A BIOLÓGIAI EREDET KÖZPONTI KÉRDÉSE

Írta: Percival Davis és Dean H. Kenyon
Fordította: Németh Orsolya és Farkas Ferenc

TARTALOM

Az élet eredete / 2

Genetika és makroevolúció / 9

A fajok eredete / 16

Mit mondanak a kövületek? / 22

Homológia / 27

Biokémiai hasonlóságok / 34

Értelmes Tervezettség Mozgalom
www.ertem.hu

Az élet eredete

Az élet anyagi eredete nem bizonyított, sőt a tudományos tapasztalatok alapjaiban megkérdőjelezik.

Volt idő, amikor az emberek azt hitték, bizonyos állatok maguktól jöttek létre, teljesen kifejlett állapotban, az élettelen anyagból. Az elméletet „spontán keletkezés”-nek nevezték el. Ma ezt az elméletet puszta babonának tartjuk, de annak idején sokan meg voltak róla győződve, hogy a józanész és a tapasztalatok is ezt bizonyítják. Hiszen ha kint hagyjuk a rothadó húst, talán nem borítják el hamarosan mindenféle férgek? Vagy a fészer sarkában hagyott piszkos rongy talán nem válik hamarosan egérfészekké?

A tudományos módszerek fejlődésével azonban a spontán keletkezés elméletét kezdték kétségbe vonni. 1668-ban Francesco Redi egy kísérletben azt vizsgálta, hogy a bomló ételben vajon a férgek maguktól képződnek-e. Ugyanolyan nyershús-mintákat helyezett agyagkorsókba: az egyik csoportot muszlinkendővel takarta le, a másikat fedetlenül hagyta. Néhány nap múlva az első csoport mintáit takaró muszlinkendőt légypeték borították el, magában a húsban azonban egyetlen egy sem volt. A nyitott korsókban ezzel szemben a hús tele volt petékkel, amelyekből hamarosan nyüvek keltek ki. Redi bebizonyította, hogy a nyüvek nem pusztán apró férgek, amelyek spontán keletkeznek a rothadó húsban, hanem légylárvák. Tudományosan bebizonyította, hogy legalábbis bizonyos életformák csakis más élő szervezetekből alakulhatnak ki.

A spontán keletkezés elmélete hanyatlásnak indult, ám utolsó bástyájaként megmaradt a mikroszkopikus élővilág. A mikroszkóp egy addig láthatatlan és nem is gyanított világ létezését tárta fel. A mikroszkopikus lények olyan aprók voltak és olyan egyszerűnek tűntek, hogy nem volt nehéz azt hinni, spontán módon keletkeztek az élettelen anyagból. Hiszen ha szalmadarabkákat hagytak rothadni egy tál vízben, a víz hamarosan baktériumoktól hemzsegett.

Az 1860-as évek elején Louis Pasteur azonban ezt az elméletet is megcáfolta. Bebizonyította, hogy a víz is baktériummentesen tartható, ha forralás után csak tiszta levegővel hagyjuk érintkezni. Így kísérletileg igazolta, hogy a szalmaszál rothadása nyomán rejtélyesen megjelenő mikroszkopikus élőlények a levegőben található baktériumoktól származnak.

Louis Pasteur, aki igazolta, hogy a spontán keletkezésről szóló korabeli elméletek nem érvényesek

Ugyanabban az időben, amikor Pasteur a kísérleteit végezte, Charles Darwin és társai az evolúció mechanikus elméletének megfogalmazásán dolgoztak. Pasteur felfedezései ugyan a tudományos ismeretek fejlődését szolgálták, ám zavarták a tisztán természetes eredet eszméjét. Redi és Pasteur igazolták, hogy élettelen anyagból nem keletkeznek kifejlett élő szervezetek, legyen szó akár egerekről, akár mikrobákról. Ám a darwinizmusnak, az evolúció uralkodó elméletének, nyilvánvalóan valamiféle természetes eredetre volt szüksége. Hogyan vált ez lehetségessé?

Az 1920-as években egy Alexander Ivanovics Oparin nevű orosz tudós a kérdés új megközelítését javasolta. Az élet az élettelen anyagból keletkezett, indítványozta, de nem egyszerre, hanem nagyon fokozatosan, apró lépéseken keresztül. Ahogy a biokémikusok tanulmányozták az élet kémiáját, úgy tűnt számukra, lassan e lépések részletei is kibontakoznak előttük: először egyszerű vegyületek kombinációi szerves vegyületeket – például aminosavakat – hoztak létre, amelyek aztán nagyobb, összetettebb molekulákká – többek között fehérjékké – formálódtak, amelyek később egyesülve térhálót alkottak és kialakították a sejtfalat. Oparin hipotézisét „**prebiotikus evolúció**”-nak, (prebiotikus annyit jelent, hogy „élet előtti”) vagy „**kémiai evolúció**”-nak nevezik (mivel az elmélet szerint az élet egy vegyületekben gazdag tengerben, az ún. prebiotikus vagy őslevesben keletkezett). Az Oparin-féle hipotézis lett az élet eredetének bevett evolucionista megközelítése. Oparin és más, későbbi tudósok felvetették, hogy a kémiai vegyületek véletlen kölcsönhatása végül nem vezet életképes molekulákhoz. A tudósok már nem hiszik, hogy a véletlen elég lenne. Ehelyett elméleteket állítanak fel arra vonatkozóan, hogy az élő szervezetekben látható rendezett szerkezet az anyag belső önszervező képességének a következménye. A mai álláspont szerint az anyag önszerveződő képességgel rendelkezik, ami végül elvezet az élethez.

Élet a kémcsőben

Oparin hipotézisének egyik előnye az volt, hogy bizonyos mértékig vizsgálni lehetett. Nem közvetlenül, természetesen, hiszen a múltbeli eseményeket – ebben az esetben az élet keletkezését – nem tudjuk megfigyelni. Ehelyett történeteket lehet gyártani arról, hogy mi történhetett a múltban, majd kísérleteket lehet végezni, hogy kiderüljön, vajon ma is hasonló események következnek-e be. Ezeket szimulációs kísérleteknek nevezik, mert az a céljuk, hogy szimulálják velük, mi történhetett a földtörténet korai szakaszában, az élet keletkezésekor.

Oparin feltevése szerint az egyszerű légköri gázok – metán, etán, ammónia, hidrogén és vízgőz – kémiai reakcióiból keletkezett az élet. E reakciókat a környezetben előforduló különböző energiaformák – villámlás, vulkánok hőenergiája, földrengések kinetikai energiája és napfény – aktiválták. Ha a vegyületek és a környezeti energia szerencsésen találkoztak, az atmoszférikus gázok átalakulhattak sokkal bonyolultabb kémiai anyagokká – aminosavakká, zsírsavakká és cukrokká. Ezek felhalmozódhattak a primitív óceán vizében, amíg mennyiségük (koncentrációjuk) elégséges lett ahhoz, hogy összekapcsolódjanak és még nagyobb, még bonyolultabb molekulákat – például fehérjéket és DNS-t – alkossanak. Végül ezek a molekulák is kombinálódtak egymással, és összefüggő részecskéket – ún. **koacervátum**okat (folyékony cseppecskéket vagy buborékszerű struktúrákat) – alkottak. Ezekből jöhettek létre az első igazi sejtek, sejtfallal, komplex anyagcsere-rendszerrel, genetikai kóddal és reprodukciós képességgel.

Vajon hogyan tudták ezt a hipotézist laboratóriumban vizsgálni? A tudósok az Oparin által javasolt egyszerű gázokat összekeverték, majd a gázelegyet különböző energiaformák – ultraibolya fény (a napfény szimulálására) és elektromos kisülések (a villámlás szimulálására) – behatásának tették ki. 1953-ban Stanley Miller és Harold Urey publikálta az első ilyen jellegű kísérletet. Sűrű, kátránszerű anyag képződött a lombikban. Miután megvizsgálta az anyagot, Stanley Miller néhány – a mai fehérjékben is előforduló – aminosavat azonosított. Azóta más biológiai vegyületeket is sikerült kimutatni hasonló, atmoszférát szimuláló kísérletekben. Az így előállított vegyületek listája tartalmazza az élő szervezetekben található legtöbb létfontosságú szerves vegyületet.

Stanley Miller mint ifjú doktorhallgató, az eredeti élet-eredet kísérlethez használt készülékkel

Természetellenes körülmények

Képzelhetjük, micsoda izgalom lett úrrá a tudóstársadalmon, amikor e kísérleti eredményeket először közzétették. A korai kísérletek sikere jelentősen megnövelte az evolúció-elmélet hitelét. Amikor azonban a tudósok túl akartak lépni az élet legegyszerűbb építőkövein, alábbhagyott a lendület. Az egyszerű vegyületektől az élet komplex molekuláihoz – a fehérjékhez és a DNS-hez – vezető lépés rendkívül nehéznek bizonyult. Eddig a probléma megoldásán dolgozó tudósok összes fáradozása ellenére sikertelen maradt.

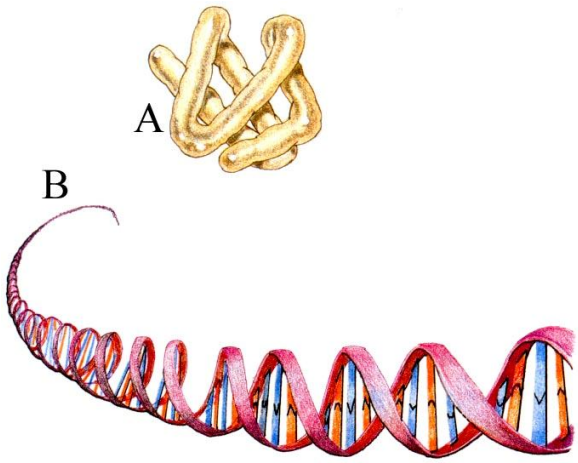
A legnagyobb gondot az jelenti, hogy bizonyos kémiai reakciók egészen könnyen végbemennek, míg mások egyáltalán nem. Az élet legegyszerűbb építőkövei viszonylag egyszerűen kialakulnak. Képződésük az egyszerűen végbemenő kémiai reakciók kategóriájába tartozik. Azonban a DNS és a fehérjék kialakításához szükséges reakciók nem egykönnyen játszódnak le. Valójában ezek a termékek mind a mai napig egyetlen szimulációs kísérletben sem voltak kimutathatók.

Ráadásul néhány tudós rendkívül kritikusan viszonyul a szimulációs kísérletek felállításának előfeltételezéseihez. Az ilyen kísérleteknek azt kellene szimulálniuk, hogy az ésszerűség határain belül vajon mi történhetett egykor természetes körülmények között. Ám nagyon gyakran nem ez történik.

Oxigén a levegőben

Például a fiatal Föld légkörét szimuláló összes kísérletben kizárták a molekuláris oxigént. Ennek az az oka, hogy az oxigén problémaként hat, megakadályozza a szerves vegyületek képződéséhez vezető kémiai reakciókat. Továbbá, ha bármilyen szerves vegyület keletkezik, az oxigén hatására azonnal elbomlik, az oxidációnak nevezett folyamatban. (Sok tartósítószer egyszerűen olyan anyag, amely az élelmiszert megóvja az oxidáció hatásától.)

Emiatt aztán a kémiai evolúció története szerint a föld légkörében nem volt oxigén az élet keletkezésekor. Ma már azonban a tudósok egyértelműen azon az álláspontON vannak, hogy az oxigén a kezdetektől fogva jelen volt a Föld légkörében. Sok ásvány reagál az oxigénnel (pl. a vas rozsdásodása), s az így képződő oxidok megtalálhatók azokban az ásványokban, amelyek az elmélet szerint korábbiak az élet keletkezésénél. Továbbá a földet a biológiai életre nézve halálos ultraibolya sugárzástól védő ózonpajzs létrejöttéhez is megfelelő nagyságú oxigénkoncentráció szükséges. Egyértelmű, hogy a fiatal föld légkörét szimuláló kísérletekben oxigénnek is jelen kellene lennie.



Fehérje és DNS molekulák. A fehérje molekulát (A) felcsavarodott formában ábrázolja a kép, amely formát a molekula egyes részei között ható kémiai és fizikai erők stabilizálnak, ezért különbözik egymástól minden egyes fehérje. A DNS (B) a híres kettős spirál (dugóhúzó) formában látható az ábrán

Reverzibilis (visszafordítható) reakciók

A második akadály, amely minden evolúciós elmélettel szemben felállítható, egy paradoxon. Bizonyos vegyületek egészen könnyen reagálnak egymással. Könnyen összekapcsolódnak, mint a mágnes északi és déli pólusa. Más vegyületek ellenállnak a reakciónak. Reakcióba vitelük hasonló ahhoz, mint amikor két mágnes északi pólusait akarjuk összeilleszteni. Az ilyen kémiai reakciók véghezviteléhez energiára van szükség (pl. hőenergiára vagy elektromosságra). De – és itt a paradoxon – ez az energia széthasítja a képződött vegyületeket. Valójában az energia inkább széthasítja őket, mint hogy segítene kötést kialakítani közöttük.

Amikor a vegyészek kémiai anyagok keverékét hőhatásnak vagy elektromosságnak teszik ki, előfordulhat, hogy keletkeznek bizonyos vegyületek, mások azonban ugyanakkor szétesnek. Mivel a bomlási folyamatok sokkal nagyobb valószínűséggel fordulnak elő, a nettó végeredmény csak kis számú kémiai vegyület lesz. A keletkező molekulák általában egyszerűbbek, mivel az esetleg képződő összetettebb molekulák gyorsan egyszerűbb alkotórészeikre bomlanak.

A szimulációs kísérletekben az aminosavakat és egyéb képződő termékeket egy csapdával kivonják a rendszerből, hogy megóvják őket az újbóli széttördelődéstől. De nincs semmi bizonyíték arra, hogy a természetben is valami hasonló csapda működött volna. Ezért a csapdás kísérletek eredményeiről szóló beszámolók hiteltelenek. Az ilyen kísérleteknek ugyanis az ősi föld természetes közegében valószínűleg lejátszódott történéseket kellene reprodukálniuk, többségük azonban nem ezt teszi. Ezek pedig éppen a természet szimulációjának célját ássák alá.

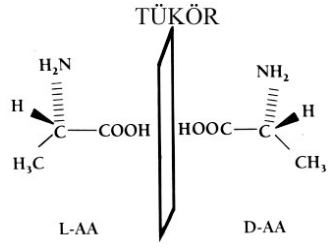
Kémia három dimenzióban

Az aminosavak, a cukrok, a fehérjék és a DNS nem egyszerű kémiai vegyületláncok. Először is, rendkívül különleges háromdimenziós szerkezetük van. Amikor laboratóriumban szintetizálják őket, lehet, hogy megfelelő kémiai alkotóelemekkel rendelkeznek, a háromdimenziós struktúrájuk azonban rossz.

Az aminosavak például kétféle formában keletkezhetnek, amelyek egymás tükörképei (1. ábra), ugyanúgy, ahogy a jobbkezes és a balkezes kesztyűk is tükörképei egymásnak. A kétféle térszerkezeti formát jobbra forgató és balra forgató aminosavaknak nevezzük. Az élő szervezetek fehérjéiben csak balra forgató aminosavakat találunk. A jobbra forgató alakok egy-

szerűen nem „illenek” a sejt anyagcseréjébe, ugyanúgy, ahogy a jobbkezes kesztyű sem illik a bal kézre. Ha csak egyetlen jobbra forgató aminosav bekerül a fehérjébe, a fehérje működőképessége jelentősen lecsökken, gyakran teljesen működésképtelenné válik. (Ugyanígy, az RNS és a DNS csak jobbra forgató cukrokat tartalmaz.)

