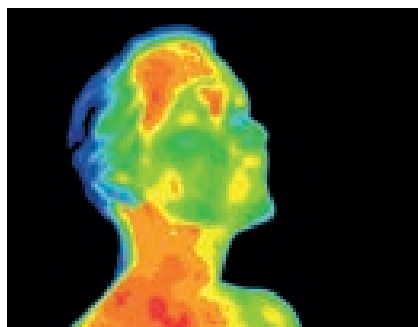


9. A libabőr kialakulása



10. Libabőr

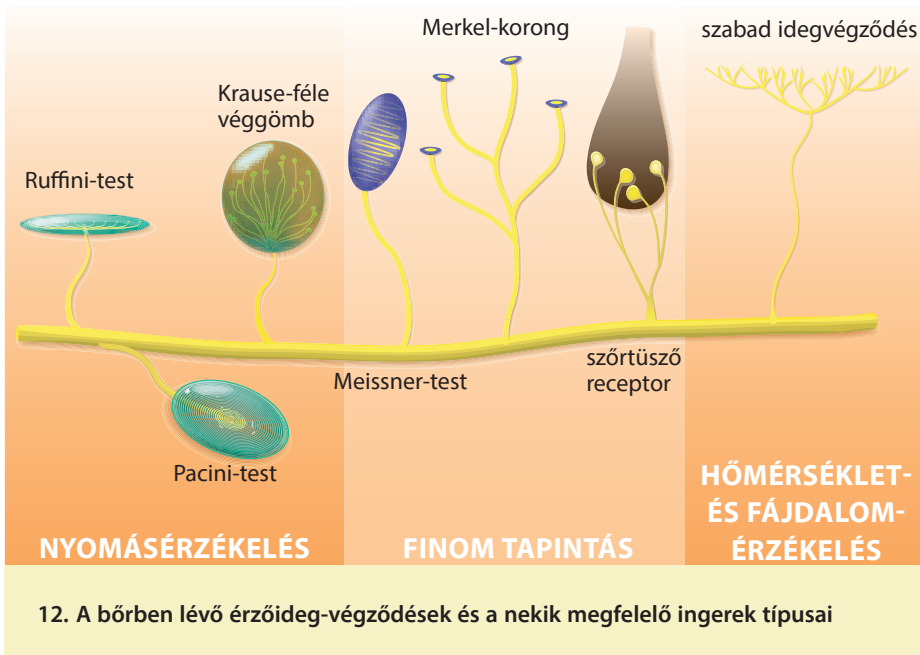
A bőr a legnagyobb méretű érzékszervünk, amelybe **tapintóideg-végződések** milliói ágyazódnak (12. ábra). Az érintések a mechanikai inger erősségétől függően lehetnek kellemesen simogatók vagy kellemetlenül fájdalmasak. A környezet hőmérsékletének érzékelésére is képesek vagyunk, de ez csak érintés esetén működik pontosan. Testünk ugyanis maga is bocsát ki hőt, ami néhány centiméter vastag meleg légburkot tart folyamatos áramlásban. A szél ezt elfújhatja rólunk, és ilyenkor a fokozott párolgás miatt további hűtő hatás is fellép, ezért a szeles időjárást hidegebbnek érezzük.



11. Infravörös hullámhosszon készült felvétel. A nyak körüli vörösebb színek a melegebb, enyhén gyulladt érterületeket jelzik.

A hó nemcsak a környező levegő áramlásával, hanem sugárzással is távozik a testből. A látható fénynél nagyobb hullámhosszú infravörös sugarak megfelelő kamerával láthatóvá tehetők. Az éjjellátó készülékek így képesek felderíteni a sötétben mozgó embereket. Orvosi alkalmazás is lehetséges: a beteg testrészek eltérő hőmérsékletét a hőkamera eltérő színnel jelzi (11. ábra).





12. A bőrben lévő érzőideg-végződések és a nekik megfelelő ingerek típusai

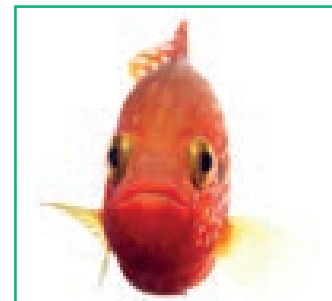
Az érzékelők elhelyezkedése igazodik az ingerek gyakoriságához és jellegéhez. A legtöbb tapintóideg-végződés a kéz ujjain, az ajkakon és a nemi szerveken van. Ezeken a kapukon át sokféle jel érkezik a szervezetbe, de nem feltétlenül mindegyik vált ki tudatos választ. A test érintése az érzelmeket is felkorbácsolhatja, a szülő-gyermek vagy a szerelmi kapcsolatban a boldogság forrása lehet.

## Formák és arányok

A gerinces állatok testalkata igen jó fejlődési alapnak bizonyult, nagyon sokféle életmódhoz és rendeltetéshez tudott alkalmazkodni. A test jobb és bal oldala tükörképi párt alkot, ez a kétoldalas részarányosság, a **bilaterális szimmetria** (13. ábra). A Föld gravitációja a fenn és lenn viszonyokat is kijelöli, lefelé van a hasi és felfelé a háti oldal. A két lábon járás, a felegyeneseedett testtartás megváltoztatja ezeket a viszonyokat, így testünk mai adottságai a korábbi fejlődési lépéseket is magukon viselik.

Az emberi test **jobb és bal** fele tehát szimmetrikus, ami másképpen azt jelenti, hogy testrészeink párosak, vagy ha csak egy van belőlük, akkor az többnyire tükörszimmetrikus. Párosak a végtagjaink, valamint a fej és a törzs középvonaltól távolabbi részei, például a fülek és a szemek. Az érzékszervek esetében ennek a gyakorlati oka van, hiszen a térbeliség érzékelése csak két független információ összehasonlításával lehetséges. A mellék a nőies testformát alakítják ki, de fontos élettani szerepük is van: anyatejet biztosítanak a csecsemő számára. A gerincesek azon csoportját, amelybe az ember is tartozik, ezekről a jellegzetes szervekről nevezték el emlősöknek (14. ábra).

Más irányú tagozódás a test **fej-láb irányú** különbözősége. A gerincesek hosszirányú testalkata áll a háttérben, amely a tápcsatorna száj-végbél nyílás lefutását követi. A gerinc hosszabb is lehet, mint a törzs, a végbélnyíláson túlnyúló szakasza lesz a farok. Nekünk embereknek is van néhány farkcsigolyánk, ezek azonban már nem nyúlnak ki a testből, hanem elcsökevényesedve és összeforrva a törzs alsó részének formálásában vesznek részt.



13. Kétoldali szimmetria a biborsügér példáján



14. Anyatejjel táplált csecsemő



15. Emberi gerincoszlop (háti, hasi és oldalsó nézet)

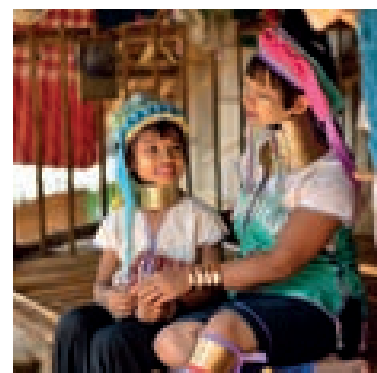
A *háti és hasi* oldal eltérését az ember esetében a megváltozott testtartás alakította ki. Végtagjaink már nem a hasi oldalon vannak, hanem a test hossztengele mentén helyezkednek el. A gerincoszlop nem vízszintes hidat alkot, hanem függőleges oszlopot, amely kettős S alakban görbült (15. ábra).

A törzs hátoldalának formája is módosul, háti domború és deréktáji homorú részek alkotják. A hasi oldalt úgy is meghatározhatjuk, hogy innen nézve látjuk szemből a testet. A szemek – a fejvel együtt – errefelé néznek, a koponya elülső részén pedig kiformalódik az arc.

Az ember tekintete, arcának formája és mimikája az emberi kapcsolatok fontos jelzőrendszere. Egyéni azonosítóbélyegek alapján azonosítanak bennünket az ismerősök, de **arckifejezésünk** elárulja pillanatnyi érzelmi állapotunkat is.

A fejet és a törzset a **nyak** kapcsolja össze, ennek hosszúsága kissé változó, vannak hosszabb és rövidebb nyakú emberek. A hosszabb és vékonyabb nyak a kecsesség, nőiesség jelképe (16. ábra), míg a rövid és vastag „egybenyak” inkább a férfias erőhöz társul.

