

SZABÓ GYÖRGY

Snóblizás sakktáblán



egymással kölcsönhatásban álló fajok mi-
képpen módosítják egymás utódlétrehozó
képességét [1]. Ez a felismerés vezetett el
az evolúciós játékelmélethez, ami az utódlé-
trehozó képességen keresztül fogalmazza
meg a darwinizmus elméleti háttérét, azaz
matematikai formulák segítségével fejezi
ki, hogy a sikeresebb (magasabb utódlétre-
hozó képességű) faj szaporodik az átlaghoz
képest sikertelenebbek kárára. Az evolúciós
játékelmélet alapeszméinek megfogalmazá-
sát követően ismertette Leigh Van Valen az
úgynevezett Sötét Királynő- (angolul Red
Queen) hipotézist [2]. Az elnevezés Lewis
Caroll Alice Tüskörországban című mesere-
gényéhez kötődik. A mesében Alice eljut
a Sötét Királynő kertjébe, ahol csak állandó
futással lehet egy helyben maradni. Van
Valen ezt a történetet használta fel arra, hogy
szemléltesse azokat a biológiában gyakran
megfigyelhető jelenségeket, amikor az ál-
landóságot az állandósult változás tartja fent.
Második és harmadik cikkében világosan
körvonalazta, hogy a snóblira hasonlító játé-
kok segítségével lehetne számot adni azokról
a biológiai jelenségekről, amikor az egymás-
sal versengő fajok állandó mutánsképessé-
vel, illetve új tulajdonságok kifejlesztésével pró-
bálnak evolúciós előnyhöz jutni versenytár-
saik kárára.

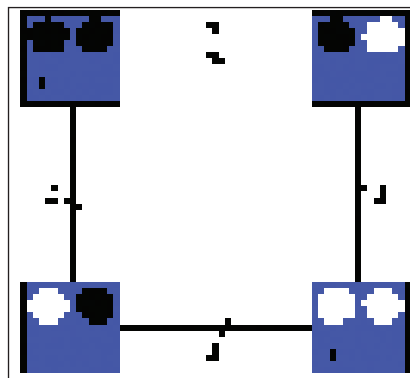
Hasonló jelenséggel azonban az élet
más területein is találkozhatunk. Az egyik
közismert példa szerint a bűnözők és a
bűnüldözők is folyamatosan fejlesztik
módszereiket, és ennek köszönhetően van-
nak jelen mai társadalmunkban is. Ehhez
hasonlóan a hadihajók páncélatának és
ágyúinak fejlesztésének háttérben is tet-
ten érhető ez a folyamat. A közzgazdaság-
tanon belül a vásárlók és eladók, a társa-
dalmi folyamatoknál a munkamegosztás
által diktált szerepszétválásnál az egymást
befolyásoló kölcsönhatások sorozatában
lehet jelen ez a folyamat.

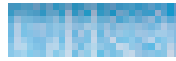
A Sötét Királynő-hatás akkor írható le a
snóblizással, ha az eredeti játékon változta-
tunk. Az ismétlődő játéknál elegendő any-
nyit újítani, hogy a játékosok nem egyszer-
re, hanem váltogatva (vagy véletlen sor-
rendben) módosíthatják előző döntésüket.
A nyerésben levő játékosnak nyilvánvaló-
an nem éri meg áttérni a másik lehetőség-
re. Ezzel szemben, a vesztesre álló játékos
nyerő helyzetbe kerül, ha változtat. Ezt kö-

Néha még ma is előfordul, hogy két
embertársunk snóblizással dönti
el, hogy ki vállalja a közös mun-
ka kellemetlen részét. Régebben azonban
ez az egyszerű játék arra szolgált, hogy játé-
kostársunktól pénzt nyerhessünk olyan
módon, hogy mindkét játékos egyszerre
döntötte el, hogy a tenyerében levő azo-
nos pénzérmét (pl. ötförintost) fejjel vagy
írással fordítja felfelé. A játékosok előze-
tes megállapodása alapján, ha a két érme
az azonos oldalát mutatta, akkor az egyik
– ellenkező esetben pedig a másik – játé-
kos nyert, vagyis vihetette mindkét érmét.
Ez a játék a legegyszerűbb nulla-összegű
játékok közé tartozik a játékelméleten be-
lül. Az ajánlott stratégia mindkét játékos
számára: ötven-ötven százalékos valószínű-
séggel véletlenül választani a két lehetősé-
g közül. Ezt valószínűsítjük meg a játékosok
akkor, amikor pénzérme feldobásával dön-
tenek. Ha ettől valamelyikük eltér, akkor a
másik számára lehetőség nyílik arra, hogy
sokszoros ismétlésnél nyerjen. Ez azt is je-
lenti, hogy ettől az ajánlástól egyiküknek
sem éri meg eltérni. Ugyanakkor, ezzel az
ajánlott stratégiával a játék valójában sze-
rencsejátékká alakul, vagyis az aktuális
nyeremény a véletlen függvénye.

