

Magyar Tudomány

TÖBBSZEMKÖZT AZ EVOLÚCIÓVAL
vendégszerkesztő: Varga Zoltán

A párhuzamos földi klímák elmélete

Klein György (1925–2016)

Az élet mint természetfilozófiai probléma

Új növénynemesítési eljárások

2017 · 2

Főszerkesztő:
FALUS ANDRÁS

Felelős szerkesztő:
ELEK LÁSZLÓ

Olvasószerkesztő:
MAJOROS KLÁRA, SELEANU MAGDALÉNA

Lapterv, tipográfia:
MAKOVECZ BENJAMIN

Szerkesztőbizottság:
BENCZE GYULA, BOZÓ LÁSZLÓ, CSÁSZÁR ÁKOS, HAMZA GÁBOR,
LUDASSY MÁRIA, SOLYMOSSI FRIGYES, SPÄT ANDRÁS, VAMOS TIBOR

A lapot készítették:
GIMES JÚLIA, HALMOS TAMÁS, HOLLÓ VIRÁG, MATSKÁSI ISTVÁN, PERECZ LÁSZLÓ,
SIPOS JÚLIA, SZABADOS LÁSZLÓ, F. TÓTH TIBOR, ZIMMERMANN JUDIT

Szerkesztőség:
1051 Budapest, Nádor utca 7. • Telefon/fax: (+36-1)3179-524, telefon: (+36-1)4116-253
matud@helka.iif.hu • www.matud.iif.hu

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta Zrt. Postacím: 1900 Budapest.
Előfizetésben megrendelhető az ország bármely postáján, a hírlapot kézbesítőknél,
www.posta.hu WEBSHOP-ban (<https://eshop.posta.hu/storefront/>),
e-mailen a hirlapelofizetes@posta.hu címen, telefonon 06-1-767-8262 számon,
levélben a MP Zrt. 1900 Budapest címen.
Külföldre és külföldön előfizethető a Magyar Posta Zrt.-nél: www.posta.hu WEBSHOP-ban
(<https://eshop.posta.hu/storefront/>), 1900 Budapest, 06-1-767-8262, hirlapelofizetes@posta.hu
Belföldi előfizetési díj egy évre: 11 040 Ft.

Nyomdai munkák: Inferno Reklám Kft.
Felelős vezető: Farkas Dóra
Megjelenik: 11,4 (A/5) ív terjedelemben
HU ISSN 0025 0325

TARTALOM

Többszemközt az evolúcióval

Vendégszerkesztő: Varga Zoltán

Varga Zoltán: Bevezető gondolatok	130
Holló Gábor: Egyszerű szimmetria	134
Gertheis Zsófia N. – Szöllősi Gergely J.: Fajok és gének történetének nyomában.....	141
Podani János: „Fában gondolkodás” a biológiában, avagy nem minden fa, ami annak látszik	148
Varga Zoltán: Evolúció hierarchikus szinteken: populációk, fajok, közösségek	165
Székelly Tamás: A felnőttkori ivararány szerepe a párzási és utódgondozási rendszerek evolúciójában	176
Barta Zoltán: Az egyedi sokszínűség hatásai a kooperáció evolúciójára	183

Tanulmány

Bódai Tamás – Drótos Gábor – Haszpra Tímea – Herein Mátyás – Márfy János – Töl Tamás: A párhuzamos földi klímák elmélete	188
Hargittai István: Klein György (1925–2016)	202
Szántó Veronika: Az élet mint természetfilozófiai probléma a nyugati gondolkodásban ...	210
Csató László: A harmadik bíráló bosszúja, avagy mire jók az axiómák	219

Vélemény, vita

Holl András: Beszéljünk nyíltan a nyílt hozzáférésekről!	224
Czvikovszky Tibor: Tudomány – hiedelem – hit	228

Interjú

Új növénynevelési eljárások – GMO vagy nem GMO? Egyed László interjúi Dudits Dénessel és Joachim Schiemann-nal	232
---	-----

Az MTA új levelező tagjainak bemutatása

Kecskeméti Gábor	240
Páles Zsolt	242
Simon István	244

Kitekintés (Gimes Júlia)

Könyvszemle (Sipos Júlia)

RNA/DNA & Cancer (Ongrádi József– Nagy Károly)	248
Mitől lesz igaz, ami igaz? Kocsis László könyvéről (Tuboly Ádám Tamás)	250
A vallások, az állam és a szólás szabadsága (Kukorelli István)	254

Többszemközt az evolúcióval

BEVEZETŐ GONDOLATOK

Varga Zoltán

professor emeritus, a biológiai tudomány doktora,
Debreceni Egyetem Természettudományi Kar Evolúciós Állattani Tanszék
varga.zoltan@science.unideb.hu

Az evolúció a modern természettudományban olyan általános rendező elv, *paradigma*, amelyet követve az általános anyagfejlődéstől kezdve az emberi megismerés kialakulásáig a jelenségek és folyamatok legszélesebb körét érthetjük meg. Ezt fejezi ki az evolúciobiológia egyik meghatározó személyisége, Theodosius Dobzhansky egy sokat idézett mondata, mely szerint „a biológiában bármi is csak az evolúció fényében válik érthetővé”.

Az evolúciós szemlélet a biológiai sokféleség megértésének az alapja is. Molekuláris szinten a sokféleség kulcsa az információhordozó-átörökítő polinukleotid molekula önreprodukciója és az eközben létrejövő variációk. Ez az önreprodukció elvben rendkívül pontos, invariáns, ám benne van a variáció lehetősége is. Mint ahogy egy természettudományos kísérletnek is elvben megismételhetőnek kell lennie, adott körülmények között meghatározott módon kell lezajlania. Mégis szükség van a kísérleti eredményeink statisztikai értékelésére: valóban úgy zajlott-e le a kísérlet, valóban az lett-e az eredménye, amit elméleti megfontolások alapján elvártunk?! A gondolati párhuzam ott folytatódhat, hogy az információhordozó molekula igen pontos,

de bizonyos szintű variációt megengedő „másolódásának” és továbbadásának is van „statistikai értékelése”. Ez pedig a változatok túlélése és továbbszaporodása, pontosabban ezek az esélye az egymást követő nemzedékek sorozatában.

A túlélés és továbbszaporodás pedig tömegjelenség. (Mint ahogy sem a *sorakozó!*, sem az *oszolj!* vezényszót nem tudja végrehajtani Svejik barátunk, bármily derék katona...) Ha osztódó sejtekről beszélünk, csakis a sejtek „népességében”, sejtpopulációban értelmezhető a folyamat, ahogyan például egy baktériumpopulációban a rezisztens alakok elszaporodása végbemegy. A sejtnepeesség változásának egyik, többszörösen megvalósult útja a soksejtűség kialakulása (Michod, 2007). A soksejtűség evolúciójában a sejtek egy része „lemond” a saját szaporodásáról, ehelyett az anyagforgalmat és energiaáramlást szolgálja, egyúttal – mint halandó test – védi és táplálja a nemzedékek közötti információáramlást hordozó szaporítósejteket. Ennek a differenciálódásnak az „ára” a véges élettartamú sejtek egyediségének elvesztése, a soksejtűség munkamegosztásába való integrálódása. Ezen alapszik az egyediség evolúciója a többsejtű

teleptesttől a szövetekre–szervekre–szervrendszerekre tagolt, a magasabb szintű munkamegosztást megvalósító organizmusokig. A sejt-szintű „konfliktus” tehát az organizmus szintjén már kooperációként oldódik meg mint az evolúció egyik „nagy átmenete” (West et al., 2015).

A Magyar Tudomány Hónapja 2015. novemberi biológiai előadásainak központi témája az evolúció 3,5 milliárd éve (*Hétfélföldes csizmával az evolúciós tájképen*), hívószava éppen a kooperáció volt. Úgy gondoltuk, hogy előadásorozatunkban az evolúció sokszintűségét mutatjuk be, a genetikai információ alapegységeitől, a génektől kezdve a törzsfajlódás „fa”-ként ábrázolható mintázataig, és az állati testszerveződés egyszerű alapelveitől az emberi személyiségek és csoportjaik kooperativitásáig. Előadás-sorozatunk mindezeknek nyilván csak egyes részleteit, részaspektusait villanthatta fel. Az evolúciókutatás bármelyik részterületéről szóljon is azonban egy-egy előadás, mindig vannak bennük figyelemre méltó közös mozzanatok. Az egyik ilyen, hogy a szerveződésnek – ugyanúgy, mint az állati test szimmetriájának – egyszerű alapelvei vannak. Bizonyos struktúrák közös genetikai alapokon, de más-más egyedfejlődési „epigenetikus környezetben” ismételtén kialakulhatnak, ha túlélési előnnyel járnak, mint például a közös ősgének távoli filogenetikai ágakon bekövetkező manifesztálódásai a fejlábú (polip) és a gerinces állat hólyagszemenének létrejötté során, vagy, ahogy a cerebralizáció, az agyszerű központi idegrendszer is létrejött egymástól független előzményekből az állatvilág legalább három, teljesen eltérő nagy filogenetikai egységében (Northcutt, 2006, 1. ábra).

Az evolúciobiológia örök kérdése, hogy mennyire *egyedi* és *egyszeri* a földi élet. Habár

feltehető, hogy az élet kialakulásának kezdeti szakaszában a Föld nem volt kivételezett helyzetben (lásd: Mars-kutatási eredmények), mégis Földünk az egyetlen égitest, amelyről biztosan tudhatjuk, hogy bioszférája van, amelyet élőlények változatos, sokrétűen szervezett együttese, közösségei népesítenek be, és amelyre az élővilágnak az a *sokfélesége* jellemző, amelynek – a különféle genetikai információkat hordozó fajok sokasága ellenére – a *genetikai kód révén általános, egységes princípiuma van*. Ez a sokféleség a különböző szintű biológiai egységek önreprodukciója, vagyis *elágazó folyamatok révén jön létre*, ezáltal sajátos történetisége van. A történetiség *egyszerisége* és a létrejövő biológiai objektumok *egedisége* mögött mégis mindenütt bizonyos általános, *ismétlődően végbemenő folyamatok* húzódnak meg. Ezekben a folyamatokban – ahogyan az élet kialakulására és evolúciójára vonatkozóan megalkotott rendszermodellekből megismerhettük – az ön-szerveződés elve érvényesül (Prigogine, 1985). A földi élet evolúciója tehát bizonyára egyszeri, az általa létrejött genetikai és faji sokféleség megismételhetetlen (beleértve az ember kialakulását is), és pusztulása szintén visszafordíthatatlan (!); ám azok a genetikai alapfolyamatok, amelyek mindezt a múltban és jelenben létrehozták és létrehozzák, lényegileg azonos elveken alapulva működnek az élővilág különféle csoportjaiban, és elemi szinten kísérletileg reprodukálhatók.

Egy másik nagy témakör, ahol ismétlődő jelenségek sokaságával találkozunk, a *fajkeletkezés* kérdése. Az élővilág faji sokfélesége is evolúciós „egediségeknek” – a változás lehetőségét is magába foglaló – az önreprodukcióján, vagyis *genealogikus* („szülő-utód”) jellegű elágazó folyamatokon alapul. Az ivaros szaporodás kialakulása, tehát az élővilág evolúció-

jának az eukarióta sejt kialakulásával egyidős, korai nagy lépése óta a legáltalánosabb elágazó folyamattá az vált, hogy specifikus felismerési mechanizmusok által „összetartott” evolúciós egységek (*fajok*) genetikai információtovábbítása a génáramlást korlátozó szaporodási izoláció révén új „információs

csatornába” tagolódik szét. Ezáltal új evolúciós egységek jönnek létre, amelyeket ismét csak sajátos, fajspecifikus kohéziós mechanizmusok tartanak össze. Ezeknek a folyamatoknak a részleteit tárhatjuk fel azáltal, hogy rohamosan fejlődő módszerekkel lehetővé válik a populációk *molekuláris* (minde-

nekelőtt DNS-) szintű *genetikai sokféleségének* feltárása. A genom meghatározott szakaszainak, sőt újabban a teljes genom szekvenálásával megismerhetjük a *populációk tér-időbeli differenciálódásának* (John Charles Avise 1986-os munkájának azóta általánosan használt kifejezésével: *filogeográfájának*), *evolúciós dinamikájának* tér-idő mintázatait. Ez a határterületi kutatási irány, amely a molekuláris biológia modern eszköztárát használja, olyan evolúciós és elterjedéstörténeti folyamatok vizsgálatát teszi lehetővé, amelyekre vonatkozóan korábban csak közvetett bizonyítékokon alapuló hipotetikus megközelítések voltak lehetségesek.

A fajokat képviselő populációk azonban mindig valamilyen ökológiai rendszer, valamilyen életközösség komponensei. A fajok, illetve a populációk közti (interspecifikus) kapcsolatok változásai révén azonban maguk az életközösségek is változnak, illetve a közösségszintű változások vissza is hatnak az egyes fajokat reprezentáló populációkra. Ez egyben azt is jelenti, hogy nemcsak faj-filogenezis, hanem közösség- (cönózis) filogenezis is van

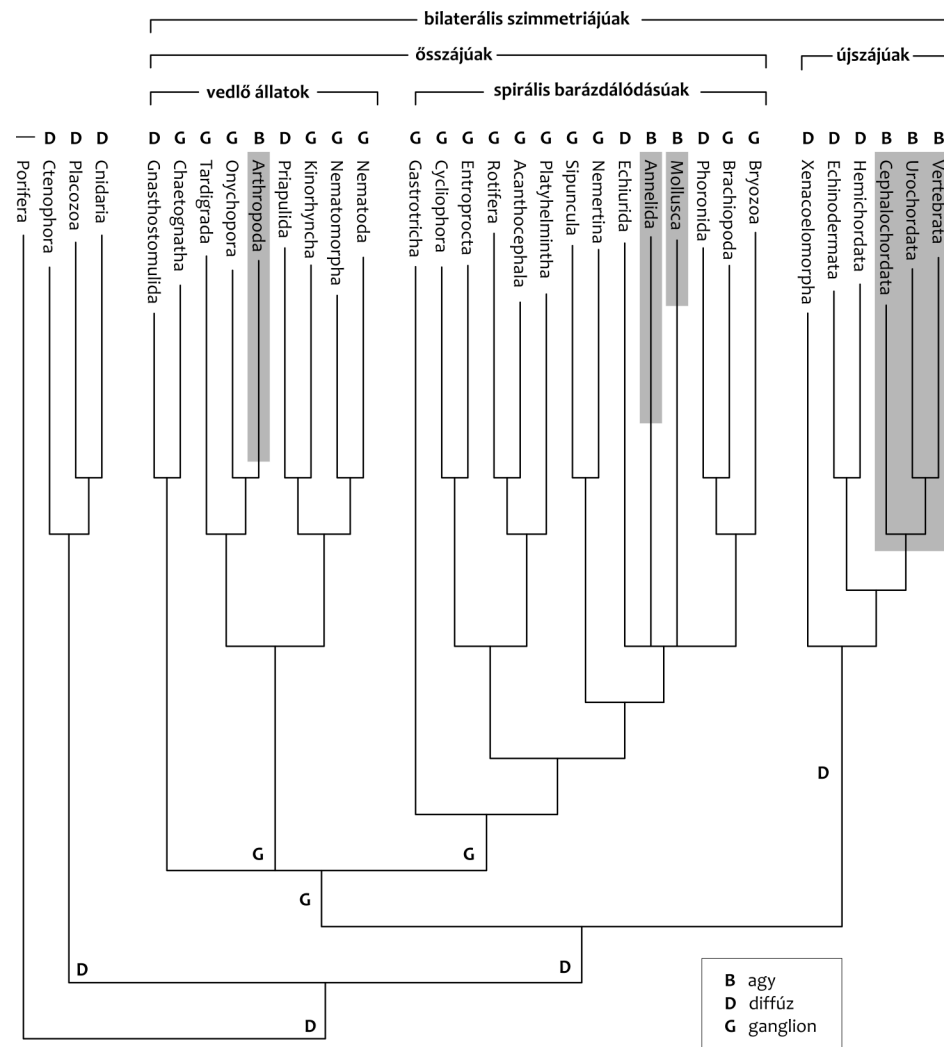
(Chernov, 2008). Ennek hosszú távú folyamatait tárjuk fel akkor, amikor azt vizsgáljuk, milyen közösségekből szerveződött a bioszféra a földtörténet korszakaiban. Hogyan hatottak az életközösségek változásai a bioszféra szülötteként kialakuló emberre, és hogyan hatott az ember a bioszférát alkotó életközösségekre a jégkorszak végi „megafauna” kipusztulásától kezdve a jelenkor bioszféra-kríziséig. Napjainkban, a globális klímaváltozás idején különös élességgel jelentkezik a kérdés: hogyan válaszolnak az éghajlat változásaira a közösségek? Vajon egységesen reagálnak, vándorolnak, terjednek ki és szűkülnek össze, vagy az őket alkotó népeségek egyedi válaszai alapján komponenseikre bomlanak szét, majd új összetételben újjászerveződnek? Az evolúciókutató erre is keresi a választ, hiszen a ma embere, egyben a jövőért is felelősséget visel.

Kulcsszavak: *önreprodukció, variáció, soksejtűség, kooperáció, egység, fajképződés, elágazó folyamat, filogeográfia, életközösségek, klímaváltozás*

IRODALOM

- Avise, John Charles (1986): Mitochondrial DNA and the Evolutionary Genetics of Higher Animals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 312, 325–342. DOI: 10.1098/rstb.1986.0011 • <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/royptb/312/1154/325.full.pdf>
- Chernov, Yuriy I. (2008): Ecological Integrity of Supraspecific Taxa and the Arctic Biota. *Entomological Review*. 88, 9, 1019–1031. DOI: 10.1134/S0013873808090017
- Michod, Richard E. (2007): Evolution of Individuality During the Transition from Unicellular to Multicellular Life. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 104 (suppl. 1) 8613–8618. DOI: 10.1073/pnas.0701489104 • http://www.pnas.org/content/104/suppl_1/8613.full

- Northcutt, R. Glenn (2006): Evolution of Centralized Nervous Systems: Two Schools of Evolutionary Thought. In: Striedter Georg F.–Avise, John Charles – Ayala, Francisco J. (eds.): *In the Light of Evolution*. Vol. VI. *Brain and Behaviour*. The National Academy Press, 37–56. • <https://www.nap.edu/catalog/13462/in-the-light-of-evolution-volume-vi-brain-and-behavior>
- Prigogine, Ilya (1985): *Vom Sein zu Werden. Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften*. München–Zürich: Piper, 304.
- West, Stuart A. – Fisher, Roberta M. – Gardner, Andy – Toby, Kiers E. (2015): Major Evolutionary Transitions in Individuality. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 112, 33, 10112–10119. DOI:10.1073/pnas.1421402112 • <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4547252/>



1. ábra • Fejlett, egyszerű központi idegrendszer kialakulása az állatvilág fejlődéstörténete során

EGYSZERŰ SZIMMETRIA

Holló Gábor

PhD, Debreceni Egyetem Bölcsészettudományi Kar Pszichológiai Intézet
hollogabor@gmail.com

Összefoglalás

Az állati testszimmetria evolúciójának kérdése a biológia egyik alapvető, de csak részben tisztázott problémája. Az állati forma törzsféjlődésében megfigyelhető változásokat elsősorban a génszabályozó hálózatokban bekövetkezett módosulások okozzák. E hálózatok általános tulajdonságaiból levezethető, hogy az állatvilágban megjelenő két fő szimmetriatípus – a sugaras és a kétoldali – egymással nincs szükségszerűen sem ősiségi, sem alá-fölérendeltségi viszonyban. Elméleti megfontolások alapján belátható, hogy a két uralkodó szimmetrián kívül másféle szimmetriafajta nem létezhet a Földön, és az állatra jellemző mozgásforma követelményei szelektív előnyhöz juttathatják egyik vagy másik szimmetriát. Mindezek alapján valószínűnek tűnik, hogy az állati szimmetria evolúciója erősen behatárolt úton halad, s a bolygónkon létező alapvető formák kötelező jellegű mintázatok.

Bevezetés

A természetben megjelenő szimmetrikus mintázatok elbűvölnek az embert. Az egyik legszembetűnőbb ezek közül az élőlények testének szimmetriája. Jelen tanulmány az állatok szimmetriájával foglalkozik. Az állatfajok több mint 99%-a kétoldalian (idegen szóval *bilaterálisan*) részarányos; legismertebbek, leghétköznapiabbak közülük a gerincesek

és az ízeltlábúak. Az állatvilág más képviselői – mint például a medúzák, a virágállatok és egyéb csalánozók – sugarasan (*radiálisan*) szimmetrikus testűek, a szivacsok vagy a korongállatok pedig aszimmetrikus testet építenek. Miért jönnek létre ezek a szimmetriatípusok? Előnyben van-e egyikük a másikkal szemben bizonyos szempontból, vagy csak a vakvéletlennek köszönhető a létezésük és ilyen arányú eloszlásuk? Ezek a kérdések az evolúcióbiológia nagy problémái közé tartoznak. Ha magyarázatot szeretnénk találni rájuk, érdemes megvizsgálni, hogyan szabályozódik a forma kialakulása, mitől függ evolúciója, létezhetnének-e az aktuálisaktól eltérő szimmetriatípusok, és köthetők-e a létező típusok általános tulajdonságokhoz.

Az állati forma evolúciója és a génszabályozó hálózatok

Az utóbbi egy-másfél évtizedben már általánosan ismertté vált az, hogy az állatok formájának evolúciója az úgynevezett *génszabályozó hálózatokban* (a továbbiakban: GSZH) bekövetkezett változásoktól függ (például: Davidson – Erwin, 2006; Davidson, 2010). Miből is áll a génszabályozó hálózat? A DNS-ben kódolt információ fehérjemolekulákká íródik át a fehérjeszintézis folyamán, s e fehérjéknek köszönhetően működnek anyagszállító-folyamataink, melyeken biológiai szempontból nézve az életünk alapul. Az

egy-egy fehérjét kódoló DNS-szakaszok – ezeket *kódoló* vagy *fehérjekódoló géneknek* nevezzük – működését azonban egyéb, úgynevezett *szabályozó gének* irányítják (e gének kódolják a transzkripció faktor elnevezésű molekulákat, amelyek a DNS megfelelő szakaszaihoz kötődve szabályozzák a kódoló gének működését). A szabályozó gének szabják meg, hogy melyik szövetben mely fehérjék génjei íródnak át, mikor és mennyi termelődjön belőlük. Mivel egy-egy gén többféle szabályozó molekulára (transzkripció faktorra) válaszolhat, és egy-egy szabályozó molekula is többféle gén számára szolgáltat bemeneti információt, a fehérjekódoló gének aktivitását szabályozó gének és kölcsönhatásaik bonyolult információs hálózatot alkotnak (GSZH). Nos, a forma törzsféjlődése főképp ezen szabályozó hálózatokban bekövetkezett mutációknak köszönhető. Nemrégiben kiszámították például, hogy a fejgerincű húsos lándzsahal és az ember között 33%-os hasonlóság áll fenn a fehérjekódoló gének tekintetében, míg a konzervált nemkódoló DNS-szakaszokban (melyek gyakran bizonyulnak szabályozó régióknak) csupán kevesebb mint 1% az egyezés (Clarke et al., 2012).

Jóllehet a génszabályozó hálózatok bonyolult információs rendszerek, olyan általános és alapvető vonásaik vannak, amelyek tanulmányozása segítségünkre lehet az állati szimmetria problémájának megoldásában. A génszabályozó hálózatok hierarchikus felépítésűek. A hálózat magját képező, legbelső alrendszer információi határozzák meg a test alapvető koordinátáit, így a szimmetriáját, kijelölik a fejlődő szervekdemények helyzetét, vagy például szabályozzák az immunrendszer fejlődését. Ezek az alrendszerek evolúciósan nagyon stabilak, vagyis nehezen változnak (Davidson – Erwin, 2006). A GSZH legkül-

ső köre olyan géncsoportokból áll, amelyek a finom részleteket alakítják ki a testen, ezek irányítják például a váz ásványainak felépítését, vagy meghatározzák a kültakaró pigmentációját. E génalrendszerek evolúciósan labilisak, és nagyrészt ezek változásai állnak a fajképződés hátterében (Davidson – Erwin, 2006). Fontos azonban azt meglátni, hogy a test felépítése alapvetően lineáris genetikai programot követ, vagyis a GSZH egyes alrendszereinek láncszerű, egymás utáni aktiválódásának az eredménye. Ezért elmondható, hogy a GSZH egyes alrendszerei között nincsen valódi alá-fölérendeltségi viszony, tehát az említett hierarchikus kapcsolatuk nem a szokásos értelemben vett, társadalmi mintájú hierarchia, hanem pusztán annyit jelent, hogy *különálló alhálózatok eltérő időzítéssel aktiválódnak az egyedfejlődés során* (Holló, 2014, 2015). Fontos továbbá azt is tudni, hogy a GSZH-alrendszerek közötti genetikai kapcsolatok evolúciós értelemben véve jóval változékonnyabbak, mint az alrendszereken belüli kapcsolatok. Ennek egyik következménye az, hogy az egyes alegységek sorrendje könnyebben változik, mint magának az alrendszernek a szerkezete. Így a törzsféjlődési folyamat megkeverheti az alegységeket, azaz alkalom nyílik, hogy az alrendszereket többféleképpen, több célra is „bevetessék”, s így szabadabban lehet „kísérletezni” új alaktani megoldásokkal (Holló, 2015). Ugyanannak az alrendszernek az újrahaználására az egyik legjobb példát talán a jelátviteli rendszerek (Wnt, TGF- β stb.) szolgáltatják, melyeket az egyedfejlődés különböző fázisaiban és különféle célokra alkalmaz a genetikai program (Davidson – Erwin, 2006). Másik következménye pedig az, hogy pusztán az a tény, hogy egy alrendszer hamarabb aktiválódik az egyedfejlődés folyamán, még nem

feltétlenül jelenti azt, hogy a szóban forgó alrendszer ősibb eredetű, mint a későbbiekben működésbe lépő GSZH-alegységek.

Mindez a *szimmetria szempontjából* annyit jelent, hogy a testszimmetriát meghatározó genetikai program és az alsóbb testszerveződési szinteken (például a szervekben, szervrendszerekben) megjelenő szimmetriát felépítő genetikai alhálózat között *szükségszerű alá-fölérendeltségi viszony vagy ősiségi kapcsolat nem létezik* (Holló, 2014, 2015), mivel a génszabályozó hálózatok szerkezetileg, funkcionálisan és időbeliségükben is mozaikos rendszerek (Davidson, 2010). Ha pedig mindezt kiegészítjük azzal, hogy a „sugarasan szimmetrikus” csalánozók testében egy sor kétoldalian szimmetrikus képlet található (rhopaliumok, garat, a manubrium karjai), és hasonlóképpen, hogy a „kétoldalian szimmetrikus” állatok egy sor sugarasan szimmetrikus szervvel rendelkeznek (szemek, véredények, mirigyek kivezetőcsövei, kiválasztórendszer csatornáskái stb.), akkor kimondhatjuk, hogy az állatok tulajdonképpen mindkét típusú szimmetria létrehozására képesek, azaz *egyszerre sugarasan és kétoldalian szimmetrikusak*. Ez a nézet a szimmetriaviszonyok új, rugalmas szemléletét indokolja. Ezt követően viszont felmerül a kérdés, hogy mi határozza meg azt, hogy melyik szimmetria fejeződjön ki az állatban.

Lehetséges szimmetriatípusok

Célszerűnek tűnik megvizsgálni ezután az elméletileg és gyakorlatilag lehetséges szimmetriatípusokat, és általános törvényszerűségeikkel való kapcsolatukat. Mint fentebb már szerepelt, a kétféle nagy szimmetriatípusnak (sugaras és kétoldali) az állatvilágban tapasztalható eloszlása erősen aránytalan a kétoldali szimmetria javára. A legszembetűnőbb tulajdonság, ami a kétoldali szimmetriával gyak-

ran párosul, az *irányított mozgás* képessége. Ez az egyetemi tankönyvekben régóta szereplő információ Vlagyimir Nyikolajevics Beklemishev összefoglaló munkájára (Beklemishev, 1969) vezethető vissza. Beklemishev szerint a kétoldali szimmetria haszna az, hogy a test két oldalára ható erők kiegyenlítik egymást, s így a test egyenesen mozoghat. Ez így önmagában természetesen igaz, viszont a szimmetrikus testek általában rendelkeznek ezzel a tulajdonsággal, azzal a kitételrel, hogy nem feltétlenül a test két, hanem akár több oldalára ható erők egyenlítik ki egymás hatását. Például egy háromoldali, sugarasan szimmetrikus testre az erők kiegyenlítődése éppolyan igaz, mint egy gömbre. Ez az indoklás tehát nem ad elégséges magyarázatot a kétoldali szimmetria feltételezett előnyére. Mivel azonban a pontos irányított mozgású¹ állatok kétoldalian szimmetrikusak, a sugaras állatok pedig – mint a medúzák – köztudottan lassan és pontatlanul mozognak, valószínűleg érdemes továbbra is az irányított mozgás mezején keresgelnünk, de nem elégedhetünk meg a klasszikus magyarázattal.

Az élet – így az állati élet is – a vízben keletkezett, ezért további eszmefuttatásunk során vizes közegben zajló mozgást képzeljünk el. Ha egy test pontosan és egyenes vonalban próbál mozogni, szimmetrikusnak kell lennie. Ellenkező esetben, azaz ha a test aszimmetrikus, a rá ható ellenállási erők nem egyenlítik ki egymást, és így a test nem tarthatja meg egyenes pályáját. A testnek tehát szimmetrikusnak kell lennie. Az elvileg lehetséges

¹ Az irányított mozgás még nem feltétlenül jelent egyszerre pontos mozgást is: lehet viszonylag pontatlan is (mint a medúzák pumpáló vagy bizonyos lárvák spirális mozgása valamilyen ingerforrás felé vagy attól távolodva). Ezzel szembeállítható a pontos irányított mozgás (mint mondjuk a csuka precíz mozgása).

szimmetriák közül azonban csupán három felelhet meg a mozgás szabta feltételeknek: a végtelen – vagy sok, de véges – számú szimmetriatengellyel rendelkező *gömb*, az egy szimmetriatengellyel és számos szimmetriasíkkal rendelkező *sugaras*, és az egyetlen szimmetriasíkkal bíró *kétoldali* szimmetria (Holló – Novák, 2012).

A szimmetria kényszere mellett a vízben egy másik fontos hatás is fellép, mely korlátozza az állat formáját. Ez a *felületi súrlódás*, melynek köszönhetően mozgás közben jelentős fékezőerő lép fel, ha a felület növekszik. Ezért aztán a testfelületet célszerű az optimális legkisebb méretűre zsugorítani, ha hatékony mozgásra van szükség. Ebből kifolyólag a fenti szimmetriák közül a sugaras csak erős korlátok között jelenhet meg, mégpedig a *hengeres* formában, hiszen például egy csillag alakú keresztmetszettel bíró, hosszúkas test olyan nagy felületű, hogy az túlzottan és állandóan fékezni fogja mozgás közben. Ezért az irányított és gyors mozgáshoz a sugaras szimmetria csoportján belül az optimális forma a *hengeres*. A továbbiakban tehát e három (gömb, hengeres és bilaterális), elméletileg lehetséges típussal kell csak foglalkoznunk.

A fizika szempontjából a mozgás két fontos összetevőre bontható. Az egyik az *egyenes vonalú mozgás*, a másik az *irányváltás*. Egyenes vonalú mozgásra mindhárom szimmetriatípus képes, hiszen legalább egy irányból áramvonalasak lehetnek, és szimmetrikusak lévén, a körülöttük ható ellenállási erők kiegyenlítik egymást. Az egyenes iránytól való elnyelés eltérés egy-egy szimmetriaelem elronctásával, vagyis aszimmetria létrehozásával könnyen elérhető – erre is képes mindegyik szimmetriafajta. A *gyors* irányváltás esetében azonban már más a helyzet. Ekkor a testnek az új irányra ellentétes erőt kell gyakorolnia,

ehhez pedig egyfajta „lökőfelületet” kell létrehozni, ahonnan el tud rugaszkodni. Nos, képzeljünk csak el egy gömböt, amint hirtelen próbál irányt váltani: ezt nem tudja kiviteleníteni, hiszen olyannyira tökéletesen szimmetrikus, hogy minden irányban egyforma az ellenállása, vagyis egyformán áramvonalas, ezért nem képes a lökőfelületet létrehozni, amiről elindulhatna az új irányba. Legfeljebb úgy képes elfordulni, ha elkezd pörögni, s – ahogy a focilabda csavarás közben – enyhén elhajlik a mozgási pályája; ez viszont nem eredményez hatékony és pontos fordulást. A megfelelő irányváltási képesség hiánya miatt tehát a gömb is kiesik mint gyakorlatilag lehetséges szimmetriatípus, ha az állat az irányított mozgás támasztotta követelményeknek próbál megfelelni (Holló – Novák, 2012).

A hengeres és a kétoldalian szimmetrikus testek egyaránt képesek előrehaladni – hiszen áramvonalasak – és elfordulni, mert képesek az új irányra ellentétes erőt kifejteni a vízben. Ha azonban közelebből is megvizsgáljuk a két szimmetria irányváltását, érdekes különbségre bukkanhatunk. Az elforduláshoz tehát ellenerőt kell kifejteni a vízre. Ehhez nagy *ellenállást* kell produkálni, hiszen minél nagyobb a tolóerő, annál gyorsabban és precízebben tud az állat az új irányba elindulni. Ennek pontosabb megértéséhez meg kell ismerkednünk a *közegellenállás* fogalmával. A közegellenállás egy olyan erő, mely a mozgás irányával ellentétesen hat a mozgó testre, és ami a makroszkopikus világban (ahol a viszkózus erők elhanyagolhatóak a tehetlenségi erökhöz képest; például Vogel, 1994) az alábbi egyenlet szerint alakul:

$$F = - \frac{1}{2} \rho c A v^2$$

ahol F a közegellenállási erő, ρ a közeg sűrűsége, c egy dimenzió nélküli szám, a test alakjától függő úgynevezett *közegellenállási*

egyíthető, *A* az adott irányban a legnagyobb keresztmetszet területe, *v* pedig a test sebessége (Hoerner, 1965; Vogel, 1994). Könnyen belátható, hogy ebben az összefüggésben az egyetlen olyan tényező, amelynek a szimmetriához általánosan köze van, a *közegellenállási egyíthető* (*c*). Ennek az egyíthetőnek az értéke a hengeres és a kétoldalian részarányos test esetében markánsan eltér. Mérnöki munkából megtudható, hogy a lapos lemezek közegellenállási egyíthetője – a magasság és hosszúság arányától függően, a tehetetlenségi/viszkózitási erők arányának egy bizonyos (10°) értékénél – 50–70%-kal nagyobb, mint a hengeres testké (Hoerner, 1965). Ez pedig annyit tesz, hogy a létrehozott közegellenállási erők tekintetében is ekkora különbség lehet a két forma között. Mindez persze nem azt jelenti, hogy a kétoldalian részarányos testek lapos lemezek lennének, pusztán annyit, hogy az ilyen szimmetriájú test sokkal rosszabb áramvonalassági tényezőkkel jellemezhető, mint a hengeres szimmetriájú, és fennáll a lehetősége annak, hogy egy kétoldali szimmetriájú test a fentihez mérhető nagyságban megnövelje a forduláskor kifejtett tolóerejét egy hengeres testhez képest. Szemléletesen képzelhető el ennek mintájára, hogy

mi történne, ha nem evezőlapáttal próbálnánk csónakunkat hajtani, hanem mondjuk egy hengeres pezsgősüveggel. Szintén könnyen belátható, hogy a kétoldalian részarányos test ráadásul az egyetlen, mely a felületi súrlódás túlzott megnövelése nélkül képes olyan testfüggelékkel felszerelkedni, melyek lapos lemezekhez hasonlóan viselkednek – gondoljunk csak a halak úszóira. Kimondható tehát, hogy *az a szimmetria, amely egy irányban kis ellenállású (áramvonalas), a többi irányban viszont nagy ellenállást fejt ki, kedvező a fordulékony mozgáshoz, mert maximalizálja a fordulóerőket* (Holló – Novák, 2012). A mozgás során állandóan jelen lévő nagy fordulékonyaság óriási előnyhöz, kiváló manőverező-képességhez juttatja a kétoldalian részarányos makroszkopikus testet. Így válik tehát a szimmetriák „legtükéletesebbike” az irányított mozgáshoz optimális szimmetriává.

A kétoldali szimmetria a szárazföld és a levegő meghódítása után is sikeresnek bizonyult. A szárazföldön zajló felületi mozgás tulajdonképpen kétdimenziós, így a testnek az előre történő mozgás mellett balra vagy jobbra kell fordulnia, s erre kiválóan alkalmasak a jobb, illetve bal oldalon elhelyezkedő végtagok. A levegőben történő mozgás lényeg-

ében a vízi mozgáshoz hasonlít azzal a különbséggel, hogy hiányzik a hidrosztatikus nyomás, ami a gravitációs erőt ellensúlyozná, így a mozgáshoz nagy felületű, lapos és könnyű szerkezeteknek kellett megjelenniük a testen – ahogy a szárnyak esetében ez meg is valósul (Holló – Novák, 2012). Természetesen egyéb tényezők is hozzájárulhattak a kétoldali szimmetriájú állatok sikerességéhez, azonban e tényezők még feltáratlanok.

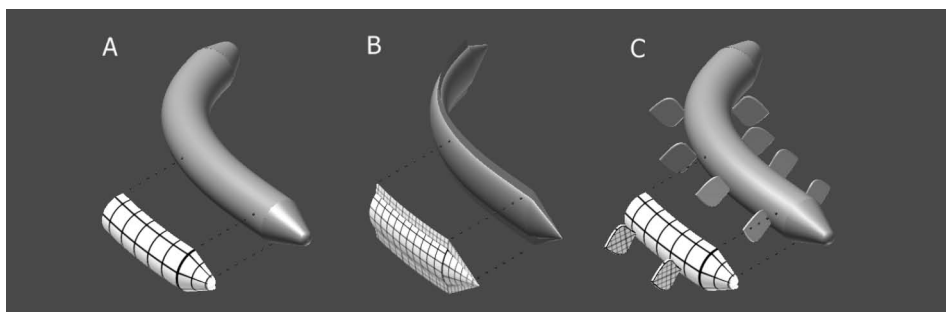
Ha azonban a bilaterális szimmetria előnyös az irányított mozgás során, akkor a sugaras szimmetria csak olyan élőlényekben fejlődhetett ki, amelyek életük során elsősorban nem a pontos és gyors mozgásra támaszkodnak. A medúzák, a hidraállatok (csalánozók), a tengeri csillagok vagy a tengeri lilomok (tüskésbőrűek) helyhez kötött, sodródó vagy lassú mozgással járó életmódot folytatnak: prédájuk náluk is lassúbb, vagy pedig az áramlatok által sodródik a tapogatóikba. Ezeknek az élőlényeknek viszont a gyors mozgás feláldozása árán a sugaras szimmetria másfajta előnyöket biztosít. A sugaras szimmetriájú állatok minden irányban nagyjából egyenlő eséllyel tudnak reagálni a környezeti hatásokra: így képesek statikus helyzetüket megtartani a vízáramlatokkal szemben, vagy éppen hatékonyan zsákmányt gyűjteni (Holló – Novák, 2012). A test külsején jelentkező hengeres szimmetria még két állatcsoportnál jellemző, ezek pedig a túró, ásó életmódúak (mint például a talajlakó férgek) és a mozgó belső élősködők (endoparaziták; mint az ember orsóférgé). Ezeknél az állatoknál a közeg, melyben mozognak, olyan sűrű, hogy a súrlódás lehetségesig történő csökkentésének érdekében a testalak a hengereshez közelít, mivel ez a forma biztosítja az egységnyi keresztmetszetre jutó legkisebb felületet (Holló – Novák, 2012).

Következtetések

Az állati szervezetek szimmetriaviszonyainak evolúciója tehát úgy tűnik, nagyban meghatározott a *funkció* és a *fizikai környezet* által. Amennyiben a gyakorlatilag lehetséges kétféle szimmetriatípus eloszlási mintázatát bolygónkon ilyen egyszerű törvényszerűségek magyarázhatják, akkor feltételezhető, hogy az állati szimmetria evolúciója erősen becsatornázott pályán halad, ahol a testformák alapvető geometriai tulajdonságai szükségszerűek (Holló – Novák, 2012; Holló, 2015). Az állati szimmetria problémájának megoldásában tehát az egyszerű, mechanisztikus szemlélet sokat segít, jöllehet egy átfogó, a szimmetriák eredetét is pontosan megmagyarázó elmélet megalkotása még várat magára. A szimmetriák evolúciós eredete rejtélyének megoldásával remélhetőleg közelebb jutunk majd a földi törzsfajlás egy fontos, filozófiai következtetések levonására is módot adó kérdésének a megválaszolásához.

Köszönetemet fejezem ki Varga Zoltánnak, aki egyetemi oktatóként lelkesítő óráival elősegítette a gondolatok megfogását és kifejlődését, és aki előadás megtartására kért fel a *Többszemközt az evolúcióval* konferencián. Köszönet illeti továbbá azokat, akik szaktudásukkal, véleményükkel, bátorításukkal támogatták munkámat: Novák Mihály, Papp Balázs, Paolo Saiello, Andrew H. Knoll, Bert Hobmayer, Eric H. Davidson, Douglas H. Erwin, Csermely Péter, Barta Zoltán, Miskei Márton, Végh László, Bernard M. Degnan, és sokan mások. Az ábra Jász Ottó munkája.

Kulcsszavak: *állati szimmetria, sugaras szimmetria, kétoldali szimmetria, génszabályozó hálózatok*



1. ábra • Hengeres (A) és kétoldalian szimmetrikus (B, C) testek fordulás közben. A vetítési felületek mutatják a tolófelületet, melyet a vízben képeznek; rácssűrűségük pedig az ébredő erő nagyságát jelzi. Forrás: Holló – Novák, 2012.

IRODALOM

- Beklemishev, V. N. (1969): *Principles of Comparative Anatomy of Invertebrates*, Vol. 1: *Promorphology*. Oliver and Boyd, Edinburgh
- Clarke, Shoa L. – VanderMeer, Julia E. – Wenger, Aaron M. et al. (2012): Human Developmental Enhancers Conserved between Deuterostomes and Protostomes. *PLOS Genetics*. 8(8), e1002852 DOI: 10.1371/journal.pgen.1002852 journals.plos.org/plosgenetics/article?id=10.1371/journal.pgen.1002852
- Davidson, Eric H. (2010): Emerging Properties of Animal Gene Regulatory Networks. *Nature*. 468, 911–920. DOI:10.1038/nature09645
- Davidson, Eric H. – Erwin, Douglas H. (2006): Gene Regulatory Networks and the Evolution of Animal Body Plans. *Science*. 311, 796–800. DOI:10.1126/science.1113832
- Hoerner, Sighard F. (1965): *Fluid-dynamic Drag*. Hoerner Fluid Dynamics, Brick Town, NJ <http://dl.kashti.ir/ENBOOKS/NEW/FDD.pdf>
- Holló Gábor (2014): Animals Are Both Radially and Bilaterally Symmetrical: Accommodating Seemingly Mutually Exclusive Paradigms. *BioEssays*. 36, 901–902. DOI:10.1002/bies.201400089
- Holló Gábor (2015): A New Paradigm for Animal Symmetry. *Interface Focus*. 5, 20150032 DOI: 10.1098/rsfs.2015.0032 • <http://rsfs.royalsocietypublishing.org/content/5/6/20150032>
- Holló Gábor – Novák Mihály (2012): The Manoeuvrability Hypothesis to Explain the Maintenance of Bilateral Symmetry in Animal Evolution. *Biology Direct*. 7, 22. • <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3438024/>
- Vogel, Steven (1994): *Life in Moving Fluids*. 2nd edition. Princeton University Press, Princeton, NJ



FAJOK ÉS GÉNEK TÖRTÉNETÉNEK NYOMÁBAN

Gertheis Zsófia N. Szöllősi Gergely J.

doktorandusz, PhD, tudományos főmunkatárs,
ELTE–MTA „Lendület” Evolúciós Genomika Kutatócsoport
ELTE Biológiai Fizika Tanszék sszolo@gmail.com

Bevezetés

A biológia történeti tudomány. A biológiai rendszerek szerkezete, a fehérjéktől egészen az ökoszisztémáig mind egy hosszú, több mint hárommilliárd évvel ezelőtt kezdődött evolúciós folyamat eredménye. Bár az evolúció folyamatainak és múltbeli lefolyásának tanulmányozását hagyományosan a többi biológiai diszciplínától különállóként kezelték, az a gondolat, hogy az élet története kulcsfontosságú az élő rendszerek megértésében, mára kezd széles körben elfogadottá válni.

A DNS-láncok nukleotidsorozatának megfejtésére kidolgozott technológiák rohamos fejlődése alapjaiban változtatta meg a biológia forrásait és kérdéseit. Különösen igaz ez az élővilág történetének kutatására. A DNS-szekvenciák hiányában néhány évtizede még a fajok származását, őseik testfelépítését és életmódját a ma élő egyedek közös és eltérő tulajdonságai, valamint fennmaradt fossziliák alapján próbáltuk meg felderíteni. Ma már a fajok teljes genetikai állománya és ezáltal az őseiktől örökölt gének közötti hasonlóságok és különbségek sokasága áll rendelkezésünkre. Ezek a DNS-szekvenciák a múlt dokumentumai (Zuckerlandl – Pau-

ling, 1965; Boussau et al., 2010), amelyek segítségével minden eddiginél részletesebben rekonstruálhatjuk az élet történetét és érthetjük meg ma fellelhető diverzitását.

A szekvenálástól a gén családdokig

Az örökítőanyag minden egyes szaporodási ciklusban megkettőződik, így adódik tovább (kisebb-nagyobb másolási hibákkal, mutációkkal) az utódoknak, akik azt saját utódaiknak örökölték, újabb módosulásokkal. Ily módon kerül a DNS-láncok nukleotid sorozatába, a DNS-szekvenciákba az élőlények leszármazási történetének lenyomata. A molekuláris filogenetika feladata, hogy csupán egyetlen jelenbeli pillanatképből, a laboratóriumban megfejtett szekvenciák közötti különbségekből kikövetkeztesse ennek a folyamatnak a lépéseit, rekonstruálja a hozzájuk vezető osztódások sorozatát.

Ezekből a pillanatképekből azonban nagyon sok áll rendelkezésünkre, mára több tízezer élőlény teljes genetikai állománya (genomja) ismert. Az evolúciós múlt DNS-szekvenciák alapján történő rekonstrukciójában az első feladatunk, hogy a genomszekvenciákat, amelyek önmagukban csak a négy nukleotidból (A, T, G, C) álló hosszú sorozatok, valamilyen módon értelmezzük. Ezt a

genomok automatizált számítógépes elemzése segítségével (annotálásával) tesszük. Ennek a folyamatnak kulcsfontosságú lépése a gének predikciója.

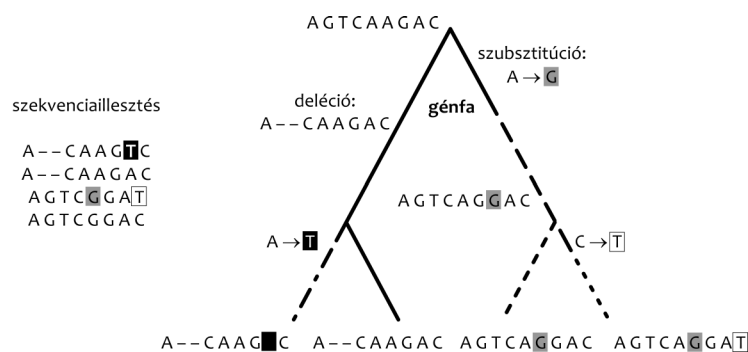
A filogenetikai rekonstrukció elemi egységének ugyanis a fehérjét (és más funkcionális makromolekulát, például riboszómális vagy transzfer-RNS-eket) kódoló géneket tekintjük. Ennek az oka az, hogy ezekre a szekvenciákra olyan funkcionális egységeként gondolunk, amelyekről jó közelítéssel feltételezhetjük, hogy részei (végső soron az egyes nukleotidok) közös evolúciós történettel rendelkeznek.

A rekonstrukció következő lépése, hogy a génszekvenciák tömegében megkeressük a gének olyan *homológ* csoportjait, melyek minden tagja egyértelműen közös eredetű a csoport többi tagjával (Boussau et al., 2010). Egy-egy ilyen homológ csoport, egy géncsalád általában több különböző faj hasonló funkcióval rendelkező génjeit tömöríti. Ilyen például a citokróm-c fehérjét kódoló gének családja. Előfordul, hogy ugyanazon faj két vagy több rokon génje is megtalálható egy „többpéldányos” családban: erre példa az emberi hemoglobin oldalláncok családja.

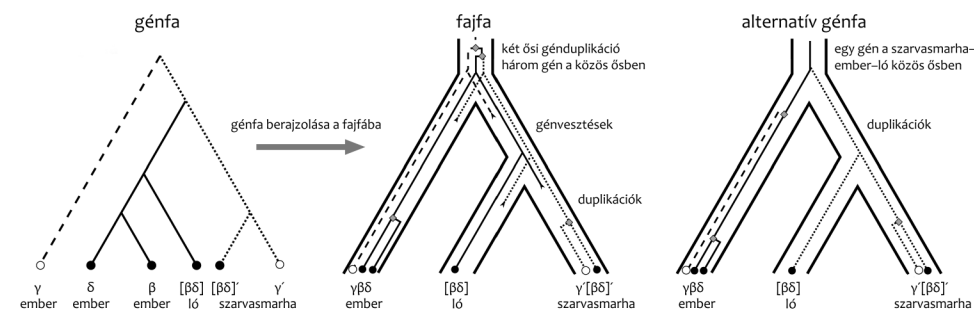
Hogy az egy géncsaládba tartozó szekvenciák közötti különbségeket megtaláljuk, meg

kell tudnunk mondani, hogy egy adott génben melyik nukleotid melyik másik nukleotidnak feleltethető meg a család többi génjében. Ehhez egy ún. szekvenciaillesztési (i. ábra) táblázatban a szekvenciákat egymás alá írjuk úgy, hogy a táblázat egyes oszlopaiba kerüljenek azok a szekvenciapozíciók, melyek a géncsalád közös ősi szekvenciájában ugyanazon szekvenciapozícióra vezetnek vissza történetüket. A szekvenciaillesztés nehézsége abban rejlik, hogy a szekvenciák evolúciója során kisebb-nagyobb szekvenciabeszúrássok és -kivágások történhettek. Ennek eredményeképpen a géncsalád szekvenciái általában különböző hosszúságúak, és mivel a szekvenciabeszúrássok és -kivágások történetét *a priori* nem ismerjük, nagyon sok szekvenciaillesztési táblázat lehetséges. Ezt a problémát a gyakorlatban úgy oldjuk meg, hogy azt a táblázatot választjuk, amely a lehető legkevesebb törés beiktatásával illeszti a lehető leghasonlóbb karaktereket egy oszlopba.

A szekvenciaillesztés birtokában már felvázolhatjuk, milyen események sorozata vezetett a szekvenciák közti különbségek kialakulásához. Ehhez azonban ismernünk és modelleznünk kell a szekvenciát módosító folyamatokat, azaz a nukleotidok cseréjét (szubsztitúcióját), beszúrást és kivágását



1. ábra • Egy géncsalád evolúciójának története a génfa mentén.



2. ábra • A Zuckerkandl és Pauling által rekonstruált első génfa és annak értelmezése a fajfa kontextusában

(inszczióját és delézióját). Az 1. ábrán bemutatott négy rokonszekvencia létrejöttét például a jobb oldali eseménysor magyarázza meg. Itt a fa elágazásai mind egy-egy DNS-replikációs eseménynek felelnek meg, ahonnan a két új szekvencia más-más úton fejlődött tovább, és különböző mutációk létrejöttével eltávolodtak egymástól. Nagyon sok lehetséges evolúciós történet és ezeknek megfelelő *génfa* létezik, melyek ugyanarra a szekvenciaillesztésben összefoglalt megfigyelésre vezetnek. Ezek közül a legkevesebb eseményt igénylő (szofisztikáltabb matematikai módszereket alkalmazva a legvalószínűbb) génfát a célunk megtalálni.

Az utóbbi évtizedekben a génfa-rekonstrukciós eljárások rohamos tempóban fejlődtek. Mára számos matematikailag kifinomult és biokémiaiailag jól informált módszer létezik génfák rekonstrukciójára az 1. ábrán illusztrált szekvenciaillesztések alapján (Felsenstein, 2004). A rekonstrukció számára azonban alapvető korlátot szab a rendelkezésre álló szekvenciák, illetve a közöttük lévő különbségek végessége, valamint távolabbi rokonszekvenciák esetén az evolúciós múlt évmilliárdos távlatai. Ennek eredményeként a génfa-rekonstrukció az egyedi géncsaládok szintjén

jellemzően több, részben hasonló génfával is hasonlóan jól megoldható, ezért csak egy valamelyest elmosódott képet ad a géncsalád evolúciós történetéről.

Minden géncsalád története egyedi

Emil Zuckerkandl és Linus Pauling ötven éve publikálta az első molekuláris szekvenciák alapján készült génfa-rekonstrukciót a béta-típusú globinok családjáról. Ennek a géncsaládnak az emberi genomban több tagja van, amelyek különböző életszakaszokban aktivizálódnak, hogy legyártódhasson belőlük az adott életkorban a megfelelő hemoglobin alegység. Zuckerkandl és Pauling három emberi hemoglobin gén – a magzati korban jelenlévő γ -globin, valamint a felnőttekre jellemző β - és δ -globin – szekvenciáját hasonlította össze a ló, és két szarvasmarha megfelelő génjeivel. Zuckerkandl és Pauling rekonstrukciójának eredménye a 2. ábra bal oldalán látható.

Ha ezt alaposabban szemügyre vesszük, feltűnik, hogy a család humán, szarvasmarha és ló genomokból származó tagjai nem olyan rokoni kapcsolatban állnak egymással, mint amire számíthatnánk – a β - és δ -globinokat tekintve az ember a ló közelebbi rokonának

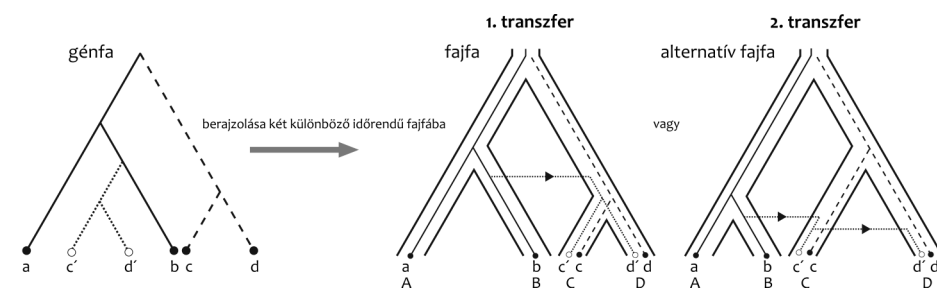
tűnik, mint a szarvasmarha. Ha a γ alegységeket is megfigyeljük, még bonyolultabbnak tűnik a helyzet. Téves lenne tehát Zuckerkandl és Pauling híres munkája? Nos, a válasz korántsem ilyen egyszerű: ahhoz, hogy megértjük, hogyan lehet pontos egyszerre az itt látott β -globin fa, és a számításba vett három faj jól ismert rokonsági kapcsolata is, a szemléletünkön kell változtatnunk.