A törzs felső felét a bordákkal merevített **mellkas** alkotja. Izmok segítségével tágítható és szűkíthető, ezek a mozgások eredményezik a kilégzést és a belégzést. A felegyenesedés miatt a belső szervek súlya már nem terheli a mellkast, hanem függőleges irányban továbbadódik a has felé, és végül a medence csontozatára nehezedik. A hasfal erős izomzattal rendelkezik, de kevesebb terhelésnek van kitéve, mint négy lábú őseink esetében. Ha a hasizmok gyengülnek, és zsírszövet rakódik a zsigerek közé, valamint a bőr alá, az a has kidomborodását, a „pocakosság” látványát okozza (17. ábra). Ez a típusú elhízás növeli a szív- és érrendszeri betegségek kockázatát is.



16. A thaiföldi karen törzsbe tartozó anya és lánya. A nők nyakát fémgyűrűk felhelyezésével hosszabbítják meg.



17. Hasi elhízás

## Miért szép?

### Az arany metszés elve

A történelem során a különféle kultúrák tudósai és művészei sokszor megpróbálták kiszámítani a szép arc tökéletes méreteit. Ezek közül a leghíresebb az arany metszés arányossága, amely 1 : 1,618. Ennek a lényege egy nagyobb és egy kisebb rész közötti arányosság (18–20. ábra).

#### Számítsd ki!

Egy általad kiválasztott (szemből nézeti) portréfotón keress olyan részleteket, amelyek méretei az arany metszés arányát követik!

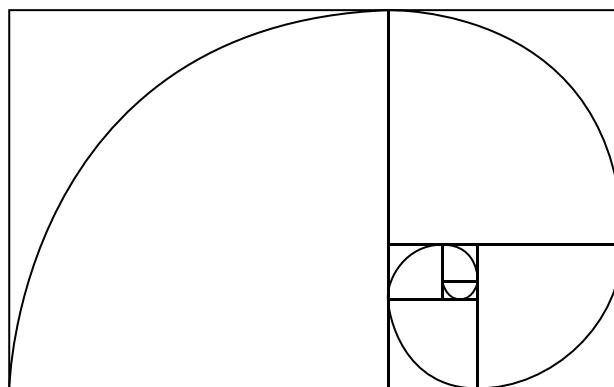
Ilyen lehet pl.: arcmagasság és -szélesség, orrhosszúság, -szélesség stb.

Mérésekkel és számítással igazold, hogy valóban fennáll-e az arany metszés aránya!

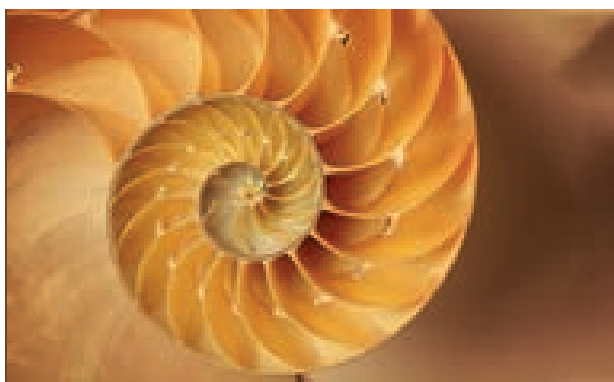
#### Alkoss véleményt!

1. Mitől függ az emberi arcok megítélése, milyen szerepe van ebben az arányoknak, szimmetriának?
2. Hogyan alkalmazzák ezeket az arányokat a szépségiparban?
3. Mennyire alakítja át a valóságot a média, a képmódosítók alkalmazása?

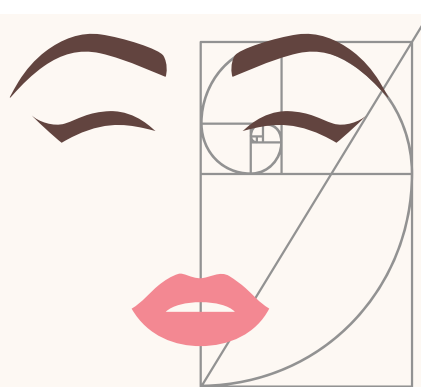
A klasszikus emberi szépségeszmény a ritkán megteremtődő egyensúly példája. A valóságban mindenki kicsit más, ebben-abbban eltér az ideáltól. Hosszabb a lábunk, görbébb az orrunk vagy szögletesebb az állunk. A társadalom szépségideálja egyfajta közmegegyezés, amit sokféle tényező alakít. Az antik világban a köztéri szobrok és festmények, ma pedig a videóklippek és mozifilmek terjesztik a mintákat. Egy-egy népszerű énekes, sportoló vagy színész alakja, arca bevésődik a tudatunkba. A szépségipar is kihasználja ezeket a divathullámokat, de akiknek sem így, sem úgy nem sikerül „megszépülni”, az csalódottnak érezheti magát. Pedig a testi szépség túlhangsúlyozása és kimondott vagy kimondatlan elvárása betegségekhez is vezethet. Az önmagunkkal való megelégedettség útján néha nagyon nehéz elindulni, de sokat segíthetnek a társak, barátok.



18. Az arany metszés arányát követő felosztás



19. Arany metszésarányok egy Nautilus (csigaházás polip) vázán



20. Az arany metszés arányai az arcon (egy szépségszalonn hirdetésében)



A willendorfi Vénusz, egy történelem előtti korból származó szobroccka



A milói Vénusz néven ismert ókori Aphrodité-szobor

### Vesd össze!

A willendorfi és a milói Vénusz-szobrok a női test más-más szempontú ábrázolásai.

1. Miben tér el az emberi test ábrázolása ebben a két alkotásban?
2. Hogyan magyarázható ez a különbség az őskor és az ókor társadalmi környezetére alapján?
3. Miért tartjuk ma furcsának (és nem szépnek) a willendorfi szobrocskát?

## Testkép és testképzavarok

Testünk állapotának jellemzésére számos lehetőség van, mérhetjük a testtömegünket, a testmagassággal összevetve kiszámíthatjuk a testtömegindexünket. A tükörbe nézve azonban nem mindig ezt látjuk viszont, elménk gyakran fest torz képet önmagunkról (21. ábra). Egy bizonyos határon túl ez az ellentmondás vezet a **testképzavarok** kialakulásához. A modern társadalmakban egyre terjed ez a jelenség, különösen jellemző a testi fejlődés intenzív szakaszában lévő fiatalokra. A betegségnek tekinthető szakaszban jellemző lehet a megszállottság, kényszeresség, szociális elszigetelődés, fokozott megfelelési vágy és a kóros viselkedés elhagyása esetén fellépő lelkifurdalás.

A kialakuláshoz vezethetnek **biológiai tényezők**: genetikai és epigenetikai okok, a szervezet energetikai háztartásának zavarai.

A **pszichológiai tényezők** között gyakori a környezet által támogatott túlzott elvárás, a megfelelési kényszer. Ilyenkor a táplálék elutasítása egyfajta lázadás ez ellen.

Szerepet játszhatnak egyéb **társadalmi tényezők** is, pl. a média által sugallt ideálok, a tökéletes test mítosza.



21. Testképzavar ábrázolása

A testképzavarral párosuló viselkedészavarok néhány gyakoribb formája:

- Anorexia nervosa (AN): A betegek önértékelése torzult, kövérnek tartják magukat. Mások alakját azonban jól meg tudják ítélni, a testképzavar csak saját testre vonatkozik.
- Bulimia nervosa (BN): Valójában három különböző betegség, melynek legjellemzőbb közös tünetei: falásrohamok, testsúlycsökkentő eljárások (önhánytatás stb.), szorongás a testtömeg és az alak miatt.
- Izomdiszmorfia: Testedzésfüggőség, a betegek soványnak, erőtlennek látják magukat, amit állandó testedzéssel és táplálékkiegészítők fogyasztásával kompenzálnak, és ezekkel komoly egészségügyi károkat okoznak maguknak.
- Orthorexia nervosa (ON): Egészségesétel-függőség, ha a beteg nem talál általa egészségesnek tartott ételt, koplalni is hajlandó.

### Kutass!

Keress információkat a testképzavarokkal kapcsolatban!

Azonosítsd a felismerésük lehetőségeit, a család és a közösség szerepét a megelőzésben és a kezelésben!

### Vitasd meg!

Társaiddal vitassátok meg, hogy a médiának (filmek, videóklipek stb.) milyen szerepe lehet a testképzavarok, viselkedési zavarok gyakoribbá válásában!

Fogalmazzatok meg lehetőségeket ezek hatásának csökkentésére!

A ma élő emberek valamennyien egy fajhoz tartoznak, ezen belül különbözőtethetők meg a földrajzi elterjedés és környezeti alkalmazkodás során kialakult nagyrasszok.

A bőrünk a színével és a haj, a szőrzet jellegével testünk külső képét meghatározza, emellett szerepet játszik az érzékelésben és a testhőmérséklet szabályozásában is.

