

sárhelyi Bethlen Gábor Gimnáziumnak ajándékozta, kijelölt célokra. Így zömmel a tanári könyvtár gyarapodott, erről az irodalmárok több ízben részletesen beszámoltak. Viszont még nem történt jelzés, hogy a biológiai előadóra, egykori munkahelyére is gondolt az adományozó. Így sikerült „gázosítani” (bután palackkal) a tanári asztalt, és bevezetni a vizet. Ez bizony igen nagy szó volt akkor, anyagi szempontból a háború utáni időkben. Milyen előnyt jelentett ez a bemutatott kísérletek végzésénél, azt a mi szakmánkban mindnyájan jól tudjuk.

Néhány gondolatot, módszertani fogást villantottam fel a teljesség igénye nélkül. A tanári nevelőmunkám ars poeticájának néhány vonását mutattam be kedves fiatal kartársaimnak. Ha újat nem mondtam, annak örülök, viszont ha egy gondolatot is át tudnak venni ne-

velőmunkájuk során, már nem dolgoztam hiába.

Záró akkordként idézem „A biológia tanítása” c. egyetemi tankönyvben (1989) az 5. oldalon írott soraimat:

„Nevelő-oktató munkánk hatása és következménye nem zárul le a tanulmányi idő befejezésével... a tanári nevelő ráhatás, az eszmei ráhatás hosszú évtizedekig, mint élményegyüttes – ha tudat alatt is –, de irányítólag hat az egyénre. Különösen annak a tanárnak a nevelő ráhatása érződik iskolaidőn túl is, aki reális gyermekszerezetével és lelkes tárgyszeretetével magával tudta ragadni tanulóit. Ez a különleges tanári ráhatás nincs rögzítve a tantervekben, de később az érettségi találkozások alkalmával nyilatkoznak erről az egykori növendékek, beszámolva arról, hogy mit kaptak ők az egykori iskolájuktól, nevelőiktől. Ez a tanári munka igazi jutalma...”

Rózsa Lajos

Ivaros szaporodás és ivari szelekció

Igy ivarosán szaporodó populáció, melyben minden második példány hím, csak feleannyi utódot hoz létre, mint egy másik, ivartalanul szaporodó populáció, amely kizárólag nőtényekből áll. Egy nőstény állat valamennyi génjét örökíti, ha szűznemzéssel hoz létre egy utódot, de csak génjeinek felét adja tovább, ha ivarosán szaporodik. Az ivaros szaporodás tehát hallatlanul költséges mulatság az ivartalan szaporodáshoz képest, de az állatok túlnyomó többsége mégis ivarosán szaporodik. Kell, hogy legyen az ivaros szaporodásban valami nagy előny, amely általános elterjedtségét megmagyarázza.

Az ivaros szaporodás a populáció génállományában föllelhető alléloknak mindig újabb és újabb kombinációit hozza létre. Létrejöhetnek olyan szerencsés utódok is, melyek a génállomány legkedvezőbb alléljeit egyesítik egyetlen

genomban. Egy állat genomjában együttesen jelenhet meg például a szemlencse kedvezőbb fölépítését kódoló allél a szem fényérzékeny fehérréinek előnyösebb fölépítését kódoló alléllal. Hasonlóképp, olykor egyetlen példány genomjában együttesen jelenhetnek meg a populáció legkedvezőtlenebb alléljai. A kedvező allélok gyorsan terjedhetnek a populációban, a kedvezőtlenek gyorsan kihalhatnak. Az ivartalan szaporodás viszont csak a már meglévő genetikai kombinációk újabb és újabb példányait másolja. Egy különösen kedvező allél talán generációk millióin át egy különösen kedvezőtlen alléllal összezárva annak minden hátrányát balasztként magával vonszolva öröklődik. Végül egy ritka szerencsés mutáció esetleg megszüadhatja ettől a hátrányos társaságtól, ha ugyan addigra ki nem halt az adott leszármazási vonal, a kedvező allélt is örökre eltörölve.

Összefoglalóan elmondhatjuk, hogy az ivaros szaporodás növeli a populáció képességét arra, hogy szelekciós nyomásra gyors allélgyakoriság változással reagáljon. Egyedi szinten ez az előny abban nyilvánul meg, hogy az ivaroson létrehozott utódok ellenállóbbak a kórokozók szemben, mint az ivartalan úton létrehozott utódok. Ne feledjük, hogy a kórokozók maguk is élőlények, és hogy alkalmazkodásuk a gazdapopuláció újabb és újabb rezisztenciaváltozataihoz felgyorsuljon, ők is ivaroson vagy ivaroson és ivartalanul egyaránt szaporodnak.