A 2. ábra jobb oldalán található, vastag körvonalú „csőrendszer” a kérdéses három faj leszármazási kapcsolatait ábrázolja: ez *fajfa*, amelynek elágazásai ősi fajképződési eseményeket jelölnek. A génfák általában a fajfát követik, hiszen a fajképződések során a keletkező két új faj a közös ős génjeit öröklí. A gének sorsa viszont ennél bonyolultabban is alakulhat: végbemehet például a *duplikáció*, egy ritka esemény, amelyet követően a faj genomjában a duplikálódott gén két, eleinte azonos szekvenciájú példánya lesz jelen. Duplikációs eseményeket követően a génfa elágazik, két új ágban fejlődik tovább. Hasonlóan megtörténhet, hogy a faj elveszti az adott gén egy példányát, ebben az esetben a génfa érintett vonala nem ér el a jelenig (Maddison, 1997). Duplikációk és génvesztések sorozatát feltételezve Zuckerkandl és Pauling génfáját is bele tudjuk rajzolni a fajfába, mint ahogy az ábrán látható.

Ma már ismert, hogy főként prokarióta, de néha eukarióta fajok között is előfordul a *horizontális géntranszfer* – erre kiváló példa a mitokondrium és a kloroplasztisz génjeinek bekerülése az eukarióta sejtmagba (endosimbiotikus géntranszfer). Egy ilyen esemény azt eredményezi, hogy a génfa vonalai a fajfa ágaira merőlegesen haladnak, és átlépik a távolabbi rokon fajok közötti határokat is (3. ábra), ezzel tovább gazdagítva a lehetséges génfa-berajzolások halmazát.

Úton a pontosabb faj- és géntörténetek felé

Mint azt fentebb is említettük, a géncsaládok szekvenciája alapján rekonstruált gének gyakran elmosódottak. Ha a fajfát ismerjük, vagy ismertnek tételezzük fel, nagy mértékben csökkenteni tudjuk ezt az elmosódottságot. Ekkor ugyanis a lehetséges génfák közül nem csak aszerint tudunk választani, hogy melyeket feltételezve van szükségünk a legkevesebb szubsztitúcióra (vö. 1. ábra), hanem az alapján is, melyik génfa magyarázható kisebb számú duplikáció, horizontális géntranszfer és génvesztés segítségével. A 2. ábra példája esetén is ez a helyzet, kiderül ugyanis, hogy a fajfa ismeretében egy alternatív génfa lesz a legvalószínűbb, amelynek a fajfába való berajzoláshoz kevesebb duplikáció- és génvesztés-eseményre van szükség.



3. ábra • Horizontális géntranszfer események mint molekuláris fosszília

De honnan tudjuk, hogyan néz ki a fajfa? A β -globinokon kívül géncsaládok millióit ismerjük. Ezek közül azokban a géncsaládokban, amelyekben duplikáció-, génvesztés- vagy transzfereseemények mentek végbe, azt várjuk, hogy a génfa különböző lesz a fajfától. Valójában a géncsaládok szinte mindegyike ebbe a kategóriába sorolható, olyan eszenciális géncsaládok ritka kivételével, amelyek hiánya drasztikus következményekkel jár az élőlények számára – ilyen például az információkezeléssel (transzkripció, transláció) foglalkozó gének egy része. Amennyiben egy ilyen géncsalád tagjai pontosan egy példányban szerepelnek minden élőlény genomjában, és feltételezzük, hogy nem történt egyetlen génduplikáció, horizontális géntranszfer vagy génvesztés-esemény sem, akkor a géncsalád története, pontosabban az azt leíró génfa megegyezik az őket hordozó fajok történelmével, vagyis az azt leíró fajfával. 1977-ben Carl Woese és társai (Fox et al., 1977) is egy ilyen „egypéldányos” géncsalád, a riboszómák alkatörészét adó kis RNS-alegység, az ún. 16S rRNS gének szekvenciáit vizsgálva rekonstruálták az élővilág fajfáját, és fedezték fel, hogy az addig prokariótaként ismert csoport valójában két doménre oszlik: a baktériumokra és archeákra.

Célravezetőnek tűnhet tehát, hogy a kis számú esszenciális géncsaládot, a gének „1%-át” felhasználva kövessük vissza az élet történetét. Azonban ha így járunk el, a géncsaládok maradék 99%-a által hordozott információt nem használjuk. Ez azt eredményezi, hogy az egyedi géncsaládok történetének elmosódottsága miatt sok esetben nem rajzolható fel egyértelműen a fajfa sem.

Erre a problémára keresték a megoldást Bastien Boussau és munkatársai, akik 2013-ban harminchat emlősfajban 6966 géncsalád

történetét rekonstruálták a fajfával közösen. A lehetséges fajfák terét egy számítógépes algoritmus segítségével járták be: egy adott fajfára elkészítették az összes géncsaládhoz tartozó, az adott fajfához és a szekvenciákhoz együttesen legjobban illő, mindkét folyamat szerint legvalószínűbb génfát. Az így kapott „közös” valószínűségek szorzata adta a fajfa valószínűségét. Ezt követően minden szomszédos fajfára is elvégezték ugyanezt a számítást, és ha ezek között találtak olyan szomszédot, melynek valószínűsége nagyobb volt, mint a kezdeti fajfa, akkor az eljárást ettől a fajfától elindulva megismételték. Az algoritmus akkor ért véget, amikor olyan fajfát találtak, amelynek nem volt szomszédja, amely nála valószínűbb lett volna. Ez az eljárás egyszerre használja a fajfa adta keretrendszert arra, hogy pontosabb génfákat kapjunk, miközben a fajfát is nagy pontossággal, több ezer géncsalád alapján képes meghatározni — ez az ún. *közös rekonstrukció*. Az eredmények biztatóak: a kapott fajfa nem mond ellent semmilyen ismert rendszertani ténynek, és a géntörténetek is valószínűek, ugyanis nem mutatnak a mainál jóval nagyobb ősi genomokat (nem megfelelő rekonstrukciós módszerek gyakran vezetnek „felduzzasztott” ősi genomokhoz).

Géntranszfer: zaj helyett információ

Az emlősök történetének kutatásában elegendő csupán a duplikációkat és a génvesztéseket figyelembe vennünk, más élőlényeknél viszont nem hanyagolható el a gének történetét bonyolító harmadik folyamat sem: a horizontális géntranszfer. A transzfereseeményekre sokan a fajfa vonalait elmosó „zajként” tekintenek, hiszen ilyenkor a génfák vonalai átlépik a fajok szabta határokat, és a fajfa csöveinek összekötésével egy bonyolult háló-

zatot hoznak létre. Ha azonban mégis arra vállalkozunk, hogy megvizsgáljuk a transzferen keresztülment géncsaládok történetét is, értékes információkhoz juthatunk.

Először is figyelembe kell vennünk, hogy minden transzfer két, térben és időben egymás mellett élő faj között történhet meg – fordított szemzőből nézve, ha ismerünk egy transzfert is tartalmazó géntörténetet, meg tudhatjuk, a fajfa mely ágai fedtek át egymással időben (3. ábra). Több transzfert felhasználva akár a fajfa összes elágazásának idejét is meghatározhatjuk (Szöllősi et al., 2012).

Ugyanilyen jelentőséggel bírhat a tény, hogy az ősi horizontális transzferek során mára már kihalt fajok génjei is bekerülhettek a mostani élőlények őseinek genomjába. Ha ezek a gének beépültek az új genomba, és ott egészen napjainkig fennmaradtak, akkor az élővilág számunkra eddig ismeretlen részeinek lenyomatát adhatják (Szöllősi et al., 2013).

A múlt életre kel a laboratóriumban

A filogenetikai rekonstrukció eredménye nemcsak egy génfa, hanem, mint az az 1. ábrán is látható, a szekvenciaváltozásokat a génfa mentén visszafelé követve az ősi szekvenciákat is megkapjuk. Ugyanazon szekvenciaillesztés esetén különböző alternatív génfák különböző ősi szekvenciákhoz vezetnek. Ezek az ősi szekvenciák az evolúciós múltról tett alternatív predikciók, amelyeket a laboratóriumban egymással összehasonlíthatunk. Rendelkezésünkre állnak ugyanis molekuláris biológiai módszerek, melyek segítségével az

ősi szekvenciákat mesterségesen szintetizálva, majd baktériumokba bejuttatva az általuk kódolt ősi fehérjéket is legyárthatjuk.

Mathieu Groussin és társai (Groussin et al., 2015) ilyen módon „feltámasztott,” több száz millió éves LeuB-enzimek biokémiai tulajdonságait hasonlították össze. Arra az eredményre jutottak, hogy mind a fajfa figyelembe vételével, mind pedig az anélkül rekonstruált génfáknak megfelelő enzim nagy vonalakban hasonló enzimeket eredményezett: mindkettő a mai LeuB-enzimeknél magasabb hőmérsékleten működött optimálisan, megerősítve azt, hogy az ősi baktérium, amelyből származtak, magas hőmérsékleten élő, ún. termofil organizmus volt. A részletesebb enzimatis aktivitásra irányuló vizsgálatok azonban egyértelműen kimutatták, hogy csak a fajfa felhasználásával rekonstruált enzim mutatott a jelenbeli enzimekkel összemérhető, valószínű biokémiai paramétereket.

A LeuB-enzimekkel végzett kísérletek közvetlen bizonyítékát adják annak, hogy a fajfa és génfák közös kezelésével pontosabb rekonstrukciókat kapunk. Megmutatják továbbá, hogy nemcsak a fajok és gének lezármazásának történetéről lehet élesebb fogalmunk, hanem az ősi enzimekről és rajtuk keresztül az ősi élőlények tulajdonságairól is részletes információkhoz juthatunk.

Kulcsszavak: DNS-szekvenálás, génduplikáció, horizontális géntranszfer, szekvenciaillesztés, génfák, fajfák

IRODALOM

Boussau, Bastien – Szöllősi Gergely J. – Duret, Laurent et al. (2013): Genome-scale Coestimation of Species and Gene Trees. *Genome Research*. 23, 2, 323–330. DOI: 10.1101/gr.141978.112 • <http://genome.cshlp.org/content/23/2/323.full>

Boussau, Bastien – Daubin, Vincent (2010): Genomes as Documents of Evolutionary History. *Trends in Ecology and Evolution*. 25, 4, 224–232. DOI: 10.1016/j.tree.2009.09.007

Felsenstein, Joseph (2004): *Inferring Phylogenies*. Sinauer Associates, Sunderland, USA

Fox, George E. – Magrum, Linda J. – Balch, William E. et al. (1977): Classification of Methanogenic Bacteria by 16S Ribosomal RNA Characterization. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 74, 10, 4537–4541. DOI: 10.1073/pnas.74.10.4537 • <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC431980/>

Groussin, Mathieu – Hobbs, Joanne K. – Szöllősi Gergely J. et al. (2015): Toward More Accurate Ancestral Protein Genotype–Phenotype Reconstructions with the Use of Species Tree-aware Gene Trees. *Molecular Biology and Evolution*. 32, 1, 13–22. DOI: 10.1093/molbev/msu305 • <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4271536/>

Maddison, Wayne P. (1997): Gene Trees in Species Trees. *Systematic Biology*. 46, 3, 523–536. DOI: 10.1093/sysbio/46.3.523 • <http://sysbio.oxfordjournals.org/content/46/3/523.full.pdf+html>

Szöllősi Gergely J. – Tannier, Eric – Lartillot, Nicolas – Daubin, Vincent (2013): Lateral Gene Transfer from the Dead. *Systematic Biology*. 62, 3, 386–397. DOI:

10.1093/sysbio/syt003 • <http://sysbio.oxfordjournals.org/content/early/2013/01/25/sysbio.syt003.full.pdf+html>

Szöllősi Gergely J. – Boussau, Bastien – Abby, Sophie S. et al. (2012): Phylogenetic Modeling of Lateral Gene Transfer Reconstructs the Pattern and Relative Timing of Speciations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 109, 43, 17513–17518. DOI: 10.1073/pnas.1202997109 • <http://www.pnas.org/content/109/43/17513.full>

Zuckermandl, Emile – Pauling, Linus (1965): Evolutionary Divergence and Convergence in Proteins. *Evolving Genes and Proteins*. 97, 97–165. • <http://authors.library.caltech.edu/5456/1/hrst.mit.edu/hrs/evolution/public/papers/zuckermandlpauling1965/zuckermandlpauling1965.pdf>

Zuckermandl, Emile – Pauling, Linus (1965): Molecules as Documents of Evolutionary History. *Journal of Theoretical Biology*. 8, 2, 357–366. DOI: 10.1016/0022-5193(65)90083-4 • http://lectures.molgen.mpg.de/phylogeny_ws05/papers/zuckermandl_pauling.pdf



„FÁBAN GONDOLKODÁS” A BIOLÓGIÁBAN, AVAGY NEM MINDEN FA, AMI ANNAK LÁTSZIK

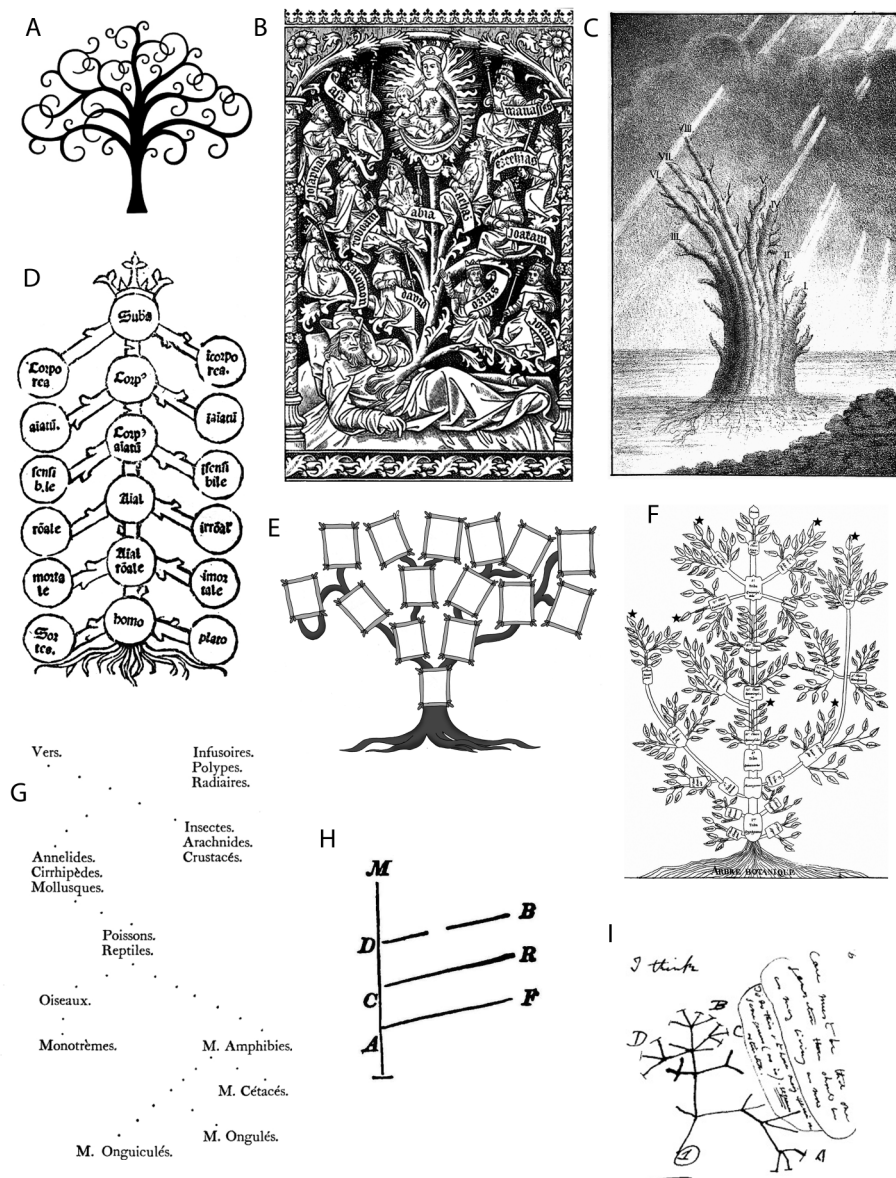
Podani János

az MTA rendes tagja, egyetemi tanár,
Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Biológiai Intézet
podani@ludens.elte.hu

A *Magyar Tudományban* megjelent előző cikkem (Podani, 2010) részletesen beszámolt az evolúció és a rendszertan kapcsolatáról, és arról, hogy a biológia és a számítástechnika fejlődésének köszönhetően ezeken a tudományterületeken milyen lényeges változásokra kell odafigyelnünk. Mint a cím is jelezte, a téma megkerülhetetlen a törzsfák és hasonló jellegű ábrázolások, mint például a kladogram vagy az evolúciós fa tárgyalása nélkül, hiszen ma már ezek szolgálnak az osztályozás alapjául. Néhány példával illusztráltam, hogy a törzsfák és kladogramok értelmezése számos buktatót rejt: a vizsgálatba bevont fajok és más taxonok kapcsolatrendszerét igen könnyű félreérteni. A fák sokféleségének témakörét természetesen nem merítettem ki, az alapfogalmak és a köznyelv kapcsolatáról alig szóltam, számos történeti és elméleti vonatkozást nem említettem – már csak a korlátozott oldalszám miatt sem. Ebben a cikkben szeretnék néhány kiegészítést tenni – az időközben született elméleti eredmények és több, nemrég megjelent összefoglaló munka (például: Pietsch, 2012; Archibald, 2014) figyelembevételével. A fő tanulságot a cikk címe is mutatja: nem minden fa, ami annak látszik, s ami megfordítva is igaz lehet: sok ábra a látszat ellenére is megfelel a fa egyes kritériumainak.

A fa mint az egyik leggyakoribb – és mindenképpen a legfeltűnőbb – növényi növekedési forma már ősidők óta kiemelt szerepet tölt be a különféle kultúrákban. Konkrét biológiai jelentésétől eltérően, de attól teljesen sohasem elszakadva, megjelenik mítoszokban, vallásokban, népmesékben, az irodalomban és a képzőművészetben egyaránt (*1/a ábra*). A vastag törzs, a fokozatosan vékonyodó ágak sokasága, a gallyak és a rajtuk fejlődő levelek, virágok, termések vagy éppen tobozok mindig is gyakori ihletői voltak az „Élet fája” megjelenítőinek – az eredményt tekintve igen változatos tartalommal és küllemmel.¹ Legismertebb talán a bibliai Édenkertben fejlődő élet fája és annak közvetlen közelében a jó és a rossz tudásának fája. A benne rejlő szimbolikus üzenetek mellett a fa hosszú ideje egy konkrétabb, de a növénytanhoz már nem kötődő jelentéssel is bír: az elágazások rendszere alkalmat ad emberek leszármazási, rokoni vagy éppen dinasztikus viszonyainak bemutatására (*1/e ábra*). Az első közismert, és a 12. századtól kezdődően gyakorivá lett ilyen jellegű ábrázolás Jesszének, Dávid király apjának a „családfája”. Számos festmény, fríz és

¹ Erről könnyen meggyőződhetünk, ha a Google képkeresőjébe beírjuk a *tree of life* kifejezést.



1. ábra • a: Egy tipikus stilizált fa-ábrázolás; b: Jessze fája a francia Pigouchet metszetén (1498); c: von Eichwald elképzelése az Élet fájáról; d: Porfiriusz fája középkori ábrázoláson; e: egy szabadon kitölthető családfa az internetről; f: Augier botanikai fája; g: Lamarck rajza az állatok filogenetikai viszonyairól; h: Chambers fája a gerincesek egyed- és törzsejlődésének párhuzamosságáról; i: Darwin egyik legkorábbi evolúciós értelmezésű fa-diagramja, az *I think* felirattal.

templomi ablak örökíti meg az alvó Jesszéből eredő, erőteljes, fává növekvő vesszőt, melynek ágain jelennek meg a későbbi királyok, próféták, s maga Jézus is (*1/b ábra*). A zsidó Lurie-család fája – melynek többek között Karl Marx, Sigmund Freud, Felix Mendelssohn és Yehudi Menuhin is tagja – egészen Dávid királyig, azaz több mint háromezer évvel ezelőttig vezeti vissza történetüket (Rosenstein, 2004). A legnépesebb Konfuciusz összes (ismert) utódjának a „családfája”, amely igen nagy időtávlatot, nyolcvan generációt átívelve, s mintegy kétmillió nevet felsorolva összesíti a nagy kínai gondolkodó leszármazottait (URL₁). Hasonló módon mutathatjuk be például Ádám és Éva utódainak rokonsági viszonyait, királyi és császári uralkodóházak történetét vagy éppen fikatív regényhősök családi kapcsolatait Harry Pottertől a dallasi Ewing famíliáig.² Hazai példa is akad, elegendő, ha az Árpád-ház (URL₃) és a Rákócziak (URL₄) közismert „családfáit” felidézünk.

A fa fogalma a tudományban sem maradt meg eredeti jelentésénél, melynek első jeleit – mint oly sok más esetben – már az ókori görögök munkáiban is megfigyelhetjük. Arisztotelész divíziós osztályozási alapelvei szerint a dolgok lényegük szerint felső génuszokba, azokon belül speciesekbe sorolhatók, amelyek több lépcsőben további génuszokra és speciesekre bonthatók, egészen a legalsó fajokig. A divíziók sorozata hierarchiát alkot, ami fő szerepet játszott az évszázadokkal későbbi tevékenykedő, ugyancsak görög filozófus, Porfiriusz egyik művében. Ennek latinba átültetett kiadásai a génuszok/speciesek hierarchiáját már Porfiriusz fájaként ismertették – és ábrázolták (*1/d ábra*). Egy ilyen absztrakt fa szolgált alapul Carl von Linné számára az

élővilág klasszifikációjához, a taxonómiai rangok egymásba ágyazott rendszeréhez.

A rendszerezésen kívül a fa hamarosan a biológiai sokféleség metaforájává is vált. Az orosz cári udvarban évtizedekig vendégeskedő német Peter Simon Pallasnak (1766) tulajdonítják sokan azt a koncepciót, hogy az élő szervezetek közötti hasonlóságokat (affinitásokat) fa formájában lehet bemutatni – bár ő maga sohasem valósította ezt meg. A szintén német Carl Edward von Eichwald csak hatvan évvel később vállalkozott erre egy misztikus környezetbe helyezett fa-óriás megrajzolásával (*1/c ábra*). A francia szerzetes-botanikus Augustin Augier is művészi ihletéssel készített fával ábrázolta a növények osztályozását (Augier, 1801), melyben a fa törzse a nagyobb csoportok tökéletlentől a tökéletesig való elrendezését jelképezte, az ágak és a levelek pedig a kisebb kategóriáknak feleltek meg (*1/f ábra*). Linné rendszere azonban változatlanságot sugallt, és a hozzá eszmeileg kötődő artisztikus faábrázolások sem voltak mások, mint az állandóság szimbólumai.

A fajlegű struktúra, azaz elágazások összetett rendszere sokkal inkább alkalmas az utódlás, a leszármazás vagy az átalakulás bemutatására – ahogy azt a családfának nevezett ábrázolásoknál már láttuk.³ Ez teljes egyértelműséggel először Jean-Baptiste Lamarcknál jelentkezik a biológia történetében. Az állatok „transzmutációját” egy – általa *Tableau*-nak nevezett, a különféle állatcsoportok eredetére (*l'origine*) célzó – elágazó sémával (*1/g ábra*) mutatta be 1809-ben (Lamarck, 1809, Podani,

³ Bár a szervezetek megváltozásának, transzmutációjának gondolata grafikusan először tulajdonképpen hálózatok és nem fák formájában jelentkezett, mégpedig Georges-Louis Leclerc, Buffon grófia kutyafajtákat és Antoine Nicolas Duchesne eperfajtákat bemutató rajzain 1755-ben, illetve 1766-ban.

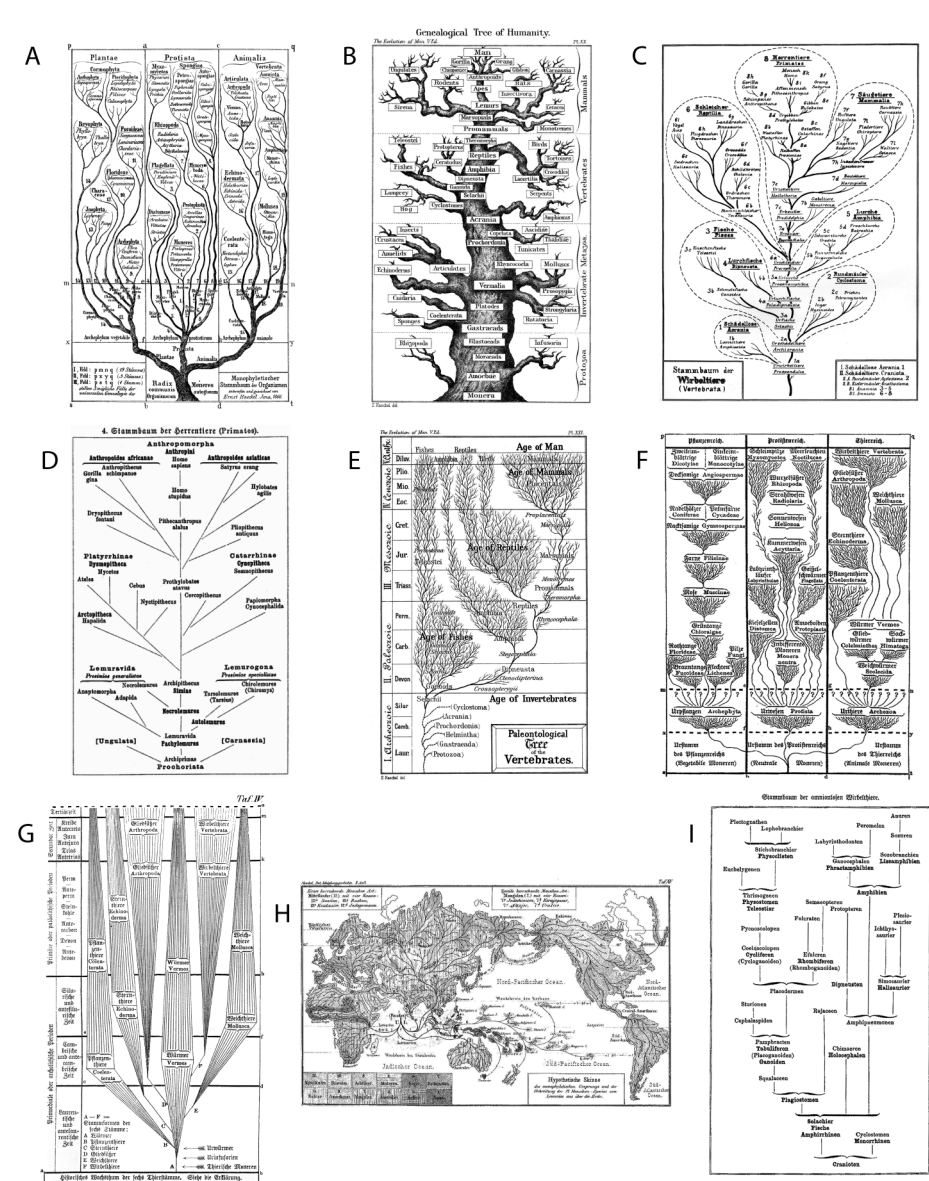
2010, *1/c ábra*). Erre ma már nyugodtan ráragaszthatjuk az első „filogenetikai fa” címkéjét. Annál is inkább, mert Lamarck kevés számú követőinek egyike, Charles-Hélion de Barbançois ezt a fát nagy felbontásban, poszter-méretben rajzolta meg 1816-ban, melynek aláírásában már szerepelt az egyértelmű *filiation* (leszármazás) szó is. Egy távolinak tűnő tudományterület, az embriológia is „bejelentkezett”: az angol William Benjamin Carpenter a gerincesek egyedfejlődésének korai szakaszai és a főbb gerinces csoportok között mutatkozó hasonlóságokat ábrázolta egy fadiagrammal 1841-ben. Erre kísértetiesen hasonlít a Charles Robert Darwint már közvetlenül befolyásoló híres-hírhedt tudományos pamflet (Chambers, 1844) egyik ábrája, amivel az anonimitását haláláig megőrző szerző az embrionális fejlődés és az evolúció párhuzamosságát érzékeltette (*1/h ábra*). S ahogy Pallas nem rajzolt, ugyanúgy megmaradt a szavak szintjén az evolúciós gondolat két kiváló képviselője, a francia Charles Victor Naudin és az angol Alfred Russel Wallace is. Naudin egy 1852-es írása szerint a növények birodalma akár „egy fa is lehetne, melynek a mélyes mély múltban rejtőző gyökerei néhány, egymás után kiágazó törzset fejlesztenek. Eme első törzsek jelenthetik a birodalom legősibb formáit, míg az utolsó ágak a ma élő fajoknak felelhetnek meg”. Wallace 1855-ös meglátása hasonló volt: „a ma élő fajok prototípusai a hasonló szervezetek vonalainak kusza szövedékét alkották, olyan finoman mint egy göcsörtös törzsű tölgy gallyai vagy az emberi test véredényei”.

Ezen a ponton jogosan tehető fel a kérdés: hol a helye Darwinnak ebben a történetben? Kortársai elképzeléseivel természetesen tisztában volt, de közismert módon egész életében csak egyetlenegy fadiagramot jelentetett meg,

az *On the Origin of Species* egyedüli ábrájaként (Darwin, 1859; Podani, 2010, *1d ábra*), amelyet „Az élet fájaként” aposztrofált. Ez korántsem jelenti azt, hogy ne gondolkozott volna már jóval előtte, két évtizeden át arról, mi is lehet az evolúció hiteles ábrázolása, legjobb grafikus modellje. Az utókorra maradt jegyzeteiből kiderül, hogy már az 1830-as években több fajlegű ábrázolást is készített. Ezek közül leghíresebb az *I think* feliratot viselő rajz vált (*1/i ábra*), ami tetoválásokon és trikókon is népszerűsíti Darwin elméletét szerzte a világon. (URL₅ és URL₆ – ez utóbbinak darabja 20 USD fölött van.) Ezekon a diagramokon, a „Tree of Life”-ra való utalások ellenére Darwin egyáltalán nem az egész élet leszármazási kapcsolatait próbálta megmutatni, hanem a fajkeletkezés modelljét érzékeltette, azaz jóval kisebb léptékben gondolkodott. Néhány rajzán – ritka kivételként – egy konkrét rendszertani csoport, nevezetesen a gerincesek rokonsági viszonyairól szóló elképzeléseit is felvázolta.

Az élet, vagyis a teljes akkor ismert élővilág – leszármazási – fájának első ábrázolása Darwin tanainak legszorgalmasabb európai terjesztőjére, Ernst Heinrich Philipp August Haeckelre várt. A jénai professzor legalább akkora művész volt, mint tudós, amit a *Kunstformen der Natur* (Breibach, 2006) csodálatos festményein kívül azzal is alátámaszthatunk, hogy az evolúciós értelmezésű fadiagramok mindmáig párját ritkító változatosságát, valóságos erdejét produkálta (*2. ábra*). Kreativitását az is igazolja, hogy neki köszönhető olyan fontos fogalmak bevezetése a tudományba, mint a törzs (*phylum*), törzsfejlődés, törzsfa, monofiletikusság, ökológia, protista vagy éppen az összejt. Ezek egy része szerepel annak az 1866-os ábrának az aláírásában is, amellyel Haeckel az összes élő szervezet közös (azaz

² Meglehetősen kimerítő lista: URL₂.



2. ábra • Fák sokfélesége Haeckel „filogenetikai erdejében”. a: *Monophyletische Stammbaum der Organismen* (1866); b: az ember származásának illusztrációja (1874); c: a gerincesek törzsfája (1905); d: a főemlősök leszármazási viszonyai (1905); e: a gerincesek leszármaztatása a gerinctelenekből (1870); f: az élővilág három fő csoportjának filogenezeise (1868); g: az állatvilág főbb csoportjainak evolúciója (1870); h: az ember származása és elterjedése a Földön (1870); i: a magzatburok nélküliek filogenetikai fája (1870).

monofiletikus) eredetét illusztrálta és – jelentős újításként – szakított a hagyományos növény-állat felosztással, külön kezelve az egysejtűeket (azaz a protista) fő ágát (*Monophyletische Stammbaum*, 2/a ábra). Később a botanikai fákra még inkább emlékeztető, bár erősen stilizált fákat is készített, mint például az állatok „tölgyfája”⁴ (2/c ábra), melynek csúcán – a klasszikus szemlélethez hűen – az embert tüntette fel. Lamarckéhoz hasonló, vonalas-szöveges diagramokon mutatta be minden sallang nélkül a növények, a főemlősök (2/d ábra) vagy éppen a gerincesek (2/i ábra) leszármazási viszonyait – ez utóbbiakon továbbra is a mi fajunkat helyezve a legfelső pozícióba. A *Hypothetische Skizze* az ember származását és szétterjedését illusztrálta egy térképre fektetett kladogram-szerű rajzzal (2/h ábra). Haeckel a geológiai időskálát is gyakran mellékelte, és a paleontológusok kedvenc motívumát, a csoportok fajgazdagságával arányos vastagságú ágakat alkalmazta (mint például az állatvilág esetében, 2/e és g ábra).⁵ Érdekes kettősség Haeckel grafikáin, hogy – míg az első *Stammbaum* az alá- és fölrendeltséget sugalló arisztotelészi *scala naturae* (természet lépcsője) hatásától mentes volt – rajzainak többsége mégis ilyen szellemben készült, az evolúciós fokozatok, a morfológiai „progresszió” érzékeltetésének szándékával.

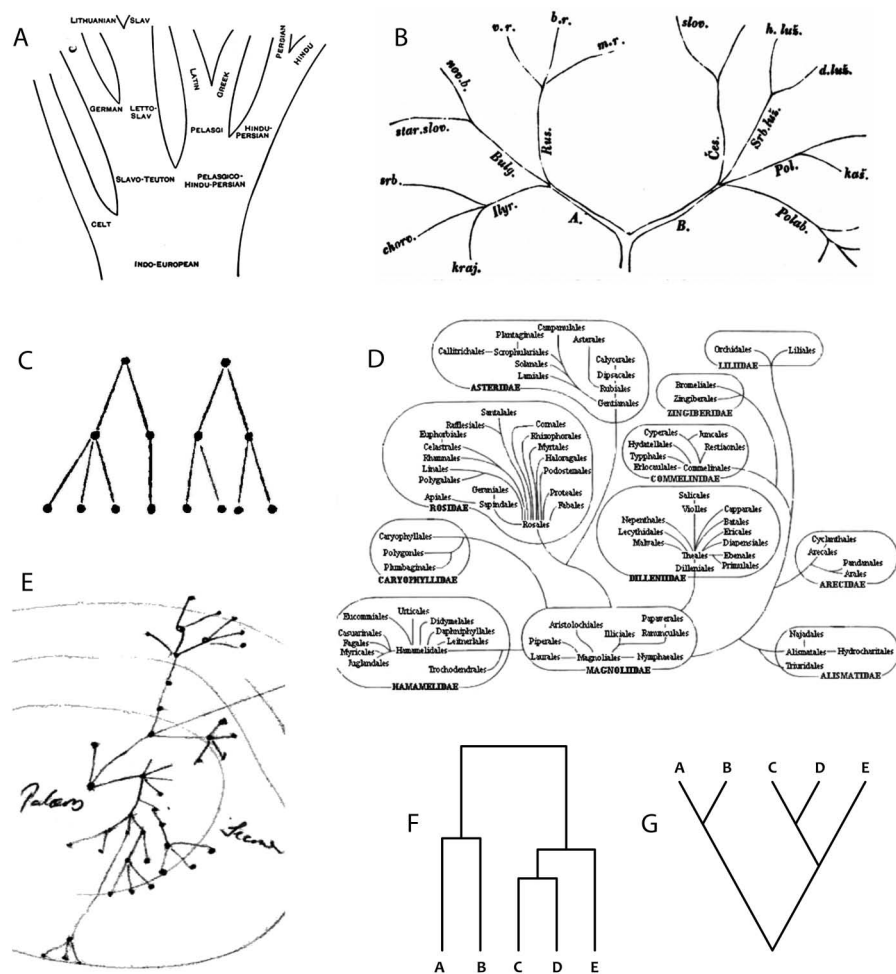
Haeckelre nemcsak Darwin, hanem korának sok nyelvésze is kimutatható hatással volt – már csak azért is, mert személyesen ismerte néhányukat. Abban az időben teljesen egyértelmű volt a párhuzam a biológiával: a

nyelvek is változnak, nemcsak az élő szervezetek. Erre Sir William Jones már 1786-ban célzott – megjegyezve, hogy a szanszkrit, a görög és a latin nyelv egy közös, ma már nem létező nyelvből vezethető le. Az igazi áttörésre két fontos közlemény 1853-as, egymástól – valószínűleg – független megjelenéséig kellett várni. A jénai August Schleicher az indoeurópai nyelvek stilizált fáját vázolta fel, a cseh František Ladislav Čelakovský posztumusz megjelent rajza pedig a szláv nyelvekre összpontosított. Bár egy ideig kollégák is voltak a prágai egyetemen, és Schleicher csehül is publikált, semmi bizonyíték nincs arra, hogy összeheszték vagy plagizáltak volna – amit a két rajz igen eltérő grafikai megvalósítása is igazolhat (3/a–b ábra) (Priestly, 1975). A nyelvek és az élő szervezetek evolúciójának elvi hasonlatosságait egyébként maga Darwin is több helyen fejtegette az *Origin*-ben. A nyelvrokonság „családfás” bemutatása mindennapos gyakorlattá vált a lingvisztikában – és a nyelvek és a népek fájának statisztikai összevetésére is van példa (Penny et al., 1993). A teljesség kedvéért azt is megjegyezzük, hogy az evolúció „képessége” nincs a szervezetekre és a nyelvekre korlátozva, így a fa hatékony segédeszköz lehet kéziratokban és egy adott könyv különböző kiadásában fellelhető változások bemutatásában, vagy éppen zenei stílusok és irányzatok összefüggéseinek érzékeltetésében is.

A fa jelentése tehát sokféleképpen módosult a tudományban, és némi meglepetéssel vehetjük észre, hogy a matematika kissé lemaradt a logika, a biológia és a nyelvészet mögött. Az angol Arthur Cayley 1857-ben pótolta ezt a „hiányosságot”: a fát gráfelméleti objektumként definiálta, amely szögponatok és az azokat összekötő élek halmazából áll, azzal a megköttéssel, hogy egy adott szög-

⁴ Erre a rajzra a legtöbb forrás *Haeckel's oak* néven hivatkozik.

⁵ Az ilyen jelentésű ábrák később *orsó*-, *buborék*- vagy *Romer-diagram* néven terjedtek el, ez utóbbi az amerikai paleontológus, Alfred Sherwood Romer huszadik századi aktivitásának köszönhetően.



3. ábra • a: Az indo-európai nyelvek „családfája” Schleicher szerint. b: a szláv nyelvek fája Celakovsky rajzán; c: két matematikai fa Cayley cikkéből; d: Darwin rajza halak hipotetikus leszármazási viszonyairól; e: Cronquist zárvatermő osztályozásának részlete jól mutatja a különféle koncepciók keveredését; f: egy tipikus dendrogram, a hasonlósági szinteket kifejező megtört éllel; g: kladogramok leggyakoribb megjelenési formája (bár a dendrogramokéhoz hasonló megjelenés sem ritka!).

pontból bármely másikba csak egyféleképpen lehet az él mentén eljutni (3/c ábra) (Cayley, 1857). Így pontosította azt az alapvető „fasaját-ságot”, miszerint ami már egyszer elvált egymástól, az tovább ágazhat ugyan, de sohasem egyesülhet újra – ellentétben például a levelek

anasztomizáló erezetével.⁶ Más szóval, a fában nincsenek körök. Figyelemre méltó tény, hogy Darwin jegyzetkönyveiben is találunk

⁶ Szabályt „erősítő” kivételek persze vannak, hiszen ágak és törzsek összeolvadása is megfigyelhető a természetben (például a *Ficus*-nál).

olyan rajzokat, amelyek tökéletesen megfelelnek Cayley meghatározásának, azaz egy gráfelméleti fának. 1857-ből, vagy egy évvel későbből származik a halak leszármazását illusztráló ábra, melyen a mellette található jegyzetek szerint a pontok evolúciósan „új formáknak” felelnek meg (3/d ábra). A koncentrikus körökkel pedig Darwin az eltelt időszakokat kívánta szemléltetni. Az időbeli egybeesés ellenére nagyon valószínű, hogy Darwin nem olvasta Cayley cikkét, holott ismerhette őt a Royal Societyből.⁷

Darwin és Haeckel nyomán a fahasonlat igen népszerűvé vált mind az állattanban (az angol William Abbott Herdman könyvében), mind a növénytanban (az amerikai Charles Edwin Bessey, és a német Hans Hallier munkáiban). A 20. század közepe táján elsősorban a botanikusok alkalmazták előszeretettel – nem változtatva azon a szokáson, hogy először készült el az osztályozás, amire utóbb próbálták az egyes csoportok – feltételezett – filogenetikai viszonyait fa formájában vetíteni. Az ilyen stratégiát követő, úgynevezett filogenetikai rendszerezők közé tartozik például az örmény Armen Tahtadzsján (Takhtadjan), az amerikai Arthur Cronquist (3/e ábra) és a magyar Soó Rezső is.

⁷ Tudjuk, persze, hogy Darwin meglehetősen visszavonultan dolgozott downe-i házában, s elég ritka vendég volt a tudományos konferenciákon s egyéb összejöveteleken. A Darwin Correspondence Project (URL:7) szerint sohasem váltottak levelet, legalábbis az archívumban nem szerepel erre utaló adat. Érdekes történeti tény, hogy ugyanabban a társasági elismerésben részesültek, hat év eltéréssel. Darwin egyébként fiatal korában meglehetősen idegenkedett a matematikától, de később már másképpen fogalmazott: „Every new discovery is mathematical in form, because there is no other guidance we can have.” (Minden új felfedezés matematikai alakot ölt, mert más iránymutatás nem áll rendelkezésünkre.)

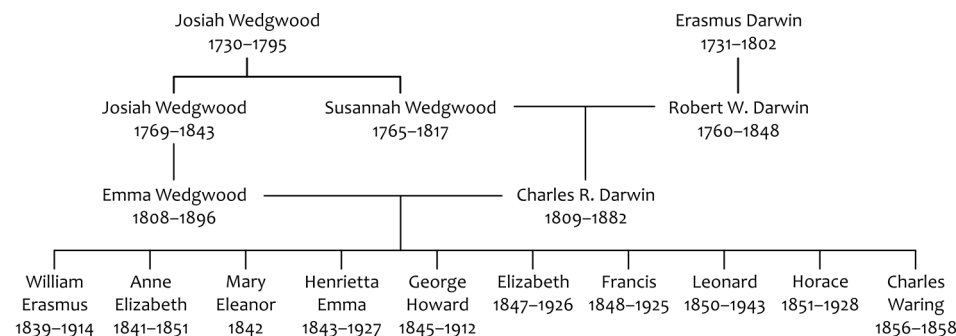
A sorrend megváltoztatása – vagyis készülőn először egy fa, majd utána próbálunk meg annak alapján osztályozni – két, a matematikai módszereket és a számítógépet intenzíven alkalmazó rendszertani irányzatra, a numerikus taxonómiára és a kladisztikára várt. Az amerikai rovarász, Robert Reuven Sokal és az angol mikrobiológus, Peter Henry Andrews Sneath által népszerűsített és matematikusok által továbbfejlesztett numerikus taxonómiai módszerek előnye a viszonylagos objektivitás volt. Elsősorban morfológiai adatok alapján számítógép állított elő egy fadiagramot (dendrogramot, 3/f ábra), ami a vizsgált szervezetek hasonlóságainak összegzője: minél hasonlóbb két szervezet vagy szervezetek két csoportja, annál előbb kapcsolódnak egymáshoz. Az ábrán C és D a leghasonlóbbak, majd az E következik. Az A és B valamivel kisebb hasonlóságot mutat fel, és egyértelműen külön csoportot alkot. A kutató a dendrogram alapján határozta el a taxonokat – ezt már kevésbé objektív módon. Publikált dendrogramok ezrei jelezték az irányzat népszerűségét, és a gráfelméletileg is tiszta jelentésű fafogalom meghonosodását a biológiában. A numerikus taxonómusok abban tévedtek, hogy az evolúció részleteiben sem rekonstruálható, s emiatt természetes osztályozást csak a szervezetek külső hasonlósága alapján tudtak elképzelni. A német Emil Hans Willi Hennig azonban őket pár évvel megelőzve már kidolgozta a kladisztika elméleti alapjait, s megmutatta, hogyan lehet a jelen ismeretében a múltat következtetni. Ezzel megvalósította Darwin javaslatát, miszerint a leginkább természetes klasszifikáció a leszármazáson alapszik – tehát ez utóbbit kell először megismernünk. A numerikus taxonómia valójában csak kikövezte az utat a számítógépre egyre inkább hagyatkozó kladisztika

számára, ami az 1980-as évektől fokozatosan átvette a vezető szerepet a szisztematikában, és a biológiai kutatások nélkülözhetetlen összetevőjévé vált. A kladisztika paradigmatis ábráján, a kladogramon (*3/g ábra*) nem a hasonlóság, hanem a filogenetikai rokonság fejeződik ki. Az ábrán az A és a C, valamint a C és a D egymás legközelebbi rokonai, míg az E az utóbbiak kissé távolabbi rokona. Morfológiai, de főként molekuláris alapon végzett elemzések sokasága kladogramok tízezreit eredményezte és szolgáltatja ma is, amivel egyre közelebb jutunk a nagy álm megvalósításához, az Élet „fájának” (pontosabban *kladogramjának*, vö. Podani, 2010) megszerkesztéséhez. A „fában gondolkodás” (*„tree-thinking”*), ahogy Robert O’Hara 1988-ban megfogalmazta, a biológiai érvelés és gondolkodás nélkülözhetetlen részévé vált, s nélküle nem képzelhető el az evolúciós folyamatok elemzése, bemutatása, magyarázata és megértése sem. Egy kérdés azonban továbbra is nyitott: mindenki ugyanabban a fában gondolkodik-e, s ha igen, vajon ugyanolyan módon? Minden rendben van-e a fában gondolkodással? Elősegítette-e a fa matematikai definíciója a fadiagramok egyértelmű rendszertani alkalmazását? A válasz sajnos nemleges, ami hamar kiderül azon huszonegy tudományos cikk és egy könyv elolvasásából, melyek már a címükben is feltűntetik a *tree-thinking* kifejezést. A problémák egy részére már céloztam (Podani, 2010) – de maradt bőven megbeszélni való.

Családfák – nem mindig család, és nem mindig fa

Az olvasónak feltűnhetett, hogy a *családfá* szó több helyen is idézőjelben szerepelt. Ezzel arra utaltam, hogy a fán szereplő személyek köre általában lényegesen túllépi a család megszokott kereteit, azaz a „vér szerinti ro-

konok közösségét, melynek tagjai együtt élnek” (URL8). Nyilván senki sem gondolja komolyan, hogy Jessze vagy éppen Konfuciusz összes leszármazottja egy családba tartozik – még a legtágabb értelemben sem. A „család” előtag tehát egy túlzó általánosításnak, félreértésnek köszönhetően tapadt szinte kitörölhetetlenül a „fa”-ra, nem csak a mi nyelvünkben. Családfáról még kevésbé beszélhetünk, amikor csak egy adott személy (általában egy férfi) leszármazottjai, vagyis gyermekei, unokái, dédunokái szerepelnek rajta – hiszen egy család nem család a házastársak nélkül. Gyakran így nevezik a „fordított fát” is, melynek levelei a legrégebbi ősök, s tőlük kiindulva a fa törzse felé haladva jutunk el az ükapákon, dédnagymamákon, majd a szülőkön keresztül a fa tövéig, egyetlen személyig, akinek tehát az összes felmenője – és nem utódja – adja a fa ágrendszerét és lombozatát. De erre az ábrázolásra legalább van egy másik, francia eredetű szavunk, a *pedigré* (*ped de grue* – daruláb). A helyzet bonyolultságát jelzi, hogy amikor a feltüntetendő személyek tényleges családot, de legalábbis egy kellően szűk rokonsági kört képeznek, akkor a fahasonlat válhat helytelenné. A legjobb példa Darwin „családfája” (*4. ábra*), amelyen a házastársak is szerepelnek, viszont Darwin felesége, Emma, az unokatestvére volt – a gráfban tehát bezárul egy kör, s fáról definíciószerűen nem beszélhetünk. Itt tehát már nem – az általam igen amatőr módon művelt – nyelvészkedésről van szó csupán, hanem a matematikai fasajtság megsértéséről. S miután Konfuciusz milliónyi utódja között is biztos voltak igen közeli rokonságban állók, mondjuk házastársaként, se a „család” se a „fa” nem tükrözi megfelelően a tartalmat – s valójában emberek leszármazási hálójáról (*genealogical network*) kellene beszélnünk.



4. ábra • Darwin „családfájának” részlete

Tudjuk persze, hogy a család szó több jelentéssel bír. A biológiában, például a Linné-féle hierarchiában az egyik rangnak felel meg, a legfontosabbnak a génusz és a rend között. Az igazsághoz tartozik ugyanakkor, hogy maga Linné nem használta a család (*familia*) kategóriáját, noha azt a francia Pierre Magnol (1689) már jóval a nagy svéd természettudós megszületése előtt alkalmazta – amikor viszont a rangok hierarchiája volt kidolgozatlan. *Philosophia botanica* című, alapvető fontosságú művében Linné a *familia* szót a növények birodalmának (*Vegetabilia*) egy nem rendszertani célú csoportosításában használta csupán.⁸ Csak a 19. században rögzült a család rangja a rendszertanban.⁹ Rendszertani nézőpontból a *családfá* elnevezés tehát legfeljebb akkor lenne elfogadható, ha ténylegesen egy család, mondjuk az *Asteraceae* (fészkesek) vagy a *Felidae* (macskafélék) fajainak leszármazási mintázatát ábrázolnánk a fadiagrammal.

⁸ Hét családot sorolt fel: gombák, algák, mohák, páfrányok, pászitfűvek, pálmák és növények (*plantas!*) – ami mai szemmel egyáltalán nem tűnik logikus felosztásnak.

⁹ Bár nem egyöntetű formában, mert a növények családjainak esetében (kivételeket megengedve) a *-ceae*, míg az állatoknál az *-idae* végződést írták elő a neveztani szabályzat kidolgozói.

A Haeckel által bevezetett törzsfá fogalom is hasonló problémákkal terhelt. Miféle törzsnek milyen fájáról is beszélünk? – kérdezhetjük. A törzs (*Stamm*) szó egyik jelentése valóban lefed egy közös eredetű csoportot (mint például bennszülött törzsek vagy baktérium-törzs) de emellett rendszertani kategória is, hasonlóan a családhoz. Talán már eleve a német *stammen* szóra kellett volna gondolni, melynek jelentése többek között származni, eredni, tehát leszármazási fának fordítani Hackel *Stammbaum*-ját. A latinizált változat, vagyis a *phylum* sem javít sokat a helyzeten, lévén az is rendszertani kategória egyben – de idegen szóként talán jobban befogadható, s filogenezis, illetve filogenetika alakjában jobban beilleszkedhet a nyelvünkbe.

A következő felsorolás megmutatja, hogy egyes élőlénycsoportok leszármazását bemutató fadiagramokra hányféleképpen és mekkora redundanciával vagy pontatlansággal hivatkoznak manapság mind a magyar, mind az angol nyelvterületen: evolúciós családfá, filogenetikai törzsfá, filogenetikus családfá (rokonsági fa), törzsfá (dendrogram), illetve *phylogenetic family tree*, *evolutionary family tree*, *evolutionary phylogenetic tree*, *phylogeny* (*cladogram*) és *phylogenetic evolutionary tree* – azaz számos kombinációban. Forrást nem

jelöltem meg egyik esetben sem, mert igazságtalan volna bármelyik szerzőt vagy fordítót kiemelni az inkriminált cikkek és könyvek sokaságából. Az olvasó persze a fenti érvrendszert nyelvi okoskodásnak, sőt akadémikuskodásnak vélheti, mondván: mindezzel legfeljebb a dolgok felszínét érintettük. Valóban, vannak itt lényegesebb problémák is. A megnevezések és a fák megjelenítésének és értelmezésének módozatai azonban *nem fednek át egymással* – ugyanazon jelentésű fára többféle néven is hivatkoznak, illetve egy konkrét fogalmat eltérően értelmezendő fákra is alkalmaznak. Többről van tehát szó, mint redundanciáról vagy szinonima-túltengésről – hiszen valóságos terminológiai káosszal állunk szemben. A szakzsargon pontosítására a következő részben teszek majd javaslatokat. Egy fogalmat azonban már előre kizárhatunk a szóba jövő lehetőségek köréből. A *dendrogram* egyértelműen NEM evolúciós jelentésű fadiagram, hanem általában a (hierarchikus) *cluster analysis* eredményeinek ábrázolási formája. E módszerek csak egyik, bár tudománytörténeti szempontból fontos alkalmazási területe a numerikus taxonómia. A dendrogram filogenetikai interpretációja viszont nehézségekbe ütközik, még akkor is, ha molekuláris adatokból állítjuk elő – s ma már nem is alkalmazzák filogenetikai kutatásokban.

Az idő és a szervezetek közötti relációk kérdése

A fadiagramok nem csak ránézésre, grafikus megjelenésükben különböznek egymástól. Még nagyobbak az elvi eltérések, azaz miképpen viszonyulnak az idődimenzióhoz, és milyen formában fejezik ki az evolúciós rokonságot. Természetesen számunkra ezek a legfontosabb, és tovább részletezendő szempontok. Az első filogenetikai fa, Lamarcké

(*1/g ábra*), egymagában példáz két lehetőséget is. A hüllők (*Reptiles*) és a madarak (*Oiseaux*) között közvetlen az összeköttetés csakúgy, mint a puhatestűek (*Mollusques*) és a halak (*Poissons*) között. A patás emlősök (*M. ongulés*) és a karmosak (*M. onguiculés*) viszont már másféleképpen, egy belső szögpontra keresztül kapcsolódnak csak egymáshoz. Ugyanez a viszony áll fenn a férgek (*Vers.*) utáni két hármas csoport között is. Vizsgáljuk most meg alaposan ezt az ábrázolásbeli kettősséget friss szemmel, több mint kétszáz évvel az eredeti publikáció után!