Az emberi test alapvető formavilága olyan öröklött sajátosságokból indul ki, mint a kétoldali (bilaterális) szimmetria, a hát-hasi oldal és a fej-farok irányultság.

A testkép a személyiségünk, önfogadásunk fontos része, amelyet a sokféleség mellett koronként és kultúránként is változó ideálok is befolyásolnak.

## 43. Összefoglalás





## 44. Forma és funkció

1. Hogyan alakul ki és hogyan alakítható tudatosan a testfelépítésünk, testalkatunk?
2. Milyen szervek, szervrendszerek együttműködése eredményezi a mozgásképességünket?
3. Milyen fizikai elvek jellemzik az ember mozgását?
4. Hogyan alkalmazkodik a testünk a különböző mozgásformák okozta terheléshez?

### Vázrendszer

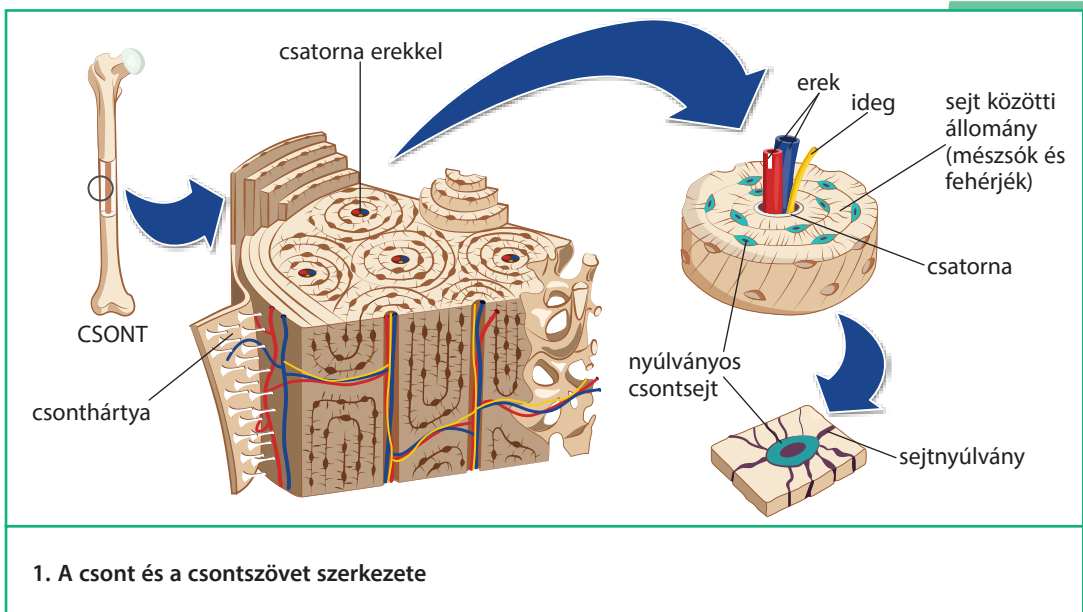
Az emberi test a szervezet egész rendszerének megjelenési formája. Külsőnk igazodik a belső szerkezethez, annak működését szolgálja. A testformát a csontváz és a hozzátapadó vázizomzat alakítja ki. Ez a kétféle összetevő biztosítja a szilárdság és a mozgásképesség egyensúlyát.

#### Idézd fel!

Az állati szövetekről korábban tanultak és az alábbi szempontok alapján idézd fel a csont- és a porcszövet felépítését!

1. Melyik szövettípusba tartoznak?
2. Mi jellemzi a sejtek és a sejt közti állomány viszonyát?
3. Hogyan egészítik ki egymást a csontot felépítő szervetlen és szerves anyagok?
4. Melyik elem raktárának is tekinthető a csontszövet?
5. Hogyan történik a „raktárkészlet” tárolása és mobilizálása?

Csontvázunk a szerveződési szintek egymásra épülésével alakul ki. A **csontsejtek** szövetet alkotnak, ebből **csontok** formálódnak, melyek egységes szervrendszerré, a **csontvázzá** kapcsolódnak össze.



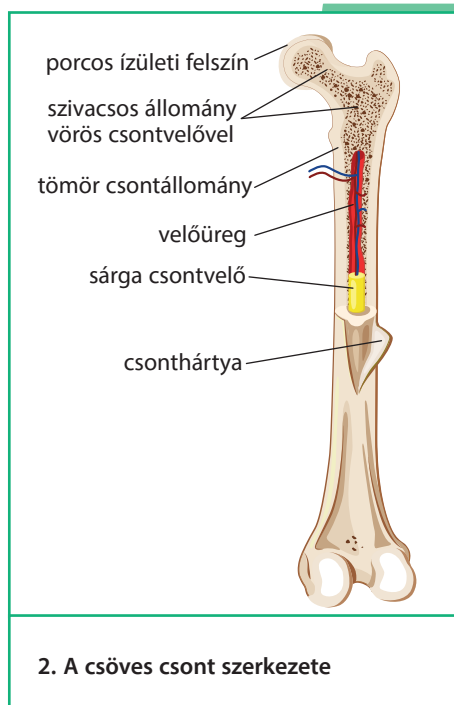
1. A csont és a csontszövet szerkezete

## A csontok felépítése

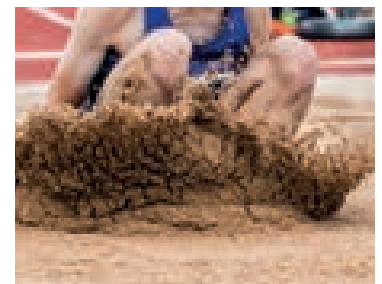
A csontok mérete és alakja nagyon változatos, csöves, lapos és szabálytalan csontokat különböztetünk meg. A végtagok hosszú csontjai **csöves csontok**, a mellcsont és az agykoponya csontjai **laposak**, a gerincoszlopot alkotó csigolyák pedig **szabálytalan** alakúak.

A csontokat kívülről **csonthártya** borítja (1. ábra). Kötőszövetes állományában **erek és idegek** találhatók. Az erek belépnek a csontba, sűrű érhálózatot alkotnak, ez teszi lehetővé a csontsejtek élénk anyagcseréjét. A csonthártya nélkülözhetetlen szerepet játszik a csontok növekedésében és az esetleges sérülések utáni regenerációban is. Alatta nagy teherbírású **tömör csontállomány**, a csont belsejében pedig a lemezekből és gerendákból álló **szivacsos állomány** található. A szivacsos állomány üregeit **vörös csontvelő** tölti ki, ez kulcsfontosságú a vérvézésben. A lapos és szabálytalan csontokban csak tömör és szivacsos csontállomány van. A csöves csontok végdarabjai hasonló szerkezetűek, középső részükön viszont velőüreg található, amelynek belsejét **sárga csontvelő** tölti ki (2. ábra).

Az egyes csontok belső szerkezete a terheléseknek megfelelően alakul ki. A lemezek ívelése, sűrűsége alkalmazkodik az erőhatásokhoz, szükség esetén átépül. Szerkezetük a lehető legkisebb tömeg mellett a lehető legnagyobb teherbírást teszi lehetővé (3. ábra).



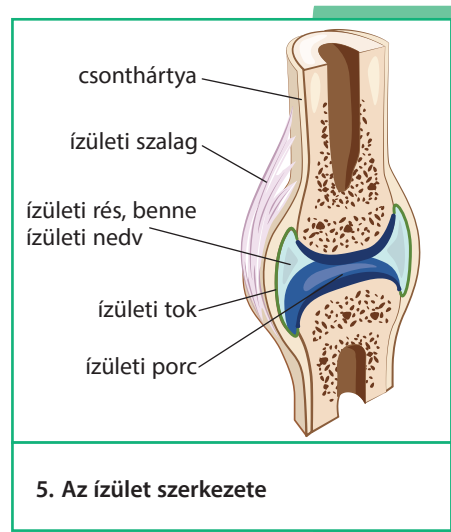
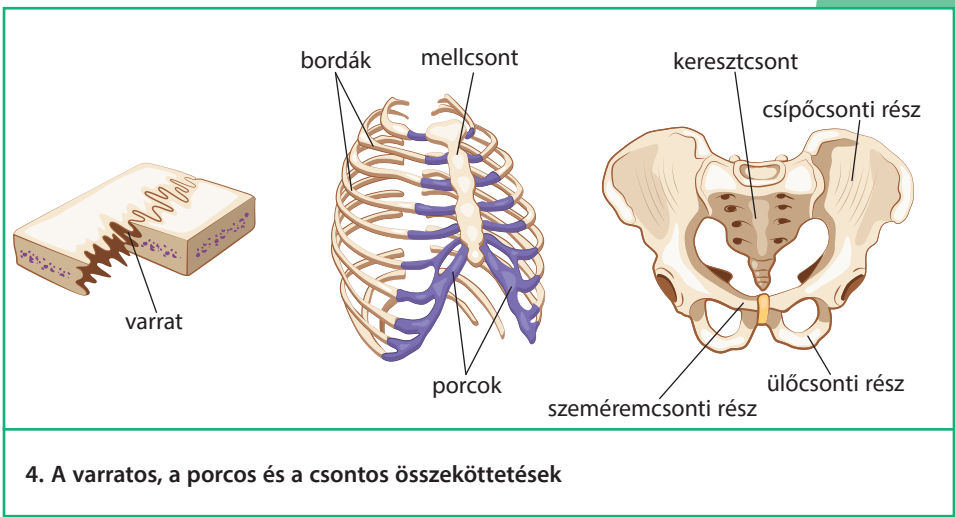
2. A csöves csont szerkezete



