

EGÉSZSÉGTUDOMÁNYI

KAR



PÉCSI

TUDOMÁNYEGYETEM

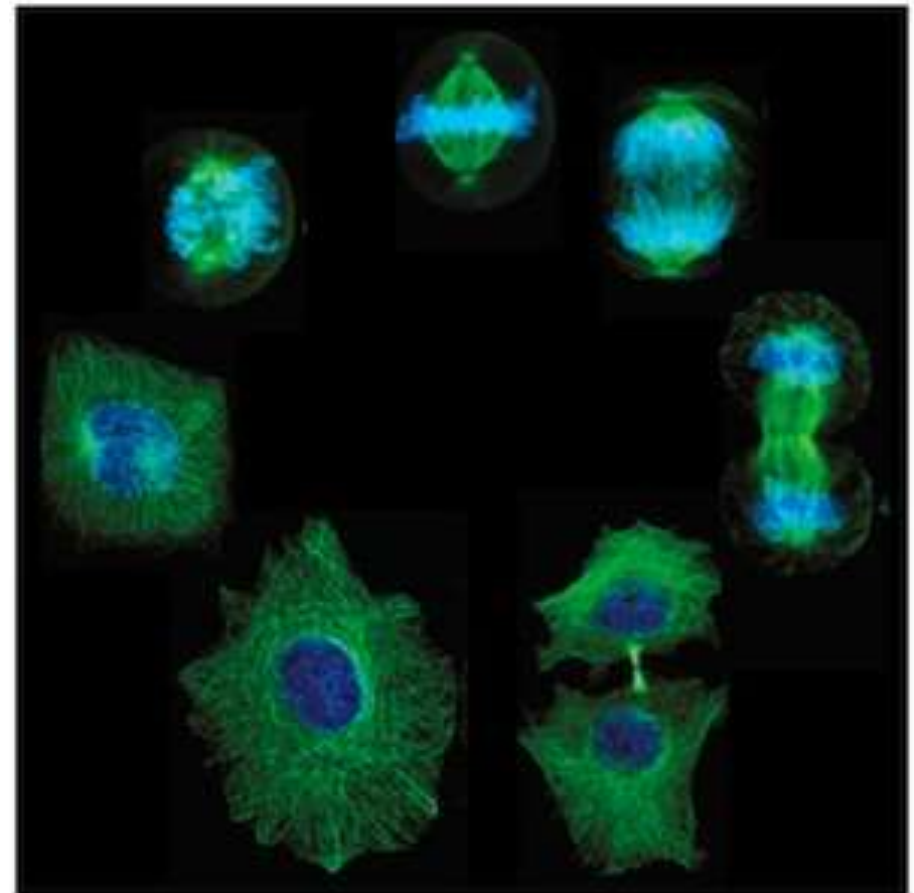
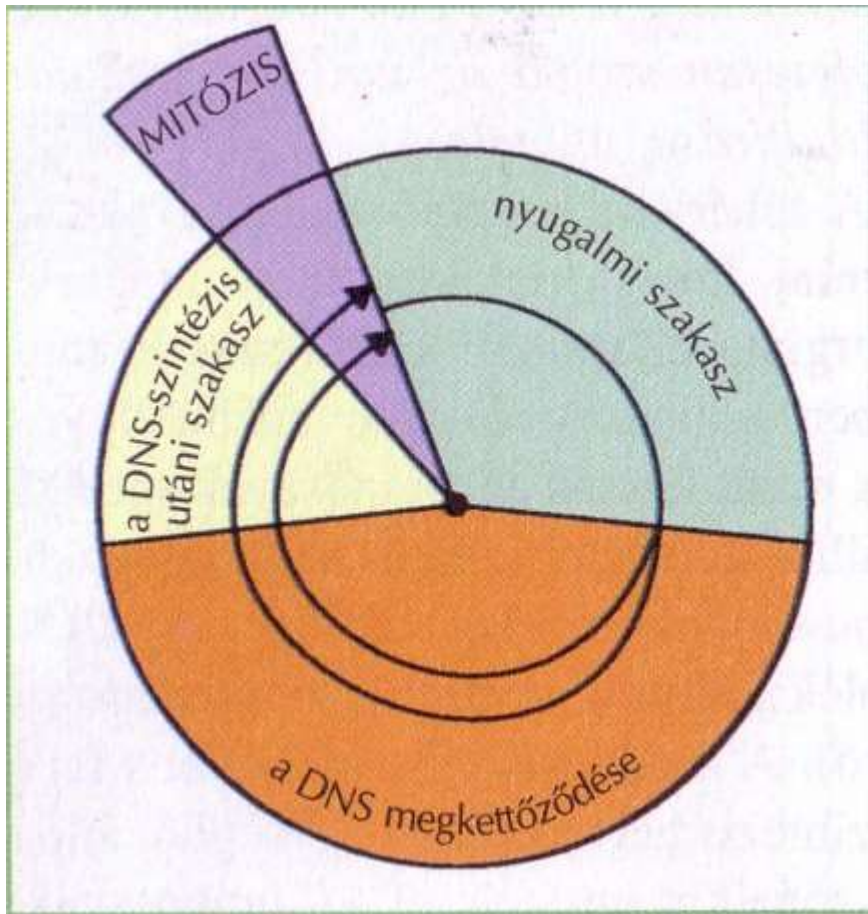


# Biológia

Stromájer Gábor Pál

# Öröklődés

- Sejtciklus



- A sejt kromoszómáinak DNS-molekulái tárolják azt az információt, ami a sejt fehérjéinek felépítéséhez szükséges. A DNS megkettőződése és a sejt osztódásának folyamata teszi lehetővé, hogy ez az információ tovább kerüljön az utódsejtekbe. A DNS-molekuláknak és a hozzájuk kapcsolódó fehérjéknek együttes állományát kromatinnak nevezzük. A kromatinállomány a sejt működésének egyes szakaszaiban jól elkülöníthető, tömör testekké állnak össze, ez a megjelenési forma a kromoszóma (görögül: kroma-szín, szóma-test – mivel jól festhetők).
- Egy faj **kromoszómái** különböző alakúak lehetnek, de egy adott faj adott kromoszómája mindig adott méretű és alakú. A prokariotáknak maganyaga általában egy DNS-molekulát tartalmaz, az eukarioták egy-egy sejtjében több kromoszóma található, ez fajonként változó: egy féregnél 2, lepkefajnál 380, ember 46.
- A kromoszómákban levő DNS hossza is változó: élesztőgomba 12mm, erre vonatkoztatott hossz házityútkban 65 cm, ember 2m.

- Az osztódó sejteknek azt a körfolyamatát, amely a sejtek DNS-szintézis előtti állapotából kiindulva, a DNS szintéziséen és a sejtosztódáson keresztül visszatér a kiindulási szakaszba, **sejtciklusnak** nevezzük.

- Ennek első része egy nyugalmi szakasz, ekkor még nem indul meg a DNS megkettőződése – mRNS, enzimefehérjék szintézise. Rendszeresen osztódó sejtek (például növényi gyökércsúcsban) csak néhány órát töltenek ebben a szakaszban.