A 70-es években ismerték fel az elmé-
leti biológusok, hogy a játékelmélet nyere-
mény fogalmával, illetve annak matematikai
megfelelőjével jellemezhetik azt, hogy az

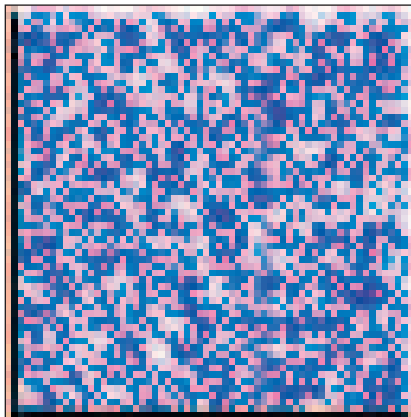
1. ábra. A snóblizás játék folyamábrája. A négy kék négyzetben fehér és fekete körök jelölik a játékosok fej vagy írás választását, a számpárok pedig a játékosok nyereményét mutatják. Az irányított élek mentén a számok a stratégiáját változtató játékos nyereményének növekedését, vagyis a változtatás hajtóerejét adják meg





vetően azonban a másik játékosnak éri meg változtatni, és ezt meg is fogja tenni az első adandó alkalommal. A változtatásával egyúttal megteremti a szükségeszerű változtatás körülményeit a játékosárs számára. Más szavakkal, a fej-fej választás fej-írásba fejlődik, ami írás-írás párrá, majd pedig írás-fejé alakul át, és a negyedik lehetőség után visszajutunk a kiinduló fej-fej állapotba. A változás természetesen a végtelenségig ismétlődhet. Az **1. ábrán** ezt a tulajdonságot fejezi ki a játék folyamábrája, ahol az irányított gráf pontjai a négyféle lehetőséget, az élek pedig az egyoldalú változásokat és irányukat jelölik. Ebben a játékban nincs megállás, a folyamatosan újraképződő elégedetlenség vagy a nyerő helyzetbe jutás lehetősége (beépített örökmozgóként) fenn tartja a ciklikus ismétlődést.

A sokszereplős térbeli evolúciós játékelméleti modellek legegyszerűbb változatainál a játékosok egy négyzetrács pontjain helyezkednek el [3]. A közöttük meglévő kölcsönhatást a játékelmélet eszközeivel írjuk le. Feltételezzük, hogy mindegyik játékos a lehetséges stratégiák egyikét használva játszik egy-egy játékot mindegyik szomszédjával. A stratégia a biológiai rendszerben a játékos fajtát, a társadalmi rendszerben pedig a viselkedését képviseli. Az evolúciós folyamat során megengedjük, hogy a véletlenül kiválasztott játékosok egymást



2. ábra. A fej (világos) vagy írás (ké) választásokról készített pillanattfelvétel az evolúciós snóbli játéknál egy 60x60-as négyzetrácson

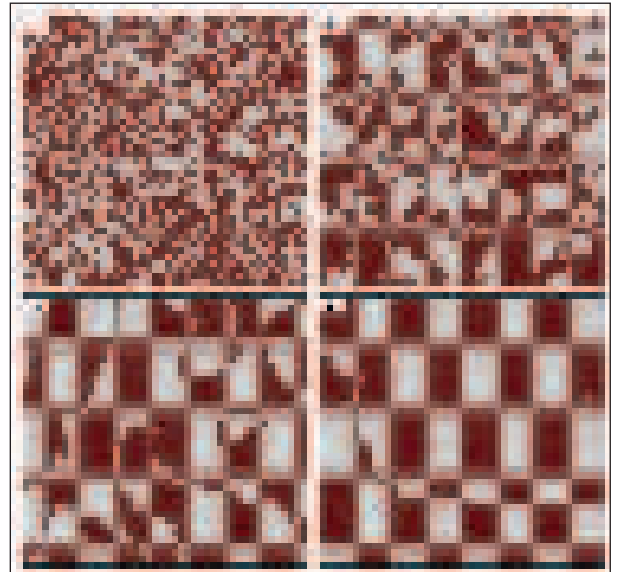
követően módosíthatják a stratégiájukat annak érdekében, hogy egyéni nyereményüket egy másik stratégia választásával növeljék. A stratégia módosítása során a valóság pontosabb leírása érdekében megengedjük a tévesztés lehetőségét, azaz egy játékos választhatja a számára hátrányos stratégiát is egy olyan valószínűséggel, aminek mértéke exponenciálisan csökken a veszteségével. A tévedés nagyságát egy zaj amplitúdóval jellemezzük, ami hasonlít a fizi-

kai modellek hőmérséklet fogalmához. Ezek a modellek a számítógép képernyőjén megjelenítik az evolúciós folyamatot. Ugyanakkor a számítógépes modellekben számszerűsíthetjük a véletlen kezdőállapottól indított végállapot összetételét, vagyis azt, hogy az egyes stratégiákat a közösség hányad része választotta átlagosan egy tipikus végállapotban. Természetesen arra is van mód, hogy megvizsgáljuk a közösség összesített nyerevényét a paraméterek függvényében.

Ha a kölcsönhatást egy snóbli játék írja le, akkor a négyzetrácson elhelyezkedő játékosokat ugyanúgy kell megkülönböztetni, mint a sakktábla világos és sötét négyzeteit, ami ebben az esetben azt jelöli, hogy az egyik fajta játékos a szomszédos stratégiák egyezésénél nyer, a másik pedig a különbözőségénél. A sakktáblaszerű elrendezés eredményeképpen minden játékos négy olyan szomszédal játszik, akik az ellenkező fajtához tartoznak. A stratégiák térbeli eloszlásáról készített bármely pillanattfelvételen egy teljesen véletlen eloszlást látunk, amint az a **2. ábrán** látható.

Az időbeli fejlődésben azonban már megfigyelhető egy szabályosság, ami a stratégiák időbeli változásában egyfajta irányítottság formájában jelenik meg. Ez a fajta irányítottság hiányzik az élettelen anyagok viselkedésében, ahol két mikroszkopikus állapot azonos gyakorisággal fejlődik egymásba. Ezt a tulajdonságot a statisztikus fizikában, illetve a termodinamikai rendszerekben a részletes egyensúly fogalma fejezi ki, ami akkor teljesül, ha bármely két mikroszkopikus állapot között az oda- és visszaugrás gyakorisága megegyezik.

A snóbli játék adja kezünkbe azt a fajta mikroszkopikus kölcsönhatást, ami a részletes egyensúlytól való eltérés egyik elemi hajtóerejének tekinthetünk. A hatása már akkor is felismerhető, ha a két játékos nyerevényének csak egy kis hányada származik ebből a játékból. Leglátványosabb hatás akkor következik be, ha a nyerevény nagyobb része például egy héja-galamb játékból származik, mert ilyenkor egy meglévő struktúrát vagy szimmetriát képes szétrombolni a Sötét Királynő-hatás.



3. ábra. A héja (barna) és galamb (szürke) stratégiák térbeli eloszlásának fejlődése, ha a négyzetrácson elhelyezett játékosok viszonylag alacsony zaj mellett módosíthatják saját stratégiájukat. Az egymást követő pillanattfelvételek a véletlen kezdőállapottól (a) kialakuló mintázatot mutatják miután a játékosok átlagosan 10 (b), 100 (c), és 1000 (d) lehetőséget kaptak döntésük módosítására

Héja-galamb játék négyzetrácson

A héja-galamb játék olyan élethelyzetek leírására alkalmas, amikor a kétféle lehetőség között választó két játékos számára az ellentétes döntés a legelőnyösebb. A játék névadó története a konfliktuskerülő (galamb) és agresszív (héja) magatartás közötti választásra utal osztozkodáskor. Ha mindketten a galamb magatartást követik, akkor fele-fele arányban osztozkodnak a hasznon. A héja a galamb ellenében elviszi a teljes jövedelmet. Két héja azonban megverekszik a haszonért, és olyan mértékű károsodást okoznak egymásnak, aminek eredményeképpen rosszabbul járnak, mint egy kismizett galamb. A snóblizással ellentétben ez a játék szimmetrikus abban az értelemben, hogy ha a játékosok azonos stratégiát követnek, akkor a nyerevényük megegyezik, ha pedig a különböző stratégiájukat megcserélik, akkor a nyerevényük is felcserélődik. Ennél a játéknál a játékelmélet által javasolt megoldás, vagyis a tiszta Nash-egyensúly, az ellentétes stratégiák, azaz a héja-galamb vagy a galamb-héja stratégiapár választása, mert az ettől való egyoldalú eltérésben egyik játékos sem érdekelt. A két megoldás közötti választás azonban csak akkor lehetséges a játékosok számára, ha a játék során egyezkednek. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy a megállapodásnál el kell dönteni, hogy kié lesz a nagyobb haszon.

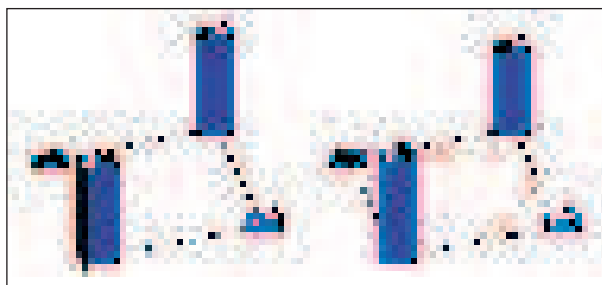
A héja-galamb játéknak van egy másik egyedi sajátossága. Ha megengedjük az

ún. kevert stratégiák használatát, vagyis azt, hogy a játékosok véletlenül válasszanak a két lehetséges döntés között, akkor az így kiterjesztett rendszerben egy újabb kevert Nash-egyensúly jelenik meg. Ez a Nash-egyensúly lesz az olyan populációdinamikai modellek egyensúlyi megoldása is, ahol feltételezzük, hogy mindenki mindenkivel játszik. Meg kell említeni azt is, hogy enyhén módosított nyeremény mátrix esetén a héja-galamb játék is az enyhébb társadalmi dilemmák [4,5] közé tartozik akkor, ha az egyoldalú „lenyúlást” megéri választani a játékosnak annak ellenére, hogy a testvéries osztozkodás együttesen magasabb jövedelmet hozna számukra.

A már ismertett térbeli evolúciós játékelméleti modell a darwini szemléletmódot követve keresi a megoldást, ugyanakkor számos jelenség értelmezését szolgálthatja. Ennek bemutatására az egyszerűség kedvéért most is négyzetárcson helyezük el a játékosainkat, akik a négy szomszédjukkal játszanak egy-egy héja-galamb játékot. A folyamat számítógépes szimulációja során a rendszert egy véletlen térbeli stratégia eloszlásból indítjuk, amint azt a **3.a ábra** mutatja. Ezt követően ismételtük az az elemi lépést, amikor egy véletlenül kiválasztott játékos módosíthatja a saját stratégiáját. Ennek valószínűsége egyhez közelít, ha a nyeremény növekedése nagyobbá válik. A valóság pontosabb leírása érdekében a hibázást is megengedjük az említett módon. A sorozatos elemi lépések eredményeképpen a számítógép képernyőjén egy tipikus doménnövekedési jelenség válik láthatóvá. A kétféle megoldás lehetősége itt kétféle (sakkárta és anti-sakkárta) stratégia eloszlás versengésévé alakul. A két megoldás közös tulajdonsága az, hogy mindkét esetben a szomszédos játékosok ellentétes stratégiát választanak. A kétféle megoldás ekvivalens. A közöttük lévő különbség egy adott játékos szempontjából azonban fontos, mert nem mindegy, hogy héja vagy galamb szerepet kell vállalnunk egy adott közösségben. A **2. ábra** azt hivatott illusztrálni, hogy az idő múlásával a kétféle megoldás egyre nagyobb tartományokon belül alakul ki. A tartományokat elválasztó határvonal mozgása ugyanis véletlenszerű és ezzel együtt a tartományok mérete is véletlenszerűen csökken vagy növekszik. Ha valamelyik eltűnik, akkor minimális annak az esélye, hogy egy

ilyen közösség valahol az „ellenfél” területén belül újra kialakulhat. Ezt a jelenséget a szilárdtest-fizikán belül sok változatban tanulmányozták az elmúlt évtizedekben. Hasonló módon alakul ki a ferromágneses és az anti-ferromágneses rend a mágneses anyagokban, illetve a hidrogénatomok rendeződése a fématomok közötti üregekben, ha magas hőmérsékletéről hirtelen hűtjük le az anyagot, de hasonló módon növekednek a kristályszemcsék az acél hőkezelése során is.

A társadalmi folyamatok megértése szempontjából ennek a modellnek két alapvető üzenete van. Az első: ha játékosaink racionálisak, vagyis sohasem választják a számukra hátrányos stratégiát, akkor a doménnövekedési folyamat és ezzel együtt az össztársadalmi haszon növekedése is rövid időn belül leáll, azaz a társadalom nem éri el az elérhető optimumot. A befagyott állapotban a stratégiák térbeli eloszlása ha-



4. ábra. A bal oldali ábrán a kék oszlopok magassága arányos a megfelelő stratégiapárok valószínűségével egy olyan evolúciós játéknál, ami termodinamikai egyensúlyhoz vezet a héja-galamb játékot játszó játékosoknál. Ebben az esetben a héja-galamb, illetve a galamb-héja stratégiák valószínűsége megegyezik. A jobb oldali ábra a valószínűségek változását mutatja, ha a nyereményeket egy kis értékű snóblli játékkal módosítjuk. A piros nyíllal jelölt hurok a snóblizás hatására kialakuló valószínűségi áram irányát jelöli

sonlít ahhoz, amit a **3.b ábra** mutat. A második üzenet kötődik az elsőhöz: a kétféle megoldás határán, azaz a frontvonal mentén, elhelyezkedő játékosoknak áldozatot kell hozni a számukra rosszabb stratégia vállalásával ahhoz, hogy a társadalom és ezzel együtt ők is elérjék az optimális értéket. A *Káosz, környezet, komplexitás* (2013) külön-számuk cikkeiben taglalt társadalmi dilemmákhoz hasonlóan itt is ellentétes az egyéni és a közösségi érdek. A végeredmény szempontjából lényegtelen, hogy az irracionális döntés hátterében tudatos kockázatvállalás, felelősség vagy akármilyen okra visszavezethető hibázás rejtőzik. Ha a hibázás gyakorisága alacsony, akkor ugyan javulhat a társadalom összesített nyereménye a végső állapotban, de a rendszer lassabban éri el a végső egyensúlyi állapotát. Ellenkező esetben, ha a zajnak tekinthető hibázás gyakorisága egy küszöbérték fölé növekedik, akkor

a rendszerben nem tud kialakulni az optimálisnak tekinthető állapot, helyette egy olyan gyorsan és véletlenül fejlődő rendezetlen állapotot látunk, aminek pillanatfelvétele emlékeztet a kezdeti állapotra. A zaj növelésével ez a modell visszaadja a szilárd testekben gyakran tanulmányozott rendezett-rendezettlen állapotváltozás legfontosabb tulajdonságait. Az említett fázisátmenet és rendeződési folyamat a szilárdtest- és statisztikus fizikában, illetve az anyagtudományon belül olyan mértékben ismert, hogy annak eredményeit a modern technológiák termékeiként mindannyian használjuk.

A térbeli héja-galamb játék által leírt lehetséges mintázatok és a fejlődési folyamatok jelentős mértékben kibővülnek, ha növeljük a stratégiák számát. A lehetséges folyamatok szisztematikusan megismerésének és feltérképezésének ma még csak a legelején tartunk. Annyi azonban már kiderült, hogy nagyon gyakori az olyan eset, amikor a különböző stratégiát választó játékosok egy sajátos (térben és időben változó) mintázatot hoznak létre és ezek a stratégiátársulások versengenek a túlélésért. A héja-galamb játékban is két ilyen ekvivalens társulás versengését láttuk. A stratégiák számának növelésével rohamosan nő a lehetséges társulások száma, egyik-másik előnyt élvezhet, ha olyan védelmi társulásként jelenik meg, ahol a társulás résztvevői megvédik egymást a külső betolakodókkal szemben. A lehetőségek tárháza olyan gazdag, hogy most az ismertetésüktől eltekintünk. Helyette megmutatjuk, hogy mi történik akkor, ha a héja-galamb játék négyzetárcson változatát kiterjesztjük olyan módon, hogy a nyeremények értékét egy kis értékű snóblizással módosítjuk.

Ez utóbbi hatás a nyeremény kialakulásában természetes módon jelenik meg a kétszereplős sokstratégias játékoknál, ha a két játékost arra kényszerítjük, hogy lehetséges stratégiáik közül csak két különböző stratégiapárra korlátozzák magukat. A jelenség két stratégiára történő leegyszerűsítésénél tulajdonképpen Einstein tanácsát követjük: „Egy modell legyen annyira egyszerű, amennyire csak lehetséges, de annál ne legyen egyszerűbb”. Ez a jó tanács felismerhető a fizikusok által előszeretettel vizsgált modelleknél és nagymértékben segítette a jelenségek univerzális tulajdonságainak azonosítását, illetve az univerzális tulajdonságok szempontjából lényeges és lényegtelen hatások szétválogatását. Kondor Imre cikke [6] több szempontból taglalja, hogy a komplex és élő rendszerek viselkedésének leírásánál óvatosabban kell eljárni, mint a fizikai modelleknél, ahol szimmetriák és megmaradási törvények egyszerűsítették le a matematikai leírást és biztosították a jelenségek robusztus voltát. Az evolúciós játékelméleti modellek különösen alkalma-

sak arra, hogy számot adjanak a rendszer viselkedésében megfigyelt érzékenységről, amikor a nagyszámú paramétert hangoljuk. Az egyszerű modell vizsgálatának azonban ilyenkor is értelmet ad az a tény, hogy általában jól körülhatárolható módon feltárhathatunk néhány alapvető mikroszkopikus mechanizmust és következményeit. Nagyon sok esetben az történik, hogy a már megértett mikroszkopikus jelenséget más formában a tudományok különböző területein tudjuk hasznosítani.