3. Landolásakor a testsúly többszörösét kell elviselnie a vázrendszernek. Mi minden járul hozzá, hogy kibírja?

## A csontok kapcsolódása

A csontváz csontjai sokféleképpen kapcsolódnak egymással (4. ábra). Az agy- koponya csontjait hullámos széllel egymásba illeszkedő **varratok** kötik össze. Ez a mozdulatlan kapcsolódás védi az agyvelőt, és lehetővé teszi a koponya növekedését. A csigolyák között, a bordák és a mellcsont között **porcos összeköttetés** teremt kapcsolatot. Ez a csontok összenövésénél rugalmasabb, megenged némi mozgást. A medencecsont például három csont összenövéséből, a keresztcsont pedig öt csigolya összenövéséből alakult ki.



Az **izület** a csontok mozgékony összeköttetése (5. és 6. ábra). Az ízesülő csontvégeket kötőszövetből álló erős **izületi szalagok** tartják össze. A csontvégeket sima felszínű **porc** fedi. Az ízületet az **izületi tok** borítja be, melynek belső sejtrétege termeli az **izületi nedvet**. Az ízületi nedv kitölti az ízületi üreget, kenőanyagként csökkenti az elmozduló porcok közötti súrlódást. Ez a folyadékállomány sejteket is tartalmaz, ezek „takarítják” az ízület belsejét. A csontokon lévő vágások és nyílványok mérete, helyzete, valamint a szalagok feszessége megszabja, hogy az ízület milyen mozgásokra lesz képes.

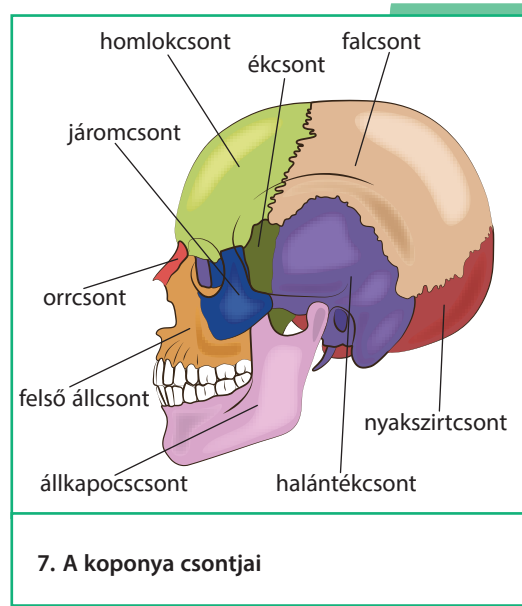


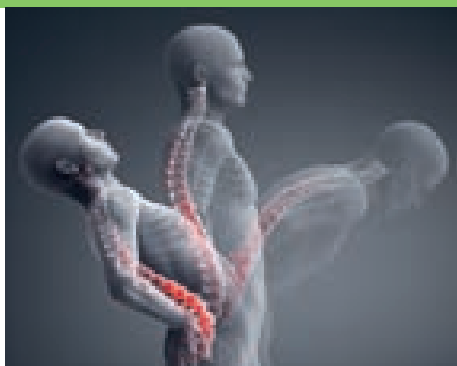
## A fej és a törzs csontváza

A **koponya** a fej csontos váza, két fő tájéka az agykoponya és az arckoponya (7. ábra). Az **agykoponya** védi az agyvelőt. Alsó, nyakszirti része a nyakcsigolyához ízesül. A koponya nyakszirti nyílásán, az öreglyukon keresztül kapcsolódik egymáshoz az agy- és a gerincvelő. Az **arckoponya** csontjai közül az állkapocs ízülettel, mozgathatóan kapcsolódik az agykoponyához.

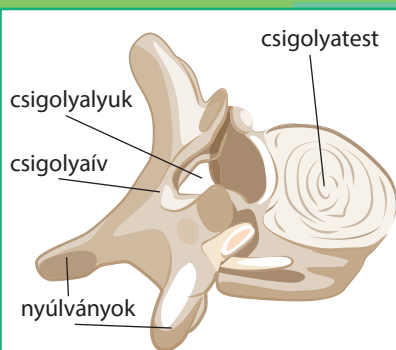
A törzsváz tengelyét a csigolyákból álló **gerincoszlop** alkotja. A csigolyatestek között **porckorongok** vannak, amelyek egyrészt összekötik a csigolyákat, másrészt lehetővé teszik kismértékű elmozdulásukat. A gerincoszlop azért olyan hajlékony, mert sok csigolyából áll, és a csigolyák apró mozgásai összeadódnak (8. ábra).

A gerincoszlop enyhe kettős S alakú görbülete az egyedfejlődés során alakul ki. Két lábon járás közben ez biztosítja a fej rugalmas alátámasztását. A csigolyatest és a csigolyáiv a csigolyalyukat zárják közre (9. ábra), ezek összessége alakítja ki a gerincsatornát, amely-





8. A gerincoszlop mozgás közben

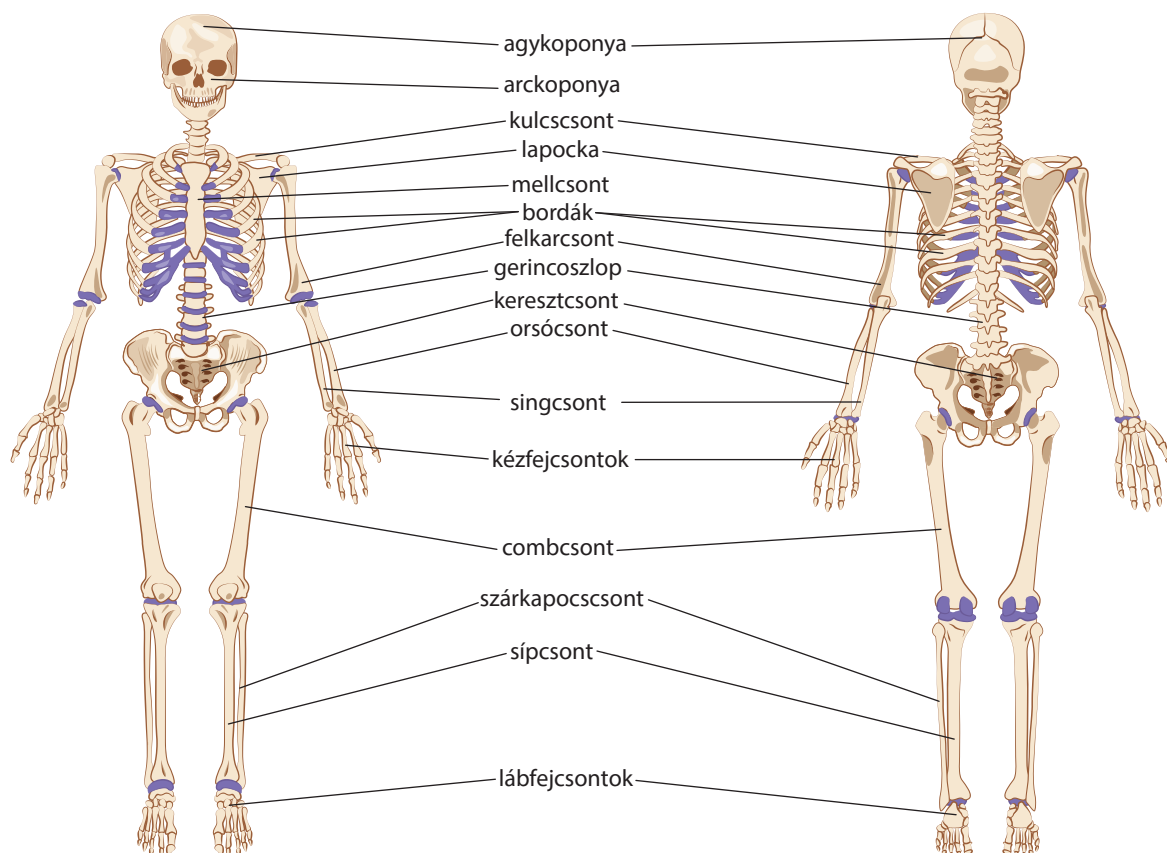


9. Egy csigolya felépítése

ben a **gerincvelő** húzódik. A gerincoszlop mellkasi (háti) csigolyáihoz **12 pár borda** ízesül. A bordák előtt a mellcsonthoz kapcsolódnak, így **zárt mellkas** alakul ki.