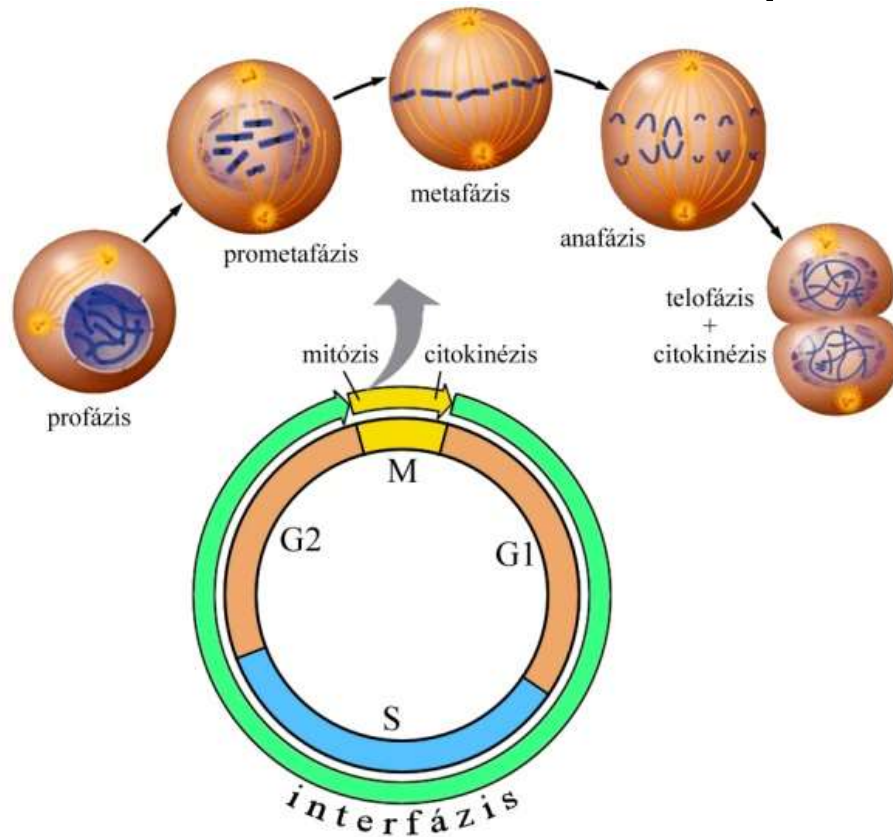
- A második szakasz a DNS megkettőződése (hozzá tartozó fehérjék is keletkeznek), amely a sejtciklus időtartamának közel felét veszi igénybe. Ezzel kialakult a sejt megkettőződött kromoszómaállománya.



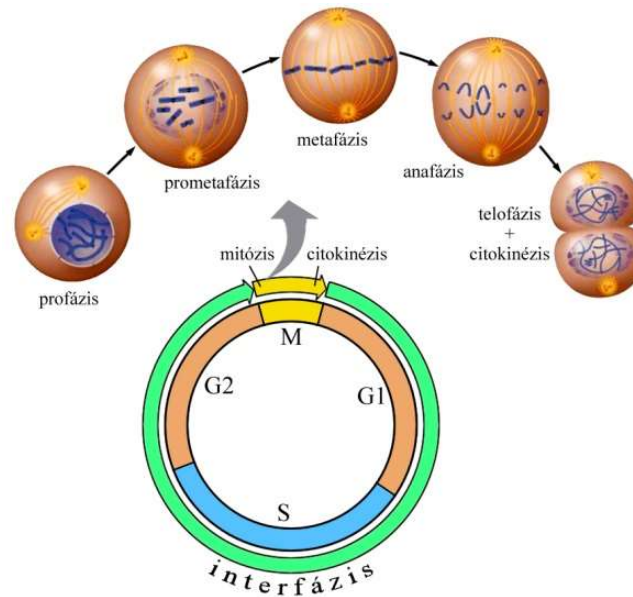
- Eztán újabb nyugalmi szakasz következik – újabb **mRNS** és fehérjeszintézis.
- Végül a sejtosztódás szakasza, amely 1-2 óra hosszúságú. Ennek során ketté válnak a kromoszómák, majd kettéosztódik a sejt, a keletkezett két utódsejt nyugalmi szakaszba kerül. Ha a sejtosztódás során olyan sejtek keletkeznek, amelyekben ugyanannyi a kromoszómák száma, mint a kiindulási sejtben volt, akkor mitózisról beszélünk. A mitózis a sejtciklus befejező szakasza.



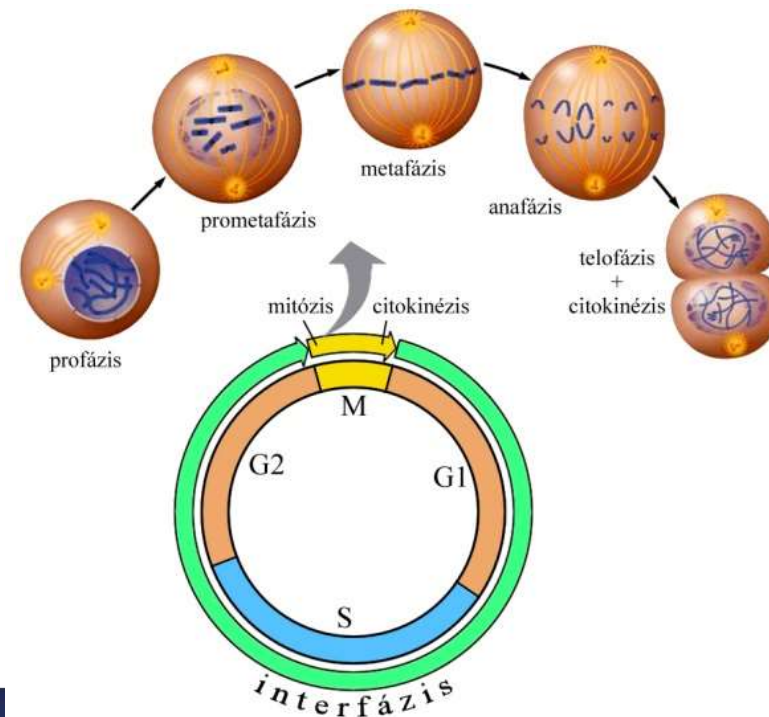
- A megelőző szakaszban a két sejtosztódás között a sejt DNS tartalma megduplázódik (kétkromatidás kromoszómák).



