

Rózsa Lajos

Szelekció és adaptáció

„Az élet egy üzenet továbbítása”

A középiskolai biológia tananyag egyik alapvető fontosságú témája a szelekció, az adaptáció, és ezzel összefüggésben az emberi evolúció tárgyalása. Az evolúcióból azonban gyorsan változó tudományterület, és ma sok mindent másképp értelmezünk e téren, mint húsz évvel ezelőtt. Ezért megpróbálom itt röviden összefoglalni, amit e témakörrel tudni érdemes.

A szelekciónak három alapvető kritériuma van:

1. a tulajdonság fenotípusának populáción belüli változatossága,
2. e változatosságot legalább részben meghatározó genotípusos változatosság,
3. végül az, hogy az egyik genotípus által megszabott fenotípus nagyobb túlélési és szaporodási esélyt biztosítson mint a másik.

A túlélési és szaporodási siker („fitness”) az élettartam alatt létrehozott utódok számával és minőségével jellemezhető. A szelekció során tehát az allélgyakoriság változásának meghatározható iránya van, ami a populáció és környezete kapcsolatától függ. Mint látni fogjuk, a szelekciónak nem szükséges feltétele a kevésbé sikeres egyedek pusztulása, amit a leegyszerűsített meghatározások – mint pl. a „létért való küzdelem” vagy a „hátrányos allélok kiküszöbölődése”¹ – gyakran sugallnak. A szelekció lényegében statisztikai eltérés a különböző genotípusok miatt különböző fenotípust hordozó egyedek túlélési és szaporodási esélyében. Nem történik

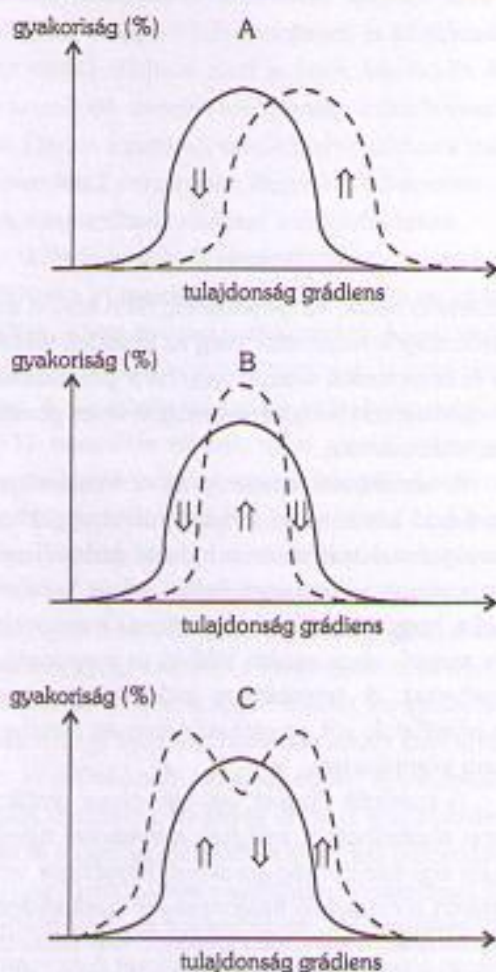
szelekció akkor, ha genetikailag nem kódolt tulajdonságok határozzák meg az egyedek túlélési és szaporodási sikerét, vagy ha a genetikailag meghatározott tulajdonság mögött nincs genetikai változatosság.

A természetes szelekció és a mesterséges szelekció között nincs lényegi különbség. Mesterséges szelekció során a tudatos emberi tevékenység az a környezeti hatás, amely befolyásolja, hogy mely allélok biztosítanak magasabb, és melyek alacsonyabb túlélési és szaporodási esélyeket. A természetes szelekció azonban a háziállatok, sőt, az emberi népesség esetében sem jelentéktelen.

A szelekció típusait egy-egy olyan grafikonon ábrázolhatjuk, melynek a vízszintes tengelyén egy tulajdonság-gradienst, függőleges tengelyén a megfelelő tulajdonságok gyakoriságát ábrázoljuk. Olyan tulajdonságot kell választanunk, melynek kialakulását több lókuszon elhelyezkedő számos gén alléljai befolyásolják, ezért a fenotípusok egy adott intervallumon belül folytonosan változó sorba rendezhetők. A mennyiségi tulajdonságok, mint pl. a testmagasság és a testtömeg rendszerint ilyen tulajdonságok (1. ábra).