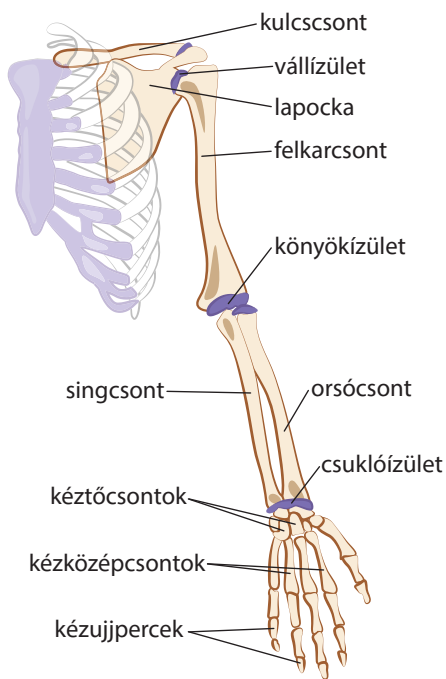
### A végtagok csontváza

A végtagok váza **függesztőövön** keresztül kapcsolódik a törzsvázhoz (10. ábra). A felső végtag függesztőöve a **vállöv**, amely a lapockából és a kulcscsontból áll. A vállízületet a vállöv csontjai és a felkarcsont alkotják. Az **alkar** két csontja a **singcsont** és az **orsócsont**. Ezek a könyökízületben a **felkarcsont**hoz, a csuklóízületben pedig a **kéztőcsontok**hoz ízesülnek.



10. A csontváz szerkezete hasi és háti irányból

A kéz csontjai a kéztő- és a kézközépcsontok, valamint az ujjpercek (11. és 12. ábra).



11. A vállöv és a kéz csontváza



Pávián

Orangután

Csimpánz

Ember

12. Néhány főemlős mellső végtagja és az emberi kéz

### Elemezz!

Hasonlítsd össze a rajzokon látható főemlősök és az ember kezének felépítését!

1. Milyen formai különbségeket vettél észre?
2. Hogyan függ össze a tenyér felépítése az életmóddal?
3. Miért lehetett az emberré válás egyik fontos eleme a kéz fejlődése?

### Vesd össze!

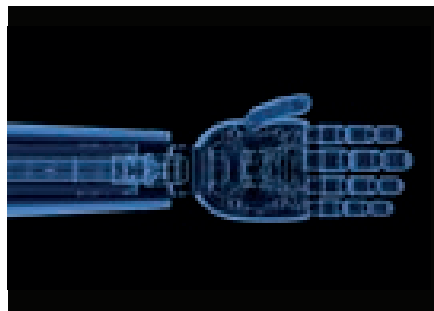
Hasonlítsd össze az emberi kéz és a robotkéz felépítését!

Milyen hasonlóságokat vettél észre?

Miért választhatták a robot tervezői ezt a megoldást?



13. Emberi kéz röntgenképe



14. Az emberi kéz felépítése alapján tervezett robotkéz röntgenképe

### Alkoss!

Tervezz olyan robotkezeket, amelyek hasonló feladatokat tudnak elvégezni, mint az emberi kéz, de más a felépítésük!

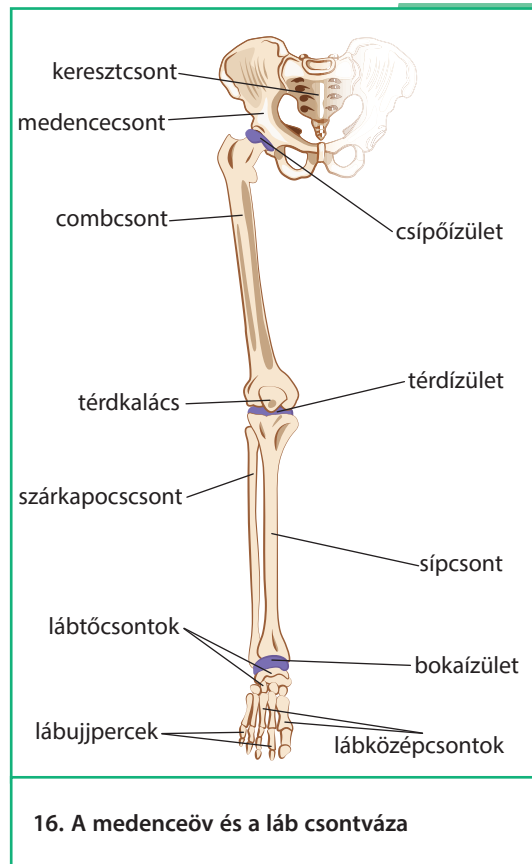




15. Az emberi medence röntgenképe

Az alsó végtag függesztőöve a **medenceöv**, amely a **keresztcsontból** és a **két medencecsontból** áll.

A **combcson**t a csípőízületben csatlakozik a medencecsonthoz (15. ábra). A combcsont és a sípcsont között található a térdízület. A lábszár csontjai a **sípcsont** és a **szárkapocscsont**, amelyek a bokaízületben ízesülnek a lábtőcsontokkal. A lábfejet a **láb-tő- és a lábközépcsontok**, valamint a **lábujjpercek** képezik. (16. ábra).

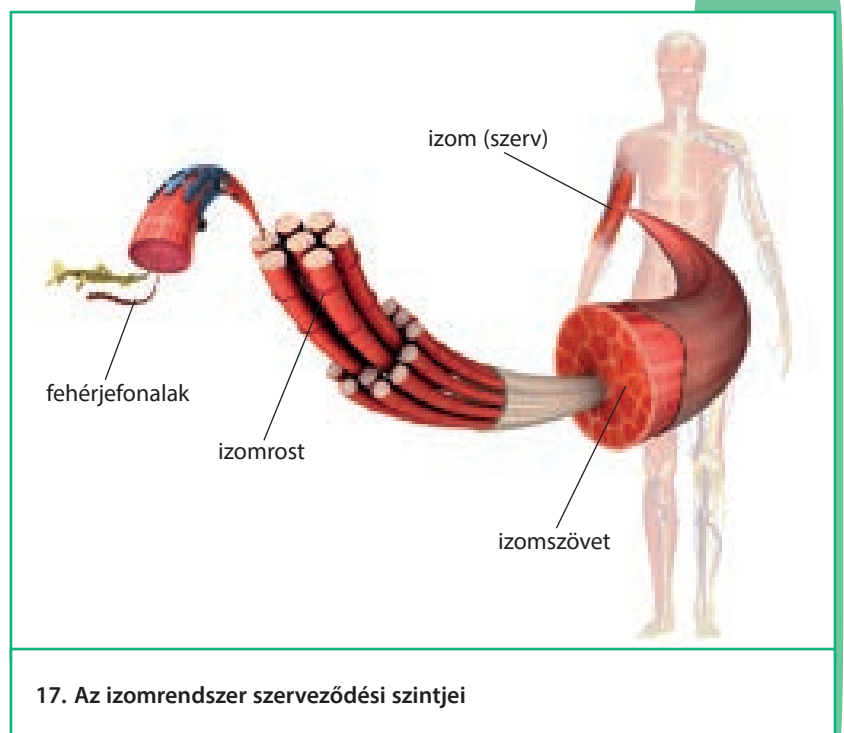


16. A medenceöv és a láb csontváza

## Izomrendszer

Az emberi izomzat felépítésében és működésében az élet egyik alapelve, a **szerveződési szintek egymásra épülése** jelenik meg (17. ábra). A **molekulák** szintjén jellegzetes fehérjék (aktin és miozin) külön-külön fehérjefonalakat, filamentumokat alkotnak. Az **izomsejt** szintjén a fonalak rendszerré kapcsolódnak, ebből alakul ki a miofibrillum (izomrostocska). Az **izomszövet** szintjén a hasonló szerkezetek egymásba épülése megy végbe, az izomsejtek izomrostokat képeznek. A rostok sokaságából felépített, önállóan működő **izmok** a **szervi szintet** képviselik. A test izmai a mozgási feladatoknak megfelelő egységes szervrendszert alkotnak, ez az izomzat.