Az ivaros szaporodás kritikus pontja a párválasztás. Ha a párválasztás véletlenszerűen, az egyedek genotípusától függetlenül történik, akkor a generációváltások során az allélok arány és az ideális populációra jellemző heterozigóta/homozigóta arány nem változik. A párválasztás azonban korántsem véletlenszerű. Nem mindegy ugyanis, hogy géneink, melyeket örökítünk, milyen más génekkel összezárva fognak majd szerencsét próbálni az utánunk következő generációban. Ezért a természetben a párválasztást genetikailag kódolt tulajdonságok, illetve az ellenkező ivarú egyedekben ezek iránti – szintén genetikailag kódolt – nemi preferenciák befolyásolják. Ez az ivari szelekció, mely a szelekció egyik sajátos típusa.

Egy utód létrehozása mindig költséges vállalkozás, melybe sok tápanyagot, időt és energiát kell befektetni. A hím és a nőstény állat „befektetése” azonban gyakran különböző. A hím létrehozza a spermiumsejteket, melyek bár nagyszámúak, de kicsik, létrehozásuk viszonylag olcsó, ezért gyorsan és könnyen pótolhatók. A nőstény viszont az állatvilág legnagyobb és tápanyagban leggazdagabb sejtjeit, petesejteket hoz létre. Egy nőstény csak viszonylag kevés petesejtet hozhat létre, és ha a szaporodás belső megtermékenyítéssel jár, talán még kevesebbet hozhat világra. Azokban a fajokban, ahol a szülők ivadékaikat gondozzák, gyakran az ivadékgondozás is egyenlőtlen megoszlású, a nőstény gyakran több költséget visel, mint a hím.

A költségek egyenlőtlen megoszlása miatt más tényezők korlátozzák a hímek, és megint

mások a nőstények szaporodási sikerét. A hímek elvileg rengeteg nőstényt képesek megtermékenyíteni. Mivel azonban a nőstények száma korlátozott, ezért a hímek szaporodási sikerüket csak egymás rovására növelhetik. Az átlagon felüli hímek a nőstények által elérhető szaporodási siker sokszorosát is elérhetik, az átlagon aluli hímek viszont utódok nélkül enyésznek el. A nőstények szaporodási sikerét főként a populáción kívüli hatások, elsősorban a hozzáférhető tápanyag mennyisége korlátozza. Minden ivarérett nőstény szaporodhat, még a leggyengébbek is, de még a legjobbak sem fognak nagyságrendekkel több utódot létrehozni, mint a leggyengébbek.

A hímek szaporodási sikerét a hozzáférhető nőstények száma korlátozza. Ha olykor átlagon aluli nőstényekkel is párzanak, ez nem akadályozza meg őket abban, hogy eközben az átlag fölötti nőstényeknél is sikeresek legyenek. A nőstények által létrehozható utódok száma viszont eleve korlátozott, ezért ha átlagon aluli hímekkel párzanak, örökre elveszítik az esélyüket egy jobb hímrel való kapcsolatra. Utódaik számát nem növelhetik jelentősen, de utódaik minőségét lényegesen javíthatják, ha a legjobb hímeket választják.

Ezért ott, ahol az utódok létrehozásának költségei egyenlőtlenül oszlanak meg a nemek közt, rendszerint a kisebb költségeket viselő nem a versengő és opportunista, míg a nagyobb költséget viselő nem a válogatós. Olykor a hímek viselik a nagyobb költségeket. A csikóhalfélék esetében (Syngnathidae) és a víztaposó madaraknál (Phalaropus sp.) a hím viseli a hosszas ivadékgondozás minden költségét, és ehhez képest a nőstény befektetése eltörpül. Ilyenkor a nőstények versengenek a hímekért. Sokkal gyakoribb viszont, hogy a nemek befektetési egyenlőek, pl. mert a faj rövid életciklusa csak egyetlen pázást tesz lehetővé hímeknek és nőstényeknek egyaránt, vagy éppen a közösen végzett, hosszas ivadékgondozás egyenlő költségei miatt. Ekkor mindkét nem kifinomult párválasztási preferenciák alapján válogat a másik nem képviselői közt.

Hogyan válogassunk? Fölismerhető-e a másik nem kínálatában a legkedvezőbb genetikai ajánlat? A ma élő állatok olyan ősök leszármazottai, akik jól válogattak. Akik rosszul válogattak, olyan genetikai társaságba kényszerítették saját génjeiket, amely a következő generációkban növelte azok kihalásának esélyét. Azok az allélok tehát, amelyek képessé teszik az állatot arra, hogy fölismerje a másik nem képviselőiben a genetikailag kódolt előnyös tulajdonságokat, szelekciós előnyt biztosítanak és elterjednek a populációban. Az egyik nem ivari preferenciái a másik nem képviselőiben a másodlagos nemi jellegek, mint pl. dístoll, násztánc stb. mind kifejezettebb megjelenését okozhatják.

A természetben számos állatfajnál megfigyelhetők olyan másodlagos hím nemi jellegek, amelyek kifejezetten csökkentik gazdáik túlélési esélyeit. Például a pávakakast dístollai föltűnővé és nehézkesé teszik, akadályozzák a rejtőzésben és menekülésben. A siketfajdok párválasztási ceremóniájuk, a dürgés során elveszítik jellemző óvatosságukat, szinte „siketek”, hangoznak és tarkák. A fiatal férfiak is gyakran önvészélyesek, ha a szülőktől kölcsönvett BMW-ben a diszkóból hazafelé száguldanak legújabb nőikkel. De vajon a nőtények miért preferálnak olyan hím tulajdonságokat, amelyek nyilvánvalóan csökkentik a hímek életképességét?

Sir R. Fisher volt az első, aki felismert egy jelenséget, amely egy lehetséges választ ad a kérdésre. Képzeljünk egy változatos tulajdonságot, melynek egyik szélsőértéke kedvezőbb, mint a populáción belüli átlagos értéke; pl. a hosszabb farktollakkal a madarak jobban röpködnek, mint átlagos fajtársaik. Ebben a kiindulási helyzetben a tojók arra szelektálnak, hogy hosszabb farktollú hímeiket válasszanak, mert így saját utódai is hosszabb farktollakat növeszhetnek és jobban röpködhetnek. Az ivari szelekció hatására a farktollak hossza generációról generációra gyorsan nő, és hamarosan elér egy szintet, amely fölött további növekedése már nem növelné, hanem csökkentené a madár röpképességét. Vajon leáll-e ekkor az ivari szelekció? Aligha. A hosszú hím farktoll értékét ekkor már

nem annyira az aerodinamikai jelentőség, hanem sokkal inkább a nőtények genetikailag kódolt preferenciái határozzák meg, szemükben pedig a hosszú farktoll ellenállhatatlan szexuális vonzerő. Ha egy nőtény igen szexis hímmel párizik, akkor az ő fiai is igen szexis fiúk lesznek majd a következő generáció nőtényei szemében. A folyamat tehát a tulajdonság egykor adaptív jellegéből indul, ámde elszabadul, és autokatalitikus úton fölgyorsul, így végül a környezethez való alkalmazkodást jelentősen csökkentő tulajdonságok elterjedését okozhatja.

W. Hamilton és M. Zuk más elképzelést fejtett ki. Szerintük a másodlagos nemi jellegek gyakran valóban hordoznak hiteles információt az állatok genetikai hátterének minőségéről. Az ecetmuslicánál (*Drosophila melanogaster*) sikerült elsőként kimutatni, hogy ha nőtények párt választhatnak, akkor utódaiknak kisebb a halandósága, mintha a kutatók által véletlenszerűen választott párral kell beérniük. Mivel a hím muslica nem vesz részt az ivadékgondozásban, a különbség csak úgy értelmezhető, hogy a párválasztás – pár másodpercnyi szárnyrezegtetés – során a nőtény képes megkülönböztetni az előnyösebb genetikai tulajdonságokkal rendelkező hímet a gyenge hímeiktől. Lehetséges, hogy a nőtények a populációban éppen elterjedt járványokkal szemben leghatásosabb rezisztenciaallélokat válogatják ki. Ha egy hím genomjában jó rezisztenciaallél rejlik, akkor az átlagosnál kisebb mértékű a fertőzöttsége. Ha kisebb a fertőzöttsége, akkor az átlagosnál nagyobb, színesebb és szimmetrikusabb hím nemi jellegeket fejleszthet. Ekkor viszont a nőtény oly módon növelheti utódainak a betegségekkel szembeni ellenálló képességét, ha olyan hímmel párizik, melynek másodlagos nemi jellegei az átlagosnál nagyobbak, színesebbek és szimmetrikusabbak.

Ezzel részben átfedő, de sokkal általánosabb elképzelést fejtett ki A. Zahavi. Szerinte a „jó gént” hirdető jeleknek csak az olyan tulajdonságok felelnek meg, amelyek a jelet hordozó hímnak nagyon hátrányosak. Egy hím fülemüle (*Luscinia megarhynchos*) például heteken-hónapokon át napi 16-18 órát énekel, éneke az

akusztikus jelek dőbbenetes gazdagságát nyújtja, hangereje lenyűgöző. Dalának információtartalma kb. így fordítható: „én vagyok a legjobb hím”. Ezt az üzenetet persze olcsóbban, kevesebb idő- és energiabefektetéssel is lehetne közölni, csak hogy ekkor a hímek arra szelektálnának, hogy becsapják fajtársaikat, és még a leggyengébbek is a legjobbnak vallják magukat. A nőstények csak akkor zárhatják ki a család lehetőségét, ha a legköltségesebb jelek alapján válogatnak. Ekkor a hímek által önmaguk minőségéről adott jelek biztosan hitelesek, hiszen aki valós adottságainál jobbnak adja ki magát, az belepusztul a jeladásba.

A fenti fejtegetésben furcsának tűnhet az olyan érvelés, hogy a „hímek erre szelektálnak” és a „nőstények arra szelektálnak”. Végül is a hímek és nőstények egy közös génállományt alkotnak, evolúciójuk nem különülhet el, nem válhat szét egymástól. Nem is erről van szó. Számos gén fenotipikus megjelenése, azaz manifestációja ivarhoz kötött. Emberben pl. a kopaszodásra való hajlamot kódoló allélt férfiak és nők egyaránt hordozzák és örökölik, ámde a gén csak férfiakban manifestálódik. A hím másodlagos ivari jellegeket, mint pl. madarak dísztoilazatát, halak nászkiütését vagy az árvaszúnyogok násztáncát kódoló géneket többnyire a nőstények is hordozzák, ámde bennük a gének nem manifestálódnak. Csak akkor lépnek működésbe, ha a hím nemi hormonok az állatban elérnek egy magas szintet. Bizonyos gének üzenete tehát így fordítható: „ha hím egyedben vagy, akkor...”, más gének üzenete így kezdődik: „ha nőstényben vagy, akkor...”.

Bár az állatfajok túlnyomó többsége nem gondolja ivadékát, de a nagytestű állatoknál, és különösen a madaraknál és emlősöknél a szaporodási siker jelentős mértékben függ az ivadékgondozás sikerétől. E fajokban a párválasztás szempontjai egy újabb kérdéssel gazdagodnak; fontos lehet fölbecsülni a lehetséges nemi partnere

rek ivadékgondozási képességét. A belső megtermékenyítés és a közösen végzett ivadékgondozás azonban újabb problémát vet föl. A nőstény általában biztos lehet abban, hogy az általa világra hozott utód az ő utódja¹, ám a hím helyzete bizonytalan. A nőstény szemszögéből nézve a hím szerepe kettős, egyrészt táplálékot és védelmet nyújt az ivadékoknak, másrészt az utódok génkészletének a felét adja. A nőstények zöme azonban nem állhat párba a hímmel, mert azokból kevés van. Egy átlagos nőstény számára ezért gyakran kedvező lehet, ha a legjobb, pár nélküli hímet választja, mint az ivadékgondozást biztosító párt, de olykor észrevétlen a legjobb hímmel is párizik, hogy annak génjeit örökítse utódaiba (aki persze valaki másnak a párja). Ez persze korántsem veszélytelen, hiszen a fölstarvazott hímek gyorsan fölhagynak az ivadékgondozással, ha az utódok származásával kapcsolatban kétség merülhet föl. Genetikai vizsgálatok szerint a fiókáikat monogám párokban nevelő énekesmadarak utódainak gyakran 10-20, olykor 30 százaléká is páron kívüli nemi kapcsolatból származik.

Az ivaros szaporodás tehát lehetővé teszi az utódok minőségének jelentős növelését azon az áron, hogy eközben felére csökken az utódok mennyisége. Emellett azonban megnyitja az utat a szelekció egy egészen sajátos típusa, az ivari szelekció előtt. Az ivari szelekció fokozza ugyan az egyedek adaptációját környezetükhöz, de ezt a környezetet gyakran maguk a fajtársak jelentik, és nem föltétlenül a populáció kívüli környezet hatása.

Irodalom

- [1] Anderson, M. (1994): *Sexual Selection*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- [2] Ridley, M. (1995): *The red queen: sex and the evolution of human nature*. Harmondsworth: Viking.
- [3] Wilson, E. O. és Bossert, W. H. (1981): *Bevezetés a populációbiológiába*. Gondolat K.

¹ A madaraknál még ez sem biztos. Sok tojó igyekszik lopva fölkeresni fajtársai fészket, és néhány tojást abba csempészni. A saját utódaik „örökbefogadásával” kizsákmányolhatják fajtársaik ivadékgondozási erőfeszítéseit.