A természetben a szelekció egyik elterjedt formája a gyakoriságfüggő szelekció. Ebben az esetben a különböző genotípusú egyedek szaporodási sikere függ az allélok populáción belüli gyakoriságától. Egyensúlyi helyzetben a különböző genotípusú egyedek szaporodási sikere

¹ Melyek a hátrányos allélok? Amelyek kihalnak. Mely allélok halnak ki? Amelyek hátrányosak. Érvelésünk önmagára utal vissza, ezért logikailag tarthatatlan.



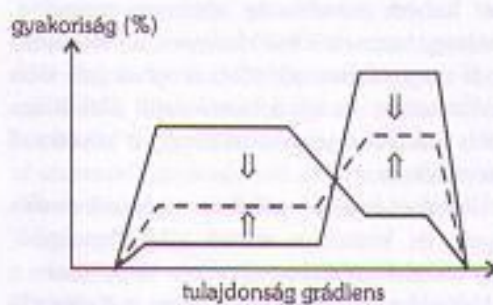
1. ábra

Az irányító szelekció során a tulajdonság egyik szélsőséges értékét mutató egyedek az átlagosnál nagyobb, míg a másik szélsőséget mutató egyedek az átlagosnál kisebb szaporodási sikert mutatnak (A). Stabilizáló szelekció esetén a szélsőséges tulajdonságokat mutató egyedek ellen folyik a szelekció, mindez az átlagos tulajdonságú egyedeknek kedvez (B). A szétválasztó szelekció kedvez a szélsőséges tulajdonságokat mutató egyedeknek, miközben az átlagos tulajdonságot mutató egyedek szaporodási sikere csökken (C). Szelekció előtt: —, és szelekció után: - -.

átlagosan azonos, így szelekció nem folyik. Ha azonban bármelyik allél gyakorisága ezen egyensúlyi érték fölé nő, akkor az őt hordozó egyedek túlélési és szaporodási sikere csökken, tehát szelekció folyik az egyensúlyi allélgyakoriság visszaállítására (2. ábra). Az állatpopulációk kórokozókkal szembeni rezisztenciáját² rendszerint gyakoriságtól függő szelekció alakítja. A rezisztencia-allélok ugyanis rendszerint „költségesek”, azaz nemcsak a kórokozókkal szembeni fogékonyságot csökkentik, hanem emellett hátrányos tulajdonságokat is okoznak. Ha a rezisztencia-allél a populációban ritka, a kórokozók a populációban elterjedhetnek, és ilyenkor a rezisztencia-allél nyújtotta előny meghaladja a hátrányokat. Ekkor a rezisztencia szelekciós előnyt élvez és alléljának gyakorisága növekszik. Viszont ha a rezisztencia-allél a populációban már gyakori, a kórokozók képtelenek a populációban fennmaradni, így ekkor a rezisztencia-allél nem nyújt előnyt, hátrányai viszont továbbra is hatnak. Ilyenkor a kórokozóval szembeni fogékonyságot kódoló allél nyújt szelekciós előnyt, így a rezisztencia-allél gyakorisága csökken, és a kórokozók újra megjelenhetnek. Egyensúlyi helyzetben a rezisztens és fogékony egyedek túlélési és szaporodási esélyei egyenlők.

A természetes populációk egyedei genomjuknak nem csak egy, hanem számos pontján is különböznek. Ha a populáció viszonylag nagy egyedszámú, akkor egy kiválasztott lókuszból bármely két allélja szempontjából ennek gyakran nincs jelentősége. Egy adott lókuszból „versengő” két allél (legyen A és a) alapján az „AA” genotípusú egyedek csoportja az összes többi lókuszból lehetséges alléljait átlagosan ugyanolyan arányban hordozza, mint a kiválasztott lókuszból gényei alapján „Aa” vagy „aa” genotípusú egyedek csoportjai. Ezért a különböző lókuszon a szelekció gyakran egymástól függetle-

² A rezisztencia a gazdaszervezet képessége arra, hogy a kórokozók gazdaszervezetben való szaporodását vagy pusztán létét megakadályozza.



2. ábra

A gyakoriságfüggő szelekció a tulajdonságok arányát az egyensúlyi eloszlás irányába tolja el. Az egyensúlyi eloszlást a populáció és környezete közötti kapcsolat határozza meg, szinte bármilyen alakú lebet (szelekció előtt: —, egyensúlyi eloszlás a szelekció után: --).

nül zajlik. E függetlenségnek gátat szabhat az, hogy a gének eredményes működéséhez az alléljaik által kódolt tulajdonságok életképes kombinációjára van szükség. Így pl. a szemlencse fölépítését meghatározó gének működőképes alléljai csak akkor nyújtanak szelekciós előnyt, ha a genom más lókuszaiban jelen vannak a szem fényérzékeny fehérjéit kódoló gének működőképes alléljai. Az egyed működését végeredményben a genomjában rejtőző gének csapatjátéka határozza meg.

A semleges allélok nem befolyásolják az őket hordozó egyedek túlélési és szaporodási sikerét, így gyakoriságukra nem hat szelekció. Egy adott allél semleges volta relatív. Így pl. „a₁” és „a₂” allélok egymáshoz képest semlegesek, de ha a populáción belül megjelenik egy új, mutáns allél („a₃”), amely történetesen letális mutáció, ehhez viszonyítva természetesen sem „a₁”, sem „a₂” nem lesz semleges allél.

A szelekció nem feltétlenül adaptív, de az egyetlen olyan evolúciós hatóerő, amely adaptív lehet, tehát segítheti a populáció alkalmazkodását a környezethez. Az adaptációnak két kritériuma van:

- az egyik genotípus által meghatározott fenotípus eredményesebben működik,
- az eredményesebben működő változat több utódot hoz létre.

Az adaptáció komparatív fogalom, melynek csak összehasonlító értelemben van jelentése. Azt mondhatjuk, hogy a fehér szín egy sarkvidéki medve számára adaptívabb mint az ősbarna szín, mert a havas tájon egy fehér medve könnyebben becserkészi a zsákmányt, mint a barna, ezért az adott környezetben jobban működik és így növeli a szaporodási sikert a barna színhez képest. Az összehasonlító viszony nélkül azonban az adaptáció fogalma értelmét veszíti, mindössze annyit mondhatnánk, tévesen, hogy minden faj „tökéletesen alkalmazkodott környezetéhez”, és ezért többé már nem történik adaptáció.

Az adaptáció eredménye az a mindennap tapasztalható tény, hogy az élőlények csodálatra méltó megoldásokat alkalmaznak a túlélési és szaporodási esélyeik növelésére. Az adaptív jelleg azonban nem misztifikálható, a végeredmény – legyen az bármilyen lenyűgöző –, soha nem lehet „tökéletes” alkalmazkodás. Ennek főbb okait az alábbi öt pontban foglalhatjuk össze.

A szelekció eredményeképpen létrejövő tulajdonságok a mindig a múltbeli körülményekhez való alkalmasságot fokozzák a jelenben élő lényeknél. Így pl. az ember veleszületett vágya, hogy a vörös-sárga színű, gömbölyded alakú, édes-savanyú ízű dolgokat megegye. Esőerdei környezetben ezek az ingerek gyümölcsökhöz vezetnek, és mert az emberi szervezet nem képes C-vitamint előállítani³, ezért a gyümölcs létfontosságú kiegészítő táplálék. Környezetünk azonban megváltozott, és ha most az olvasó megpróbálja kicsiny gyemekeit egy nagyvárosi utcán végigvezetni, hamarosan egy édességbolt előtt állnak majd, melynek vörös-sárga fényárban úszó kirakata roskadásig telt gömbölyded,

³ A legtöbb emlősfaj képes C-vitamin szintézisére, ezért nincs feltétlenül rászorulva a táplálék C-vitamin tartalmára.

édes-savanyú tárgyakkal. Magyarázhatjuk persze kicsinyeinknek, hogy azt a sok cukorkát mind fölfalni milyen egészségtelen, ha egyszer az ő génjeikben kódolt információ ezzel ellentétes, ősbibb üzenetet súg őstőneinek.

A második probléma, hogy a különböző tulajdonságok gyakran csak egymás kárára fejleszthetők, tehát az egyik és a másik képesség fejlesztése közt negatív csereviszony áll fenn. A vadréceék egyik fejlődési ága például a test súlyának növelésével fejlesztette a víz alatti úszás képességét, egy másik fejlődési ága pedig a fajsúly csökkentésével fejlesztette röpképességét. Egy récefaj nem lehet egyszerre jó búvárúzó és jó röpképű, hiszen az egyik képesség csak a másik kárára fejleszthető.

Harmadszor, a fejlődési irányok sok kicsiny lépésből állnak, és egy fejlődési irány csak akkor valósulhat meg, ha minden rákövetkező lépés kedvezőbb konstrukciót hoz létre, mint a megelőző állapot. Mérnöki hasonlattal élve ez egy olyasfajta megkötöttség, mintha a repülőgép motorját csak alkatrészenként volna szabad fejleszteni, és lépésenként mindig egyre jobban működő konstrukciókon át kellene eljutnunk a robbanómotoros-propelleres meghajtástól a sugárhajtóműig. Ezért van az, hogy az evolúció ritkán hoz létre bármi eredetit, de annál gyakrabban változtatja a meglévő struktúrákat. Végtagjaink módosult uszonyok, hallócsontjaink módosult kopolytűvek stb.

Negyedszer, a szelekció rendszerint az egyedeket, vagy pontosabban fogalmazva az egyedek genomjában megbújó allélokat szelektálja. Az egyedekre ható szelekciós nyomás gyakran nem a populáció környezetéből, hanem a populáción belülről, a fajtársak felől érkezik. A növények, állatok és emberek számos olyan tulajdonsággal bírnak, melyek hátrányosak a populáció és a faj fennmaradása szempontjából, de a fajtársakkal szembeni relatív előny által szelekciós előnyt nyújtanak hordozóiknak. Egy bükös jóval több utódot hozhatna létre, ha a tápanyagait nem pazarolná magas fatörzsek képzé-

sére, hanem minden fa alacsony maradna. Csakhogy bármelyik bükkaegyed, amely fajtársainál magasabbra nő, több fényhez jut, több makkot terem, és így a benne rejlő allélok nagyobb arányban jelenhetnek meg a következő generációban.

Utolsó és legegyszerűbb mentségünk az élőlények, és köztük a szerző tökéletlenségére, hogy a szelekció egyszerűn nincs kész, hiszen a földi élet történetében távolról sem volt elég idő és anyag minden lehetséges genetikai kombináció megalkotására és kipróbálására. Egy közönséges ecetmuslica (*Drosophila melanogaster*) kromoszómáin mintegy tízezer lókuszt van, ebből több mint ezer variábilis, amelyeken átlagosan 4-4 allélt számolhatunk. Ebből kiszámítható⁴, hogy egy muslicapopuláción belül az elvileg lehetséges különböző genotípusok száma mintegy 10^{1000} . Mivel a világegyetem látható részében mindössze 10^{80} atommag van, nyilvánvaló, hogy a lehetséges kombinációk túlnyomó hányada soha meg nem valósulhat.

És valóban, olykor még a legtökéletesebbnek hitt biológiai konstrukciókban is fölfedezhetjük a tökéletlenség nyomait (3. ábra).

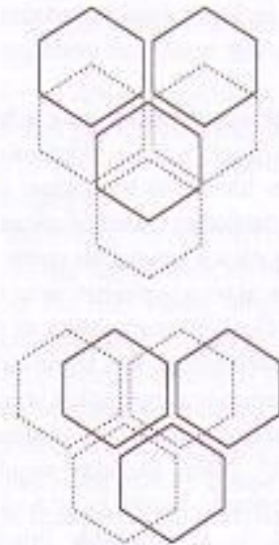
Az evolúciós elmélet egyirányú magyarázatot nyújt: a szelekció hatására adaptáció jön létre. Csakhogy a ma megfigyelt tulajdonság jelenlegi adaptív értéke nem bizonyítja, hogy a tulajdonság egykor azért jött létre. A tulajdonságok, szervek mai adaptív értéke nem feltétlen azonos a múltbeli jelentőségükkel. Kitépott tollakkal egy veréb nem adaptív, mert nem tud röpködni, de tévedés volna ebből arra következtetni, hogy a repülés nyújtotta előnyök vezettek a tollak kialakulásához.

Mint az előzőkből kiderült, a szelekció azon allélek terjedésének kedvez, amelyek növelik az őket hordozó állatok túlélési és szaporodási esélyeit, és ezáltal annak valószínűségét is, hogy az allél minél több másolata megjelenjen a következő generáció génállományában. A szelekció tehát a gének egymást helyettesítő alternatív változatai, az allélek szintjén zajlik.

⁴ $G = (c/2 * (c+1))^n$, ahol G = a lehetséges variációk száma, c = az átlagos allélszám lókuszonként, n = a variábilis lókusztok száma.

Lehetnek olyan genetikailag kódolt tulajdonságok, amelyek növelik az egyed szaporodási sikerét, de nem befolyásolják, vagy éppen csökkentik a kérdéses allél szaporodási sikerét. A méhek, hangyák és darazsak dolgozói például szaporodhatnak, bár ez furcsa módon nem növelné a saját alléljeik másolatainak számát. Nem teszik.

Lehetnek olyan genetikailag kódolt tulajdonságok is, amelyek növelik a populáció és ezáltal a faj szaporodási sikerét, de nem befolyásolják, vagy éppen csökkentik a tulajdonságot kódoló allél, és az azt hordozó egyedek szaporodási sikerét. Ilyen volna pl. a bükkfák alacsony törzsét kódoló allél. A bükkfák azonban képtelenek egyezséget kötni arról, hogy a bükkösben mindnyájan jobban járjanak, ha mindnyájan kicsit alacsonyabbra nőnének.



3. ábra

Föltehető, hogy a báziméb (*Apis mellifera*) arra szelektálódott, hogy a lépen a cellákat a leginkább viasztakarékos módon rendezze el. Figyelfiük meg, hogy a lép két oldalán a bat-szögű cellák két rétege bogyan illeszkedik egymásba (fölül). A szappanbuborékok két rétege nem így illeszkedik egymásba, hanem a bonyolultabb, de takarékosabb Tóth-féle felület mentén (alul). A lép szerkezete e szempontból nem tökéletes.

Kinek az érdekei határozzák meg a szelekció menetét? Kedvezhet-e a szelekció a faj vagy az egyed főtmaradási érdekeivel ellentétes tulajdonságok kialakulásának? Lehetséges-e, hogy az evolúciós fejlődés akár az öngyilkos kihalásba vezessen egy fajt? Mindez nagyon is lehetséges. A szelekció, bár az egyetlen olyan evolúciós hatóerő, amely a környezethez való alkalmazkodáshoz vezethet, mégiscsak egy céltalan folyamat. Nincsen célja, csak oka, ez az ok pedig szinte kizárólag az allélok szintjén zajló folyamatokban keresendő. Az evolúciós fejlődés tehát nem a fajok vagy az egyedek, hanem elsősorban az allélok környezethez való alkalmazkodását fokozza. Az allélok szaporodási sikerének növeléséhez vezető út gyakran egybeesik az egyedek és a faj szaporodási sikereinek növelésének útjával. Egy madárnak például több zsákmányt kell ejtenie, jobb nemi partnert kell szereznie, el kell kerülnie a ragadozók támadásait, mert ez mind növeli a benne rejlő allélok sikerét is. De a madár genomjában rejlő allélok számára nemcsak ez jelenti a külvilágot, hanem a madár saját fajtársai is. Az áhított zsákmányt el lehet venni a fajtársaktól, a násztáncsal meg nem győzhető nemi partner megszerezhető csellel és erőszakkal, a ragadozók támadásai a fajtársak felé terelhetők.

Biológiai szempontból az élet egy üzenet továbbítása. Ez az üzenet arról szól, hogy tovább kell adni ezt az üzenetet, és arról, hogy melyek azok a hatékony módok, amelyek a továbbadás esélyét növelik.

Irodalom

- [1] Darwin, C. (1955): A fajok eredete természetes kiválasztás útján vagy a létért való küzdelemben előnyhöz jutott fajták fennmaradása. Akadémiai Kiadó – Művelt Nép Kiadó.
- [2] Dawkins, R. (1986): Az önző gén. Gondolat.
- [3] Maynard Smith J. (1990): Kulcskérdések a biológiában. Gondolat.
- [4] Vida G. (Szerk.) (1981–1985): Evolúció I–V. Natura.
- [5] Wilson, E. O. és Bossert, W. H. (1981): Bevezetés a populációbiológiába. Gondolat K.