(izom → izomrost → fibrillum → filamentum → elemi fehérjék [aktin, miozin]).



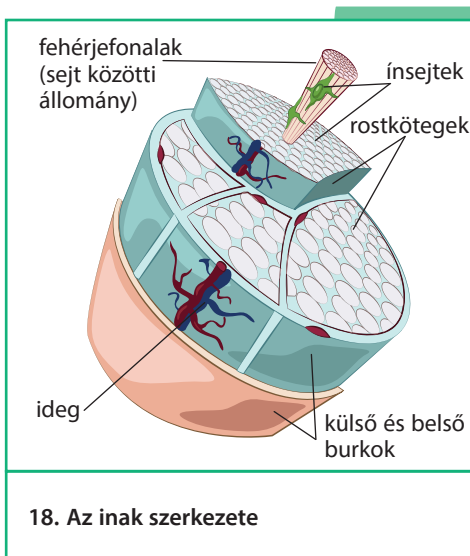
17. Az izomrendszer szerveződési szintjei

## Az izmok felépítése

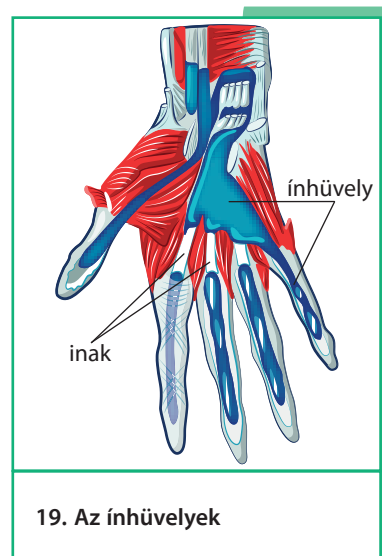
Az izmokat a csontokhoz rögzítő **inak** nagy szakítószilárdságú, de kevésbé rugalmas, tömött rostos kötőszövetből állnak. A szövet sejt közötti állományában sok párhuzamos lefutású kötőszöveti rost húzódik (18. ábra). A kézfejen, a tenyéren, a lábfejen és a talpon az inak hosszan húzódnak a csontok felületén, és nagy súrlódásnak vannak kitéve. Ezeket a helyeket az inakat **ínhüvelyek** védik (19. ábra).

## A testtájak izomzata

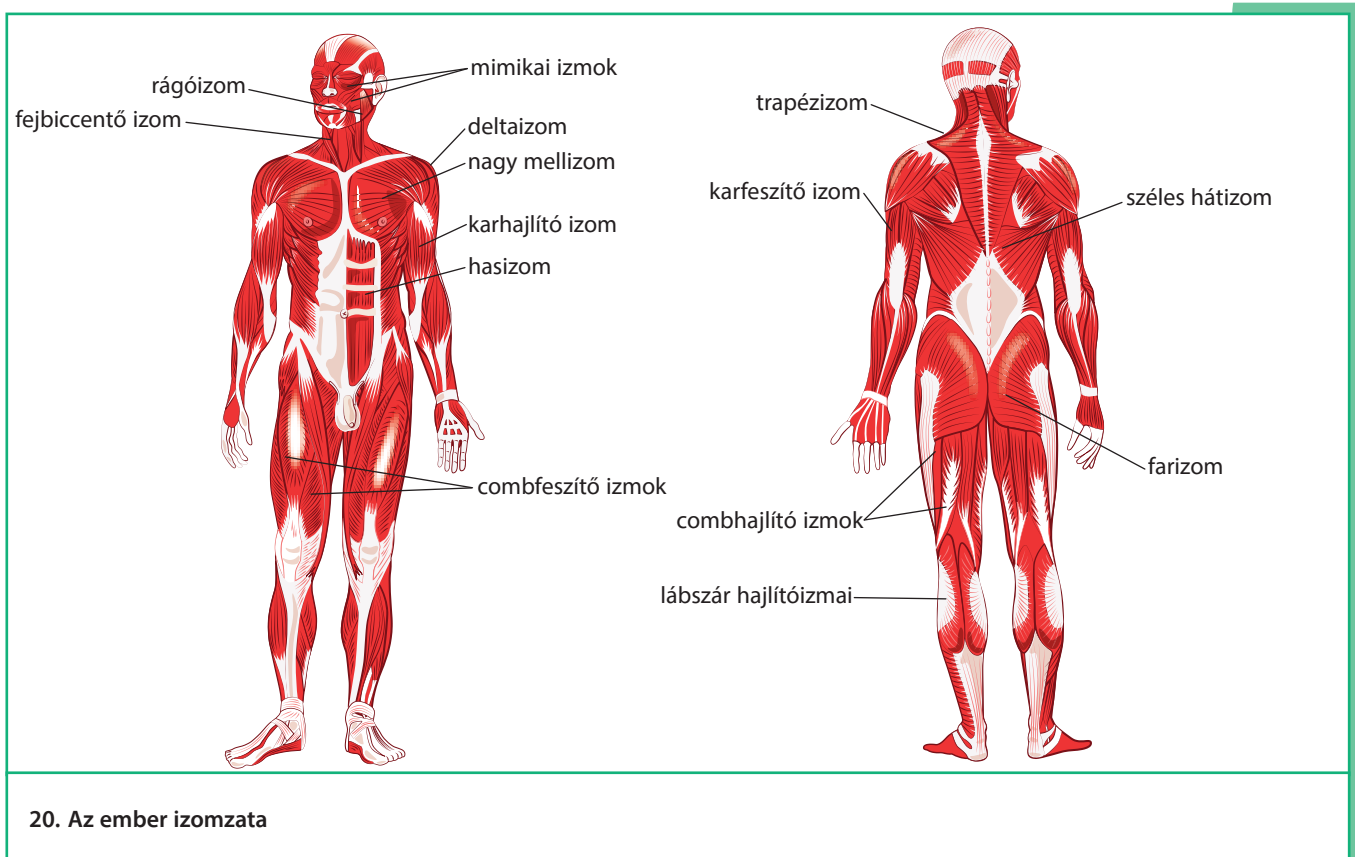
Az izomrendszer a csontváz felépítését követi: fej-, törzs- és végtagizmokra tagolódik (20. ábra). A **fej izmai** közé tartoznak a **mimikai izmok**, amelyek az arcjátékot alakítják ki. Nagy részük csonton ered és bőrben végződik. Az állkapcsot mozgató **rágóizmok** nagy erő kifejtésre képesek. A szájnyílás körül gyűrű alakú **záróizom** található.



18. Az inak szerkezete



19. Az ínhüvelyek



20. Az ember izomzata

A **törzs izmai** közé a nyak, a mellkas, a has és a hát izmai tartoznak. A **nagy mellizmok** a kar mozgatását végzik, a **bordaközi izmok** a légzésben vesznek részt. A **hasizmok** széles, lapos izmok. A törzset előre és oldalra hajlítják, valamint csavarják. Fontos szerepük van a hasfal kialakításában.

A **hátizmok** közül egyesek a felső végtagot mozgatják, másoknak a testtartás kialakításában van szerepük. A törzs függőleges helyzetben tartását végzik. A végtagok izmai a kart, illetve a lábat mozgatják. A felkaron elől helyezkednek el az alkart **hajlító**, hátul a **feszítő izmok**. Az **alkarizmok** az ujjakat és a kézfejet mozgatják. A láb izmai rendkívül erősek. A **térdhajlító izmok** a comb hátsó felszínén, a feszítők elől helyezkednek el. A láb-szárizmok a lábfej és az ujjak hajlítását, feszítését végzik.

Egy izom csak egy irányban mozgatja a csontokat. Az izmok általában csoportosan működnek, a mozgás során nem csak egy különálló izom húzódik össze és ernyed el. Az együttműködő izmok, mint például a combhajlító izmok, hasonló irányba mozdítják el a csontokat. Mivel az izmok csak összehúzódásra képesek, az ellentétes irányú mozgáshoz **izompárokra** van szükség. Ellentétes működésű izompár például a karfeszítő, illetve a karhajlító izom (21. ábra).

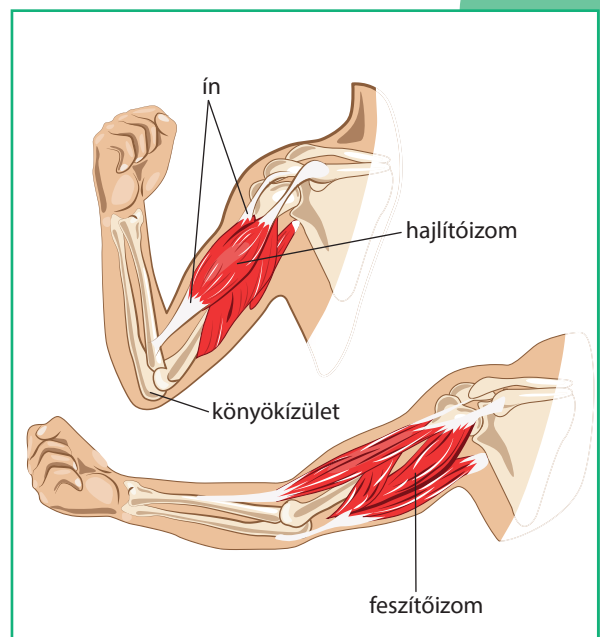
## Erő! Izom!