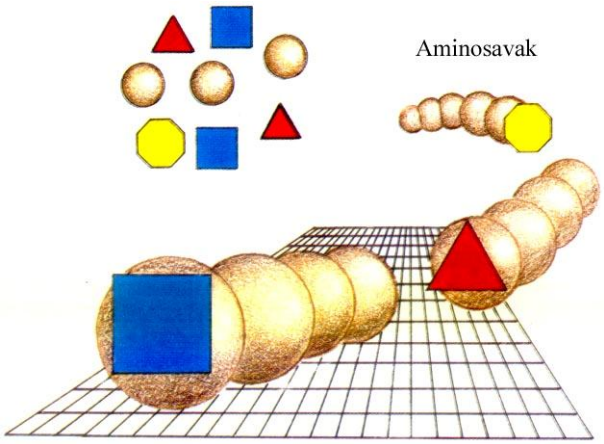
A kutatók eddig nem találtak olyan természetes körülményeket, amelyeket a szimulációs kísérletekbe foglalva, azok csak a helyes háromdimenziós szerkezetet eredményeznék. Amikor aminosavakat laboratóriumban állítanak elő, az eredmény a két forma egyenlő arányú keveréke, akár egy halom balkezes és jobbkezes kesztyű. Az élet ebben és más tekintetben is olyan jellemzőket mutat, amelyek látszólag távol állnak mindentől, ami természeti körülmények között létrejöhet.



1. ábra. *Az aminosavak kétféle: jobbra forgató (D-) és balra forgató (L-) formában is léteznek. A képen az alanin nevű aminosav két formája látható*

Keresztreakciók

Egyes reakciók könnyen lejátszódnak, míg mások nem, s ez újabb problémát vet fel. Ahogy már említettük, a biológiailag fontos vegyületeket eredményező reakciók abba a típusba tartoznak, amelyeket csak mesterséges körülmények között lehet végrehajtani. Az aminosavak például nem egykönnyen reagálnak egymással, ennek folyományaként viszont egyéb anyagokkal könnyen reakcióba lépnek. És itt a bökkenő. Ha aminosavak keletkeztek is a fiatal Földön, biztosan nem lebegtek szerteszét a tavakban és pocsolyákban, pusztán arra várva, hogy a megfelelő aminosav-partner felbukkanjon a fehérjeképzéshez. Ehelyett nyilvánvalóan mindenféle keresztreakcióban, egyéb vegyületekkel reagálva megkötődtek, s így alkalmatlanná váltak bármilyen biológiailag hasznos funkcióra (2. ábra). Ez magyarázza, hogy a tényleges kísérletekben zömmel miért csak nagy mennyiségű nem biológiai ragacs keletkezett.



2. ábra. *Keresztreakciók. Az őslevesben semmi sem akadályozta volna meg az aminosav-láncok reakcióit az őslevesben lévő számtalan egyéb alkotórésszel, így azok megkötődtek volna, és alkalmatlanná váltak volna arra, hogy fehérjemolekulákká álljanak össze*

Összefoglalva, a legtöbb szimulációs kísérlet nem utánozza élethűen a korai földön valószínűleg uralkodó körülményeket. Számításba véve az oxigén jelenlétét, a reverzibilis reakciókat, a keresztreakciók túlsúlyát és az egyforma háromdimenziós szerkezetek valószínűtlenségét, azt a következtetést kell levonnunk, hogy a fiatal Földön uralkodó körülmények messze

nem voltak kedvezőek az élet spontán kialakulásához. A fiatal Földön uralkodó körülmények sokkal inkább a bomlási folyamatoknak kedveztek, mint a szintézisnek. A kísérletek nem támasztották alá azt az elképzelést, hogy a kiindulási anyagok eredendő önszerveződő képességgel rendelkeztek volna.

Az élet nyelve

Az újságcikkeket, sőt még egyes tankönyveket olvasva is gyakran az a benyomásunk támad, hogy a tudósok már közel járnak ahhoz, hogy „életet teremtsenek" a laboratóriumban. Azonban az eddig laboratóriumban szintetizált vegyületek nem rendelkeznek azzal a speciális szekvenciával, illetve a szükséges háromdimenziós struktúrával, amely a biológiai működéshez szükséges lenne.

Noha az élő szervezetek egyszerű vegyületekből épülnek fel, ebből nem szabad azt a következtetést levonnunk, hogy maguk az élő szervezetek is egyszerűek. Shakespeare szonettjei művészien összetettek, annak ellenére, hogy a bennük található szavakat és mondatokat egyszerű betűkből állította össze a szerző. Mozart darabjai is zeneileg komplex műalkotások, annak ellenére, hogy megfelelő mintába rendezett egyszerű hangjegyekből állnak. A döntő tényezőt az élő szervezetek esetében nem az egyszerű összetevők, hanem a minta jelenti.

Melyek azok a minták, amelyek alapvetőek az élethez? Amióta felfedezték a DNS-molekulát, a legtöbb tudós a DNS-ben kódolt információra hivatkozva definiálja az életet. Ez az az információ, amely irányítja a testünkben lévő összes sejt fejlődését és működését.

Az élet eredete tehát magában foglalja a kódolt információ eredetét is. Az élet szempontjából kritikus óriásmolekulák – így a fehérjék és a DNS – sokkal inkább egy ismert nyelven megszerkesztett üzenet mintájára épülnek fel, ahol az egyszerű vegyületek a betűk, amelyek a megfelelő sorrendben szavakat, kifejezéseket, mondatokat alkotnak. Az „üzenetet" a sejt dekódolja, ugyanúgy, ahogy a Morse-ábécé pontjait és vesszőit tudja dekódolni az, aki ismeri a jelentésüket.

A körülöttünk lévő világban a dolgok két osztályba sorolhatók: természeti tárgyak, pl. folyók és hegyek, illetve ember alkotta struktúrák, pl. házak és számítógépek. Az eredet fogalomrendszerénél maradva, a dolgoknak kétféle okuk lehet: természeti és intelligens.

Egységes tapasztalatok

Hogyan döntsük el, hogy valami természeti folyamatok eredménye, vagy **intelligens okok**é? A legtöbben gondolkodás nélkül tesszük ezt. Látjuk a felhőket és korábbi tapasztalataink alapján tudjuk, hogy azok természeti okok eredményei. Nem érdekes, hogy az alakjuk menynyire tekervényes, tudjuk, hogy a felhő egyszerűen vízgőz, amelynek alakját a szél és a hőmérséklet formálja. Másrészről, ha a felhőkhöz nagyon hasonló jelenséget látunk az égen, amelyből kibetűzhetők a „szavazz Kovácsra" szavak, azonnal tudjuk – hiába fehér és bolyhos a képződmény, akár a felhő –, hogy a szavak nem keletkezhettek természetes folyamatok eredményeképpen. Miért nem? Mert tapasztalataink – és nemcsak a mieink – azt mondják, hogy természetes okok nem hozhatnak létre olyan komplex struktúrákat, mint egy írott nyelvi üzenet.

Amikor a „Jancsi szereti Juliskát" üzenetet találjuk a homokba írva, azonnal feltételezzük, hogy az egy intelligens ok eredménye. A tapasztalat a tudomány alapja is. Amikor egy kódolt, komplex üzenetet találunk a sejtmagban, ésszerű lenne ugyanezt a következtetést levonni. A tudósok ellenőrzött kísérleteket alkalmaznak annak meghatározására, hogy adott körülmények

között milyen eredmények fordulnak elő. Az eredmények, amelyeket következetesen és szabályosan megfigyelünk, adják az általunk felállított törvények alapját.

Más szóval, amikor a tudósok a sejtmagot kutatták, végül olyan jelenségre bukkantak, amely hasonló ahhoz, mintha a „Jancsi szereti Juliskát” üzenetet találnák a homokba írva, vagy a „szavazz Kovácsra” mondatot az égre írva. A legnagyobb különbség az, hogy a DNS szövege sokkal bonyolultabb. Ha a testünk egyetlen sejtjében kódolt információt írógépen kellene leírni, egy egész könyvtárra való könyvet megtöltene.

Ha jelentése van, még a legrövidebb üzenet is óhatatlanul intelligens forrásról árulkodik

Létezik olyan természeti ok, amely képes ilyen mintákat létrehozni? Ha azt állítjuk, hogy a DNS és a fehérjék természeti okok következményei, amit a kémiai evolúció hozott létre, azzal valójában azt mondjuk, hogy komplex, kódolt üzenetek keletkeztek természetes úton. Ugyanúgy, mintha azt mondanánk, hogy a „Jancsi szereti Juliskát” üzenet a hullámok hatására vagy a homokszemcsék önszerveződő képessége folytán jött létre a homokban. Olyan ez, mintha a naplementét ábrázoló festmény spontán jött volna létre a vászon és a festék atomjainak kölcsönhatása folytán. A tapasztalataink során mikor találkoztunk hasonló jelenséggel? Ha bármikor jelentéssel felruházott szimbólumok meghatározott sorrendjét ismerjük fel, feltételezzük, hogy intelligens ok keze munkáját látjuk. Akkor is ugyanezt feltételezzük, ha nem tudjuk megfejteni a szimbólumokat, csakúgy, mint amikor a régészek felfedeznek egy kőbe vésett ősi írást. Ha a tudomány tapasztalaton alapul, akkor a tudomány azt mondja nekünk, hogy a DNS-ben kódolt üzenet egy intelligens októl ered.

De vajon milyen intelligens tényezőtől? A tudomány önmagában nem tudja megválaszolni ezt a kérdést, e tekintetben a hitre és a filozófiára kell hagyatkoznia. De attól még a tudománynak el kellene ismernie, ha bármikor intelligens ok létezésére utaló bizonyítékot észlel. Ennek még akkor is így kellene lennie, ha felfedeznénk, hogy az élet tényleg természeti eredetű. A tudomány alapján még akkor sem tudnánk megmondani, hogy valóban csak a természeti ok játszott-e szerepet, vagy pedig a végső magyarázat a természet felette áll, és csak felhasználta a természeti okot.

Genetika és makroevolúció

Az élőlények genetikai és alaktani szempontból is stabilnak mutatkoznak:
nem alakulnak ki spontán módon új, hasznos struktúrák.

Vegyük szemügyre a zsiráfot: túlméretezett végtagok, megnyúlt nyak, esetlen testtartás – látszólag minden ügyetlenül aránytalan. Ennek ellenére a zsiráf testrészei bámulatos összhangban állnak egymással: az állat elegáns könnyedséggel mozog, és olyan erős a rúgása, hogy kevés természetes ellensége van.

A zsiráf különös alakja Darwin óta fejtörést okoz az evolucionistáknak. Jean Baptiste de Lamarck, Darwin egyik előfutára vetette fel, hogy a zsiráfnak azért hosszú a nyaka, mert állandóan nyújtogatta, hogy a magasabban levő leveleket is elérje. A csontszerkezet az állat szükségleteinek megfelelően változott, hogy minél magasabbra el tudjon érni. Ma már azonban a tudósok tudják, hogy a test szerkezete nem változik a szervezet igényeinek vagy szokásainak függvényében. Ha így lenne, az olimpikonok gyermekei még gyorsabbak, az értelmiségiek gyermekei még okosabbak lennének szüleiknél.

Darwin **természetes kiválasztódás**ról szóló elmélete feje tetejére állítja Lamarck magyarázatát: ahelyett, hogy a környezeti tényezők változtatnák meg a szokásokat, amelyek így új vonásokat hoznak létre, Darwin szerint valami az organizmuson belül hoz létre új jellemzőket, amelyeket a környezet vagy megőriz, vagy kiselejtez. Egy a túléléshez hosszabb nyakat igénylő szervezet helyett Darwin tehát egy olyan környezetet feltételezett, amely a hosszabb nyakú szervezeteknek kedvez, s így az ilyen adottságokkal rendelkező élőlényeket őrzi meg – ami jelen esetben a zsiráf volt.

Darwin elmélete szempontjából nyilvánvalóan fontos volt beazonosítani azt a „valamit" a szervezeten belül, ami az új jellegeket kifejleszti. Az, hogy az organizmus vagy fennmarad, vagy elpusztul, attól függően, hogy mennyire tud alkalmazkodni a környezetéhez, nem volt új elképzelés. Ami viszont egyedülálló volt Darwin elméletében, az az a feltételezés, hogy az organizmusokon belüli valamilyen erő új jellemzőket tud létrehozni, amelyek idővel akkumulálódnak, s végül egy teljesen új organizmust eredményeznek.

Vajon milyen erő lehet ez? Azt Darwin maga sem tudta megmondani. De a sors iróniája folytán, éppen abban az időben, amikor Darwin megalkotta teóriáját, egy osztrák szerzetes, bizonyos Gregor Mendel olyan kísérleteket végzett, amelyek pont ennek a kérdésnek a megválaszolására irányultak. Mendel felfedezte, hogy bizonyos tulajdonságok eltűnhetnek az egyik generációban, hogy aztán újra felbukkanjanak egy későbbiben. Például, amikor ráncos szemű borsót kerekszeművel keresztezett, az első nemzedékben az összes utód kerekszemű lett. Elveszett volna a ráncosság tulajdonsága? Korántsem: a következő borsónemzedékben ismét megjelent.

Mendel arra a következtetésre jutott, hogy az öröklődést részecskék (később géneknek nevezték el őket) szabályozzák, amelyek átkerülnek az ősökből az utódokba. Lehet, hogy a tulajdonság ideiglenesen eltűnik, de az azt hordozó gén jelen lesz az utódban, és valamelyik utódnemzedékben újra felbukkanhat. Amikor például a tenyésztő valamely vonás megjelenését vagy eltűnését idézi elő, az valójában nem jelenti új tulajdonság megszerzését vagy egy meglévő elvesztését. Csupán a **recesszív** és **domináns** gének kölcsönhatását mutatja. Az „elveszett" tulajdonság még jelen lehet, és újra megjelenhet. Az „új" jelleg, ami látszólag a semmiből bukkan elő, valószínűleg nem is új, csupán egy recesszív gén kifejeződése, amely mindvégig jelen volt. Amikor a tenyésztő újfajta kutyát vagy húsosabb marhát hoz létre, valójában csak a géneket keveri meg egy kicsit, hogy a recesszív gént kifejezésre juttassa.

A történet iróniája az, hogy miközben Darwin a folyamatos változásról szóló elméletén dolgozott, Mendel azt szemléltetette, hogy az élő szervezetek meglehetősen állandóak. Ám Darwinnak olyan jól sikerült a változásra irányítania a figyelmet, hogy Mendel elméletét va-

lószínűleg részben ezért nem vették komolyan egészen a huszadik század tízes éveiig. Mindeddig az öröklődés legáltalánosabban elismert elképzelése a „festékes vödör” elmélet volt, amely szerint utódnemzéskor az apa és az anya tulajdonságai valahogy úgy keverednek össze, mint a kék és a piros festék, hogy aztán bordó legyen belőlük. Darwin kritikusai rámutattak, hogy ha ez a modell helytálló lenne, minden esetlegesen kialakuló új tulajdonság elveszne a következő keveredés során, ahogy az eredeti piros és kék szín is elvész, amikor bordót keverünk belőlük.

Ezzel szemben a mendeli modellben a gének sokkal inkább különálló részecskékhez hasonlítanak, amelyek az öröklődés folyamán nem változnak. Amikor Mendel munkásságát újra felfedezték, a darwinisták lelkesen üdvözölték eredményeit, és beolvasztották őket a természetes kiválasztódás elméletébe. (A darwinizmus e módosítását nevezik neodarwinizmusnak.) A mendeli genetika új távlatokat nyitott a darwinizmus számára. Megmagyarázta például, hogy egy előnyös tulajdonság hogyan segítheti a túlélést, és hogyan válhat a populáció meghatározó tulajdonságává.

A mendeli genetika azonban egyszerre áldás és átok a darwini elmélet számára. Egyrészt magában foglalja a stabilitást, amely szükséges ahhoz, hogy egy tulajdonság meghonosodjon a populációban. Másrészt azonban éppen a stabilitás az, amire semmi szüksége a darwinizmusnak, ahol a változásnak oly mértékűnek kellene lennie, hogy az élet teljes komplex hálózatát képes legyen létrehozni egyetlenegy egysejtű szervezetből. Hogyan megy végbe a változás a mendeli genetika keretein belül? A következő alfejezetben erre a kérdésre keressük a választ.

Valóban válogat a természet?

Darwin állatokat tenyésztett, és mély benyomást tett rá, hogy mi mindent el lehet érni tenyésztéssel. És joggal: különleges tulajdonságokkal bíró egyedek kiválasztásával és szaporításával a tenyésztők gyakran nagyobb különbségeket tudnak előidézni egyetlen fajon belül, mint amekkora különbségek a vadon élő fajok között vannak. Talán nem tudná a természet ugyanezt megtenni, sőt még többet is, ha elég ideje volna rá? – tette fel a kérdést Darwin.

Darwin elmélete azzal a megfigyeléssel kezdődik, hogy a természetben sokkal több utód születik, mint amennyi életben marad. Mivel az egyedek között eltérések vannak, előfordulhat, hogy egyes utódok olyan tulajdonságokra tesznek szert, amelyek nem találhatók meg a társaikban – például hosszabbak lesznek a lábai. Ha ez a tulajdonság az utódokat jobban alkalmazkodóvá teszi, mint társaikat, az általuk lakott élőhelyen nagyobb esélyük lesz a túlélésre, s így utódaikba is továbbörökítik ezt a jellemző tulajdonságot. Ha a tendencia több generáción keresztül folytatódik, végül azok az állatok kerülnek túlsúlyba, amelyeknek hosszabb lábuk van, s a tulajdonság meghonosodik.

Darwin ezt a folyamatot nevezte el természetes kiválogatódásnak, kihangsúlyozva a párhuzamot azzal, amit a tenyésztők tesznek, amikor egy adott tulajdonságot kiválasztanak. Szerencsétlen módon a kifejezés azt sugallja, hogy a természet képes „válogatni” – előre látni, mi az, ami szükséges lesz, kiválasztani a megfelelő tulajdonságokat, vezetni és irányítani az evolúció folyamatát. Persze a természet semmi ilyesmire nem képes. A természetes kiválogatódás csupán a szervezetek és a környezet közötti kölcsönhatás, melynek során a káros tulajdonságok kirostálódnak, az előnyösek pedig meghonosodnak.

A természetes kiválasztódás elmélete nem Darwintól származik. Több természettudós – köztük Edward Blyth – megfigyelte, hogy a természetben kiválogatódás megy végbe. Ők azonban ezt pusztán megőrző erőként jellemezték, olyan mechanizmusként, amely az alkalmatlan egyedeket kirostálja, s ezáltal a meglévő fajok túlélését segíti. Darwin újítása az volt, hogy kijelentette, természetes kiválogatódás útján új fajok keletkezhetnek.

A természetes kiválogatódás azonban a mai napig nem hozott létre új tulajdonságokat. Csak a már meglévő jellemzőkre van hatással. Az evolúciós újdonságok – az új jellemzők és új struktúrák – igazi forrását a genetikai állományban kell keresnünk.

Hogyan változnak az élő szervezetek?

Egyesek néha azt a benyomást keltik, hogy a darwinizmus számára mindenféle változás bizonyítékot jelent. Pedig a darwinizmus nem *akármilyen* változásokról szól, hanem arról a nagyon speciális fajtájúról, amikor az egyik szervezet egy másikká alakul át. Képzeljünk el egy evolúciós fát. A tenyésztők által előidézett változás *vízszintes* irányú, egy adott faág kivirágoztatása és kinevelése ezen a fán. Ami azonban az evolúciós fa fejlődéséhez, új faágak létrejöttéhez szükséges, az *függőleges* irányú változás.

Másképpen fogalmazva, a tenyésztők édesebb kukoricát, húsosabb tehenet tudnak produkálni, de nem tudják a kukoricát más növénnyé vagy a marhát más állattá alakítani. A tenyésztők egy adott fajon belül diverzifikálnak (változatosabbá tesznek) – ez a **mikroevolúció**. Ami az új fajok létrejöttéhez szükséges, az a **makroevolúció**.

A neodarwinizmus azt feltételezi, hogy a mikroevolúció makroevolúcióhoz vezet. Magyarul, azt feltételezik, hogy sok apró, akkumulálódó változás eredményeképpen ugrásszerű változás jöhet létre. Az élő szervezetekben a genetikai állomány változásának forrása a mutáció és a rekombináció.

Új sablonok a régi génekben

A legtöbb variáció a meglévő gének rekombinációjával (újra-elrendeződésével) keletkezik. Az óriási különbség a pincsi, a pudli és az agár között jól szemlélteti a variációs lehetőségek széles skáláját egyetlen keresztezett populáció **génállomány**án belül. Ez a változatosság a kutyatenyésztők munkája, akik a méretért, a szőrzet göndörségéért, a gyorsaságért felelős egyes géneket izolálták egyetlen fajtán belül. A gének számtalan különböző módon kombinálhatók és rekombinálhatók egymással. A legtöbb változás az élővilágban hasonlóképpen megy végbe – nem valamiféle új dolog bevezetésével a génállományba, hanem a meglévő gének egyszerű rekombinációjával.

A kutyatenyésztés során egymástól nagymértékben különböző utódokat hoznak létre, de nem a génállomány új génekkel való kiegészítésével, hanem a nagyobb és gazdagabb genetikai állománykészletből gének kis csoportjának kiválogatásával

Az intenzív tenyésztés érdekes és hasznos változatokat eredményezhet, ugyanakkor a családfa genetikai alkalmazkodó-képességének kimerülését idézheti elő, ami a betegségekkel és a környezeti változásokkal szembeni túlzott érzékenységhez vezethet. Továbbá a beltenyésztés a hibás jellegek koncentrációját eredményezheti, és ahogy a faj átlagos morfológiájától egyre távolabb kerülünk, egyre több disszonanciát, stresszt és csökkenő termékenységet tapaszta-

lunk. Az ilyen túltenyésztett populáció gyakran hajlamos visszafejlődni a faj átlagos morfológiai irányába.

A populációk – úgy tűnik – megőrzik az átlagos morfológiát és az azonos szintű variabilitást. A kromoszomális rekombináció megváltoztathatja a génszekvencia sorrendjét, de egyáltalán nem egyértelmű, hogy az „új" gének érvényesíteni tudják az új tulajdonságokat, amelyeket a természetes kiválasztódás igényel, ha akkumulálódniuk kell a végtelen függőleges változásban, amely a darwini evolúcióhoz lenne szükséges.

Mutációk: interferencia a genetikai üzenetben

A rekombináció csupán a meglevő gének újrakeverése. Az egyetlen ismert eszköz a valóban új genetikai anyag bevitelére a génállományba a mutáció – a DNS szerkezetének megváltozása. Génmutációk akkor fordulnak elő, ha az egyes géneket hőhatásnak, kemikáliáknak vagy sugárzásnak tesszük ki. Kromoszóma-rendellenességek pedig akkor fordulnak elő, ha a DNS egy szakasza megduplázódik, felcserélődik, elvész, vagy a DNS molekulán belül más helyre kerül.

A mutáció jelenségét, lévén az evolúció központi mechanizmusa, intenzíven tanulmányozták az elmúlt fél évszázadban. A gyümölcslégy vagy muslinca sok kísérlet alanya volt (3. ábra), mert rövid élettartama lehetővé teszi a tudósok számára több generáció tanulmányozását. A gyümölcslegyeket sugárzással bombázták, hogy növeljék a mutációk arányát. Ma már a tudósok nagyjából tisztában vannak azzal, milyen mutációk fordulhatnak elő.

3. ábra. *A gyors reprodukció és a bőséges utánpótlás teszi a gyümölcslegyet, különösen a* Drosophila *fajokat a mutációk tanulmányozására tervezett kísérletek kiváló alanyává*

Nincs egyetlen bizonyíték sem arra, hogy a mutációk új struktúrákat hoznának létre. Csupán a meglévőket változtatják meg. A mutációk létrehozhatnak például összegyűrődött, túl- vagy alulméretezett szárnyakat. Eredményezhetnek megduplázódott szárnyakat is, de nem eredményeznek újfajta szárnyakat, és főleg nem alakítják át a gyümölcslegyet egy újfajta rovarrá. A kísérletek egyszerűen a gyümölcslegyek variációit hozták létre.

A mutációk szerencsére eléggé ritkák, mert túlnyomó többségük ártalmas, és csak néhány semleges. Emlékezzünk rá, hogy a DNS egy molekuláris üzenet. A mutáció egy véletlenszerű változás az üzenetben, olyan, mint egy gépelési hiba. A gépelési hibák csak nagyon ritkán javítják a leírt szöveg minőségét, s ha túl sok fordul elő belőlük, akár a szöveg információtartalmát is megsemmisíthetik. Ugyanígy a mutációk is csak elvétve javítják a DNS üzenet minőségét, és túl sűrű előfordulásuk akár halálos is lehet a szervezetre nézve.

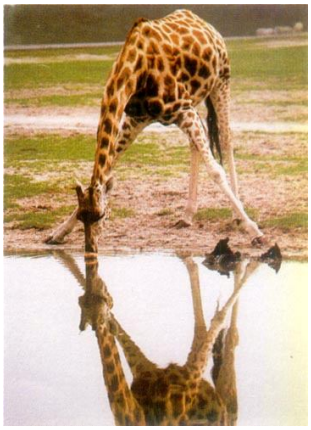
Makroevolúció

Minden változás, amit a laboratóriumban vagy a tenyésztőfarmokon megfigyelhetünk, erősen behatárolt. Ezek a mikroevolúciót, és nem a makroevolúciót képviselik. Ezek a behatárolt változások nem akkumulálódnak, ahogy a darwini evolúciós teória megkívánná az új makrováltozások létrehozásához. A makroevolúciós folyamatnak egészen eltérőnek kell lennie attól, amit eddig a genetikusok tanulmányoztak.

Mi is ez a folyamat? Annak ellenére, hogy a kutatások különböző felvetéseket tesztelnek, a mai napig nincs elfogadott genetikai elmélet, ami helyettesíthetné a neodarwinizmust. Az evolucionisták továbbra is szilárdan hiszik, hogy a makroevolúció egy létező folyamat, csak azt nem tudják biztosan, hogyan is zajlik pontosan.

Értelmes tervezés: csomagterv

Térjünk vissza a zsiráfhoz. A zsiráf hosszú nyaka esetlennek tűnik, azonban az állat általános felépítésének szerves része. A zsiráf hosszú nyakára a közkeletű magyarázat az, hogy ez előnyt biztosít számára a rövidebb nyakú ellenfelekkel szemben az ennivalóért vívott küzdelemben. Ez az előny segítette elő a hosszabb nyakú egyedek nagyobb számban való fennmaradását. Lehet, hogy ez igaz, de tény az is, hogy a zsiráf a fejét lehajtva a talajról legeli a füvet, és a vizet is onnan issza. A hosszú lábak miatt a nyaknak azért is hosszúnak kell lennie, hogy elérje vele a talajt, ugyanúgy, mint a fák tetejét. A hosszú láb és a hosszú nyak egyaránt megkönnyíti, hogy az állat a fák tetejéről legeljen. A zsiráf egy olyan *adaptációs csomag*, amelyben minden rész illik a többihez. Ha arra próbálunk magyarázatot találni, hogy melyik keletkezett először, az éppen olyan, mintha azt akarnánk eldönteni, hogy a tojás volt-e előbb, vagy a tyúk.



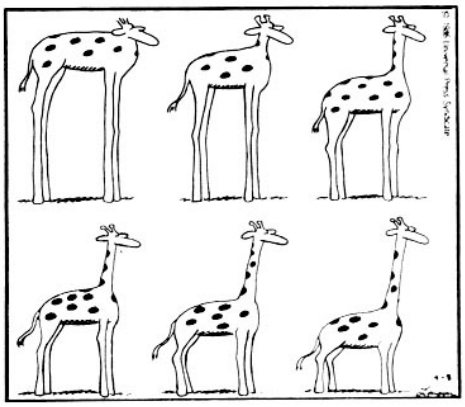
Zsiráf ivás közben. Amikor a zsiráf a lehajtja a fejét, hogy legeljen vagy igyon, csak a vérnyomás-szabályozás kifinomult adaptációs csomagja képes az agyában a véredényeket megóvni a szétrobbanástól

A történet azonban itt még nem ér véget. A zsiráfnak nagyon speciális keringési rendszerre van szüksége. Amikor egyenesen áll, a vérnyomásának nagyon magasnak kell lennie ahhoz, hogy végig a hosszú nyakon fel tudja hajtani a vért az agyba, és ez rendkívül erős szívet kíván. Amikor azonban a zsiráf lehajol, hogy legeljen vagy igyon, a vér lezúdul, s ezáltal olyan nagy nyomást okozna a fejben, hogy a véredények szétrobbannának. Ennek a hatásnak a kivédése érdekében a zsiráf összehangolt vérnyomás-szabályozási rendszerrel van ellátva. A nyomásérzékelők a nyaki artériákban folyamatosan ellenőrzik a vérnyomást, és – egyéb mechanizmusokkal együtt – aktiválják az artéria falának összehúzódását a nyomás növekedésének megelőzésére.

Röviden, a zsiráf nem pusztán egyedi tulajdonságok gyűjteménye, hanem egymással kölcsönhatásban lévő adaptációs jellegzetességek összessége. Egy általános terv szerint lett „összerakva”, melyben minden egyes rész szervesen illeszkedik a teljes egységbe. Honnan ered ez az adaptációs csomag?

A darwini elmélet szerint a zsiráf jelenlegi formája olyan egyszeri, véletlenszerű változások felhalmozódása révén alakult ki, amit a természetes kiválasztódás megőrzött. Azonban nagyon nehéz megmagyarázni, hogy véletlen folyamatok hogyan tudtak egy ilyen integrált adaptációs csomagot felkínálni a természetes kiválogatódás számára, még akkor is, ha erre hosszú idő állt rendelkezésre. A véletlen mutációk a viszonylag elkülönülő tulajdonságok, például a szín kialakulására még csak-csak magyarázatot adhatnának, azonban a nagy változásokhoz, mint amilyen a zsiráf makroevolúciója egy másik állatfajból, az összehangolt adaptációk hosszú sorozatára lenne szükség. A zsiráf komplex keringési rendszerének ugyanakkor kell megjelennie, mint a hosszú nyaknak, különben az állat nem maradna életben. Ha viszont a keringési rendszer egyes elemei a hosszú nyak megjelenése előtt fejlődnének ki, értelmetlenek lennének. Ha a hosszú nyak megelőzi a hosszú lábak kifejlődését, az erőteljes rúgóképesség híján a súly és a könnyen hozzáférhető nyak a zsiráfot természetes ellenségei könnyű prédájává tenné. A struktúrák egymásrautaltsága így igencsak azt sugallja, hogy az integrált csomag már a kezdet kezdetétől teljes egészében jelen volt. A tudományos irodalomban gyakran olvashatunk ilyen egymásra utalt struktúrákról. Néhány esetben, mint pl. bizonyos karlábú fajoknál, ez az egymásrautaltság közvetlenül a kövületekben való hirtelen megjelenésükhöz vezethető vissza, egy időben a változatos felépítésű állati szervezetek legelső bizonyítékaival a földön.

Mekkora annak a valószínűsége, hogy a véletlen mutációk ennyire egyszerre jöjjenek létre, és egyetlen új struktúra megjelenését okozzák? Tegyük fel, hogy a rovarszárny kialakulásához csupán öt génre van szükség (ami igen alacsony becslés). Annak ellenére, hogy ez majdnem biztosan kevés, tételezzük fel, hogy az új szárnyhoz szükséges információ génenként egyetlen mutációval létrejöhet. Elfogadható becslés, ha azt mondjuk, hogy egy 1000 fős populációban egyetlen egyedben egyetlen mutáció fordul elő. Ezzel az aránnyal, két mutáció valószínűsége ugyanabban az egyedben 1:1000000. Az öt mutáció előfordulásának esélye egy az ezermillió-millióhoz. Így aztán minden biológus elismeri, hogy nincs reális esélye annak, hogy egyetlen szervezet életciklusa alatt mind az öt mutáció előforduljon. Nagyszámú populációt feltételezve a mutációk valószínűsége némiképp megnő, annak az esélye viszont lecsökken, hogy ezek ugyanabban a párzó párban találkozzanak. Egy szervezet azonban számos struktúrát rejt magában, amelyeknek ugyanabban az időben kell megjelenniük, és együtt kell működniük a szerves egészben, különben csak hátrányt jelentenének a szervezet számára.



A zsiráf evolúciója, a karikaturista szemével. Vegyük figyelembe, hogy a karikatúrabeli zsiráf adaptációs csomagjának néhány része nem érkezett meg időben

Ahhoz, hogy meg tudjuk magyarázni az új típusú testek megjelenését, úgy tűnik, szükség van egy olyan mechanizmusra, amely nemcsak apró változások egymásutánját, hanem integrált, szisztematikus (a szervezet teljes egészét érintő) változást képes generálni. A gének rekombinációjával ill. mutációkkal generált kicsiny változások elősegíthetik ugyan a természetes kiválasztódás által a szervezet „finombeállítását", lehetővé téve, hogy ökológiai környezetéhez jobban alkalmazkodjék. Nincs azonban az a mennyiségű finombeállítás, ami a jelenlegi testfelépítéséből egy teljesen új testfelépítést tudna létrehozni.

Új szervezet létrehozásához, ugyanúgy, mint egy új ház építéséhez, először a terveket kell elkészíteni. Nem tudunk palotát építeni úgy, hogy felhúzunk egy fészert, majd itt-ott hozzábiggyesztünk egy márványdarabot. A palota tervrajzának elkészítésével kell kezdenünk, amely az egyes részeket egységes egésszé hangolja össze.

A darwini evolúció az új szervezetek eredetét anyagi okokra vezeti vissza, mégpedig az egyedi tulajdonságok felhalmozódására. Ez olyan, mintha azt mondanánk, hogy a palota eredete a fészerhez biggyesztett márványdarabokban keresendő. Az értelmes tervezettség szemlélete ezzel szemben az új szervezetek eredetét nem anyagi eredetre, hanem egy intelligens tervező által készített tervrajzra, tervre, mintára vezeti vissza.

Ahhoz, hogy egy épület betölthesse a rendeltetésének megfelelő feladatot, szükség van egy vázlatra vagy tervrajzra, amely a sokféle anyagot egy egységes egészben egyesíti

A fajok eredete

Az egymáshoz hasonló fajok nem evolúcióról, hanem éppen az átalakulások korlátozott lehetőségéről tanúskodnak.

A hawaii mézlopók a legszokatlanabb és legszínesebb madarak közé tartoznak a világon. Tollazatuk gyönyörű színek széles skáláján mozog, és csőrük alakja is nagy változatosságot mutat. Egyik változatuk (*Hemignathus munroi*) igen egyedi módon alkalmazkodott: alsó csőre egyenes és kemény, vésőként használható, harkályszerű, amellyel lyukat lehet ütni a fába a rovarok megtalálásához, míg a felső csőr hosszú és görbült, amely szondaként használható a rovarok kiemeléséhez. Ezzel ellentétben az észak-amerikai szárazföld mézlopói viszonylag szürke madarak. Miért különböznek annyira a hawaii mézlopók szárazföldi rokonaiktól?

A világ legszínesebb fajai közül jó néhány szigeteken él. A szárazföldtől elvágva, új lakóhelyükön a fajok sokszor új és szokatlan irányokban fejlődnek tovább. Ez a változékonyság azonban behatárolt: a növények és állatok meglévő csoportjain belüli módosulásokra korlátozódik. E határokon belül azonban gazdag változatosság érhető el. Ebben a fejezetben látni fogjuk, hogyan keletkezik ez a diverzitás.

Hawaii mézlopók. Határozott különbség van az egyes hawaii mézlopó fajták között, de valószínűsíthetően Hawaiira eredetileg egyetlen variánsuk érkezett. A kisebb génállomány lehet a titka szépségüknek, amely felülmúlja szárazföldi rokonaikét. A jobb alsó sarokban a Hemignathus munroi *látható*

Minden kutyatulajdonos tudja, hogy a fajták csak akkor tartják meg jellegzetes tulajdonságaikat, ha megakadályozzák a kereszteződést. A nőstény afrikai oroszlánkutya, dobermann vagy bernáthegyi büszke tulajdonosai nem engedik meg kutyájuknak, hogy a környéken bármelyik korccsal párosodjanak, különben maguk is korcstulajdonosokká válnának – sőt, nem is egy korcsé, hanem egy egész alomra valóé.

A különbségeket a természetben is egy olyan mechanizmus tartja fenn, amely megakadályozza a kereszteződést. Előfordulhat, hogy egy csoport elszakad a szülőpopulációtól, elszigetelődik, és nem kereszteződik többé a szülőpopuláció egyedeivel. Ezt szaknyelven reproduktív izolációnak hívják, ami a következőképpen játszódhat le.

Fizikai akadály

Reproduktív izoláció fordulhat elő akkor, ha valamilyen fizikai akadály elvágja a faj egy csoportját a szülők csoportjától. A madarakat a viharos szél elfújhatja egy szigetre, ahonnét a nagy távolság miatt nem tudnak visszatérni a szárazföldre (vélhetően így kerültek a pintyek a Galápagos-szigetekre). Egy növényi uszadék keresztüljuthat az óceánon, és egy távoli partra juttathat csíraképes magvakat. Állatok juthatnak új területre egy földhídon, amelyet később az

erózió lerombol, megakadályozva a visszatérést. A rovarok valamiképpen átjuthatnak egy magas hegyláncon, amely megakadályozza, hogy szabadon visszarepüljenek. Egy folyó irányváltoztatása is kettéoszthatja a populációt.

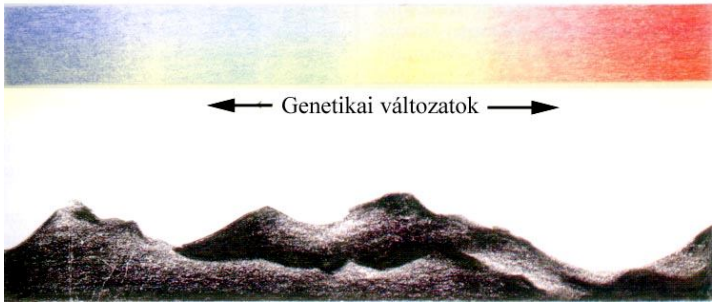
Az ilyen esetekben az új csoport valószínűleg nem rendelkezik a szülőcsoport összes génjével. Ha már fizikailag elszigetelődtek, a két csoport különböző irányba fejlődhet. Végső soron az is előfordulhat, hogy már akkor sem lesznek képesek kereszteződni egymással, ha újra kapcsolatba kerülnek (lásd az illusztrációt).

Például Belgiumban kétféle tüskés pikó van, az egyik egész évben édesvízben él, leginkább kis patakokban. A másik a tél folyamán a tengerben él, ám tavasszal és nyáron a folyó tölcsértorkolatába vándorol, és ott szaporodik. A két populáció testfelépítését és jellemzőit tekintve különbözik néhány külső tulajdonságban, de a változatok jelentősen átfedik egymást. Hibridek nyerhetők a két formából az ikrák mesterséges megtermékenyítésével, ami a természetben ritkán fordul elő. A két halfajta nyilvánvalóan ugyanabból a fajból származik, noha az egyik sósvízben, a másik édesvízben él.

A szaporodási lánc megszakadása

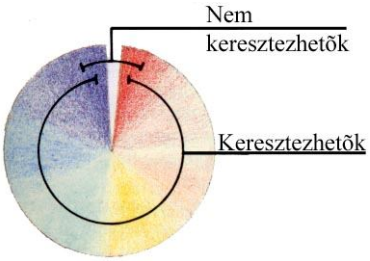
Reproduktív izoláció akkor is előfordulhat, ha a szaporodási lánc megszakad. A szaporodási lánc olyasmi, mint amit kutyáknál láthatunk. Egy csivava nem valószínű, hogy egy dán doggal párosodjék, már csak a méreteik miatt sem, párosodhat viszont más kutyákkal, amelyeknek a mérete az övénél csak kicsit nagyobb. Ezek a kutyák azután párosodhatnak a náluk szintén kissé nagyobb méretűekkel, és így tovább, egészen addig, míg végül elérünk a dán dogig. Más szóval, annak ellenére, hogy a két véglet nem tud egymással párosodni, vannak köztes fajták, amelyek összekötik őket. Ezáltal az összes kutya egy fajnak tekinthető.

Ehhez hasonló szaporodási lánc a természetben is megtalálható. Klasszikus példa erre egy Közép- és Dél-Amerika esőerdeiben élő lepkefaj. Ezek az esőerdők eredetileg óriási összefüggő területek voltak, és feltételezhetően egyetlen lepketörzs lakta őket. A megfigyelések szerint azonban az eredeti faj több különböző rasszra, illetve alpopulációra oszlott. A szomszédos fajták (rasszok) kereszteződhetnek egymással, az esőerdő két ellentétes szélének lakói azonban csökkent kereszteződési képességet mutatnak.



A szaporodási lánc. Azoknál a fajoknál, amelyek nagy területen élnek, különböző szubpopulációk fejlődhetnek ki, amelyek populáción belül, illetve a szomszédos fajtákkal kereszteződhetnek

Mi történik akkor, ha eltűnnek a köztes összekötő láncszemek? Ha valamilyen környezeti hatás, például egy hatalmas sík terület képződése miatt az esőerdő kettéválik, a köztes fajták kihalhatnak. Mivel a két véglet egymással nem kereszteződik, megvalósul a reproduktív izoláció.



Ha a szubpopulációk fejlődése előrehaladott, a szaporodási lánc két ellentétes végén levő egyedek elveszíthetik az egymással való kereszteződés képességét

Ökológiai elszigetelődés

Azok a szervezetek, amelyek ugyanazon a fizikai területen maradnak, ennek ellenére elszigetelődhetnek egymástól a kissé különböző ökológiai környezethez való alkalmazkodás során. Ez különösen a rovaroknál figyelhető meg. A rovarok életciklusa általában rövid, és több generáció követheti egymást egyetlen éven belül. Ezért a környezeti változások hirtelen következményekkel járhatnak.

Az észak-amerikai gyümölcslégy (*Rhagoletis pomonella*) két populációra oszlott, az azonos területen élő kétfajta gyümölcsfának megfelelően. Az egyik galagonyán, a másik almafán él, és a két populáció nem kereszteződik. Hogyan történhetett ez?

Két évszázaddal ezelőtt csak galagonyalegyek léteztek. Augusztusban a nőstények lerakták petéiket a galagonyára, majd szeptember végén a kikelő lárvák a piros gyümölcsökkel táplálkoztak. Később almafákat telepítettek a környékre. Elég nagy volt a gyümölcslegyek genetikai variabilitása ahhoz, hogy a populációban néhány olyan egyed fejlődjön ki, amely egy hónappal korábban szaporodott. Ezek a legyek megtalálták az almafákat, amelyekre lerakták petéiket. A kikelő lárvák az alma gyümölcsével táplálkoztak, amely egy hónappal korábban érik, mint a galagonya termése. Az új populációt az almafa eltartotta, így az meghonosodott. A párzási időszakuk közötti egy hónapos különbség miatt a két légyfajta nem kereszteződik a vadonban. Mivel géncsere már nem fordul elő, a két populáció két különböző fajjá fejlődhet. Ugyanakkor tökéletesen azonosnak látszanak, és a laboratóriumban a mai napig keresztezhetők egymással.

Genetikai eltolódás

A genetikai szerkezet reproduktív izoláció miatti változása sokkal nagyobb valószínűséggel fordul elő a kisebb populációkban, mivel ezek sokkal hajlamosabbak a genetikai eltolódásra. A kis populációk rendszerint különböző arányban tartalmazzák a géneket, mint a nagy, központi populáció. Ez annak köszönhető, hogy a genetikai törvények statisztikai természetűek. Amikor egy fekete tengerimalac egy fehérrel párosodik, a genetika törvényei szerint adott százaléknyi fehér és adott százaléknyi fekete utódra számíthatunk. Egyes esetekben azonban előfordulhat, hogy az összes utód fekete vagy az összes utód fehér. Vajon miért? Mert a valószínűség-számítás törvényei szerint minél kisebb az esetszám, annál nagyobb a valószínűsége annak, hogy az átlagtól eltérő eredményt kapunk.

Egy példán keresztül jól szemléltethető ez az elv. Ha feldobunk egy pénzérmét, a valószínűség-számítás törvényei szerint a fej vagy írás azonos valószínűségű. Ha azonban csak hatszor dobjuk fel, és megszámláljuk az eredményt, előfordulhat, hogy nem azonos arányokat kapunk. A kis mintaszám miatt nem valószínű, hogy a várt eredményt kapjuk. Ha azonban nagy mintaszámot vizsgálunk, például ha tízezerszer dobjuk fel az érmét, az eredmény nagyon közel lesz az 50:50 arányhoz.

Kis populációban az egyes generációk az elődök génjeinek csak kis mintáját képviselik. Így a gyakori gének ritkává, a ritkák gyakorivá válhatnak. A gének aránya egy kicsi, elszigetelt populációban nagyon eltérhet attól, mint ami az egész, nagy populációra jellemző.

Vizsgáljuk meg a következő, igen leegyszerűsített példát. Tegyük fel, hogy egy madárfajban az „A" allél közvetíti a repülés képességét, ahol az „a" recesszív allél egy földi madarat hoz létre („aa"). Ha AA és Aa kombinációjú madarak érkeznek egy kis szigetre, ahol szaporodni kezdenek, elkerülhetetlen, hogy néhány repülésképtelen egyed is kikel. Ha a madaraknak nincs természetes ellenségük, a repülésképtelen egyedek is életben maradnak. Ha a populáció kicsi, és a genetikai eltolódás mértéke elég nagy, néhány generációval később az egész populáció repülésképtelenné válhat.

Ismerünk egy példát a kis populáción belüli kiválogatódás erős hatásáról, ahol a genetikai eltolódás valószínűsíthetően repülésképtelenséghez vezetett. W. Oliver ornitológus számolt be a repülésképtelen ökörszemről az Új-Zélandhoz közeli Stephen-szigeten. 1894-ben egy világítótornyot építettek a szigeten. Még ugyanabban az évben a világítótorony őrének macskája megfogott néhány repülésképtelen ökörszemet. Soha többé nem találtak egyetlen új példányt sem, így a macska, amely felfedezte a fajt, nyilvánvalóan ki is pusztította azt. Ahogy Tom Emmel biológus rámutatott, a korlátozott variabilitás „nem tette lehetővé a repülésképtelen ökörszem-egyedek számára, hogy megbirkózzanak a környezet változásával – egy házimacska megjelenésével".

Egyes esetekben a megjelenő új variánsok nem képesek többé szaporodni a szülőpopulációval. Például a madeirai nyulak – amelyek a késő középkorban a telepesek által behozott európai háziasított mezei nyulak leszármazottai – egészen eltérőek az európai nyulaktól mind megjelenésükben, mind viselkedésükben, és már nem képesek kereszteződni velük.

Alapító elv és szűk keresztmetszet

A genetikai eltolódás különösen hatékony néhány speciális esetben, az úgynevezett **alapító elv** és a szűk keresztmetszetű populáció következményeként. Egy fajból egy pár vagy egy maroknyi egyed elszigetelődhet az anyapopulációtól, és teljesen új populációt alapíthat. Új helyre költöznek, vagy más ökológiai környezetbe kerülnek, és benépesítik azt. Nemcsak arról van szó, hogy a leánypopuláció az anyapopulációtól eltérő génaránnyal kezdi működését, hanem arról is, hogy ha már egyszer elszigetelődött, akkor a változások gyorsan és drámai módon következhetnek be. A biológusok azt a jelenséget, amikor egy kis populáció alapítja meg a fajt, alapító elvnek nevezik. Mivel a kis csoport tagjai kénytelenek egymás között párosodni, a mutációk nagyon gyorsan elterjedhetnek.

Vegyük például az amerikai Pennsylvaniában lakó amishokat. Mivel mindannyian kb. 200 telepes leszármazottai, akik egymás között házasodtak, a pennsylvaniai amisok sokkal nagyobb százaléka hordozza a rövid ujj, az alacsony alkat, a hatodik ujj és egyes vérbetegségek génjeit, mint az amerikai átlag.

A Stephen-szigeti ökörszemek és a madeirai nyulak példája egyben példa lehet az alapító elvre is, amikor egy kis csoport – akár két egyed – népesíti be az új tartózkodási helyként szolgáló szigetet. Mivel két egyed igen kis populációt képvisel, valószínű, hogy a hordozott gének gyakorisága némi eltérést fog mutatni a nagyobb anyapopulációban tapasztalhatótól.

A **szűk keresztmetszet-hatás** hasonló jelenség. Ha valamilyen környezeti esemény, mint pl. aszály, jelentősen lecsökkenti a populáció egyedeinek számát, a genetikai eltolódás a géngyakoriságot gyorsan elmozdítja. Továbbá, a fennmaradt populáció géngyakorisága jelentősen eltérhet az anyapopulációétól. Ahogy a túlélő egyedek szaporodni kezdenek, az őket megelőző populációktól egészen különbözőek, ugyanakkor egymáshoz nagyon hasonlóak lehetnek.

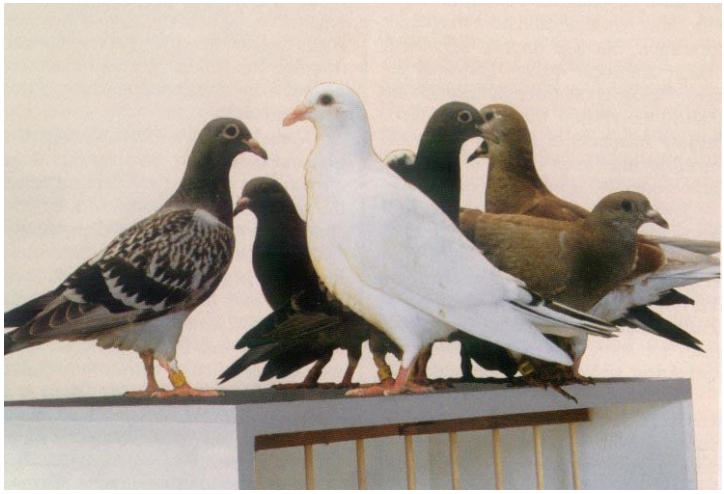
A fajkeletkezés (speciáció) tényleg makroevolúció?

Az előzőekben leírt folyamatot a biológusok fajkeletkezésnek vagy speciációnak nevezik. A faj – az általánosan elfogadott definíció szerint – egymással kereszteződni képes egyedek populációja, amelyek szaporodásra képes utódokat hoznak létre. Ez a definíció önkényes, és a taxonómusok szerint sokszor alkalmatlan az organizmusok besorolására. A definíció alapján azonban az olyan rasszok vagy variánsok, amelyek elszigetelődtek az anyapopulációtól, külön fajnak számítanak. Ez valóban makroevolúció?

Sokan úgy hiszik. Ha egyszer a reproduktív izoláció bekövetkezik, úgy tűnik, az út nyitva áll a nagy evolúciós változások előtt. A két egymástól elszigetelt populáció mindegyike folytathatja fejlődését, egymástól függetlenül.

Ennek ellenére a speciáció csak szűken behatárolt változásokat alakít ki. A tüskés pikónak kialakulhat ugyan édesvízi és sósvízi változata, de attól még mindkettő tüskés pikó marad. Az egyik gyümölcslégy élhet az almafán, míg a másik a galagonyán, azonban ettől még mindkettő gyümölcslégy marad. A speciáció azt jelenti, hogy változatosság jöhet létre az élő szervezetek egyes típusain belül, a makroevolúció azonban sokkal több, mint puszta változatosság.

A makroevolúcióhoz a génállomány növekedésére, új genetikai információ hozzáadódására van szükség, a speciáció azonban a fentiek értelmében éppen a genetikai információ egy részének elvesztéséből fakad. A fizikai és az ökonómiai izoláció egyaránt azáltal hoz létre új változatokat, hogy egy kis populáció leválik a szülőpopulációról, s egy új csoport alakul ki a kis populáció sokkal korlátozottabb genetikai információjából. A nagy populáció genetikai tartalékokat hordoz, a rejtett recesszív gének gazdag tárháza formájában. A szülőpopulációról levágott kis csoportban a rejtett tulajdonságok sokkal gyakoribb előfordulásúak lehetnek. Ez érdekes változatossághoz vezethet, de nem szabad szem elől tévesztenünk azt a tényt, hogy egy kis csoportban csökken a teljes genetikai variabilitás.



A postagalambok szelektív tenyésztéssel váltak alkalmassá a hosszú távú versenyekre

A reproduktívan izolált populációk megjelenése a mikroevolúciót képviseli, nem a makroevolúciót. Ez az egyik módja a horizontális diverzifikációnak. Korábbi példánkra visszatérve, ez az a mechanizmus, amikor az evolúciós fa egyik ága kivirágzik, nem pedig az, amikor új ágak jönnek létre. A komplexitás új szintjét eredményező függőleges változások további genetikai információ bevitelét igénylik. Lehetséges lenne, hogy ez az információ – az új gének együttese, mely ökörszemeket, nyulakat és galagonyabokrokat hoz létre – véletlen mutációkból halmozódjon fel? Mindeddig jól bizonyíthatónak tűnik, hogy a mutációk szerepét nagyban korlátozza az organizmus egész genomjának már meglévő, magasabb szintű tervrajza, hiszen csak azon belül nyilvánulhat meg. Ez azt jelenti, hogy ahhoz, hogy az egysejtű

szervezettől eljuthassunk az emberig, az út minden egyes lépésénél információt kellene hozzáadnunk a genetikai üzenetekhez. A genetikai információvesztés mechanizmusai nem alkalmazhatóak egy olyan elmélet alátámasztására, amely a genetikai információ hatalmas mérvű növekedését követeli meg.

A speciáció valójában ahhoz hasonló, mint amit a nemesítők csinálnak: elkülönítik növények vagy állatok kis csoportját, és belterjes szaporodásra kényszerítik őket, elvágva őket attól a nagyobb génállománytól, amelyhez tartoznak. A nemesítés évszázados tapasztalatai bizonyítják, hogy ez csak korlátozott változásokat eredményez. Nem eredményez olyan nyíltvégű változást, amely a darwini evolúcióhoz lenne szükséges.

Mit mondanak a kövületek?

A megkövült maradványok kézenfekvő módon értelmezhetőek intelligens tervezéssel.
A formák közötti átmenetek hiánya erősen kétségessé teszi az evolúciót.

Nehéz elképzelnünk, mekkora volt a meglepetése a kövületek első felfedezőinek. Egy kőből készült állati forma, eltemetve a föld alá – micsoda rejtély ez? A babonák korában könnyű volt a kövületeket a föld valamiféle mágikus erejének tulajdonítani. Csak hosszú-hosszú idő után döbbentek rá az emberek, hogy a valaha élt növények és állatok valóban kővé válhatnak, ha megfelelő körülmények között kerülnek a föld alá. Ha mindez elég gyorsan megtörténik (mielőtt a növény vagy az állat elbomlana, vagy állat esetén megennék a dögevők), és ha olyan helyen kerül a föld alá, ahol a talajvíz gazdag a megfelelő ásványi anyagokban, bármely növény vagy állat kövületté válhat.

A tudósok ma már a megkövült leleteket mintegy az ősi korok életének krónikájaként olvassák. Csontvázakat, lábnyomokat, leveleket, spórákat, állati lábnyomokat, tollakat, féreglyukakat, sőt, még bőrdarabkákat is találhatunk megkövesedve. E leleteket értelmezve próbálják meg a tudósok rekonstruálni, hogy milyen életformák léteztek a múltban.

Milyen történetet mesélnek a kövek? Mint oly sok dolog a tudományban, a kérdésre a válasz attól függ, ki hogyan értelmezi a tényeket. A kövületeknek azonban van néhány olyan alaptulajdonsága, amelyet minden értelmezésben számításba kell venni.

A kambriumi robbanás

A taxonómia a biológiai osztályozás tudománya. Az élő szervezeteket fajok, nemzetségek, családok, rendek, osztályok és törzsek szerint osztályozzák. E kategóriák mindegyikét **taxon**nak hívják (többes száma: **taxa**).

A ma ismert állati törzsek túlnyomó többsége megjelenik a fosszilis kőzetekben, s a legtöbb tudós úgy gondolja, hogy ezek geológiai értelemben nagyon rövid idő alatt alakultak ki. Az életformáknak ez a virtuális „robbanása”, amiről a kőzetek tanúskodnak, a kambrium kor kezdetére tehető. Bármely, az élet eredetére és fejlődésére vonatkozó elméletnek meg kell tudni magyaráznia, hogyan jelenhetett meg ilyen korán és ennyire hirtelenül ez a számtalanféle szervezet.

Rések a megkövült maradványokban

Annak ellenére, hogy a kövületek látszólag egy elnagyolt szekvenciát alkotnak, a különböző taxonok nem kapcsolódnak egymáshoz. A kövületek nem alkotnak lépcsőzetes sorozatot, amely elvezetne a halaktól a kétéltűekhez vagy a hüllőktől a madarakhoz. Ehelyett a kövülettípusok legelső megjelenésüktől fogva teljesen kialakultak és működőképesek. Például, nem találunk olyan teremtményeket, amelyek részben halak, részben valami mások, s lépcsőzetesen, az új jellemzők tucatjainak megjelenésével jutnának el a mai halig. Ehelyett a megkövült halak már a legősibb halkövületektől kezdve ugyanolyan jellemzőkkel rendelkeznek, mint a mai halak, a kövületekben található hüllők is ugyanolyan jellemzőkkel rendelkeznek, mint a maiak, és így tovább.

A sztázis

Ha egy taxon egyszer megjelenik a kövületekben, alapvetően változatlan marad. Ahelyett, hogy fokozatosan átalakulna egy másik taxonná, az egyetlen lehetséges végbemenő változás a variáció és a diverzifikáció, az eredeti taxon keretein belül. A kövületekben található számos faj e jellemzőjét sztázisnak, azaz változatlan állapotnak nevezik. Más szóval, a kövületek azt bizonyítják, amit a tenyésztők már rég megfigyeltek, azaz hogy létre tudunk hozni egy sor érdekes és szokatlan variációt kutyákból vagy rózsákból, de mindegyik megtartja azokat a diagnosztikai jellemzőket, amelyek őt kutyává vagy rózsává teszik.

Darwin: „Az elméletem elleni legkomolyabb ellenvetés”

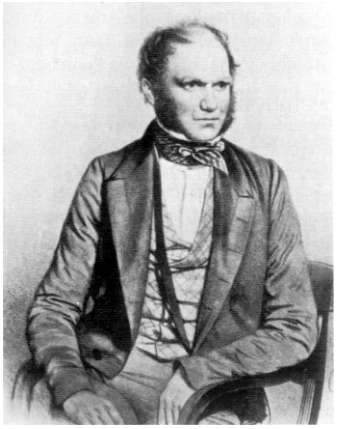
Megfelel-e Darwin elmélete annak, amiről a kövületek mesélnek? Hogy ezt megtudjuk, először arra a kérdésre kell választ kapnunk, hogy milyen történet felelne meg az elméletnek. Darwin azt állította elméletében, hogy az élő szervezetek folyamatos láncot alkotnak, mely egy vagy néhány kiindulási formáig vezethető vissza. Ha az elmélet igaz lenne, a kövületeknek a teremtmények folyamatos láncát kellene mutatniuk, amelyben mindegyik taxon fokozatosan és egyenletesen vezetne el a következőhöz. Vagyis hatalmas számú **átmeneti formának** kellene egyik taxontól a következőig vezetnie. A főbb taxonómiai csoportokat – például a gerincteleneket az első halaktól – elválasztó különbségek olyan nagyok, hogy csak számtalan átmeneti formával hidalhatók át. Ahogy Darwin maga is megjegyezte *A fajok eredete* című művében: „A földön korábban élt **köztes változatok** számának [minden bizonnyal] hatalmasnak kell lennie.”

Mindmáig azonban e hatalmas számú átmeneti formák egyszerűen nem léteznek a kövületekben. A fosszilis kőzetekben nem találunk olyan láncolatokat, amelyek a halakhoz, a hüllőkhöz vagy a madarakhoz vezetnének. Ezt a tényt Darwin is elismerte:

> „Miért nincs minden geológiai formáció és minden réteg tele az átmeneti láncszemekkel? Kétségtelen, hogy a geológiai formációkban egyetlen ilyen finoman lépcsőzetes szerves láncolatot sem találunk.”

Ez voltaképpen – Darwin saját szavaival – „a legnyilvánvalóbb és legkomolyabb ellenvetés, amit az elméletem ellen fel lehet hozni.”

A leletek Darwin korában még eléggé szórványosak voltak, itt-ott szétszóródva a kövületek „térképén”. Darwin azt jósolta, hogy a jövőben az ezen egyedi leleteket összekötő átmeneti formákat is meg fogják találni.



Charles Darwin. Egy művészi portré Darwinról negyvenévesen, tíz évvel azelőtt, hogy publikálta könyvét, A fajok eredetét.

Így hát megkezdődött a kutatás a „hiányzó láncszemek” után. Azonban a „hiányzó láncszem” státusra esélyesek közül a legtöbb jelölt kiesett. A paleontológusok (a kövületeket tanulmányozó tudósok) egy évszázadon át teljesen össze voltak zavarodva az átmeneti formák szembetűnő hiányától. Darwin korában még lehetett reménykedni abban, hogy egyszer majd megtalálják a hiányzó láncszemeket, hiszen a paleontológia még gyerekcipőben járt. A tudósok még nem kutattak elég ideig, gondolhatták akkor. Ám napjainkban, egy és fél évszázaddal később, már kevesen próbálják védelmükbe venni ezt a magyarázatot: ma már a kiásott leletek száma elképesztően nagy, s gyorsabb ütemben fedezik fel, mint ahogy katalogizálni tudnák őket.

Ahogy a felfedezett kövületek száma egyre nőtt, nyilvánvalóvá vált, hogy a kövületek egy adott mintázatba esnek. Ahelyett, hogy lépcsőzetes sorozatot alkotnának – ahogy Darwin remélte –, a leletek meglévő taxonokba sorolhatók, feltűnően üresen hagyva a köztük lévő réseket. A leletek nem folyamatos láncolatot alkotnak, hanem egymástól távolabb eső csoportokat. Ez talán nem is kellene, hogy meglepő legyen, hiszen végső soron ugyanezt a mintázatot figyelhetjük meg a ma élő szervezetek között is. A lovaknak számos fajtája van, de ezek világosan elkülönülnek a szarvasmarháktól; a kukoricának is rengeteg változata van, de senki sem keverné össze őket a búzával. A különféle változatok sokasága egy alapmorfológiai (a ’morf’ alakot, formát, szerkezetet jelent) sablon körül csoportosul, és nem képez fokozatos átmenetet az egyik formából a másikba.

Ugrásszerű evolúció

Az utóbbi években az evolucionisták a darwini elmélet egyre több aspektusát kérdőjelezik meg. Azt jelentené ez, hogy ezek a tudósok magát a darwinizmust is elutasítják? Egyáltalán nem. Többségük csupán új elméletek kidolgozásán fáradozik, amellyel meg lehetne magyarázni, hogyan is működik a makroevolúció. Mivel a kövületek egymástól különálló csoportosulásokat mutatnak, ezek az evolucionista tudósok azt próbálják kitalálni, hogy vajon milyen folyamatok eredményeként jöhetett létre ilyen minta a kövületekben. Az érvényes nézőpont szerint az evolúció egy lépcsőzetes folyamat, amely néha bizonyos ideig ugyanazon a lépcsőfokon időzik (sztázist eredményezve), majd hirtelen egy másik lépcsőfokra ugrik, ezáltal a kövületekben csak elenyésző nyomokat hagyva (és hézagokat teremtve). A „hirtelen” természetesen geológiai értelemben értendő, azaz néhányszáz évtől néhány tízezer évig terjedő időszakot jelent.

Az új elmélet legfőbb támogatója Stephen Jay Gould, a Harvard Egyetem paleontológusa volt. Ő ezt az elméletet „**szakaszos egyensúly**nak” nevezte. Az „egyensúly” azt jelenti, hogy a fajok viszonylag hosszú időn át változatlanok maradnak (sztázis). Az előforduló változások az egyes taxonokon belül történnek, és nem jelentik új taxon megjelenését. Ez a stabilitás néha megszakad – azaz szakaszossá válik – a makroevolúciós változások robbanásszerű lejátszódása következtében, amely végül új taxon kialakulásához vezet. Mivel a hirtelen változások nagyobb valószínűséggel fordulnak elő kis populációban, az ebben a drámai evolúciós ugrásban kialakult szervezetek száma általában csekély. Vagyis az átmeneti formák száma kevés. A megkövült egyedek száma pedig még ennél is kevesebb, s az elmélet ezzel magyarázza a kövületek közti hézagokat.

A szakaszos egyensúly csak az egyik a számos megközelítés közül, amelyet a tudósok jelenleg vizsgálnak. E megközelítésekben az a vonzó, hogy magyarázattal szolgálnak a kövületekben mutatkozó evolúciós résekre, amelyek ellentmondanak Darwin jóslatának. Egészen mostanáig a legtöbben az evolúció szinonimájának tekintették a darwinizmust. Ma már azonban a tudósok különbséget tesznek a között a megállapítás között, hogy az élőlények korábbi formákból fejlődtek ki, és az arra vonatkozó elméletek között, hogy ez hogyan is ment végbe. Darwin nézetei szerint a makroevolúció lassan és egyenletesen ment végbe. Gould és még néhány kortárs tudós úgy hiszi, mindez hirtelen ugrásokkal történt.

Kövületek névértéken

Meglehet, hogy az evolúciós elmélet újabb változatai jobban illenek a tényekhez, a gyengéjük viszont az, hogy negatív bizonyítékokon alapszanak. A kövületek mindmáig nem szolgáltattak pozitív bizonyítékot az egyik taxonból a másikba való evolúciós leszármazásra. Bár a szakaszos egyensúly elmélete ötletes, valójában csak azt próbálja megmagyarázni, hogy a makroevolúcióra miért nincs semmilyen bizonyíték.

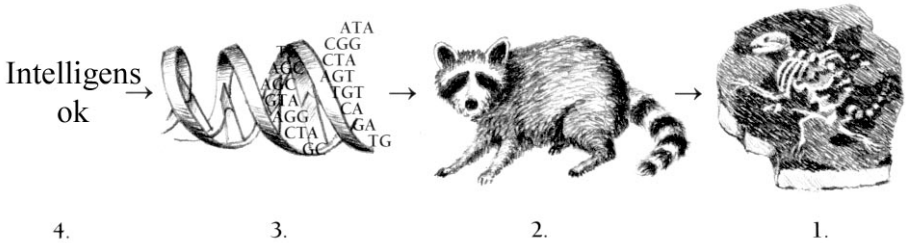
Sok tudós úgy vélekedik, hogy a különböző élőlénycsoportok soha nem alakultak át egymásba, hanem mindegyik egymástól független eredetű. Ez az elgondolás összecseng az értelmes tervezettség elméletével. A tervezettség-elméletek szerint mindegyik életforma eleve a saját megkülönböztető jegyeivel jött létre: a halak uszonyokkal és pikkelyekkel, a madarak tollakkal és szárnyakkal, az emlősök szőrzettel és emlőmirigyekkel, és azóta is érintetlenül maradtak. Az intelligens tervezettség támogatóinak is megvannak a maguk problémái, de ők legalább felteszik a kérdést, nem lehetséges-e, hogy a kövületek között nem azért vannak hézagok, mert a számtalan átmeneti forma valami rejtélyes okból nem fosszilizálódott, hanem azért, mert azok sohasem léteztek?

A hagyományos darwini értelmezés szerint a világon mindenfelé található kövületek évszázadok alatt rakódtak le a kőzetrétegekben. Azok a szervezetek, amelyek lejjebb fekvő kőzetrétegekben fosszilizálódtak, korábban léteztek, mint azok, amelyek a felsőbb rétegekben találhatók. A darwinisták ebből arra következtetnek, hogy a mélyebben fekvő rétegekben található szervezetek a felsőbb rétegekben találhatókká alakultak át.

Ezt a következtetést azonban tapasztalati bizonyítékok nem támasztják alá, azaz soha nem találtak alacsonyabban fekvő szervezetektől a magasabban fekvőkig vezető kövületláncokat. Ez egy olyan következtetés, amely legalább annyira filozófiai elkötelezettségen alapszik, mint bizonyítékokon. Ha látunk egy szervezetet, amelyet egy másik követ, és *azt feltételezzük, hogy kialakulásukban csak természeti okok működtek közre,* akkor valóban nem vonhatunk le más következtetést, mint azt, hogy a korábban élt szervezet a későbbivé alakult át.

Van azonban egy másik lehetőség is, amit a tudomány nyitva hagy a számunkra, s amely az érzékszervi tapasztalatainkból levonható szilárd következtetéseken alapul, mégpedig az, hogy egy intelligens ok teljesen kialakult és működőképes teremtményeket hozott létre, ame-

lyek később nyomot hagytak a kőzetekben. Vagyis egyszerűen visszafelé haladunk a kövületektől a teremtményeken és a DNS-szövegen át az intelligens okig (lásd 5. ábra).



5. ábra. *Amikor azt a következtetést vonjuk le, hogy egy intelligens ok a felelős a megfigyelhető kövületekért, érzékszervi tapasztalatainkra hagyatkozunk*

Módunkban áll azt az okot elfogadni, amelyikhez a bizonyítékok vezetnek. Ha természeti okra van bizonyíték, azt a következtetést vonjuk le, hogy leszármazás történt. Ha intelligens okra van bizonyíték, akkor pedig azt a következtetést vonjuk le, hogy tervezettek vagyunk. A kövületekre vonatkozó végső döntést mindkét esetben ugyanúgy befolyásolja a világnézeti elkötelezettség, mint a tapasztalati adatok.

Tények és tálalásuk

A régészeti leleteket a darwinisták sokszor ütőkártyának tekintik. Azzal érvelnek, hogy vitatott ugyan az evolúció lefolyása, ám a kövületek azt bizonyítják, hogy mégiscsak lezajlott. Azt olvashatjuk ki belőlük, hogy a makroevolúció tény. Ez az érvelés azonban azt feltételezi, hogy a régészeti leletek egyedüli értelmezése a darwini evolúció. Pedig az értelmes tervezettség elmélete is ésszerű magyarázatot kínál. Jól illeszkedik a tapasztalati adatokhoz, amelyek arról tanúskodnak, hogy a teljesen kifejlődött szervezetek egyszerre jelentek meg, egymástól hézagokkal elválasztva. Hiba tehát azt állítani, hogy a makroevolúció tény. Ami tény, az az, hogy a kövületek hatalmas változatosságban vannak jelen, tény továbbá az is, hogy az idő függvényében változik e megkövült maradványok eloszlása. Ha azonban ebből a földi élet evolúciós történetét akarjuk kiolvasni, az már elméletgyártás. Ugyanígy elméletgyártás az is, ha a kövületekből az értelmes tervezettséget olvassuk ki. Következésképp a darwinizmust és az értelmes tervezettséget egyaránt elméletnek kellene minősíteni, és ennek megfelelően kellene kezelni és kiértékelni őket. Természetesen Darwin is erre gondolt, midőn bizakodással várta az időt, amikor az egyetemi hallgatók „a kérdés mindkét oldalát pártatlanul tudják majd mérlegelni”.

Homológia[1]

Ha jobban megnézzük az élőlények hasonlóságait, akkor e hasonlóságok eloszlása nem az evolucionizmust, inkább az értelmes eredet elképzelését támogatja.

A taxonómusnak (a rendszertannal foglalkozó szakembernek) az a feladata, hogy az élő szervezeteket például aszerint osztályozza, hogy vajon szőrt, tollat vagy pikkelyt viselnek-e. Az a célja, hogy a szervezeteket hasonlóságaik alapján egymással csoportosítsa, illetve eltéréseik alapján egymástól megkülönböztesse. A taxonómiában azonban van értelmezés is. Ha már leírta a hasonlóságokat, a taxonómus megpróbálja megmagyarázni, hogy ezek mit is jelentenek. Miért tudjuk az élő szervezeteket különböző kategóriák szerint osztályozni, annak megfelelően, hogy milyen fajt, nemzetséget, családot, rendet, osztályt és törzset képviselnek? Miért van az, hogy a gerincesek teste alapvetően azonos módon épül fel, az őket elválasztó számos nyilvánvaló különbség ellenére is? Egyáltalán, miért osztályozhatók az élő szervezetek? Az élő szervezetek eloszlása elméletileg teljesen véletlenszerű is lehetne, vagy alkothatnának egymásba átmenő, egymást átfedő csoportokat is, ahelyett, hogy takarosan egyre kisebb csoportokat alkotnak a nagyobb csoportokon belül.

Marinak volt egy barija *(Ovis aries)*

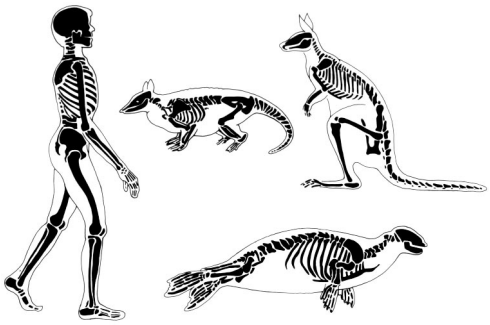
Az, hogy az élőlényeket egyáltalán osztályozni tudjuk, azt jelenti, hogy különböző fokú hasonlóságokat figyelhetünk meg közöttük. A kutya sokkal inkább hasonlít a farkasra, mint a rókára, ezért a kutya és a farkas ugyanahhoz a nemzetséghez (*Canis*) tartozik, míg a róka egy másikhoz. A kutya ugyanakkor sokkal jobban hasonlít a rókára, mint a macskára, ezért ugyanabba a családba (*Canidae*) sorolják őket, míg a macskát egy másik családba. Azonban a kutya és a macska között sokkal több a hasonlóság, mint a kutya és a ló között, ezért ugyanahhoz a rendhez (*Carnivora*) tartoznak, míg a ló egy másikhoz. De még mindig sokkal jobban hasonlít egy kutya egy lóhoz, mint egy halhoz, ezért ugyanabba az osztályba (Emlősök) sorolják őket, míg a halat egy másikba. Ugyanakkor a kutya jobban hasonlít egy halhoz, mint egy féreghez, ezért ugyanabba az altörzsbe (Gerincesek) soroljuk, míg a férgeket egy másikba. Mindazonáltal a kutya és a féreg között több a közös vonás, mint egy tölgyfa és egy kutya között, ezért az előbbiek az állatvilághoz, míg a tölgyfa a növényvilághoz tartozik.

Darwin számára a hasonlóság volt az egyik legfőbb érv az evolúció mellett. A hasonlóságot „családi vonásként” értelmezte: két szervezet azért hasonlít egymásra, mert egy közös őstől erednek. Képzeljünk el egy fényképet egy nagy, népes családról. A családi vonások nyilvánvalóak: a testvérek sokkal jobban hasonlítanak egymásra, mint az unokatestvérek, és így tovább. Ugyanígy, mondják az evolucionisták, a hasonlóság foka azt mutatja meg, mennyire közeli rokonságban vannak egymással az egyes szervezetek. Az, hogy például az összes emlős azonos testfelépítésű (lásd 6. ábra), számukra azt sugallja, hogy egy közös őstől származnak, amely eredetileg kifejlesztette ezt a testfelépítést. Feltételezésük szerint az emlősök közötti különbségek azt mutatják, hogyan alkalmazkodott az alapfelépítés az egyes fajokban a természetes kiválasztódás hatására.

A hasonlóságokon alapuló érvek a megkövült maradványok közötti hézagok miatt napjainkra sokkal fontosabbak lettek, mint Darwin idejében voltak. Mivel a peleontológusok a kövületek alapján eddig nem tudtak leszármazási láncot kimutatni az egyik szervezettől a másikig, egyedül a hasonlóságokra hagyatkozhatnak a feltételezett rokonsági fokok megállapítása során.

---

[1] Szerkezeti hasonlóság a különböző organizmusok anatómiai részei között, amely az evolucionisták szerint a közös távoli ős azonos (vagy közel azonos) megfelelő testrészének evolúciós differenciálódásával alakult ki. Különbözik az *analógiá*tól, amely a különböző eredetű és szerkezetű anatómiai szervek azonos funkcióját jelenti.



6. ábra. Példák az emlősök testfelépítésére

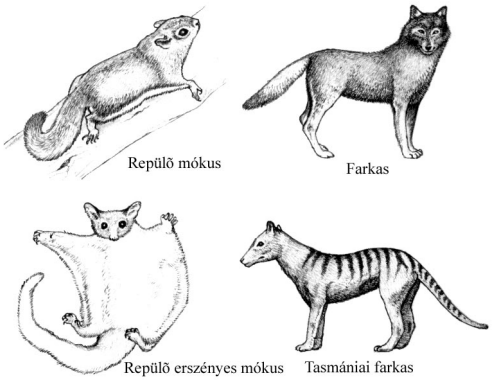
Összevissza mintázatok

A darwini elmélet szerint, minél több hasonlóság van két szervezet között, annál közelebbi evolúciós kapcsolatban állnak egymással. Azonban a hasonlóságok felismerése és értelmezése nem olyan egyszerű, mint ahogy első pillantásra tűnik. Ha megpróbálunk túllépni a legnyilvánvalóbb hasonlóságokon – a legtöbb madárnak tolla van, a halak legtöbbje pikkelyes –, nem mindig könnyű eldönteni, hogy mely szervezeteket kell egy csoportba sorolni. A hasonlóságok összevissza mintázatot mutatnak, ami rendkívül megnehezíti az osztályozást.

Ellentmondó hasonlóságok

Vizsgáljuk meg az erszényeseket – azokat az emlősöket, amelyek újszülött kicsinyeiket az anya hasán található erszényben nevelik (ellentétben a méhlepényes emlősökkel, amilyen az ember is). Az erszényes és a méhlepényes emlősök néha meglepően hasonlóak (lásd 7. ábra). Például csontvázuk tekintetében az észak-amerikai farkas és a ma már kihalt tasmániai farkas nagyon közel állnak egymáshoz, néhány tulajdonságukban szinte megkülönböztethetetlenek. A tasmániai farkas viselkedése és életmódja is nagyon hasonló volt az észak-amerikai farkaséhoz. Azonban e közeli párhuzamok ellenére, mivel néhány tulajdonságukban (pl. állkapocs, fogazat, szaporodási mód) eltértek egymástól, a két állatot a taxonómia egészen eltérő kategóriába sorolja: az észak-amerikai farkast a kutyákkal, a tasmániai farkast pedig a kengurukkal egy csoportba.

A farkasokon kívül találunk még olyan erszényes állatokat, amelyek rendkívül hasonlóak a macskához, a mókushoz, a földikutyához, a hangyászhoz, a vakondhoz és az egérhez. Az erszényesek egy rendkívül érdekes taxonómiai kérdést vetnek fel: Ha a taxonómiai osztályozás alapja a hasonlóság, mit tegyünk, amikor a hasonlóságok ellentmondásosak? Az erszényes farkas a megtévesztésig hasonlít a méhlepényes farkashoz a legtöbb tulajdonságában, ám egy alapvető tulajdonsága a kenguruéval egyezik meg. Vajon melyik hasonlóság alapján építsük fel osztályozási rendszerünket?



7. ábra. Példa a szembeszökő párhuzamokra a méhlepényes (fent) és az erszényes (lent) emlősök között

Funkció kontra szerkezet

A madarak és a rovarok szárnya is a repülést szolgálja. Mindkettő ugyanazon az elven működik: a légáramlat a szárny felületén emelőerőt kelt, a szárnycsapások előre mozgást eredményeznek. Azonban a madarak és a rovarok szárnyának belső szerkezete teljesen eltérő. A madarak szárnya izmokból áll, amelyeket a vérerek hálózata lát el energiával és oxigénnel. A szárnyat belülről csontok támasztják. A rovarok szárnyában ezzel ellentétben nincsenek csontok vagy vérerek. Egy vékony hártyából áll, amelyet a papírsárkányhoz hasonlóan drótszerű hálózat feszít ki.

Mi a fontosabb az osztályozás szempontjából? A működésbeli vagy a szerkezeti hasonlóság? Az első nagy rendszertan szakértő, Linné szembesült ezzel a problémával, és az utóbbit választotta: a repülő rovarokat az egyéb rovarokkal sorolta egy osztályba, mert azokkal hasonló szerkezeti felépítésűek, és nem a madarakkal, ami pedig szintén indokolható lett volna. A szerkezeti hasonlóságot **homológiá**nak, a funkcionális hasonlóságot **analógiá**nak nevezte el.

A darwini elmélet követői azt feltételezik, hogy a homológiák az evolúciós leszármazás bizonyítékai. Például a gerincesek csontváza közötti hasonlóságokat úgy értelmezik, hogy azok a közös őstől való leszármazás bizonyítékai. Az analógiákat ugyanakkor az ún. **konvergens evolúciónak**, azaz a hasonló környezethez való hasonló alkalmazkodásnak tulajdonítják. A rovarok és a madarak evolúciója egymástól független folyamat volt – mondják –, amely a környezeti hatások nyomására azonos irányt követett.

Azonban a homológiát és az analógiát olykor nehéz egymástól megkülönböztetni. A homológnak gondolt szerkezeti felépítések néha egészen eltérőek lehetnek mind megjelenésüket, mind funkciójukat tekintve. Gondoljunk csak a denevérek szárnyára és a lovak mellső lábára. Ugyanakkor nagyon hasonlónak látszó struktúrákat, amelyek azonos funkciót töltenek be, tisztán analógiáknak, s így az osztályozás szempontjából lényegtelennek kellene tekintenünk. Gondoljunk csak a halak és a bálnák testének formájára. Pályafutása elején Linné a ceteket (bálnák) a halakhoz sorolta, mert akkor még nem jött rá, hogy halformájú testük nem homológ, hanem analóg hasonlóság.

A taxonómia történetében sokszor előfordult, hogy a megdöbbentően hasonló struktúrákról, amelyeket eleinte homológnak tekintettek, a későbbiekben kiderült, hogy analógiák. Úgy tűnik, nagyon sok szerkezeti felépítés keverék, azaz egyszerre mutat homológ és analóg hasonlóságokat.

A rejtélyes panda

Az óriáspanda és a kis- vagy vörös panda ékesszóló bizonyítéka a homológ és analóg struktúrák problémájának. Mindkét panda a délnyugat-kínai bambuszerdőkben honos. A tudósok több mint egy évszázadon keresztül képtelenek voltak megegyezni abban, hogy a kétféle panda vajon a medvék vagy a mosómedvék családjába tartozik-e. A velük foglalkozó kutatások fele arra a következtetésre jutott, hogy a pandák medvék, a másik fele pedig arra, hogy mosómedvék. Végül 1964-ben végeztek egy kutatást, amelynek következtetése mára általánosan elfogadottá vált. Hogy mi a végső következtetés? Az, hogy az óriáspanda medve, míg a vörös panda mosómedve!

A kis- vagy vörös panda. Az óriáspandához hasonlóan a vörös panda is Délnyugat-Kínában őshonos bambuszevő

Ez a történet klasszikus példája annak, hogy a tudósok gyakran képtelenek eldönteni, melyik hasonlóságot kezeljék döntő fontosságúnak. Az 1964-es kutatásig legalább a tekintetben azonos állásponton voltak, hogy a kétféle panda közeli rokonságban van egymással, és ugyanabba a családba kell sorolni őket. Lenyűgöző hasonlóságokat látunk csontvázuk, belső szerveik, viselkedésük és kromoszómáik száma tekintetében, ami a két állatot szorosan összekapcsolja, a többi állattól pedig elkülöníti.

Talán a legmegdöbbentőbb hasonlóság az, hogy mindkét pandának van „nagyujja” (lásd 8. ábra). Ez nem igazi nagyujj, hanem inkább a csuklóízület csontkinövése. Azonban nagyon is hüvelykujjként működik, és valamelyest szembe is fordítható a tenyérrel. Az óriáspanda bambuszhámozásra használja, amivel a nap legnagyobb részében foglalkozik. A vörös panda hüvelykujja kisebb, mint az óriáspandáé, de nagyjából ugyanarra használja.

A két pandaféle közötti szembeszökő hasonlóságokat évszázadokon keresztül homológnak tekintették, és az állatokat egy csoportba sorolták. Ma azonban külön családba sorolják őket, így hasonlóságaikat is „analógiákként” értelmezik, ami elég visszás egy olyan különleges valami esetében, mint a szokatlan hüvelykujj.

A hasonlóságokat nem mindig könnyű észrevenni vagy értelmezni. Egy állat bizonyos tulajdonságaiban hasonlíthat az egyik csoporthoz, más jellemzőiben viszont egy másik csoporthoz (lásd az erszényesek példáit), ami választásra kényszeríti a rendszertanosokat, hogy mely

hasonlóság alapján osztályozzanak. Mi alapján dönti el egy tudós, hogy mely hasonlóságok fontosak az osztályozás szempontjából (homológiák) és melyek mellékesek (analógiák)?

8. ábra. A pandák „tenyere" a hüvelykujjal

A taxonómusok igyekeztek meghatározni, mely feltételek alapján lehet megkülönböztetni az analógiákat a homológiáktól. Az általános nézet az, hogy a természetes kiválasztódás sokkal inkább hasonló struktúrákat produkál – mint amilyen az észak-amerikai farkas és a tasmániai farkas csontváza –, nem pedig olyan igen specifikus tulajdonságokat, mint az erszényesek erszénye. Ezáltal az általános csontvázbeli hasonlóságok sokkal ésszerűbben magyarázhatók a konvergens evolúcióval, míg az erszényes emlősök erszényére sokkal kézenfekvőbb magyarázatot kínál az evolúciós leszármazás. De még ennek a feltételnek a meghatározása is szubjektív a tekintetben, hogy el kell dönteni, az evolúció során milyen változás lenne a legvalószínűbb, s gyakran még a taxonómusok is összevesznek azon, hogyan osztályozzák az organizmusokat. Van egy mondás, mely szerint ahány taxonómus, annyiféle osztályozási rendszer. Bár ez így kissé túlzó kijelentés, azért van némi igazságtartalma.

Ez a megközelítés továbbá eleve feltételezi, hogy a makroevolúció megtörtént, ahelyett, hogy azt próbálná kideríteni, vajon *tényleg* megtörtént-e. Sajnos már magát a „homológ" kifejezést is gyakran úgy definiálják, hogy az magában foglalja az evolúció fogalmát. A mai biológiakönyvek többsége azt a meghatározást adja a homológiáról, hogy az egy közös őstől származó szerkezeti hasonlóság. Ennek eredményeképp az evolucionisták néha akaratlanul is a körkörös érvelés hibájába esnek: az evolúciós leszármazás fogalmát alkalmazzák a hasonló struktúrák megmagyarázására, a strukturális hasonlóságok meglétét pedig a makroevolúció lejátszódásának bizonyítékaként idézik.

A tervezés eredménye

Amennyiben a puszta tény, hogy az élőlények osztályozhatók, óhatatlanul darwini következtetéshez vezet, igen meglepő, hogy az osztályozás ténye kétezer évig nem gyakorolt ilyen hatást. Az emberek azelőtt is hatékonyan osztályoztak, hogy Charles Darwin feltűnt volna a színen a 19. században, anélkül, hogy a családi kapcsolatok fogalmát alkalmazták volna. Ehelyett azokat a struktúrákat, amelyek organizmusok nagy csoportjaira voltak jellemzőek, egy eredeti terv kibontakozásaként és adaptációjaként értelmezték.

Nagyon sok olyan dolog van, amelyek nem egy közös őstől származnak, mégis osztályozhatóak: autók, festmények, ácsszerszámok. Röviden: minden ember alkotta tárgy. Mi teszi az összes Fordot, az összes Rembrandtot, az összes csavarhúzót hasonlóvá? Az, hogy mindegyik egy közös minta, az őket létrehozó ember elméjében megszülető terv alapján készült. Saját tapasztalatainkból tudjuk, hogy amikor az emberek tárgyakat – például autómotorokat – tervez-

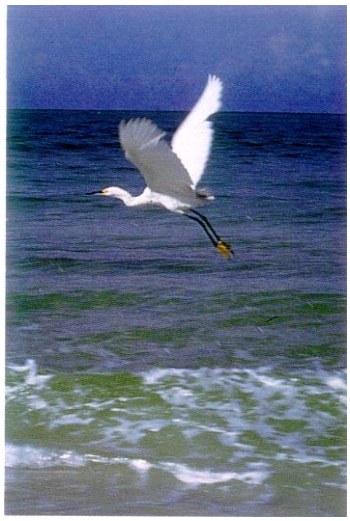
nek, egy alapelképzelésből indulnak ki, s aztán azt a különböző rendeltetési céloknak megfelelően alkalmazzák, módosítják. Lehetőség szerint a tervezők már meglévő sablonokból és elképzelésekből indulnak ki, nem pedig mindent elölről kezdenek. Az emberi gondolkodás működéséről szóló tapasztalatainkból következtethetünk arra, vajon hogyan működhetett az ősértelem.

Az élő mozaik

Az intelligens tervezés és a természetes leszármazás elmélete egyaránt magyarázattal szolgál arra, hogy az élőlények között miért találunk hasonló struktúrákat. S mivel mindkét elmélet képes megmagyarázni a hasonlóságokat, *a hasonlóságok puszta ténye nem tekinthető bizonyítéknak egyik elmélet igazolására vagy cáfolására sem*. Van azonban még egy dolog, amit figyelembe kell vennünk, mégpedig a hasonlóságok szabálytalan, rendszertelen mintázatát.

Emlékezzünk vissza az erszényesek rejtélyére. A darwini elmélet szerint a farkasok, macskák, mókusok, mormoták, hangyászok, vakondok és egerek sablonja kétszer alakult ki: egyszer a méhlepényes emlősöknél, és még egyszer, az előbbiektől teljesen függetlenül, az erszényeseknél. Ez ugyanolyan, mintha elképesztő módon azt állítanánk, hogy a mutációk és a természetes kiválasztódás véletlen, irányítatlan folyamata valahogyan többször is azonos tulajdonságokat hozott létre teljesen különböző organizmusokban.

Vagy vegyük a repülés problémáját. A levegőnél nehezebb tárgyak repülése hihetetlenül komplex adaptációs csomagot igényel, amely gyakorlatilag a test minden szervére kihatással van. A darwinisták azonban azt állítják, hogy a repülés képessége nem egyszer, hanem *négyszer* alakult ki, egymástól teljesen függetlenül: a madarak, a rovarok, az emlősök (denevérek) és a pteroszauruszok (repülő hüllők) esetében.



Nemcsak a szárnyak, de a csontváz, a szív, a légzőrendszer és sok egyéb szerv összehangolására van szükség ahhoz, hogy a madár repülni tudjon

Ezek a példák arra mutatnak rá, hogy a hasonlóságok nem evolúciós (genealógiai) leszármazást sugalló, egyszerű leágazásos mintázatot követnek, hanem komplex mozaikként, azaz moduláris mintázatként fordulnak elő. Hasonló struktúrák – pl. a hemoglobinmolekula – sok helyen előfordulnak az élő szervezetek mozaikjában, ahhoz hasonlóan, mint a fel-felbukkanó ezüstszál a hímzett faliszőnyegen. A hasonlóságokat úgy is le lehet írni, mint állandósult sablonokat vagy egyedi építőköveket, amelyekből különböző mintázatok alakíthatók ki, hasonló-

an a számítógép-programok szubrutinjaihoz. A genetikai programok mindegyike magában foglalja e szubrutinok különböző alkalmazásait, amelyek a ma látható biológiai formák változatosságát idézik elő.

Egy másik hasonlattal élve, az élő szervezetek közötti hasonlóságok olyanok, mint az előre összeszerelt egységek, amelyek egy bonyolult elektronikai áramkörbe csatlakoztathatók. Aszerint variálhatók, hogy az organizmusnak mely tulajdonságokra van szüksége ahhoz, hogy az egyes funkciókat el tudja látni a szárazföldön, a vízben vagy a levegőben. A szervezetek mozaikok, amelyek minden egyes biológiai szinten ilyen egységekből épülnek fel. E nézet szerint a hasonló struktúrák meglétéből semmiféle evolúciós eredet nem következik.

Biokémiai hasonlóságok

Ha összehasonlítjuk a különböző fajok fehérjéit, arra a meglepő eredményre jutunk, hogy a vizsgálatok eredménye végső soron nem támogatja az evolúciós elképzelést.

Sok ember számára a fehérjék az egyik legfontosabb táplálékcsoportot, az egészséges étrend legfontosabb alapelemét jelentik, és nemigen gondolnak arra, hogy azok valójában parányi gépezetek. Mostanában kellett ráébrednünk, hogy a fehérjék elképesztően sokféleképpen működő gépek, amelyek az élő szöveteket építik fel, és irányítják az élethez szükséges reakciókat. Egy átlagos sejtben több ezerféle típusú fehérje található, amelyek mindegyike különbözik a többi típustól. A represszor molekulának nevezett fehérjék például a szükséges ideig blokkolják vagy kikapcsolják a DNS egyes részeinek működését. A bőr javarészt egy kollagén nevű fehérjéből épül fel. Az izomsejtek összehúzódó képességéért főként a miozin és az aktin nevű fehérjék felelősek, amikor pedig fény éri a szem retináját, először a rodopszin nevű fehérjével lép kölcsönhatásba.

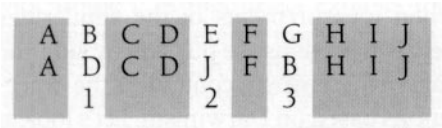
Az ilyen és hasonló funkciók ezreihez elengedhetetlen, hogy a fehérjék különböző részei között nagyfokú koordináció és együttműködés legyen, amelynek foka messze meghaladja bármely ember alkotta gépezetét. Ez az együttműködési funkció az aminosavak fehérjemolekulán belüli sorrendjétől függ. (A fehérjék tulajdonképpen sok egymáshoz kapcsolódó aminosavból álló molekulák.)

Az élő szervezetek molekuláris szintű tanulmányozása viszonylag új szakterület. Az információ, amit a tudósok a molekuláris biológiából nyernek, az élő szervezetek összehasonlítására és kategorizálására is használható. Ezt a szakterületet *biokémiai taxonómiá*nak nevezik. A biokémiai analízis azzal kecsegtet, hogy a taxonómia egy sokkal precízebb tudományággá válhat, mert lehetővé teszi a különböző szervezetek közötti különbségek megmérését és számszerű meghatározását.

Homológia, a kevéssé leírt dolog

Mindannyian érezzük, hogy a ló általános felépítése sokkal hasonlóbb a tehéneihez, mint a madáréhoz, a közöttük levő különbségeket azonban lehetetlen matematikailag kifejezni. Annak eldöntése, hogy az összehasonlító anatómia és a homológiák alapján mely szervezeteket soroljuk azonos osztályba, bosszantó módon egy kicsit mindig szubjektív lesz. Úgy tűnt, hogy a molekuláris biológia forradalma mindezt megváltoztatta azáltal, hogy az organizmusok egy egészen újfajta összehasonlítási módját tette lehetővé, amely fehérjéik és DNS-eik szerkezetének összevetésén alapul.

A biokémiai taxonómia egyik legfontosabb eljárása a fehérjén belüli aminosav-sorrend (szekvencia) meghatározása, illetve a DNS-ben lévő bázishármasok (tripletek) sorrendjének megállapítása. A kutatók DNS- és fehérje-szekvencia analizátorokat alkalmaznak e sorrendek a meghatározásához. Sok fehérje számos különböző organizmusban előfordul. Felfedezték, hogy egy adott fehérje (pl. a citokróm *c*) aminosav-sorrendje nem állandó, hanem fajonként változik. A citokróm *c* rendszerint egy 104 aminosavból álló lánc. Noha mindig ugyanazt a funkciót látja el és mindig elég hasonló ahhoz, hogy tudjuk, ugyanarról a fehérjéről van szó, az egyes taxonokban nagy változatosságot mutat. Két különböző szervezet aminosav-sorrendjét úgy lehet összehasonlítani, ha egymás mellé illesztjük a két szekvenciát, és megszámláljuk az eltérő aminosavakat. Hasonló összevetést lehet végezni a DNS-szálak között is. Szemléltetésképpen nézzük meg az alábbi képen látható betűsorozatokat:



A fenti két sorozat mindegyike tíz betűből áll, és a három számozott helyen különböznek egymástól. A különbözőség mértéke tehát 30%. Ha a sorozatok csak egyetlen helyen különböznének, az eltérés 10% lenne, ha pedig két helyen, akkor 20%.

Azokat az állatokat, amelyek DNS- vagy aminosav-sorrendje nagyobb mértékben egyezik, taxonómiailag közelebbi osztályokba sorolják. A molekuláris biológián alapuló osztályozási rendszer sok esetben megerősíti a taxonómusok anatómián alapuló tradicionális besorolásait. Vagyis a ló sokkal jobban hasonlít a tehénre, mint a madárra, de nemcsak a nyilvánvaló megjelenése miatt, hanem amiatt is, mert fehérjéinek aminosav-sorrendje és DNS-ének bázishármas-sorrendje is sokkal hasonlóbb.

Újraértelmezett hasonlóságok

A hasonlóságok azonosításának új módszereitől a biokémikusok azt várták, hogy segítenek majd megérteni, valójában mit is jelentenek ezek a hasonlóságok. A közkeletű darwini értelmezés szerint a hasonlóságok egy közös őstől való leszármazásra utalnak. Minél nagyobb két szervezet között a hasonlóság – mondják a darwinisták –, annál rövidebb ideje váltak szét egymástól a leszármazási vonalaik.

A darwinizmus támogatói a biokémiai felfedezéseket az elmélet új, fontos bizonyítékaiként üdvözölték. Azt, hogy a biokémiai hasonlóságok párhuzamosak az anatómiai hasonlóságokkal, az e hasonlóságokból fakadó evolúciós rokonság megerősítésének tekintik. Az emberi fe-

hérjék például sokkal közelebb állnak a majmokéihoz, mint a teknősökéihez. Ez a darwini bizonyítéka annak, hogy az ember és a majom egy közös őstől származik.

Az értelmes tervezettség támogatói a szerkezeti hasonlóságokban a funkcióbeli hasonlóságok visszatükröződését látják. Minden élő szervezetnek ugyanabban az univerzumban kell fennmaradnia, és muszáj beilleszkednie annak ökológiai hálózatába. Ugyanakkor mindegyiküknek illeszkednie kell a táplálékláncba is. Az azonos univerzumon belüli működés szükségessége az összes élő szervezettel szemben azonos fizikai és kémiai igényeket támaszt. Egy intelligens cselekvő számára logikus és egyszersmind hatékony is az élőlényeket közös biokémiai alapon megtervezni. Ugyanígy az sem meglepő, hogy a szervezetek anatómiai és biokémiai szinten egyaránt mutatnak hasonlóságokat. A téma szempontjából valóban új biokémiai hozadék másban rejlik, ahogy azt a későbbiekben látni fogjuk.

Halászsas az ebédjével. A szervezetek közötti kémiai hasonlóságok több faj hatékony támogatását teszik lehetővé a táplálékláncokban

Egy új sablon

A tudósok a biokémiai összehasonlítás segítségével újabb evolúciós fákat próbálnak létrehozni, hogy ellenőrizzék a régebbieket. Amikor azonban a fehérjék közötti hasonlóságok számszerűsített mértékét párhuzamba állítják, az így kibontakozó minta ellentmond a darwinizmuson alapuló elvárásoknak! De lássuk a témát részleteiben. Az 1. táblázat a különböző élőlényekben található citokróm *c* fehérje aminosav-sorrendjének százalékos eltéréseit mutatja. (Vegyük figyelembe, hogy noha több élőlénynél azonos a százalékos eltérés, az eltérő aminosavak tényleges elhelyezkedése nagy valószínűséggel nem ugyanaz.)

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
1. Ember	0	1	10	12	9	10	13	13	14	17	20	17	23	19	29	38	65
2. Rhesus majom		0	9	11	8	11	12	12	13	16	20	17	22	19	28	38	64
3. Disznó, tehén, juh			0	3	4	6	9	10	9	11	16	11	15	13	25	40	64
4. Ló				0	6	7	11	12	11	13	18	13	16	15	27	41	64
5. Nyúl					0	6	8	8	9	11	16	13	16	16	24	39	64
6. Kenguru						0	12	10	11	13	17	13	19	16	26	42	66
7. Csirke, pulyka							0	2	8	11	16	14	18	17	26	41	64
8. Pingvin								0	8	12	17	14	19	18	25	41	64
9. Patintós teknős									0	10	17	13	18	18	26	41	64
10. Kecskebéka										0	14	13	19	20	27	43	65
11. Tonhal											0	8	19	18	30	44	65
12. Ponty												0	14	12	25	42	64
13. Kutyahal													0	16	30	44	65
14. Orsóhal														0	30	46	66
15. Selyemhernyó lepke															0	40	65
16. Búza																0	66
17. Rhodospirillum rubrum c_2																	0

1. táblázat. 17 organizmus citokróm c molekulájának összehasonlítása

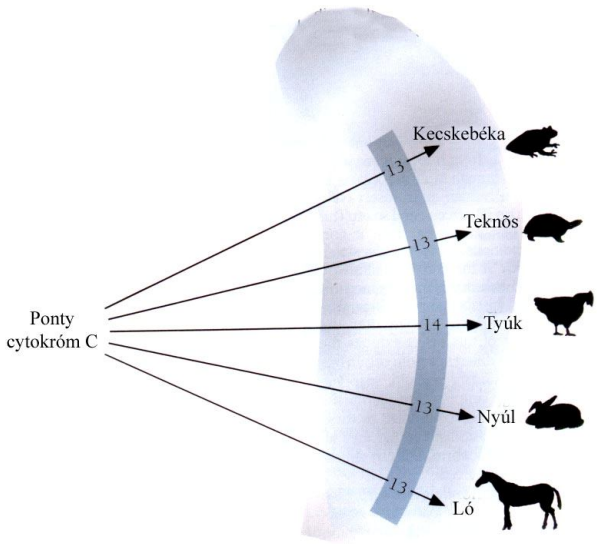
Az „ember” sort végignézve láthatjuk, hogy az aminosavak sorrendjében egyre nagyobb eltérést tapasztalunk, ahogy távolodunk a rendszertani skálán. Az ember és a rhesus majom között az eltérés csupán 1%, az ember és a disznó között 10%, az ember és a hal (ponty) között 17%, az ember és a rovar (selyemhernyó-lepke) között 29%, és így tovább. Ez a „felfedezés” nem meglepő, hiszen egybevág a hagyományos taxonómiai kategóriákkal.

Most nézzük meg a selyemhernyó lepkéjének sorát (a táblázat 15. oszlopa), és haladjunk lefelé a gerincesek között osztályról osztályra. Figyeljük meg, hogy e rovar citokróm *c* fehérjéje közel ugyanolyan mértékben különbözik olyan egymástól igen eltérő szervezetekétől, mint az ember, a pingvin, a teknős, a tonhal és az orsóhal. Figyelembe véve az említett szervezetek közti óriási változatosságot, meglepő, hogy citokróm *c* fehérjéjük tekintetében mindannyian majdnem ugyanolyan százalékban különböznek a selyemhernyó lepkéjétől.

Ez a felfedezés azért olyan megdöbbentő, mert ellentmond a darwini elvárásoknak. Az evolúciós skálán a selyemhernyó lepkéjétől felfelé haladva azt várnánk, hogy molekuláris szinten egyre nagyobb különbségeket tapasztalunk majd. Ez az elvárás akkor is fennáll, ha voltaképpen fokozatosan megjelenő osztályok jelenlegi képviselőit hasonlítjuk össze, nem pedig leszármazottakat és ősöket. Például a darwinisták a kétéltű kecskebékát egy többszörös elágazás termékének tekintik, amely a kétéltűek hüllőkhöz vezető ágáról való leágazás után ment végbe. Ez azt jelenti, hogy bár a kecskebéka a gerincesek egy olyan *rendjének* a tagja, amely a hüllőknek is őse, ő maga nem őse a hüllőknek. A feltételezés még mindig az, hogy a „fa”-mintát kellene tapasztalnunk (jóllehet általános értelemben véve), amikor a jelenleg élő, egymással közvetlen leszármazási kapcsolatban nem lévő képviselőiken keresztül összehasonlítjuk az ősi rendeket. A darwinizmusból az következne, hogy ha összehasonlítjuk a ma élő szervezeteket, akkor nagyobb molekuláris távolságot tapasztalunk a rovaroktól a kétéltűekig, mint a ma élő halakig, még nagyobb távolságot a hüllőkig, és még ennél is nagyobbat az emlősökig. A valóság azonban nem ezt a mintát igazolja vissza.

Vizsgáljunk meg egy másik példát. Az evolúciós forgatókönyv szerint a kétéltűek a halakból alakultak ki. Így azt várhatnánk a citokróm elemzéstől, hogy a halé sokkal hasonlóbb lesz a kétéltűekéhez, ám ez nem így van. A 9. ábra mutatja a százalékos eltéréseket a hal (ponty) és néhány szárazföldi állat citokróm *c*-je között.

Ha összehasonlítjuk a citokróm *c* szekvenciák változásait néhány gerincesnél, azt találjuk, hogy azok azonos távolságra vannak a haltól. Megint hiányzik a várt evolúciós fa. A kétéltűeket, amelyeket az ábrán a kecskebéka képvisel, hagyományosan közelebbinek tekintik a halakhoz az evolúciós skálán. Azonban molekuláris szinten nincsenek közelebb a halakhoz, mint a hüllőkhöz vagy az emlősökhöz.



9. ábra. *A citokróm c aminosav-sorrendjének különbségei (az eltérés százaléka) a ponty és néhány egyéb gerinces állat esetében. Figyeljük meg, hogy az eltérések mennyire közel esnek egymáshoz*

A hagyományos darwini forgatókönyv szerint a kétéltűek a halak és a szárazföldi gerinces állatok közötti átmenetek. Aminosav-sorrendjük elemzése alapján a kétéltűeknek nagyjából középen kellene elhelyezkedniük, de ez nem így van. Ez majdnem az összes kétéltű fajra igaz, amelyet az összehasonlító módszerrel megvizsgáltunk. Az evolúciós sorozat alapján azt várnánk, hogy bizonyos kétéltűek közelebb lesznek a halakhoz („primitív" fajok), míg mások a hüllőkhöz („fejlettebb" fajok). Arra számítanánk továbbá, hogy a ló lesz a legtávolabb. Ám ez szintén nem így van. Az, hogy a ló, a nyúl, a csirke, a teknős és a kecskebéka fehérjéje azonos mértékben eltérő a pontyétól [lásd 9. ábra], még nem jelenti azt, hogy az előbbiek citokróm molekulái azonosak. Fehérjéik egymástól is és a pontyétól is különböznek. A különböző szervezetek esetén nem ugyanaz a 13-14 aminosav tér el a ponty aminosav-sorrendjéhez képest.

A molekuláris óra

Néhány tudós felvetette, hogy a *molekuláris óra* elmélete megoldaná a rejtélyt. Az általuk kínált magyarázat az, hogy az idő előrehaladtával a mutációk aránya állandó, így egészen természetes, hogy azok a fajok, amelyek ugyanakkor váltak szét a közös őstől, ma azonos mértékben térnek el molekuláris sorrendjük tekintetében. Ennek a magyarázatnak azonban több komoly hiányossága is van. Először is: a tudomány szerint a mutációk aránya a generációs időhöz viszonyul, s a különböző molekulák mutációs aránya azonos az egyes generációkban. Gond akkor van, ha ugyanazon a taxonon belül két olyan fajt – pl. két emlőst – hasonlítunk össze, amelyeknek eltérő a generációs idejük. Az egerek például évente négy-ötször szaporodnak, így mutációik számának lényegesen magasabbnak kellene lennie, mint mondjuk az elefánt esetében. Következésképp összehasonlítható fehérjéik szekvencia-eltérésének nem szabadna azonos mértékűnek lennie.

Ezen kívül az egyes fehérjék mutációs aránya még ugyanazon a fajon belül is eltérő. Ez azt jelenti, hogy ahhoz, hogy a molekuláris óra elmélete helyes legyen, nem egy, hanem több ezer molekuláris órával kellene számolni.

A taxonómia feladata

A taxonómia gyakran unalmas és hálátlan munka. A kutatóknak néha hosszasan kell dolgozniuk még egy egyszerű osztályba sorolás eldöntéséhez is. De a taxonómiának nemcsak ilyen apró részletekkel kell foglalkoznia, hanem a szerves élet általános sémájáról is képet kell adnia.

A darwinisták által festett kép a szervezetek folyamatos sorozatát mutatja. Az élet fokozatosan, számtalan fázison keresztül bontakozik ki, az egyszerűbbtől az egyre bonyolultabbig. Mindegyik kategóriában vannak „primitív" szervezetek, amelyek épp hogy csak felemelkedtek az előző, egyszerűbb állapotból, és vannak „fejlettebbek", azaz olyanok, amelyek már egy újabb, komplexebb állapot felé haladnak.

Az értelmes tervezettség támogatói előtt egy másfajta kép tárul fel, amelyben az egymással rokon szervezetek magasabb szintű, egymástól független kategóriákba csoportosíthatók. Mivel az értelmes tervezettség támogatói szerint egyáltalán nem bizonyított, hogy mindegyik csoport valamely másikból fejlődött ki, a töretlen, folyamatos sorozatok nem szükségszerűek. Inkább arról van szó, hogy a fő taxonok jellegzetesek és elkülönülnek egymástól, és jól megkülönböztethetők a többiektől jellegzetes, összehangolt struktúrájuk alapján.

Vajon melyik kép illik jobban a tudomány által elénk tárt világra? A jelenlegi organizmusok léte ésszerűen megmagyarázható az értelmes tervezettség alapján. Ha megvizsgáljuk a *Felidae* (macskák) családját, rengeteg változatot találunk közöttük, kezdve a háziasított sziámi macskától az afrikai oroszlánon át a bengáli tigrisig. Ugyanakkor könnyedén meg tudjuk különböztetni őket más állatfajoktól, például a rókától, a menyéttől, a kutyától stb. Az élővilág különböző szervezetcsoportokat tár elénk, amelyek mindegyike jellegzetes tulajdonságok köré csoportosul. A határoknál, különösen a nemzetségek és a fajok szintjén, ezek a különbségek nem mindig élesek, és előfordulhat, hogy a taxonómusok később másképpen értékelik őket.

A kövületek is szervezetcsoportok sémáját tárják elénk. Az pár évtizedben a tudományban egyfajta forradalom zajlik, melynek során számos paleontológus módosította Darwin fokozatos fejlődésre vonatkozó alaptanait az egymást váltó sztázisok (változatlan állapotok) és hirtelen változások elméletére. Az evolúció-elméletnek ezt a módosítását „szakaszos egyensúlynak" (vagy „pontozott egyensúlynak") nevezik. Ezek a tudósok a kövületek világának több mint egy évszázados kutatása után felismerték, hogy a megkövült szervezetek nem lépcsőzetes sorozatot, hanem szakadékokkal elválasztott csoportokat alkotnak.

A biokémia legújabb adatai, amelyek alapján a szervezetek különbségei valamelyest mennyiségileg is mérhetővé váltak, általában megerősítik a csoportosodás fenti sémáját. A fehérjék aminosav-sorrendjének tanulmányozása során kiderült, hogy a különböző organizmusok nem szervezhetők egyetlen, A $\rightarrow$ B $\rightarrow$ C típusú sorozatba, ahol A B-nek, B pedig C-nek az őse, hanem a különböző taxonokba tartozó legtöbb organizmustól azonos távolságra vannak. Ez a megfigyelés a fajok széles skálájára igaz.

A különböző szakterületek adatai egy kirakós játékhoz hasonlóan egymáshoz illenek. Habár még jó néhány darab hiányzik a kirakós játékból, az elénk táruló kép szervezetcsoportokat mutat, amelyek mindegyikén belül számos változat létezik a nem meghatározó jellegzetességek tekintetében, s amelyek mindegyikét jól kivehető hézagok választják el a többi csoporttól. A molekuláris biológia fő felfedezései új, mennyiségileg mérhető adatokat adtak a kezünkbe az élő szervezetek hasonlóságairól és különbözőségeiről. Soha nem szabad azt a benyomást keltenünk, hogy jelenlegi tudományos ismereteink elegendőek az összes kérdés megválaszolásához, azt azonban kijelenthetjük, hogy az adatok nem egy darwini evolúcióval egybevágó élővilág képét támasztják alá.

További információk az intelligens tervezettség elméletéről és irányzatáról: www.ertem.hu