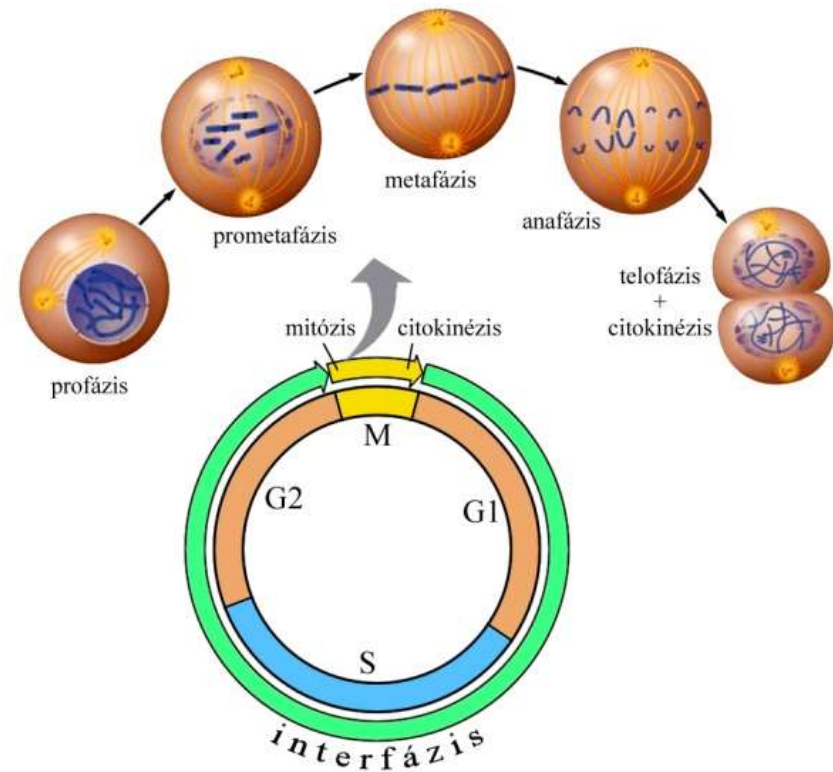
Az **előszakaszban** (profázis) a sejtmag megkettőződött kromatinállománya fénymikroszkópban is jól látható, tömör szerkezetű kromoszómákká alakul át. A maghártya elkezd lebomlani, a magvacska felszívódik, az osztódott sejtközpont (nincs hártyával körülvéve, kinézetre egy henger felületén 9 csővel) vándorol a sejt két pólusára.



- A **középszakaszban** (metafázis) a sejtmaghártya teljesen eltűnik, a két sejtközpont között kialakul a húzófonalakból (fehérje) álló magorsó. A kromoszómák a sejt középvonalába rendeződnek és befűződésüknél a húzófonalakhoz kapcsolódnak.



- Az **utószakaszban** (anafázis) a kromoszómákon felismerhetővé válnak az egymástól elváló felek, a kromatidák, melyek a elválásuk után a húzófonalak mentén a sejt két pólusa felé vándorolnak.



- A **végszakaszban** (telofázis) megkezdődik az új maghártyák kiépülése, a kromoszómák letekerednek – kromatin lesz belőlük. A sejt közepén elkezd befűződni, a magvacskák újból megjelennek, a citoplazma kettéválik – két új sejt.
- A **színtest** és a **mitokondrium** is képes önálló osztódásra – van saját DNS-ük (a prokarioták kör alakú DNS-ére hasonlít). A két sejtalkotó fehérjéinek egy része a saját DNS-információi alapján épül fel. Másrészük a sejtplazmában szintetizálódik, ezek információja viszont a sejtmag DNS-molekuláiban található.

- Az öröklődés során a tulajdonságok a DNS-ben öröklődnek tovább. Egy-egy tulajdonságot a gének (egy fehérjerecept a DNS- ben) határoznak meg. A gének kromoszómán találhatóak. Az ember 46 kromoszómája 23 kromoszómapárra oszlik. Egy adott génnek a különböző változatait alléloknak nevezzük. A leggyakrabban előfordulókat vad típusúaknak nevezzük. Az öröklődés külső, tulajdonságbeli megnyilvánulása a **fenotípus**, a génállományban szereplő meghatározottság a **genotípus**. Az öröklött allélok lehetnek egyformák (**homozigóta**) és különbözőek (**heterozigóta**). A tulajdonságok lehetnek dominánsak (ez az erősebb, ez érvényesül) és recesszívek (gyengébbek, rejtve maradnak).



















- A genetika alaptörvényeit **Mendel** fogalmazta meg. Megállapította, hogy heterozigóta egyedek keresztezésénél a fenotípust tekintve 3:1, genotípust tekintve pedig 1:2:1 arányban oszlanak meg az egyedek.




*Gregor Mendel*



- Az első törvénye az uniformitás törvénye: Homozigóta szülői formák kereszteződéséből származó első hibridnemzedék (F1) valamennyi egyede mind genotípusát, mind fenotípusát tekintve azonos lesz.
- A második törvény a hasadás törvénye volt. E szerint a szülői tulajdonságok nem olvadnak össze az első nemzedék heterozigóta egyedeiben, hanem változás nélkül megjelennek a második nemzedékben (F2).
- A harmadik törvénye a független öröklődés törvénye volt. E szerint az F2 nemzedékben az eredeti szülői formáktól eltérő kombinációk is létrejöhetnek. Tehát az F2 nemzedék fenotípusa 9:3:3:1 arányban, genotípusa pedig szintén 1:2:1 arányban öröklődnek. Ilyen például egy fekete- tarka és egy fehér tehén keresztezése.


		♂ gametes			
		$RY$ $\frac{1}{4}$	$Ry$ $\frac{1}{4}$	$ry$ $\frac{1}{4}$	$rY$ $\frac{1}{4}$
♀ gametes	$RY$ $\frac{1}{4}$	$RR YY$ $\frac{1}{16}$ 	$RR Yy$ $\frac{1}{16}$ 	$Rr Yy$ $\frac{1}{16}$ 	$Rr YY$ $\frac{1}{16}$ 
	$Ry$ $\frac{1}{4}$	$RR Yy$ $\frac{1}{16}$ 	$RR yy$ $\frac{1}{16}$ 	$Rr yy$ $\frac{1}{16}$ 	$Rr Yy$ $\frac{1}{16}$ 
	$ry$ $\frac{1}{4}$	$Rr Yy$ $\frac{1}{16}$ 	$Rr yy$ $\frac{1}{16}$ 	$rr yy$ $\frac{1}{16}$ 	$rr Yy$ $\frac{1}{16}$ 
	$rY$ $\frac{1}{4}$	$Rr YY$ $\frac{1}{16}$ 	$Rr Yy$ $\frac{1}{16}$ 	$rr Yy$ $\frac{1}{16}$ 	$rr YY$ $\frac{1}{16}$ 

9  : 3  : 3  : 1 

 Round, yellow

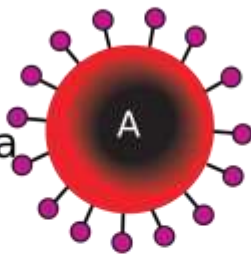
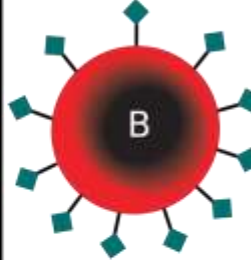
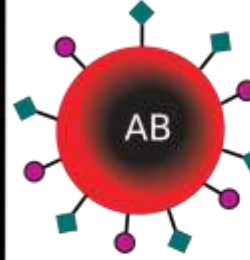
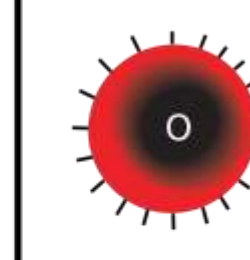


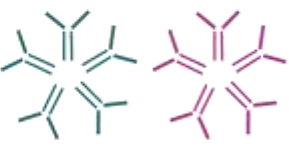



 Wrinkled, yellow

 Round, green

 Wrinkled, green



- Létrejöhet még intermedier **öröklődésmenet** is, amit a nem teljesértékű domináns allél két fenotípus köztes formáját idézi elő. Ilyen például a fehér és a piros virág keresztezése.
- A kodominancia jelensége, ami az AB0 vércsoportnál mutatkozik meg, amiknek a létrejöttét két **domináns** és egy **recesszív allélpár** határozza meg. Tehát a két domináns allél találkozásakor mindkettő hatása érvényesül, és AB vércsoport jön létre.
- Van olyan eset is, amikor egy tulajdonság kialakításában egynél több allélpár vesz részt. Ilyen például a tyúkoknál a taraj formája.
- De lehet olyan is amikor egynél több tulajdonságot egy allélpár határoz meg. Pl.: a virág maghéjának színét, vagy a vörösvérsejtek alakját.

	A csoport	B csoport	AB csoport	O csoport
Vörösvér- test típusa				
Jelen lévő antitestek	 Anti-B	 Anti-A	egyik sem	 Anti-A és Anti-B
Jelen lévő antigének	 A antigén	 B antigén	 A és B antigének	egyik sem

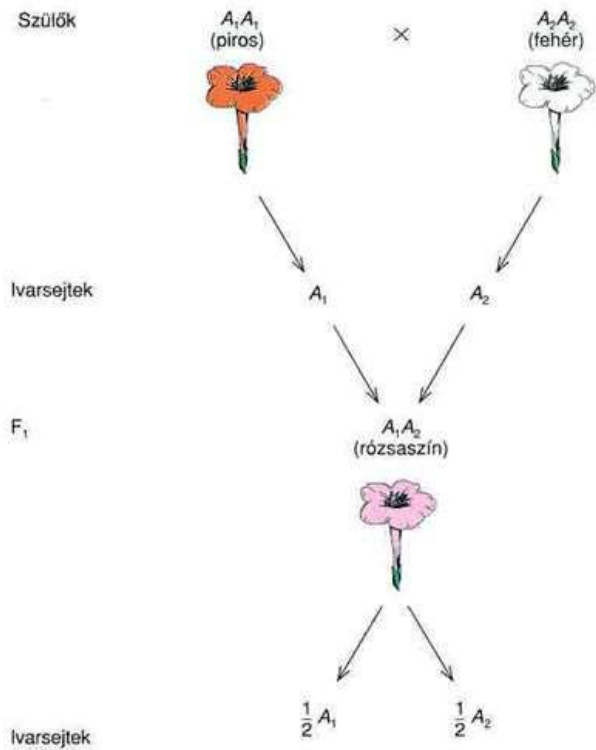


vért kapó \ vért adó	0	A	B	AB
0	—	—	—	—
A	+	—	+	—
B	+	+	—	—
AB	+	+	+	—

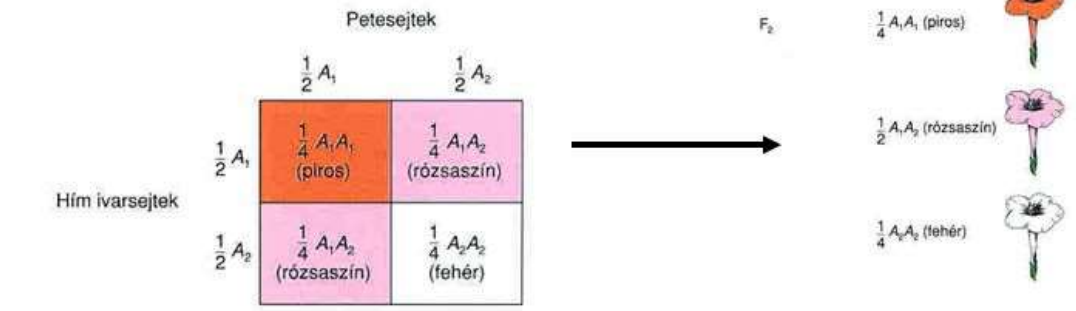
  

AB vércsoport antigének

AB vércsoport ellenanyagok



Az F<sub>2</sub> nemzedékben a geno és fenotípus arány egyaránt 1:2:1



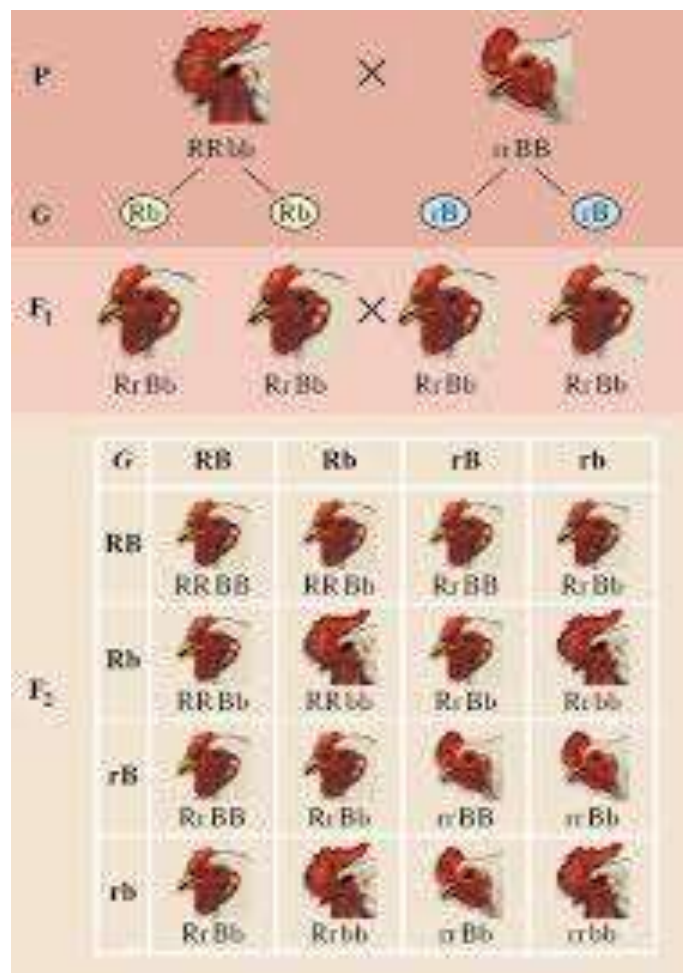


- A domináns-recesszív öröklés állatokra vonatkozó egyik példája a fekete-tarka (domináns) és a vöröstarka (recesszív) szőrszínezetű szarvasmarhák keresztezése.
- Növényeknél jól ismert példa, a Mendel által is alkalmazott cukorborsó virágának színe (vörös – domináns, fehér – recesszív).
- Az ember számos tulajdonságának és néhány betegségtünetének is a domináns-recesszív öröklődésben találták meg az okát. Például albinizmus és az Rh-faktor.

- Egyes esetekben a domináns allél fenotípusos kifejeződése gyengébb a heterozigótákban, mint a homozigótákban. A nem teljes értékű domináns allél jelenléte az öröklésmenetben a két fenotípus köztes formáját, **intermedier öröklésmenetet** idéz elő. Például a csodatölcsér virágának színe (piros – homozigóta domináns, rózsaszín – heterozigóta, fehér – homozigóta recesszív).
- A domináns-recesszív öröklődésnek egy jellegzetes változata a **kodominancia** jelensége. Ilyen például az emberi ABO vércsoportrendszer. Ekkor a tulajdonságok nem zárják ki egymást, hanem egyszerre, egymás mellett is megjelenhetnek – tehát lehet valaki A, B, vagy AB vércsoportú.

- Vannak azonban olyan esetek is, amelyekben egyetlen tulajdonság kialakításában egynél több allélpár vesz részt. Ezek valójában nem közvetlenül a géneken, hanem a gének által előállított fehérjéken keresztül hatnak egymásra. Ez utóbbiak ugyanis a sejtek anyagcsere-folyamataiban esetenként kölcsönhatásba léphetnek egymással, és ilyenkor a fenotípusok hasadás viszonyai módosulnak anélkül, hogy a genetikai alaptörvények lényegét megszegnék.

- Ilyen például a házityúkok tarajformája. Rózsatarajú (R-bb) és borsótarajú (rrB-) egyedeket keresztezve az F1 nemzedékben új fenotípusú, diótarajú (R-B-) egyedek jelennek meg.
- Az F2 nemzedékben 9:3:3:1 lesz az arány, de két teljesen új fenotípus, a kétszeresen domináns diótaraj (RRBB) és a kétszeresen recesszív egyszerű taraj (rrbb) jelent meg az utódok között.
- Az új fenotípusok a kétféle gén által előállított fehérjék kölcsönhatásainak eredményeként alakulnak ki az egyedfejlődés során.



- Van azonban olyan eset is, mikor egynél több tulajdonság kialakítását egyetlen allélpár végzi. Például a kerti borsó egyik génje, mely a virág és a maghéj színét is meghatározza. Lényegében ez a gén az antocián előállítását szabályozza, amely mindkét helyen előfordul. A virágban bordó, a maghéjban ahol más színanyagokkal is keveredik, szürkésbarna színt hoz létre. Ilyen a *sarlósejtes vérszegénység* is. A hemoglobin előállításért felelős allélpár megváltozása kihat a hemoglobin szerkezetére. Ez egy sor fenotípusos változást idéz elő: vörösvérsejt alakja sarlószerű, ezért sérülékenyek, valamint kevésbé képesek oxigént szállítani. Ezzel a betegséggel rövid életkor jár.

# Nemhez kötött öröklés

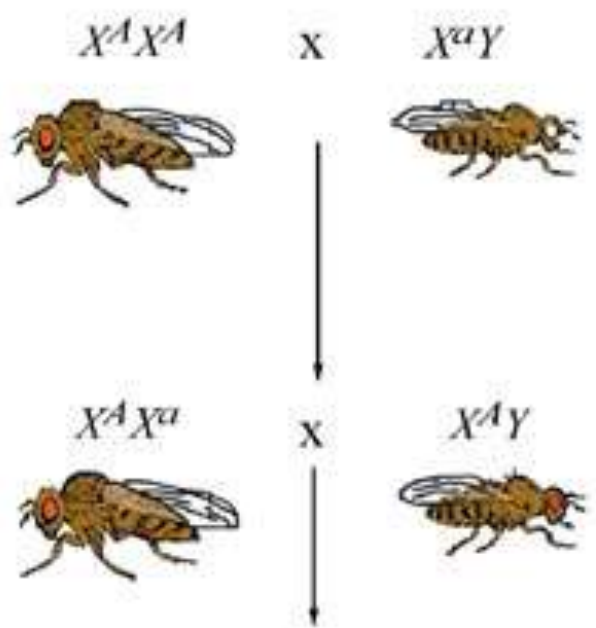
- A megtermékenyítés pillanatában a haploid ivarsejtek kromoszómakészleteiket a diploid zigótában egyesítik, amelyben a haploid készletek kromoszómái egymással homológ párokat képeznek. A homológ párok egyike az apától, a másik az anyától származik.
- A kétlaki növényekben, a váltivarú állatokban és az emberben a homológ kromoszómapárok egyike jelentősen eltér a többitől. Mivel ezeknek döntő szerepük van az ivar meghatározásában, ezért ezeket ivari kromoszómáknak nevezzük.
- Az ivari kromoszómapárban az egyik ivar két egyforma alakú kromoszómával vesz részt, míg a másik ivari alakban két, egymástól eltérő forma található.



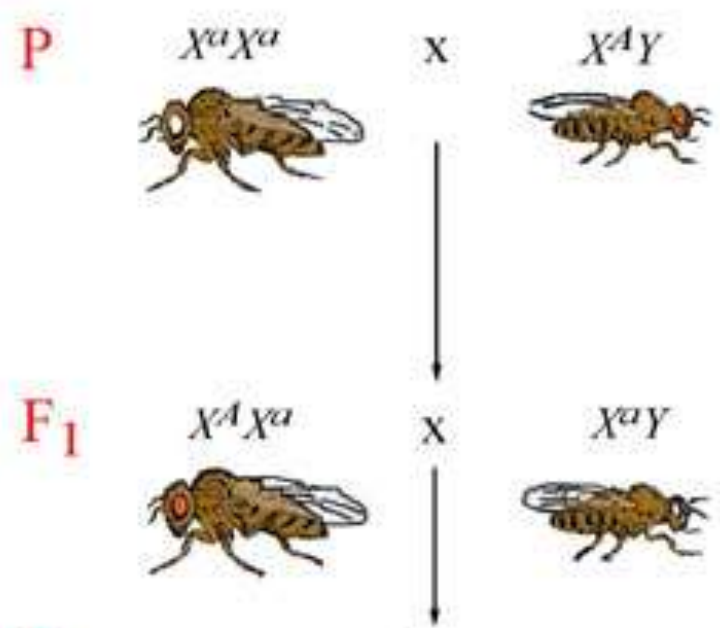
- Az emberben, a legtöbb váltivarú állatban és a kétlaki növényekben a hímivarú egyedekre jellemzők a különböző alakú és többnyire eltérő méretű **XY** kromoszómák, míg a nőivarúakban **XX** kromoszómapár található.
- Madarakban, lepkékben és néhány növényben fordítva van. A diploid emlősök nőivarú egyedeiben az XX ivari kromoszómák közül csak az egyik működik.
- A másik még az embrionális fejlődés korai szakaszában működésképtelenné válik, mivel DNS-molekulájában olyan változások következnek be, amelyek gátolják az információ átírását.
- Emberben az inaktív X kromoszóma annyira tömör marad a sejtosztódás után is, hogy mikroszkóppal is látható – szexvizsgálat.

- Az **ecetmuslica** (*Drosophila melanogaster*) genetikai vizsgálata (Thomas Morgan) során rájöttek, hogy egyes tulajdonságainak öröklődése összefüggésben van az ivari kromoszómákkal. A közönséges muslicák szemének színe a vad típusokban piros, ez a domináns szín.
- Előfordul azonban fehér szemű egyed is. Egy fehér szemű hímeket keresztezve piros szemű nősténnyel az F1 nemzedék hibridjei a genetikai alaptörvénynek megfelelően mind piros szeműek lettek. Az F2 nemzedékben szabályszerűen kijött a 3:1 hasadási arány, azonban a nemek megoszlása más volt: a fehér szemű egyedek mind hímek voltak, a piros szemű egyedek között 2:1 volt a nőstények és a hímek aránya.
- Azonban ha piros szemű hímeket kereszteztek fehér szemű nősténnyel, akkor az F1 nemzedék fele fehér szemű (csak hímek) és fele piros szemű (csak nőstények) lett. Az F2 nemzedékben a piros és a fehér szemű egyedek között is fele-fele arányban voltak hímek és nőstények.
- Mindezek a jelenségek csak úgy jöhettek létre, ha a muslicák szemszínét meghatározó gén az X kromoszómához kötődik.
- A muslicában és az emberben is több mint száz ivarhoz kötött gént ismernek. Ezek azok a tulajdonságok, melynek öröklődése nemhez kötött.





	$X^A$	$X^a$
$X^A$	$X^A X^A$	$X^A X^a$
$Y$	$X^A Y$	$X^a Y$



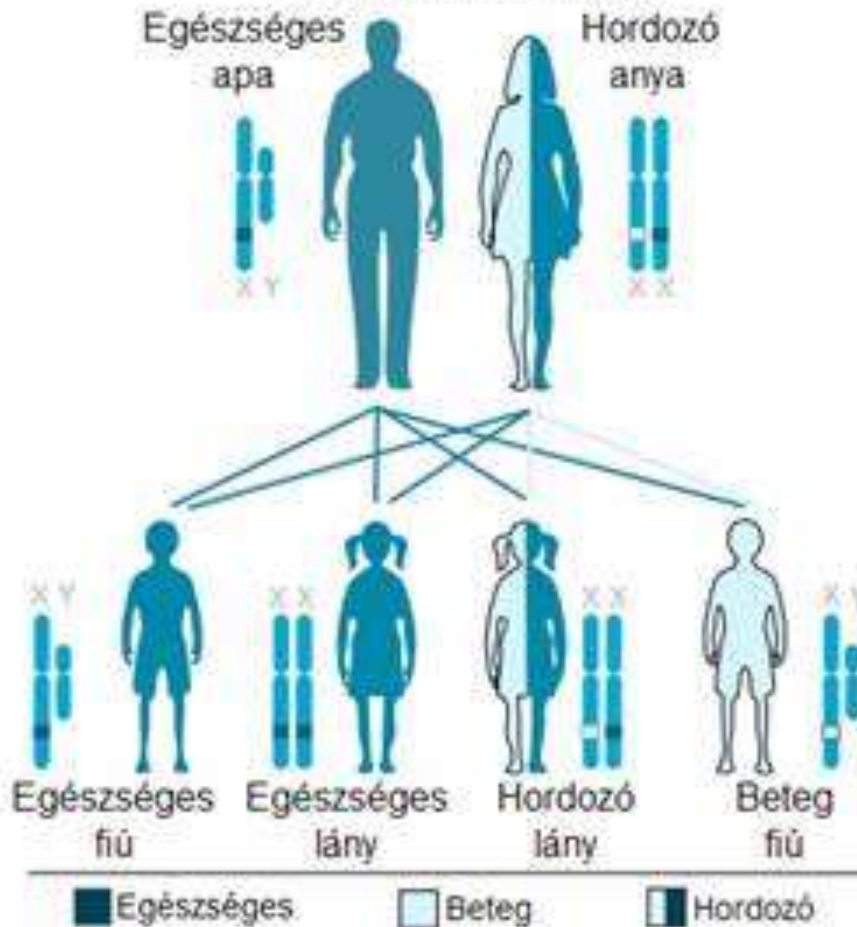
$F_2$

	$X^A$	$X^a$
$X^a$	$X^A X^a$	$X^a X^a$
$Y$	$X^A Y$	$X^a Y$

- Embernél nemhez kötött a **vérzékenység** (hemofília) betegségének öröklődése is. Elsősorban fiúk szenvednek benne, mert X kromoszómához kötött.
- A beteg gént anyjuktól kapják, aki heterozigótaként nem betegszik meg, mivel a betegség recesszív. A fiaiknak azonban csak egy alléljük van ebből a génből – az Y kromoszómáról hiányzik – ezért mindenképp megbetegszenek.
- Embernél Y kromoszómához kötött kevés van: fülkagyló szélének túlszőrözöttsége, X kromoszómához: színtévesztés (recesszív jellegek).



## X-kromoszómához kötött recesszív öröklődés a hordozó az anya



# Darwin és az evolúció





- Az angol természetbúvár a modern biológia kiemelkedő alakja, a korszerű származási elmélet megalkotója. Miután befejezte az egyetemet világ körüli útra indult 22 éves korában, az utat egy hadihajón tette meg. Útja során sok biológiai és őslénytani szempontból érdekes helyre jutott el. Jelentős növényi, állati és őslénytani anyagot gyűjtött össze.
- Útján szerzett tapasztalatai és az angliai állattenyésztés több százéves múltja alapján megírta leghíresebb könyvét A fajok eredete a természetes kiválogatódás útján, vagy a létrán való küzdelemben előnyhöz jutott fajok fennmaradása (1859).
- Ez a jelentős munka világhírűvé tette és kihatott a biológia minden ágára. Műve elkészülte után Dawin főleg azzal foglalkozott, hogy a fajképződési elméletét kibővítse, és bizonyítékokkal támassza alá azok igazát.

- A Ch. R. Darwinról elnevezett tudományos elmélet az élővilág kialakulását és a fajok fejlődését magyarázza. Mind elméleti, mind gyakorlati szempontból megalapozott helytálló megállapításokkal helyettesíti a korábbi tudománytalan és misztikus nézeteket.
- A Darwin-féle elmélet értelmében az élővilág fejlődése a természet szakadatlan változásának, átalakulásának természetes következménye. A különböző fajok és a fajokon belül megnyilvánuló változatok létrejötte az illető csoport és az őt körülvevő élő és élettelen környezet kölcsönhatásával magyarázható. Ez nem más, mint az evolúció.
- Darwin abból a megfigyelésből indult ki, hogy a termesztett növények és a háziállatok körében rendkívül nagy változékonyság és alakgazdagság figyelhető meg. A változatosság alapja az, hogy az ember célszerű munkával a mesterséges kiválasztás útján a céljának leginkább megfelelő alakokat tenyésztette tovább. Máskor meg éppen fordítva, különböző fajokat keresztezett és így egyesítette egyes fajok tulajdonságait. A természetben ennek a céltudatos emberi munkának a megfelelője a természetes kiválogatódás, azok az élőlények, amelyek kevésbé képesek alkalmazkodni az adott körülményekhez, kihalnak.
- A természetes kiválogatódást nagyon sok tényező befolyásolja. Ezért az élővilágban állandóan folyik a harc a fennmaradásért. Ez bizonyos egyensúlyt teremt, mert nem engedi, hogy egy faj a többiek kárára nagyon elterjedhessen.



- Darwin szerint az élővilág végső láncszeme az ember. 1871-ben megjelent művében (Az ember származása és az ivari kiválogatódás) bebizonyította, hogy az ember is az élővilág egyetemes fejlődése során alacsonyabb rendű szervezetekből fokozatosan alakult ki.

- Művei nem csak tudományos, de politikai, filozófiai és társadalmi szempontból is az érdeklődés középpontjába kerültek, főleg az ember kialakulásának elmélete miatt. Ez az elmélet a tudósokat két táborra osztotta a darwinistákra és az undarwinistákra. A darwinisták támogatták Darwin elméletét.
- Az undarwinistáknak két csoportja volt, az egyik csoport teljesen elvetette az elméletet, Darwin minden más evolúcióra vonatkozó tanításával együtt. Ezt főleg az emberi méltóságra való hivatkozással tették. A másik csoport oly módon kívánta kijavítani az elmélet hibáit, hogy minden számukra nem tetsző részt kihúztak. Ők voltak a neodarwinisták.



- Manapság már a legtöbb tudós elismeri a természetes kiválogatódás helyességét, de sokan még másból indulnak ki, mint Darwin. Magyarországon elsőként Rónay János Jácint és Margó Tivadar volt, aki elsőként terjesztette a darwinizmust.



# Az evolúció

- **Az evolúcióelmélet tényleg csak egy elmélet?**
- Az evolúció - a fajok változása és közös ősből történő leszármazása - tény, ezt fosszíliák, anatómiai, fejlődésbiológiai, genetikai és egyéb megfigyelések lehenygerlő mennyisége bizonyítja. Az evolúcióelmélet az evolúció tényanyagát és mechanizmusát, a természetes szelekciót kapcsolja össze egységes tudományos elméletté. A tudományban az elmélet egy olyan magyarázat, amely koherens (egységes) módon világít meg megfigyelések, események - azaz tények - halmazát, összefüggéseit. Az evolúció mechanizmusáról szóló elmélet elég jól alátámasztott és alternatív elmélet nem létezik. Azt a tudományos elméletet, amely megfigyelésekkel még nem kellően alátámasztott, hipotézisnek nevezzük.
- Az evolúció tehát tény, az evolúcióelmélet pedig egy nagyon biztos alapokon álló elmélet, nem csupán hipotézis. A "csak egy elmélet" kifejezés pedig ezek szerint értelmetlen.

# Meg lehet-e röviden fogalmazni, hogy mi is a természetes kiválasztódás lényege?

- A természetes kiválasztódás egy folyamat, amelynek során a populáció jobban alkalmazkodó egyedei több utódot hagynak hátra, így előnyös tulajdonságaik fokozatosan elterjednek. Ez azzal a látványos következménnyel jár, hogy a fajok egyre tökéletesebben alkalmazkodnak az adott környezeti feltételekhez a nélkül, hogy bármiféle előzetes terv, vagy cél rendelkezésre állna. Ahhoz, hogy a természetes kiválasztódás működhessen, a következő feltételeknek kell teljesülniük:
  - az egyedek szaporodásra képesek legyenek;
  - tulajdonságaikat át tudják örökíteni utódaiknak;
  - kis százalékban azért hibák lehessenek az öröklésben (ez termeli a szükséges változékonyságot a szelekcióhoz);
  - a szaporodási siker függjön a tulajdonságoktól.
- Darwin még nem volt tisztában azzal, hogy a második és harmadik feltétel hogyan teljesül - ezért is volt zseniális a megérzése -, de ma már tudjuk, hogy a DNS hogyan tárolja az információt, milyen pontosan másolódik a szaporodás során, és hogy hogyan jöhetnek létre mutáció révén változatok. Azzal, hogy a genetika magyarázatot adott a Darwin által még csak feltételezett mechanizmusokra, hatalmas mértékben nőtt a bizalom az elmélet iránt.



# Megmagyarázza az evolúcióelmélet, hogyan keletkezett az élet?



- Nem, azt nem! Az evolúcióelmélet - pontosabban a természetes kiválasztódás elve - abból a feltételezésből indul ki, hogy már léteznek az evolúció alanyai, azaz hogy a természetes szelekció négy fő feltétele fennáll.
- Az élet keletkezésére még csak hipotézisek vannak. Van aki úgy gondolja, hogy más égitestekről származtak az első primitív élő szervezetek (pánspermia elmélet), mások abban hisznek, hogy a Mindenható teremtési aktusa akkor történt, és azóta már az evolúció fizikai törvényei működnek. A modern tudomány eredményei arra utalnak, hogy nincs igazán lényegi különbség az élettelen és az élő anyag között, és hogy ez a nagy lépés is végbemehetett külső segítség nélkül. Egyre konkrétabb elképzelések vannak a lehetséges forgatókönyvekre, de hogy pontosan hogyan történt ez, azt 4 milliárd év távlatából igen nehéz lehet megállapítani.

- *Hiányzó láncszem* néven az evolúciós törzsfa leletekkel nem alátámasztott részeit szokás nevezni. Mivel évmilliárdos időtartamokról és fajok elképesztő sokaságáról van szó, bizonytalan pontok mindig is lesznek a törzsfa megrajzolásában. A publikumot általában az ember származása érdekli, és leggyakrabban ebben az összefüggésben használják a hiányzó láncszem fogalmát.

- Az ember esetében a többi ma élő főemlőssel való rokonsági kapcsolatok elég jól tisztázottak. Az elmúlt 6 millió évből jelentős mennyiségű fosszíliaival rendelkezünk. Körülbelül ennek az időszaknak a kezdetén vált el a csimpánzok fejlődési ága a miénktől. Az akkori faj nem csimpánz volt, nem is ember, hanem mindkettő közös őse.
- Erről a legközelebbi közös ősről sajnos igen keveset tudunk, de régebbi leletek megint vannak és ezek persze szintén közös őseink a csimpánzokkal. A gorilla 7, az orángután 14, a gibbonok 18 millió éve váltak el a mi fejlődési águnktól. Ők még mindannyian a hominidákhoz, az emberszabásúakhoz tartoznak. Az óvilági majmok 25, az újvilági majmok 40, a koboldmakik 58, a makik pedig 63 millió éve váltak el a vonalunktól, és ezzel már el is értünk a dinoszauruszok kihalásának idejéig.
- Az ebből az időszakból származó leletek alapján az akkori közös ősünk kicsi, fán élő, valószínűleg éjszakai életmódot folytató emlős lehetett.

- Darwin idejében a leszármazási vonalak igazolása még tényleg probléma volt, ma már azonban a hominidákon kívül is nagyon sok átmenetet kielégítően jól ismerünk. Néhány példa: bálnák visszatérése a tengerbe, a lófélék kialakulása, a madarak kialakulása a hüllőkből stb. A törzsfák feltérképezésére a fossziliákon kívül más módszerek is rendelkezésre állnak. Régebben csak az anatómiai és egyedfejlődési hasonlóságokat tudták erre felhasználni, manapság azonban hatalmas lökést adott az ez irányú kutatásoknak a különböző fajok DNS sorrendjének, a köztük levő különbségeknek a vizsgálata.



- Természetesen ma is folyik, csak nehéz észrevenni, mert - mint általában - igen lassú. A fajok tulajdonságainak "szemmel látható" megváltozását néhány olyan fajnál lehet csak megfigyelni, amelyek szaporodási ciklusa igen gyors. Ilyenek például bizonyos rovarfajok, de méginkább a baktériumok és vírusok. Ez utóbbi élőlények (már ha a vírusokat is közéjük soroljuk) igen sok kellemetlenséget okoznak nekünk azzal, hogy évről-évre változnak és ebben a folyamatban sokszor felismerhetőek bizonyos környezeti feltételekre adott válaszok, mint például az antibiotikum-rezisztens (ellenálló) kórokozó baktériumkórokozó törzsek kialakulása.
- Bizonyos élőlények - például gabonanövények - esetében a fajok közti kereszteződés, majd váratlan, nagyobb változások a génekészletben (általában megduplázódás) új fajok kialakulásához vezethetnek akár egy-két generáció alatt is. Ilyen növény a búza is, amely 3 fűfaj kereszteződése és kétszeri génduplázódás révén jött létre. Ennek a folyamatnak a megismétlődéseit türelmes kutatók a szabad természetben is megfigyelték.



# Az evolúció csúcsát jelenti-e az ember?

- Nem, az elfogadott szemlélet az, hogy az evolúció folyamatát nem valami általános, folyamatos tökéletesedésnek fogjuk fel (az úgynevezett evolúciós létra elmélet), hanem állandó változásnak, amelynek iránya a mindenkori, változó környezeti feltételekhez való igazodás. Az evolúció során kétségkívül megfigyelhető egyfajta átlagos komplexitás-növekedés, de ez csak tendenciaként fogható fel, előfordulnak egyszerűsödéssel járó fejlődési folyamatok is. Az a kérdés, hogy melyik faj a legtökéletesebb - azaz a fejlődés csúcsa - értelmetlen; bármilyen ilyen osztályozás mesterséges. Minden olyan faj, amely jelenleg él, ugyanúgy sikeresen leküzdötte a nehézségeket az elmúlt 4 milliárd év alatt, mint a Homo sapiens.

- Nem, az evolúció ebben az értelemben vak. Éppen az a természetes szelekció folyamatában a fantasztikus, hogy miközben a változatok véletlen mutációk révén jönnek létre, a kiválasztódás miatt úgy tűnik, mintha a fajok szándékosan alakítanának ki bizonyos tulajdonságokat a generációk alatt. Kétszáz évvel ezelőtt William Paley teológus Isten, mint tervező bizonyítékát vélte megtalálni az emberi szem tökéletességében, szinte nyilvánvaló tervezettségében, célszerűségében.
- A Darwin által leírt természetes szelekció mechanizmusa azonban képes ilyen összetett szervek létrehozására minden terv és célszerűség nélkül, pusztán az apró változások sikerességen alapuló továbböröklődése és felhalmozódása útján. Paley érvelése újra és újra megjelenik a teremtéshívők repertoárjában, legújabban intelligens tervezettség (intelligent design) és egyszerűsíthetetlen komplexitás (irreducible complexity) elnevezések alatt. Az úton-útfélen felhozott példák (emberi szem, baktérium ostora, véralvadás folyamata stb.) azonban mind magyarázhatók a természetes kiválasztódás segítségével anélkül, hogy fel kellene tételeznünk egy intelligens tervező befolyását.
- Jól mutatja a természetes szelekció tervszerűtlenségét az egyébként tényleg csodálatraméltó eredmények számos nyilvánvaló hibája. Ezek előzetes tervezés esetén bizonyosan kiküszöbölhetőek lettek volna. A híres evolúciobiológus Richard Dawkins "A vak órásmester" című könyvében részletesen tárgyalja az természetes kiválasztódásnak ezeket a tulajdonságait.



# Tényleg megismétli az egyedfejlődés a törzsfejlődést (Haeckel szabály)?

- Ernst Haeckel a 19. század második felében élő német biológus, filozófus, orvos és művész volt. Elképzelése szerint az élőlények embriológiai fejlődésük során megismétlik az evolúció - a törzsfejlődés - lépéseit.
- Ez az elképzelés nem igazolódott (bár elég sokáig tanították még). A különféle állatcsoportok embrióinak fejlődéséről készített rajzai elég felületes vizsgálatokon alapultak, sőt felmerült bizonyos fokú az "elmélethez való hozzáigazítás" gyanúja is. A különféle nagyobb állatcsoportok testfelépítése eléggé eltér egymástól és az ilyen változások egy része éppen az egyedfejlődés korai szakaszában történt változások eredménye. Más részről egy mai madár őse semmiképp sem a mai hüllőkhöz hasonlított. Mindkettő csoportnak közös őse volt, amely csak bizonyos tulajdonságaiban hasonlított a mai hüllőkhöz.



# Tényleg visszafordíthatatlan az evolúció (Dollo törvény)?

- A francia származású Louis Dollo 1890 körül így fogalmazta meg elméletét: *"Egy szervezet nem képes - még részben sem - visszatérni az ősei által képviselt formákhoz (tulajdonságokhoz)"*. Ma ezt leginkább úgy emlegetik, hogy az evolúció nem ismétli meg önmagát. Egyik elképzelés sem teljesen helyes, bár Dollo megállapítása abban a keretrendszerben, amelyben ő használta, valószínűleg megállja a helyét.
- Sokunkban felmerül a kérdés, hogy például a delfinek, bálnák miért nem használnak újból kopolyút, amikor sokkal alkalmasabb volna nekik, mint a tüdejük és ráadásul tudjuk, hogy mindkét csoportnak valamikor - elég régen, mielőtt az első gerincesek meghódították a szárazföldet - halszerű ősei lehettek?
- Számos más hasonló példa van, és azt látjuk, hogy ha történik is "újralfedezés", akkor az nem az eredeti megoldáson alapul, hanem tényleg valami gyökeresen új, még ha a végeredmény hasonlít is a valaha elvesztett tulajdonsághoz. Így például a bálnák, delfinek uszonyai nem ugyanazok, mint a halaké. Mai tudásunkkal - már ismerve a tulajdonságok genetikai kódolásának alapelvét, valamint az egyedfejlődés főbb törvényszerűségeit - azt mondhatjuk, hogy a régi tulajdonságok pontos visszaszerzésének esélye olyan kicsi, hogy ez a lehetőség praktikusán kizárható. Valószínűbb, hogy a visszatérő környezeti kihívásra a faj egy más genetikai, szervezeti megoldás kialakításával reagál, olyannal, amelynek a meglévő testfelépítést és genetikai készletet figyelembe véve nagyobb az esélye.
- Természetesen az evolúció vakon tapogatózó, próba-szerencse alapon működő természetét figyelembe véve korántsem biztos, hogy végül a legnyilvánvalóbb megoldást választja.

- Köszönöm a figyelmet.