- **Hogyan alakítja ki szervezetünk energetikai és információs működése mozgásképességünket?**

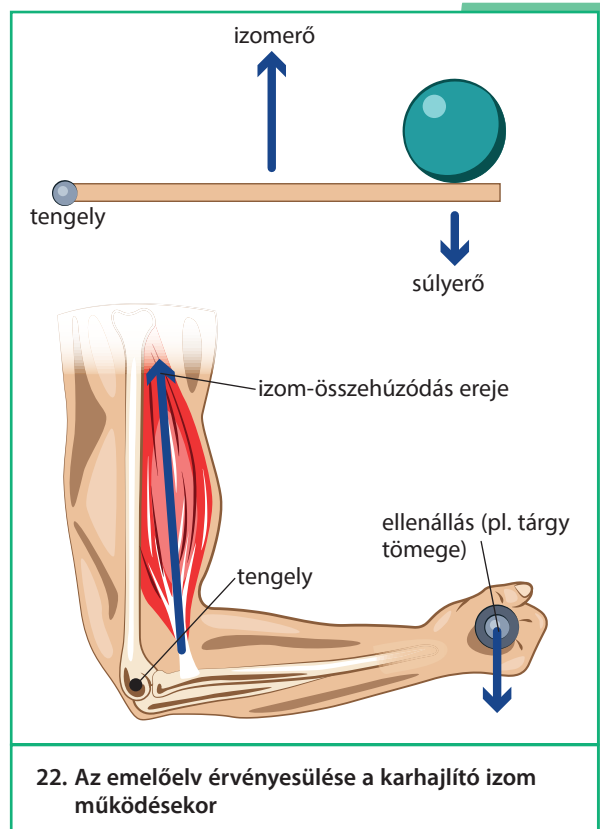
A mechanika a fizika egyik tudományterülete, míg az élőlényekkel a biológia foglalkozik. A kettő határtudományaként alakult ki az élőlények mozgását vizsgáló **biomechanika**. Tárgykörébe tartozik a biológiai mozgás, a mozgással kapcsolatos jelenségek vizsgálata. Az állatok tanulmányozásával a törzsféjlődés során kialakult megoldásokat lehetnek el a tudósok. A különleges járművek és robotok tervezői gyakran merítenek ebből a természetes ötlettárból.

A végtagizmok vizsgálata révén jól megérthetjük, hogy izmaink működése a fizikából ismert **emelőelven** alapul (22. ábra). A csonthoz tapadó izom által kifejtett erő támaszpontja a tapadás helyén van. A csont egyik vagy mindkét vége ízületre kapcsolódik, amely forgástengelyként működik. Ettől a ponttól az izomtapadásig az erőkar, a csont terhelési pontjáig pedig a teherkar hosszúsága mérhető. A fennálló arányosság:

$$F_{\text{izom}} / F_{\text{teher}} = \ell_{\text{teherkar}} / \ell_{\text{erőkar}}$$



21. A kar hajlító- és feszítőizmai



22. Az emelőelv érvényesülése a karhajlító izom működésekor

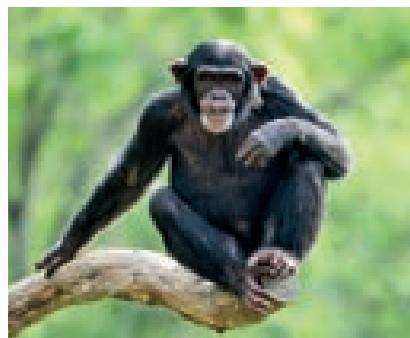
### Számítsd ki!

Mekkora erőt fejt ki a karunk hajlítóizomzata, ha a könyökízülettől 6 cm-re tapad az alkar-csontokon, míg a tenyerünkben tartott 5 kg-os (50 N) súly ízülettől mért távolsága 30 cm?

Ha az erőkar rövidebb, mint a teherkar, akkor egy adott teher elmozdításához a súlyerőnél nagyobb izomerőre van szükség. A végtagok felépítése ilyen helyzetet teremt, vagyis izmaink a munkavégzésre fordíthatónál nagyobb erővel húzódnak össze. Ez látszólag energiapazarlás, de figyelembe kell venni, hogy a végtag nagyobb úton való mozgatása csak ilyen megoldással lehetséges. Az emberi kéz és láb szerkezete főemlős elődeink fán lakó életmódját tükrözi (23. ábra). Az ágak között hosszú, vékony végtagokkal lehetett mozogni, ezért sem kerülhetett az izomtapadás távolabbra az ízületektől. A két lábon járás kialakulása után a kéz megörökölte ezeket a képességeket, amelyek a különféle munkafeladatokban is jól használhatónak bizonyultak.

Legnagyobb erőt a még nyugalmi hosszúságú izmok fejtik ki, ez rövidülés közben fokozatosan csökken. Egy izom legfeljebb a 60 százalékig képes megrövidülni, ekkor már további erő kifejtésre nem képes. A munka- vagy sportmozgások tervezésénél is figyelembe veszik ezeket a jellemzőket, például a dobás, húzás indítása nyújtott karral történik. A legnagyobb emberi izomerő kb.  $34 \text{ N/cm}^2$ , de egyénenként eléggé változatos értékek mérhetők. A hosszabb rostokból felépülő izmok nagyobb munkát tudnak végezni, mert egyenként is nagyobb elmozdulásra képesek ( $W = F \cdot s$ ).

A végtagok felépítésének köszönhetően különböző szintről hozható létre egy-egy mozgásforma. Egy dobás indítható csuklóból, könyökből, vállból vagy a törzsből. Az eredmény akkor a legnagyobb, ha az izomcsoportok mindegyike sorban bekapcsolódik, összeadva erőt, lendületet és irányítást (24. ábra). A legfinomabb, legösszetettebb és legjobban összehangolt mozgásra a kezünk képes. Az ujjak önálló mozgást és összehangolt munkát is végezhetnek.



23. Faágon üldögélő csimpánz



24. Diszkoszvető dobás közben

### Kutass!

Egy általad választott vagy gyakorolt sportág mozgásformáinak elemzésével mutasd be a technikák mögötti biomechanikai elveket!

Javasolt téma: pl. magasugrás, gerelyhajítás, úszás

### Alkoss véleményt!

Az atlétika világrekordjai időről időre megdőlnék. A rekorder sportolók, pl. Usain Bolt vagy a rúdugrásban sokáig csúcstartó Szergej Bubka nagy népszerűségnek örvendenek. Vannak sokáig megdönthetetlennek látszó rekordok, mint a távolugrásban 1968-ban Bob Beamon által felállított 8,90 méteres eredmény, amelyet 23 évig nem tudott senki megdönteni.

1. Nézz utána, melyek a leginkább számontartott világrekordok!
2. Melyek esetében számít a legtöbbet az emberi teljesítmény, és melyeket befolyásol pl. a felszerelés, eszköz?
3. Hogyan érik el a sportolók és felkészítőik a rekorderedményeket?
4. Elérhető-e valaha az emberi teljesítőképesség „legfelső határa”?



25. Didergés

A munkavégzéshez **energia** szükséges, ezt a sejtekben zajló biokémiai folyamatok termelik. A tápanyagok energiataralma akkor szabadítható fel jó hatásfokkal, ha a sejtekben elegendő oxigén áll rendelkezésre. Hosszan tartó, megterhelő izommunka esetén oxigénhiány alakulhat ki, ilyenkor a sejtek tartalék üzemmódra kapcsolnak. A sejtlegzést anaerob, tejsavtermelő folyamat váltja fel, amelynek az energetikai hatásfoka jelentősen kisebb. Az oxigénadósság bizonyos határig elviselhető, sőt a hozzá való alkalmazkodás növelheti az izom teljesítőképességét (anaerob edzés).

A felhasznált kémiai energia és a végzett mechanikai munka viszonyából az izommunka hatásfoka is kiszámítható, ez kb. 20 százalék. Legnagyobb veszteséget az izomrostok egymás melletti elcsúszása

közben keletkező hő okoz. Ez persze nem mind „hulladék”, hiszen hideg időben a test fűtésére fordítódik. Ha fázunk, de éppen nem végzünk munkát, akkor reszketünk, azaz automatikus izomremegéssel igyekszünk hőt termelni (25. ábra).