A ma is élő fajokat magába foglaló rendszertani kategóriák összekötésével a francia természettudós nem csak azt fejezte ki, hogy a madarak a hüllőktől származnak (értsd: az első madárnak tekinthető élőlény egy, még hüllőnek tekinthető állat leszármazottja volt). Munkásságának ismeretében elmondhatjuk, inkább azt akarta jelezni, hogy a hüllő állathoz képest a madarak egyfajta progressziót (azaz „fejlettebb szintet”) képviselnek. Lamarck ugyanis a több ezer éves rendező elv, a *scala naturae* hatásától még nem tudott megszabadulni (éppen elég nagy fegyvertény volt részéről a változatlanság hittételének cáfolata). Ebben a természeti objektumok fokozatokat, a legalacsonyabb rendűnek tekintett víztől, tűztől, kőzetektől a növényeken, majd az állatokon át az emberig, sőt egyes ábrázolásokon még tovább, a természetfelettiig vezető sorozatot alkottak. Mint már említettük, Haeckel ábráinak döntő többsége is a *scala naturae* hatása alatt készült. Haeckel tehát nem a darwini, hanem a lamarcki, sőt az arisztotelészi örökséget tartotta életben, s ültette át evolúciós kontextusba. Az egymásutániság dogmájának hatása érvényesült az amerikai Bessey növényosztályozásában, és a 20. század első kétharmadának

filogenetikai rendszereiben is. A kiindulópont mindig valamilyen fajfeletti osztályozás volt, majd csak ezután következett az evolúciós interpretáció a taxonok fába illesztésével. Ezen a fák legalul, középen és legfelül is olyan csoportok vannak, amelyek ma is élő fajokat foglalnak magukba, tehát a fa nincs az idődimenzióba beágyazva. Más szóval, *akrón* (gör. idő nélküli) *fokozati fákról* beszélhetünk (*achronous* vagy *grade trees*, Podani 2013).

A patás és karmos emlősök Lamarck feltevézése szerint nem egymásból alakultak ki, hanem két egyenrangú fokozatot képviselnek, és valamely régen kihalt, ma már nem létező ujj-szerkezetű emlőstípus kései utódai. Közös eredetük a fán úgy mutatkozik meg, hogy egy belső szögpontra vagy akár „hipotetikus közös őson” keresztül kapcsolódnak egymáshoz. Ezzel Lamarck – feltehetően nem teljesen szándékosan – a patások és karmosok testvércsoport¹⁰ viszonyát mutatta be, a kladogramok egyfajta előképeként. Haeckel néhány fája is így értelmezhető, különösképpen a legelső *Stammbaum* (*2/a ábra*). Minden megnevezett csoport recens és a legvégső gallyakon helyezkedik el – ősök és kihaltak nem szerepelnek a rajzon.¹¹ A név nélküli belső szögpontok később is felbukkannak például Herdman és Hallier fáin, valamint – akrón részekkel kombinálva – a növények filogenetikai rendszereiben, mint például Tahtadzsjannál és Cronquistnál (*3/e ábra*). Ez a koncepció a Darwin-féle javaslatokat (vö. Podani, 2010) leginkább komolyan vevő Hennignél, a kladisztika megalapítójánál kristályosodik ki teljesen. Hennig fája, a kladogram, a testvércsoportok teljes rendszere, azaz lehe-

tőség szerint minden belső szögpontra villás (dichotomikus) elágazású. Az elemzésbe bevont szervezetek mindegyike egy időben, vagyis ma él, és a fán végső helyzetben van. A *szinkrón* (gör. egyidejű) *kladogram* elnevezés különbözteti meg a többi evolúciós interpretációjú fadiagramtól („*synchronous trees*”, Podani 2013). Ha meggondoljuk, az alapötlet zseniálisan egyszerű: a leszármazási mintázatot a ma élők testvércsoporti relációival, és nem az ős–leszármazott kapcsolatok bemutatásával is érzékeltetni tudjuk. Ráadásul a kladogram váza mindhárom fajkeletkezési modell (hasadás, lefűződés és anagenezis¹²) esetében is tükrözi a folyamat lényegét.

Az ideális persze az lenne, ha az ős–leszármazott viszonyokat az eltelt idő függvényében is be tudnánk mutatni. A leszármazás pontosan csak a fajok vagy populációk szintjére ereszkedve érzékeltethető, a „hüllőből lett a madár” és hasonló állítások erre alkalmatlanok – vagyis meg kellene szabadulnunk a fokozati fákban alkalmazott magasabb rangoktól. Az ősöket azonban nem ismerjük, és ha egy csoportban viszonylag sok is a fosszilis lelet, akkor se tudunk megbizonyosodni arról, hogy azok ténylegesen a maiak ősei vagy oldalági rokonai voltak. Számos nagy csoportnál pedig a paleontológiai adatok hiánya vagy esetlegessége miatt ez a kérdés eleve fel sem merül. Az *Origin of Species* ábrája és Darwin sok más rajza tehát egy elméleti modell, a valós leszármazási viszonyok csak legfeljebb rövid időtávlatban, például vírusoknál vagy laboratóriumban lejátszott evolúciós kísérleteknél ismertek. Az idődimenzióba ágyazott,

¹⁰ Más kérdés, hogy ma már egészen eltérő elképzeléseink vannak az emlősök evolúciójáról.

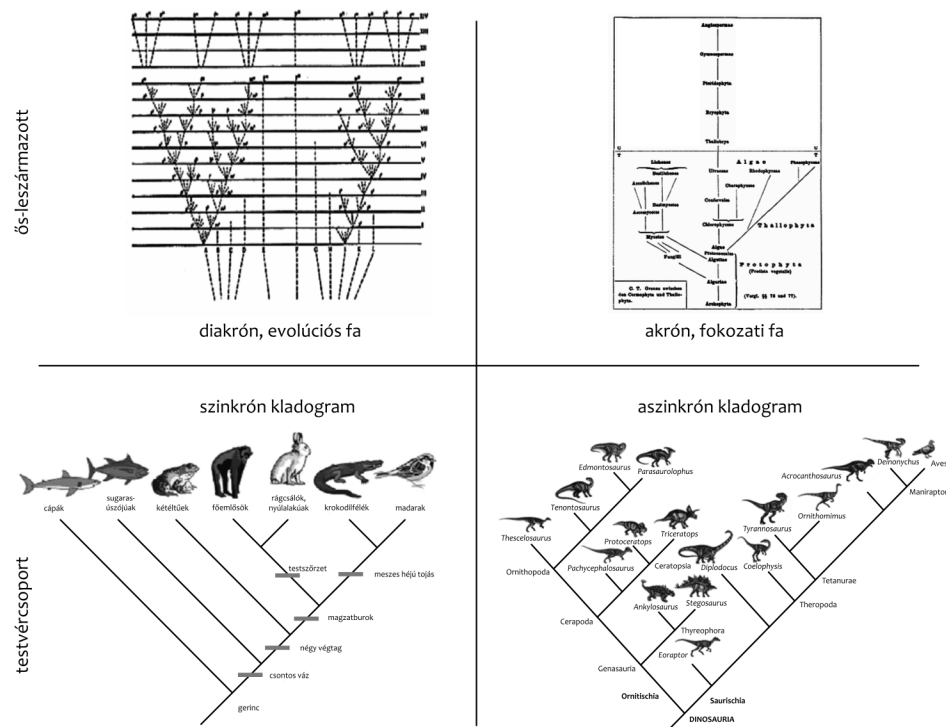
¹¹ Egyetlen kivétel a Moneres, amely a gyökeret (tehát a közös őst) és az egyik ágat is alkotja.

¹² Hasadás során a kiinduló populáció két új fajt eredményez, a lefűződésnél az anyapopuláció megmarad, és a levált csoport alakul új fajjává, míg az anagenezis esetében az anyapopuláció lassú változások sorozatával, kihalás nélkül megy át egy másikba.

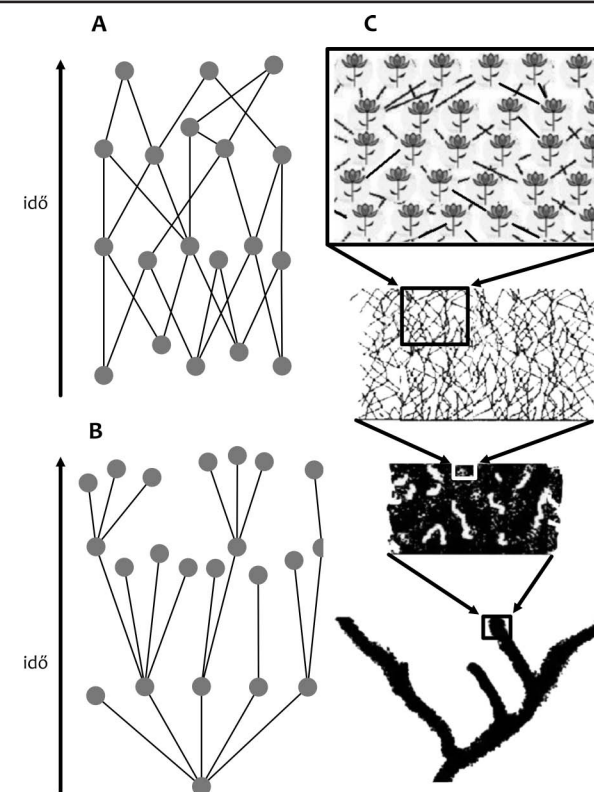
ős-leszármazott viszonyokat bemutató ábrákat a *diakrón* (gör. időbeli) vagy *evolúciós fa* elnevezéssel különíthetjük el a többiekől.

Az időbeliség figyelembe vétele vagy mellőzése, illetve az ős-leszármazott vagy testvér-csoporti relációk bemutatása két egymástól független alternatíva. Három kombinációt már láttunk, lennie kell tehát egy negyedik lehetőségnek is, amelyben testvércsoporti relációk mutatkoznak oly módon, hogy nem vagyunk tekintettel arra, mikor is éltek a vizsgált szervezetek. Ennek megfelelő fadiagram adódik, ha ma élő szervezeteket és kihalt rokonaikat egyszerre vetjük kladsztikai elemzés alá (értelmszerűen: legfeljebb morfoló-

giai alapon, 5. ábra). Vigyázat, e fák értelmezésével óvatosságnak kell lennünk, hiszen egy kihalt és egy ma élő faj testvércsoporti kapcsolata hamis lehet, ha az előző tényleges öse volt az utóbbinak. Mint fentebb már céloztunk rá, sohasem fogjuk megismerni, mi volt az igazság. Mintázati kladsztikának (*pattern cladistics*) nevezik azt az irányzatot, amelyet ez egyáltalán nem zavar, mert nem az elágazások rendszerét, az evolúciós utakat akarja feltárni, csak a kládok tartalmára kíván következtetni. Megelégszik azzal, ha a rokonság bármely formáját (akár testvér, akár ős) ki tudja mutatni. Mivel a végágakon sérül az egyidejűség feltétele, az ilyen fákat *aszinkrón*



5. ábra • Evolúciós/filogenetikai értelmezésű fák alaptípusai. A bal felső sarokból az óramutató járásának megfelelően: Darwin rajza az *Origin*-ből; Haeckel elképzelése a növényi evolúcióról, fő tengelyében a természet lépcsőjével; a madarak és dinoszauruszok kladoگرامja; a gerincesek egyes csoportjainak kladoگرامja.



6. ábra • Tokogenetikus hálózat ivaros szaporodású szervezetekre (A) és tokogenetikus fa egy ivartalanul szaporodó populációra (B). A szögpontok egyedeket, az élek szülő-gyermek relációkat jelentenek. A hálózat egésze nagy időtávlatból nézve „fa”-jellegűvé válik az egymás utáni generációk szétartó evolúciójának köszönhetően (C, vö. Podani 2016) amit, Darwin ötlete alapján, a találó *korall* elnevezéssel illehetünk.

(nem egyidejű) *kladoگرامoknak* („*asynchronous trees*”) (Podani 2013) nevezhetjük. A múlt és a jelen szervezeteinek együttes, a leszármazásra épülő osztályozására csak ilyen kladoگرامok alkalmasak – tehát a rendszertan nélkülözhetetlen eszközei.

Fák vagy korallok?

Tankönyvekben és szakcikkekben az evolúciós folyamatok ismertetése általában a populációk szintjén történik, az egyedek közötti szülő-utód kapcsolatokat bemutatásával. Egy

ivaros szaporodású populációra a megfelelő illusztráció egy hálózat, míg ivartalan szaporodás esetében fa (6/a–b ábra), amelyeket Hennig nyomán tokogenetikus gráfnak nevezünk (gör. *tókosz* – kb. szülés, születés). A speciációt, vagyis a populációk szétválásának modelljét nagy időtávlatba helyezve azonban ez a megoldás nem működik. A lépték fokozatos növelésével a grafikus részletek ugyanis „összefolynak”, és a diagram egyre inkább emlékeztet tényleges biológiai fákra, helyesebben azok árnyképeire (6/c ábra). Az ilyen

ábrák aláírásában jó esetben csak a filogenezis (phylogeny) szó szerepel, de gyakori a „filogenetikai fa” megjelölés is. Matematikai szövegekből persze ezek egyáltalán nem fák, hiszen nincsenek bennük élek és szögpontok. Kladogramnak tűnő vonalrajzos diagramok pedig még inkább becsaphatnak bennünket, ha a szerző a fa éleit tekinti fajoknak, és a szögpontokhoz fajképződési eseményeket rendel (ún. *stem trees*) – ami nem mindig nyilvánvaló a kísértő szövegből sem. Ez azért is problematikus, mert a terminális élek ekkor a „semmibe” mutatnak: a végső szögpontok nem azonosíthatók fajkeletkezési eseményként – vagyis a diagram jóindulattal sem tekinthető fagrafnak. A sziluettek és azok legkarcsúbb változatai egy egészen más jellegű ábrázolási módot képviselnek. Értelmezésükben ismét az evolúciós elmélet egyik atyjáig kell visszamenni a biológia történetében.

Darwin egyes rajzai, mivel nem adta meg szabatosan (ahogy ma elváránk) az élek és a szögpontok jelentését, nem teljesen egyértelműek. A közismert *I think* feliratot viselő fa (*t/i* ábra) például – mai szemmel nézve – nemcsak gráfelméleti fának, hanem *stem tree*-nek is felfogható. A jegyzetfüzet elolvasásából kiderül, hogy inkább az utóbbi a helyes interpretáció. Viszont, korai gondolatait papírra vetve Darwin nem is fában, hanem *korallokban* gondolkodott. 1837-ben vagy ’38-ban írhatta (Darwin, 1837–1838) a következő, ma már egyre gyakrabban idézett mondatát: „*The tree of life should perhaps be called the coral of life, base of branches dead; so that passages cannot be seen.*”¹³

Darwin sokat foglalkozott korallokkal, és jól tudta, hogy számos fajuk gazdagon elága-

zik, és az ágak legfeljebb alul olvadnak össze.¹² A korall hasonlat ráadásul még jobb is a fánál, hiszen a korallok alsó, idősebb részei fokozatosan elhalnak, akár az elmúlt korok élőlényei. A fa viszont, ha vannak is benne üres sejtek, a legvékonyabb gyökerektől a levelekig teljes egészében élő – tehát csak elágazó szerkezetében utalhat a filogenezisre! Továbbá, a fa törzse jóval vastagabb az ágaknál és gallyaknál, azt sugallva, hogy a múltban több egyed élt, vagy nagyobb volt a biodiverzitás, mint a jelenben. A végig nagyjából egyenletesen vastag, itt-ott kidudorodó korall tehát jobban jelképezheti az egyszám és a biodiverzitás arányait, mint a felfelé vékonyodó faágak. Később azonban, talán a szüntelenül fákat emlegető kortársak hatására Darwin elállt ettől az ötlettől, s maga is következetesen a fa metaforáját alkalmazta. A *phylogeny* és *stem tree* jellegű ábrázolások viszont inkább éppen a korallnak felelnek meg: minden egyes pontjuk felfogható egy valaha élt, vagy éppen most is élő szervezetnek, akár a korallokat alkotó kis polipok. Célszerű lenne tehát „feléleszteni” Darwin fiatalkori ötletét, és a nem gráf jellegű elágazó sziluettekre inkább a *korall* elnevezést alkalmazni. Ha a fa fogalma precíz meghatározást nyerhetett a matematikában, akkor a korall módosult jelentése is rögzülhet előbb-utóbb a tudományos nyelvzetben. Ez fontos lépés lenne ahhoz, hogy a „*fában gondolkodás*” ne csak egy szlogen maradjon, hanem a tartalmában is egyértelműen elkülönüljön a „*korallban gondolkodástól*”.

¹⁴ Első komoly, pár évvel a fentiek után megjelent monográfiájának éppen ez volt a témája: *The Structure and Distribution of Coral Reefs...* (Darwin, 1842). Az általa név szerint említett korallok jelentős része (például *Porites* és *Seriatopora*) egyébként anasztomizálhat is!

Záró megjegyzések

Az evolúció ábrázolásában képileg és tartalmilag is komoly a zűrzavar, melynek történeti háttere a fa fogalmának sokfélesége, a mitológia szimbolizmusától a szabatos gráfelméleti meghatározásig. Biológiai értelemben döntő, hogy egy fajjellegű ábrázolás figyelembe veszi-e vagy mellőzi az időbeliséget, illetve az evolúció folyamatát közvetlen ős–leszármaztatott vagy a testvércsoporti relációk bemutatásával próbálja-e kifejezni. Ezek a szempontok a filogenetikai értelmezésű fagrafok négyes csoportosítását eredményezik. Az irodalomban és a köznap nyelvben alkalmazott szakszargon meglehetősen zavaros, és félreértésekre vezethet, ami az általam javasolt terminológia révén kiküszöbölhető. A klasszikus, természet lépcsőjéhez kötődő gondolkodás maradványai, a fokozati fák a nagyléptékű változások

összesítői. A legfinomabb léptékben az evolúciós fák működnek, de elsősorban csak modellekben, például oktatási céllal. A múlt „rekonstrukciójára” csak kladogramok alkalmasak: ha csak a jelen élővilágára összpontosítunk, akkor az evolúciós folyamatok és azok eredménye is megjeleníthető, a múlt szervezeteinek bevonásával már csak egy általános rokonsági reláció elemezhető – amely azonban nélkülözhetetlen a mindenkor élet osztályozásában, a történetiség értelmezésében.

A kéziratához fűzött hasznos megjegyzéseiről köszönetemet fejezem ki Kontra Klárának, Rózsa Lajosnak, Simoncsics Péternek és Szilágyi Andrásnak.

Kulcsszavak: *törzsfá, dendrogram, hienarchia, korall, leszármazás, dichotómia, testvércsoport, aszinkron*

IRODALOM

- Augier, Augustin (1801): *Essai d'une nouvelle classification des végétaux*. Lyon: Bruyset Ainé et Comp. • <http://www.biodiversitylibrary.org/item/165132#page/71/mode/1up>
- Archibald, J. David (2014): *Aristotle's Ladder, Darwin's Tree*. New York: Columbia University Press
- Baum, David A. – Smith, Stacey D. (2013): *Tree Thinking*. Greenwood, CO: Roberts and Co.
- Breidbach, Olaf (2006): *Visions of Nature: The Art and Science of Ernst Haeckel*. München: Prestel Verlag
- Cayley, Arthur (1857): On the theory of the analytical forms called trees. *Philosophical Magazine* 4th Series 13, 85, 172–176.
- Chambers, Robert (1844): *Vestiges of the Natural History of Creation*, London: John Churchill • <http://tinyurl.com/jfwsmjn>
- Darwin, Charles (1837–1838) Notebook B. • <http://tinyurl.com/hq8v8mn>
- Darwin, Charles (1842): *The Structure and Distribution of Coral Reefs. Being the First Part of the Geology of the Voyage of the Beagle, under the Command of Capt. Fitzroy, R. N. during the Years 1832 to 1836*. London: Smith Elder and Co. • <http://tinyurl.com/jcef5fn>

- Darwin, Charles (1859): *On the Origin of Species*. London: Murray • <http://tinyurl.com/zwxug6y>
- Dayrat, Benoît (2003): The Roots of Phylogeny: How Did Haeckel Build His Trees? *Systematic Biology* 52, 515–527. doi:10.1080/1063515039021827 • <http://sysbio.oxfordjournals.org/content/52/4/515.long>
- Hull, David L. (1985): Darwinism as a Historical Entity: A Historiographic Proposal. In: Kohn, David (ed.) *The Darwinian Heritage*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 773–812.
- Kutschera, Ulrich (2011): From the Scala Naturae to the Symbiogenetic and Dynamic Tree of Life. *Biology Direct* 6, 33. DOI: 10.1186/1745-6150-6-33 • <http://tinyurl.com/z7hpl4b>
- Lamarck, Jean-Baptiste (1809): *Philosophie zoologique*. Paris: Dentu • <http://tinyurl.com/hfq7jns>
- Magnol, Pierre (1689): *Prodromus historiae generalis plantarum, in quo familiae plantarum per tabulas disponuntur*. Montpellier • <http://tinyurl.com/j35hh37>
- Penny, David – Watson, Elizabeth E. – Steel, Michael A. (1993): Trees from Languages and Genes Are Very Similar. *Systematic Biology* 42, 3, 382–384. DOI: 10.1093/sysbio/42.3.382

- Pietsch, Theodore W. (2012): *Trees of Life. A Visual History of Evolution*. Baltimore, MD: John Hopkins University Press
- Podani János (2010): Evolúció, törzsfa, osztályozás. *Magyar Tudomány*. 171, 10, 1179–1192. • <http://www.matud.iif.hu/2010/10/03.htm>
- Podani János (2013): Tree Thinking, Time and Topology: Comments on the Interpretation of Tree Diagrams in Evolutionary/Phylogenetic Systematics. *Cladistics*. 29, 315–327. DOI: 10.1111/j.1096-0031.2012.00423.x • <http://tinyurl.com/hvxx6vz>
- Podani János (2016): *A növények evolúciója és osztályozása. Rendhagyó rendszertan*. Budapest: Eötvös Kiadó
- Priestly, Tom M. S. (1975): Schleicher, Celakovsky, and the Family-Tree Diagram. *Historiographia Linguistica*. 2, 299–333. DOI: 10.1075/hl.2.3.03pri
- Rosenstein, Neil (2004): *The Lurie Legacy. The House of Davidic Royal Descent*. Bergenfield, NJ: Avotaynu Tartalomjegyzék • <http://tinyurl.com/q956bzj>
- Tassy, Pascal (2011): Trees before and after Darwin. *J. Zoological Systematics and Evolutionary Research*. 49, 89–101. DOI: 10.1111/j.1439-0469.2010.00585.x
- Wiley, Edward O. – Lieberman, Bruce S. (2011): *Phylogenetics. Theory and Practice of Phylogenetic Systematics*. Hoboken, NJ: Wiley and Blackwell DOI: 10.1002/9781118017883.ch8
- URL1: https://en.wikipedia.org/wiki/Family_tree_of_Confucius_in_the_main_line_of_descent
- URL2: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_family_trees
- URL3: <http://majt.elte.hu/Tanszekek/Majt/Magyar%20JogtorteNET/magyarazatok/Listvan.htm>
- URL4: <http://olvasmanyaid.blogspot.hu/p/ii-rakoczi-ferenc-szarmazasa-es.html>
- URL5: <https://www.pinterest.com/brodyll/awesome-tattoos/>
- URL6: <http://www.amazon.com/Darwin-Think-Tree-T-Shirt-Spreadshirt/dp/Book786SYC>
- URL7: Darwin Correspondence Project <https://www.darwinproject.ac.uk>
- URL8: http://wikiszotar.hu/wiki/magyar_ertelmezo_szotar/Csalad



EVOLÚCIÓ HIERARCHIKUS SZINTEKEN: POPULÁCIÓK, FAJOK, KÖZÖSSÉGEK

Varga Zoltán

professor emeritus, a biológiai tudomány doktora,
Debreceni Egyetem Természettudományi Kar Evolúciós Állattani Tanszék
varga.zoltan@science.unideb.hu

Összefoglalás

A bioszféra hierarchikus szerveződésű rendszerek rendszere. A szerveződési szintek beágyazott hierarchiájából következik a biológiai sokféleség, és létrejöttének, az evolúciónak és az evolúciós mechanizmusoknak a többszintűsége. Központi jelentőségű a szelekció többszintűsége, illetve az, hogy van-e szelekció a fajok szintjén. Lehetőségét a koevolúciós kapcsolatok vizsgálata erősíti meg. A molekuláris genetikai módszerek alkalmazása a fajok keletkezésének és elterjedéstörténetének vizsgálati lehetőségeit nyitotta meg (filogeográfia). Gazdasági és természetvédelmi szempontból jelentős modellfajok és fajcsoportok többszintű vizsgálatával feltárhatókká váltak a földrajzi izolációs fajképződés gócterületei, felfedve a fajgazdagság földrajzi mintázatainak lehetséges okait is. Kitűnt, hogy a negyedidőszak ciklikus (glaciális-interglaciális) klímaváltozásai során a növényzeti övezetek átrendeződése, felbomlása és újjászerveződése zajlott. Ezekben a folyamatokban a klímaváltozások fajonként „egyediek” és nehezen prediktálhatók. Feltárásukhoz populációgenetikai, filogenetikai és paleoökológiai módszerek kombinációja szükséges. Többszintű módszertani megközelítéssel azonban a jelenlegi és a

lehetséges jövőbeni klímaváltozásokra adott faji és ökoszisztéma-szintű válaszok is jó eséllyel prognosztizálhatók.

Hierarchikus szintezettség és a nagy átmenetek

Az élő rendszerek komplexitásának alapvető jellege a *sokszintűség*: a bioszféra hierarchikus szerveződésű *rendszerek rendszere*. Mivel ez a hierarchia *bedágyazott*, vagyis ami adott szinten *rendszer*, az egyúttal *elem* egy magasabb szintű rendszernek, ezért a biológiai sokféleség is egymásba épülő szinteken valósul meg. Ezt nevezhetjük akár úgy is: a *sokféleség sokfélesége*. Az egyes rendszerek elemei funkciójukat tekintve kétféleképpen lehetnek: *replikátorok* – mint valamilyen módon önreprodukción képes, információhordozó és -továbbító egységek, illetve *interaktorok*, amelyek az adott rendszerek környezetükkel való kapcsolatát, anyagforgalmát és energiaáramlását valósítják meg.¹

Az előbbiekből adódóan a *diverzitás* is *alapvetően kétféle: genealogikus*, mint a származási kapcsolataikat tekintve (filogenetikailag) sokféle *replikátorok* (genetikai változatok, fajok, monofiletikus egységek), mint informá-

¹ A replikátor-interaktor fogalomrendszeréről részletesebben: *Interactors versus Vehicles* (Hull, 2001).

cióhordozó *evolúciós egyediségek* sokfélesége, illetve *kompozicionális*, az *interaktorok* sokfélesége; az egyedi sokféleség a populációban, illetve a populációk sokfélesége az ökoszisztémában mint nyílt rendszerben. A rendszerré szerveződés folyamatai is alapvetően kétszintűek: (i) kooperatív csoportok kialakulása, (ii) ezekből integrált, magasabb szintű individualitások létrejötte (1. ábra), illetve ahogy John Maynard-Smith és Szathmáry Eörs (1995) megfogalmazta: „A nagy evolúciós átmenetek visszatérő, közös vonásai: (i) magasabb szintű evolúciós egységek szerveződése az alacsonyabb szintűekből, (ii) új típusú öröklődési rendszerek megjelenése és (iii) a munkamegosztás szerepe a komplexitás növekedésében. A legkorábbi nagy átmenet a prokarióták kialakulása volt a molekuláris replikátorokból, az utolsó pedig a kooperatív, nyelvet használó emberi közösségek megjelenése.” Mind-ebből következően a *szerveződési szintek hierarchiája is kettős*, ahogy első kísérletként korábban megfogalmaztam (Varga, 1966, 2. ábra), illetve ezt később Niles Eldredge és Stanley N. Salthe (1984) és Eldredge (1985) kifejtette (3. ábra).

Korábban a „nagy átmenetek” gondolatát (McShea – Changizi, 2003) az „egyedi” létformák kialakulásának hierarchiájára korlátozták. Ebben benne van: (i) az *eukarióta* sejt szimbiotikus eredete; (ii) *többsejtű kolóniák* kialakulása egymástól függetlenül, számos filogenetikai ágon; illetve (iii) a *differentiált*

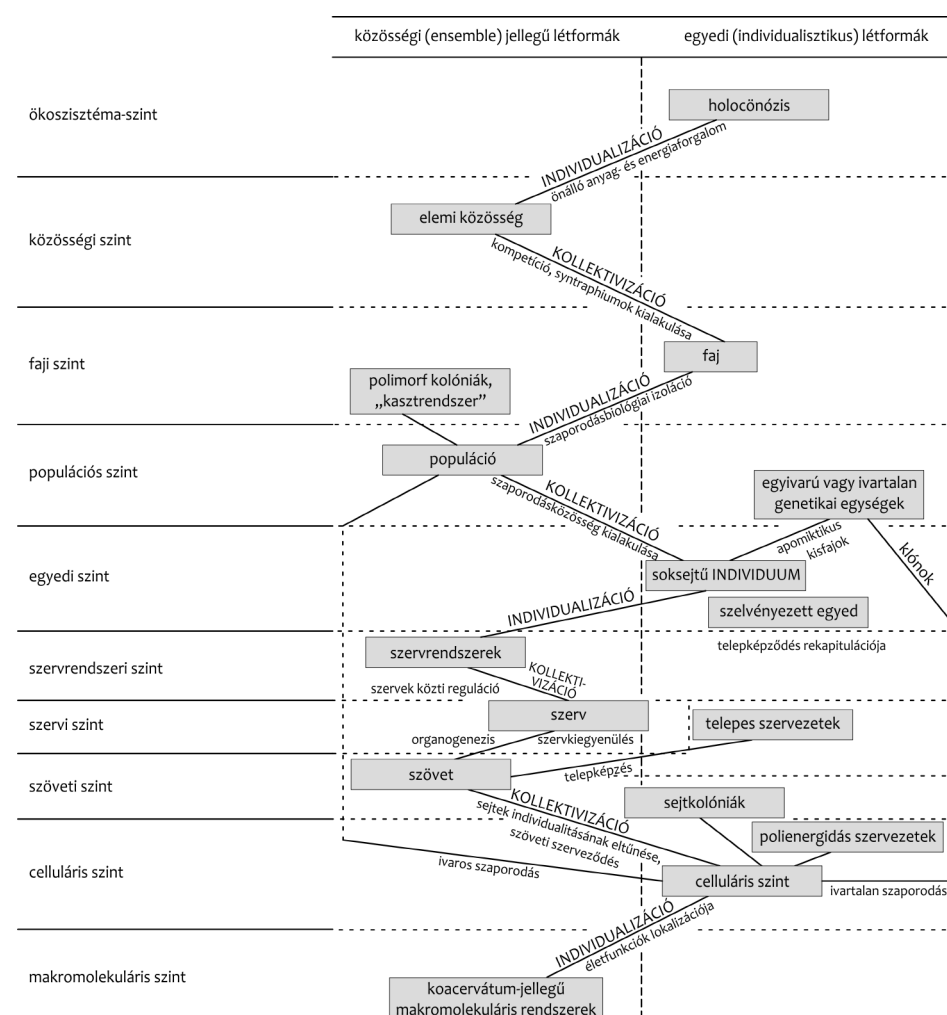
soksejtű egyediség kialakulása, melynek egyik fő evolúciós iránya az állatvilágban a telepességétől a test hosszanti polaritásának kialakulását követően, szintén több filogenetikai ágon a szelvényesség létrejötte. Ismeretes, hogy az egyediség evolúciója mindig is az evolúcióbólógia egyik alapkérdése volt Ernst Haeckel óta (1866, *Generelle Morphologie*: VIII–XI, melyben az egyediség hat „osztályát” különbözteti meg). Jellemző, hogy a „nagy átmenetek” újratöltésével (Szathmáry, 2015) egyidejűleg jelenik meg Stuart A. West és munkatársai *review*-cikke (2015) az egyediség kialakulásának „átmeneteiről”, melynek lépései (i) a kooperáció, (ii) a munkamegosztás, (iii) a kompartmentizáció, majd (iv) a konfliktusok létrejötte (4. ábra).

Az evolúciós változások többszintűsége

A szerveződés többszintűsége egyúttal magával hozza az evolúció, illetve az evolúciós mechanizmusok többszintűségét. Központi jelentőségű a szelekció többszintűsége (Oksa, 2005). A génközpontú evolúciófelfogás szerint a szelekció egysége a(z *önző*) **gén** mint az öröklődés viszonylag stabil alapegysége (Dawkins, 1986, 1999). Ismert viszont, hogy a szelekció mindig az adott fenotípust hordozó egyedre irányul, így a szelekció egysége az – egysejtű, illetve soksejtű – **egyediség** (lásd: Buss, 1987; Michod, 2007). Viszont még az egyedfejlődés során is eltérő szelekciós kényszerek valósulhatnak meg, amennyi-

átmenetek	
független replikátorok	→ replikátorok populációja
egyes egysejtűek	→ szimbiotikus egysejtűek
sejtszintű egyedek	→ soksejtű egyedek
egyes soksejtű egyedek	→ euszociális egyedcsoport
soksejtű egyedek	→ obligát mutualisztikus kapcsolatok

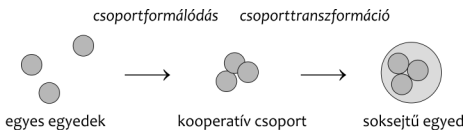
1. ábra • A „nagy átmenetek” szintjei, David L. Hull (2001) szerint, módosítva.
Részletesebb magyarázat a szövegben.



2. ábra • A biológiai szerveződési szintek (Varga, 1966) – a kettős hierarchia első megjelenése az irodalomban.

genealogikus hierarchia információáramlás az élet törzsfája (Tree of Life) monofiletikus egység faj csírávonal a sejt mint replikátor DNS mint az önreprodukció templátja	↑	kompozicionális hierarchia anyag- és energiaforgalom biómok közösség populáció organizmus mint interaktor • szövetek, szervek, szervrendszerek a sejt mint interaktor • organelumok, kompartmentalizáció DNS mint a fehérjeszintézis templátja
--	---	---

3. ábra • A kettős hierarchia szintjei Eldredge és Salthe (1984) szerint, módosítva



4. ábra • A nagy evolúciós átmenetek lépései West és munkatársai (2015) szerint, módosítva. Részletesebb magyarázat a szövegben.

ben a fejlődési alakoknak eltérő fenotípusos megjelenésük van, illetve eltérő környezeti forrásokat használnak, és eltérőek a rájuk ható releváns tényezők (például: holometabol rovarok, kételtűek lárvalakjai). Tovább bonyolítja a szelekció hatásának megítélését, ha az illető állat vagy állatcsoport olyan külső védőépítményt hoz létre, amely populációs szintre, vagy egy populáción belüli rokon egyedcsoportra terjeszti ki a szelekció hatását, amilyenek például a szociális rovarok és gerincesek sokféle fészekképződményei (vö. Dawkins, 1999). Ezzel pedig már el is érkezünk a csoportszelekció „forró” témaköréhez, amely akár a társadalmi szerveződéstípusok szelekciójának megvitatásához is elvezethet (Greif, 1994).

Szintén erősen vitatott kérdés, *van-e szelekció a faj szintjén*, illetve a *fajfölközi szinten*? Ha a fajképződés egyfajta replikáció, hiszen a reprodukció izoláció révén elágazó folyamatként valósul meg (Emerson – Kolm, 2005), akkor a fajok számának *exponenciális növekedését csak a fajok kihalása fékezheti le*. Ebből pedig adódik a kérdés, hogy a fajok túlélése, illetve kihalása értelmezhető-e szelekcióként egy filogenetikailag diverz sokaság szintjén? A gondolatmenet tovább folytatható, mert ahogyan a szelekció hatására *(i)* változhat a *génfrekvencia*, *(ii)* változhat az adott *fenotípusú egyedek* relatív *gyakorisága* (amely hat a génfrekvenciára), ugyanígy *(iii)*

változhat bizonyos életforma-jellegű fajok fennmaradásának, illetve kihalásának a valószínűsége. Ilyen szelekciós helyzet például annak változása, hogy egy óceáni ökoszisztémában a szikanyagból élő lecitotróf vagy a planktonfogyasztó lárvalak, a szabadon úszó vagy a helyhez kötött (szesszilis) életforma-e az előnyösebb? Mindegyikre bőven kínál példákat a bioszféra története. Vagy, ha a források szűkösek, kis egyedszámú, fragmentált élőhelyen tenyésző populáció számára nem éppen a szűznemzés (parthenogenezis) lehet-e a túlélés kulcsa, vagy épp ellenkezőleg, az utódok számának korlátozásával járó sokférjű/soknejű (poliandrikus vs. poliginiikus) szaporodási rendszer?

Az evolúciós változások következő szintjeként az egymással kölcsönhatásban álló populációk ún. *koevolúciós* folyamatait említhetjük. Elemi példái minden tankönyvben benne vannak: ilyenek a ragadozók és a prédáállatok egyedszám-változási ciklusai, a virágok és beporzók egymáshoz illeszkedő változásai, a lombfakadás és a lombfogyasztó rovarok megjelenésének összehangoltsága stb. Ezek a kölcsönhatások a nagy fajszerű közösségekben, mint a trópusi esőerdőkben, a leginkább sokfélék és a legfinomabban szabályozottak, ezáltal a fajkeletkezés felgyorsuló üteméhez vezethetnek (lásd: „kolumbiánus” koevolúció, számos dél-amerikai példa alapján). A koevolúciós modellek lényege abban áll, hogy az ilyen kapcsolatban álló populációk kölcsönösen befolyásolják bizonyos gének gyakoriságát az adott populációkban, ami kölcsönös alkalmazkodáshoz vezet, és biztosítja az adott közösségben való túlélésüket. Ebből a szempontból különösen érdekesek az egyedek viselkedését, stressztűrését befolyásoló gének hatásai. Ilyen például a szerotonin transzporter gén (Bagdy, 2012),

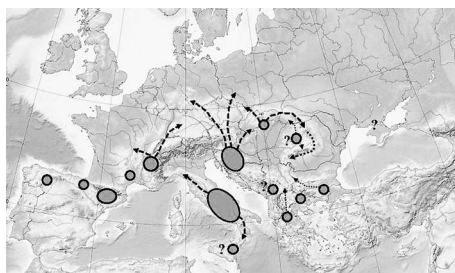
amelynek „S”-allél-gyakorisága erős összefüggést mutatott azzal, hogy egyes népesedések szocializációjára a kollektívistikus vagy az individualisztikus vonások-e a jellemzőek (Chiao – Blizinsky, 2010; Gintis, 2011). Ezek a különbségek a különböző betegségek iránti fogékonyságban is tetten érhetők, hiszen a lelki diszpozíciót befolyásoló gének gyakoriságai erre is hatással vannak.

Az evolúciós változások földrajzi vetülete – a filogeográfia

Az evolúciós folyamatok hatásait mindennapi tapasztalataink szintjén is jól lemérhetjük abban, hogy a Föld különböző területein nagyon eltérő a fajgazdagság, és ennek szabályos trendjei vannak. Európában ez abban mutatkozik meg, hogy a legnagyobb faji sokféleség mind a hajtásos növények, mind a szárazföldi gerincesek esetében nagyjából a mediterrán övezet északi határának közelében, illetve Közép-Európa déli részén mutatkozik, addig az egy-egy szűkebb területre nézve kizárólagos, „bennszülött” (endemikus) fajok száma a Mediterrán térség hegyvidékein a legmagasabb. Ezt általában azzal magyarázzák, hogy a földtörténeti közelmúlt jégkorszakai (Pleistocén) során ezek a területek mint menedékterületek és mint fajkeletkezési központok is jelentősek voltak (Petit et al., 2003). Ugyane szabályosság a gének szintjén is tapasztalható. A legtöbb faj genetikailag legerősebben differenciált populációi a *mediterrán térségben* vannak, főleg az ún. hullóterműű fajoknál, mint a tölgyek. Viszont a *genetikailag legváltozatosabb* populációik ettől északra, pl. a Kárpát-medencében találhatók, mivel itt találkoznak és keverednek a különböző gócterületekből terjedő génállományok. Az evolúciós folyamatok megértése szempontjából is lényeges tehát az egyes fajok

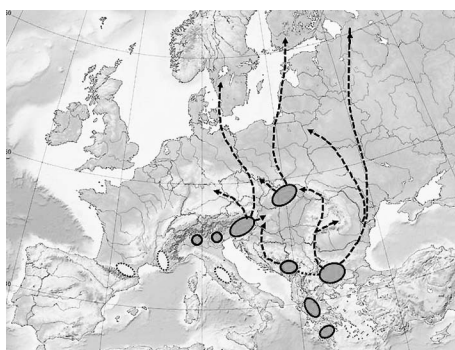
földrajzi múltjának feltárása, amely ma két fő eszköz együttes igénybevételével történik. Az egyik a molekuláris genetika, amely a sejt-magban, a mitokondriumban és – a növényeknél – a zöld színtestben tárolt genetikai információ változatosságát tárja fel. A másik fő módszer a *klimatikus niche modellezés*, amely a jelenlegi elterjedési adatokhoz illesztett éghajlati adatokból prediktálja azokat a területeket, amelyeken az illető faj a klimatikus igényei alapján tenyészhet, megmutatva ennek optimális tartományát és tűréshatárát. Ha ezt a klimatikus niche modellt rávetítjük az utolsó jégkorszaki hőmérsékleti mélyponton (LGM) ősföldrajzi térképére, kijelölhető, hogy az adott faj mely területeken vészeltette át ezt az időszakot. Az így megjelölt fennmaradási területek egybevetethetők a genetikai markerek alapján azonosított gócterületekkel, és megmutatható, hogy a vizsgált faj jelenlegi elterjedési területének egyes részterületei honnan népesültek be. Ezen kívül prediktálható az is, hogy adott mértékű klímaváltozás milyen eltolódást eredményezhet a faj elterjedési területében.

Az elmondottak jól nyomon követhetők erdeink egyes fajainak, így például a bükknek (*Fagus sylvatica*) az elterjedéstörténetében. Kitérünk, hogy ennek a fafajnak a genetikai állományában vannak helyben maradó (a mediterrán félszigeteken) és terjedőképes (Közép-Európában) genetikai típusok (Magri, 2007; 5. ábra). A különböző genetikai markerek alapján kapott eredmények egymással egyezők. A Közép-Európa jelentős részét benépesítő szintest- (kloroplasztisz) és mikroszatellit-génváltozatok egy ÉNy-balkáni és egy kárpát-medencei refugiumra utalnak. Több hasonló vonás mutatkozik a szintén többközpontú áreaszervezetű erdei pocok (*Clethrionomys glareolus*) elterjedéstörténetében. A fosszilis



5. ábra • A bükk (*Fagus sylvatica*) jégkorszaki menedékterületei és jégkorszak utáni terjeszkedési irányai (Magri, 2007 után, módosítva).

leletek szerint ez a faj az utolsó jégkorszak idején végig megvolt a Kárpát-medencében. A mitokondriális DNS jelzései alapján a keleti Közép-Európa és Dél-Skandinávia a jégkorszak után innen népesült be (Filipi et al., 2015). Rajta kívül volt azonban egy északnyugati-balkáni gócterületű, Nyugat-Európa felé terjedő genetikai vonal is, amelynek génállománya a Kárpát-medencében is jelen van. A dél-európai félszigetekre jellemző genetikai változatok viszont helyben maradtak ennél a fajnál is. A kis apollólepke (*Parnassius mnemosyne*) genetikai struktúrája is az előbbiekhez hasonló. A mitokondriális genetikai



6. ábra • A kis apollólepke (*Parnassius mnemosyne*) jégkorszaki menedékterületei és terjedési irányai Délkelet-Európában (Pecsénye et al., 2016 alapján, módosítva).

variabilitás alapján a lepke keleti filogenetikai ágának két fő gócterülete van, az egyik az Alpok keleti–délkeleti előterében, a másik a Balkán-félsziget keleti hegyvidékein (6. ábra). Még a 90-es évek végén elkezdett vizsgálataink alapján kitűnt, hogy a Kárpát-medencében három különböző eredetű genetikai csoport találkozott (Pecsénye et al., 2016). Nyugat felől érkezve, csekély arányban jelen van a kelet-alpesi eredetű génanyag, a balkáni eredetű viszont két különböző ágon is eljut a Kárpát-medencébe: a Nyugat-Balkán felől a Dunántúli-középhegységbe és a Déli-Kárpátok felől Erdélybe és az Északi-középhegységbe, ahol önálló változatokat is képez. Ez a genetikai mintázat több egymást követő glaciális–interglaciális ciklus alatt alakulhatott ki. A legnagyobb genetikai sokféleségű populációk egyrészt ott vannak, ahol a faj populációi feltehetően több glaciális ciklust is átvészelhettek (kelet-balkáni hegyvidékek), illetve ahol több irányból érkezett génanyagok találkoztak, és új variációk is létrejöttek (Dunántúli- és Északi-középhegység).

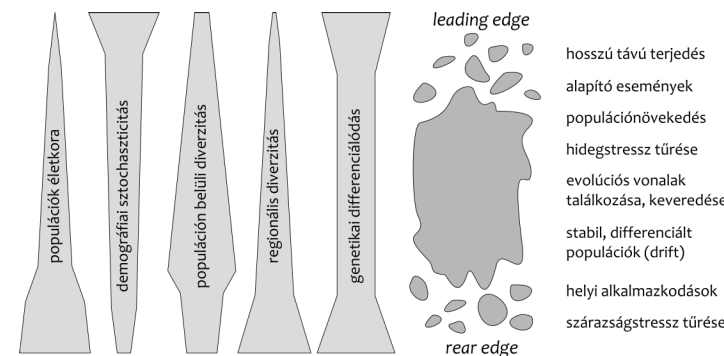
A fenti példákban látható, milyen módszerű vizsgálatokkal tárható fel az elterjedési területek „anatómiája” és dinamikája. Az európai mérsékelt övi fajoknál az egymástól leginkább differenciálódott populációk az elterjedési terület felszakadozó déli peremterületein (rear edge) vannak, szétterjedési kapacitásuk minimális (Hampe – Petit, 2005). Ezt követi az éghajlati övezetességnek leginkább megfelelő, potenciálisan többé-kevésbé összefüggő elterjedési terület. Az elterjedés észak felé nyomuló pereme ismét felszakadozik (leading edge), az egyre kedvezőtlenebb helyi ökológiai körülményeknek megfelelően. Ezek a populációk elszigeteltek, csekély egyedszámúak, csekély genetikai változatosságúak, és az alapító hatásoknak megfelelően

véletlenszerűen eltérnek egymástól (7. ábra). Az elterjedési terület változásaiban mindig benne van a fajkeletkezés, mindenekelőtt a földrajzi izolációban bekövetkező allopatrikus speciació lehetősége. Mivel azonban az allopatrikus fajkeletkezés általában lassú folyamat, így fajként, szaporodásilag elkülönült egységek csak tartósan, a hideg és meleg fázisokat egyaránt túlélő népségekből alakulhatnak ki (kettős refugialis hatás), ez pedig leginkább a dél-európai hegyvidékek kiegyenlített klímájú, jó vízellátottságú részein lehetséges. Ebből adódik, hogy új fajok kialakulására a legtöbb esély a jelentős genetikai differenciálódású déli perempopulációkban van, ilyen a mediterrán-hegyvidéki bennszülött fajok jelentős része.

Közösségevolúció – filogenezis és cönogenezis: filocönogenezis?!

A globális klímaváltozás idején különös élességgel jelentkezik a kérdés: hogyan válaszolnak a közösségek? Vajon egységként reagálnak, vándorolnak, kiterjednek és fragmentálódnak, vagy inkább komponenseikre bomlanak szét, majd új összetételben szerveződnek újjá? Korábban a zonalitás általános el-

veiből kiindulva, egyben a kérdést leegyszerűsítve, a kutatók hajlamosak voltak a – főként fosszilis virágposzsum-profilokból (pollenanalízis) nyert – adatokat úgy értelmezni, hogy a jégkorszakok alatt a jelenlegi sarkvidéki tundrák egészen délre szorultak, Közép-Európáig, a mérsékelt övi erdőzónák pedig a mediterrán félszigetek irányába húzódtak. Ez az interpretáció az eljegesedési időszakok átlagos hőmérsékleti értékeinek modellezése alapján is elfogadhatónak tűnt, azonban több lényeges kérdésre nem tudott választ adni. Ilyen mindenekelőtt az, hogy a sarkvidéki szélességeken a sugárzó energia mennyisége és évszakos eloszlása is teljesen más, és a szervesanyag-termelés szempontjából is sokkal kedvezőtlenebb, mint azokon a közepes földrajzi szélességeken, ahová korábban a tundraövegetet prediktálták. Ezen kívül az is kimaradt a számításokból, hogy a jelenlegi tundrákhoz hasonló ökoszisztéma nem tarthatta volna el a legelő nagy növényevők tömegeit, amelyek – szintén a fosszilis bizonyítékok tanúsága szerint – a periglaciális öveget benépesítették. Ennek a jelenleg „mamut-sztyeppnek” (tundro-sztyeppnek) nevezett ökológiai rendszernek a sokoldalú vizsgálatá-



7. ábra • Az elterjedési területek térbeli és genetikai szerkezetének általánosított modellje. (Hampe – Petit, 2005 alapján, módosítva. Magyarázat a szövegben.)

ból az tűnt ki, hogy nem lehetett azonos egyetlen jelenlegi zonális vegetációtípussal sem, mint ahogy az állatközössége is „nem-analóg” módon olyan fajokból tevődött össze, amelyek jelentős része ma sehol sem él együtt, illetve sok közülük ki is halt. Ezen kívül a pollenelemzés és az egyéb fosszilis maradványok azt sem igazolták, hogy a mediterrán félszigeteken kiterjedt erdőövezetek voltak. Az is kitűnt, hogy a jelenleg „melegkedvelő” fajoknak tartott sztyepei elemek jelentős része nemhogy visszahúzódtott volna a lehűlési időszakok során, hanem elterjedésük a jelenleginél nagyobb és összefüggőbb volt.

Ezért századunk első évtizedében radikális paradigmaváltás történt. Mivel a ténylegesen ható tényezők minden faj populációjának esetében többé-kevésbé eltérőek (lásd: „multiplurális környezet” elv, Juhász-Nagy, 1986), ezért a klímaválásaik is jelentős mértékben „egyediek”, ebből következően a glaciálisok-interglaciálisok váltakozása során a közösségek *felbomlanak* és *újraszerveződnek* (Stewart et al., 2010; Varga, 2010; Schmitt – Varga, 2012), ami *szelekciós* és *koevolúciós* hatásokkal jár. Annak a növényfajkészletnek, amely egy lehűlési időszak kontinentális hidegsztyeppjén együtt van, egy része megtalálható a mai lösz-sztyepeken, néhány tagja az északi kitettségű, be nem erdősülő dolomit-lejtőkre húzódott, egyes tág tűrésű fajok még a szikeseken is jelen vannak, mások pedig az erdőhatár fölé szorultak. Korábbi összefüggő elterjedésük jelentős részét pedig a hidegfázisokban fragmentált élőhelyeken fennmaradt erdei fajkészlet foglalta el, sokféle új, a hidegfázisokban még nem létezett kombinációban, mint ahogy egy fajgazdag lomberdőben különböző menedékterületen túlélő flóra- és faunaelemek keverednek. Hasonló képet

mutat az állatközösségek összetétele is, főleg a kisebb testű és élettérigényű csoportoké. Ebből a szempontból leginkább a nagytestű emlősök elterjedési és kihalási viszonyai térnek el, amelyekre az utolsó jégkorszak kezdetétől folyamatosan és egyre erősebben hatott az ember élőhely-átalakító és predációs tevékenysége.

Végkövetkeztetések

A földtörténeti közelmúlt glaciális–interglaciális ciklusainak „laboratóriumában” a dinamikus elterjedési változásokkal együtt változtak a génnyakosságok, új génváltozatok és fajok jöttek létre, végeredményként pedig ökoszisztémák bomlottak szét és szerveződtek újra. Hasonló, de sokkal jelentősebb nagyságrendű folyamatok a Föld történetében a tíz- és százmillió éves lemeztektonikai és éghajlati ciklusok során is lejátszódtak. A geológiai, éghajlati és evolúciós változások szintjeit és a hozzájuk illeszkedő módszertani megközelítéseket legjobban táblázatos formában tekinthetjük át (1. táblázat).

Látjuk tehát, hogy a negyedidőszaki glaciális–interglaciális ciklikus klímaváltozásokra az élővilág populációs, faji és közösségi szinten válaszolt:

- Populációs szinten gén- és genotípus változások zajlottak, erre vonatkoznak az említett mitokondriális-, plazmatisz- és nukleáris DNS vizsgálati alapú esettanulmányok, lásd: bükk, erdei pocok, lepkék stb.
- A folyamatok általánosíthatónak bizonyultak az elterjedési terület „anatómiájának” és dinamikájának vizsgálata során, feltárva a földrajzi izolációs fajképződés egyes gócterületeit, és felfedve a fajgazdagság földrajzi mintázatainak lehetséges okait. Ebben a populációgenetika és klíma-modellezés módszereinek kombináció-

geológiai korok	éghajlatváltozások	biogeográfiai folyamatok	evolúciós változások	vizsgálati módszerek
recens < 10 ³ évek	recens / posztglaciális klímaingadozások	recens áreadinamika	génfrekvencia-változások, polimorfizmus	molekuláris populációgenetika, morfometria
glaciálisok és interglaciálisok 10 ⁴ – 10 ⁵ évek	jeges, ill. jégközi klímajellegű időszakok	refugiumokba szorulás, illetve expanzió	fajon belüli evolúció, fajképződés	politipikus fajok és fajkörök (molekuláris) filogeográfiája
Negyedidőszak + Neogén 10 ⁶ – 10 ⁷ évek	„jégházhatás”, az Antarktisz, a poláris és magashegységi területek eljegesedése	nyílt zonobiómok kiterjedése, glaciális és interglaciális zonalitási típusok létrejötte	fajföldről evolúció, adaptív radiációk	filogenetikus szisztematika és biográfia, génusz-szintű revíziók
nagy lemeztektonikai ciklusok 10 ⁷ – 10 ⁸ évek	„üvegház és jégház” hatású korok ciklikus váltakozása	tömegkihalások, új domináns növény- és állategyüttesek kialakulása	magasabb taxonok filogenezeise (makroevolúció)	nagy taxonok filogenetikus szisztematikája és biogeográfiája

1. táblázat • Hierarchikus nagyságrendek a földtörténetben, a bioszférában és az evolúcióban

jával hatékonyan bizonyult a monofiletikus fajcsoportok többszintű vizsgálata. • Bebizonyosodott, hogy a ciklikus klímaváltozások során a növényzeti övezetek teljes átrendeződése, felbomlása és újjászerveződése zajlik, „nemanalóg” zónák (mamut-sztyepp), fragmentált erdőtípusok és átmeneteik (ökotonok) jönnek létre. Ezekben a folyamatokban a válaszok fajoként „egyediek”, többtényezősök, többnyire nem lineárisak, és nehezen prediktálhatók. Feltáráshoz populációgenetikai, filogenetikai és paleoökológiai módszerek kombinációja szükséges. Többszintű módszertani megközelítéssel azonban a jelenlegi és a lehetséges jövőbeni klímaváltozásokra adott faji és ökoszisztéma-

szintű válaszok is jó eséllyel prognosztizálhatók.