Snóblizással kiegészített héja-galamb játék sakktablán

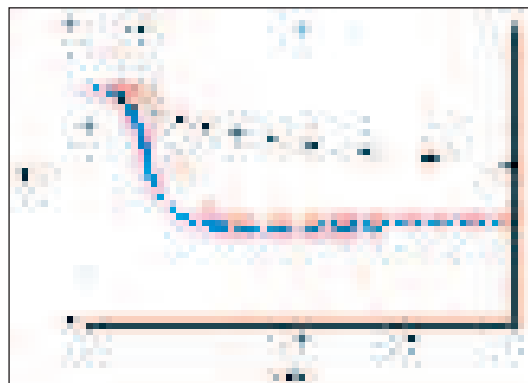
Meglepő jelenséggel szembesülünk, ha az előző két fejezetben ismertetett evolúciós játékot egyesítjük a négyzetácson, pontosabban a sakktablán, mert csak így különböztethetjük meg a snóblizókat. Bármilyen kis értékű snóblizás jellegű nyeremény megléte esetén a héja-galamb játékokra jellemző ekvivalencia a kétféle rendezett stratégia-eloszlás között megsérül. Ennek eredményeképpen az egyik rendezett állapot előnyt élvez a másikkal szemben és emiatt a végső egyensúlyi állapot is gyorsabban kialakul. Ha a végső állapot elérésének ideje fontos, akkor ezt mindenképpen a snóblizás javára kell írni. Természetesen, ha a snóblizáshoz kötődő nyeremények előjelét megváltoztatjuk, akkor ezzel a másik rendezett állapot kialakulását segítjük.

A jelenség hátterében egy olyan torlódási folyamat áll, amit a részecskék áramlása is létrehozhat a fizikai rendszerekben. Ez a torlódási folyamat hasonló ahhoz, amit kör alakú pályán az autóversenyeken is megfigyelhetünk. Ennek eredménye, hogy a kanyarok és szűkúletek előtt megnövekszik a gépjárművek sűrűsége. A közlekedési hasonlatnál maradván, a snóblizás hatására kialakult körforgalom torlódási jelenségei befolyásolják a térbeli eloszlást.

A 4. ábra azt illusztrálja, hogy mi történik egy kétszemélyes evolúciós héja-galamb játékban, ha olyan dinamikát választunk, aminél a játékosok viselkedése megegyezik a részecskék már jól ismert viselkedésével. Ebben az esetben négy lehetséges mikroszkopikus átmenetpárt lehet megkülönböztetni, amelyeket élek jelennek az ábrán. Az úgynevezett egyensúlyi rendszerekben ezen élek mentén az oda- és visszaugrás gyakorisága megegyezik. Ezt a részletes egyensúlynak nevezett állapotot rombolja szét a snóblizás azzal, hogy az élek mentén egy valószínűségi hurokáramlást hoz létre. A valószínűségi áramokra ugyanolyan törvények érvényesek, mint az elektromos áramra az elekt-

ronikus áramkörökben. Más szavakkal, a Kirchhoff-törvényeket itt is használhatjuk. Ennek következménye, hogy az állandósult állapotban a négy él mentén a valószínűségi áramok megegyeznek. Ez viszont csak úgy teljesülhet, ha a héja-galamb és galamb-héja stratégiapár valószínűsége különbözővé válik. Ezt mutatja a 4. ábra, ahol a bal alsó oszlop magassága növekedett, a jobb hátsóé viszont csökkent. Ez a jelenség annak az eredménye, hogy a galamb-galamb ill. héja-héja stratégiapár különböző mértékű szűkülésként jelenik meg a kialakult áramlásban.

A 4. ábrán vázolt hatás gyenge egy játékos-pár esetén. Ez a gyenge hatás



5. ábra. Az átlagos nyeremény (P) a zaj függvényében az evolúciós héja-galamb játékoknál, ha a négyzetácson elhelyezkedő játékosok a szomszédjaikkal játszanak. A folytonos vonal a testvériesen gondolkodó játékosok által elért eredményt jelzi. A kék nyelvek az egyéni önzésre épülő sztochasztikus (zajos) stratégiaválasztás eredményét mutatják ugyanolyan nyeremény és kapcsolatrendszer esetén. Piros körök mutatják az átlagos nyereményt, ha a kétszemélyes játékokat snóblizással kombináljuk

azonban a sokszereplős rendszerekben ugyanúgy erősödik fel, mint a ferromágneses anyagokban a külső mágneses tér hatása. Mindkét esetben az történik, hogy a szereplők közötti kölcsönhatás két lehetséges kollektív magatartás versengését eredményezi. A két játékos közötti gyenge hatás azonban felerősödik, pontosabban arányosan növekszik a rendszer vagy a rendezett tartomány méretével és végül olyan erős lesz, hogy a makroszkopikus viselkedést csupán az egyik fogja meghatározni.

A snóblizáshoz kötődő jelenségeknek van egy másik pozitív hatása is a társadalmi dilemmák egy szűk tartományán belül, ami a jelentőségük és szerepük megítélésénél fontos mind az evolúciós biológiában, mind pedig a társadalmi folyamatoknál. A párkölsönhatásra épülő társadalmi dilemmák egy részé-

nél a snóblizással módosult evolúciós folyamat a zaj mértékétől függően magasabb átlagos (vagy átlagos társadalmi) nyereményt biztosíthat, mint például a testvérieség, ami az egyik biztos módja a társadalmi dilemmák elkerülésének. Az 5. ábrán három evolúciós folyamat eredményeképpen kapott átlagos P nyeremény zajfüggését mutatjuk meg. Mindhárom esetben a zaj alacsony (0) értékénél a modellek ugyanazt a sakktablászerűen rendezett stratégia eloszlást és átlagos (együttal legmagasabb) átlagos nyereményt jósolják. Hasonlóan azonos az eredmény a végtelenül magas zaj esetében, mert ilyenkor a (pénzfeloldással eldöntött) véletlen választás határozza meg a végeredményt. Az átmeneti tartományban azonban a három modell jelentősen különböző eredményt mutat.

Az 5. ábrán a folytonos vonal egy olyan modell eredményét mutatja, ahol a játékosok nem az egyéni, hanem a közös nyeremény növelését részesítik előnyben. Ez a testvéries magatartás azzal tünteti el a társadalmi csapdahelyzeteket (dilemmákat), hogy megszünteti az egyéni és közösségi haszon közötti különbséget. Ez az előnyös tulajdonsága az összes többi társadalmi dilemmánál érvényben marad. A tévedések (zaj) mértékének növelése nyilvánvalóan csökkenti a hatékonyságot. Amikor ezt az eredményt összehasonlítottuk azzal az esettel, ahol a játékosok stratégiaválasztását az egyéni haszon növelése motiválta, akkor meglepődve tapasztaltuk, hogy az egyéni önzésen alapuló dinamikai folyamat még ennél is eredményesebb lehet a zaj és nyereményértékek egy szűk tartományán belül. Ezt a jelenséget erősítette fel a snóblizás hatása (1. piros körök az 5. ábrán).

A jelenség feltérképezése még csak most kezdődött. Az eddigi tapasztalatok alapján az 5. ábra eredményét ritka kivételnek kell tekintenünk. Mint a komplex rendszereknél általában, itt is azt tapasztaljuk, hogy a végeredmény erősen függ a rendszer nagyszámú paraméterétől [7]. Emiatt csak egy hosszadalmas és szisztematikus elemzés után alakíthatjuk ki véleményünket arról, hogy a modellen keresztül tanulmányozott tulajdonságok [nyeremények, evolúciós szabály (zaj), kapcsolatrendszer stb.] miképpen erősítik vagy gyengítik egymás hatásait a

közösség számára előnyös magatartás fenntartása szempontjából.

Végezetül nem hallgathatjuk el a snóblizás egy hátrányos mellékhatását. Ha a snóblizás hajtóerejét, vagyis a snóblizáshoz kötődő nyereséget hányadát növeljük, akkor a rendszerben a rendezetlen állapot kialakulását is segítjük ugyanúgy, mint amikor a zaj mértékét növeljük. Az előzetes eredmények azt mutatják, hogy a snóblizás pozitív hatása csak egy erősen körülhatárolt paraméter tartományon belül érvényesül. Ugyanakkor azt is el kell mondani, hogy az ún. koevolúciós modellek [7] vizsgálata számtalan példát szolgáltatott olyan jelenségre, amikor a rendszerben a párhuzamosan fejlődő tulajdonságok (pl. stratégia, kapcsolatrendszer, dinamikai szabályok, személyes tulajdonság) életben tartották azokat az előnyös tulajdonságokat, amelyek meglétére az erősen korlátozott modellek hívták fel a figyelmet.

Összefoglalva, a snóblizásra emlékeztető jövedelem módosítás haszna vagy kára a közössel, illetve az egyén számára erősen függ a körülményektől. A matematikai modellek segítségével a jelenség mikroszkopikus háttere feltárható, a körülmények makroszkopikus hatását pedig számszerűen is vizsgálhatjuk, de a jelenség teljes feltérképezéséhez csak a matematikai modellek által definiált körülmények és feltételek következetes tanulmányozásán keresztül juthatunk el. *

Köszönetnyilvánítás

Kutatásaink támogatásáért köszönettel tartozunk az OTKA-nak (K101490).

Irodalom

- [1] Maynard Smith J., *Evolution and the Theory of Games*, Cambridge University Press, Cambridge (1982)
- [2] van Valen L., *A new evolutionary law*, *Evolutionary Theory* 1, 1-30 (1973)
- [3] Szabó G., Fáth G., *Evolutionary games on graphs*, *Rev. Mod. Phys.* 446, 97-216 (2007)
- [4] Szolnoki A., *Társadalmi dilemmák mint komplex rendszerek*, *Természet Világa* 144, 98-102, (Káosz, környezet, komplexitás, II. különszám, 2013)
- [5] Vukov J., *Csalni vagy nem csalni? – Matematikai komplexitás az emberi kapcsolatokban*, *Természet Világa* 144, 103-106 (Káosz, környezet, komplexitás, II. különszám, 2013)
- [6] Kondor I., *A komplexitás kihívása*, *Természet Világa* 144, 86-90 (Káosz, környezet, komplexitás II különszám, 2013)
- [7] Perc M., Szolnoki A., *Coevolutionary games: A mini review*, *BioSystems* 99, 109-125 (2010)

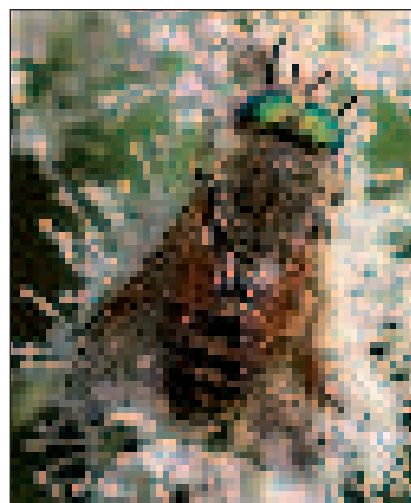
Bögölycsapda poláros fényvel

Első rész A bögölypapír

A nőstény bögölyöknek (1. ábra) petéik érleléséhez emlősök véérére van szükségük, amihez a gazdaállataik számára fájdalmas vérszívással jutnak. A bögölyök csapdázására nagy szükség van, mert veszélyes betegségek (pl. nyúlpestis, anaplazmózis, birkakolera, filariázis, lépfene, Lyme-kór) kórokozójának terjesztői, és folyamatos zaklatásuk következtében gazdaállataikat nem hagyják legelni. A lovakat például a vérszívó bögölyök folyamatos támadásai miatt nem lehet megülni, a szarvasmarhák tej- és hústermelése pedig a nyári bögölyszezonban jelentősen csökken. A bögölyharapások helyén gyakran maradandó hegek keletkeznek, amelyek csökkentik a gazdaállat és az elpusztulása után cserzendő bőrének értékét.

A bögölyök vonzódnak a lineárisan poláros fényhez (pozitív polarotaxis). E jelenséget kihasználva csapdák fejlesztettek ki befogásukra. A TabaNOid® bögölycsapdacsalád jelenleg három, polarizációs elven működő, magyar szabadalmi oltalommal védett bögölycsapdát foglal magába: (1) ragadós bögölypapír, (2) vizes-étolajos folyadéktálca, (3) napelemes, forgórótos rovarcsapda. A negyedik bögölycsapdatípus fejlesztés alatt áll. Jelen cikkünkben a bögölypapírt mutatjuk be, míg cikkünk második részében a folyadékcspadát. A napelemes rovarcsapdában a csali egy vízszintesen beállított napelemtábla, ami a felületéről visszavert horizontálisan poláros fényvel vonzza magához a bögölyöket. A napelemtábla felszínét érinteni vagy arra leszállni próbáló bögölyöket egy gyorsan forgó vékony drót kaszálja el, a drót forgatásához használt elektromotort pedig a napelem által termelt villamos energia hajtja.

A legyek ragacos papírral történő csapdázása ősrégi eljárás. A hagyományos légyapírnak négy fontos tulajdonsága van: (i) világos (drapp vagy sárgás) színű, (ii) hosszúka alakú, (iii) függőle-



1. ábra. Virágon ülő bögöly

gesen lefelé lóg, és (iv) a talajszint fölött néhány méterrel függesztik föl. E klasszikus légyapír azonban a bögölyöket nem fogja meg, mert nem vonzza őket. A bögölyök lineárisan poláros fényhez való vonzódására alapozva, a klasszikus légyapírt továbbfejlesztve, megalkottuk az ideális bögölypapírt. Terepkiérletekben igazoltuk (2. ábra), hogy az optimális bögölypapír (1) fényes fekete színű, (2) kellően nagy méretű (75 cm × 75 cm), (3) egy-egy ragadós vízszintes és függőleges elemből áll L alakban elrendezve úgy, hogy (4) a vízszintes rész a talajon fekszik, a függőleges rész pedig 1–1,5 méterrel a talaj fölött. Képzőművészeti polariometriával mértük a bögölypapír fénypolarizációs sajátosságait (3. ábra). Ezen új polarizációs bögölycsapda terepkiérletekben meghatározott ideális optikai és geometriai paramétereire fizikai és biológiai magyarázatot adtunk. A csapda vízszintes eleme a vízereső hím és nőstény bögölyöket fogja meg (4. ábra), míg a függőleges része a vérszívás céljából gazdaállatot kereső nőstény bögölyöket csapdázza (5. ábra).