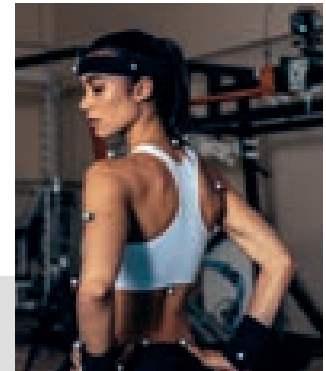
Az izmok működéséhez nemcsak energia szükséges, hanem **információ** is. A testfelépítés maga is információ, például az ízületek hajlékonysága, a végtag hosszúsága vagy a maximális izomerő. A szabályozó információ az idegrendszerből érkezik, a jel átadása az idegszál és az izomrost megfelelő összekapcsolása esetén lehetséges. Az idegi utasítások azt szabályozzák, hogy mikor melyik izom mekkora erővel működjön. A testfelépítésünk korlátait nem lehet átlépni, de edzéssel, gyakorlással ezek kitágíthatók.

### Mutasd be!

Keress információkat (pl. internetes videót), és mutasd be, hogyan működik a képen látható „motion capture” technika!

### Keress példát!

Mire használható a sportban és a filmiparban?



Egy biomechanikai laboratóriumban mozgáselemzéssel (motion capture) vizsgálják egy sportolót

Az emberi munka hatékonyságát mozgáselemzéssel is igyekeznek javítani. A sportban a rekordok megdöntéséhez vizsgálják a mozgástechnikát. Az orvostudomány a mozgásszervi betegségek okait, gyógy módjait és megelőzési lehetőségeit keresi. A filmkészítők dinoszauruszokat keltenek életre, emberi alakokat és rajzfilmfigurákat mozgatnak számítógépek segítségével, a természetből ellesett módon.

A sportmozgások jellegüktől függően nagyobb terhelésnek teszik ki a mozgásszervrendszer egyes részeit. Igénybe vehetik a csontok nyomó-, hajlítószilárdságát, az ízületek összekötő szalagjait, az inakat és magukat az izmokat is. A sportsérülések bekövetkezésében a túlzott terhelés mellett olyan szerepet játszhatnak a csapattársak, ellenfelek ütései vagy a sporteszközök és a pályaelemek által okozott külső hatások is. A sportsérülések teljes mértékben nem kerülhetők el, de a technikák helyes elsajátítása, a megfelelő bemelegítés (26. ábra), a sporteszközök állapotának ellenőrzése és a szabályok betartása csökkentheti ezek előfordulását.



26. Bemelegítés



Az emberi testalkatot és formát legnagyobb mértékben a mozgásszervrendszerünk, a csontváz és az izomzat alakítja ki.

Az emberi szervezet váz- és az izomrendszerének felépítése és működése több szerveződési szint (sejtek, szövetek, szervek, szervrendszer) együttes hatásaként alakul ki.

A gerincesek törzsében megjelent ötujjú végtagtípus az emberi végtagok, a lábak és a karok esetében a két lábon járás és a kéz eszközhasználata által meghatározott módon jelenik meg.

A mozgásszervrendszerünk aktív része az izomzat, amely a biomechanikai elvek szerint hozza létre a különféle mozgásformákat és fizikai teljesítményeket.

Az emberi test felépítését és a mozgás jellemzőit felhasználhatják a robotikában, a sporttudományban vagy akár a személyfelismerő programokban is.

## 44. Összefoglalás

A mai emberi fajra jellemző testalkat az evolúciós fejlődés eredményeképpen jött létre.

A ma élő emberek mindegyike a Homo sapiens fajba tartozik, de korábban más Homo nemzetségbe tartozó fajok is éltek.

Az emberi faj sokféleségén belül jellegzetes rasszok alakultak ki, amelyek külsődleges tulajdonságaikban különböznek, de egymással egyenlő értékűek.

Testalkatunk egyéni jellegzetességeket visel, ez a biológiai sokféleség kifejeződése.

Testképünk kialakulásában az adottságaink mellett számos egyéb tényező is szerepet játszik (pl. a mintakövetés, túlzott elvárások), ami az önértékelési és a testképzavarokhoz vezethet.

Testünk mozgáskéességének alapja a vázrendszer és az izomzat rendszerszerű felépítése.

A mozgáshoz energia és információ is szükséges, ezt a sejtek anyagcseréje és az idegi szabályozás biztosítja.

## X. Összefoglalás





## Ábrajegyzék

(Rövidítések: b = bal, j = jobb, f = felső, a = alsó)

### Fotók:

Cultiris: 56, 100/f, 147, 152/9/bf, 219, 222/2, 228/f,

Flickr: 52 (Rosenfeld Media/CC BY 2.0), 62/f (NIAID/CC BY 2.0), 175 (Tony Barros/CC BY-SA 2.0), 261/19 (Tim Evanson/CC BY-SA 2.0),

Horváth Zsolt: 105/12, 105/14–16, 108/3

iStock: 7, 104/a, 152/9/jf, 154, 165, 189, 195–197, 249, 250,

NOAA (CC0): 157, 158/f,

Pixabay: 6, 8/f, 9/f, 12/a, 16/f, 22/f, 28/f, 32, 34, 41, 46, 47/a, 51, 61, 62/a, 65, 67, 76, 86, 100/a, 102/a, 106, 107/f, 111/a, 113/f, 128, 131, 132/a, 141/a, 161, 251, 252/7, 256/f, 266, 271/b, 274,

Public Health Image Library (CC0): 63/f, 63/2, 72/7

Shutterstock: 8/1–2, 9/4, 10, 11, 12/10–11, 13–15, 16/1, 16/2 (aquatarkus), 18, 21, 22/1, 23–27, 31, 42, 44, 47/f, 49, 64, 66, 69–71, 72/5–6, 77, 78 (Dietmar Temps), 82, 85, 92, 95, 96, 99, 101, 102/7, 102/8, 103, 104/10–11, 105/13, 107/2, 108/f, 109, 110, 111/f, 112, 113/1, 114–120, 123, 124, 126, 127, 132/f, 137, 141/f, 142–144, 149–151, 152/8, 156, 162, 163, 166, 170–172, 174 (Akkharat Jarusilawong), 176–179, 180/6, 180/a (arindambanerjee), 181–188, 190/f, 192/4–5, 193, 194, 199, 202, 203, 206, 210, 213, 215, 216, 220, 221, 223/5, 7–8, 224–227, 228/1, 229, 231–233, 235, 237, 240, 241, 243–245, 252/6, 253–255, 256/1–2, 257–259, 261/20, 264, 264/1/j (LittlePanda29), 267/6, 267/b (Nick Fox), 268, 269, 270/15 (MangPor Photolista), 270/16, 271/18, 272, 275–279, 282, 283

Thinkstock: 148, 152/9/ja, 207, 230,

Wellcome Collection (CC BY 4.0): 9/3, 222/3, 223/6,

Wikimedia: 63/1 (CC0), 129 (Des Callaghan/CC BY-SA 4.0), 190/1 (CC0), 192/3 (CC0), 205 (CC0), 211 (J. Dassié/CC BY-SA 3.0),

### Illusztrációk:

Baróthy Andrea

kivéve: iStock: 152/9/ba, 186; Nagy Áron: 221, 265; Ifj. Ritter Ottó: 260, 261/18, 262/21–23, 263/24; Shutterstock: 24, 28, 29, 31, 33, 34, 36/3, 37, 40, 41, 44, 48, 55, 56, 58, 59, 63, 68, 73/a, 74, 77/3, 78/b, 86, 88–90, 93, 94/3, 5, 95, 97, 100, 102, 107, 111, 114, 120–122, 130/4, 133, 135, 155/2, 158, 168/4, 174, 179, 212, 217/10, 224, 229, 231, 233, 236/8, 239, 245/10, 246/11, 269–271, 279/17; Wikimedia: 205/13 (CC0)

Oktatási Hivatal  
1055 Budapest, Szalay utca 10–14.  
Telefon: (+36-1) 374-2100  
E-mail: tankonyv@oh.gov.hu

A kiadásért felel: dr. Gloviczki Zoltán elnök  
Raktári szám: OH-BIO09TA  
Tankönyvkiadási osztályvezető: Horváth Zoltán Ákos  
Műszaki szerkesztő: Knausz Valéria  
Grafikai szerkesztő: Nagy Áron  
Nyomdai előkészítés: WOW Stúdió  
Terjedelem: 36,57 (A/5) ív, tömeg: 778,65 gramm  
1. kiadás, 2020

Nyomta és kötötte:  
Felelős vezető:  
A nyomdai megrendelés törzsszáma: