

MARKÓ BÁLINT

HANGYÁK A SZAGÖSVÉNYEN

Avagy a kémiai kommunikáció ábécéje

Szerettem La Fontaine meséjét a szorgos hangyáról és az életművész tücsökről. Gyerekként persze másként szerettem. Lerajzolhatóan klassz történetnek tűnt akkoriban, ahol a „hivatalos” rendszer- és felnőtt diskurzussal azonosulandónak a hangyával illett szimpatizálni, de titkon, cinkosan össze lehetett kacsintani a háta mögött a tücsökkel is. Mert hát, valljuk be, ki ne szeretett volna egy kicsit inkább tücsök lenni és gondtalanul tücskölni a tájban, a nyárban? Felnőtt fejjel is kedvelem ezt a versikét. Csak másként és másért. Talán leginkább a belőle származó izgalmas kérdések ragadnak meg. Például kinek is zenélhet a tücsök valójában? Vajon tényleg olyan szorgos a hangya? Egyáltalán telelnek-e a mesében szereplő jószágok? És miként értekezhet egymással a két fél? No és végző soron: tényleg egyedül él a hangya, ahogy La Fontaine írja? Mindezen kérdések bármelyike akár önmagában is izgalmas kutatási téma lehet (vagy az is, lásd a bioakusztika és a tücsökzene viszonyát), de az utolsó kérdés témája különösen. A hangyák társas életmódjának aspektusai ugyanis egy egész hadseregnyi kutatót foglalkoztatnak. Mert a hangyák sohasem élnek egyedül.

A hangyaparadoxon

■ A világon élő valamivel több mint tízezer ismert hangyfaj mindegyike ugyanis társas életmódot folytat, vagyis ún. *euszoális* rovar. Habár számos olyan lény van a Földön, amelyik különböző, többé-kevésbé állandó szociális struktúrákat hozhat létre, de az euszocialitás kritériumai igen kevés



A hangyák nyelve izgalmas nyelv. Emberi füllel nem hallható, emberi orral fel nem fogható. D’Ettorre és Moore már idézett metaforikus képénél maradván: ha verselni tudnának, valószínűleg a legelegánsabb parfümjeink sem érnének fel egy hangyaszonett harmóniájával.

csoport esetében érvényesülnek (még az embernél sem), s ezek túlnyomó többségükben rovarok, mint például a természetes, a redősszárnyú darazsak (pl. lódarázs), a mézelő méh és rokonai, valamint a hangyák. Mitől olyan különlegesen azonban az euszociális lények, hogy érdemes őket a többi társas állattól elkülöníteni? Az euszociálisnak három fő ismérve van (Hölldobler és Wilson 1990): (1) az *átfedő nemzedékek* jelenléte a rendszerben, azaz a szülők együtt élnek bizonyos ideig az utódokkal; (2) a *kooperatív utódgondozás* jelensége; és végül (3) a *szaporodásbeli munkamegosztás*. Ez utóbbi az a speciális kritérium, amely nem jellemző más társas lényekre (köztük az emberre sem), ellentétben az előző kritériumokkal. Az euszociális rovarok (és még néhány emlősfaj¹) egyedüli sajátossága az ivaros szaporodó és a steril kasztok jelenléte a kolónián belül. Az ivaros nőtények (pl. királynők) és a hímek mellett a harmadik kasztot a funkcionálisan steril nőtények (termeszeknél hímek is lehetnek) tömege, az ún. dolgozók alkotják. A dolgozók funkcionálisan sterilek, habár az ivarszerveik fajtól és körülményektől függően valamelyest kialakultak, a párzáshoz és a hím ivarsejtek tárolásához szükséges képleteik vagy csökevényesek, vagy egyáltalán nem fejlődtek ki, s ilyen módon párzásra, megtermékenyülésre képtelenek. Ugyanakkor a hangyáknál és a velük rokon méheknél és darazsaknál a hímek párzást nem igénylő módon, megtermékenyítetlen petesejtből jönnek létre, vagyis a dolgozók, szintén fajtól és körülményektől függően, képesek lehetnek kizárólagosan hím utódok létrehozására.

A hangyák társas életmódjának kérdésköre először magát az evolúcióelmélet atyját, Charles Darwint hozta komolyan zavarba, olyannyira, hogy véleménye szerint a probléma látszólagos megoldhatatlansága evolúciós elméletének érvényességét veszélyeztette.² Darwin ugyanis a rendelkezésére álló tudományos ismeretanyaggal és eszköztárral képtelen volt egyértelműen magyarázni azt a paradoxont, hogy miként terjedhetett el és maradhatott fenn a rokonok kooperatív segítségével önzetlen jellege olyan körülmények között, hogy a segítő egyedek sterilek, vagyis nem adhatják tovább ezt a csoport számára egyértelműen előnyös jelet. Egyáltalán miért éri meg feladni a dolgozóknak a szaporodás lehetőségét? A probléma feloldására egészen a 20. század második harmadáig kellett várni, amikor a William D. Hamilton által megfogalmazott *inkluzív fitnessz* elmélet megfelelő tudományos keretet hozott létre a jelenség vizsgálatára.³ Eszerint, mivel a hangyadolgozók (akárcsak a méh- és darazsdolgozók) a rájuk jellemző sajátos haplodiploid⁴ genetikai rendszer következtében átlagosan „rokonabbak” ($r = 0,75^5$) húgaikkal, nővéreikkel,⁶ mint saját utódaikkal ($r = 0,5$), „kifizetődőbb” nőtény testvéreket segíteni, nevelni, mintsem saját utódok létrehozatalára fordítani energiájukat. Ilyen kontextusban, bizonyos alapfeltételek teljesülése esetén (egyetlen és csupán egy hímmel párzó királynő jelenléte a kolóniában⁷) már magyarázható, hogy milyen pozitív evolúciós hozadék nyomán lesz „vállalható” a sterilitás a rokonok gondozásáért cserében. Mára már az is nyilvánvalóvá vált, hogy a steril kaszt létén alapuló euszociális életmód létrejöttének magyarázatához a *szülői manipuláció* lehetőségét és a társas életből fakadó *ökológiai előnyök* sokaságát is figyelembe kell vennünk.⁸

Hangyák a szagösvényen

■ Az inkluzív fitnessz elmélet ugyan megfelelő vizsgálati keretet biztosít a társas életmód és ezen belül a rokonokhoz fűződő önzetlen viselkedés evolúcióbiológiai vizsgálatához, de egy hangyakolónia napi működésének mikéntjeit az egyedek közötti kommunikáció tanulmányozása fedheti fel csupán, hiszen a kommunikáció az, ami ténylegesen összefűzi az egyedeket egy jól működő szociális rendszerré. Egy hangyakolóniában zajló forgatagot szemlélve önkéntelenül arra gondolnánk, hogy az

ezer meg ezer vagy akár millió meg millió egyed hatékony kooperálása egy közös cél érdekében csakis nagyon bonyolult kommunikációval érhető el, amelynek összetettsége feltehetően felér az emberi kommunikációval. A hangyák (avagy a rovarok általában) „nyelve” azonban az emberétől teljesen eltérő, elsődlegesen kémiai alapokon nyugszik. Minden hangyaegyed egy-egy hat lábbon járó apró vegyi üzem: testükben tíznél is több külső elválasztású mirigy képez különböző összetételű, a kommunikáció különböző módozataira használható szaganyagokat, feromonokat.⁹ A „fül” pedig a hangyák fején található két térdelt csáp végén elhelyezkedő számos érzékelőegységből áll. D’Ettorre és Moore (2008) szavaival élve: „A rovarok »kémiai nyelve« betűk helyett atomokból álló »szavakon« alapul, s az atomokból molekulákat összerakva eltérő értelemmel bíró »mondatok« alakíthatók ki. Az emberi nyelvvvel való analógia ugyanakkor a legjobb esetben is csupán egy szerény közelítés, hacsak nem találunk rá hamarosan egy kémiai »nyelvtanra« vagy valamiféle szimbólumok létezésére a rovarok kommunikációjában.”¹⁰

A hangyakommunikáció hatékonyságának talán leglátványosabb megnyilvánulása az új táplálékforrásokhoz vezető forgalmas hangyaösvények gyors kialakulása. A nagyméretű, azaz egy egyed által nem elcipelhető táplálékforrást felfedező hangya a forrás minőségi ellenőrzését követően a lehető legrövidebb úton visszatér a kolóniához, miközben potroha végét megadott ritmussal oda-oda érinti az aljzathoz. A potroh végében található Dufour-mirigy által termelt feromon cseppekben hull az aljzatra, és emberi szemmel nem látható, emberi orral nem érzékelhető feromon-alagutat alakít ki. Az ösvényjelző feromon összetétele fajoként változó, sőt egyes fajoknál más mirigyek is szerepet játszhatnak az ösvény kialakításában. A kolóniához visszaérkezve a sikeres felfedező társakat toboroz, rekrutál a forrás kiaknázásához. Ennek, fajtól függően is, több módozata van, lehet közvetlen és közvetett (Hölldobler és Wilson 1990).

A legegyszerűbb közvetlen rekrutálási mód a *tandem*: azaz a felfedező egy másik egyeddel találkozva intenzíven tapogatni kezdi csápjával társa fejét, majd egy táplálékmintacseppet ad át szájából a társnak, mintegy reklámként. Rövidesen megfordul, és visszaindul a táplálékforráshoz, miközben a táplálékmintától izgalomba jött rekruta szorosan követi a felfedezőt, állandó fizikai kontaktust fenntartva vele – pl. folyamatosan dobolva csápjával potrohán. A tandem esetében feromonösvényre általában nincs szükség, viszont ennek az a következménye, hogy amennyiben véletlenül megszakad a közvetlen kapcsolat a két hangya között, akkor a követő elvész, azaz nem fogja megtalálni a forrást. Éppen ezért hatékonyabb közvetlen módozat a *csoportrekrutálás*: a sikeres felfedező az előzőekhez hasonló módon aktivál más egyedeket, de ezúttal egyszerre többet, s ráadásul a forrásig vezető feromonösvényt is rak. Ilyen módon a rekrutáknak már nem kell szoros kontaktust kialakítaniuk a vezetővel, csupán a feromonösvényre kell ráállniuk, és csápjukkal állandóan letapogatva követniük kell az ösvényt. A táplálékforrástól visszatérőben az új rekruták is feromoncseppeket helyeznek el az aljzaton, ilyen módon erősítve meg újra és újra ezt az illékony utat, majd a kolóniához érve, a felfedezőhöz hasonlóan ők is csoportrekrutálásba kezdhetnek.

Amennyiben a feromonösvény kellőképpen megerősödött, s az ösvényen való forgalom is megnőtt, bizonyos küszöbérték elérével a közvetett *tömegrekrutálás* is beindulhat, valahogy olyan módon, ahogy az utcán a csődületek is kialakulnak spontánul, ahogy egy kritikus tömeg létrejöttével egyre több érdeklődő áll meg és csatlakozik az ácsingózókhoz. Ez esetben az egyre nagyobb feromonkoncentráció fog vonzó hatást gyakorolni a közeli egyedekre, és egy elszaladási effektus érvényesül: pozitív visszacsatolással egyre több egyed csatlakozik az ösvényhez, amely ezáltal újfent egyre több egyedet fog vonzani. Persze általában a táplálékforrások véges

nagyságúak, vagyis nem férhet hozzájuk csak véges mennyiségű egyed. Ennek köszönhetően a rekrutálás negatív visszacsatolással fog leállni, azaz minél többen vannak a tápláléknál, annál több késve becsatlakozó maradhat hoppon a kiaknázók túltelítettsége miatt.

Az ösvényjelző feromonok révén való tájékozódás látszólag nagyon pontos lehet. Valójában azonban az egyedek fajtól és körülményektől függően egy bizonyos hibaszázalékkal követik az ösvényt, s ennek pontossága hangyáknál meglehetősen tág értékek között (18–74%) változik (Pasteels és mtsai 1987). Bár kiindulásként azt feltételezhetjük, hogy a kommunikációs hiba eleve rossz, és evolúciósan nem támogatott, valójában egy kismértékű hiba hasznos is lehet, hiszen amennyiben egy hangya „letéved” a feromonösvényről, akár újabb táplálékforrásra is akadhat a már megtalált közelében (Pasteels és mtsai 1987). Márpedig ennek meglehetősen nagy lehet a valószínűsége, amennyiben feltételezzük, hogy a természetben a táplálékforrások gyakran csoportosan jelennek meg. Nem kell messze mennünk a hasonlattal: számos földrajzi és tudományos felfedezéshez vezetett egy kisebb-nagyobb mellémérés, tévedés. A rekrutálási pontosság ugyanakkor adaptív tulajdonsága a kolóniáknak, hiszen hosszú távon stabil források esetében a pontosság fokozása az előnyös, míg a véletlenszerűen előforduló források esetében a „zajosabb” kommunikáció a támogatott. Kis kolóniáknál ellenben a kommunikációs zaj mindig hátrányos, mivel lehetetlenné teszi a források hatékony kiaknázását. Az optimalizálás tehát egyúttal a pontosság és a pontatlanság közötti megfelelő kompromisszum megtalálását is jelenti (Pasteels és mtsai 1987).

Sokáig az is rejtélyesnek tűnt, hogy a hangyák két, a kolóniától eltérő távolságra levő, de azonos minőségű táplálékforrás esetében hogyan tudják eldönteni, melyik a közelebbi. Hasonlóan az egyedek közötti komplex kommunikációra utaló optimális döntés születik az egyszerre felfedezett, azonos távolságra levő, de minőségben különböző források esetében, amikor is a hangyák túlnyomórészt a jobbat fogják „választani”. Egyfelől, úgy tűnik, az ilyen jellegű kollektív döntéshozatal bonyolult kommunikációs módozatokat, központi tervezést és koordinációt feltételez. Másfelől azonban a válasz lényegesen egyszerűbb, és a fizikában és kémiában régóta ismert önszerveződés elméletéből szűrődik át a hangyák világába (Detrain és mtsai 1999): viszonylag egyszerű individuális viselkedésminták szociális kontextusba helyezve, azaz egyedek közötti közvetett vagy közvetlen interakciók lehetőségével megspékelve bonyolult, az alapoktól minőségben és mennyiségben is eltérő, komplexnek tűnő mintázatot eredményezhetnek. Jelesül a hangyáknak nem kell tudniuk azt, hogy a két forrás közül melyik van közelebb, de az sem szükségeltetik, hogy egy központi egyed (pl. anekdotikusan a királynő) hozza meg és kommunikálja feléjük a döntést. Csupán csak annak a feltételnek kell teljesülnie, hogy minden esetben visszatérve a forrástól az egyedek feromonösvényt rakjanak, majd a közelebbi és a távolabbi forráshoz vivő ösvények közötti választásban a nagyobb feromonkoncentrációval rendelkezőt preferálják pl. a tömegrekrutálás folyamata során. Ilyen körülmények között joggal feltételezhetjük, hogy a közelebbi forrásról hamarabb érnek vissza a kolóniához az egyedek, és hamarabb is térhetnek oda vissza, ami azt eredményezi, hogy az egységnyi idő alatt elillanó feromonból kialakuló rövidebb szagösvény nagyobb stabilitással fog rendelkezni, mint a távolabbi forráshoz vezető. Mindez rövid idő alatt a feromonkoncentráció jelentős megnövekedéséhez vezet pozitív visszacsatolás révén a rövidebb ösvényen, ami, értelemszerűen, robbanásszerű forgalomnövekedést vált ki. Egyszerű, de nagyszerű módon, kommunikációs komplexitás híján is létrejött a kollektív döntés (Pasteels és mtsai 1987, Detrain és mtsai 1999).

A hangyák gazdag mirigyrendszere azonban nem csupán békés célokra használható. A *Formica* génuszba tartozó hangyafajok (mint például az erdei vöröshangya –

Formica rufa) és rokonaik hangyasavat termelnek, amellyel hatékonyan képesek védekezni vagy támadni. Ugyanakkor ez a termék nem csupán harcászati bevetésre jó, de riadózásra is alkalmas. Egy „megtámadott” hangya rögvest hangyasavcseppet bocsát ki, ami kiváltja a közelében tartózkodók ideges reakcióit: nyitott rágókkal, hangyasavspriccelésre kész begörbített potrohhal kezdenek fel-alá rohángálni az elleniséget keresve, miközben maguk is hangyasavcseppeket bocsátanak ki. Néhány másodperc alatt a teljes kolónia riadóztatása megtörténik, miközben a levegőbe kerülő, a riadóztatást szolgáló hangyasav is kellemetlenül érintheti a támadót. Vagyis a haszon kétszeres.

Én, te, ők és a kódfejtők – az egyedfelismerés alapjai

■ Egy több ezer, hát még több millió egyedből álló kolónia életét szemlélve automatikusan felüti fejét a kérdés: honnan ismerik fel az egyedek egymást, miről tudják megállapítani, hogy ők mind ugyanazon kolónia tagjai? Avagy megfordítva a kérdést: honnan ismerik fel az idegen kolóniák, fajok tagjait? Emberként, felszínen élőként az a magyarázat tűnik természetesnek, hogy a hangyák, hiszen szép nagy összetett szemük van, bizonyára látás útján különítik el a barátot a riválistól. Ez akár működhetne is, amennyiben színben, alakban jelentősen eltérő fajokról van szó, de a szem aligha lenne alkalmas eszköz az azonos fajhoz, de rivális kolóniákhoz tartozó egyedek közötti megkülönböztetésre. A látás egyedfelismerésben való szerepének fontosságát önmagában már az a tény is bizonytalanná teszi, hogy a hangyák életük legnagyobb hányadát nem a földfelszínen, hanem a hangyafészkekben, azaz sötétségben töltik.¹¹ Itt pedig vajmi kevés hasznát látják a szemnek. A segítség ebben az esetben is a szagok irányából jön.

A hangyák kitinkutikulájának felszínét ugyanis egy sajátos szagréteg burkolja. Ez az ún. kutikuláris szénhidrogénprofil (CHC-profil), amelynek egy része genetikailag meghatározott, azaz örökletes illat, amely fajspecifikus, s ehhez adódik a szerzett szagkomponens vagy fészkekillat, amely a fészkekben uralkodó viszonyoknak (fészkekanyag típus, táplálék, mikroklíma stb.) köszönhetően jön létre. E két nagy komponens keveredéséből alakul ki az a CHC-profil, amely a hangyák esetében háromszintű egyedfelismerést tesz lehetővé: (a) fészektárs-felismerést s ezáltal a más fajokhoz, illetve más kolóniákhoz tartozó egyedek azonosítását; (b) a fészken belüli egyedcsoportok azonosítását (pl. munkakörök, reproduktív állapot szempontjából); és végül specifikus esetekben (c) kolónián belüli egyedi azonosítást, pl. amennyiben több, a későbbiekben rivalizáló királynő alapította eredetileg a kolóniát, majd a későbbiek során köztük dominanciarend alakul ki, lehetővé válhat a rivális egyed felismerése (D’Ettore és Moore 2008, Sturgis és Gordon 2012).

Az elhullt egyedek felismerése is a CHC-profilban bekövetkezett változások alapján történik. Egy hangya elpusztulása után bizonyos szabaddá váló zsírsavak és egyes észterek felelősek az ún. „tetemszag” kialakulásáért (Wilson és mtsai. 1958). A jel specifikus és erős voltára utal az a tény is, hogy kísérleti körülmények között egy „tetemszagkeverékkel” bekent élő egyed is tetemcipelési reakciót vált ki a fészektársakból, így bármennyire is szabadkozik, rövid úton a fészektől tisztes távolságban található diffúz szeméttelen találja magát, ide cipelik ugyanis ügybuzgó társai (Wilson és mtsai 1958).

Vajon feltörhetetlenül komplex-e az egyedfelismerést lehetővé tevő CHC-kód? De hát ugyan miért állna érdekében bárkinek, bárminek is feltörni ezt a kódot? Egy euszociális rovar kolóniája igencsak vonzó lehet bármilyen parazita számára, elvégre egy ilyen kolónia hatalmas mennyiségű potenciális gazdát kínál térben és időben koncentráltan. Ráadásul a fészkek védelmet biztosíthat a parazitának nemcsak ellen-

ségeivel szemben, hanem a külső klimatikus változásokat is megfelelően pufferozza, mondhatni a körülményekhez képest jól szabályozott hőmérséklettel és páratartalommal rendelkezik. Számos ízeltlábú lény próbál ennek megfelelően beférkőzni a hangyakolóniákba, hol azért, hogy táplálékot csenjen el a hangyáktól, hol azért, hogy a petékből és a lárvákból belakmározhasson fészektársnak álcázva magát. A kémiai mimikri egyik legismertebb példája a hangyaboglárkák (*Maculinea* spp.) parazita hernyóinak álcázási stratégiája. A hernyók, miután a harmadik lárvastádiumig fajtól függetlenül bizonyos növények (pl. bizonyos tárnicsfajok) virágjaiban fejlődnek, az utolsó stádiumban a földre pottyannak, és itt egy adott hangyafaj (*Myrmica* spp.) királynő-lárváinak specifikus CHC-profilját öltik magukra rövid idő alatt, s így elérik, hogy a gyanútlan dolgozók a fészekbe cipeljék őket, ahol majd megfelelő körülményekre találva fejlődhetnek tovább (Als és mtsai 2004).

Azonban nemcsak más ízeltlábúak élnek a család lehetőségével, hanem más hangyák is. Az egyik legismertebb *szociálp parazita*¹² stratégia a rabszolgotartás (Hölldobler és Wilson 1990): a rabszolgotartó faj időszakonként ún. rablóhadjáratot indít bizonyos fajok kolóniái ellen, amelynek során a megtámadott fészekből bábokat és csakis bábokat rabol el és szállít saját fészekébe. Az idegen fészkekben a bábból kikelő ún. rabszolgák sajátjukként fogadják el a rabszolgotartó faj kolóniáját, és bekapcsolódnak az itt zajló tevékenységekbe az utódgondozástól a fészeképítésig. Bizonyos rabszolgotartó fajok esetében, mint például az európai amazonhangya (*Polyergus rufescens*), kizárólagosan a rabszolgák gondozzák a rabszolgotartó utódaikat, etetik a kolónia tagjait, és látják el minden egyéb feladatot a rabszolgahadjáratokon és a fészekvédelmen kívül, bár néha ezekben is részt vesznek. Hogyan sikerül átverni őket, miért fogadják el a rabszolgotartót? Valójában nincs szó átverésről. Egy hangyaegyed CHC-profilja a bábból való kikelést követő rövid időszakban a legplasztikusabb, ilyenkor az egyed valósággal *tabula rasa*. Amennyiben a rabszolgotartó fajjal közeli rokon gazdafajról van szó (mint a legtöbb esetben), akkor a CHC-profil örökletes alapjai eleve hasonlóak a rabszolgotartóéhoz – pontosabban az evolúció során a rabszolgotartó CHC-profilja hasonul könnyebben a rabszolgaéhoz –, illetve a bábból való kikelést követő néhány nap alatt a rabszolgaegyedek a gazdakolónia fészekszagát fogják beépíteni a saját CHC-profiljukba. Mivel a szag fontosabb, mint a kinézet, ezért fordulhat elő az a számunkra paradoxálisan tűnő helyzet, hogy a kert végében nyaranta többször végigvonuló gyönyörű vörös, megtermett amazonhangyákból álló hadoszlopban ott láthatjuk buzgón rohanni a lényegesen kisebb, karcosabb, feketés színű rabszolgahangyákat, mit sem sejtve arról, hogy esetleg saját valamikori kolóniájuk ellen vonulnak fel. A janicsárstratégia korántsem új keletű, és nem az emberi hadviselés gonosz találmánya.

Ennél ravaszabb dologra is képes az amazonhangya, akárcsak más, hasonló stratégiájú társai. A rabszolgotartó kolóniák csakis úgy jöhetnek létre, ha az alapító fiatal amazonhangya-királynő egy rabszolgafajhoz tartozó kolóniába férkőzik be, megöli az eredeti királynőt, és átveszi annak helyét, elfogadtatva magát a rabszolgaegyedekkel. Habár elég mesésnek hangzik, az amazonhangya-királynők képesek erre. Amint ráakadnak egy potenciális gazdakolóniára, ún. pánikferomont bocsátva ki bejutnak a fészekbe, és elpusztítják az eredeti királynőt, többé-kevésbé átvéve annak CHC-profilját. A rabszolgafaj egyedei azonban agresszívan viszonyulnak a trónbitorlóhoz, s ezt a problémát kezelendő a bitorló egy specifikus észtert bocsát ki, amely nyugtatólag, sőt vonzólag hat a rabszolgaegyedekre (Mori és mtsai 2000). Így néhány órával a sikeres hatalomátvétel után a bitorlót már népes rabszolgasereg gondozza, mint-ha mi sem történt volna. Ha mindenképpen humán paraméterekben gondolkodunk, ez a tett a legvadabb akciófilmek moziközönség-mosolyogtató jeleneteit idézhetné fel bennünk, amikor is a hős egymaga berohan könnygázba burkolva az ellenség százasa,

ezres létszámban védett főhadiszállására, megöli a fővezért, miközben tökéletesen el-sajátítja az ellenség nyelvét, annak akcentusával együtt, és megkérdőjelezhetetlenül elhitheti az ellenség katonáival bódító gáz segítségével, hogy ő tulajdonképpen a meg-ölt fővezér. Ugyan melyik akciófilmhős lenne képes ezt hitelesen előadni?

A hangyák nyelve izgalmas nyelv. Emberi füllel nem hallható, emberi orral fel nem fogható. D'Ettoire és Moore már idézett metaforikus képénél maradva: ha ver-selni tudnának, valószínűleg a legelegánsabb parfümjeink sem érnének fel egy hangyaszonett harmóniájával.

■ JEGYZETEK

1. Az emlősök között csupán két euszociális faj ismert: az afrikai csupasz földikutya vagy csupasz turkáló (*Heterocephalus glaber*) és szintén afrikai szőrös rokona, a *Fukomys damarensis*.
2. "One special difficulty, which at first appeared to me insuperable, and actually fatal to the whole theory."
3. Fitnessz = rátermetség, sikeresség. Egy adott egyed „jóságát” fejezi ki evolúciós kontextusban, azaz az egyed azon jellegét, amely genetikai anyagának a terjesztési potenciálját minősíti a következő nemzedékekben. Legrobosztusabb s leggyakrabban használt mértékegysége a létrehozott életképes utódok száma. Finomítási lehetőségek is adóttak, mint az egyedek élettartama, egészségi állapota, az életképes utódok fertilitása stb. Mindezek az értékek azonban csak akkor nyernek valós értelmet, ha egyfajta viszonyítási alapot rendelünk hozzájuk, vagyis más egyedek fitnesszmérőivel összevetjük. Hamilton *inkluzív fitnessz* elméletének alapján, leegyszerűsítve, egy egyed evolúciós értelemben vett sikerességének vizsgálatakor nem csupán a saját utóda-inak minőségi és mennyiségi mutatóit vehetjük figyelembe, hanem a rokonokét is, mivel a célegyed genetikai állománya valamilyen mértékben velük is közös. A magyar *rátermettség* kifejezés ugyanakkor nem adja vissza teljes mértékben az angol *fitness* szó valós értelmét, ezért a magyar szaknyelvben inkább a fitnessz megnevezés honosodott meg.
4. A rovarok egy jelentős részénél a hímek egyetlen kromoszómaszerelvénnyel rendelkeznek, azaz haploidok, míg a nőstények két kromoszómaszerelvénnyel (diploidia), hozzánk hasonlóan. Értelemszerűen ebből az következik, hogy a hím utódok létrehozatalához elégséges egy meg nem termékenyített petesejt (haploid), míg a nőstény utódok létrehozásáért megtermékenyítést feltételez.
5. Az *r* a rokonsági fok korrelatív alapú mérőszöke két szervezet között, nem tévesztendő össze a genetikai hasonlósággal. Az *r* -1 és +1 szélsőértékek között mozog, alapját a két egyed által közös leszármazás révén birtokolt gének (*allélek*) aránya képezi.
6. A haplodiploid szervezeteknél a nőstények hím testvérekkel való rokonsági foka alacsonyabb ($r = 0,25$), mint a diploid szervezeteknél ($r = 0,5$).
7. Amennyiben egy királynő többször párizk, az eltérő apától, de ugyanattól az anyától származó utódok között már alacsonyabb a rokonsági fok. Ha ugyanakkor egy kolónián belül ráadásul több (akár egymással nem rokon) királynő van jelen, akkor a dolgozók közötti átlagos rokonsági fok tovább csökken.
8. A társas rovaroknál a királynő(k) gátló feromonok, míg a dolgozók gondozásuk révén befolyásolhatják (manipulálhatják) egy lárvá fejlődését, meghatározva ezáltal, hogy dolgozó vagy királynő fejlődik ki. A manipulálás legegyszerűbb módja a lárváknak nyújtott táplálékspektrum alakítása, ugyanis bizonyos anyagok hiánya (pl. méhpempő a méheknel) egyes szervek teljes kifejlődését gátolja.
9. A feromon a fajon belüli kommunikációban szerepet játszó vegyi anyag, amelyet egy egyed a külvilágba bocsát, majd egy másik egyed specifikus válasszal reagál a kiadott jelre, például egy jellegzetes viselkedési vagy fejlődési (élettani) reakcióval.
10. „The »chemical language« of insects is based on »words« made of atoms instead of letters that can be combined in molecules to build »sentences« with different meaning. However, the analogy with human language is approximate at best, unless we were to discover something similar to a »grammar« of chemicals and arbitrary symbols [...] when insects use molecules.”
11. A *fészke* a kolónia egyedei által elfoglalt térbeli egység, ahol lárvákat, petéket találunk, illetve a királynő(ke) is. A *kolónia* az egyedek összességét jelenti, ezek akár több, egymással állandó kapcsolatban lévő fészkekben is elhelyezkedhetnek (többfészkes kolónia). A *boly* ugyanakkor egy fészke felszínén látható része. Többnyire csak a nagyobb, a felszíntől jól elkülönülő struktúrát nevezzük bolyoknak (pl. erdei vöröshangyaboly). A hangyafajok többségének fészke azonban nem válik láthatóvá a felszínen boly formájában.
12. Szociálp parazitának tekinthető minden olyan faj, amely egy társas rendszerben zajló tevékenységet, annak eredményét használja ki és nem önmagában csak egy egyed.

■ IRODALOM

- Thomas Damm Als és mtsai: *The evolution of alternative parasitic life histories in large blue butterflies*. Nature 2004. 432. 386–390.
- Charles Darwin: *The origin of species*. P. F. Collier & Son, New York, 1909.
- Claire Detrain és mtsai: *Decision-making in foraging by social insects*. In: Claire Detrain (szerk.): *Information Processing in Social Insects*. Birkhäuser Verlag, Basel, 1999. 331–354.
- Patrizia d'Ettoire – Allen J. Moore: *Chemical communication and the coordination of social interactions in insects*. In: Patrizia d'Ettoire – David P. Hughes (coord.): *Sociobiology of Communication: an interdisciplinary perspective*. Oxford University Press, Oxford, 2008. 81–96.
- William D. Hamilton: *The genetical evolution of social behavior*. Journal of Theoretical Biology 1964. 7. 1–52.

- Bert Hölldobler – Edward O. Wilson: *The Ants*. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1990.
- Alessandra Mori és mtsai: *Behavioural assays testing the appeasement allomone of *Polyergus rufescens* queens during host-colony usurpation*. *Ethology Ecology & Evolution* 2000. 12. 315–322.
- Jacques M. Pasteels és mtsai: *Transmission and amplification of information in a changing environment: the case of insect societies*. In: Ilya Prigogine – Michele Sanglier (coord.): *Law of Nature and Human Conduct*. Brüssel, 1987. 129–156.
- Shelby J. Sturgis – Deborah M. Gordon: *Nestmate recognition in ants (Hymenoptera: Formicidae): a review*. *Myrmecological News* 2012. 16. 101–112.
- Edward O. Wilson és mtsai: *Chemical releasers of necrophoric behavior in ants*. *Psyche* 1958. 65. 108–114.