Az evolúció többszintűsége is rávilágít arra, amelyet Theodosius Dobzhansky nyomán oly sokan szoktak idézni: „a biológiában bármi is csak az evolúció fényében válik érthetővé”.¹

Kulcsszavak: *szinteztettség, szelekció, egyediség, diverzitás, genealogikus, kompozicionális, fajképződés, glaciális refugiumok, újraszerveződés*

¹ „Nothing in biology makes sense except in the light of evolution.” (Dobzhansky *Amer. Biol. Teacher* 35: 125-129, 1973)

IRODALOM

- Bagdy György (2012): Génjeink és a lelki egészség – a stressz hatásának és a depresszió genomikájának összefüggései és tanulságai. *Magyar Tudomány*. 173, 6, 660–672. • <http://www.matud.iif.hu/2012/06/03.htm>
- Buss, Leo (1987): *The Evolution of Individuality*. Princeton: Princeton University Press • <http://tinyurl.com/zavrf6s>
- Chiao, Joan Y. – Blizinsky, Katherine D. (2010): Culture–Gene Coevolution of Individualism–Collectivism and the Serotonin Transporter Gene. *Proceedings of the Royal Society B*. 277, 529–537. DOI: 10.1098/rspb.2009.1650 • <http://tinyurl.com/hsok8hl>
- Dawkins, Richard C. (1986): *Az önző gén*. Budapest: Gondolat (Eredeti cím: *The Selfish Gene*, 1976)
- Dawkins, Richard C. (1999): *The Extended Phenotype: The Long Reach of the Gene*. 2nd ed. Oxford University Press
- Dobzhansky, Theodosius (1973): Nothing in Biology Makes Sense except in the Light of Evolution. *The American Biology Teacher*. 35, 3, 125–129. • <http://tinyurl.com/83kpfyg>
- Eldredge, Niles (1985): *Unfinished Synthesis*. New York: Columbia University Press
- Eldredge, Niles – Salthe, Stanley N. (1984): *Hierarchy and Evolution*. (*Oxford Surveys in Evolutionary Biology* 1) 184–208.
- Emerson, Brent C. – Kolm, Nicolas (2005): Species Diversity Can Drive Speciation. *Nature*. 434, 21, 1015–1017. • <http://tinyurl.com/jyhy2fg>
- Filipi, Karolina – Marková, Silvia – Searle, Jeremy B. – Kotlík, Petr (2015): Mitogenomic Phylogenetics of the Bank Vole *Clethrionomys glareolus*. A Model System for Studying End-glacial Colonization of Europe. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 82, 245–257. DOI: 10.1016/j.ympev.2014.10.016 • <http://tinyurl.com/hhztvnx>
- Gintis, Herbert (2011): Gene–Culture Coevolution and the Nature of Human Sociality. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 366, 878–888. DOI: 10.1098/rstb.2010.0310 • <http://tinyurl.com/z03vv40>
- Greif, Avner (1994): Cultural Beliefs and the Organisation of the Society: A Historical and Theoretical Reflection on Collectivist and Individualistic Societies. *The Journal of Political Economy*. 102, 5, 912–950. • <http://tinyurl.com/z7aburw>
- Haeckel, Ernst (1866): *Generelle Morphologie der Organismen. Allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformirte Descendenz-theorie*. Berlin: Georg Reimer • <https://archive.org/stream/generellemorpholoiaec/page/n9/mode/1up>
- Hampe, Arndt – Petit, Rémy J. (2005) Conserving Biodiversity under Climate Change: the Rear Edge Matters. *Ecology Letters*, 8, 461–467. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2005.00739.x
- Hull, David L. (2001): Interactors versus Vehicles. In: Hull, David L. (ed.): *Science and Selection: Essays on Biological Evolution and the Philosophy of Science*. Cambridge University Press, 13–45. • <http://tinyurl.com/jb8ph4> (részlet)
- Juhász-Nagy Pál (1986): *Egy operatív ökológia hiánya, szükséglete és feladatai*. Budapest: Akadémiai Kiadó
- Magri, Donatella (2007): Patterns of Post-glacial Spread and the Extent of Glacial Refugia of European Beech (*Fagus sylvatica*). *Journal of Biogeography*. 35, 3, 450–463. DOI: 10.1111/j.1365-2699.2007.01803.x • <http://tinyurl.com/hfhg43v>
- Maynard Smith, John – Szathmáry Eörs (1995) *The Major Transitions in Evolution*. Oxford: Oxford University Press
- McShea, Daniel W. – Changizi, Marc A. (2003) *Three Puzzles in Hierarchical Evolution. Integrative and Comparative Biology*. 43, 1, 74–81. DOI: 10.1093/icb/43.1.74 • <http://tinyurl.com/zuzbw78>
- Michod, Richard E. (2007): Evolution of Individuality during the Transition from Unicellular to Multicellular Life. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 104, (suppl. 1) 8613–8618. DOI: 10.1073/pnas.0701489104 • http://www.pnas.org/content/104/suppl_1/8613.full.pdf
- Okasha, Samir (2005): Multilevel Selection and the Major Transitions in Evolution. *Philosophy of Science*. 72, 1013–1025. DOI: 10.1086/508102 • <http://tinyurl.com/gq4vfu>
- Pecsenye Katalin – Tóth János P. – Bereczki Judit – Szolnoki Noémi – Varga Zoltán (2016): Genetic Structure of *Parnassius mnemosyne* (Lepidoptera: Papilionidae) Populations in the Carpathian Basin. *Organisms, Diversity and Evolution*. (in print). DOI: 10.1007/s13127-016-0281-7 • <http://real.mtak.hu/41384/2/PMfinal-rev.pdf>
- Petit, Rémy J. – Aguinagalde, Itziar – Beaulieu, Jacques-Louis de et al. (2003): Glacial Refugia: Hotspots But Not Melting Pots of Genetic Diversity. *Science*. 300, 5625, 1563–1565. DOI: 10.1126/science.1083264 • <http://tinyurl.com/zzqmc7w>
- Schmitt, Thomas – Varga Zoltán (2012): Extra-Mediterranean Refugia: The Rule and Not the

- Exception? *Frontiers in Zoology*. 9, 22, DOI: 10.1186/1742-9994-9-22. • <http://tinyurl.com/j8zq7z7>
- Stewart, John R. – Lister, A. M. – Barnes, I. – Dalén, L. (2010): Refugia Revisited: Individualistic Responses of Species in Space and Time. *Proceedings of the Royal Society B*. 277, 661–671. DOI: 10.1098/rspb.2009.1272 • <http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/277/1682/661>
- Szathmáry Eörs (2015): Toward Major Evolutionary Transitions Theory 2.0. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 112, 33, 10104–10111 • <http://www.pnas.org/content/112/33/10104.full>
- Varga Zoltán (1966): A biológiai szerveződési szintek dialektikájának néhány alapvonása (Some Basic

Features of Dialectics of the Biological Organisational Levels). *Magyar Filozófiai Szemle*. 719–736.

- Varga Zoltán (2010): Extra-Mediterranean Refugia, Post-glacial Vegetation History and Area Dynamics in Eastern Central Europe. In: Habel, Jan – Assmann, Thorsten (eds.): *Relict Species: Phylogeography and Conservation Biology*. Springer-Verlag, 57–87. DOI: 10.1007/978-3-540-92160-8_3
- West, Stuart A. – Fisher, Roberta M. – Gardner, Andy – Toby, Kiers E. (2015): Major Evolutionary Transitions in Individuality. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 112, 33, 10112–10119. DOI: 10.1073/pnas.1421402112 • <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4547252/>



A FELNŐTTKORI IVARARÁNY SZEREPE A PÁRZÁSI ÉS UTÓDGONDOZÁSI RENDSZEREK EVOLÚCIÓJÁBAN

Székely Tamás

PhD habil., professor

Department of Biology and Biochemistry, University of Bath, Bath, Egyesült Királyság
T.Szekely@bath.ac.uk

Összefoglalás

A párzási és utódgondozási rendszerek evolúciója a szociális viselkedésbiológia egyik legdinamikusabban fejlődő ága. A munkacsoportunk az utóbbi néhány évben a felnőttkori ivararány kapcsolatát vizsgálja a párzási és utódgondozási rendszerekkel. Kimutattuk, hogy az ivararány fajok közti eltérése jól jellemzi a madarak szaporodási rendszereit, mivel a hímtúlsúlyú populációkban a poliandria, míg a nősténytúlsúlyú populációkban a poliginia a gyakori. Azt is kimutattuk, hogy a különböző ivarmeghatározású gerinces csoportokban eltérő a felnőttkori ivararány, ugyanis a heterogametikus ivar van kisebbségben: az XX/XY ivarmeghatározású rendszerekben kevesebb a hím, míg az ZZ/ZW rendszerekben kevesebb a nőstény. Összességében a kutatásunk jelentőségét az adja, hogy a szociális környezet szerepét hangsúlyozza a szaporodási viselkedések evolúciójában.

Bevezetés

A párzási rendszerek (azaz a pártalálás és párkapcsolatok) és az utódgondozási rendszerek (azaz a szülői gondoskodással kapcsolatos

viselkedések) a legváltozatosabb szociális viselkedések közé tartoznak (Székely et al., 2010; Davies et al., 2012; Alcock, 2013). A fajok között (és fajok belül is) változatosak a hímek és nőstények párkapcsolatai, az udvarlás és párszerzés módjai, és az utódok gondozásának időtartama, típusa és módja. Ezek a viselkedések (amelyeket együttesen szaporodási rendszernek neveznek) népszerű kutatási témák, amit jól mutat, hogy a szakirodalomban több mint húszezer cikket publikáltak ezekben a témákban (például: *sexual selection* 49 762 publikáció, *mate choice* 29 641 publikáció, *mating system* 25 167 publikáció, *parental care* 38 730 publikáció, Web of Science, 2015. november 6). A téma területén dinamikus fejlődését mutatja, hogy a publikációk száma húsz év alatt kb. húszszorosára növekedett – ez a tudomány átlagos fejlődésének többszöröse.

A legújabb vizsgálatok szerint a szaporodási rendszerek lényeges, de kevésbé vizsgált komponense a felnőttkori ivararány, amit rendszerint a populációban előforduló felnőtt hímek relatív gyakoriságával jellemeznek. A felnőttkori ivararány demográfiai folyamatok eredményeként jön létre (Székely et al., 2014b),

a születéskori ivararány, az ivarérettség és a fiatalok és a felnőttek ivarspecifikus mortalitásának eredőjeként. Például, ha az újszülöttek között egyforma arányban vannak a hímek és nőstények, míg az utódok növekedése alatt (vagy akár a felnőttkorban) a hímek mortalitása nagyobb, mint a nőstényeké, akkor a felnőttkori ivararány a nőstények felé tolódik el, mivel több felnőtt nőstény lesz a populációban.

A széki lile ivararánya és szaporodási rendszere

A felnőttkori ivararány fontosságára a partimadaras vizsgálataink irányították a figyelmet. A széki lile (*Charadrius alexandrinus*) – egy kistestű partimadár, amely az 1990-es évek végéig rendszeresen költött a nagyobb hazai szikeszeken – viselkedését és ökológiáját öt éven át vizsgáltuk a törökországi Çukurova Deltában lévő Tuzla-tónál (Székely, 1998; Kosztolányi et al., 2006). A Tuzla-tó körüli szikeszeken mintegy ezer széki lile költött: az egyedek jelentős részét színes gyűrűkkel jelöltük meg, és követtük az egyedileg jelölt lilék párzási- és utódgondozási rendszerét. A megfigyeléseink már 1996-ban, a vizsgálat első évében megmutatták, hogy a tojásokat mindkét szülő kotolja, míg a frissen kelt fiókákat az egyik szülő – rendszerint a nőstény – elhagyja, és röviddel ezt követően új párral szaporodik. Az elhagyott szülő pedig a fiókákkal marad, amíg a fiókák el nem érik a repülőképes kort (Székely et al., 1999). A széki lile utódgondozó viselkedése meglepő, mivel az állatok nagy részével ellentétben, ahol a nőstények gondozzák az utódokat, a széki lilénél éppen a hím szülőnek nagyobb a szerepe az utódgondozásban.

Miért a nőstények – és nem pedig a hímek – hagyják el a családot? Munkahipotézisünk az volt, hogy a populáció ivararánya

a hímek felé tolódott el, és ez megkönnyíti, hogy a családot elhagyó nőstény szülő gyorsan új párt találjon, és azzal újra szaporodjon (Székely – Lessells, 1993). Ezt a hipotézist két vizsgálatban teszteltük.

Egyrészt demográfiai modellezéssel a keléskori ivararány és a mortalitások ismeretében becsültük a tuzlai lilepopulációban a felnőttkori ivararányt. Míg a keléskori ivararány közel volt az 50:50 arányhoz, kelés után a nőstényfiókák gyakrabban pusztultak el, mint a hím fiókák. Ezen felül a keléskori ivararány szezonálisan változott: a fészkelési időszak elején nagyrészt hím fiókák keltek, míg a fészkelési időszak végén több volt a nőstény fióka. Mivel a szaporodási időszakban korán kelt fiókáknak jobb a túlélése, mint az időszak vége felé kelt fiókáké, ezért összességében több hím fióka maradt életben, mint nőstény. Mivel a felnőtt madarak túlélése kismértékben eltér (a hímek túlélése kevesebb, mint a nőstényeké), így összességében több felnőtt hím lile található a populációban (Kosztolányi et al., 2011).

Másrészt, 1996-ban egy kísérletet végeztünk, amikor is a párba állt lilék egy csoportjából a hímeket – míg másik csoportjából a nőstényeket – távolítottuk el, és ezzel azt teszteltük, hogy egy magányos lile mennyi idő múlva talál új párt magának (Székely et al., 1999). Az eredmények egyértelműen azt mutatták, hogy a nőstények sokkal gyorsabban találtak új párt, mint a hímek. Ez egyben azt is jelenti, hogy a kísérlet és a demográfiai vizsgálatok eredménye egymással konzisztens – ugyanis mindkét megközelítési módszer szerint hímtúlsúlyú a tuzlai lile populáció.

Miért tér el az ivararány az 50:50-tól?

A felnőttkori ivararányok gyakran eltérnek az 50 hím : 50 nőstény aránytól. Például az

emlősökre és a vízimadarakra a nőtények felé eltoltt ivararány jellemző, míg a madaraknak és a lepkéknek rendszerint hímtúlsúlyú ivararányuk van (Székely et al., 2014b). Habár a populációk ivararánya gyakran térben és időben fluktuál, ennek ellenére úgy tűnik, hogy egy adott fajnál a felnőttkori ivararányok konzisztensek: például a madaraknál a különböző módszerrel nyert ivararánybecslések közötti korreláció szignifikáns ($r_{\text{ICC}} = 0,648$, $F = 6,461$, $p < 0,0001$, $n = 55$ faj, [Székely et al., 2014a]).

Az ivararányok fajok közötti eltéréseinek legvalószínűbb okai a keléskori ivararánybeli eltérések és az ivarspecifikus túlélési gyakoriságok. A guppiknál és a madaraknál az ivarspecifikus felnőttkori túlélések korreláltak a felnőttkori ivararányval, míg a születéskori ivararányok nem voltak kapcsolatban a felnőttkorral (Arendt et al., 2014, Székely et al., 2014a). A hímek és nőtények túlélésbeli különbségének rengeteg lehetséges oka van: a nemek különböző viselkedéséből és fízológájából adódóan különbözhetnek a predációs ráták, a betegségek és paraziták által okozott mortalitások és környezeti kitérttségéből adódó mortalitások, például tél vagy táplálékszegény időszak (Moore – Wilson, 2002; Boukal et al., 2008; Székely et al., 2014b).

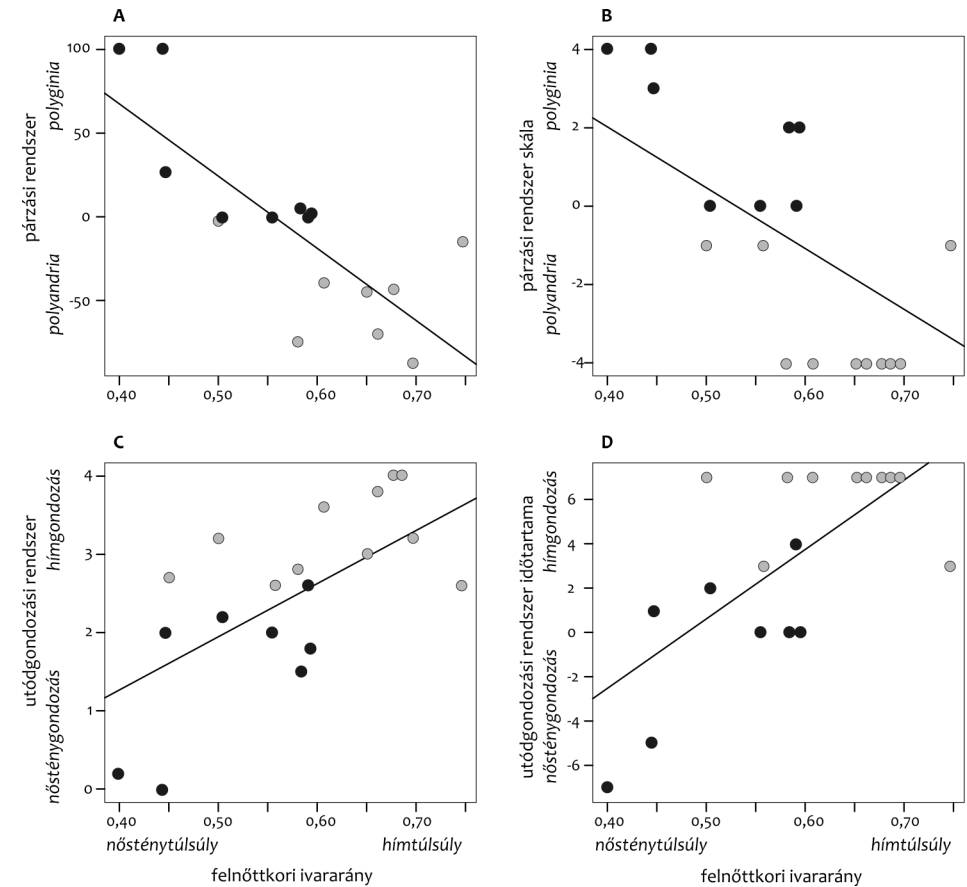
Az ivararány kapcsolata a párzási és utódgondozási rendszerekkel

Azt is kimutattuk, hogy a felnőttkori ivararány szoros kapcsolatban áll a párzási- és utódgondozási rendszerekkel. A partimadarak szaporodási rendszere egyedülállóan változatos, ugyanis nemcsak egynejlőség (monogámia, például csigaforgatók, gulipánok), hanem a poligámia két változata is előfordul: többnejlőség (poliginia, például pajzsos cankó, bíbic) és többférjlőség (poliandria, például víztapo-

sók, havasi lile). A partimadarak összehasonlító filogenetikai vizsgálata azt mutatja, hogy azoknál a fajoknál, ahol a hímek vannak többségben, rendszerint a hímek, míg a nőténytúlsúlyú populációkban rendszerint a nőtények kotolják a tojásokat és gondozzák a fiókákat (1. ábra). Ennek valószínűleg az az oka, hogy a ritkább ivar a keresettebb, és ez az ivar van előnyben a párszerzés szempontjából.

A partimadaraknak nem csupán az utódgondozásuk, hanem a párkapcsolataik is jól korrelálnak a felnőttkori ivararányval, ugyanis a hímtúlsúlyú populációkban a poliandria, míg a nőténytúlsúlyos populációkban a poliginia volt jellemző (Liker et al., 2013). Összességében a partimadarak vizsgálatunk volt az első, amelyik a fajok közötti összehasonlítással feltárta az ivararány és a szaporodási rendszerek kapcsolatát. Ez azért is jelentős, mert a szociális környezet szerepét hangsúlyozza a poliandria és a hím gondozás evolúciójában.

A tradicionális viselkedéskölögi megközelítés szerint a szaporodási viselkedések evolúciójában a környezeti tényezőknek van jelentős szerepük, például a táplálékforrásoknak, ragadozóknak és a fészkelőhelyeknek, valamint ezek térbeli és időbeli eloszlásának (Davies et al., 2012; Alcock 2013). Azonban a szociális környezet szerepét sem szabad elhanyagolni. Ugyanis közel hatszáz madárfaj utódgondozási viselkedésének komparatív analizálásával azt találtuk, hogy az ökológiai tényezők – elsősorban a külső hőmérséklet és a csapadék mennyisége – nem befolyásolta a szülők közti együttműködés mértékét (azaz, hogy a két szülő mennyiben osztotta meg a gondozás terhet [Remes et al., 2015]). A felnőttkori ivararány azonban jól prediktálta a szülői együttműködést: azoknál a fajoknál, ahol az ivararány a nőtények (vagy hímek)



1. ábra • A felnőttkori ivararány kapcsolata a párzási és utódgondozási rendszerekkel.

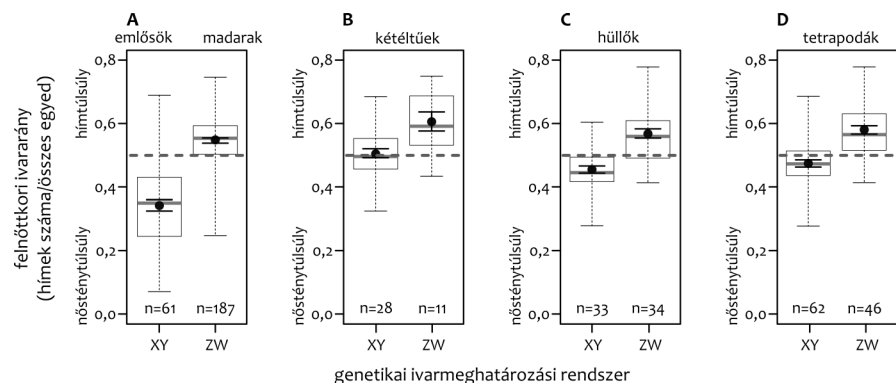
A fekete szimbólumok a konvencionális szaporodási rendszerű fajokat, a szürke szimbólumok a felcserélt szerepű fajokat jelölik (Liker et al., 2013).

felé eltolódott, rendszerint csak az egyik szülő gondozza az utódokat, míg azoknál a fajoknál, ahol az ivararány közel van az 50:50-hez, a szülők közti együttműködés jellemző.

Ivarmeghatározási módok és a felnőttkori ivararány

A gerincesek háromféle ivarmeghatározással szaporodnak. Az emlősökre, egyes kétélűiekre és hüllőkre az XX/XY rendszer jellemző: ezeknél a hímek XY ivari kromoszómákkal

rendelkezik (azaz heterogaméták) és a nőtények XX kromoszómájúak (homogaméták). A madarakra, egyes kétélűiekre és hüllőkre a ZZ/ZW rendszer jellemző, ahol is a hímek ZZ kromoszómával rendelkeznek (homogaméták), míg a nőtények ZW (heterogaméták). A harmadik rendszer a környezet által meghatározott ivar, ahol az ökológiai vagy szociális környezet hatása alatt áll az, hogy egy adott egyed hím vagy nőtény ivarú lesz-e. A halaknál mindhárom rendszer előfordul.



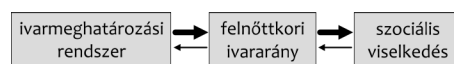
2. ábra • Az XY és a ZW ivarmeghatározási rendszerű gerinces csoportokban a felnőttkori ivararányok eltérőek (Pipoly et al., 2015).

Vajon kapcsolatban áll-e az ivarmeghatározás módja az ivararányokkal? A nemrégiben publikált vizsgálatunk szerint létezik egy érdekes kapcsolat (2. ábra, Pipoly et al., 2015). Ahogy fentebb említettem, a madárpopulációkban rendszerint a hímek, míg az emlősöknél a nőstények a gyakoribbak. Mivel a két csoport egyetlen evolúciós elágazás eredménye, ezért nehéz lenne tesztelni, hogy az ivararányok kapcsolatban vannak-e az ivarmeghatározás módjával. Ha azonban kiterjesztjük a vizsgálatot a kételtűekre és a hüllőkre, akkor az ivarmeghatározási mód és az ivararányok közötti kapcsolat tesztelhető, mivel a kétféle ivarmeghatározási mód között számos evolúciósan független váltás történt. A felnőttkori ivararányok következetesen különböznek az XX/XY és a ZZ/ZW fajok között, mégpedig oly módon, hogy a heterogametikus ivar alulreprezentált (2. ábra).

A különbség magyarázatára több hipotézisünk van, habár egyelőre nem tudjuk, ezek közül melyik a legvalószínűbb. Az egyik elképzelés szerint például a káros mutációk felhalmozódnak az X (vagy Z) kromoszómán, és mivel a heterogametikus ivarnál csak egy X vagy Z kromoszóma van, ezek a káros mu-

tációk kifejtik hatásukat (Pipoly et al. 2015). Egy másik hipotézis szerint a heterogametikus kromoszómákból származó dóziskülönbség nem kompenzálja a homogametikus kromoszómához képest a gének expresszióját, és ez a dóziskülönbség a heterogám ivar nagyobb mortalitásához vezet.

A fenti eredményünk két szempontból jelentős (3. ábra). Egyrészt segít megérteni a nagyobb gerinces állatcsoport szaporodási viselkedése közti különbségeket. Például az emlősökre a nősténygondozás és poliginia a jellemző, és ez részben annak tulajdonítható, hogy az emlőspopulációkban rendszerint több a nőstény. Másrészt eredményeink azt is mutatják, hogy az ivarmeghatározási rendszerek, szaporodási rendszerek és az ivararányok közötti kapcsolat dinamikus, és közöttük evolúciós visszacsatolások működnek.



3. ábra • Az ivarmeghatározási rendszerek hipotetikus kapcsolata a felnőttkori ivararányokkal és a szociális viselkedéssel. A nyilak eltérő erősségű és irányú kapcsolatra utalnak.

Például a szexuális szelekció, párválasztás, párosodás és utódgondozás a költségein keresztül befolyással lehet a populációk demográfiájára (például mortalitás, ivarérés), míg a demográfiai változók az ivararányokon keresztül befolyásolhatják a szaporodási rendszereket. Ezeknek a visszacsatolásoknak az elméleti és empirikus tesztelése izgalmas feladat lesz, amely alapvetően új perspektívába helyezheti a szaporodási rendszerek evolúcióját.

Következtetések

A kutatásunk – amit Liker Andrásal közösen irányítottunk – a felnőttkori ivararányok eddigi legnagyobb skálájú analízise. A fent említett munkákban filogenetikai komparatív módszereket használtunk – amelyek korrelatív eredményeket adnak –, tehát szükség van a fenti hipotézisek kísérletes és matema-

tikai modellezéssel történő vizsgálatára. Ugyancsak szükség van demográfiai vizsgálatokra, hogy milyen életmenet-stádiumban (és miért?) alakulnak ki az ivararány-eltolódások. Végezetül, új kutatások szükségesek, hogy megértsük a szaporodási rendszerek, az ivarmeghatározási módok és a felnőttkori ivararányok kapcsolatát.

Hálásan köszönöm Prof. Varga Zoltánnak, hogy meghívott az MTA evolúciós tudományos ülészakára. A kéziratban ismertetett vizsgálatokban nagyon köszönöm a társszerzők hozzájárulását (lásd: Irodalomjegyzék). A folyamatban lévő kutatásunkat az OTKA K116310 pályázata támogatja.

Kulcsszavak: *ivararány, ivarmeghatározás, párzási rendszer, utódgondozás, evolúció*

IRODALOM

- Alcock, John (2013): *Animal Behavior*. 10th ed. Sunderland: Sinauer Associates
- Arendt, Jeff D. – Reznick, David N. – López-Sepulcre, Andres (2014): Replicated Origin of Female-biased Adult Sex Ratio in Introduced Populations of the Trinidadian Guppy (*Poecilia reticulata*). *Evolution* 68, 2343–2356. DOI: 10.1111/evo.12445
- Boukal, David S. A. – Berec, Luděk – Křivan, Vlastimil (2008): Does Sex-selective Predation Stabilize or Destabilize Predator-Prey Dynamics? *PLOS ONE*. 3, e2687 DOI: 10.1371/journal.pone.0002687 • <http://tinyurl.com/j2y6suh>
- Davies, Nicholas B. – Krebs, John R. – West, Stuart A. (2012): *Introduction to Behavioural Ecology*. Oxford: John Wiley & Sons
- Kosztolányi András – Barta Zoltán – Küpper, Clemens – Székely Tamás (2011): Persistence of an Extreme Male-biased Adult Sex Ratio in a Natural Population of Polyandrous Bird. *Journal of Evolutionary Biology*. 24, 1842–1846. DOI: 10.1111/j.1420-9101.2011.02305.x • <http://tinyurl.com/gpvknkw>
- Kosztolányi András – Székely Tamás – Cuthill, Innes C. – Yilmaz, K. Tuluhan – Berberoğlu, Süha (2006): The Influence of Habitat on Brood-rearing Behaviour in the Kentish Plover. *Journal of Animal Ecol*

- ogy. 75, 257–265. DOI: 10.1111/j.1365-2656.2006.01049.x • <http://tinyurl.com/gtf7k8a>
- Liker András – Freckleton, Robert P. – Székely Tamás (2013): The Evolution of Sex Roles in Birds Is Related to Adult Sex Ratio. *Nature Communications*. 4, Article number 1587. DOI: 10.1038/ncomms2600 • <http://www.nature.com/articles/ncomms2600>
- Moore, Sarah L. – Wilson, Kenneth (2002): Parasites as a Viability Cost of Sexual Selection in Natural Populations of Mammals. *Science*. 297, 2015–2018. DOI: 10.1126/science.1074196
- Pipoly Ivett – Bókony Veronika – Kirkpatrick, Mark – Donald, Paul F. – Székely Tamás – Liker András (2015): The Genetic Sex-determination System Predicts Adult Sex Ratios in Tetrapods. *Nature*. 527, 91–94. DOI: 10.1038/nature15380
- Remeš, Vladimír – Freckleton, R. P. – Tőköllyi Jácint – Liker András – Székely Tamás (2015): The Evolution of Parental Cooperation in Birds. *Proceedings of National Academy of Sciences of the USA*. 122, 44, 13603–13608. DOI: 10.1073/pnas.1512599112 • <http://www.pnas.org/content/112/44/13603.full>
- Székely Tamás (1998): The Significance of Tuzla Gölü, Çukurova Delta for Shorebirds: A Concise Progress Report. *Tiuna*. 1, 28–30.
- Székely Tamás – Cuthill, Innes C. – Kis János (1999):

- Brood Desertion in Kentish Plover: Sex Differences in Remating Opportunities. *Behavioral Ecology*. 10, 191–197. DOI: 10.1093/beheco/10.2.185 • <http://tinyurl.com/zg8k8wy>
- Székely Tamás – Lessells, C. M. (1993): Mate Change by Kentish Plovers *Charadrius alexandrinus*. *Ornis Scandinavia*. 24, 317–322. DOI: 10.2307/3676794 • <http://tinyurl.com/zwryckp>
- Székely Tamás – Liker András – Freckleton, Robert P. – Fichtel, Claudia – Kappeler, Peter M. (2014a): Sex-biased Survival Predicts Adult Sex Ratio Variation in Wild Birds. *Proceedings of the Royal Society of London B*. 281, 1788, 20140342. DOI: 10.1098/rspb.2014.0342 • <http://tinyurl.com/zc73c4f>
- Székely Tamás – Moore, Allen J. – Komdeur, Jan (eds.) (2010): *Social Behaviour: Genes, Ecology and Evolution*. Cambridge: Cambridge University Press
- Székely Tamás – Weissing, Franz J. – Komdeur, Jan (2014b): Adult Sex Ratio Variation: Implications for Breeding System Evolution. *Journal of Evolutionary Biology*. 27, 8, 1500–1512. DOI: 10.1111/jeb.12415 • <http://tinyurl.com/hueyxho>



AZ EGYEDI SOKSZÍNŰSÉG HATÁSAI A KOOPERÁCIÓ EVOLÚCIÓJÁRA

Barta Zoltán

az MTA doktora, tszv. egyetemi tanár,
MTA–DE Lendület Viselkedésokológiai Kutatócsoport,
Debreceni Egyetem Evolúciós Állattani és Humánbiológiai Tanszék, Debrecen
barta.zoltan@science.unideb.hu

Kooperáció

Végigtekintve az élőlények gazdag csoportjain, feltűnően gyakran találkozunk a társas viselkedés különböző formáival. Ahogy Robert Trivers, az evolúcióbiológia egyik élő klasszikusa fogalmazott: „Everybody has a social life.” (Mindenki él valamilyen társas életet.) (Székely et al., 2010) De mi is ez a társas vagy szociális viselkedés? Az evolúcióbiológiában, különösen a viselkedésokológiában feltesszük, hogy az egyedek szaporodási sikere, túlélése jelentős mértékben függ viselkedésüktől. Szociális viselkedésről akkor beszélünk, amikor az egyed fitnessze nemcsak a saját, hanem társai viselkedésétől is függ (Székely et al., 2010). Egymással küzdő szarvasbikák esetében az, hogy egy bika nyer, nemcsak attól függ, hogy milyen erős, vagy milyen taktikát használ, hanem attól is, hogy az ellenfele mennyire van jó kondícióban, illetve ő milyen módon küzd. A szociális viselkedés különösen érdekes esete az egyedek közötti együttműködés vagy kooperáció. Kooperáción olyan viselkedést értünk, amikor egy egyed segít egy másik egyednek, úgy növelve annak szaporodási sikerét, hogy közben a saját szaporodási sikere csökken (West et al., 2007).

A kooperatív viselkedés számos példáját ismerjük, és nem csak az állatok világából. A trágyacsomókon élő *Myxobacterales* csoportba tartozó baktériumok a trágya kiszáradásával összecsoportosulnak, egyes sejtek termőtest-szerű képletekké, míg mások az e képleteket tartó szárakká alakulnak (Crespi, 2001). E folyamat révén a termőtestben képződő spórák sokkal hatékonyabban terjedhetnek és kolonizálhatnak új, friss trágyacsomót. A csavar a dologban az, hogy a szárát alkotó sejtek a folyamat során továbbszaporodás nélkül elpusztulnak, így mintegy „feláldozzák” magukat a termőtestképzők érdekében. Hasonló jelenség figyelhető meg az eukarióta nyálkagombáknál is (Kuzdzal-Fick et al., 2007). A tüdőben fertőzést okozó, de amúgy szinte mindenütt megtalálható *Pseudomonas aeruginosa* baktériumoknál egy másfajta kooperációt írtak le (Griffin et al., 2004). E baktériumok életének fontos feltétele a vas felvétele. A vas azonban gyakran csak kötött formában fordul elő a sejtek környezetében. Hogy a kötött vas felvehető legyen, a sejtek egy *siderophore* nevű anyagot termelnek, ami a kötött vasat oldatba viszi, így könnyen felvehetővé teszi. Az így felszabadított vasat azonban olyan sejtek is felvehetik, amelyek nem

fizették meg a siderophore-termelés költségeit, így kihasználva az azt termelők erőfeszítéseit. A kooperatív viselkedés természetesen nemcsak az egysejtű élőlényekre jellemző. Valójában a többsejtűség is egy kooperatív viselkedés eredménye, amikor is a szomatikus sejtek a saját szaporodásukról „lemondva” segítik az ivarsejtek reprodukcióját (Michod, 2007). Hasonló önzetlenség figyelhető meg az euszociális társadalmakban élő hangyák, méhek, darazsak, természetek és csupasz turkálók dolgozóinál is (Székely et al., 2010). A kooperáció azonban nem mindig jelent ilyen totális önfeláldozást. Van, amikor a kooperáló egyedek csak viszonylag kis költséget vállalnak valamely társuk érdekében. Például a vérszopó denevéreknél a nappali pihenőhelyre jól lakottan visszatérő egyedek sokszor mintegy megegetetik kevésbé szerencsés, üres gyomorral érkező társaikat (Wilkinson et al., 2016). E kis segítségnyújtás a sikertelen társak számára az élet és halál közötti különbséget jelentheti, mivel a denevérek képtelenek egy-két északánál többet táplálék nélkül túlélni. A segítség nem teljesen önzetlen, főleg olyan egyedek részesülnek benne, akik korábban már segítettek az éppen most sikeresebb egyednek. Mada-raknál is kimutattak egy hasonló rendszert. Ott a fészkeket támadó ragadozók elűzésében kooperáltak az egyedek (Krams et al., 2008). De kooperációnak tekinthetjük a párok utódgondozásban való közös részvételét is (Barta et al., 2014).

Manapság általánosan elfogadott, hogy az élet egyik fő „mozgatórugója” a természetes szelekció. A természetes szelekció azonban az egyedek közötti versengésen, kompetíción alapul, ezért sokáig jelentős problémát jelentett az evolúcióbíológusok, viselkedésszociológusok számára a kooperatív viselkedés természetes szelekcióra alapozott magyarázata

(Rand – Nowak, 2013). Hogyan terjedhet el egy, a mások segítségét célzó költséges viselkedés a populációban, ha a nem segítők mindig jobban járnak a segítőknél (nem fizetik a költségeket, de részesülnek az előnyökből)? A legutóbbi évtizedek vizsgálatai azt mutatják, hogy a kooperáció kialakulásának kulcsmozzanata egy bizonyos összerendezettség, *assortment*, kialakulása a kooperatív fenotípus és a kooperatív genotípus között (Fletcher – Doebeli, 2009). Ebben az esetben a segítők csak azokat segítik, akik maguk is hordozzák a segítő viselkedést kialakító gént/géneket. Számos mechanizmus alakíthat ki a kooperáció evolúciójához szükséges összerendezettséget. Ilyen például a rokonfelismerés, az egyedek közötti szociális hálózat szerkezete, a korlátozott mértékű elvándorlás, a társválasztás, és a közvetett vagy közvetlen kölcsönösség. Fontos látni, hogy e mechanizmusok ugyanúgy a természetes szelekció révén alakulnak ki, mint maga a kooperáció. Ebből két érdekes kérdés adódik (Barta, 2016). Egyrészt, mikor, milyen körülmények között várható egy bizonyos, összerendezettséget eredményező mechanizmus felbukkanása? Másrészt, milyen koevolúciós folyamatok működhetnek e mechanizmusok és a kooperáció között?

Az összerendezettség fogalma feltételezi az egyedek közötti változatosságot, legalább a kooperatív készség szintjén. Az egyedek azonban számos más tulajdonságban is különbözhetnek, amelyek viszont befolyásolhatják az összerendezettséget, és így a kooperáció kialakulását is. E folyamatokról szinte alig tudunk valamit.

Egyedi sokszínűség

A változatosság az élet egyik alapvető princípiuma, már csak annak okán is, hogy meglehetősen természetes szelekció egyik nélkülözhe-

tetlen feltétele. A biológiai változatosság mértékét jól illusztrálja, hogy a taxonómusok az élőlényeket több millió fajra osztják, sokszor csak morfológiai eltéréseik alapján. De a változatosság nem korlátozódik csak a fajok közötti eltérésekre, a fajokon belül az egyedek között is jelentős különbségeket találhatunk. Az utóbbi egy-két évtized fontos felismerése, hogy az azonos nemű, korú és méretű egyedek is mutathatnak következetesen megjelenő, az emberi személyiségjegyekhez hasonló viselkedési különbségeket (Sih et al., 2004).

Az egyedek közötti változatosság különösen fontos szociális szempontból, mivel egy eltérő egyedekből álló populációban az egyedek előtt új viselkedési lehetőségek nyílnak meg, amelyek új szelekciós tényezők kialakulását eredményezhetik. Egy változatosság nélküli populációban nincs értelme változtatni az egyedek között, hisz mindenki egyforma. Hiába hagyja el egy egyed a partnerét, a következő is ugyanolyan lesz. Ezzel szemben egy változatosságú populációban megéri válogatni az egyedek között, hiszen egy átlag alatti tulajdonsággal rendelkező partnert elhagyva nagy valószínűséggel jobb társra bukkanhat az egyed (McNamara – Leimar, 2010). A különbségek elősegíthetik az egyedek közötti munkamegosztás kialakulását is.

Az egyedek közötti különbségek számos folyamat, pl. *random* zaj (mutációk), állapotbeli eltérések vagy feladat-specializáció révén alakulhatnak ki. A következőkben áttekin-tünk néhány modellt, melyek az egyedi változatosság hatását vizsgálják a kooperáció evolúciójára.

Elméleti modellek

John M. McNamara és munkatársai (2004) egy egyszerű ismételt fogolydilemma szituációban vizsgálták a változatosság szerepét. A

modellben az egyedek párba állva játszottak rögzített számú fogolydilemmát azzal a kiegészítéssel, hogy ha a pár bármelyik tagja csal, akkor a pár felbomlik, és a tagok más egyedekkel újra párba állva folytatják. Ebben a rendszerben, ha az egyedek közötti változatosság kicsi, akkor nagyon hamar nemkooperáló egyedek populációja alakul ki. Ez közismert eredmény; abból fakad, hogy egyforma egyedek esetén könnyű jóslni, hogy a partner meddig kooperál, és így érdemes az utolsó menetben csalni. Ez gyorsan a kooperáció eltűnéséhez vezet. Ha azonban a populáció változatosságú egyedekből áll, akkor nagy az esélye annak, hogy egy egyed egy, a populáció átlagánál kooperatívabb egyeddel áll párba, akivel a hosszú együttműködés jelentős nyereséggel jár. Így ha elég nagy a változatosság, érdemes lesz a populációs átlagnál tovább kooperálni. Ez gyorsan kooperatív populációhoz vezet. Ez a modell azonban feltételezi, hogy egy becsapott egyed megszakítja a kapcsolatot a csalóval. De hogyan alakul ki ez az ún. *kiugrás-stratégia*? Feltehető, hogy a kooperáció egy nem kooperatív állapotból alakul ki. Egy ilyen nem kooperatív populációban azonban a kiugrásnak semmilyen szelekciós előnye nincs. Kiugrás nélkül viszont kooperáció sincs. Ez az ördögi kör a kooperáció ún. *bootstrap* problémája (André, 2014). McNamara és munkatársai (2008) azonban kimutatták, hogy a kooperáció és a kiugrás fokozatos, párhuzamosan zajló evolúciója megoldást jelenthet a bootstrap problémára, feltéve, hogy a populáció elég változatosságú. Változatosságú populáció esetén ugyanis kialakulhat egy erős korreláció a válogatás (kiugrás) és a kooperációra való hajlandóság között, ami különösen a kooperatív, de válogató egyedek számára előnyös. Ez gyorsan a változatosság és a kooperáció elterjedéséhez vezet.

Az egyedek közötti különbség gyakori forrása az állapotbeli különbségeknek. Az egyedek például különbözhetnek energiatartalékaik szintjében. Barta Zoltán és Luc-Alain Giraldeau (2000) azt találta, hogy, ha az egyedek egy szociális táplálkozási szituációban a megtalált táplálék megosztásáról szóló döntéseiket a saját energiatartalékaik szintjéhez köthették, akkor a táplálék megosztás növelte a csoport tagjainak túlélését. Ebben a szituációban a magas energiaszint azt jelzi az egyednek, hogy egy kooperatív környezetben van, így érdemes segítenie, megosztva a megtalált táplálékot a többi egyeddel. Hasonló eredményt adott Barta és munkatársai (2011) modellje is, ahol az egyedek egy belső állapotváltozó segítségével tartották nyilván a környezetük segítőkészségét (a segítség nyújtása növelte az állapotváltozó értékét, míg megtagadása csökkentette). Ha a környezet segítőkész volt, akkor az egyed is segített. Ez az öngerjesztő folyamat gyorsan kooperatív populáció kialakulásához vezetett.

Az állapotbeli különbségek felhasználhatók a partnerek viselkedésének manipulálására is. Barta és munkatársai (2002) kimutatták, hogy ha az utódait gondozó szülők döntéseiket tartalékaik szintjére alapozhatják, akkor kialakulhat egy kooperatív kétszülős gondozás. Ebben az esetben mindkét szülő megakadályozhatja partnere dezertálását azzal, hogy energiatartalékait olyan alacsony szinten tartja, ami nem teszi lehetővé, hogy egyedül vállalja az utódok gondozását.

Az egyedek közötti eltérés fontos következménye lehet a feladat specializáció. Egy egyednek általában többféle feladatot kell ellátnia, például egy szülőnek védenie, melengetnie, táplálnia kell az utódait. Ilyen esetben, ha a szülők különböznek, és a különbségek lehetővé teszik a különböző feladatok eltérő

hatékonyságú ellátását (például a ragadozó madarak nagy testű nőstényei hatékonyabban védik a fiókákat, míg a kis testű hímek jobb vadászok), érdemes kooperálni, vagyis közösen nevelni az utódokat (Barta et al., 2014). E munka érdekes eredménye, hogy a feladat specializáció és a kooperáció ebben a szituációban két egymást erősítő folyamattá válik, ami gyorsan erősen specializált, kooperatív egyedek kialakulásához vezet.

Konklúzió

Az eddig áttekintett elméleti eredmények azt sugallják, hogy az egyedi sokszínűség fontos szerepet játszhat a kooperáció evolúciójának elősegítésében. Egy bővebb áttekintés hasonló konklúzióra jutott (Barta, 2016). Ezen áttekintés alapján úgy tűnik, hogy a variáció forrása nem befolyásolja a sokszínűség evolúciós hatását. A modellek többségében azonban az egyedek konzisztens különbségére volt szükség ahhoz, hogy a változatosság kifejttesse „jótékony” hatását. Ez arra utal, hogy az állati személyiség, ami konzisztens egyedek közötti viselkedésszerű különbséget jelent, fontos szerepet játszhat a kooperatív viselkedés kialakulásában. Ez alapján szociális fajok esetében markánsabb személyiségkülönbségeket prediktálhatunk. De ez már egy másik, igen érdekes történet: hogyan hathat egymásra a személyiség és a kooperáció kialakulása?

Fontos látnunk, hogy ezek az eredmények elméleti vizsgálatokon alapulnak, ám szinte semmit nem tudunk arról, hogy valós rendszerekben milyen evolúciós hatásai lehetnek az egyedi különbségeknek. Ez újabb ígéretes kutatások kiindulópontja lehet.

Kulcsszavak: *viselkedésetológia, játékelmélet, együttműködés, szelekció, feladatmegosztás, rokonságismerés, személyiség, utódgondozás*

IRODALOM

- André, Jean-Baptiste (2014): Mechanistic Constraints and the Unlikely Evolution of Reciprocal Cooperation. *Journal of Evolutionary Biology*. 27, 4, 784–95. DOI:10.1111/jeb.12351 • <http://tinyurl.com/jduync5>
- Barta Zoltán (2016): Individual Variation behind the Evolution of Cooperation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 371, 20150087. DOI: 10.1098/rstb.2015.0087
- Barta Zoltán – Giraldeau, Luc-Alain (2000): Daily Patterns of Optimal Producer and Scrounger Use under Predation Hazard: A State-dependent Dynamic Game Analysis. *American Naturalist*. 155, 4, 570–82. • <http://tinyurl.com/hjg6ukr>
- Barta Zoltán – Houston, Alasdair I. – McNamara, John M. – Székely Tamás (2002): Sexual Conflict about Parental Care: The Role of Reserves. *American Naturalist*. 159, 6, 687–705. DOI: 10.1086/339995
- Barta Zoltán – McNamara, John M. – Huszár Dóra B. – Taborsky, Michael (2011): Cooperation among Non-relatives Evolves by State-dependent Generalized Reciprocity. *Proceedings of the Royal Society B*. 278, 843–48. DOI: 10.1098/rspb.2010.1634 • <http://tinyurl.com/zymwhsh>
- Barta Zoltán – Székely Tamás – Liker András – Harrison, Freya (2014): Social Role Specialisation Promotes Cooperation Between Parents. *American Naturalist*. 183, 6, 747–61. DOI: 10.1086/676014 • <http://tinyurl.com/h7r4rh4>
- Crespi, Bernard J. (2001): The Evolution of Social Behavior in Microorganisms. *Trends in Ecology and Evolution*. 16, 4, 178–83. DOI: 10.1016/S0169-5347(01)02115-2 • <http://tinyurl.com/jhsq6p>
- Fletcher, Jeffrey A. – Doebeli, Michael (2009): A Simple and General Explanation for the Evolution of Altruism. *Proceedings of the Royal Society B*. 276, 1654, 13–19. DOI: 10.1098/rspb.2008.0829 • <http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/276/1654/13>
- Griffin, Asleigh S. – West, Stuart A. – Buckling, A. (2004): Cooperation and Competition in Pathogenic Bacteria. *Nature*. 430, 1024–1027. DOI: 10.1038/nature02744 • <http://tinyurl.com/hc4vj3h>
- Krams, Indrikis – Krama, T. – Igaune, K. – Mänd, R. (2008): Experimental Evidence of Reciprocal Altruism in the Pied Flycatcher. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 62, 4, 599–605. DOI: 10.1007/s00265-007-0484-1 • <http://tinyurl.com/hxgajub>
- Kuzdzal-Fick, Jennie J. – Foster, Kevin R. – Queller, David C. – Strassmann, Joan E. (2007): Exploiting New Terrain: An Advantage to Sociality in the Slime Mold *Dictyostelium discoideum*. *Behavioral Ecology*. 18, 433–37. DOI: 10.1093/beheco/arl102 • <http://beheco.oxfordjournals.org/content/18/2/433.full>
- McNamara, John M. – Barta Zoltán – Fromhage, L. – Houston, A. I. (2008): The Coevolution of Choosiness and Cooperation. *Nature*. 451, 189–92. doi: 10.1038/nature06455 • <http://tinyurl.com/hbm86fo>
- McNamara, John M. – Barta Zoltán – Houston, A. I. (2004): Variation in Behaviour Promotes Cooperation in the Prisoner's Dilemma Game. *Nature*. 428, 745–48. DOI: 10.1038/nature02432 • <http://tinyurl.com/hjdeoks>
- McNamara, John M. – Leimar, Olof (2010): Variation and the Response to Variation as a Basis for Successful Cooperation. 365, 1553, 2627–33. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. DOI: 10.1098/rstb.2010.0159 • <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/royptb/365/1553/2627.full.pdf>
- Michod, Richard E. (2007): Evolution of Individuality during the Transition from Unicellular to Multicellular life. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 104, 8613–18. DOI: 10.1073/pnas.0701489104 • <http://tinyurl.com/hae8yun>
- Rand, David G. – Nowak, Martin A. (2013): Human Cooperation. *Trends in Cognitive Sciences*. 17, 8, 413–25. DOI: 10.1016/j.tics.2013.06.003
- Sih, Andrew – Bell, Alison – Johnson, J. Chadwick (2004): Behavioral Syndromes: An Ecological and Evolutionary Overview. *Trends in Ecology and Evolution*. 19, 372–378. DOI: 10.1016/j.tree.2004.04.009 • <http://tinyurl.com/zr4vqja>
- Székely Tamás – Moore, Allen J. – Komdeur, Jan (eds.) (2010): *Social Behaviour: Genes, Ecology and Evolution*. Cambridge: Cambridge University Press
- West, Stuart A. – Griffin, Asleigh S. – Gardner, Andy (2007): Social Semantics: Altruism, Cooperation, Mutualism, Strong Reciprocity and Group Selection. *Journal of Evolutionary Biology*. 20, 415–32. DOI: 10.1111/j.1420-9101.2006.01258.x • onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1420-9101.2006.01258.x/full
- Wilkinson, Gerald S. – Carter, Gerald G. – Bohn, Kirsten M. – Adams, Danielle M. (2016): Non-kin Cooperation in Bats. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 371, 20150095. DOI: 10.1098/rstb.2015.0095

Tanulmány

A PÁRHUZAMOS FÖLDI KLÍMÁK ELMÉLETE

Bócai Tamás

PhD, tudományos kutató,
Hamburgi Egyetem Meteorológiai Intézet

Drótos Gábor

tudományos munkatárs,
MTA–ELTE Elméleti Fizikai Kutatócsoport

Haszpra Tímea

posztgraduális kutató,
ELTE Elméleti Fizikai Tanszék

Herein Mátyás

tudományos munkatárs,
MTA–ELTE Elméleti Fizikai Kutatócsoport

Márfy János

PhD-hallgató,
ELTE Elméleti Fizikai Tanszék

Tél Tamás

az MTA doktora, egyetemi tanár,
MTA–ELTE Elméleti Fizikai Kutatócsoport,
ELTE Elméleti Fizikai Tanszék • tel@general.elte.hu

Az ún. *pillanatkép attraktorok* elmélete alapján kimutatjuk, hogy a korunkban zajló klímaváltozás fontos vonásai akkor érthetők meg, ha ahelyett, hogy csakis az egyetlen megfigyelt Földünket vizsgáljuk, elképzelünk mellette sok hasonló földi klímarendszert, amelyek nincsenek egymással kölcsönhatásban. Ezek éghajlatai időben párhuzamosan, de nem azonos módon fejlődnek, ámbar mind ugyanazon fizikai törvényeknek engedelmeskednek. A különbségek abból adódnak, hogy a néhány évszázaddal korábban megválasztott kiindulási adataik (hőmérséklet, szél, csapadék stb. eloszlásai) mások. A különböző kezdeti állapotokból kifejlődő földi klímák egy sokaság elemeinek tekinthetők. Amellett érvelünk, hogy Földünk éghajlati rendszerének

változatosságát sokkal inkább a párhuzamos éghajlati világok közötti különbség jellemzi, mint az a változékonyság, amelyet a megfigyelt egyetlen múltunkban tapasztaltunk. A klímadinamika sajátossága, hogy nem sokkal a kiindulási időpont után a kezdeti adatok elfelejtődnek, és a sokaság egyes elemei adott pillanatban éppen a lehetséges éghajlati állapotok gazdag tárházát, a klíma belső változékonyságát jelenítik meg.

A klímakutatás szemléletéről

A klímaváltozás aktuális állapotáról a hivatalos képet az IPCC (Éghajlatváltozási Kormányközi Testület) kiadványaiból tudhatjuk meg, köztük a fizikai hátteret is megadó, a kutatói közösség által összeállított kötetekből,

amelyek közül a legutóbbi 2013-ban jelent meg (IPCC, 2013).

A szöveg a legkülönbözőbb szinteken beszél a klímáról, általában abban az értelemben, hogy a „klíma az átlagos időjárás”, amit hétköznapi megfogalmazásban sokszor abban a formában ismerünk, hogy „a klíma az, amit várunk, az időjárás pedig az, ami megvalósul”. Mindkét változat utal valamilyen valószínűségi szemléletre, de nem adja meg, mi az a valószínűség-eloszlás, amely szerint az átlagot kell képeznünk, illetve azt, hogy várakozásunkat mire alapozzuk. Az utóbbi értelem szerűen tekinthető a múltbeli tapasztalatnak, amit alátámaszt az az állítás is, hogy „az átlagolás klasszikus periódusa 30 év”. Ha azonban változik a klíma, akkor azt a múltat alapozva nem feltétlenül lehet megítélni. Szükség van tehát egy finomabb fogalomrendszerre, amely képes megragadni a változás pillanatnyi jellegét is.

A harmincéves átlagolás hagyománya még a korunkban zajló klímaváltozást megelőző időszakból ered, s abban feltehetően szerepet játszott a statisztikus fizika klasszikus ágaiban érvényes, s már a XIX. század végén megfogalmazott, *ergodikus hipotézis*, miszerint „elegendően hosszú időbeli átlag megegyezik egy megfelelő sokaság feletti pillanatnyi átlaggal”. Az itt felmerülő sokaság klímánk lehetséges állapotait jellemezheti, amelyek halmaza változatlan klímában nyilván nem is függ az időtől. Arra a természetes kérdésre, hogy a harminc év tekinthető-e „elegendően hosszúnak”, főleg ismerve, hogy a hipotézis igazából végtelen hosszú időátlaggal érvényes, általános értelemben nemleges lesz a válaszuk.

A káoszelmélet tanulságai

Akik átértékelték a 80-as években a káoszelmélet által hozott szemléletváltást, emlékezhetnek,

hogy abban az időben a kaotikus rendszerek vizsgálata mögött az a remény is meghúzódott, hogy rajtuk keresztül közelebb kerülünk a fizika egy nagy megoldatlan problémájához, a turbulencia kialakulásához, s valóban sokat olvashattunk például a turbulencia felé vezető Ruelle–Takens–Newhouse-féle útról (Szépfalusi – Tél, 1982). Jó évtizeddel később azonban kiderült, hogy a remény nem vált be, azok az utak csak a káosz (és nem a turbulencia) kialakulásának módjait írják le. A tudomány sajátos fejlődését jól mutatja, hogy a káoszelmélet végül mégiscsak rendkívül hasznosnak bizonyult a turbulencia bizonyos oldalról történő megértéséhez. A 90-es években robbant (Tóth – Kalnay, 1997; Götz, 2001), hogy a káoszelmélet alapján érdemben javítható a meteorológiai előrejelzések megbízhatósága (azt is sikerült a gyakorlatba átültetni, hogy noha a légkör állapota numerikusan soha, sehol nem jelezhető előre hosszán, bizonyos napokon és helyeken a hagyományos előrejelzés különösen megbízhatatlan, amikor is újabb mérési adatok begyűjtése válik szükségessé, és azok ismeretében az új előrejelzés már megbízhatóbb).

Feltehetően a meteorológiában bekövetkezett fejlődésnek köszönhető, hogy a klímaváltozásról történő gondolkodásban mára alapvető szerepet játszik a káoszról kialakított helyes kép. Ez azonban nem jár feltétlenül együtt a káoszelmélet mára már kialakult szóhasználatának és technikájának használatával, ezért egyfajta szótár kialakítása szükséges.

Az IPCC szóhasználatában alapvető szerepet játszik a klíma *belső változékonyságának* fogalma. Ezt értelmezhetjük úgy, mint annak általánosítását, hogy alacsony dimenziós disszipatív kaotikus rendszerekben hosszú idő után minden pillanatban *végtelen sok* különböző mozgásforma létezik együtt (már itt

utalunk előre az ezt jól szemléltető 2. ábrára). Ez élesen szemben áll a nem kaotikus rendszerekkel, amelyekben hosszú idő után mindig csak egyfajta mozgásforma, például periodikus löktetés állhat be. A sokfajta mozgásállapot szimultán jelenlétét a nemlineáris rendszerek szóhasználatában az előrejelezhetetlenség említésével jelzi, vagy – még inkább szaknyelven – azzal a tulajdonsággal, hogy a kaotikus attraktor kiterjedt (ugyanakkor nulla térfogatú, azaz fraktál) objektum a fázistérben, amint a 2. ábra is mutatja (Ott, 1993; Tél – Gruiz, 2002). A belső változékonyság tehát a klíma kaózszerű tulajdonságát, előrejelezhetetlenségét is jelzi.

Érdemes felidézni a kaószelmélet néhány további állítását, amelyek hasznosak lesznek a következők szempontjából. A sokféle állapot szimultán jelenléte a rendszer inherens, objektív tulajdonsága, amely külső hatásra (pl. pontosabb mérés, jobb numerikus eljárás alkalmazása) nem csökkenthető. Ezek a mozgásállapotok nagyobb vagy kisebb sűrűséggel halmozódhatnak az egyes fázistérbeli pontok környékén, s ezzel valószínűség-eloszlást definiálnak (példaként előre utalunk a 3. ábrára). A kaósztan egyik fontos állítása, hogy miközben egyedi mozgásokat követve az előrejelezhetőség gyorsan elvész, az eloszlások szintjén a kaósz tetszőleges pontossággal jelezhető előre (Ott, 1993; Tél – Gruiz, 2002) hosszú távon.

A kaószelmélet első évtizedeiben olyan disszipatív rendszereket vizsgált, amelyekben a sűrűlódás okozta veszteséget időben állandó vagy periodikusan változó külső hatás, gerjesztés pótolja. Az első példa a klasszikus Lorenz-modell (amelyben a gerjesztés állandósága különösen világos az ekvivalens vízikerek esetén [Gleick, 1999; Tél – Gruiz, 2002], amelyben az egyenletesen folyó víz adja a gerjesztést), a második pedig a periodikusan hú-

zogott felfüggesztésű inga esete. A jelenségeknek ebben az osztályában bizonyított tény az ergodicitás: egyetlen fázistérbeli pálya, azaz trajektória mentén vett hosszú időátlag megegyezik az attraktor természetes eloszlásával vett sokaságátlaggal (Eckmann – Ruelle, 1985). Egy kaotikus attraktort leggyakrabban egyetlen tetszőleges helyről indított mozgás hosszú idejű követésével szokás kirajzolni, de ugyanazt kapjuk, ha sok különböző kezdőfeltételt indítunk, s bizonyos idő elteltével hirtelen megállítjuk az összes mozgást.

A 90-es évektől megjelent a kaószelméletben az az általánosabb fogalmi háttér, amely tetszőleges időfüggésű gerjesztések esetén is alkalmazható: a pillanatkép attraktor (*snapshot attractor*) fogalma. Már a Filipe Romeiras, Celso Grebogi és Edward Ott által írt első cikk (Romeiras et al., 1990) érdekes különbségre hívta fel a figyelmet: egyetlen hosszú zajos trajektória szétkent alakzatot rajzol ki a fázistéren, míg a sok különböző kezdőfeltételtől induló mozgás, a sokaság, ugyanazt a zajfüggvényt alkalmazva mindegyik pálya mentén, strukturált rajzolatot alkot minden adott pillanatban, és ez változik az időben.

Ebből rögtön következik, hogy az *ergodikus hipotézis nem teljesül* a tetszőleges gerjesztésű esetekben. A fogalom segítségével magyarázhatóvá váltak olyan jelenségek, amelyeket a hagyományos képen nem értettünk, így például egy időben szabálytalan áramlásban kialakuló fraktálsodródási mintázat mint pillanatkép attraktor, amely a *Science* címlapjára is felkerült (Sommerer – Ott, 1993).

A párhuzamos földi klímák elmélete

A pillanatkép attraktor fogalmának a dinamikai rendszerek területén zajló lassú terjedését felgyorsította, hogy Michael Ghil és munkatársai nagyjából egy évtizede újra felfedez-

ték, és kissé általánosították a pillanatkép attraktor fogalmát (ők a visszahúzási attraktor [pullback attractor] elnevezést használták) (Ghil et al., 2008), s rögtön utaltak a klímadinamikában várható fontos szerepére. Világossá vált, hogy a klímaváltozás összefüggésében nem a zajos gerjesztés, hanem a paraméterek folyamatos csúszása (mint például az üvegházhatású gázok koncentrációjának emelkedése, amely globális felmelegedést eredményez) a fontos, amelyet a gerjesztés determinisztikus (zajmentes) változása ír le.

Képzeliük el egy pillanatra azt, hogy a klímarendszert egy kezdeti eloszlásból indítjuk, azaz sok különböző kezdőfeltételt választunk. A sűrűlódásos rendszerek általános viselkedése alapján a rendszer *elfelejti* kezdeti eloszlását. A kezdőfeltételekből kifejlődő sokaságra nézve ez azt jelenti, hogy az összes mozgás pillanatnyi állapota egy idő után már teljesen *független* attól, hogy honnét indultak. Az ehhez a viselkedéshez való közeledés a disszipáció tulajdonságai alapján exponenciális jellegű, gyors, ezért azt mondhatjuk, hogy valamely t_c konvergenciaidő után a kezdőfeltételek már elfelejtődtek. Tehát a t_c idő után a sokaság már nem a szimuláció inicializálását tükrözi, hiszen azt elfelejtette, hanem a rendszer belső dinamikájából adódóan spon-tán módon előforduló állapotok összességét. Ebből az következik, hogy a sokaság elemei ettől kezdve *helyesen reprezentálják* ezen lehetséges állapotok tárházát. Definíció szerint ez a klímánk pillanatkép attraktora.

A klímaváltozás viszonylatában az attraktort kirajzoló sokaság a lehetséges földi klímák összessége: párhuzamos földi klímákon a klímánk ezen különféle lehetséges viselkedéseit értjük. Szemléletesen fogalmazva, képzeljük el a Föld-rendszer számos másolatát, amelyek különböző hidrodinamikai pályá-

kon mozognak, azonos fizikai törvényeket, peremfeltételeket követve, adott besugárzás mellett. Párhuzamos földi *klímaállapotoknak* nevezzük a sokaság elemeit adott pillanatban, de csakis a t_c konvergenciaidő eltelte után, időfejlődésüket pedig *klímatörténeteknek*. A párhuzamos földi klímatörténetek tehát éppen a klímánk belső változékonyságát tükrözik. Összességük valószínűség-eloszlást is meghatároz, a pillanatkép attraktor természetes eloszlását, minden egyes pillanatban, s ezekkel képezhetők például pillanatnyi átlagok. Így megteremtődik a keresett lehetőség arra, hogy klímánk pillanatnyi változását is értelmezzük: ez a sokaságátlag időderiváltja. A statisztikus fizika szempontjából ez a természetes eloszlás a Gibbs-féle sokaság általánosítása időben változó paraméterű nemegyensúlyi rendszerekre.

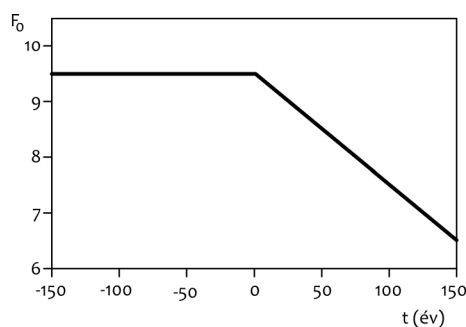
Így a klímadinamikai vizsgálatokban is el kell fogadnunk, hogy a hosszú idejű időátlag egészen más mennyiség, mint a sokaságátlag. Az előbbi már fogalmilag sincs jól definiálva (mi értelme lehet például egy ezeréves időátlagnak?), míg az utóbbi elméletileg releváns, egyúttal jól használható mennyiség. A t_c konvergenciaidő numerikus szimulációkban is megmutatkozik, a tapasztalat szerint ez a vizsgált, számunkra érdekes időintervallumnak csupán töredéke.

Klímaváltozás Lorenz elemi modelljében

Több mint húsz évvel klasszikus modellje (a Lorenz-attraktor) (Szépfalusi – Tél, 1982; Gleick, 1999; Götz, 2001) publikálása után Edward Lorenz megfogalmazta a mérsékelt övi légkörzés elemi modelljét mindössze három elsőrendű differenciálegyenlet formájában, amelyben a nemlineáris tagok szintén kizárólag másodfokúak (Lorenz, 1984). Az x , y , z változókhoz meteorológiai jelentést ren-

del: x jelenti a nyugati szél pillanatnyi erősségét egy féltekére (például az északra) átlagolva, y és z pedig az egyenlítőtől a sarkvidék felé mutató hőtranszport két módusának időfüggő együttthatója, szemléletesen a ciklonális aktivitás mérőszámai. A rendszer hajtóereje természetesen a Napból beérkező sugárzás energiája, amely konkrétan egy F -fel jelölt paraméterben jelenik meg. Ez az egyenlítő és a sarkvidék közötti hőmérséklet-különbséggel arányos (és a légkör átlagos szén-dioxid tartalmával is kapcsolatba hozható). A modell egyszerűsége ellenére a légkör fontos tulajdonságait írja le, például a telek (nagyobb F érték) aktívabbak (erősebb időfüggés), mint a nyarak (kisebb F). Létrehozását többen a modellalkotás mesterművének tekintik (Provenza – Balmforth, 1999), s számos publikáció foglalkozik ezzel az egyszerű rendszerrel (például Nicolis et al., 1995; Freire et al., 2008; Bódi – Tél, 2012; Drótos et al., 2015).

A modell időegysége öt napnak (a ciklonok átlagos élettartamának) felel meg, s ezért Lorenz számára is természetes volt az évszakos ingadozás bevezetése, az F mennyiséget szinuszos időfüggésűvé tette $T = 73$ időegység =



1. ábra • A Lorenz-féle klímamodellben használt forgatókönyv (Drótos et al., 2015): az egyenlítő és a sarkvidék közötti évi átlagos F_0 hőmérséklet-különbség egyenletesen csökken a klímaváltozás kezdete ($t = 0$) után.

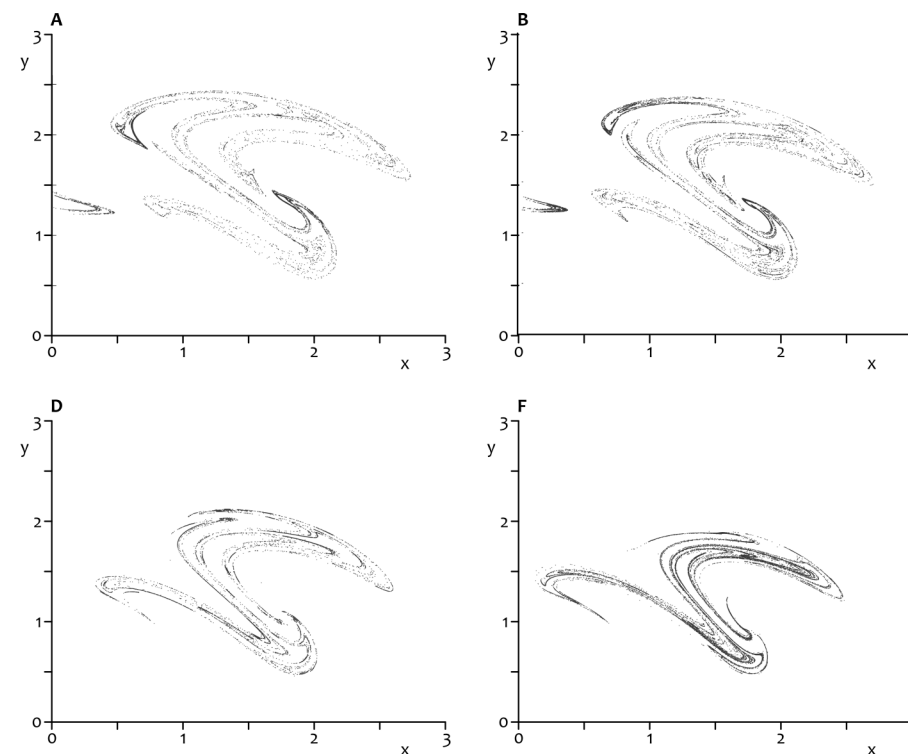
365 nap periódussal valamely F_0 átlagérték körül (Lorenz, 1990).

A napjainkban megfigyelt klímaváltozásban a globális felmelegedés elsősorban a sarkvidékek melegedéséből adódik, azaz a hőmérsékletkontraszt időben átlagosan csökken. Ez a modellben úgy vehető figyelembe, hogy az F_0 átlagértéket magát is időfüggővé tesszük. Az időszámítás kezdetét úgy választjuk meg, hogy a változás a $t = 0$ pillanatban kezdődjék, előtte F_0 állandó, utána pedig az egyszerűség kedvéért időben egyenletesen csökken 150 évig, ahogyan az 1. ábra mutatja.

A pillanatkép attraktor

A modellklíma belső változékonyságát tükröző pillanatkép attraktort úgy állítjuk elő, hogy kezdeti feltételként $N = 10^6$ számú véletlenszerűen elosztott pontot veszünk az (x, y, z) fázistér nagy tartományában, a $t_0 = -250$ évben. A részletes vizsgálat szerint az attraktorhoz tartás öt év alatt mindig bekövetkezik legalább ezrelékes pontossággal, a konvergenciaidő tehát $t_c = 5$ év. Mind az N trajektóriát követjük a $t > t_0$ (negatív vagy pozitív) időpontig, s a sokaság $t > t_0 + t_c$ után nem más, mint a pillanatkép attraktor. Minden pont pillanatnyi koordinátái egy-egy lehetséges párhuzamos klímátörténet pillanatnyi állapotának felelnek meg. Az attraktor alakja a $t = 0$ pillanat elérésig nem változik, hiszen nincs klímaváltozás, utána azonban minden pillanatban más és más. Ezt a 2. ábra illusztrálja, ahol a jobb áttekinthetőség kedvéért csak azokat a nyugati szél és ciklonaktivitás koordinátákat ábrázoltuk, amelyekben a z változó értéke éppen zérus, hogy jól követhető síkbeli ábrákhoz juthassunk.

Elsőként arra hívjuk fel a figyelmet, hogy a pontok eloszlása mindegyik esetben kiterjedt, mutatva modellklímánk jelentős belső



2. ábra • A párhuzamos klímaállapotok tárházát mutató pillanatkép attraktorok (Drótos et al., 2015) az (x, y) síkban a nyugati szél erőssége - ciklonintenzitás síkon a klímaváltozás kezdetét követő 25., 50., 100. és 150. évben (minden év téli napfordulóján, december 22-én).

változékonyságát. Utóbbi hiányát az jelenti, ha az N számú sokaságelem mind az (x, y) sík egyetlen pontja körül halmozódna az év ugyanazon napján: a klíma dinamikája ekkor nem lenne kaotikus. Ez az egyszerű modell már jól illusztrálja, milyen drámai tulajdonság a belső változékonyság. Az attraktor kiterjedt mivoltát a hagyományos kaoszelméletben az előrejelezhetetlenség következményeként szokás kezelni, hiszen akár milyen kis tartományból indulnak is a pontok, rövid idő (t_c) után erősen szétszóródnak. Mi most azt látjuk, hogy a szétszóródás végeredménye ugyanaz akkor is, ha nagyobb fázistérbeli tartományból indul a sokaság, hiszen, mint

említettük, a kezdőfeltétel elfelejtődik. A következő fontos vonás az, hogy a pontthalmaz, a pillanatkép attraktor változik időben. Mind egyik ábra N sokaságelemet tartalmaz, de ezek a sík más-más pontjai köré esnek, vagyis a lehetséges klímaállapotok mások az egyes években. Példaként tekintsük a 25. évben az $x = 0 \dots 0,5$, $y = 1,2 \dots 1,4$ tartományba eső szigetszerű kis alakzatot. Ez egyfajta extrém időjárást reprezentál, amelyben alig fúj a szél, a ciklonaktivitás viszont lényeges. Az 50. évre a sziget mérete lecsökkent, azaz ilyen típusú extrém időjárás egyre kevésbé valószínű, majd a 100. évtől teljesen el is tűnik. Ugyanakkor számos más változás is zajlik a pillanatkép

attraktor finomszerkezetében, ahogy múlik az idő. Absztrakt szinten fogalmazva azt mondhatjuk, a *klímaváltozás nem más, mint a pillanatkép attraktor* (a párhuzamos klíma-állapotok tárházának) *időbeli változása* (Bócai – Tél, 2012).

Vegyük észre, hogy a pillanatkép attraktor kiterjedése korlátos, azaz nagyon nagy x vagy y értékek nem fordulhatnak elő (a nyugati szél és a ciklonaktivitás nem lehet tetszőlegesen erős). A maximális ciklonaktivitás fokozatosan csökken 2,5-ről valamivel 2 alá, míg a maximális szélerősség alig változik.

Érdemes itt megemlíteni a periodikus külső gerjesztések esetén megjelenő hagyományos kaotikus attraktorok és a pillanatkép attraktorok közötti lényegi különbséget. Alakjukban ez nem mutatkozik meg, hiszen a 2. ábra bármelyik rajzolata tartozhatna hagyományos attraktorhoz is. Ez utóbbiakra érvé-

nyes a sokszor hallott állítás: „egyetlen hosszú trajektória bejárja a kaotikus attraktort”. Ez az a szemlélet, amellyel most szakítanunk kell, hiszen az állítás nem más, mint az ergodikusság kifejezése, amely tetszőlegesen változó gerjesztés esetén nem érvényes. Ilyenkor a pillanatkép attraktort nem lehet bejárni, az csak a sokaság tagjai pillanatnyi állapotainak összességként értelmezhető.

A pillanatnyi természetes eloszlás

Amint említettük, a sokaság elemei nagyobb vagy kisebb sűrűséggel halmozódhatnak az egyes fázistérbeli pontok körül, amit az egyes képek egyenetlen pontsűrűsége mutat a 2. ábrán. Az (x, y) síkot pixelekre bontva a sokaság tagjainak halmozódása valószínűség-eloszlást definiál minden t időpontban, amit a pillanatkép attraktor természetes eloszlásának nevezünk. Ez azt mutatja meg, hogy az

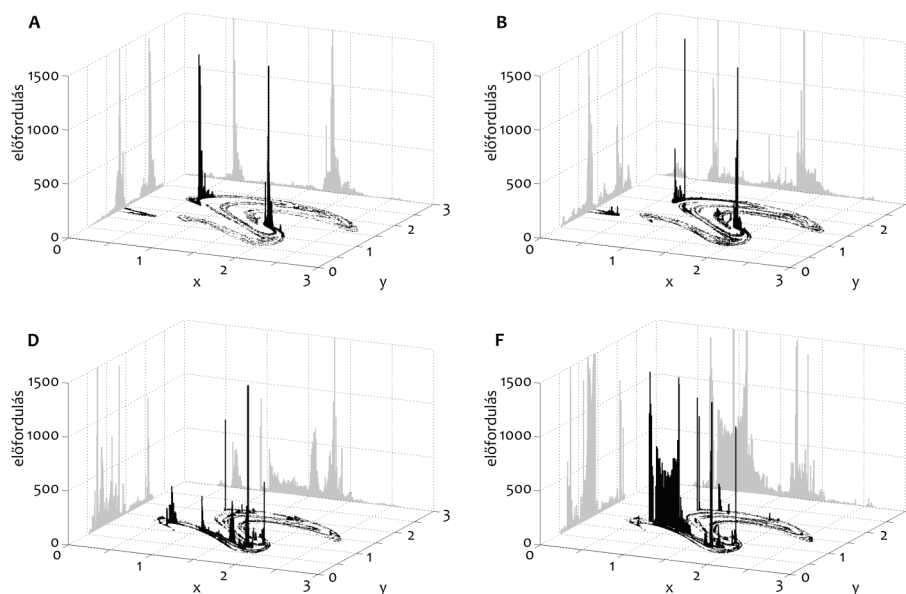
egyes pixelek által reprezentált klímaállapotok mennyire gyakoriak a párhuzamos klímátörténetek sokaságában. A 3. ábrán ez a természetes eloszlás látható a klímaváltozás különböző pillanataiban.

Ami leginkább szembeszökő, az az eloszlások nagyfokú inhomogenitása: nemcsak a tartójuk, hanem az eloszlásfüggvények maguk is fraktálok. A két utolsó évet azért választottuk egymást követően, hogy demonstrálják, egyetlen év eltelte után (miközben a pillanatkép attraktor alakja – a lehetséges klímaállapotok összessége – alig változik) az egyes állapotok gyakorisága drámaian különbözővé válhat. Érdemes tudatosítani azt is, hogy az attraktor korlátos kiterjedése most úgy tükröződik, hogy nagy x, y értékekre az eloszlás eltűnik, ezek tehát nem kis valószínűségű állapotok, hanem meg nem valósuló, azaz lehetetlen klímaállapotok.

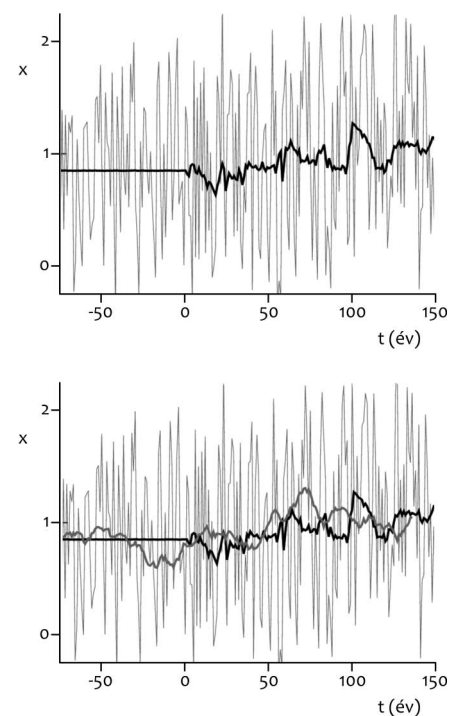
Itt érdemes röviden visszatérni a t_c konvergenciaidő jelentésére. Mint tudjuk, ez öt év, s ez azt is jelenti, hogy ha sokaságunkat nem a $t_0 = -250$ évben indítjuk, hanem ugyanabból a fázistérbeli tartományból csak mindössze öt évvel a 3. ábra bármelyik t időpontja előtt, akkor numerikusan *ugyanazt* az eloszlást kapjuk a t pillanatra, mint amit az ábrán látunk (noha az ahhoz tartozó sokaság a -250 . évben indult). Azt mondhatjuk tehát, hogy a 3. ábra természetes eloszlásai *objektívek* (nem függenek az előállításuk részleteitől, amíg csak $t > t_0 + t_c$). Így joggal jelenthetjük ki, hogy ezek a statisztikus fizikából ismert Gibbs-féle eloszlások, vagy a Maxwell–Boltzmann-eloszlás általánosításai a klímaváltozás esetére, vagyis olyan nem egyensúlyi rendszerre, amelynek paraméterei tolódnak az időben. Ezen eloszlások nem adhatók meg egyszerű képletekkel, de mint láttuk, numerikusan könnyen meghatározhatók.

Sokaság- és időátlagok

A természetes eloszlás ismeretében lehetőség nyílik arra, hogy bármelyik t pillanatban megadjuk valamely fizikai mennyiség átlagát (vagy bármely magasabb momentumát). Az egyedi történet és a sokaságátlag drámai különbségét mutatja a 4. ábra felső képe. Itt vékony vonallal látjuk az N elemű sokaság egyik kiválasztott tagjában a nyugati szél erősségét. Feltűnő az x értékek széles tartományban történő ingadozása már a klímaváltozás előtt



3. ábra • A párhuzamos klímátörténetek által adott természetes eloszlás (Drótos et al., 2015) az $(x, y, z = 0)$ sík felett a klímaváltozás kezdete utáni 25., 50., 88. és 89. évben (minden év december 22-én).



4. ábra • Fent: egyetlen idősor (a nyugati szél erőssége a párhuzamos klímátörténetek egyik elemében [a téli napfordulón], vékony szürke vonal) és a sokaságátlag (vastag fekete vonal) összehasonlítása. Lent: a kiválasztott idősor harmincéves csúszó átlaga a felső kép szürke görbéjére nézve (vastag szürke vonal), az előzőekre rárajzolva.

($t < 0$ -ra) is, és ehhez képest alig látunk változást a klímaváltozás utáni években. Hasonló a viselkedés bármely másik klímátörténetben is. Ezzel szemben az x mennyiség sokaságát-laga (vastag vonal) tisztán láthatóan konstans a negatív években, s csak utánuk kezd változni. A sokaságátlag tehát hűen visszaadja a klímaváltozás folyamatát. (A vastag vonal klímaváltozás alatti ingadozásai abból adódnak, hogy a természetes eloszlás egy év alatt is drámaian ártrendeződhet, amint a 3. ábra két utolsó képe illusztrálja.) Az egyes történetek a sokaságátlagtól jelentősen eltérnek mind a klímaváltozás előtt, mind alatta, ezért *egyik egyedi klímátörténet sem reprezentatív*.

Végül rátérhetünk a harmincéves időátlagok hasznosságának kérdésére. A 4. ábra jobb oldali képe a bal oldali képre szürke vonallal rárajzolva mutatja a vékony vonal egyedi idősora felett képzett harmincéves mozgóátlag időfüggését. (Az időátlagokat az időintervallumok közepéhez rendeltük, ezért szakad meg a szürke vonal a 135. évben.) Látszik, hogy a harmincéves átlagok természetesen simítják az eredeti idősort, de *jelentősen eltérnek* a sokaságátlagtól. Egészen eltérő trendeket sugallnak, ami különösen feltűnő a stacionárius klímán belül, ahol a példában a -30. és -20. év között jelentős csökkenést mutat a harmincéves átlag. Az eltérés jelen van a változó klímában is, a 65. és 70. év között például a harmincéves átlag nő, míg a sokaságátlag csökken. Azt mondhatjuk tehát, hogy a harmincéves időátlag modellünkben még a változatlan klímában (ami pedig ergodikus) sem elég hosszú ahhoz, hogy jól közelítse a sokaságátlagot. Becsléseink szerint ebben a modellben a 10%-os egyezéshez kétszáz éves, az 1%-oshoz húszezer éves átlagra lenne szükség (Drótos et al., 2016). Tehát a klímaváltozás során az időátlag és a sokaságátlagok egyezé-

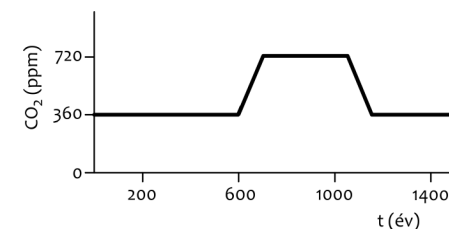
se még közelítőleg sem garantált, hiszen a probléma nem ergodikus.

Klímaváltozás a Planet Simulator nevű globális klímamodellben

A Planet Simulator (PlaSim) közepes összetettségű Föld-rendszer modell, amelyet a Hamburgi Egyetemen dolgoztak ki; szabadon letölthető (URL1). Legfontosabb tulajdonságai: A fontos fizikai törvényeket, pl. a megmaradási tételeket pontosan tartalmazza, és egyszerű paraméterezéseket használ a turbulencia és csapadékképződés követésére. A domborzatot kb. 5°os (600 km-es) felbontásban tartalmazza, tíz légköri réteget különböztet meg, az óceánt hő- és vízforrásként kezeli. A diszkretizációk következtében a szabadsági fokok száma százazres nagyságrendű. A futásokból számos kimenő mezőadat kapható, például hőmérséklet, szél a különböző légrétegekben, felszíni nyomás és csapadék. Mindezek eloszlása földrajzi térképeken is megjeleníthető, és ezen eloszlások időben természetesen változnak. Egyetlen futtatás tehát a különböző mezők időfejlődését, „mozijait” eredményezi. Az előző elemi modellel ellentétben most lehetőség nyílik tehát nemcsak globális, hanem különböző lokális mennyiségek (például a Kárpát-medence hőmérséklete) és az ezek közötti korrelációk vizsgálatára is. A párhuzamos klímátörténetek számát a jelentős futási idő természetesen korlátozza, ezért vizsgálatainkban negyvenelemű sokaságot használunk. A kezdeti mezők csak a felszíni nyomáseloszlásban különböznek kismértékű véletlen perturbációk erejéig. Amit e nagy modellben elveszítünk, az a természetes eloszlás közvetlen ábrázolása, hiszen ennek a függvénynek 10⁵ változója van. Amire lehetőségünk van, az ezen eloszlás *vetületének* vizsgálata néhány kiszemelt változóra.

A modellben előírható a légkör emberi eredetű CO₂-koncentrációjának változása. Az 5. ábra mutatja a forgatókönyvet. Az első 600 évben a koncentráció változatlan, értéke az ezredforduló környékén mért valóságos adat. A 600. és 700. év között a koncentráció megkétszereződik (ahogy számos klímamodellben szokás). Eddig a forgatókönyv jellege megfelel az 1. ábrán látottaknak, hiszen a CO₂-szint növekedése globális felmelegedéshez, s ezzel az Egyenlítő és a sarkvidék közötti hőmérsékletkontraszt csökkenéséhez vezet. A 700. évtől kezdve új vonásként megjelenik egy 350 év hosszúságú CO₂-plató, amelyet egy száz év alatt lezajló visszacsökkenés követ (ebben globális lehűlést várunk) az eredeti értékre.

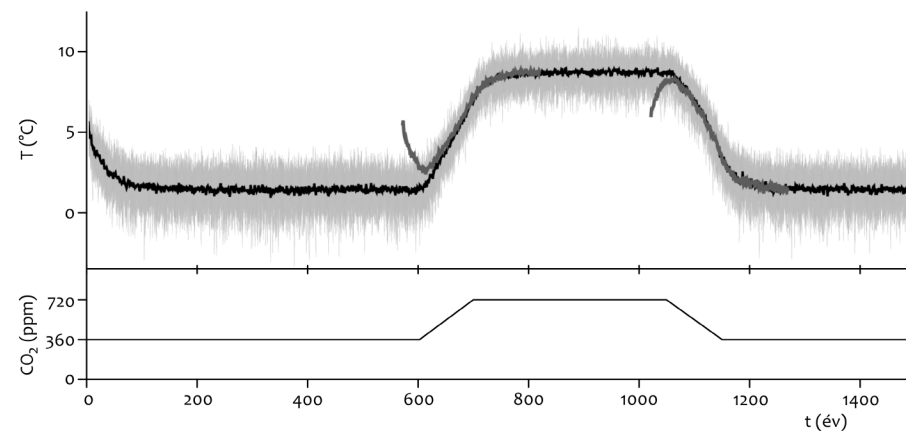
Az eredmények bemutatása előtt hangsúlyozzuk, hogy *nem célunk* semmiféle előrejelzés, a számértékeket nem tekintjük feltétlenül megbízhatónak, csak a pillanatkép-konceptiót kívánjuk tesztelni e globális modellen.



5. ábra • A Planet Simulator klímamodellben használt forgatókönyv (Herein et al., 2016) a CO₂-szint változását használja külső gerjesztésként. A változás a 600. évben kezdődik, és az 1150. évben fejeződik be.

Lokális hőmérséklet

Meghatároztuk a Kárpát-medence földrajzi helyén (a környező hegyeket is beleértve) a helyi felszíni hőmérsékletet mind a negyven sokaságelemben az 1500. év végéig. Ezeket ábrázolják a vékony vonalak a 6. ábrán. Érdemes ezeket rögtön összevetni a sokaságátlaggal, amelyet a vastag vonal ad meg. A vé-



6. ábra • A Pannon-medence felszíni éves átlaghőmérsékletének időfejlődése az alul látható CO₂-forgatókönyv következtében a Planet Simulator negyvenelemű sokasága minden egyes tagjában (vékony vonalak), és ezek sokaságátlaga (vastag fekete vonal) (Herein et al., 2016). A $t = 0$ év kezdőfeltételét $t_c = 150$ év alatt felejtí el a rendszer: 150 év után éri el a változatlan klímát jellemző konstans értéket. Az 570. és az 1020. évben indított újabb szimulációk átlagértékei (vastag szürke vonalak) szintén kb. ennyi idő után simulnak be az eredeti sokaságátlagba, jelezvén, hogy az eredmény t_c idő eltelte után nem függ a szimulálás indításától.

kony vonalak és az átlag közötti eltérés most is nagy: bármelyik szürke görbét kiválasztva hasonló különbséget találunk a vastag vonalhoz képest, mint a 4. ábrán, szakaszonként még a trendek is különbözhetnek. Most is arra jutunk tehát, hogy az egyedi idősorok nem reprezentatívak.

Szembevetendő, hogy az első 600 éven belül konstans hőmérsékletet találunk, kb. a 150. évtől kezdve. Az ehhez a konstanshoz vezető lecsengés annak tulajdonítható, hogy a kezdeti feltétel egyéni választásunk volt, s nem remélhettük, hogy pontosan rajta lennénk az attraktoron. A $t_c = 150$ év a korábban is említett konvergenciaidő, amennyi idő alatt a rendszer elfelejti kezdőfeltételét. $T > t_c (=150 \text{ év})$ -re a vékony vonalak összessége, illetve az átlag a CO_2 -szint időfüggéséhez hasonló rajzolatot ad, s mutatja, hogy a pillanatkép attraktor mozog az időben a klímaváltozás kezdetétől kezdve. Pontosabban, amit látunk, az a párhuzamos klímátörténetek egyedi időfüggései által feltérképezett belső változékonyság *vetülete* a Kárpát-medence hőmérsékletének változójára. Ennek megfelelően a vastag vonal a helyi hőmérséklet pillanatkép attraktor feletti átlaga. Az attraktor objektív

létezésének bizonyítékeként újabb negyven elemű sokaságokat indítunk az 570. és az 1020. évben (ugyanolyan típusú kezdőfeltétellel, mint $t = 0$ -ban). Az ezekkel képzett sokaságátlagokat a vastag szürke vonalak mutatják, s jól látszik, hogy viszonylag gyorsan eléri az először indított sokaság átlagát. Ráadásul az elérési idő mindkét esetben kb. 150 év, azaz a t_c konvergenciaidő gyakorlatilag nem is függ a kezdőponttól. Akármelyik t_0 időpontban is indítunk egy sokaságot, az a $t > t_0 + t_c$ időtartományban (éppúgy, ahogyan a 3. ábra kapcsán láttuk) helyesen jeleníti meg a modellklíma belső változékonyságát.

Hiszterézis

A hőmérséklet átlagának jelentős emelkedése láthatóan nem a 600. évben kezdődik, hanem némi késleltetéssel. A maximumhoz tartozó platót a hőmérséklet csak a 800. év körül éri el, majd a csökkenés is némi késéssel kezdődik, és a hőmérséklet alapszintjéhez történő visszatérés is csak az 1250. év körül következik be. Mindezek a tulajdonságok egyedi idősorokból aligha olvashatók ki. Ráadásul a hőmérséklet menete nem is szimmetrikus a 875. évre, szemben a CO_2 -szint

függvényével. A visszatérés tehát nem ugyanazon a módon történik, mint a távolodás, s ez előrevetíti a *hiszterézis* jelenségét.

Ha a hőmérsékletet (mind az egyes idősorokat, mind a sokaságátlagot) a CO_2 -szint függvényében ábrázoljuk (7. ábra), az utóbbiban tiszta hiszterézishurkot látunk, míg az egyes idősorokban ez jóval kevésbé egyértelmű. A hiszterézis fontos következménye, hogy ha a CO_2 -szint csökkenése közben ugyanannál a koncentrációértéknél járunk, mint a növekedési szakaszban, a hőmérséklet még jóval magasabb. Hiába állítunk tehát vissza egy csökkentett CO_2 -tartalmat, a klíma még jóval melegebb lehet, mint a felmelegedés szakaszában volt ugyanennél a koncentrációnál.

Összefoglalás

Vizsgálatainkból következik, hogy Földünk éghajlati rendszerének változatosságát sokkal inkább a párhuzamos éghajlati világok közötti különbség jellemzi, mint az a változékonyság, amit a megfigyelt egyetlen múltunkban tapasztaltunk. A klímaváltozásról érdemes a pillanatkép attraktorok fogalmi hátterével sokaságképpen gondolkodni. Elméleti szinten a pillanatkép attraktor objektív létező, a klímánk belső változékonyságának kifejeződése, ami szerencsére technikailag is jól előállítható: a t_c konvergenciaidő a tapasztalat szerint rövid, és a pillanatkép attraktor még nagy numerikus modellekben is jól követhető.

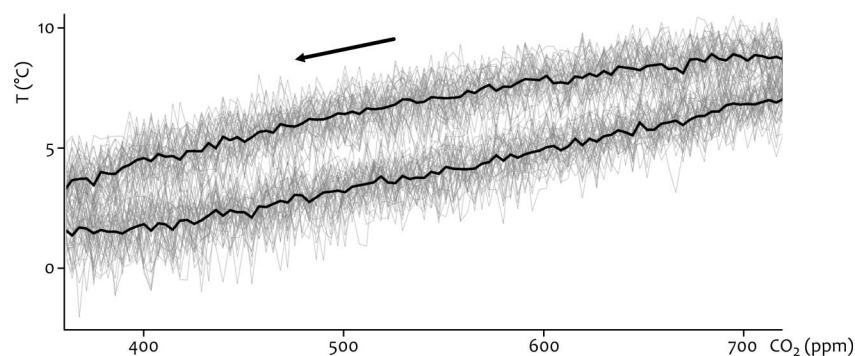
A változó külső gerjesztés (például hőmérsékletkontraszt vagy CO_2 -tartalom) miatt az ergodikusság elvileg nem teljesen a klímaváltozás során, sőt még állandó klíma esetén is csak nagyon hosszú idejű átlagolás után lenne igaz általában, hogy az időátlag jól közelíti a sokaságátlagot (Drótos et al., 2016). Klímaváltozásban a kettő tehát elválik, s csak az utóbbi képes arra, hogy adott pillanatra jel-

lemző kijelentések legyenek vele tehetőek. Mindenképpen arra jutunk, hogy az egyedi idősorok szokásosan használt harmincéves átlagai nem feltétlenül relevánsak.

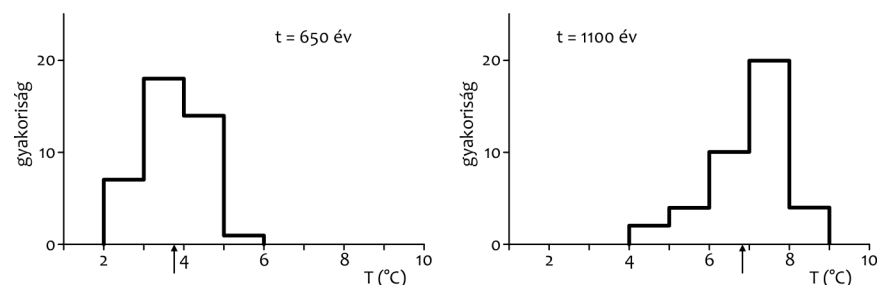
A pillanatnyi klímát a pillanatkép attraktor és természetes eloszlása jellemzi jól. Ennek segítségével meg tudjuk állapítani, mi tekinthető tipikusnak klímánkban (mi az átlag), és ettől mekkora eltérések (szórások) várhatók bármely pillanatban. Azt azonban nem, hogy pontosan mi következik majd be a lehetőségek közül saját klímátörténetünkben. Ezen nem kell csodálkoznunk, hiszen azzal kezdtük, hogy a belső változékonyság meglepte az előrejelezhetetlenséget jelenti (2. ábra).

Mire számíthatunk tehát egyetlen megfigyelt klímánk kapcsán? Először érdemes felidézni a káoszelméletből, hogy van, amit *biztosan* tudhatunk: az attraktoron kívülre nem kerülnek pontok. Láttuk, hogy a pillanatkép attraktor mérete véges, s ebből az következik, hogy bármely vetülete is véges. Vagyis, minden mérhető mennyiségre igaz, hogy *biztosan nem eshet* egy véges intervallumon kívülre. A mennyiség jellegétől és az időpillanattól függ, hogy mekkora ez az intervallum. Ha kicsi, a sokaságátlagtól csak kis eltérések fordulhatnak elő, az adott mennyiség jól jósolható. Ha pedig nem, a sokaság ismeretében meg tudjuk határozni az adott mennyiség eloszlását a párhuzamos klímátörténetek sokaságában. Ezzel tehát nemcsak az átlag kapható meg, hanem az is, hogy bármely érték mekkora *valószínűséggel* fordul elő a megengedett értékek intervallumán belül. Példaként a 8. ábra a Kárpát-medence hőmérsékletének eloszlását mutatja 1°C -os osztásokban a 650. és az 1100. évben.

Klímánk különböző jellemzőit tehát szintén valószínűségi szemléletben érdemes előre jelezni, ahogyan az időjárást is. Az átlag és az



7. ábra • Az előző ábra görbéi a CO_2 -szint–hőmérséklet ábrázolásban. Az átlag (fekete vonal) egyértelmű hiszterézishurkot mutat. A nyíl az időfejlődés irányát jelzi.



8. ábra • A Pannon-medence hőmérsékletének eloszlása a párhuzamos klímátörténetek alapján a 650. és az 1100. évben (az emelkedő és a csökkenő CO₂-szakaszok középpontjában). A nyílak az átlagértékre mutatnak, a vastag szakaszok a lehetséges értékek intervallumát jelölik. A két időpontban az eloszlás eltér, összhangban azzal a megfigyelésünkkel, hogy a CO₂-szint emelkedési és csökkenési fázisaiban a hőmérséklet eltérően viselkedik mind az átlagban, mind az eloszlásban (lásd 7. ábra).

attól történő eltérés megjelenik az IPCC-jelentésben is (IPCC, 2013), ott azonban az átlag a relevánsnak tekintett klímamodellek egyetlen futtatása fölötti átlag. A különböző modellek viszont „különböző fizikájú” párhuzamos klímákat írhatnak le, amelyek egymástól mutatott eltérése nem klímánk belső változékonyságát, hanem a modellek jelentős pontatlanságait tükrözi. A cikk szellemében megfelelőbbnek tűnik az egyetlen (megbízható) modell párhuzamos klímátörténetei alapján történő előrejelzés.

A cikket Szépfalussy Péter emlékének ajánljuk, akinek köszönhetően a kaosztudomány nem-

zetközi viszonylatban is korán honosodhatott meg Magyarországon.

Köszönettel tartozunk a Rácz Zoltánnal folytatott mélyreható eszmecsereért, amelyekben évek óta arra biztatja a kutatói közösséget, hogy a klímaváltozás kapcsán (is) csak tudományosan megalapozott állításokat tegyenek.

A munka az NK100296 OTKA-pályázat támogatásával született.

Kulcsszavak: klíma, klímaváltozás, sokaság, pillanatkepek attraktor, konvergenciaidő, globális klímamodell, ergodikusság

IRODALOM

- Bócai Tamás – Tél Tamás (2012): Annual Variability in a Conceptual Climate Model: Snapshot Attractors, Hysteresis in Extreme Events, and Climate Sensitivity. *Chaos*. 22, 023110 DOI: 10.1063/1.3697984 • <http://planet.pks.mpg.de/visicor/web/preprints.php/preprint/160/download>
- Drótos Gábor – Bócai Tamás – Tél Tamás (2015): Probabilistic Concepts in a Changing Climate: A Snapshot Attractor Picture. *Journal of Climate*. 28, 3275 DOI: 10.1175/JCLI-D-14-00459.1 • <http://theorphys.elte.hu/~drotos/jcli-d-14-00459.1.pdf>

- Drótos Gábor – Bócai Tamás – Tél Tamás (2016): Quantifying Nonergodicity in Nonautonomous Dissipative Dynamical Systems: An Application to Climate Change. *Physical Review E* 94, 022214 DOI: 10.1103/PhysRevE.94.022214 • <http://theorphys.elte.hu/~drotos/PhysRevE.94.022214.pdf>
- Eckmann, Jean-Pierre – Ruelle, David (1985): Ergodic Theory of Chaos and Strange Attractors. *Reviews of Modern Physics*. 57, 3, 617–656. • <http://tinyurl.com/jjjd2vw>
- Freire, Joana G. – Bonatto, Cristian – DaCamara, Carlos C. – Gallas, Jason A. C. (2008): Multistabil-

- ity, Phase Diagrams, and Intransitivity in the Lorenz-84 Low-order Atmospheric Circulation Model. *Chaos*. 18, 033121 DOI: 10.1063/1.2953589 • http://www.inaesp.org/PublicJG/freire_et_al_CHAOS2008.pdf
- Ghil, Michael – Chekroun, Mickaël D. – Simonnet, Eric (2008): Climate Dynamics and Fluid Mechanics: Natural Variability and Related Uncertainties. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 237, 2111–2126. DOI: 10.1016/j.physd.2008.03.036 • <https://arxiv.org/pdf/1006.2864v1.pdf>
- Gleick, James (1999): *Káosz – egy új tudomány születése*. Budapest: Göncöl Kiadó
- Götz Gusztáv (2001): *Káosz és prognosztika*. Budapest: Országos Meteorológiai Szolgálat
- Herein Mátyás – Márffy János – Drótos Gábor – Tél Tamás (2016): Probabilistic Concepts in Intermediate-Complexity Climate Models: a Snapshot Attractor Picture. *Journal of Climate*. 29, 259–272. DOI: 10.1175/JCLI-D-15-0353.1 • <http://theorphys.elte.hu/~drotos/jcli-d-15-0353.1.pdf>
- IPCC (2013): *Intergovernmental Panel on Climate Change, 5th Assessment Report. The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- Lorenz, Edward (1984): Irregularity: a Fundamental Property of the Atmosphere. *Tellus*. 36A, 98–110. • <http://tinyurl.com/gmym4cq>
- Lorenz, Edward (1990): Can Chaos and Intransitivity Lead to Interannual Variability. *Tellus*. 42A, 378–389. • http://web.mit.edu/lorenzcenter/about/LorenzPubs/Can_chaos_90.pdf

- Nicolis, Catherine – Vannitsem, Stéphane – Royer, Jean François (1995): Short-range Predictability of the Atmosphere: Mechanisms for Superexponential Error Growth. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 121, 523, 705–722. DOI: 10.1002/qj.49712152312 • <http://tinyurl.com/jqy52tl>
- Ott, Edward (1993): *Chaos in Dynamical Systems*. Cambridge: Cambridge University Press • <http://tinyurl.com/zapo622>
- Provenzale, Antonello – Balmforth, Neil J. (1999): *Chaos and Structures in Geophysics and Astrophysics. (Woodshole Lecture Notes)* • <https://www.whoi.edu/fileserver.do?id=21476&pt=10&cp=17353>
- Romeiras, Filipe – Grebogi, Celso – Ott, Edward (1990): Multifractal Properties of Snapshot Attractors of Random Maps. *Physical Review A*. 41, 2, 784 DOI: 10.1103/PhysRevA.41.784 • <http://tinyurl.com/zjout87>
- Sommerer, John – Ott, Edward (1993): Particles Floating on a Moving Fluid: A Dynamically Comprehensible Physical Fractal. *Science*. 259, 335 DOI: 10.1126/science.259.5093.335
- Szépfalussy Péter – Tél Tamás (1982): *A kaosz. Véletlenszerű jelenségek nemlineáris rendszerekben*. Budapest: Akadémiai Kiadó
- Tél Tamás – Gruiz Márton (2002): *Kaotikus dinamika*. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó
- Tóth Zoltán – Kalnay, Eugenia (1997): Ensemble Forecasting at NCEP and the Breeding Method. *Monthly Weather Review*. 125, 3297–3319. • <https://www.atmos.umd.edu/~ekalnay/pubs/TothKalnay97.pdf>
- URL: <http://edilbert.github.io/PLASIM/>



KLEIN GYÖRGY (1925–2016)

Hargittai István

az MTA rendes tagja
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
istvan.hargittai@gmail.com

Mindannyian közeledünk
sötét végünk felé, de
a tudomány végtelen óceánja fölött
örökké ott ragyog a Nap.
Klein György

Bevezetés

Klein György 1925. július 28-án született Budapesten, és Georg Klein 2016. december 10-én halt meg Stockholmban, családtagjai körében. Angol nyelvű publikációiban George Klein néven szerepelt. Sokat foglalkozott a halál gondolatával, de nem félelemmel, és nem is misztifikálta. Úgy kezelte, mint ami az élet természetes része. Mindannyiunk élete véges, de erről leginkább olyankor vesszünk tudomást, amikor valamilyen gyógyíthatatlan betegség kényszerít erre bennünket. Egyébként hajlamosak vagyunk az olyan magatartásra, mintha örökké élnénk. Együtt élni a halál tudatával adja meg számunkra az élet teljességének érzetét, és az élet teljességének megélése az egyetlen dolog, ami igazán számít. Ezeket a gondolatokat Klein 1999-ben és 2000-ben felvett beszélgetéseinkben osztotta meg velem. Sokszor beszélgettünk máskor is, de ezek rögzített beszélgetések voltak (Hargittai, 2002). Így élt, és biztos vagyok abban, hogy kilencvenéves korában a halál közeledtét is ennek megfelelően fogad-

ta. Gazdag életre tekinthetett vissza (Klein, G. – Klein, E., 1989; Gergely, 2005).

Ebben a Klein Györgyre emlékező írásban a bevezetés után röviden szólok különlegesen eredményes és elismert pályájáról, majd arról, hogy milyen kevésen múltott, hogy ez a pálya egyáltalán elindulhatott. Az írás befejező részében Klein György néhány gondolatát tolmácsolom.

Pálya elismerésekkel

Klein¹ majdnem megakadályozott pályája fényesre sikerült. Csak a felszabadulás után, két év veszteséggel iratkozhatott be orvostanhallgatónak, előbb Szegeden, majd Budapesten. Már hallgató korában részt vett az oktatásban, előbb a Szövetetani Intézetben, majd a Kórbontani Intézetben. Nagy tisztelője volt Huzella Tivadarnak, akire hatvanöt évvel később így emlékezett: „Egy olyan országban, amelyben minden politikai rendszernek sok ügyes túlélője van, Huzella széles körű liberalizmusa és lényeges kérdésekre koncentráló

¹ Kleinként emlegettem ebben az írásban, pedig kezdetül fogva Gyurinak szólítottam. Számomra a Klein név érdekes metamorfózis ment keresztül. Ezt a nevet nem tartottam nagyon izgalmasnak, valószínűleg azért, mert korábban nem találkoztam izgalmas Kleinekkal. Klein György nevével először az irodalomban találkoztam, és neki köszönhetően ez a név egyre izgalmasabbá vált számomra.

gondolkodása páratlan volt. Meggyőződéséhez végig hű maradt.” (Klein, 2012, 148.)

Stockholmban orvostanhallgatóként tanult, de mellette kutatóként a Karolinska Intézetben dolgozott 1947 és 1949 között. Az orvosi diplomát 1950-ben szerezte meg. A Karolinska Intézet tanársegédje volt 1951 és 1957 között, majd a tulajdonképpen számára létrehozott Daganatbiológiai Tanszék professzoraként és vezetőjeként dolgozott 1993-ig. Ez a tanszék volt az elődje a ma is a Karolinska részeként működő Mikrobiológiai, Daganat- és Sejtbiológiai Intézetnek. A svéd nyugdíjazási szabályok szigorúak, de Kleinnel kivételt tettek, és 1993-tól tudományos csoportvezetőként dolgozhatott tovább. Munkáját továbbra is jelentős támogatások biztosították.

Klein olyan sok kitüntetést, akadémiai tagságot és tiszteletbeli doktori címet kapott, hogy felsorolásuk kitöltené egy ilyen cikk terjedelmének jórészét. Fiatal tudósként szinte berobbant a svéd tudományos életbe, és már nagyon korán tagja lett a Karolinska Intézet Nobel-Fórumának, amelyet a professzori karból választott ötven professzor alkot, és sok évig egyik meghatározó szereplője volt az élettani vagy orvosi Nobel-díjak odaítélésének.²

² A fizikai és a kémiai Nobel-díjra egy-egy kislétszámú bizottság tesz javaslatot a Királyi Svéd Tudományos Akadémia közgyűlése számára. Az irodalmi Nobel-

Munkássága elsősorban a kísérletes sejt kutatásra és a rákkutatásra összpontosult, és kísérleti munkái a daganat-immunológia területén folytak. Legfontosabb felfedezésének azonban nem valamelyik kísérleti eredmé-

nyét tartotta, hanem egy felismerést. Ez a felismerés arra vonatkozott, hogy a daganatokban megfigyelhető kromoszóma-csere információt hordoz a folyamatról, amelyben a normális sejtek rákos sejtekké alakulnak át. Ennek a felismerésnek az eredetét is tapasztalati tények alkották. Maga a felismerés azonban nem közvetlenül következett a megfigyelésekből, hanem szinte egy hirtelen „megvilágosodásból” jött.

Munkatársai között svédek és külföldiek egyaránt szerepeltek. Orosz és más volt szocialista országokból is mindig voltak kiváló munkatársai, köztük magyarok is szép számmal. Legalább 1385 cikket és nyolc könyvet írt, és könyvsorozatot is szerkesztett. Könyvei, írásai összesen kilenc nyelven jelentek meg. Ugyanolyan jól megértette magát szakmabeli kollégáival, mint az érdeklődő nagyközönséggel. Közölt egy dolgozatot a *The Scientist* folyóirat 2015. áprilisi számában *Resisting Cancer* címmel. Ennek mottója szerint, ha minden három emberből egy lesz rákbeteg, akkor ez azt is jelenti, hogy kettő nem lesz. Ha megértjük,

díjról a 18 tagú Svéd Akadémia dönt. Az élettani vagy orvosi Nobel-díjakat a Karolinska Intézet professzorai közül választott ötven tagú Nobel-Fórum ítéli oda.



Klein György 2000-ben Budapesten
(Hargittai István felvétele)

hogy miért, közelebb kerülhetünk a rák megelőzéséhez és kezeléséhez (Klein, 2015a).

Anélkül, hogy kutatásainak intenzitását csökkentette volna, már hatvanhoz közeledvén kezdett könyveket írni. Ezeknek mindnek van önéletrajzi jellege is. Mások hamarabb felismerték Kleinben az író, mint saját maga. Egy svéd kiadó már jóval korábban biztatta az írásra. Klein azt válaszolta, hogy nincs olyan témája, ami érdekelhetne másokat, nincs olyan nyelve, amelyen írhatna, és ideje sincs az írásra. Tíz évvel később megint kapott biztatást, ebben az esetben egy izraeli diákjától. Klein ugyanazt válaszolta neki, mint a svéd kiadónak, de azt is hozzátette, ha a diák összeállít egy elég kihívó tartalomjegyzéket arról, hogy miről írhatna, akkor megpróbálkozna az írással. Így született meg az első könyv 1984-ben.

Könyveit svédül írta, néhányat lefordítottak angolra, és van, ami magyarul is megjelent (Klein, 1994, 2001, 2008, 2014, 2016). Egyik utolsó könyvének címe magyarul így hangzik: *Sohasem térek vissza. Esszék a Holocaust árményében* (Klein, 2011). A könyv a magyarországi antiszemitizmusról szól. Klein utolsó könyve *Resistens* (Ellenállás) címmel jelent meg (Klein, 2015b). Ezért a könyvért azzal az indoklással kapta meg a Gerard Bonnier-díjat, hogy a szerző megmutatta, hogyan jön létre az élet művészete a természettudomány és a humanitás találkozásából.

A sok svéd és nemzetközi kitüntetés mellett különleges emberek barátságát is kitüntetései közé sorolom. Ezek közül kettőt említ meg. Klein 1955-ben ismerkedett meg Szilárd Leóval, aki azután Kleint többször is meglátogatta Stockholmban. Érdekeltek Klein kutatásai, a maga szokásos módján feltette a kérdéseit, majd másnap visszajött a javaslataival. Ezek egy része félreértésre utalt,

de voltak közöttük zseniális meglátások. Mindkettőjük számára sokat jelentett Madách Imre drámai költeménye, *Az ember tragédiája*. Klein segített felderíteni Szilárd hólyagrákját. Aktív tanúja volt annak, hogyan jutott el Szilárd a sikeres drasztikus beugrázásos terápia alkalmazásához a műtėti beavatkozás helyett.

Szilárd és Klein kapcsolatának mélységét jelzi, hogy Szilárd halála után özvegye Kleinre bízott egy fontos kéziratot (Marx, 1998, 175.). A kézirat Szilárdnak a hidrogénbombával kapcsolatos 1954-es beszéde volt. Szilárdot sokan szeretik úgy beállítani, mint aki mindenáron akarta a Szovjetunióval való barátságot. Ebből a beszédből egyértelmű, hogy Szilárd erős Egyesült Államokat akart, amelyet a Szovjetunió nem zsarolhatott volna meg. Éppen a beszéd különleges mondanivalója miatt gondoltam szükségesnek, hogy független bizonyítékunk is legyen a beszéd elhangzására vonatkozóan. Ezt sikerült Matthew Meselsontól, a Harvard Egyetem biológia-professzorától megkapnunk.

Klein kapcsolata James D. Watsonnal szporadikus volt, de egy alkalommal Watsonnak különösen sokat jelentett Klein véleménye. Amikor elkészült a ma már klasszikus *A kettős hélix* (magyar változatában *A kettős spirál*) kéziratával, több, a molekuláris biológiában fontos kutatónak elküldte véleményezésre, aki fontos volt. Sokan javasoltak lényeges változtatásokat, és voltak, akik helytelenítették a könyv megjelentetését. Klein alaposan elemezte a megjelentetés és a nem megjelentetés eseteit. Következtetése az volt, hogy a könyvön nem szabad változtatni; jelenjék meg úgy, ahogy van, vagy sehogy. Véleménye megerősítette Watson a könyv megjelentetését illetően. Watson csodálta Kleint, olyan embernek tartotta, aki mindent megtesz a

tudományért, és nincs benne semmi féltékenység (Hargittai, 2008, 88.). Ilyen véleménye Watsonnak csak még egy emberről volt, a kölni genetikus Benno Müller-Hillről, akinek a *Murderous Science* (Gyilkos tudomány) c. könyve leleplezte sok német tudós együttműködését a náci hatalommal. Klein és Müller-Hill között is szoros barátság állt fent.

És ami a magyarországi elismerést illeti? Az MTA tiszteleti tagja 1983-ban lett az Orvosi Tudományok Osztálya tagjaként. A Debreceni Egyetem 1988-ban tüntette ki tiszteletbeli doktori címmel. A Semmelweis Egyetem Semmelweis Budapest díját 2014-ben kapta meg, amit a díjátadáson megható szavakkal köszönt meg. De illúzióink ne legyenek. A következő választ adta arra a kérdésre, hogy milyen pályát futott volna be, ha Magyarországon marad: „*Az nulla lett volna*” (Hargittai, 2002) Ezt kicsit részletesebben kifejtve, arra utalt, hogy Magyarországon a politikai problémák mellett erősen akadályozta volna az alkalmazkodást kikényszerítő társadalmi nyomás, amelyet egy zártkörű társaság gyakorol. Nem tudta volna elviselni, hogy mások határozzák meg, mit gondolhat és mit csinálhat.

Indulás nehézségekkel

Klein egyedüli gyerek volt és egyéves, amikor édesapja meghalt. Körülményei hozzájárultak ahhoz, hogy felnőve felelősséget érezzen abban, hogy neki magának kell döntéseket hoznia minden őt érintő kérdésben. Az egyoldalú, étkezésre, öltözködésre koncentráló anyai gondoskodást negatív példának tekintette, ami arra ösztönözte, hogy a párvalasztásnál az intellektuális társkeresés legyen az elsődleges szempont és a háztartás ellátása és a gyerekekről való gondoskodás másodlagos (nem mintha nem várta volna el az utóbbiakat, ennyiben messze nem volt „modern”).

Klein nagybátyja Teleki Pál háziorvosa volt. Klein még gimnazista volt, amikor a nagybácsi megkérdezte Telekit, segítené-e abban, hogy az unokaöccs majd egyetemre kerülhessen. Akkoriban már a *numerus clausus* is túlmenő nehézségek akadályozták a zsidó fiatalok egyetemi tanulását. Teleki nemcsak elhárította a kérést, de azt is közölte háziorvosával, hogy jobb, ha nem tudja az unokaöccs nevét, mert ha az tudomására jut, személyesen fogja megakadályozni egyetemi felvételét. Teleki elszántan küzdött a zsidók lehetőségeinek korlátozásáért.

Klein valóban nem járhatott egyetemre, de 1944-re már különben sem a továbbtanulás, hanem a túlélés volt a gondja. Horthy országlásának utolsó hónapjaiban folyt a zsidók deportálása Auschwitzba, amit úgy tünettek fel, hogy csupán máshol telepítik le a deportáltakat, és ezt sokan el is hitték. Klein azonban a budapesti Zsidótanács munkatársaként látta azt a hiteles tanúvallomást, amit ma *Auschwitzi Jegyzőkönyv* néven is ismerünk. Ezt a dokumentumot az Auschwitzból megszökött Rudolf Vrba és Alfréd Wetzler készítette és juttatta el Magyarországra. Ha másokat nem is tudott meggyőzni arról, mit is jelent Auschwitz, Klein megszökött a transzportból, amelynek úticélja Auschwitz volt.

A felszabadult Magyarországon Klein hamar megértette, hogy közeledik a diktatorikus rendszer, és tudta, hogy abban sem tudna létezni. Amikor jelentkezett az alkalom, Svédországba ment egy konferenciára és a svédországi életet választotta. Még visszatért Magyarországra és megszervezte, hogy szerelme, aki időközben felesége lett, Klein (Fischer) Éva is kimehessen Svédországba. Klein Éva is nemzetközileg elismert tudós lett, kitüntetésekkel, elismerésekkel. Sokat dolgoztak közös témákon, de Klein Éva önálló



Klein Éva és Klein György 1979-ben a Karolinska Intézetbeli laboratóriumukban (az ő szívességükből, forrás: General Motors Cancer Research Foundation).

kutásokat és kutatócsoportot is kialakított. Három gyerekük született, egy a tőzsdén is sikeresen működő matematikus fiú, egy orvos lány és egy színpadi szerző és író lány.

A nagy Klein hagyatéka³

A természettudósok örökségét Klein tisztavérűnek tartotta. A tudomány fejlődésével még ez a tisztavérűség is egyre rövidebb ideig tart. Az újabb és újabb felfedezések gyorsan beépülnek a tudomány teljességébe, vagy elavulnak, és Klein ezt a saját kutatási eredményeivel kapcsolatban is természetesnek tartotta. Írásai, ítéletei, megfontolásai, emberiségének példája azonban tartós örökség. Erre utalva eleveníték fel néhány gondolatot beszélgetéseinkből. Egész irodalmi munkásságából látszik, mennyire meghatározó volt számára az 1944–1945-ös időszak. Azért jegyzem ezt meg, mert nem az én elfogultságom emeli a zsidósággal és az antiszemitizmussal kapcsolatos kérdéseket központivá, hanem ez jellemző volt Kleinre. Ebből az is követke-

zik, hogy az alábbiakban szerepelnek olyan kérdések és megállapítások, amelyeket szemérmes világunkban sokan illetlennek találhatnak felvetni és megbeszélni.

Klein témaválasztásaival és kutatási kultúrájával valami különlegeset hozott létre Svédországban, s ezt azzal magyarázta, hogy őt nem kötötték bizonyos svéd szokások, amelyek sokak alkotóképességére bénítólag hatnak. Hozzátette, hogy sok svéd tudós esetében az állandó önmegfigyelésből egyfajta rossz lelkiismeret származik. Attól tartanak, hogy valami hibát követnek el, s emiatt lesz gyakran úrrá rajtuk a bizonytalanság érzése. Gondosan figyelnek mások véleményére, vagy legalábbis úgy tesznek, és igyekeznek mindent elkerülni, ami megbánthatná mások érzéseit. Mindez nagyon hasznos az együttműködésekben és a bizottsági munkában, ezért működhetnek olyan kiválóan a svédek szervezetei. Klein úgy gondolta, hogy a zsidó kultúra nagyon különbözik ettől. Amíg például egy evangélikus svéd a tisztelendően keresztül közelíti meg Istent, egy zsidó közvetlenül fordul Istenhez, még akkor is, ha nem vallásos. Ehhez természetesen nem kell zsidónak lenni. Az ilyen mentalitású emberek sokszor kezdeményezők és érdekesek, ugyanakkor általában nehezebben elviselhetők és nehezkesebbek a bizottsági munkában és más együttműködésekben.

Legendákat meséltek arról, hogy Klein hogyan gazdálkodott az idejével, hogy például még borotválkozás közben is igyekezett valami hasznosat csinálni. Ezt azzal magyarázta, hogy sohasem akart unatkozni, mert a szellemi tétlenséget nem tudta volna elviselni. Mindezt az ambiciózus, asszimilálódó magyar zsidók tulajdonságaira vezette vissza. Példaként említett olyan nagy magyar zsidókat, mint Szilárd Leó, Teller Ede, Neumann

János, Wigner Jenő és Erdős Pál. A sort nagyon sok névvel, kevésbé kiváló vagy egyáltalán nem kiváló példák sokaságával lehetne folytatni. Az utóbbiaknál ez a megállás nélküli igyekezet a teljesítmény szempontjából ugyan eredménytelen, az ő esetükben azonban nem is az eredmény, hanem az igyekezet a lényeges. Abban a pillanatban, amikor fellép a szellemi tétlenség, depresszió vagy aggodás jelenik meg a helyében.

Klein fejtegetése meglepett, mert azt gondoltam, hogy több évtizedes svédországi élet után már nem kellene aggodnia. Ám szerintem itt nem csupán az utolsó évtizedeket kell figyelembe venni, mert az aggodás eredete régebbi és mélyebb, nem összemérhető egy vagy két rövid emberöltővel. Azt is el tudta képzelni, hogy ennek genetikai összetevője van. Ez abból a generációk hosszú során történő kiválasztásból következhetett, amelyen a zsidók az évszázadok alatt a gettókban keresztülmentek. Egy jófejű zsidó fiú mindig átléphetett a szegénység korlátain, feleségül vehette a gazdag ember lányát. És mivel a zsidók mindig tisztelték a tanultságot, a gazdag ember örömmel adta oda a lányát a nincstelen, de éles eszű diáknak. Budapesten a középiskolai zsidók ebben a hagyományban nőttek fel, és Klein szerint már az anyatejjel magukba szívták az igyekezetet és az ambíciót. Valaki vagy sikeres lett, vagy a csatornában végezte, középút egyszerűen nem létezett.

Csak valaki, akiben semmilyen bizonyítási vágy nem létezik, aki teljesen jól megvan saját magával, tud annyira nyíltan beszélni esetleges emberi gyarlóságairól, ahogy Klein tudott. Sohasem érdekelté annak a „fontossága”, amivel éppen foglalkozott, és nem szerette, amikor valaki bármilyen benyomást akart kialakítani magáról beszélgetőtársaiban. Nagyon nem szerette, amikor egy nővel be-

szélgetve az illetőt igazán az érdekelte – vagy Kleinnek az volt a benyomása, hogy az érdekelte –, hogy Klein hogyan öltözködik, egyáltalán éppen hogy néz ki. Azt sem szerette, ha előadása után azt mondták neki, hogy milyen jól beszélt, ahelyett, hogy arra reagáltak volna, amiről az előadás szólt.

Hajlamos volt arra, hogy elemezze saját magát, hogy kiderítse saját magáról, hogy mi ambicionálja. Odáig mindenesetre eljutott, hogy a kérdést nagyon bonyolultnak találja. Fontosnak tartott egy epizódot, ami legalábbis ambíciójának egy részletére fényt derített. Szinte humorosnak is felfoghatnánk, de Klein ezt nagyon komolyan vette. Még 1970 körül történt, hogy Afrikából rendszeresen kaptak kísérleti nyersanyagot, amit azonnal fel kellett dolgozni. Egy alkalommal a laboránsok, akiknek ez volt a feladatuk, egy tancos ünnepségre készültek, amelyre Klein is hivatalos volt. Klein nem bánta, hogy a többiek odamennek, és vállalta a munkát. Elmagyaráztatta magának, hogy mit kell csinálnia. Minden rendben ment, vagyis Klein azt hitte, egészen a munka végéig, amikor kiderült, hogy tönkretette az értékes anyagot. Mégis, remekül érezte magát. Megpróbálta megérteni, mi okozza ezt az érzést, hiszen inkább oda kellett volna lennie, és rájött, hogy még a tönkretett kísérleti anyag sem volt túl nagy ár azért, hogy nem kellett elmennie táncolni. Rájött arra is, hogy már fiatal korától kezdve inkább megszokott volna mindenféle társasági kötelezettség elől. Ez az eset megerősítette abban az érzésében, hogy nincs értelme törődnie azzal, ki mit tart fontosnak.

Klein harminchat évig szerepelt az életben vagy orvosi Nobel-díj döntéshozói között. A Nobel-díjról kialakított véleménye tehát nagyon megalapozott volt. Gyakran sarkos fogalmazása azonban azt is érzékeltette, hogy

³ Ennek a résznek a címe Klein egy ifjúkori barátjánőjére utal, aki Kleint Großnak hívta.

irritálta az az aránytalanul nagy presztízs, ami a Nobel-díj körül kialakult. *Nobelitis* névvel illetett betegségnek tartotta, amikor valakinek, aki közel került a kitüntetéshez, vagy úgy gondolta, hogy közel van hozzá, szinte csak a díj körül forogtak a gondolatai. Azt tartotta igazi kutatónak, akit nem érintett meg a *Nobelitis*. Akérdés másik oldala a *Nobelomania*, ami azokra vonatkozik, akik a Nobel-díjat mindenek felett álló fontosságúnak tekintik. Klein úgy érezte, azzal segít a legjobban, ha hangsúlyozza, a Nobel-díjasok ugyanolyan emberek, mint mindenki más. Azonban a Nobel-díjhoz közel kerülők számára a díj valóban vízvázasztó, mert aránytalanul kiemeli azokat, akik megkapják, és segít elfelejteni azokat, akik ugyan hasonló súllyal vettek részt a felfedezésben, de nem kapták meg a díjat.

Svédország számára a Nobel-díj legnagyobb előnye, hogy arra kényszeríti a díj odaítélésében részt vevő professzorokat, hogy olvassák a szakirodalmat. A fiatal svéd kutatók viszont könnyen elbizhatják magukat, látva, hogy a világ legnagyobb tudósai milyen tisztelettel viseltetnek a svéd kutatók iránt.

Kleint sokat foglalkoztatta a különböző körülmények közötti emberi magatartás. Ezt Wigner Jenő a következőképpen fejezte ki: „Magamnak és mindannyiunknak azt kívánom, hogy képesek legyünk azoknak az embereknek megfelelően élni, amelyeket akkor vallunk magunkénak, amikor erősek vagyunk, és amikor nem fenyeget bennünket közvetlen veszély.” (Wigner, 1967, 266.; Hargittai B. – Hargittai I., 2016, 145.)

Klein ezzel kapcsolatban a következő példát említette. Az Orvosi Mikrobiológiai Intézet 1948-ban kinevezett igazgatóját, Faragó Ferenc (1905–1950) professzort 1950-ben négy munkatársával együtt perbe fogták és bebörtönözték. Az Intézetben egy tíz csecsemő

halálát okozó tragédia történt, amit az intézetben termelt és mindvégig kiderítetlen módon szennyezett szérum okozott. Faragó professzort és munkatársait nem gondatlansággal, hanem szándékos szabotázzsal vádolták meg, ami lehetetlen és igaztalan vád volt. Faragó még a per előtt a börtönben meghalt. A megvádolt orvosokat brutális kihallgatásokkal igyekeztek rávenni a nyilvánvalóan hamis beismerő vallomásra.

Faragó egyik fiatal munkatársa, a ma Amerikában elismert orvosprofesszor és virológus, Sinkovics József felállított magának egy magatartási sémát, amelyet követhetett, hogy ne csak a pillanat hatása alatt cselekedjék. Azt mondta magának, ha eltörlik a bordáimat, akkor sem fogok aláírni egy hamis beismerő nyilatkozatot. Ha kiverik a fogaimat, akkor sem. Ha azonban szét akarják rúgni a nemi szervemet, vagy behozzák anyámat, és a szemem láttára meg akarják kínozni, akkor aláírom. Erre azonban szerencsére nem került sor, és Sinkovics nem írt alá. Akármilyen meggyőző is ez a történet, Klein nem tartotta általánosíthatónak, mert mindaddig, amíg az egyén nem kerül hasonló helyzetbe, nem tudhatja magáról, hogy a valóságban hogyan reagálna. Lehet, hogy jobban jönnénk ki belőle, mint feltételezzük, lehet, hogy rosszabbul. Egyébként, Sinkovicsot és társait 1954-ben rehabilitálták.

A fentiekkel kapcsolatban tért vissza Klein egy korábbi beszélgetésünk témájához, amely a német magatartás volt a Holocaust idején. Hangsúlyozta, hogy Hitler előtt Németországban sem volt nagyobb a megrogzott antiszemiták aránya, mint más európai országokban, mint például Franciaországban és valószínűleg kisebb volt, mint Lengyelországban és Oroszországban. Klein szerint a Holocausthoz több jelenség együttes megje-

lenése vezetett, amelyek külön-külön is nagyon valószínűtlenek voltak, nemhogy együttesen jelenjenek meg, de ez történt.

Az egyik volt egy paranoiás antiszemita, aki elhitte, hogy a zsidók világuralomra törnek, és ők okozzák az emberiség problémáit. Ilyen emberek persze mindig voltak, csak az nem fordult elő, hogy egy nagy nép vezérszerepéhez jussanak. Egy másik kis valószínűségű jelenség volt e személy különleges retorikai képessége, amellyel hatalmas tömegeket tudott rávenni arra, hogy vakon kövessék. Meglehet, mi csak a rekedt ordítózást halljuk, de a szakemberek szerint Hitler beszédei retorikai mesterművek. Visszafogottan kezdődnek, és fokozatosan emelkedik az intenzitásuk. A beszédek építenek az emberek vágyaira, a gyűlöletre való hajlamaira és a frusztráltságukra. Addig manipulálják ezek a beszédek a hallgatóságot, mígnem a tömeg a szónok eszközévé válik. Hitler környezetében senki másnak nem volt ilyen retorikai tehetsége. Mindeh-

hez hozzáadódott a hagyományos német engedelmség az „Állam” iránt.

A fentiekben néhány kiragadott példa szerepelt beszélgetéseinkből. Ezek érzékeltethetik, mire gondolt Klein, amikor azt mondta, hogy számára a beszélgetések csak hangosított változatai annak, ami a fejében megállás nélkül zajlik. Felvetődnek a kérdések, és száz irányban ágazódnak el a válaszok. Amikor azt mondta, hogy nagyon érdekli a halál, a haldoklás és a halál iránti emberi magatartás, ez nem hangzott szomorúan. Nem a hosszabb élet volt az érdekes, nem az elismerés, csak az, hogy a szerinte fontos üzenetet közvetítse. Ilyen üzenet a teljes életérzés, amit csak a halál elfogadása tölthet meg tartalommal. Ezért gondolom és remélem, hogy Klein utolsó pillanataiban is vele volt ez a teljes életérzés.

Kulcsszavak: *Klein György, Klein Éva, rákkutatás, daganat-immunológia, antiszemitizmus, Karolinska Intézet, halál, emberi magatartások*

IRODALOM

- Gergely János (2005): Klein György és Éva 80 évesek. *Magyar Tudomány*. 1106, 12, 1589–1593. • <http://www.matud.iif.hu/05dec/23.html>
- Hargittai István (2002): George Klein. In: Hargittai István: *Candid Science II: Conversations with Famous Biomedical Scientists*. (Hargittai Magdolna ed.) London: Imperial College Press, 416–441.
- Hargittai István (2008): *Doktor DNS: Összinte beszélgetések James D. Watsonnal*. Budapest: Vince Kiadó
- Hargittai Balázs – Hargittai István (2016): *A marslakók bölcsessége*. Budapest: Akadémiai Kiadó
- Klein, George – Klein, Eva (1989): How One Thing Has Led to Another. *Annual Review of Immunology*. 7, 1–33. • <http://tinyurl.com/hol7uw4>
- Klein, Georg (1994): *A tudomány körül. Válogatott esszék*. (összeáll. Kúnos László) Budapest: Gondolat Kiadó
- Klein, Georg (2001): *Vak akarat és önző DNS*. Válogatott esszék. Budapest: Magvető Kiadó (második, bővített kiadás Budapest: Corvina Kiadó, 2015)

- Klein, Georg (2008, 2015) *Szilárd Leó tízpancsolata*. Budapest: Corvina
- Klein, Georg (2011): *Jag återvänder aldrig. Essäer i Förintelsens skugga*. Stockholm: Albert Bonniers Förlag
- Klein György (2012): Huzella. In: Balázs, Endre A. – Hargittai Magdolna – Hargittai István (szerk.): *Huzella Tivadar: A humanista tudós*. Budapest: Typotex Kiadó, 143–151.
- Klein, Georg (2015b): *Resistens. Tankar om motstånd*. Stockholm: Albert Bonniers Förlag
- Klein, Georg (2014): *Üstökösök. Három öntörvényű élet*. Budapest: Corvina
- Klein, George (2015a): Resisting Cancer. *The Scientist*. April • <http://tinyurl.com/jva540a>
- Klein, Georg (2016): *Haza helyett*. [Memoár] Bp. Corvina
- Marx George [György] (1998): *Leo Szilárd Centenary Volume*. Budapest: Eötvös Physical Society
- Wigner, Eugene P. (1967) *Symmetries and Reflections: Scientific Essays*. Bloomington, IN–London: Indiana University Press

AZ ÉLET MINT TERMÉSZETFILOZÓFIAI PROBLÉMA A NYUGATI GONDOLKODÁSBAN

Szántó Veronika

PhD, tudományos munkatárs,
Eötvös Loránd Tudományegyetem
Bölcsészettudományi Kar Filozófia Intézet
santov@gmail.com

Mi az élet? A kérdés egyszerre természettudományos és filozófiai, és éppen e második aspektus miatt kétséges, hogy valaha is lesz-e rá kielégítő, széles körben elfogadott válasz. Azonban a kérdés meg nem válaszolása is lehet a maga módján sokatmondó, ha a megfelelő pillanatban marad a levegőben. Percy Bysshe Shelley (1792–1822) utolsó nagyobb lélegzetvételű versének, a töredékben maradt *Triumph of Life*-nek az utolsó sorát 1822 nyarán vetette papírra: „Mi hát az Élet? – kiáltottam.” Néhány nappal később a harmincéves költő halott volt.

Shelley költeményében az Élet paradox, destruktív erőként jelenik meg, a kérdés pedig leginkább az emberi lét értelmére, a történelem céljára irányult, de a romantikus természetkonceptió elemzésén keresztül ki lehetne mutatni, hogy ezek a problémák sem logikailag, sem tudománytörténetileg nem függetlenek az élet problémájának attól a megközelítéstől, amit általában tudományosnak nevezünk. Most azonban megelégszem egy sokkal felszínebb összefüggéssel: a tragikusan fiatalon elhunyt költőgénusz verseit, köztük a *Triumph of Life*-t is tartalmazó poszt-

humusz kötet szerkesztője¹ nem volt más, mint Mary Shelley, az özvegy, aki addigra már közkinccsé tette a modern tudomány alapmítoszává vált regényét, a *Frankenstein*-t.

Mi az élet? – tette fel a kérdést a Nobel-díjas fizikus, Erwin Schrödinger, 1943-as előadásában. A válasz ezúttal is elmaradt, de Schrödinger gondolatai – az előadás alapján készült könyv révén – iránymutatásként és inspirációként szolgáltak azon fizikusok és biológusok számára, akik a következő évtizedekben kibontakozó molekuláris biológiai forradalmat levezényelték. Schrödinger szerint az élet megértésének kulcsa az örökítő anyag – a rejtélyes „aperiodikus kristály.” A fizikus még nem ismerhette a kromoszómák szerkezetét, de úgy vélte, az életjelenségek a kromoszómákban található kisméretű atomcsoportokon alapulnak, ezek tartalmazzák a szervezet fejlődéséhez és működéséhez szükséges információkat, sőt, irányítják is azokat.

¹ Az eredeti kéziratban a kérdés elhangzása után még következett néhány kevésbé revelatív sor, amelyet Mary Shelley figyelmen kívül hagyott, amint azt is, hogy a költő javításaiból látható, hogy ő a 'cried' ige helyett végül a kevésbé patetikus 'said' mellett döntött.

A kromoszómák „a törvényhozást és a végrehajtó hatalmat – vagy hogy egy másik hasonlattal éljünk: építettervezőt és kivitelezőt – egyesítik magukban” (Schrödinger, 1985, 140.). Még ha Schrödinger fejtegetéseinek időtállóságát illetően egyesekben felmerültek is kételyek, tudománytörténeti hatásuk kétségbevonhatatlan, és abban is meghatározó szerepük volt, hogy a DNS szerkezetének leírását az „élet titkának megfejtéseként” lehessen ünnepelni, ahogyan azt az euforikus James Watson és Francis Crick tette az Eagle kocsmában 1953 februárjában, és ahogy biológusok és újságírók generációi teszik azóta is. A humán genom megszekvenálását a genomprojekt egyik vezetője (Francis Collins) kinyilatkoztatáshoz, másik kulcsszereplője (Walter Gilbert) a Szent Grálhoz hasonlította, az Amerikai Egyesült Államok elnöke pedig azaz a nyelvvel azonosította a génszekvenciát, amelynek révén Isten az életet teremtette (Wade, 2000; Gilbert, 1992). A DNS apoteózisának és kulturális ikonná válásának (Nelkin – Lindee, 1995) a következménye az a félelem is, ami az „élet molekulájának” manipulálása kelt sokakban. A Frankenstein-párhuzam azonban nem csak a géntechnológiát székszísszel vagy ellenérzésekkel szemlélők számára tűnt nyilvánvalónak: maga Watson is utal rá, amikor arról ír, hogy az élet feletti isteni hatalom megszerzése – a gondolat, ami az emberiséget évezredek óta rettegéssel vegyes csodálattal tölti el – csak a DNS kettős hélix szerkezetének ismeretében és a molekuláris genetika korában vált valósággá. Az élet ugyanis Watson szerint finoman koordinált kémiai reakciók összessége, és a DNS tartalmazza az ehhez a koordinációhoz szükséges „lélegzetelállítóan bonyolult” utasítások halmozát (Watson, 2003, 396.). Frankenstein nem pihen, sőt, aktívabb, mint valaha.

A DNS molekuláris szerkezetének és funkciójának megismerése olyan mérőföldkő a biológia és az emberi tudás történetében, amelynek a jelentőségét nehéz túlbecsülni. A DNS vagy a gén mint az életműködéseket meghatározó és irányító aktív ágens koncepciója azonban bármilyen megkapó, az ezredforduló táján számos jogos kritikát kapott leegyszerűsítő és félrevezető volta miatt.² Most azonban nem e kritikát, hanem a koncepció újszerűségét szeretném megvizsgálni a nyugati természetfilozófia történetének tükrében. A gondolat, hogy az életjelenségek hátterében egy – a test pusztán végrehajtó, passzív részétől elkülöníthető – aktív organizáló ágens működése áll, szinte végigkísérte a természetfilozófia történetét. Ez az „életprincípium” a legkülönbözőbb alakváltozatokon ment keresztül, és antropomorf, intencionális és/vagy teleologikus karaktere különböző mértékben volt nyilvánvaló, ám néhány alapvető tulajdonsága mindvégig megmaradt: a testtől elkülöníthetőség; aktív; tevékenysége közben ő maga változatlan marad; nem vakon, hanem valamiféle értelmes rendet követve működik. A természetfilozófia története során azonban akadtak olyan törekvések is, amelyek tudatosan ellenálltak ennek a tendenciának, de mint látni fogjuk, az aktív organizáló ágens egyszerű, szemléletes és intuitív vonzó metaforájának sokszor azok sem tudtak ellenállni, akik pedig éppen ennek a nézetnek a meghaladását tűzték ki célul. És bár az önálló „életprincípiumot” általában a mára már diszkreditálódott vitalizmussal³ szokták ösz-

² Az ezzel foglalkozó irodalomból lásd például Sahotra Sarkar, Eva Neumann-Held, Susan Oyama, Evelyn Fox Keller és Lenny Moss írásait.

³ Vitalizmus néven általában azt a dualisztikus felfogást értik, amely az élő szervezetek sajátosságait egy nem anyagi természetű életprincípiummal magyarázza.

szefüggésbe hozni, messze nem csak a vitalistának tartott szerzők írásaiban találhatunk rá.

A francia biológiai történész és filozófus, Georges Canguilhem (1904–1995) négy fő megközelítésmódot különböztet meg az élettel kapcsolatban. Szerinte történetileg négy alapvető életkonceptió azonosítható: az élet mint animáció (azaz lelkesültség); az élet mint mechanizmus; az élet mint organizáció (szerveződés); illetve az élet mint információ (Canguilhem, 1994). A négy koncepció nemcsak fogalmilag, de időben is elkülöníthető egymástól: az életet a lélekkel asszociáló első felfogás felöleli a nyugati gondolkodás történetének nagyobb részét a görögöktől a 17. század elejéig; a második felfogás magára a 17. századra, a mechanikus természetfilozófiára jellemző; az organizáció a 18. században válik meghatározóvá; míg az információs paradigma a 20. században, a kibernetika, a rendszerelmélet és a molekuláris biológia kölcsönhatásaként jön létre. Talán mondanunk sem kell, hogy Canguilhem mindössze egy vázlatos, a történeti és fogalmi tájékozódást segítő sémát állított fel: a gondolkodás története sem éles korszakhatárokat, sem homogén fogalmi rendszereket, sem egymástól izolált paradigmákat nem ismer. Átfedések, kölcsönhatások és keveredések mindig is előfordultak: például a 18. században kialakuló organizmuskonceptiót a 19. századi mechanisztikus fiziológia legalábbis részben integrálja, és a 20. századi – vagy épp a kortárs – rendszerelméleti megközelítés sem hatályta-

Georg Ernst Stahl animizmusa (18. század eleje) vagy Hans Driesch neo-vitalizmusa (20. század eleje) jellemző példa. Vitalizmusnak nevezhető továbbá az antiredukcionista elképzelés is, amely szerint nincsen elkülöníthető életprincípium, az élet az élő szervezetek, szövetek vagy az anyag mint olyan inherens, redukálhatatlan tulajdonsága.

lanítja a mechanisztikus megközelítéseket, jóllehet ezek kevésbé hasonlítanak a korai modernitás ma már naivnak tűnő mechanizmusára.

Amikor a kortárs biológusok, fizikusok, filozófusok az élet problémájával foglalkoznak, sokszor még abban sem értenek egyet, hogy mit jelent a kérdés: *mi az élet* (Bedau – Cleland, 2010). Alighanem több dolgot is vonatkozhat az élet definíciójára, kritériumaira, elméletére, magyarázatára, eredetére. És nem csupán ezeket az aspektusokat, illetve azok egymáshoz való viszonyát kell tisztázni, de azt is, hogy általában az élet vagy a földi élet természete-e a kérdés. A tudomány és elődje, a természetfilozófia korábbi – 19. századot megelőző – története során azonban az életre vonatkozó vizsgálódások ritkán voltak ennyire szisztematikusak és tudatosak, és a 17. századnál korábbi vizsgálódások jellemzően úgy tették fel a kérdést, hogy mi az a *dolog*, ami az élők és az élettelenek közötti nyilvánvaló különbséget okozza. A természetfilozófia története ebből a szempontból felfogható úgy is, mint az életprincípiumra hivatkozó magyarázatok meghaladásának története, amely számos zsákutcs és ígéretes próbálkozason keresztül az élet egyre absztraktabb felfogásához vezetett, amely azonban, mint látni fogjuk, soha nem számolt le teljes mértékben a mindenható szervező ágens illúziójával.

Canguilhem felosztása szerint a természetfilozófia történetének első két évezredében az animáció volt a meghatározó. A természetben azok a létezők élnek, amelyek rendelkeznek egy speciális dologgal, amelynek éppen az a funkciója, hogy életet adjon ezeknek a létezőknek. Ezt a speciális dolgot vagy életprincípiumot leggyakrabban a lélekkel azonosították. Erről az álláspontról – amely az összes

életkonceptciónál hosszabb ideig határozta meg az életről való filozófiai gondolkodást – sokkal több nem mondható el az általánosításnak ezen a szintjén, hiszen jóformán minden, ezen elnagyolt jellemzésen túlmenő konkrét állítás már csak az animációs megközelítések egyik vagy másik altípusára lenne igaz. Az animáló ágens ugyanis lehet lélek (pszükhé, anima) vagy szellem (pneuma, spiritus), anyagi vagy anyagtalan, és létezési módja, testhez való viszonya is számos különféle módon fogható fel. Canguilhem a legkézenfekvőbb és legnagyobb hatású filozófusokat, Platont és Arisztotelészt említi, de vegyük észre, hogy például Lucretius materialista lélekkonceptiója éppígy az életjelenségek magyarázatára segítségül hívott speciális funkciójú vitális ágens (1997, *A természetről*, III. könyv. 262–322.). A különböző természetfilozófiák által javasolt animáló princípiumok közös tulajdonsága, hogy megfelelő körülmények között természetükönél fogva képesek életjelenségeket produkálni, de magának ennek a képességnek az eredete és létrejötte nem vezethető vissza további fizikai okokra. A Lucretius által hivatkozott „névnélküli erő” éppígy nem analizálható tovább, mint az arisztotelési vegetatív lélek, amelynek mibenlétéről csak maguk a megfigyelhető vegetatív jelenségek szolgáltatnak ismereteket. Az animációs felfogás ilyen értelemben tehát antiredukcionista: az életet egy speciális ágens jelenlétének tulajdonítja, ám a speciális ágens természetéről és működéséről a természetfilozófia nem adhat további felvilágosítást, akár metafizikai okokból (mert ez a működés egyszerű, elemi és tovább nem bontható fel), akár ismeretelméleti okokból (a megismeréshez szükséges eszközeink és képességeink elégtelenek). Az arisztotelianus és galénoszi természetfilozófia ettől függetle-

nül még részletes elméletekkel és magyarázatokkal szolgálhatott – és szolgált is – az egyes életműködések és -jelenségekkel szemben.

Az élet animációs megközelítésének fenti, elnagyolt bemutatása alapján nyilvánvaló, hogy amikor Canguilhem a 17. században bekövetkező fordulatot materialista és mechanista fordulatként jellemzi, akkor óhatatlanul elsikkad az a tény, hogy az animációs paradigma megkülönböztető jegye nem az immaterialitás, hanem a sajátos élethordozó princípium posztulálása volt, amelynek jelenléte kezeskedik az életjelenségek megjelenéséről és fenntartásáról.⁴ Az elkülönült vitális ágens tagadása pedig nemcsak a mechanisztikus természetfilozófiákban kapott hangot, hanem a ma már kevésbé ismert, Canguilhem által sem említett 17. századi vitalisztikus – szintén antiredukcionista – természetfilozófiákban. A korai modernitás újdonsága a megelőző évszázadokhoz képest az élet problémájának szempontjából a legáltalánosabb értelemben tehát nem annyira a mechanikus és materialista szemlélet, hanem az élettelen testeket életre keltő speciális ágens vagy életprincípium létének megkérdőjelezése.

Descartes állat-gép koncepciója jól ismert: szerinte az állati (és az emberi) test funkciói, azaz az életfolyamatok éppen úgy következnek a szerveik felépítéséből és elrendeződéséből.

⁴ Természetesen mivel a kora újkort megelőző időszakban a domináns természetfilozófia az arisztotelési volt, annak legfontosabb kora modern kihívója pedig a mechanikus természetfilozófia, így Canguilhem megfogalmazása védhető, csak nem általánosítható.

⁵ Descartes szerint alapvető ontológiai különbség van az állatok és az emberek között: míg utóbbiak rendelkeznek halhatatlan, anyagtalan, gondolkodó szubsztanciával, azaz lélekkel, az előbbiek teljes mértékben anyagi létezők. A gép analógia tehát a teljes állatra és az emberi *testre* vonatkozik.

ből, mint az óra működése alkatrészeinek hasonló jellemzőiből. A test mechanikai tulajdonságain túl semmi többre nincsen szükségünk ezen jelenségek magyarázatához. A felfogás kétségkívül redukzív, az azonban ma is vita tárgya, hogy Descartes ezzel a lépéssel csakugyan felszámolta-e az élőlények kategóriáját mint olyat (ha a válasz erre a kérdésre igenlő, akkor a descartes-i mechanizmus nemcsak redukzív, de eliminatív is). Bár a karteziánusokat illetően felvethető a kérdés, hogy módszertani vagy metafizikai mechanizmust képviselnek, azaz azt állítják-e csupán, hogy az állatok működései analóg módon érthetőek meg a gépek működésével, vagy azt az erős állítást fogalmazzák meg, hogy az állatok *valóban* gépek, többnyire nem zárkóztak el a gondolattól, hogy az egyes szervek és szervrendszerek működésére adott sikeres mechanikus magyarázatok összessége egyszer majd az életjelenségek teljességéről adhat számot.⁶ Voltak azonban olyanok is, akik szerint ezen a módon soha nem érthető meg az élet sajátos mivolta, amely nem egyszerűen az életjelenségek összege, hanem egy szorosan integrált, szubsztanciális egység.

Az animációként felfogott életkonceptiót nem csupán mechanisztikus-redukzív oldalról érte kihívás a 17. század folyamán, noha kétségkívül ez volt az domináns és – hatástörténeti szempontból – a jelentősebb kritika.

⁶ Kivételnek ez alól az embriológia tekinthető: Descartes saját mechanikus ontogenetikai teóriája nem talált követőkre, és a kérdést a mechanikus természetfilozófia csakhamar a preformáció tanának segítségével igyekezett megkerülni. Ha ugyanis feltételezzük, hogy az élőlények már az embrionális fejlődés kezdetén rendelkeznek alapvető struktúráikkal és az embriogenezis csak kvantitatív változások sorozata, akkor az organikus formák eredetének kérdése – a mechanikus természetfilozófia legnagyobb kihívása – nem veszélyezteti ezt a filozófiát.

Az arisztotelianus természetfilozófia mint irányadó doktrína végül is nem élte túl a századot, de sokakban élt kétely, hogy a helyére lépő mechanikus természetfilozófia képes-e ugyanolyan hatékonysággal forradalmasítani az étellel foglalkozó tudományokat, mint a fizikát. William Harvey (1578–1657) is a szkeptikusok közé tartozott, jóllehet a vérkeringés leírása révén az ő nevéhez fűződött az a felfedezés, amely a legnagyobb joggal nevezhető forradalminak a 17. századi élettudományokban. Harvey pályájának nagyobb része még a mechanikus filozófia térnyerése előtti időszakra esett, és maga is sok szálon kötődött az arisztotelészi hagyományhoz. A tapasztalati és kísérleti módszer iránt elkötelezett doktor azonban több ponton is jelentős mértékben eltért korának medikális ortodoxiájától: úgy vélte ugyanis, hogy az állati élet létrejötte és fennmaradása nem valamiféle, a testtől elkülönülő princípium tevékenységének köszönhető.

Harvey az étellel kapcsolatos általánosabb gondolatait kései *Exercitationes de Generatione Animalium* című embriológiai értekezésében tette közzé 1651-ben. Tagadta, hogy az élő szervezetek valamiféle égi eredetű *spiritus* révén tesznek szert az őket az élettelen természettől megkülönböztető, vitális tulajdonságaikra, mint ahogyan azt például Jean Fernel, a Harvey korában még mindig igen befolyásos 16. századi francia doktor tanította. És bár a vegetatív lélek kifejezés Harvey szótárából sem hiányzik, hangsúlyozta, hogy az olyan szoros kapcsolatban áll a vérrel, hogy a két kifejezés – a lélek és a vér – szabadon felcserélhető egymással. Harvey végső soron tehát egy nagyon is konkrét és kézzel fogható fizikai létezőt, a vért tekintette az élet letéteményesének, amely mind az embriogenezisben, mind az életfenntartásban kulcsszerepet játszik.

A vérnek olyan aktív erőket tulajdonított, amelyek az állati élet⁷ összes (vegetatív, szenzitív és motoros) funkciójának alapjául szolgálnak, és igazolásul arra az ószövegségi passzusra hivatkozott, amely szerint a lélek a vérben lakozik (Lev. 17,11, lásd még például Ter. 9,4). Harvey hangsúlyozta, hogy a vérnek ez a különleges képessége nem az alkotóelemek köszönhető, az elemek semmiféle fizikai összetétele nem képes létrehozni ezeket az erőket, amelyeket ő a Teremtőtől származtatott. Harvey felfogása tehát szintén antiredukcionista volt, ennyiben tehát vitalistának nevezhető, azonban az életet nem egy sajátos, különleges ágens aktivitásából eredeztette, hanem a konkrét biológiai anyag (a vér) elválaszthatatlan tulajdonságának tekintette, amely nem vezethető vissza az anyag mechanikai tulajdonságaira (és egyedül isteni közreműködéssel magyarázható, azaz természete kívülről esik a természetfilozófia fennhatóságán).

A 17. századi orvosok közül többen osztották Harvey véleményét az élet redukálhatatlan és az élő anyagtól elválaszthatatlan mivoltáról. Thomas Willis (1621–1675), az agykutatás úttörőjének is tekinthető orvos-anatómus szerint Isten az anyag bizonyos részeit – az állatok és az emberek „anyagi lelkét” – olyan képességekkel ruházta fel, amelyeknek köszönhetően ezek az anyagrészek képesek ellátni az állati élethez szükséges összes funkciót. Ennél azonban jóval radikálisabb állás-

⁷ Harvey – ahogyan később Thomas Willis is – a racionális lelket kivonja a természetfilozófia vizsgálódási köréből, és csak a vegetatív és szenzitív funkciókra – vagyis az állati és az állatokkal közös emberi funkciókra – koncentrálna. A kép ennél persze bonyolultabb, hiszen Willis az anyagi természetű szenzitív léleknek bonyolult mentális működéseket is tulajdonít, amely teológiai problémákat vetett fel a korban. Willis nem véletlenül hangsúlyozta újra és újra, hogy mondanója csak az állatokra vonatkozik.

pontot képviselt Willis idősebb kollégája, Francis Glisson (1597–1677), aki egy egész metafizikai értekezést szentelt az anyag és az élet viszonyának. Az 1672-ben megjelent *Tractatus de Natura Substantiae Energetica* című könyvében Glisson nem kevesebbet állít, mint hogy az élet – a lehető legáltalánosabb értelemben vett energia vagy aktivitás formájában – a létezés alapstruktúrájának része: a létező egyszerre dologszerű és tevékenység-szerű, noha a tökéletlen emberi megismerés ezt a két aspektust egymástól elkülönítve, sőt, egymással szembeállítva jeleníti meg. Glisson elvont okfejtése a pár évvel később megjelenő, az emésztőszerveket taglaló anatómiai művében nyer konkrétabb jelentést. A létezés eredendően aktív aspektusa az élő szervezetekre jellemző sajátos aktivitásban, az irritabilitásban nyilvánul meg. Glisson szerint az irritabilitás az életműködések alapja: a szerveket, szervezteket felépítő élő szövetek képesek arra, hogy aktívan – és bizonyos értelemben „racionálisan,” a szervezet szükségleteinek megfelelően – reagáljanak az őket ért külső stimulusokra. Noha az irritabilitás fogalmának a metafizikai háttere hamar feledésbe merült – Glisson 1672-es vaskos és nehézkes latin értekezése már a megjelenésekor sem dicsekedhetett túlságosan széles olvasótáborral –, az irritabilitás vizsgálata központi jelentőségre tett szert a következő évszázad élettani kutatásaiban (Gigioni, 2008).

Az életet mint organizációt értelmező felfogás a 18. századra artikulálódik a montpellier-i orvosi fakultás tudósai révén Franciaországban, majd a kanti filozófia nyomán német nyelvterületen is. Bár a montpellier-i doktorokat – Paul-Joseph Barthez-t, Théophile de Bordeu-t és a kollégáikat – gyakran nevezik vitalistának (sőt, először éppen rájuk alkalmazták ezt a neologizmust), fontos szem

előtt tartani, hogy többnyire tartózkodtak a metafizikai állásfoglalásoktól és önálló vitális ágensek posztulálásától. Ők az életet mint az élő test sajátos felépítésű és működésű rendszerét vagy ökonómiáját kívánták megérteni. Tisztában voltak vele, hogy ezek a rendszerek minőségileg különböznek az élettelen természet jelenségeitől, de ragaszkodtak ahhoz, hogy ezek a sajátosságok csak összefüggéseikben vizsgálhatók, minthogy csak összefüggéseikben léteznek. Az organizáció – az *économie animale*, ahogy Montpellier-ben nevezték – nem érthető meg a részek pusztá addíciója révén. Az élet redukálhatatlansága melletti állásfoglalás nem valamiféle metafizikai elköteleződésből származik, hanem az élő rendszerek bonyolultságának empirikus tényéből. Canguilhem ezért nevezhette a montpellier-i vitalistákat óvatos pozitivistáknak.

Immanuel Kant (1724–1804) esztétikai és ismeretelméleti problémák felől közelítve jutott arra a következtetésre, hogy az élő szervezeteket célorientált képződményekként kell megértenünk, ez azonban nem azt jelenti, hogy okunk lenne feltételezni, hogy az élővilágban ne lennének érvényesek a mechanika törvényei, és hogy jogosultak lennénk bármilyen vitális ágensre vagy az élő anyagban rejlő valamiféle speciális erő létezését feltételezni. A természeti célszerűség regulatív elv, amely az emberi megismerés vezérfonalául kell, hogy szolgáljon, nem pedig az élővilágra vonatkozó speciális kauzalitás. Az élő szervezetek különlegesek, amennyiben a szervek működése egyszerre oka és következménye a többi szerv működésének; az egész működése oka a részek működésének; és a részek működése az egész működésének. Az élettudományok feladata ennek a szorosan integrált célrendszernek a megismerése, anélkül, hogy illegitim metafizikai feltételezésekbe bocsát-

koznánk, vagy, hogy a természeti célszerűség specificitását és redukálhatatlanságát szem előtt tévesztve pusztá mechanizmussá változtatnánk azt. Kant úgy vélte, mindenféle, célszerű aktivitással bíró vitális ágensre való hivatkozásnak akkor van csak létjogosultsága, ha azokat az élő szervezetek megítélésének regulatív elveként alkalmazzuk, de ebben a formában nagyon is szükség van rájuk, mivel az élőlények nem magyarázhatóak meg pusztán a mechanika törvényei segítségével. Nem szabad azonban elfeledni, hogy regulatív, és nem konstitutív elvről van szó, azaz a vitális ágens nem az élő rendszerekben működő tényleges, reális oksági tényező, hanem pusztán az emberi megismerés által segítségül hívott heurisztikus eszköz.

Kant követői, például Johann Friedrich Blumenbach, Carl Friedrich Kiemeyer⁸ és mások igyekeztek tartani magukat a kanti iránymutatáshoz, de a vitális ágens mint heurisztikus princípium időnként – szinte észrevétlenül – tényleges oksági tényezővé vált a kezükben (Larson, 1979). A montpellier-i doktorok egyike-másika úgyszintén hajlamos volt óvatos pozitívizmusát időnként metafizikai nyelvezetre cserélni. Ez késztette arra Paul-Joseph Barthez-t, hogy részben elhatárolódjon saját magától, illetve korábbi, utóbb megtevesztőnek ítélt megfogalmazásaitól, kijelentve, hogy az életerő csak egy metafora, amely megkönnyíti a diskurzust, amikor olyan bonyolult rendszerekről van szó, amelyeknek a pontos természetét nem értjük, de amelyeknek a működése és tulajdonságai markánsan eltérnek az élettelen természet

⁸ Egyes tudománytörténészek, például Robert J. Richards szerint Blumenbachra és Kiemeyerre nem annyira Kant, mint Schelling és a *Naturphilosophie* gyakorolt döntő hatást.

működésétől (Wolfe – Terada, 2008). Barthez tisztában volt azzal, hogy az élő szervezetek komplexitásának megértésére irányuló törekvés absztrakciós készséget kíván és jóval több kognitív erőfeszítést, mint egy mindenható vitális ágens feltételezése, amely mindent megold, hiszen épp arra lett kitalálva.

Ahelyett, hogy tovább követnénk ezeknek a felfogásoknak a további sorsát a 19. századon át egészen a 21. század elejéig, döntenénk arról, hogy a molekuláris genetika csakugyan új paradigmát nyitott-e az élet mibenlétének kutatásában, vagy győztest hirdetnénk az egymással versengő felfogások között, vizsgáljuk meg, hogy a fenti vázlatos történeti áttekintés milyen tanulságokkal szolgálhat korunkban. Annyi mindenesetre világos, hogy a biológia tudományában a mechanisztikus-reduktív megközelítés – a szerveződés egyre alacsonyabb és alapvetőbb szintjeinek megismerésével – korábban szinte elképzelhetetlen sikereket tudott felmutatni, és kiutat jelelt a 17. század dilemmájából, amelyben szinte mindenki a mechanikus természetfilozófia szegényes eszköztára vagy a Harvey- és Glisson-féle – a magyarázatról végső soron lemondó – monisztikus vitalizmus között kényszerült választani, vagy pedig leporolta és újrafazonírozta a vitális ágensek otthonosan ismerős doktrínáját. Míg Harvey kénytelen volt beérni azzal a tautológiával, hogy a szív azért húzódik össze, mert rendelkezik az összehúzódnáshoz való képességgel, a mai magyarázataink már a szinuszcsomó, a Tawara-szárak, szívizomsejtek, ingerületek, membránok, ionáramok és rés kapcsolatok arzenálját felvonultatva kimerítően számot tud adni a szív működéséről. A kérdés az, hogy az élő szervezet egészének tulajdonságai megérthetők-e a legalacsonyabb alkotórészek felől, vagy az egyes szerveződési szinteken olyan új,

emergens tulajdonságok jelennek meg, amelyek nem vezethetők le az alacsonyabb szinteket alkotó komponensek tulajdonságaiból. A vitalizmus bukása után a mechanizmus és az organicista-holisztikus elméletek mérkőztek egymással, többnyire vaskos könyvek és a biológia filozófiájára specializált folyóiratok hasábjain (Bechtel, 2007; Gilbert – Sarkar, 2000). A közgondolkodást azonban nagyobb mértékben alakították a molekuláris genetika sikereit hirdető tudósok, a neodarwinianus szintézis mérnökei, a humán genom projekt apostolai. Ma már közhelyszámba megy a gondolat, hogy a DNS-molekula az élő szervezetekben zajló tevékenységek meghatározója, végső oka és az élőlények lényegének hordozója. Az, hogy az élet mibenlétéről szóló tudományos viták résztvevői a legritkább esetben osztják ezt a véleményt, és hogy ma már a biológusok többsége is tisztában van a felfogás naiv és leegyszerűsítő voltával, nem jelenti azt, hogy az majd automatikusan diszkreditálódik a szélesebb közvélemény szemében. Pedig jelentős részben ezen múlik, hogy a társadalom hogyan viszonyul a géntechnológia vívmányaihoz.

Max Delbrück, a Nobel-díjas biofizikus szerint a DNS az arisztotelészi „mozdulatlan mozgató”, amely az egyedfejlődés során létrehozza az élőlények struktúráit, anélkül, hogy ő maga közben változást szenvedne el (Delbrück, 1971, 55.). Ernst Mayr, a 20. század kiemelkedő evolúcióbíológusa a genetikai programot egyszerre azonosítja a vitalisták *vis essentialis*ával és Arisztotelész *eidos*ával, mivel szerinte valójában a genetikai program az, ami az egyedfejlődést irányítja (Mayr, 1997, 154., 158.). És mintha csak valamiféle divat lenne a vitalizmust – ezt a 20. század közepére a biológiában szinte szitokszóvá vált irányzatot – provokatív módon (és persze idéző-

jelben értve) rehabilitálni, a *Cell* című befolyásos biológiai folyóirat egy 2000-ben megjelent cikke arra szólít fel, hogy a genom szekvenálási őrület lecsengése után ideje lenne az élő szervezet *vitalisztikus* tulajdonságaival foglalkozni (Kirschner et al, 2000). A szerzők *vitalisztikus* tulajdonságokon az ön-összeszerelődést, önszerveződést, és az organizáció magasabb szintjein manifesztálódó tulajdonságokat értik, azaz az élőlények azon vonásait, amelyek nem érthetők meg a DNS-szekvenciákból, de amelyek épp olyan alapvetőek a földi élet szempontjából. Az élet mibenléte ugyanis továbbra sem ragadható meg egyet-

len, a vitális tulajdonságokért állítólagosan felelős molekula, ágens, princípium vagy erő felmutatásával, jóllehet a nyugati gondolkodás történetének jelentős részében ez a stratégia volt a jellemző, és a hatását mind a mai napig érezzük.

A tanulmány megírását az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok PD-105248. számú pályázata támogatta.

Kulcsszavak: *molekuláris genetika, természetfilozófia, mechanizmus, vitalizmus, Erwin Schrödinger, William Harvey, Francis Glisson*

IRODALOM

- Bechtel, William (2007): Biological Mechanisms: Organized to Maintain Autonomy. In: Boogerd, Fred C. – Bruggeman, Frank J. et al. (eds.): *Systems Biology: Philosophical Foundations*. Amsterdam: Elsevier • <https://mechanism.ucsd.edu/research/bechtel.biologicalmechanismsorganization.pdf>
- Bedau, Mark A. – Cleland, Carol E. (eds.) (2010): *The Nature of Life: Classical and Contemporary Perspectives from Philosophy and Science*. Cambridge: Cambridge University Press
- Canguilhem, Georges (1994): *A Vital Rationalist: Selected Writings from Georges Canguilhem*. (Ed. François Delaporte, Trans. Arthur Goldhammer) New York: Zone Books
- Delbrück, Max (1971): Aristotle-totle-totle. In: Monod, Jacques – Borek, Ernest (eds.): *Of Microbes and Life*. New York–London: Columbia University Press
- Giglion, Guido (2008): Whatever Happened to Francis Glisson? Albrecht Haller and the Fate of Eighteenth-Century Irritability. *Science in Context*. 21, 4, 465–493. DOI: 10.1017/S02698897080019 • <http://www.fesh.unl.pt/chc/pdfs/naturei.pdf>
- Gilbert, Scott F. – Sarkar, Sahotra (2000): Embracing Complexity: Organicism for the 21st Century. *Developmental Dynamics*. 219, 1–9. DOI: 10.1002/1097-0177(2000)9999:9999::AID-DVDY1036>3.0.CO;2-A • <http://tinyurl.com/gu9tw2h>
- Gilbert, Walter (1992). The Vision of the Grail. In: Kevles, Daniel J. – Hood, Leroy (eds.): *The Code of Codes: Scientific and Social Issues in the Human Genome Project*. Cambridge MA–London: Harvard University Press
- Kirschner, Marc – Gerhart, John – Mitchinson, Tim (2000): Molecular “Vitalism.” *Cell*. 100, 79–88. DOI: 10.1016/S0092-8674(00)81685-2 • [http://www.cell.com/cell/pdf/S0092-8674\(00\)81685-2.pdf](http://www.cell.com/cell/pdf/S0092-8674(00)81685-2.pdf)
- Larson, James L. (1979): Vital Forces: Regulative Principles or Constitutive Agents? A Strategy in German Physiology, 1786–1802. *Isis*. 70, 2, 235–249.
- Lucretius Carus, Titus (1997): *A természetről; De rerum natura*. (ford. Tóth Béla) Budapest: Kossuth Kiadó
- Mayr, Ernst (1997): *This is Biology: The Science of the Living World*. Cambridge MA–London: Belknap Press
- Nelkin, Dorothy – Lindee, M. Susan (1995): *The DNA Mystique: The Gene as Cultural Icon*. New York: W. H. Freeman
- Schrödinger, Erwin (1985). *Válogatott tanulmányok*. (szerk. Seres Iván, ford. Nagy Imre) Budapest: Gondolat
- Wade, Nicholas (2000): Scientists Complete Rough Draft of Human Genome. *The New York Times*. 26 June. • <http://tinyurl.com/hdmjexz>
- Watson, James D. (2003): *DNA: The Secret of Life*. New York: Alfred A. Knopf
- Wolfé, Charles T. – Terada, Motoichi (2008): The Animal Economy as Object and Program in Montpellier Vitalism. *Science in Context*. 21, 4, 537–579. DOI: 10.1017/S0269889708001956

A HARMADIK BÍRÁLÓ BOSSZÚJA, AVAGY MIRE JÓK AZ AXIÓMÁK

Csató László

tudományos munkatárs, egyetemi tanársegéd,
MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet, Budapesti Corvinus Egyetem
Operációkutatás és Aktuáriustudományok Tanszék
laszlo.csato@uni-corvinus.hu

Bevezetés

Az olvasók többsége valószínűleg találkozott már különböző intézményi, szervezeti szabályzatokkal, néhányan talán részt is vettek ilyenek készítésében. Utóbbi általában nem igényel komoly szellemi kihívást, elődeink munkájában megbízva sokszor elegendőnek tűnik a feltétlenül átdolgozandó részek módosítása. Első ránézésre amúgy is jól megalapozottnak látszik a szöveg, bizonyára nem maradtak benne logikai hibák, ellentmondások.

Vegyük például a következő (24.) bekezdést a Budapesti Corvinus Egyetem (BCE) Tudományos Diákköri Konferenciájának (TDK) – éppen átdolgozás alatt levő – szabályzatából (BCE TDK, 2016):¹

„Ha a két bírálat pontszáma között 10 pontnál kisebb a különbség, az írásbeli pontszám a két bírálat pontszámainak összege. 10 pontos vagy annál nagyobb eltérés esetén harmadik bírálót kell felkérni. [...] A három bírálat pontszáma közül az egymáshoz legközelebb eső kettő összege lesz a dolgozat írásbeli pontszáma. Amennyiben két ilyen

pontpár van, úgy a magasabb összegű két pontszám összege lesz a dolgozat írásbeli pontszáma.”

A motiváció világos: a túl nagy különbség azt jelzi, hogy a bírálók eltérően ítélik meg a dolgozat erőit, esetleg egyikük valamilyen okból elfogult. Nyilvánvalóan szükség van egy újabb, harmadik véleményre. Ekkor azonban néhány dolgozatnak három bíráta lesz, a többinek viszont csak kettő. Mit tegyünk? Feledkezzünk meg az egyik bírálóról. De kiről? Aki társaitól eltérő pontszámot adott – mivel nem tudunk jobbat, feltételezhetően ő követett el hibát. Akkor ezzel készen is vagyunk, jöhet a következő bekezdés.

Most pedig lássuk, hogyan működik a rendszer a gyakorlatban. Tekintsünk két dolgozatot az alábbi pontszámokkal: (25; 14) és (23; 12). A különbség mindkét esetben 11 pont, harmadik bírálót kell felkérni. A kapott pontszámok legyenek 19 és 18. Tehát az első dolgozat írásbeli pontszáma $14 + 19 = 35$ (a 25 pontos bírálat kiesik, mert távol van a többitől), míg a másodiké $23 + 18 = 41$ (itt a legmesszebbi 12 pontos bírálat nem számít), azaz utóbbi a színvonalasabb munka.

Mi a probléma? „Csupán” annyi, hogy az első dolgozat mindegyik bíráta magasabb

¹ A dolgozat írásbeli pontszámáról két bíráló dönt, mindketten legfeljebb 30 pontot adhatnak.

pontszámú. Ad abszurdum akár ugyanazoktól a bírálóktól.

Milyen tulajdonságokat kellene feltétlenül megkövetelni a bírálati rendszertől?

Jelentős mértékben különböző pontszámoknál számos oktatási, tudományos értékelés során felmerül az újabb bírálat iránti igény. Ezért nem haszontalan néhány alapelv, axióma megfogalmazása és indoklása, az egyszerűség kedvéért három bírálat esetére.

Legyen tehát adott minden pályázathoz, dolgozathoz három pontszám: $(a; b; c)$. Ezekre kell alapozni az $f(a; b; c)$ összpontszámot. És akkor következzenek az elvárt tulajdonságok.

A1 axióma: Az összpontszám független a bírálatok sorrendjétől, azaz $f(a; b; c) = f(a; c; b) = f(b; a; c) = f(b; c; a) = f(c; a; b) = f(c; b; a)$ minden lehetséges $(a; b; c)$ hármas mellett.

Miért fontos ez? Ha egy adott témához történetesen éppen három bíráló ért, felkérésük sorrendjében egyéb szempontok foglalkoztatnak előtérbe kerülni (például mennyire ismeri őket a bírálati rendszerért felelős személy, vagy akár teljesen véletlen sorrend). Nem lenne szerencsés, ha az összpontszámra bármilyen hatással lenne ez utóbbi, a tudományos értéktől teljesen független szempont.

A2* axióma: Az összpontszám monoton, azaz $a' \geq a \rightarrow f(a'; b; c) \geq f(a; b; c)$ minden lehetséges $(a; b; c)$ és $(a'; b; c)$ hármas mellett.

A monotonitás értelmében az egyik bíráló magasabb értékelése nem eredményezheti az összpontszám csökkenését. A sorrendtől való függetlenség megkövetelése mellett elegendő ilyen formában felírni a tulajdonságot, az A1 axiómát elhagyva viszont már mind-egyik bírálati pontszám növekedése esetére elő kellene írni a definícióban megkövetelt implikációt.

Az A2* axióma azonban még nem zárja ki a bíráló – az összpontszám szempontjából – teljesen hiábavaló örlődését az utolsó pont megadása felett. Érdemes megvizsgálni azzal, hogy erőfeszítéseit garantáltan elismerjük.

A2 axióma: Az összpontszám szigorúan monoton, azaz $a' > a \rightarrow f(a'; b; c) > f(a; b; c)$ minden lehetséges $(a; b; c)$ és $(a'; b; c)$ hármas mellett. A szigorú monotonitás, az A1 tulajdonsággal együtt, immár biztosítja az összpontszám növekedését bármely bírálati pontszám emelkedése esetén. Az A2 axióma erősebb az A2* axiómánál.

A fenti tulajdonságok nem foglalkoznak azzal az esettel, amikor két olyan dolgot kell összehasonlítani, ahol az elsőnek két, míg a másodiknak három bírálati pontszáma van. Itt talán csak annyit mondhatunk, hogy ne legyen alacsonyabb az összpontszám, ha az első dolgozat minden bírálati pontszáma legalább akkora, mint a második bármelyik bírálataé, de ez feltételezhetően minden rendszerben teljesül.

Néhány példa

A harmadik bírálat lehetőségét megengedő vagy előíró pontozási rendszerek, szabályzatok teljes körű áttekintésére értelemeszerűen nem vállalkozhattunk. Ezért a következőkben néhány kiragadott esetet tárgyalunk az előző részben megfogalmazott axiómák tükrében. A kiválasztás nélkülöz bármiféle célt vagy egyéb szempontot, elsősorban illusztrációként szolgál.

Térjünk vissza a bevezetésben említett BCE TDK-szabályzatra (BCE TDK, 2016). Ez nem ad kiemelt szerepet a harmadik bírálatnak, kizárólag a pontszámok egymáshoz való viszonyát tekinti, tehát megfelel az A1 axiómának. Ugyanakkor a bemutatott példa alapján nem monoton, az A2* axióma sérül.

A 2017-ben megrendezésre kerülő Országos Tudományos Diákköri Konferencia (OTDK) egyes szekcióiban eltérő módon szabályozzák a harmadik bíráló felkérése esetén kialakuló pontszámot. Például a Közgazdaságtudományi Szekcióban (OTDK Közgaz, 2016):²

„Amennyiben a két bíráló értékelése között 15 pont vagy annál nagyobb az eltérés, akkor kötelező jelleggel – az adott dolgozatot még nem bírált – harmadik bíráló felkérésére kerül sor.

Az írásbeli bírálat végső pontszáma a 3. bírálat és azon másik bírálat átlaga, amelynek pontszámához előbbi közelebb van.”

Ezzel a korábbinál is nagyobb problémák vannak. A 3. bíráló kiemelt kezelése miatt – pontszáma mindenképp beleszámít az értékelésbe – nem teljesíti az A1 axiómát. Az A2* axiómát (következésképp A2-t is) szintén megsérti, mert $f(50; 28; 38) = 28 + 38 = 66$, de $f(46; 24; 36) = 46 + 36 = 82$. Ráadásul nem jól definiált, ugyanis $f(50; 28; 39)$ egyaránt lehetne $28 + 39 = 67$ vagy $50 + 39 = 89$.

Az Agrártudományi Szekció szabályzatában ez áll (OTDK Agrár, 2016):

„Ha a dolgozat bírálatánál jelentős véleménykülönbség adódik (az adható pontszámok 21 %-a [sic!], vagy annál nagyobb pontkülönbség esetén), a bíráló bizottság elnöke harmadik bírálót kérhet fel a munka tudományos értékének eldöntésére.

Harmadik bíráló bevonása esetén a pontszámítás módja: súlyozott átlag. Két közelebbi bírálat pontszámát 0,4–0,4 súlyponttal, míg a harmadikat csak 0,2 súlyponttal számítják.”

Ez szellemében a BCE TDK szabályzatával egyezik meg, az A1 axióma teljesül, A2*

azonban – bár egyik bírálat sem veszíti el teljes mértékben az összpontszámra gyakorolt hatását – ugyanúgy nem: $f(50; 28; 38) = 0,2 \times 50 + 0,4 \times 28 + 0,4 \times 38 = 36,4$, miközben $f(46; 24; 36) = 0,4 \times 46 + 0,2 \times 24 + 0,4 \times 36 = 37,6$.

A Társadalomtudományi Szekció ismét más eljárást javasol (OTDK Társadalom, 2016):

„Ha a két bírálat között legalább 15 pont az eltérés, akkor harmadik bíráló felkérésére kerül sor. Az írásbeli bírálat végső pontszáma a bírálók által adott pontszámok számtani átlaga.” A számtani átlag megfelel követelményeinknek, immár teljesül az A1 és az A2 axióma is.

Az Edutus Főiskola TDK szabályzata újabb változatot tartalmaz (Edutus TDK, 2012):

„Amennyiben a két értékelés között legalább 15 pont különbség áll fenn, a dolgozatot egy harmadik személy is elbírálja, akinek bírálata kétszeresen számít.”

Itt kizárólag a harmadik bíráló véleménye dönt, vagyis A2* ugyan teljesül, de A2 már nem, sőt A1 sem.

A tudományos diákkörök világán túllépve, pillantsunk bele a Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Karának hatályos záróvizsga-szabályzatába (PTE KTK, 2014):

„Amennyiben a szakdolgozat két bírálója által javasolt érdemjegy közötti különbség több, mint kettő, vagy ha az egyik bíráló elégtelenre értékeli a szakdolgozatot, a szakfelelős kijelölhet egy harmadik bírálót is. [...]

Ha a harmadik bíráló felkérésére azért kerül sor, mert az egyik bírálat elégtelen (és a másik nem), akkor a harmadik bírálatot felfoghatjuk az első bírálat »felülvizsgálatának«, ezáltal a harmadik bírálat az első helyére lép. [...]

² Itt minden bíráló max. 60 pontot adhat a dolgozatra.

Ha harmadik bíráló felkérésére azért kerül sor, mert a két bírálat között kettőnél nagyobb különbség van, akkor a harmadik bírálatot felfoghatjuk mindkét előző bírálat *felülvizsgálatának*, ezáltal a harmadik annak a helyére lép, amelyiktől távolabb esik ez az értékelés. (Az a két érték marad benn, amelyik közelebb áll egymáshoz: ha a korábbi bírálatok 2-es, 5-ös voltak, akkor amennyiben a harmadik bíráló 3-ast ad, akkor a 2-es és 3-as jegyek lesznek érvényesek, ha a harmadik bíráló 4-est ad, akkor a 4-es és 5-ös jegyek számítanak majd. Ez a megoldás csak akkor nem működik, ha a két eredeti bírálat 1-es és 5-ös volt, a harmadik pedig 3-ast ad; ebben az esetben határozott, ügyszóint állásfoglalásra kérhető a harmadik bíráló, tehát meg kell mondania, hogy mellette az első és második bíráló értékelése közül melyik legyen érvényes.)”

Első ránézésre itt már tényleg nem lehet probléma, az előírás mindenre kiterjedőnek tűnik, ráadásul a szakdolgozatot 1–5-ig (egész számokkal) lehet értékelni, vagyis jóval kevesebb eset fordulhat elő. A záróvizsga minősítése, többek között, a két bírálati jegy összegétől függ. A fenti szabály azonban nem független a bírálók sorrendjétől az utolsó mondatban tárgyalt eset miatt, mert $f(3; 1; 5) = 3 + 5 = 8$, ugyanakkor $f(5; 1; 3)$ egyaránt lehet 4 vagy 8 a harmadik bíráló döntése alapján. Az A1 axióma fennállása ugyan biztosítható egy újabb szabály előírásával, az A2* axióma megsértésén viszont ez sem segít, mert $f(4; 1; 3) = 4 + 3 = 7$, de $f(5; 2; 3) = 2 + 3 = 5$. Tehát még egy ilyen, viszonylag kevés változatot megengedő problémánál is oda kell figyelni a harmadik bírálat megfelelő kezelésére.

Végül egy nem oktatási példa az EGT Finanszírozási Mechanizmus 2009–2014 *Ösztöndíj program (HU08)* keretében meghirdetett Felsőoktatási intézményközi együttműkö-

dési projektek (M4) 2015. évi pályázati fordulójának értékelése (EGT, 2015), ahol:

„Ha a két szakértő által adott összes pontszám különbsége meghaladja a magasabb pontszám 30%-át, akkor harmadik bíráló felkérésére kerül sor. Ebben az esetben a bírálók átlagpontszáma a két egymáshoz közelebb eső pontszám alapján kerül kiszámításra.”

Tehát itt sem teljesül az A2* axióma.

Az előző fejezetben megfogalmazott axiómák fennállásának ellenőrzése – némi matematikai vénával – általában nem jelent komoly kihívást. Az A1 axióma szempontjából biztosan hibás az olyan szabályozás, mely kiemelten kezeli a harmadik bírálót, az A2* axióma pedig nagy valószínűséggel nem teljesül változó, a „közelebbi” pontszámokat előnyben részesítő súlyozás mellett. Az A2 axióma megkövetelése, minden bírálói vélemény tiszteletben tartása pedig kizárja valamely pontszám teljes mellőzését. Bár annyira természetes követelménynek tűnik, hogy nem formalizáltuk, ugyancsak elvárható lenne a szabályozás egyértelműsége, ami a XXXIII. OTDK Közgazdaságtudományi Szekciója (OTDK Közgaz, 2016) esetén nem állt fenn.

Összességében a bírálati pontszámok számtani átlaga jó választásnak tűnik, emellett megfontolásra érdemes lehet más, rögzített súlyozás választása, például a legnagyobb és legkisebb pontszám 25%-os, és a középső 50%-os figyelembevétele.

Konklúzió

Egy értékelési rendszer jól viselkedőnek nevezhető, amennyiben bármelyik bíráló rosszabb véleménye alacsonyabb (kevesbé szigorúan: nem magasabb) összpontszámot eredményez, valamint a döntés független a bírálók felkérésének sorrendjétől. A második feltételt esetleg lehet vitatni, az első azonban

bármely „ügyfélbarát” rendszertől megkövetelhető, véleményünk szerint kikényszerítése jogi úton is elképzelhető.

Rámutattunk arra, hogy több, a felsőoktatásban érvényes szabályozás nem teljesíti ezeket a tulajdonságokat. A különböző bírálati rendszerek áttekintése azt mutatja, gyakori megoldás a két „közelebbi” pontszám figyelembevétele, ami ugyan – lásd a bevezetést – jól indokolható, de paradox módon logikailag hibás. Nem igazán számít, milyen valószínűséggel fordulhatnak elő a fent bemutatott problémás esetek, egy hosszú ideig érvényben levő, gyakran használt szabályzat

esetén előbb-utóbb mindegyik bekövetkezik. Ezért zárásként minden olvasót arra kérnénk, hasonló értékelési rendszerekkel találkozva vegye a fáradságot a javasolt axiómák ellenőrzésére, és mielőbb hívja fel a döntéshozók figyelmét az esetleges problémákra.

Köszönettel tartozom Németh Gábornak, a Budapesti Corvinus Egyetem Hallgatói Tudományos Tanácsa titkárnak a problémafelvetésért.

Kulcsszavak: *szabályzat, harmadik bírálat, axiómák, monotonitás*

IRODALOM

- BCE TDK (2016): *A Budapesti Corvinus Egyetem Gazdálkodástudományi-, Közgazdaságtudományi- és Társadalomtudományi Karainak Tudományos Diákköri Konferenciájának szabályzata*. • <http://tinyurl.com/jzc4ez>
- Edutus TDK (2012): *Edutus Főiskola: Tudományos Diákköri szabályzat*. 2012. december. • <http://tinyurl.com/hzmh8d8>
- EGT (2015): Pályázati felhívás az EGT Finanszírozási Mechanizmus 2009–2014 *Ösztöndíj program (HU08)* keretében Felsőoktatási intézményközi együttműködési projektek (M4). 2015. évi pályázati forduló. • <http://tinyurl.com/jsndazo>
- OTDK Agrár (2016): Felhívás a XXXIII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Agrártudomá-

- ny Szekciójában való részvételle. • <http://otdk.hu/media/uploads/agrar.pdf>
- OTDK Közgaz (2016): Felhívás a XXXIII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Közgazdaságtudományi Szekciójában való részvételle. • <http://otdk.hu/media/uploads/kozgaz.pdf>
- OTDK Társadalom (2016): Felhívás a XXXIII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Társadalomtudományi Szekciójában való részvételle. • <http://otdk.hu/media/uploads/tarsadalom.pdf>
- PTE KTK (2014): Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar: *A záróvizsgára vonatkozó szabályok*. (A Kari Tanács által 2010. május 26-án, 2011. június 1-én, 2013. december 18-án és 2014. október 12-én elfogadott kiegészítésekkel) • <http://tinyurl.com/h3esf9h>

Vélemény, vita

BESZÉLJÜNK NYÍLTAN A NYÍLT HOZZÁFÉRÉSRŐL!

Gondolatok Kovács Kármén *A nyílt hozzáférésű (Open Access) publikálás néhány bizonytalan következménye* című cikke nyomán

Holl András

informatikai főigazgató-helyettes,
MTA Könyvtár és Információs Központ

Egyre inkább foglalkoztatja a hazai kutatókat a nyílt hozzáférés kérdése – azért, mert mind a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH), mind az MTA követelményeket támaszt a publikációk közzétételével kapcsolatban, vagy éppen azért, mert a hírekben szerepel, mert kéretlen elektronikus levelekben kapacitálják őket publikálásra ismeretlen folyóiratok. Természetesen olyanok is vannak, akik tudatosan használják az *Open Access* (OA) által nyújtott lehetőségeket, olyanok is, akiknek tudományterületén a nyílt hozzáférés alkalmazása az általánosan elfogadott norma.

Kovács Kármén cikke (Kovács, 2017) a nyílt hozzáférés lehetséges problémáival foglalkozik. Ezek vizsgálata igen fontos és időszerű kérdés: megoldásuk nélkül az Open Access alighanem feltartóztatathatatlanná terjedésének több nemkívánatos mellékhatása lenne. Szükség van vitára a tudományos közösségen belül – ennek része ez a hozzászólás is.

A nyílt hozzáférés nagyon összetett kér-

déskör – terjedésének, alkalmazásának egyik legnagyobb akadálya a konfúzió. A tudományos kommunikáció rendszere sokrétű, a hagyományok területenként eltérőek. A nyílt hozzáférés lelkes pártolói is gyakran különböző álláspontokat képviselnek, és az érdekeltek, ellenérdekeltek vagy pártatlan elemzők gyakran csak egy aspektust mutatnak be. Kovács Kármén cikke kizárólag a nyílt hozzáférés „arany” útjának problémáit taglalja (az arany út, a *Gold Open Access* a kiadó által, a folyóirat weboldalán megvalósuló nyílt hozzáférést jelenti). A Budapesti Nyílt Hozzáférés Kezdeményezés (URL₁) két alternatív stratégiát fogalmaz meg: az első ezek között a repozitóriumokban történő önarchiválás (ezt később a „zöld” útnak nevezték). A másik a Kovács Kármén cikkében is tárgyalt kiadói Open Access. Kezdetben nem számoltak a kereskedelmi alapon működő kiadóvállalatok hozzáférés-megváltási lehetőségével, amit egyes szerzők az arany OA részének tekintenek, mások a „hibrid” jelzővel illetnek.

Mint azt Kovács Kármén is említi, több tudományterületen nem állnak jelenleg rendelkezésre bevett, elismert Open Access folyóiratok, illetve a humán-bölcsész területeken hiányzik a közlési díjak (APC) fedezésére alkalmas pályázati költségvetés. Azonban ezeken a területeken is lehetőség van a publikációk repozitórium elhelyezésére, a zöld OA alkalmazására. Magyarországon mind az MTA, mind a nagyobb egyetemek rendelkeznek megfelelő repozitóriumokkal (URL₂).

Vissza kell térnünk egy bekezdés erejéig az Open Access bevezetésének, elterjesztésének indokaira. Kovács Kármén említi az ismeretek mind szélesebb körű terjesztését, és a multinacionális kiadóvállalatok üzletpolitikájára való reakciót. Számos további indok létezik, ezek közül most csupán egyet említek George Malloryt parafrázálva: *mivel lehetséges*. A folyóiratok előfizetési modellje a papírra való nyomtatás technológiájának megfelelően alakult ki. A számítástechnika és az internet fejlődése lehetővé tette a folyóirat-terjesztés költségeinek drasztikus csökkentését. Mivel az olcsó technika rendelkezésre áll, ezt a lehetőséget ki is használják, új megoldások születnek, a tudományos kommunikációnak át kell alakulnia. Amíg a nyomtatás és a postaköltségek jelentősek voltak, és a példányszámmal arányosan növekedtek, logikusan az olvasóra (előfizetőre) hárították ezeket. Most, hogy a költségek majdhogynem eltűntek, más megoldásokra van szükség. Ugyanúgy, ahogy a zeneműveknél, filmeknél létrejöttek a fájlcsere- és kizsoru- és CD-k, a tudományos folyóiratoknál sem lehetséges a korábbi terjesztési és finanszírozási rendszert változtatlanul fenntartani.

A technikai lehetőség és a tudomány területén érvényesülő publikációs kényszer tette lehetővé a parazita folyóiratok felbukka-

nását. Legyenek azok csalók vagy pancserek, a kutatóknak azt tanácsolhatjuk, ne publikáljanak olyan folyóiratban, amit maguk nem olvasnak! (Vigyázat, egy ismert név a szerkesztőbizottságban még nem garancia a színvonalra: gyakran az illetők nem is tudnak róla, hogy nevüket felhasználták!) A parazita folyóiratok kiszűrésében a kutatók segítségére lehetnek az indexelő szolgáltatások: elsősorban a Directory of Open Access Journals (DOAJ). A paraziták megjelenése következtében a DOAJ felülvizsgálta folyóiratlistáját, és szigorúbb kritériumok szerint fogad be folyóiratokat (Olijhoek et al., 2015).

Azokon a tudományterületeken, ahol a nyílt hozzáférés alkalmazása még nem terjedt el, nem tehetünk mást, mint hogy elméleteket állítunk fel a lehetséges hatásokról. Nem szabad azonban megfedkezünk az Open Access tényleges gyakorlatáról, sikereiről sem. Vannak területek, ahol a nyílt hozzáférés biztosítása a norma ma már (például matematika, fizika, csillagászat) – nem kis részben az *arXiv* repozitóriumnak köszönhetően. A *ScienceDirect*-en keresztül hozzáférhető közel harmincezer folyóirattól jelenleg közel 600 (URL₃), a *Scopusban* indexeltek közül 2014-ben 2930 (URL₄), a *Web of Science* adatbázisában 2015-ben 726 (URL₅) Open Access folyóirat volt. Mindez valóban csekély, a DOAJ által nyilvántartott közel 9500 folyóirat töredéke. Ám vannak magas impaktfaktorú, területükön elismert Open Access folyóiratok, mint a *PLOS ONE* vagy a *BMC Biology*. A kis OA-folyóiratok közül két hazai példát említenek: az *eXpress Polymer Letters* (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, BME) közel 3-as Journal Impact Factor értékkel rendelkezik, indexeli a *Scopus* és a Chemical Abstract Services is, az *Information Bulletin on Variable Stars* (MTA Csillag-

lagászati és Földtudományi Kutatóközpont) pedig szerepel a *Scopusban*, és elérhető az *EBSCO Host-on* keresztül is. Várhatóan hosszú időbe telik, amíg a viszonylag fiatal Open Access folyóiratok megfelelő ismertségre tesznek szert, és bekerülnek a nagy indexelő szolgáltatásokba – de ez a folyamat elindult. A repozitóriumi archiválás is bevett gyakorlat: a már említett *arXiv* 2017 elején több mint 1,2 millió e-printet tartalmazott, az *MTA REAL* repozitóriumának alapgyűjteményében pedig ugyanekkor lépte át a publikációk száma a negyvenezret. Az MTA finanszírozásával született, 2014–15-ben megjelent publikációk közel 60%-a Open Access hozzáférésű volt, vagy folyóiratokban, vagy repozitóriumokban. A sikerek nyilvánvalóan inkább azokon a területeken tapasztalhatóak, ahol a nyílt hozzáférés feltételei nagyobb mértékben adóttak. Ám azt sem lehet kijelenteni, hogy egyik vagy másik tudományterületen egyáltalán nincs lehetőség a nyílt hozzáférés alkalmazására. Viszont az is igaz, hogy az alkalmazás arányai szisztematikusan különböznek tudományterületek szerint. Az egyes területeken tapasztalható alacsony Open Access arány oka valószínűleg összetett: szerepelnek benne objektív és szubjektív tényezők egyaránt.

Honnan lesz fedezet a közlési díjak kifizetésére? Mint korábban említettük, a nyílt hozzáférés megvalósítható repozitóriumi elhelyezéssel is, ami ingyenes. Azonban a kiadói Open Access díjköteles részére (a kisebb folyóiratokban való közlés gyakran ingyenes) is megteremthető a fedezet. A Max Planck Digital Libraryban készített tanulmány kimutatja, hogy az APC-költségekre (*article processing charge*, publikálási díj) az előfizetési díjak globálisan fedezetet jelenthetnek (Schimmer et al., 2015). A nagyenergiájú részecskefizika

területén az előfizetések közlési díjakra való átcsoportosítása meg is történt (Romeu et al., 2014). Természetesen sem a globális számításokból nem következik, hogy az átállás minden egyes országra nézve könnyen megoldható, sem az egyes tudományterületek sikere nem jelentenek biztosítékot arra, hogy az átállás másutt is megvalósítható.

Széles irodalma van az Open Access hatásvizsgálások számára való hatásának. Az e témában született cikkek bibliográfiái és áttekintései közül is hármat említhetünk (Wagner, 2010; Swan, 2010; Hitchcock, 2012). A citációs hatások nyilvánvalóan tudományterületenként változnak, és esetenként fennáll a lehetsége, hogy a vizsgálatok eredményeit szelekciós hatások befolyásolták. A kérdéssel foglalkozó szerzők azonban többnyire pozitív hatásról számolnak be. A tudományos vizsgálaton túl azonban érdemes a józan észre hagyatkozni: ha az adott publikáció szélesebb körben érhető el, nyilvánvalóan növekedni fog a hatása, többen fognak hivatkozni rá.

A nyílt hozzáférés előnyeinek kiaknázásához, hátrányainak kiküszöböléséhez, vagy legalábbis enyhítéséhez sok vizsgálatra, vitára van szükség. Kovács Kármén cikke számos problémát vetett fel, ezek közül néhányra reflektáltunk ebben a cikkben. A vita folytatódik, a szabályozás finomodik (lásd az MTA elnökének új rendelkezését az *Akadémiai Értesítő* 2016. decemberi számában). Az Open Accessre való átállás még éveket vesz igénybe – az EU cél dátuma 2020, de nem gondoljuk, hogy azután az európai finanszírozású közlemények mindegyike szabadon olvasható lesz. Addig is sokat kell még beszélnünk a kérdésről.

Kulcsszavak: *nyílt hozzáférés, open access, publikáció, folyóirat*

IRODALOM

- Hitchcock, Steve (2012): The Effect of Open Access and Downloads („Hits”) on Citation Impact: A Bibliography of Studies. *The Open Citation Project*. • <http://opcit.eprints.org/oacitation-biblio.html>
- Kovács Kármén (2017): A nyílt hozzáférésű (Open Access) publikálás néhány bizonytalan következménye. *Magyar Tudomány*. 178, 1, 71–79. • <http://www.matud.iif.hu/2017/01/11.htm>
- Olijhoek, Tom – Mitchell, Dominic – Bjørnshague, Lars (2015): Criteria for Open Access Publishing. *ScienceOpen*. DOI:10.14293/S2199-1006.1.SOR-EDU.AMHUHV.v1 • <https://www.scienceopen.com/document?id=85a98041-8734-4a43-b6eb-ff5903f3ae96>
- Romeu, Clément – Gentil-Beccot, Anne – Kohls, Alexander – Mansuy, Anne – Mele, Salvatore – Vesper, Martin (2014): *The SCOAP₃ Initiative and the Open Access Article-Processing-Charge Market: Global Partnership and Competition Improve Value in the Dissemination of Science*. CERN: CERN Document Server, DOI: 10.2314/CERN/C26P.W9DT • <http://cds.cern.ch/record/1735210/files/>
- Schimmer, Ralf – Geschuhn, Kai Karin – Vogler, Andreas (2015): Disrupting the Subscription Journals’ Business Model for the Necessary Large-scale Transformation to Open Access. Max Planck Gesell-

- schaft. DOI:10.17617/1.3 • http://pubman.mpdl.mpg.de/pubman/item/escidoc:2148961:6/component/escidoc:2149096/MPDL_OA-Transition_White_Paper.pdf
- Swan, Alma (2010): The Open Access Citation Advantage: Studies and Results to Date. Technical Report, School of Electronics & Computer Science, University of Southampton • https://eprints.soton.ac.uk/268516/2/Citation_advantage_paper.pdf
- Wagner, A. Ben (2010): Open Access Citation Advantage: An Annotated Bibliography. *Issues in Science and Technology Librarianship. Winter*, DOI: 10.5062/F4Q8tBoW • <http://www.istl.org/10-winter/article2.html>
- URL1: <http://www.budapestopenaccessinitiative.org/read>
- URL2: <http://www.open-access.hu/hunor>
- URL3: <http://www.sciencedirect.com/science/jmlallbooks/all/open-access>
- URL4: <http://www.mb.vu.lt/en/news/scholarly-communication/lists-open-access-journals-indexed-web-science-and-scopus>
- URL5: <https://awayofhappening.wordpress.com/2015/11/27/web-of-science-scopus-and-open-access-what-they-are-doing-right-and-what-they-are-doing-wrong/>



TUDOMÁNY – HIEDELEM – HIT

Czvikovszky Tibor

nem akadémikus közgyűlési képviselő, MTA VI. Műszaki osztály
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimertechnika Tanszék
czvikovszky@pt.bme.hu

Akadémiánk 2016. évi közgyűlésén a tudományos előadások sorát Csányi Vilmos akadémikus előadása nyitotta meg *Etológia, ember, társadalom* címmel. Érdekességként az előadó azzal kezdte, hogy a hazai tudományosság e legmagasabb fórumán ez az első előadás a viselkedéstudományról (Csányi, 2016).

Csányi professzor remekül bemutatta, hogy az állatok viselkedésének változása saját közösségükben – és különösen az ember közelében – sokat elárul a kapcsolatteremtés, a kommunikáció, az emberi beszéd és psziché evolúciójáról. Az emberhez leginkább hozzászkelődött háziállat, a kutya modelljén keresztül sokat megtudhatunk a reflex, az érzelmi reakció, a válaszadás, a „következtetés” – így végső soron a gondolkodás kezdeti lépéseinek mechanizmusáról. A velünk együtt örülni, szomorkodni, sőt: vigasztalni is képes hűséges kutya reakcióiból azonban nem következik, hogy az állat gondolkodni is képes, vagy, hogy *lelke* is van. Ez már a hiedelmek kategóriája. Valójában azonban *maga a tudomány is hiedelem*: kezdetben még alig bizonyított összefüggést, tézist feltételez, amit aztán a közösség az adott tudós korábbi munkásságának hitelessége nyomán (esetleg ideiglenesen) elfogad, (munkahipotézisként) meghitelez.

Csányi akadémikus e tézisére a műszaki osztály sorai között ülők között többen felzisszentünk: *a tudomány – hiedelem?*

A *hiedelem* szónak a tudomány felől nézve csökkent értéke van. Az időjárásra, a természethozamra vonatkozó népi hiedelmeket még emlegetjük, de a mai meteorológia műholdas eszközei, számítógépes technikái már rég túljutottak ezeken. Isaac Newton „forradalmi” tézisei a bolygók mozgásáról annak idején még alig voltak bizonyíthatók, de ezért hiedelemnek minősíteni őket méltatlan volna még akkor is, ha a gravitáció „hullámos” természetéről még napjainkban is egyre újabb adatokat hallunk. Niels Bohr posztulátumai az atommag és az elektronehéjak viszonyáról még valóban bizonyítatlanok voltak megjelenségük idején, és azután is sokszoros korrekcióra szorultak, de sokat segítettek a kvantumelmélet elindulásában.

Mondhatnánk okoskodva, hogy az előremutató tanokat a tévtanoktól csak utólag tudjuk igazán megkülönböztetni. A természettudományokban és a műszaki tudományokban azonban sosem volt igazán nehéz a tudományt elválasztani az áltudománytól. Beck Mihály akadémikus ebbéli érdemeiért is kapta idén a legmagasabb akadémiai kitüntetést, az aranyérmeket (Beck, 1978). Talán ezért is van határozottan kijelölt területe, értelmezési tartománya a *scientiának*, a *science*-nak a mi civilizációnkban. Európa hagyományos egyetemein, például a nyolcszáz éves párizsi egyetemen a *Faculté des Sciences* mindig is a

természettudományt ölelte fel. Ezt a struktúrát őrzi mai akadémiánk hármasszervezet is: természettudományok, élettudományok, társadalomtudományok. A természettudományok területén gyökerezett meg legerősebben Auguste Comte pozitivizmusa is, aminek Marie Curie volt az egyik jeles képviselője. A bizonyíthatóságra támaszkodó pozitivizmus kiterjedt a többi tudományágra is, és – nem véletlenül – áltudománynak tekintette a marxi történelemfelfogást és a freudi pszichanalízist is (sz. n.: Britannica Hungarica, 1998).

A hiedelmeket nyelvünkben súlyosan megkülönböztetjük a tudástól, sőt: a hittől is. Az antik korok hiedelmei a világ keletkezéséről, a világot irányító titokzatos, misztikus tényezőkről bizonyára hozzájárultak az ember absztrakciós készségének fejlődéséhez, sőt, a ma is működő nagy világvallások fejlődéséhez is, de azt például, hogy a mai magyar kereszténység egy ázsiai magyar ősvallás folytatása, egyenes következménye lenne – nos, ezt a legtöbben megmosolyogató hiedelemnek vélik. A hittudomány viszont helyet kért és kapott a tudományok között, rendszerének, történetiségének, társadalomformáló karakterének kibontakoztatásával.

Miért lenne a tudomány ma is a hiedelem kategóriájába sorolható? – hökkent meg a mérnök, de az orvos, a természettudós, a történész, a közgazdász is. A rendszerszemléletű kutatónak ez idegen még akkor is, ha a tudományfilozófia néhány képviselője, mint például Thomas Kuhn bizonytalanságokat, gyakran forradalmi módon *változó* mintákat, *paradigmákat* lát a tudományok fejlődésében (sz. n.: Britannica Hungarica, 1998). Az egzakt matematikát, fizikát, kémiát, de az ergonómiát is naponta sikerrel alkalmazó műszaki szakember bizonyíthatatlan hiedelmek alapján nem alkothatta volna meg, és nem működ-

tethetné biztonsággal a legolcsóbb energiát előállító atomreaktort, vagy nem alkalmazhatná az ugyancsak veszélyes polimerizációs láncreakciókat, hogy azzal hazánkban évenként egymillió tonnánál is több mesterséges szerkezeti anyagot gyártson. És mit tehetnénk a modern világ egészére kiterjedő információs technológiákkal, ha azok nem a szigorúan bizonyított tudomány rendszerén, hanem hiedelmeken alapulnának? Működtethetnénk-e robotpilótát repülőinken, a vezető nélküli metrónkban vagy előbb-utóbb mindennapi autóinkban is, ahogyan azt az akadémiai közgyűlés éppen soron következő előadásai bemutatták? (Bokor et al., 2016)

A hiedelmek pejoratív, aggasztó, sőt félelmetes fellege talán éppen itt jelenik meg: a tudomány mai társadalmi megítélésében, főleg a kiszámíthatatlan jövőt illető rettegéseinkben. Kell-e nekünk újabb atomreaktor? Mit tegyünk a műanyag hulladékkal? Elidegenít-e a számítógép? Egyáltalán: nem éppen a tudomány és a technika okozza-e globalizált világunk legtöbb ellentmondását, a felmelegedéstől a vízhiányig, a népvándorlástól a civilizációk összecsapásáig? Fenntartható fejlődés áll-e előttünk, vagy feltartóztatlan visszafejlődés fenyeget?

A mérnök válasza a Műegyetem gépészmérnök hallgatójaként indult és a Nobel-díjig jutott Gábor Dénesé: a jövőt nem lehet megjósolni, azt fel kell találni! Tegyük még hozzá: *és hinni is kell benne!*

Idáig jutottam töprengéseimben, amikor félig emésztett gondolatsorom szerencsésen eljutott Csányi akadémikushoz, aki szűkszavúan ezt válaszolta: „Tibor! Azt hiszem, a definíciókkal van baj. Ajánlom új humánetológiai könyvem, az *Íme az ember* első fejezetét, amelyben részletesen körbejáróm a hiedelem fogalmát.” (Csányi, 2015)

Elofvastam. És kezdtem pedzeni a tézist, amely tehát már rég nem az állatviselkedésről, hanem a humánétológiáról, az emberi természetről, a gondolat természetéről, a gondolkodás mechanizmusáról szól. Az emberről, aki ebben a felfogásban *hiedelmeket készít* állat. (Ez a húszoldalas bevezető fejezet címe.) Az emberi közösségeket hiedelmek tartják össze. Eszerint a természettudomány maga is hiedelemrendszer. A tudomány mint módszer csak arra alkalmas, hogy megállapítsa: ha valamely hiedelem előírásai szerint járunk el, akkor valóban az történik, amit a hiedelem jósol (Csányi, 2015, 30.). „Hangsúlyoznom kell, – írja Csányi professzor – hogy a tudomány nem igazságokat bizonyít, hanem a hiedelmeken alapuló eljárások hasznosságát, megismételhetőségét. Az emberi közösségek hiedelemrendszerei eleve a világ megismerését szolgálták, és azt teszik ma is. Az állati elme az egyed börtönébe zárva csak a saját tapasztalatai alapján képes a világ megismerésére. Az ember a nyelv segítségével gondolatokat, hiedelmeket kommunikál, és ezek saját tapasztalatainál nagyságrendekkel bővebb forrásként szolgálnak a világról szerethető ismereteknek, mivel tartalmazzák a közösség, sőt az ősök hiedelmekben kifejezett tapasztalatait is. Ezzel a képességünkkel hódítottuk meg a bolygót, és lehet, hogy ennek a képességnek a negatív hatásai miatt fogjuk majd tönkretenni.” (Csányi, 2015, 31.)

Nos, ez a hiedelem definíciójára elég részletes kibontásnak tűnik. Természetesen az adott tudományterület elismert művelőjének szíve joga, hogy akár a korábbiaktól eltérő definíciót adjon az általa kulcsfontosságúnak ítélt jelenségre, fogalomra. Csak azt érzem kockázatosnak, ha ezt a hiedelemdefiníciót minden tudományra kiterjesztjük. A tudományosságunk, Akadémiánk társadalmi el-

fogadottságának, tekintélyének ez biztosan nem tesz jót. A tudományt a legtöbben objektív, a megfigyelőtől független törvények rendszerének tekintjük, amelyben benne van a megkülönböztetés kötelezettsége is. Meg lehet és kell különböztetni a bizonyíthatót a bizonytalantól, a valóságot a látszólagostól, a tényt a hiedelemtől. A természettudomány a kísérletileg bizonyíthatót, a megfigyelőtől független összefüggést fogadja el törvényként. Ez a rendszerbe foglalt tudásanyag is változhat, főleg: bővíthet, de ez kell hogy legyen az alapja jövő társadalmának. A tudásalapú társadalom pedig a *techné*, a valós, objektív szakértelem műszaki tudományában és technológiai megoldásaiban nyújtja egyre bővülő forrását az emberi igények kielégítésének.

A fentiekből az is következik, hogy még nagyobb a károsító kockázata ennek a tudományértelmezésnek a tanuló ifjúság körében. Ha tudományunk csak pillanatnyilag elfogadott hiedelemrendszer, akkor érdemel-e ekkora erőfeszítést egy érettségi, egy nagy fáradsággal megszerzett orvosi, mérnöki vagy más, természettudományos diploma? Indokolt-e tudományos kutatói pályára csábítani a legtehetségesebbeket?

És amitől még ennél is jobban félhetünk: mi lesz ebből a mi – ezidáig sikeres – civilizációnkból, ha közösségi és társas kapcsolatainkat is csak múltra ítélt hiedelmeknek tekintjük: a hűséget, a hitet, s akár a szülőföldhöz, a hazához kötődést is?

A tudomány, sőt az egész emberi civilizáció legnagyobb dilemmája talán az: felfogtuk-e, megértettük-e az embert körülvevő természet működésének objektív törvényszerűségeit, egyensúlyának feltételeit, és alkalmazkodunk-e ezekhez? Ha tudásunk minderről csak a hiedelmek szintjén marad, akkor elbizakodottságunk és önzésünk visszafordít-

hatatlan károkat okozhat ebben a környezetben.

Talán érdemes lenne újra megvitatni, összehangolni a magyar tudomány fórumain magáról a tudományról, a tudás társadalmáról alkotott elképzeléseinket.

2016. május–június

Utóirat

Ez év májusában megfogalmazott „töprengéseim” talán már tisztábban értelmezhetők most, hogy Csányi professzor úr előadása írásos formában megjelent a *Magyar Tudomány* decemberi számában (Csányi, 2016).

„...amint elménk... felfog valamit a világból, [...] az érzékek közvetítette tapasztalatot azonnal egy gondolati burokba csomagolja. A valóság tényei, és a gondolati burok, valamint annak nyelvi átfordítása együttesét hiedelemnek nevezzük, definitív értelemben.” „A hiedelmek segítségével nagy, összefüggő, funkcionálisan összekapcsolt rendszereket is fel lehet építeni... matematikát, tudományokat...”

A cikk záró bekezdését egyenesen nekem szólónak éreztem:

„Vannak olyan rendszereink, amelyek segítenek eligazodni a hiedelemvilágban. A természettudományok olyan módszereket fejlesztettek ki, amelyek a hiedelmek gondolati burkát folyamatosan igyekeznek a megismert tényekhez

igazítani. A tudomány maga is egy hiedelemrendszer. Minden tudományos hipotézis, elmélet, modell hiedelem, de a tudomány csak akkor fogadja el a hiedelmek legális kommunikációját, ha ezek folyamatosan szembesülnek a kísérletek, megfigyelések során megismert tényekkel...”

Nos, a műszaki és természettudományok gyakorlati munkára fogott tényszerű törvényei az én szememben jóval túlléptek a hipotézisek, a modellek, a hiedelmek világán. Az én szememben a mérnöki tudományok, maga az *engineering*, a (latin) *ingenium*, a találékonyság, a kreativitás, az emberi alkotókészség kipróbált bizonyítékai. Hogy a mérnöki anyagtudomány is ide, a *science* világába tartozik – amelyben a szó latin töve, a *scire* még a megkülönböztetés bölcsességét is magába foglalja –, lehet, hogy csak az én sajátos hiedelemem.

2016. december 13.

A megszólított szerző viszontválasza

Ismétlés a tudás kedves mamája! Kérem, olvassák el még egyszer a kiváló mérnökprofesszor utóiratát.

Csányi Vilmos

Kulcsszavak: tudomány, hit, hiedelem, viselkedéstudomány, áltudomány, tudományfilozófia

IRODALOM

- Beck Mihály (1978): *Tudomány – áltudomány*. Budapest: Akadémiai Kiadó
 Bokor József – Palkovics László – Kössler, Peter: Inteligens járművek: a fedélzeti irányítórendszerektől a teljes autonómiáig. Előadás az MTA közgyűlésén, 2016. május 3. • <http://tinyurl.com/hv4r58b>

- Csányi Vilmos (2015): *Íme az ember*. Bp., Libri Kiadó
 Csányi Vilmos (2016): *Etológia, ember, társadalom*. Előadás az MTA közgyűlésén, 2016. május 3. *Magyar Tudomány*. 177, 12. • <http://tinyurl.com/zd6o9lc>
 sz[erző] n[élkül] (1998): *Tudományfilozófia*. In: *Britannica Hungarica világciklopédia*. (szerk. Halász Zoltán et al.) 18. köt., 134. Bp., Magyar Világ Kiadó

Interjú

ÚJ NÖVÉNYNEMESÍTÉSI ELJÁRÁSOK – GMO VAGY NEM GMO?*

Új növénynemesítési módszerek – szabályozzuk, vagy ne szabályozzuk? – ezzel a címmel szervezett nemzetközi konferenciát az MTA Agrártudományi Kutatóközpontja az Akadémián. A kérdés megvitatását az tette aktuálissá, hogy az utóbbi években számos új módszer született a genetikában, amelyekkel pontosabban, célzottabban lehet a növények (és az állatok) genetikai állományát megváltoztatni. Az így létrejövő végeredmény (az eredeti meghatározás szerint) nem tekinthető GMO-nak, mert természetes úton is létrejöhetett volna, csak éppen sokkal lassabban, irányíthatatlanul és kiszámíthatatlanabban.

Az ilyen módszerekkel nemesített növény nem szükségszerűen tartalmaz olyan genetikai információt, amely inkompatibilis élőlényektől származik (bár ilyen gének beépítése is módot adnak az említett módszerek). A konferencián hangsúlyozták, hogy új szabályozásra lenne szükség: célszerű lenne, ha egy növényről nem a nemesítési módszer alapján kellene eldönteni, hogy GMO-e (vagyis az uniós GMO-szabályozás alá esik), hanem a végeredmény, a növény tulajdonságai alapján. Többen hangsúlyozták azt is, hogy az egyre növekvő létszámú emberiség

élelmiszerellátását csak ezekkel az új géntechnológiai módszerekkel, az ilyen módon létrehozott növényekkel és állatokkal lehet majd biztonságosan megoldani.

A konferencia alapvető célja annak megbeszélése volt, hogy hogyan kellene a szabályozást újragondolni. Ennek alátámasztására számos, az új genomszerkesztési módszerekkel elért, komoly tudományos eredményt mutattak be. Ilyen volt például az edinburgh-i kutatók munkája, akik a CRISPR/Cas9 genomszerkesztési eljárással kivágták a fehérrepa génjéből azt a szakaszt, amelyik a növényt megfertőző egyes vírusok életciklusához szükséges fehérjét kódolja, ilyen módon a növényeket száz százalékosan ellenállóvá tudták tenni ezekkel a vírusokkal szemben. Az új génszerkesztési eljárásokat már a háziállatoknál is elkezdték alkalmazni, magyar kutatók nyulaknál kivágták azt a gént, amelyik az emlősök izomnövekedését korlátozó miosztatin termelődését szabályozza, ilyen módon sikerült a nyulak hústermelését megnövelni. (Ennek fontosságát jól mutatja, hogy világszerte évi 1,2 milliárd nyulat tenyésztenek a húráért.) Ezekhez a változtatásokhoz egyik esetben sem kellett valamilyen idegen gént bejuttatni a növénybe vagy az állatba. A konferencián bemutattak olyan eljárásokat is, ame-

lyek a hagyományosan használt mutációt előidéző módszerek (besugárzás, vegyszerek) helyett használhatók, és amelyek nem véletlenszerűen, hanem egy pontosan kiválasztott génnél idézik elő a változást.

A konferencián **Dudits Dénessel**, a Szegei Biológiai Központ professzorával és **Joachim Schiemannal**, a német Julius-Institut Biosafety in Plant Biotechnology Intézetének vezetőjével beszélgetett Egyed László.

Egyed László: *Miért most hívták össze, és miért éppen önök a témával foglalkozó európai kutatókat?*

Dudits Dénes: Mert egyértelműen látszik: ez a precíziós genomszerkesztési technológia olyan tempóban fejlődik, hogy az Magyarországot is szinte biztosan érinteni fogja. Látjuk azt is, hogy van egy ellentmondás az unióban érvényes, és a világ többi részén működő – például az amerikai – szabályozási rendszer között, és úgy gondoltuk, szükség van arra, hogy Magyarországon is elinduljon egy sokkal inkább a tudományra alapozott beszélgetés arról, hogy ez az új technológia lényegében hová visz, hogyan illeszthető be a hagyományos nemesítés módszerei közé. Sokkal könnyebben tudnánk akár a politikusokkal, akár a közvéleménnyel elfogadtatni ezeket az új technológiákat, ha azok ismernék ezeket az új eljárásoknak és az így születő új „termékeknek” a lényegét.

Az egyik előadásban az előadó húzott egy határvonalat a korábbi géntechnológiai módszerek és a jelenlegiek között, mert véleménye szerint ezek az új genomszerkesztési módszerek sokkal pontosabbak, célzottabbak a korábbiaknál, és ráadásul az eredményül kapott növény olyan értelemben nem GMO,

hogy többnyire semmi olyan változás nem történik a génállományában, ami a hagyományos nemesítés során vagy akár valamilyen természetes folyamat, például egy véletlen mutáció során ne jöhetett volna létre.

Éppen ezért fontos az a vita, amelyik ekörül folyik, nevezetesen, hogy mi teszi a növényt GMO-vá: a módszer, amellyel nemesítették, vagy a végeredmény, az új növény tulajdonságai? Szerintem az utóbbiakat kell meghatározni, függetlenül attól, hogy milyen módszerrel hozták létre ezt az új növényt.

Egyáltalán, az új eljárásokkal nemesített növényekről meg lehet állapítani, hogy milyen módszerrel történt a nemesítésük, átalakításuk?

Az ilyen, úgynevezett genomszerkesztési módszerrel nemesített növényeket nyugodtan irányított mutánsoknak lehet hívni, a folyamatot irányított mutagenézisnek, hiszen a keletkező mutációk jelentős része megtalálható a természetben is. Lényegében a természetben meglévő molekuláris folyamatokra alapított új módszerekről van szó, amelyek alapvetően irányítottan, célzottan egy kiválasztott génben egy adott nukleotidcserét – mutációt – eredményeznek, nagyon nagy pontossággal. Egyébként ma is állandóan genetikailag módosított növényekből és állatokból származó élelmiszereket fogyasztunk, akkor is, amikor a korábbi technológiákkal nemesített növényekből vagy állatokból származik az élelmiszerünk.

Ezeket az új genomszerkesztési eljárásokat nemcsak a növénynemesítésben, hanem az állattenyésztésben is alkalmazzák. Az egyik előadásban elhangzott, hogy sertésnél sikerült megtalálni egy olyan génszakaszt, amely egy súlyos sertésbetegséget okozó vírus behatolását

* Fordította Egyed László.

lehetővé tevő fehérjét kódol, és ezt kivágva a sertések gyakorlatilag száz százalékban ellenállóvá váltak ezzel a fertőzéssel szemben. Ennek a vírusbetegségnek a következtében körülbelül annyi sertés pusztul el világszerte, amennyi hiányzik ahhoz, hogy a teljes emberiséget ellássuk sertéshússal.

Így van. Egyébként az állati genom szerkesztésének eredményei már sokkal közelebb vannak a gyakorlati bevezetéshez, mint a növényeknél. Valószínűleg azért, mert a növénykutatásokat nagyon-nagyon hátráltatta és hátráltatja jelenleg is a GMO-vita.

Persze ez a sertés is GMO!

Hát igen, csak ez a sertés nem kerül ki a természetbe, nem poroz be más élőlényeket. És hát sajnos az az igazság, hogy ma nagyon nehéz tehetséges fiatal kutatókat találni a növénybiológiai kutatásokhoz, éppen emiatt. Sokat segítene, ha a politika és a közvélemény is elfogadná annak a lehetőségét, hogy legalább kipróbálhassa a magyar gazda is ezeket a növényeket. Biztos volna előnye annak, ha lenne olyan elzárt kísérleti parcellákból álló bemutató terület, egy géntechnológiai tenyészkert, ahova a gazdák odamehetnének, és megnézhetnék, hogy miről is van szó.

Mit lehet tenni?

Ez sziszifuszi munka, nekünk, kutatóknak kell az ismereteket folyamatosan átadni, terjeszteni, a tudomány tényeit folyamatosan a közvélemény elé tárni. És ebben szerintem az Akadémiának is nagy szerepe lehetne, mint ahogy például a francia akadémia már nyilatkozott arról, hogy a genomszerkesztési módszerekkel előállított termékek nem tekinthetők GMO-nak, és nem esnek az ezekre vonatkozó szabályozás alá. Jó lenne, ha az MTA

is megfogalmazna egy egységes állásfoglalást ebben a kérdésben – bár tudom, a vélemények itt is megoszlanak.

Miben hoztak újat ezek a legújabb genomszerkesztési eljárások a korábbi géntechnológiai módszerekhez képest? Ha jól értem, korábban beillesztettek a genetikai állományba két-három gént, azok beépültek, most pedig egy precíziós „ollóval” elkezdik a géneket szabdalni, igazítani, esetleg szakaszokat kivágni. Mennyivel jobb ez a korábbinál?

Annyival jobb, hogy tervezhető az egész folyamat, és tervezhető a végeredmény. Tehát itt az ember már előre tudja az informatikai adatok feldolgozása alapján, hogy mit várhat, mi lesz az eredmény, és ez hogyan jelentkezik majd a növény tulajdonságaiban. Az első kísérletekben gyomirtónak ellenálló növényeket állítottak elő, mert itt könnyen ellenőrizhető a változás, könnyen kiválogathatók a megváltozott tulajdonságú növények. De már biztosan készülnek azok a növények, amelyek szárazságtűrők, vagy például amelyeknél megnövelik a mag méretét. Mi is dolgozunk egy olyan gén elcsendesítésén, kikapcsolásán vagy mutáltatásán, amelyik a mag méretét határozza meg a gabonaféléknél. Szerintem nincs olyan pozitív gazdasági, agronómiai, környezetvédelmi, vagy éppen egészségügyi hatású tulajdonság, amelyet ezzel a technológiával nem próbálnak majd befolyásolni. És ezekkel az eljárásokkal nemcsak szerkeszteni tudjuk a géneket, hanem fel is tudjuk térképezni azokat.

Lesz áttörés?

Már megvan.

Nem a tudományban, hanem a társadalom hozzáállásában!

Ha nem bízna ebben, akkor nem csinálnám. Meg vagyok győződve arról, hogy az emberek előbb-utóbb be fogják látni, hogy szükség van ezekre a technológiai fejlesztésekre, és szerintem (bár most talán még utópisztikusnak tűnik, de ha az Európai Unió engedélyezi azokat a növényeket – egyébként ezek elvileg GMO-k –, amelyek a magyar gazda számára fontosak) a gazdák át fogják gondolni a dolgot. A magyar gazdának például nagyon nagy szüksége lenne kukoricabogárnak ellenálló hibridekre. Évente négymilliárd forintot permeteznek ki a gazdák a kukoricabogár elleni védekezésül. Szerintem, ha elérhető lesz az akár génszerkesztéssel, akár hagyományos GM-technológiával a kukoricabogárral szemben ellenállóvá tett növény – ez utóbbiak megvannak, ezeket Amerikában termesztik, és az európai engedélyezési folyamatban benne vannak –, akkor a magyar gazda is végig fogja gondolni, hogy inkább nem permetez, hanem használja ezeket a hibrideket. A másik a szárazságtűrés. A klímaváltozás rengeteg problémát vetít előre, amire fel kell készülni. Ezért szükségünk van olyan növényekre, amelyek jobban hasznosítják a vizet, jobban bírják a száraz periódusokat, így kevesebb a termés kiesés. A harmadik a *Phytophthora* gombának ellenálló burgonya. Egy gazda hat-hét alkalommal permetez a burgonyavész ellen. Ezt meg lehetne spórolni. És nem kockáztatná az egészségüket és szennyeznék a környezetet a permetezéssel kijuttatott vegyszerrel. Úgy gondolom, hogy ez az a három olyan termék, amelyik gyakorlatilag már a fejlesztés, és az Unióban a végső engedélyezés fázisánál tart, amelyik a magyar gazdának is fontos. Szerintem előbb-utóbb ők jelentkeznek majd, hogy ezeket ki akarják próbálni.

*

Egyed László: *Amikor a genetikailag módosított növények feltűntek, nagy tiltakozás volt velük kapcsolatban, mert olyan gének jelentek meg bennük, amelyek másképpen nem kerülhettek volna oda, és a környezetvédők szerint ezek bizonyos veszélyt, kockázatot hordoztak. Az új genomszerkesztési technológiák viszont, amelyek során nem juttatnak be idegen géneket, hanem a meglévőket szerkesztik, változtatják meg, sokkal közelebb állnak ahhoz, ami a természetben is végbement az evolúció során. Így azután elmosódik a GMO-k és a más módszerekkel nemesített növények közötti határ.*

Joachim Schiemann: A GMO-technikán belül is volt egy sor különböző alkalmazás. Ki lehetett ütni géneket, új géneket lehetett beépíteni, ezek különböző származású gének lehettek, lehettek olyanok, amelyek a hagyományos nemesítés során is bekerülhettek volna, de például olyanok is, amelyek más módszerrel nem kerülhettek volna be a növénybe. A nyilvános vitákban azonban azokra a génekre koncentráltak, amelyek idegen forrásból származtak. Viszont az új – vagy pontosabban újabb – eljárások, mint a genomszerkesztés, mindössze kiszélesítik és folytatják azt a nemesítési gyakorlatot, amelyet tízezer évvel ezelőtt kezdett az emberiség, csak a pontosság és a hatékonyság nőtt rendkívüli mértékben a korábbi eljárásokhoz képest.

Egyébként a korábbi hagyományos géntechnológiai módszerekkel előállított növényeknél észleltek egyáltalán valamilyen káros hatást, veszélyt? Tehát az idegen gének hordoznak valamilyen kockázatot?

Nem, közlemények százaiban írták le világosan, hogy a nemesített növények használata

mindig biztonságosnak bizonyult, akár a hagyományos növénynemesítésről beszélünk, akár a (sugárzással vagy vegyszerekkel előidézett) mutációs nemesítésről. Ugyanez igaz a GM-eljárásra, illetve a legújabb eljárásokra is, tehát hagyománya van a biztonságos használatnak. Ugyanakkor a pontosság nő az új eljárások esetében, és minden olyan lehetséges kockázat, amelyről a vita folyt (bár soha nem jelentkezett), kiiktatható ezekkel az új módszerekkel.

Hogyan kellene megváltoztatni a jelenlegi szabályozást?

Hosszú távon megváltozhat az irány, a kockázattertelést és a szabályozást elsősorban a létrejövő végeredményre kell irányítani, a fenotípusra, az új tulajdonságokra, és nem azokra az eljárásokra, amelyekkel ezeket létrehoztuk. Szerintem ez már ma is, a jelenlegi szabályozás esetében is így van, ez is részben az eljárásokon, részben a végeredményen alapul, csak éppen hosszú ideje félreértelmezik. Sokkal kiterjedtebb kockázattertelésre van szükség, de ezt a kockázattertelést esetről esetre el kell végezni, és mint mondtam, elsősorban a végeredményre kell koncentrálni, és nem az eljárásra, amely ezt az eredményt hozta. Nagyon elszomorítanak az utóbbi évek fejleményei. Kezdetben nagyon hasznos a kockázatok végiggondolása, a megfelelő elővigyázatosságra figyelni, amikor az ember elkezd egy új technológiát használni, de most már sok ezer vagy akár sok millió adat áll rendelkezésünkre, sok ezer közlemény, amelyek mögött a kutatásokat az adófizetők finanszírozták, és minden adat azt mutatja, hogy a GM-eljárással nem jár semmi olyan kockázat, ami nagyobb lenne, mint a hagyományos eljárások esetében, amelyekkel a növények genetikai állományát megváltoztat-

juk, mint például a hagyományos nemesítés vagy a mutációk előidézése hagyományos módszerekkel. Ezeket az adatokat azonban csaknem teljes egészében figyelmen kívül hagyják a nyilvános vitákban. Teljesen másféle nyilvános vitákra van szükség, a tények megismerésére és elfogadására, és nemcsak a kockázatokra kellene megvitatni, hanem a hasznokra is, amit ezek az eljárások és az ezekkel létrehozott növények hozhatnak.

Mit gondol, hogyan lehetne megváltoztatni a GMO-kal kapcsolatos hozzáállást?

Az én közelítem, hogy a kutatásoknak folyamatosan átláthatóknak kell lenniük, és a kutatóknak részt kell venniük számos nyilvános vitában. Szeretném rávenni tudós kollégáimat, hogy tegyenek erőfeszítéseket, és áldozzanak időt arra, hogy megvitassák a kérdést a politikusokkal és a mindennapi emberekkel, mindezt objektív és átlátható módon. Számos globális kihívással kell szembenéznünk a közeljövőben, és ezeket csak akkor tudjuk kezelni, ha tökéletesítjük a növény-nemesítést, ehhez viszont egy olyan „szerszámkészletre” van szükségünk, amelyben sokféle eljárás található, amit mind tudunk használni, és nem szabad közülük egyet sem kizárni politikai vagy ideológiai okokból. A biztonságos és fenntartható használatból kell kiindulni ezeknél az eljárásoknál, de például a genomszerkesztési eljárások ahhoz is nagyon hasznosak lehetnének, hogy megoldjunk egy sor problémát az organikus termesztéshez. Nagyon szeretném lebontani azt a falat, ami az organikus mezőgazdaság és a genomszerkesztés között van. Mindenképpen át kell gondolnunk, hogy milyen problémáink vannak, és hogyan tudjuk ezeket megoldani ennek a nagy, egy sor különböző eljárást tartalmazó szerszámkészletnek a segítségével.

Előadásában a proteszt ipar kifejezést használta. Ön szerint a tiltakozások mögött olyan szándék is húzódik, hogy a tiltakozók pénzt akarnak szerezni a tevékenységükhöz?

Természetesen egy sor különböző motiváció húzódik meg a tiltakozások mögött, és természetesen a proteszt ipar kifejezés leegyszerűsítő. De a nyilvános vitákban az embernek bizonyos mértékig provokatívnak kell lennie ahhoz, hogy eljuttassa az üzenetét. Sajnos a GMO-kat és az új technológiákat is ellenzők

Egy kis tudomány

Azok számára, akiket kicsit mélyebben is érdekelnek a részletek, Dudits Dénes így foglalta össze az új genomszerkesztési módszerek lényegét:

Ezek segítségével célzottan elő lehet idézni egy meghatározott gén mutációját, vagy egy adott helyen egy meghatározott génszakaszt be lehet építeni vagy ki lehet vágni. Ennek fontos feltétele, hogy egy kiválasztott helyen történjen meg a DNS-szálak hasítása, majd amikor a sejt hibajavító enzimeit működésbe lépnek, akkor alakul ki a megtervezett új DNS-szekvencia. Valamennyi módszer esetében az elsődleges követelmény a megcélzott DNS-régió felismerése, ahová a DNS hasítását végző nukleáz enzimet mint molekuláris ollót oda kell szállítani.

Két szerkesztési technológia esetén precízen megtervezett fehérjék biztosítják a célpont megtalálását. A cink-ujj fehérje elemek képesek felismerni és kapcsolódni három bázispárnál DNS-szakaszhoz. Több ilyen ujj-motívumot tartalmazó fehérjét össze lehet kapcsolni a hasító enzimmel (FokI). Alternatív megoldásként a nukleáz (hasító) enzimet

egy részének az a célja, hogy adományokat kapjon, és ezek segítségével új tevékenységeket finanszírozzon. Nagyon szomorú vagyok emiatt a helyzet miatt, és voltak arra példák, hogy a Greenpeace korábbi tagjai úgy döntöttek, hogy otthagyják a szervezetet emiatt a hozzáállás miatt. Van számos jó célja is a szervezetnek, de az, hogy arra koncentráljon, hogy megakadályozzák az új nemesítési eljárásokat, nagyon szomorú dolog, és ebben egyáltalán nem értek egyet a Greenpeace-szel, és ezért használom a *proteszt ipar* kifejezést.

az ún. TALE-fehérje motívumok segítségével juttathatjuk el a célzott DNS-szekvenciához. Közös jellemzőjük a TALE-fehérjéknek, hogy nagymértékben konzervált középső régióval rendelkeznek, amelyben 34 aminosavból álló szakaszok ismétlődnek. Ezek a szerkezeti egységek, ismétlődések egy-egy nukleotid megkötéséért felelősek, attól függően, hogy a 12. és 13. helyen milyen aminosavak találhatók. Például az aszparagin-glicin (NG) páros a timint (T); a hisztidin-aszparaginsav (HD) páros a citozint (C); az aszparagin-izoleucin (NI) páros az adenint (A); az aszparagin-aszparagin (NN) páros a guanint (G) vagy adenint (A) ismerik fel. Ha ismert bázissorrendű szakaszt akarunk megcélolni, akkor megtervezhető a fehérje szerkezete, illetve az azt kódoló gén, ami biztosítja a fehérje szintézisét. A TALE-technológia esetében is a FokI nukleáz végzi a DNS hasítását.

Alapvetően más koncepciót követ a CRISPR/Cas9 genomszerkesztési eljárás, amikor egy száz nukleotidból álló vezető RNS és a hozzá kapcsolódó Cas9 nukleáz biztosítja a cél DNS-szekvencia felismerését, illetve hasítását. A vezető RNS egyrészt a hús nukleotid nagyságú, a cél DNS-szakasszal kom-

lémenter crRNS-molekulából, illetve az azzal kölcsönható váz tracrNS-ből áll, az utóbbi elősegíti a Cas9 fehérje célbajuttatását és a DNS-szálak hasítását. Természetesen mind az vezető RNS-, mind a nukleáz sejtekben történő szintézisét biztosítani kell. Ezt meg lehet valósítani transzgenikus technológiával, amikor a beépített génről szintetizálódik a vezető RNS-, illetve a nukleáz fehérje. Kiemelt figyelmet érdemel, hogy lehetséges a sejten kívül, *in vitro* is előállítani ezeket a molekulákat, majd például mikroinjektálással vinni be a sejtekbe. A kettős szálú DNS-törések kijavítása történhet mintaszekvenca jelenlétében, homológ rekombinációval. A nem homológ végillesztés alkalmas ad DNS-darab kivágására vagy beillesztésére.

Az irányított mutagenézis egyik lehetősége, hogy mesterségesen szintetizált DNS-molekulát (30-10 nukleotid nagyságú) jutattunk a sejtekbe. A DNS megduplázódásakor ezek az ún. *oligonukleotidok* felismerik a célszekvenciát, hozzákapcsolódnak, és DNS-törést okoznak. Ezeket a sejtek hibajavító enzimeai felismerik, és a javítás során már az oligonukleotid szekvenciája alapján alakul ki a gén szerkezete. Így tervezhetően alakítható egy adott gén DNS-szekvenciája, ami aminosav-cserét eredményezhet a fehérjében. Ezzel a fehérje úgy alakítható, hogy a szervezet tulajdonságai a kívánt irányba módosuljanak.

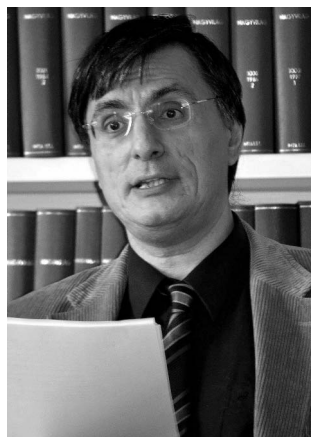
Kulcsszavak: *genomszerkesztés, GMO, növény-nemesítés, élelmiszer-termesztés*



Az MTA új levelező tagjainak bemutatása

KEDVES OLVASÓINK!

Idén ismét új tagokat választott soraiba a Magyar Tudományos Akadémia. A *Magyar Tudományban* – korábbi szokásunkhoz híven – most is bemutatjuk az MTA új levelező tagjait. Kérdéseket kínáltunk nekik, s bízunk benne, hogy válaszaik segítségével többet is megtudhat róluk az olvasó, mint az MTA honlapján található, igen fontos szakmai tényeket. Reméljük, hogy ezek az önvallomások a sikeres tudósok szakmai életrajzokban nem olvasható arcát is megmutatják.



KECSKEMÉTI GÁBOR

Nyelv- és Irodalomtudományok Osztálya

1965-ben született. Az MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont Irodalomtudományi Intézetének igazgatója, a Miskolci Egyetem egyetemi tanára. Szűkebb szakterülete a régi magyar irodalom története. A régiség retorikai megalkotottságának feltárására történeti kommunikációelméleti keretben dolgozott ki, amely lehetőséget ad az irodalmi szövegek és a filozófiai-teológiai eszmék együttes tanulmányozására és az irodalomról való egykorú gondolkodás árnyalt leírására. Műfaj történeti monográfiája (1998) nyomán az általa javasolt szemlélet és módszertan széles körben meghonosodott, következtetéseit a 19–20. századi irodalom elemzéseire is kiterjesztették. Műveit beható tárgyismeret és széles látókörű távlatosság, a nemzetközi irodalomban való naprakészség és szemléleti eredetiség jellemzi. Értékeket szintetizálni képes tudományszervező, a szakmai közélet aktív szereplője. Számos tudományos és felsőoktatási bizottság vezetője vagy tagja, sorozat- és folyóirat-szerkesztő, konferenciaszervező, európai kutatási programok résztvevője.

Ki volt a mestere?

Egyetemi tanulmányaimnak rögtön a kezdetén, szeminaristaként megismerhettem Tarnai Andor professzort, aki akkor került az ELTE Régi Magyar Irodalom Tanszékének az élére. Korábban az MTA Irodalomtudományi Intézetében dolgozott, ahol a XVIII. századi osztályt vezette, azelőtt pedig az Országos Széchényi Könyvtár munkatársa volt. A nemzeti könyvtárnak alig volt olyan XVI., XVII., XVIII. századi kötetes kézírata, amely ne fordult volna meg a kezében. Latinul, németül, franciául olvasott, az európai szakirodalmat is naprakészen követte. A németországi és ausztriai tudományosságban jó személyes és intézményes kapcsolatai voltak, korábban a bécsi egyetemen tanított, a '90-es években pedig néhány évet Berlinben töltött vendégprofesszorként. 1990-ben az MTA levelező tagjává választották. Nagyszerűen tudta orientálni, motiválni, vezetni fiatalabb kollégáit, és ezt nagy alázattal, figyelemmel, az illető emberi személyiségének, habitusának, mentalitásának a problémáira érzékenyen tette. Tudása, távlatos gondolkodása nemcsak szűkebb szakterületem megválasztásában befolyásolt, hanem egész irodalomtudományi szemléletmódomra alapvető hatással volt. Egyetemi tanulmányaim kezdetekor már néhány esztendő óta működött a Tarnai-tanszéken egy olyan kutatási projekt, amelynek tárgya a régi magyar halotti beszédek szövegeinek tanulmányozása volt, elsősorban irodalomszociológiai szempontból. Ez a szempont számomra – egy magyar-történelem szakpárral induló fiatalembernek – különösen vonzónak tűnt, mert részint a szövegek retorikai elemzéséről volt szó, a késő reneszánsz, a kora barokk, az érett barokk szövegformálás jellemzőit felismerve, másrészt pedig

referenciális olvasásról, a régi társadalom rituális rendjének szövegekbe kódolt jelzéseit azonosítva.

Tarnai professzor legendásan szerény személyisége okán szakmai nagyságát kollégái és tanítványai egy része is csak később ismer-te fel – paradigmateremtő munkássága viszont ma is megkerülhetetlen az irodalomtudományban. Egyetemi műhelyének keretein túllépve, személyes tanácsaival, figyelemével, atyai barátságával tüntetett ki, fájdalmasan korai haláláig (1994) minden kérdésemmel, gondom-mal hozzá fordulhattam. Szakmai és emberi bizalmát azóta is igyekszem kiérdemelni.

Mire kíváncsi egy egészen más tudományterület kérdései közül?

Saját tudományterületén mi az a nyitott kérdés, amelyre választ szeretne kapni?

Az irodalomtudomány mellett – kikapcsolódásként – régóta foglalkozom informatikával. Az informatikai rendszerek megértése, karbantartása, fejlesztése egyrészt olyan agytorna számomra, amely gondolkodásomat a humán területekhez képest egészen más – de a szakmámat rendkívül segítő – módon strukturalja. Ugyanakkor gyakorlati hasznát is

látom. Sok év alatt olyan bibliográfiai szoftvert dolgoztam ki, amelyet publikációim elkészítéséhez használok. Ez számomra rengeteg időt takarít meg, emellett tévedhetetlenül pontos adatszolgáltató, mind formai, mind tartalmi értelemben.

Az informatika felhasználása szűkebb szakmámban, az irodalomtudományban is megkerülhetetlen. A hazai digitális textológia sajnos alapos elmaradásban van, nemcsak európai viszonylatban, hanem még a szomszédos országokhoz képest is. Ahhoz, hogy az irodalom- és szövegtudomány igénybe vehesse a szemantikus web által megteremt-hető digitális infrastruktúra lehetőségeit, az szükséges, hogy az informatika, a digitális szövegfeldolgozás szabványait, ajánlásait és technológiáit valamelyest magunk is ismer-jük, így ez az érdeklődésem nagy segítséget jelent ezen a területen. A modern textológia számára az informatika olyan távlatokat nyit, hogy azt gondolom, egyre inkább szükséges lesz az irodalomtudósoknak készülő hallgatók egy részét tudatosan, rendszerszerűen erre (is) kiképezni. Az általam vezetett miskolci irodalomtudományi doktori iskolában már évek óta erre törekszünk.





PÁLES ZSOLT

Matematikai Tudományok Osztálya

Sátoraljaújhelyen született 1956-ban. A Debreceni Egyetem Analízis Tanszékének tanársegédje, egyetemi tanára és a Matematika- és Számítástudományok Doktori Iskolájának vezetője. Szűkebb szakterülete a matematikai analízis és operációkutatás. Eddigi 205 dolgozatában nemzetközi visszhangot kiváltó eredményeket ért el. Egy könyvet, három konferenciakötetet szerkesztett, több rangos konferenciát szervezett. Munkáira eddig több mint ezeröttszáz független hivatkozást kapott. Vezetése mellett heten szereztek PhD-fokozatot. Egyebek között megoldotta több fontos középértékosztály összehasonlítási, homogenitási és jellemzési problémáját. A lineáris kétváltozós függvényegyenletekre olyan általános eljárást talált, amely az ismeretlen függvényekre közönséges differenciálegyenleteket szolgáltat. A függvényiterációt is tartalmazó függvényegyenletek elméletében gyökeresen új, valós függvénytan megközelítésként alapuló módszereket dolgozott ki az ismeretlen függvények regularitásának bizonyítására.

Mi volt az a döntő mozzanat az életében, amely erre a pályára vitte?

Tanulmányaimat a sátoraljaújhelyi Esze Tamás Általános Iskolában kezdtem el, ahol a természettudományokból kiváló tanáraink voltak. Ekkor még egyformán vonzott a csillagászat, a fizika, a kémia és a matematika. A Kossuth Gimnázium fizika tagozatos osztályába vettek fel, ahol meghatározó tanárregényiségek tanítottak, matematikából Karsay Sándorné, fizikából pedig Horváth Lajos. Az Arany Dániel Matematikai Tanulmányversenyen első osztályosan elért dicséret után tanáraink azt javasolták, hogy foglalkozzam a *Középiskolai Matematikai Lapok* (KÖMÁL) feladataival, és vegyek részt annak matematikai és fizikai pontversenyében. Hamarosan kiderült, hogy a matematikai pontverseny az, amiben sikeresebb vagyok. Másodikként ötödik lettem, harmadik-negyedik osztályos koromban pedig már megnyertem a KÖMÁL pontversenyét. Ehhez a sikerhez tíz hónapon keresztül havonta öt-hat feladat megoldását kellett kidolgoznom, és határidőre benyújtanom. Hihetetlenül sokat tanultam ebből a folyamatos munkából, és a matematika számos, a gimnáziumi tananyagon túli területével is megismerkedtem. Így a középiskolai évek végéhez közeledve már csak a matematikus életpályát tudtam magamnak elképzelni.

Ki volt a mestere?

A debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetem matematikus szakára vettek fel, ahol nagy kedvvel tanultam, és könnyen vettem a vizsgák jelentette akadályokat. Néhány négyesemet nem matematikai tárgyakból szereztem. Egyetemi tanáraink közül a lineáris algebrát tanító Erdős Jenő, a funkcionálanalízist előadó Losonczy László és a mérték- és

integrálméletet oktató Daróczy Zoltán voltak a legnagyobb hatással rám. A főtárgyak mellett számos speciálkollégiumukat is meghallgattam, és így értem el Daróczy Zoltán irányítása mellett első eredményeimet, amelyekből egy Nívódíjjal jutalmazott TDK-dolgozatot készítettem. Az Analízis Tanszéken lettem gyakornok. Itt egy olyan tudományos műhelyben találtam magam, ahol szinte záporoztak a nyitott problémák, ahol mindenki gyakran és nyíltan számolt be arról, hogy mivel foglalkozik, és hogy éppen hol tart egy probléma megoldásában. Ez a légkör nagyon inspirálóan bizonyult. Későbbi pályám során, amikor már vezető beosztásokba kerültem, akkor magam is igyekeztem hasonló szellemiséget teremteni kollégáim és tanítványaim számára. Első, de a mai napig aktív kutatási területem a függvényegyenletek és egyenlőtlenségek elmélete lett, amelynek hagyományait Aczél János teremtette meg, és Daróczy Zoltán vitte tovább. Kezdetben az ő segítségükkel ismerkedtem meg a szakterület legfontosabb eredményeivel, kutatási problémáival, hazai és nemzetközi kutatógárdájával, és jutottam el a fontos konferenciákra, kutatóhelyekre. Kutatási érdeklődésem később a konvex és nemsima analízissel és az optimális irányításelmélettel bővült.

Mi volt az az eredmény munkája során, amelyre igazán büszke?

Első eredményeimet különböző klasszikus középértékosztályok jellemzési és összehasonlítási problémáinak vizsgálatában értem el. A kváziaritmetikai közepek Andrej Kolmogorovtól származó függvényegyenletek segítségével való jellemzésével szemben olyan karakterizációs tételeket nyertem, amelyekben a főszerepet függvényegyenlőtlenség-rendszerek játszották. Egy másik terület, ahol értékes módszereket dolgoztam ki, a függvényösszetételeket is tartalmazó egyenletek regularitási elmélete. Ez David Hilbert ötödik problémájával függ össze, egy egyenlet teljesülése, valamint az ismeretlen függvények gyenge regularitási tulajdonsága (például folytonossága) esetén mikor lehet ezek simaságára, azaz többszöri differenciálhatóságára következtetni. Az itt kifejlesztett módszerekkel számos, több évtizede megoldatlan problémát sikerült lezárni. A nemsima analízisben elért eredményeim közül a Clarke-féle általánosított deriváltfogalomnak a normált terek közötti leképezésekre való kiterjesztését és kalkulusának a kidolgozását tartom a legfontosabbnak. Ennek a szélsőértékproblémák elméletében való alkalmazásáig még sok a tennivaló. Remélem, kollégáim és tanítványaim segítségével tovább tudunk lépni, és még sok érdekes és hasznos eredmény felfedezése vár ránk.



SIMON ISTVÁN

Biológiai Tudományok Osztálya

Budapesten született 1947-ben. Okleveles fizikus. A biológiai tudomány és a fizikátudomány habilitált doktora, egyetemi magántanár. Az MTA Természettudományi Kutatóközpont Enzimológiai Intézet tudományos tanácsadója, a Fehérjeszerkezet Kutatócsoport vezetője. Vendégoktató a Szegedi Egyetemen és az Eötvös Loránd Tudományegyetemen. Fehérjék szerkezetének elméleti és számítógépes vizsgálatával foglalkozik. Negyedszázada elsőként mutatta be, hogy egy fehérje térszerkezete a kémiai szerkezet alapján kiszámítható. Ehhez kapcsolódóan definiálta a stabilitási centrum fogalmát, diákjaival kifejlesztették a SCPred-algoritmust és -webszervert a centrumok elemeinek becslésére. A térszerkezeti energia számításával elért eredmények közül a legfontosabb, hogy feltárták a fehérjerendezetlenség statisztikus termodinamikai hátterét. Megalkották az IUPred- és az ANCHOR-algoritmust a rendezetlen fehérjék, fehérjeszakaszok és az azokon található funkcionális helyek szekvenciából történő becslésére. Legnagyobb vissz-

hangja a transzmembrán fehérjék szerkezet-szerveződése elméleti fizikai leírásának volt. A „Highly Cited Researchers 2014” lista három magyarországi kutatójának egyike. A Magyar Bioinformatikai Társaság elnöke.

Mi volt az a döntő mozzanat az életében, ami erre a pályára vitte?

Bioinformatikus vagyok. Ehhez legalább három döntő mozzanat kellett. Az első és meghatározó még iskolakezdés előtt történt. Koraérett voltam, feltűnően jól számoltam. Elkerülendő az ebből adódó esetleges problémákat, a Gyermeklélektani Intézetben azt javasolták szüleimnek, hogy hatéves koromban vizsgálzzak le az első osztályos anyagból, és második osztállyal kezdjem az iskolát. Az a tény, hogy fiatalabb voltam osztálytársaimnál, évfolyamtársaimnál, mindvégig speciális státust jelentett, és önbizalmat adott, akkor is, amikor nem voltam olyan jó tanuló. Biztos voltam benne, hogy valamilyen tudományos vagy mérnöki pályára kell kerülnöm.

A második mozzanat, hogy fizikusi diplomával nem találtam fizikus kutatói állást, biofizikust viszont igen. Csak rövid időre terveztem itt dolgozni. Ez negyvenhét éve történt. A kezdeti sikerek miatt azonban maradtam az akkor szinte kizárólag kísérletes tudománynak számító biokémia/biofizika területén, noha mindig az elméleti munka érdekelt jobban. Később lassan sikerült elfogadtatni, hogy az elméleti és numerikus módszereknek is van létjogosultságuk.

A harmadik, igen szerencsés mozzanat a kilencvenes évek közepén következett be. A genom-projektek sikerei és a világháló kialakulása következtében létrejött egy új tudományterület, a bioinformatika. Mióta dolgozom, mindig ilyenekkel akartam foglalkozni. Ennek megfelelően, bár az első cikkemet

1971-ben publikáltam, az elmúlt húsz évben jelent meg a cikkeim hetven százaléka, és ezekre kaptam hivatkozásaim közel kilencven százalékát.

Mi volt az az eredmény munkája során, amelyre igazán büszke?

A kutató általában arra büszke, ha jelentősen hozzájárult tudományterülete ismeretanyagához. Fiatalabb koromban több fontos fehérje szerkezetéről publikáltunk kísérletes eredményeket. Később elméleti és numerikus módszerek alkalmazásával közöltem hasonlóan hasznos információkat fehérjéről, sőt ezekkel a módszerekkel a különböző típusú fehérjék szerkezet-szerveződésének megértéséhez is hozzájárultunk. A fehérjetudomány fejlődése szempontjából azonban valószínűleg sokkal nagyobb szolgálatot tettünk a világhálón elérhető tucatnyi szerkezetbecslő módszer és számos adatbázis megalkotásával. A hivatkozásokból láthatóan ezek sok ezer további eredeti közlemény megszületéséhez járultak hozzá. Ez a másodlagos hozzájárulás

valószínűleg fontosabb volt, mint a primer eredményeink közzélése. Ezért vagyok büszke a diákjaimmel, munkatársaimmal publikált webszerverekre és adatbázis szerverekre.

Magányos kutató vagy inkább csapatjátékos?

Az általam művelt tudományterületeken – biofizika, biokémia, számítógépes kémia és bioinformatika – ritka az egyszerűs eredeti közlemény. Ennek ellenére saját csoportom 1987-es létrehozásáig megjelent tizenkilenc közleményből hat volt egyszerűs eredeti cikk. Az ezután megjelent több mint száz közleményből viszont már csak egy volt egyszerűs cikk, és az sem eredeti közlemény volt. Szerencsére csoportomhoz tehetséges diákok csatlakoztak, így a csapatjáték velük folytatódhatott, az én feladatom pedig az utolsó szerző szerepe lett. Ennek a dinamikus csapatnak minden egyes tagja jelentősen hozzájárult az utóbbi évtizedek nagy sikertű cikkeihez. Büszke vagyok rájuk, és szerencsésnek érzem magam, hogy a csoportomban növekedett kolégák önállóan is sikeres kutatók lettek.



Kitekintés

RAGADOZÓVÁ VÁLTOZTATOTT EGEREK

A Yale Egyetem kutatói felfedeztek egy kapcsolatot az agyban, amelyet ha aktiváltak, az egerek ragadozóként kezdtek viselkedni, és követték a vadászó viselkedés – megragadás, harapás – jellegzetes elemeit.

Ivan de Araujo és munkatársai az érzelmi működésekben – félelem, szorongás, örömezés – fontos agyterületet, az amigdalát (mandulamag) vizsgálták az optogenetika eszközeivel. Ennek a mindössze egy évtizede létező módszernek, mely forradalmasította a neurobiológiát, lényege, hogy genetikai módosítások eredményeként az idegsejtekkel meghatározott hullámhosszú fényre érzékeny anyagot termeltetnek, és az ilyen sajátságú fénnel besugározva a sejtek ki- és bekapcsolhatók.

A kísérletben az állatok agyát kék fényre tették érzékennyé. Egy optikai szál segítségével az amigdalába kék lézertípust vezettek, mire az egerek állkapcsukat és nyakizmaikat megfeszítve mániákus vadászatba kezdtek. Nem válogattak: a stimuláció idején környezetükben minden tárgyat megpróbáltak levadászni, függetlenül attól, hogy ehető volt-e vagy sem. Még a műanyag kupakokra is rátámadtak. Más agyterületek „besugárzásával” nem lehetett hasonló viselkedést kiváltani.

Következtetésük, hogy az amigdala szabályozza a vadászösztönöket is. Kísérleteikben ugyanis kizárták, hogy valamiféle falásközpon-tot találtak volna, mert a fénnel kezelt állatok

nem ettek többet, mint társaik. Ugyanakkor a kutatók szerint az sem lehetséges, hogy a „besugárzással” valójában agresszivitást váltottak ki és nem vadászösztönt, mert miközben az állatok mindenre rátámadtak, saját fajtársaikat békén hagyták.

Az amigdaláról eddig is tudták, hogy a félelemmel kapcsolatos viselkedés, például a menekülés szabályozásában vesz részt, a ragadozó viselkedés azonban ezzel szinte ellentétes. A vadászó állat keres valamit, és az agytól jutalmat vár, míg a másik esetben aktívan el akar kerülni valamit. Ebből az következik, hogy ennek az agyterületnek fontosabb szerepe van a viselkedés szabályozásában, mint azt korábban gondolták.

Han, Wenfei – Téllez, Luis A. – Rangel, Miguel J. Jr. et al.: Integrated Control of Predatory Hunting by the Central Nucleus of the Amygdala, *Cell*. 168, 311–324 12 January 2017. DOI: 10.1016/j.cell.2016.12.027 • [http://www.cell.com/cell/pdf/S0092-8674\(16\)31743-3.pdf](http://www.cell.com/cell/pdf/S0092-8674(16)31743-3.pdf)

MENNYIBEN MODELLEZI A SPORT AZ „ÉLETET”?

A versenysportban jól definiált és viszonylag egyszerű szabályok szerint állítják fel a rangsorokat. Ezek a szabályok sportáganként jelentősen eltérhetnek, a sakkozók ranglistájának dinamikája mégis sok hasonlóságot mutat a teniszjátékosokéval vagy a golfozókéval, sőt a nemzeti focivalogatottakéval is.

Mexikói kutatók hat sporttal kapcsolatos ranglista három–nyolc év alatt összegyűlt adatait elemezték azzal a céllal, hogy a ranglistakon bekövetkező változások dinamikájának szabályszerűségeit felismerve, bonyolultabb, kevésbé átlátható szabályok szerint alakuló rangsorok – például az országok gazdasági teljesítmény szerinti rangsorának – alakulását megjósolhassák.

A sporttal kapcsolatos rangsorok viselkedése a látszólag gyökeresen eltérő szabályok ellenére meglepő pontossággal leírható ugyanazzal a modellel. A kutatók szerint a komplex társadalmi és gazdasági folyamatokat is versenyverseny vetélkedése jellemzi, így az ilyen rangsorok a sportolókéhoz hasonló eszközökkel írhatók le.

Morales, José A. – Sánchez, Sergio – Flores Jorge et al.: Generic Temporal Features of Performance Rankings in Sports and Games. *EPJ Data Science*. 2016. 5, 33, DOI 10.1140/epjds/s13688-016-0096-y • <https://epjdatascience.springeropen.com/articles/10.1140/epjds/s13688-016-0096-y>

MÉRGEZETT MAGZATOK

A terhesség és alkoholfogyasztás kényes témakörében megjelent az első átfogó tanulmány. A kanadai kutatók által jegyzett cikk meglepő, helyenként sokkoló adatokat tartalmaz.

A szerzők becslése szerint átlagosan a várandós nők közel 10 százaléka fogyaszt alkoholt, és magzati alkohol szindrómával (*fetal alcohol syndrome*) a Földön évente körülbelül 119 ezer gyermek születik.

Közismert, hogy a magzat az alkoholra rendkívül érzékeny; bármelyik szerve károsodást szenvedhet, a legveszélyeztetettebb az agy. Az alkohol hatásának részletei nem tisztázottak. A károsodás mértékében szerepe lehet az alkoholbevitel időzítésének (a magzati kor melyik szakaszában történik), gyakoriságának, a genetikai adottságoknak, az anyai táplálkozásnak, dohányzásnak, stressznek. A magzati károsodások közül alkoholfogyasztáshoz a legnyilvánvalóbban a magzati alkohol szindróma köthető. Minden hatvanhét alkoholt fogyasztó várandós asszony közül egynek ilyen gyermeke születik.

A cikkben területi eloszlásra vonatkozó adatok is szerepelnek. Az átlagos 10 százalékos női alkoholfogyasztással szemben Európában minden negyedik terhes iszik alkoholt. A legtöbbet italozó várandós asszonyok ország-rangsorát öt európai ország vezeti. Írország 60, Fehéroroszország 46, Dánia 45, Egyesült Királyság 41, Oroszország 36 százalék. Európában 2,6-szor gyakoribb a magzati alkohol szindróma, mint a globális átlag.

Popova, Svetlana – Lange, Shannon – Probst, Charlotte et al.: Estimation of National, Regional, and Global Prevalence of Alcohol Use during Pregnancy and Fetal Alcohol Syndrome: A Systematic Review and Meta-analysis *The Lancet Global Health*, online first, Published: 12 January 2017. DOI: 10.1016/S2214-109X(17)30021-9 [http://www.thelancet.com/pdfs/journals/langlo/PIIS2214-109X\(17\)30021-9.pdf](http://www.thelancet.com/pdfs/journals/langlo/PIIS2214-109X(17)30021-9.pdf)

Gimes Júlia

Könyvszemle

RNA/DNA & Cancer

A könyv szerzője Dr. Sinkovics József 1948-ban szerzett orvosi diplomát a Pázmány Péter Tudományegyetemen. Az egyetemen 1948-ban alakult Mikrobiológiai Intézet alapító tagjaként, majd az 1950-es évek elején az Országos Közegészségügyi Intézetben foglalkozott víruskutatással, és az első magyar nyelvű, de németül is kiadott virológiai könyv szerzője, laboratóriumi szakorvos. 1957-től az Amerikai Egyesült Államok legnevesebb rákkutató intézeteiben dolgozott kutatóként és egyben klinikusként (Waksman Institute of Rutgers, The State University of New Jersey, New Brunswick, NJ, Hektoen Institute of Medicine, Chicago IL, MD Anderson Cancer Center, University of Texas, Houston, TX). Végül a St. Joseph's Cancer Center, Tampa, FL orvosigazgatójaként tevékenykedett, miközben a University of South Florida (Tampa, FL) Mikrobiológiai és Immunológiai Intézetének és a H. Lee Moffitt Cancer Center & Research Institute-nak is tagja volt. Az USA-ban orvosi laboratóriumi virológia, közegészségügy, belgyógyászat, fertőző és trópusi betegségek, onkológia, hematológia szakvizsgákkal rendelkezik.

A szerző hosszú és nemzetközileg igen nagyra becsült pályafutása alatt a legkülönbözőbb kutatási és klinikai nézőpontból ismerte meg a daganatok biológiáját és klinikumát, és egyedüli szerzőként mindezeket a szemléltetőket ötvözi a könyvben. Valamennyi

eukarióta, többsejtű élőlényben (növények, állatok) előforduló daganatok keletkezésére számos faj-, illetve daganattípus-specifikus elmélet született az utóbbi évszázadban, mindig a tudomány aktuális ismeretei szerint. Az utóbbi évtizedek technikai fejlődése tette lehetővé a sejtszintű vizsgálatoknál finomabb molekuláris elemzéseket. Kiemelkedő ezek közül több ezer élőlény teljes genetikai állományának feltárása és ezek számítógépekkel történő összehasonlítása, ezáltal a konzerválódott részek alapján genetikai rokonságuk megállapítása akár egymástól távol eső fajok esetében is. A szerző az ilyen összehasonlító vizsgálatok ezreinek elemzéséből jutott arra a rendkívüli újdonságnak számító következtetésre, hogy a még a törzsejlődés szempontjából legmagasabb rendű növények és állatok sejtjeiben is olyan gének találhatók, amelyek nagyfokú hasonlóságot mutatnak egyes nagyon ősi egysejtű élőlények (*protozoonok*) génjeivel. Ezek az ősi gének ősi szabályozási rendszerrel rendelkeznek, amelyek a legtöbb többsejtű élőlényben gátolt állapotban vannak, de aktiválódhatnak, és átvehetik a sejtfunkciók irányítását. Ezek az ún. *protoonkogének* egyrészt a normálisan bekövetkező sejtöregedést, aránylag kevés osztódást, majd a sejthalált irányító géneket gátolva a sejtek halhatatlanságát (*immortalizáció*) eredményezik, másrészt a legkülönbözőbb irányban specializálódott, differenciálódott sejtek működését, alakját ősi, egyre kevésbé specializálódott, de minden életműködésre képes irányba

fordítják vissza (daganatos sejttanszformáció, dedifferenciálódás). Normálisan a többsejtű élőlények halandók, az egysejtűek és a daganatsejtek halhatatlanok. A sejtek differenciálódása az egyedfejlődés során fokozatosan alakul ki, a daganatos átalakulás ennek fordítottjaként fogható fel. A szerző forradalminak tekinthető felismerése szerint a daganatsejteket nem a saját szabályozó rendszerük működése irányítja valójában, hanem a fentebb említett ősi, szigorúan szabályozott rendszerek, amelyek a daganatok progressziójának megfelelően lépcsőzetes módon fejeződnek ki. Ugyancsak a daganatkutatás korszakalkotó felfedezése, miszerint ugyan a többsejtű fajok rendszertani egységeiben más-más ősi gének konzerválódtak, és sok tekintetben eltérő daganatokat hoznak létre, az ősi gének irányító mechanizmusa az összes eukarióta élőlényben azonos!

A szerző megállapítása szerint a daganatkeltés visszatérés egy ősi létformához, amelynek alapkövetelménye a folyamatos sejtosztódás révén az élet fenntartása a Földön és talán a világegyetemben is. A többsejtű szervezet a számára idegen, élősködőként felismert daganatsejteket, amelyek nem illeszkednek be a szervezet szintén szigorúan szabályozott életébe, el akarja pusztítani. A szerző számos meglepőnek tűnő, de idevágó állítása is az egysejtű–daganatsejt hasonlóságra utal. Kémcsőben folyamatosan fenntartott kultúrákban a halhatatlanná vált sejtek vég nélküli osztódásukkal egysejtű élőlényként viselkednek. Ugyancsak lehetséges ma már, hogy specializálódott sejteket biológiai szabályozó anyagokkal (ún. *citokinek*) más specializálódási irányba tolnak, vagy daganatsejtté alakítsanak. A daganatsejtek rendkívül ellenállóak a környezet és az orvosi beavatkozások fizikokémiai hatásaival szemben, amely évmilliár-

dokkal ezelőtt az egysejtű élőlényeket érő káros környezeti hatásokkal szembeni ellenállás utóhatása.

A sejtmagban található DNS állománya határozza meg az élőlények tulajdonságait. A DNS-ről átíródó hírvivő RNS a sejtben lévő más RNS-molekulákkal kölcsönhatásban irányítja az életműködéseket hordozó sejtfehérjék szintézisét. Szintén az utóbbi évtizedekben derült fény arra, hogy a hírvivő RNS-molekulák külön önszabályozó rendszerrel rendelkeznek, egy molekulának számtalan változata lehetséges, illetve olyan gátló RNS-molekulák is termelődnek, amelyek a fehérjeszintézist meghatározó RNS-molekulákhoz kötődve befolyásolják azok működését. Évmilliárdokkal ezelőtt az élő anyag kialakulása során először RNS-molekulák alakultak ki, a DNS később jelent meg. A fent említett, ősi egysejtűekből származtatható proto-onkogének működését is ezek az ún. *nemkódoló* RNS-molekulák szabályozzák.

A szervezetben lezajló ún. belső daganatkeletkezés mellett nagyon érdekes az ún. külső daganatkeltés is. Eddig az volt ismert, hogy egyes vírusok a sejtekbe jutva alakították át a sejtek működését. A fenti összehasonlító genetikai vizsgálatok elemzésével ismerte fel a szerző, hogy egyes vírusokban található daganatkeltő gének (onkogének) ugyancsak nagyfokú azonosságot mutatnak az ősi egysejtűek örökítő anyagával. Vírusok képesek emberi géneket örökítőanyagukba felvenni, módosítani, ezáltal a többsejtű szervezet működését becsapni, de a szerző elemzései alapján lehetséges, hogy többsejtű szervezetek is vettek át, módosítottak vírusgéneket, például amelyek egyes enzimek termelődéséért felelősek, vagy az immunrendszer működésében is ilyen, eredetileg vírusgénnek vehetnek részt. Ezen túlmenően, a vírusokkal fertőzött sejtek

kis gömböket bocsáthatnak ki (*exoszómák*), amelyek belsejében egyes vírusgének, például onkogének, hírvivő vagy reguláló RNS-molekulák foglalhatnak helyet, majd más sejtekhez kötődve az átjutott reguláló anyagok akár a sejtek proto-onkogénjeit is befolyásolhatják. Az élőlények környezetében más élő vagy elhalt élőlényekből származó szabad DNS-, RNS-molekulák (transzpozonok, retrotranszpozonok) milliárdjai keringenek, amelyeket az élőlények felvehetnek, és ezek különféle káros hatásait a sejtekben kifejtetik.

A szerző következtetése szerint a daganatellenes kezelés is változni fog a közeljövőben, az ősi egysejtűekből származó RNS/DNS-komplexek aktivizálódását, hatásait kell meggátolni.

A könyv gyakorlatilag a szerkesztés lezártaig megjelent, legfontosabb nemzetközi irodalom összegyűjtött ismeretanyaga alapján a daganatok keletkezését felölelő lexikonként is tekinthető. Ugyanakkor a könyv tagolása a témában kevésbé jártas olvasó számára is segítséget nyújt a szakirodalom dzsungelében való tájékozódáshoz. A könyvet elsősorban rákkutatással foglalkozó orvosok, biológusok, klinikai onkológusok, hematológusok, viro-

lógusok, patológusok figyelmébe ajánljuk, de az orvostudomány, állatorvos-tudomány, biológia, növénytan bármely területén dolgozók is találnak hasznos adatokat. Minden orvostudományi és fentebb említett szakterületi könyvtár polcán nélkülözhetetlen alapműként kell elérhetőnek lennie.

A könyv hatalmas ismeretanyaga 646 oldalt tölt ki, amelyhez még 2361 irodalmi hivatkozás csatlakozik, így a teljes terjedelem 815 oldal. A könyv érdekessége 1. a *Függelékben* a használt szakkifejezések alapos, a területen kevésbé jártas olvasó számára is közzétett magyarázata, valamint 2. a *Függelékben* a szövegbe illesztett, és csak rövid címmel és aláírással ellátott 76 ábra rendkívül részletes ismertetése. A könyv elején a fejezeteket, alfejezeteket felsoroló *Tartalomjegyzék*, a könyv végén pedig nagyon részletes *Névmutató* segíti a tájékozódást. (Joseph G. Sinkovics: *RNA/DNA & Cancer*. Switzerland: Springer International Publishing, 2015, ismertető: www.springer.com/us/book/9783319222783)

Ongrádi József
egyetemi docens
Nagy Károly
egyetemi tanár

Mitől lesz igaz, ami igaz?

Kocsis László könyvéről

A magyarországi analitikus filozófia alapvetően három lábon állt és áll a mai napig: nyelvfilozófia, tudományfilozófia és metafizika. Kocsis László *Az igazságalkotás metafizikája* című kötete az utóbbi területhez tartozik, így mindenképp szerves részét fogja képezni a hazai szakmának. A kötet témája azonban különlegessé is teszi Kocsis könyvét – olyan területeket érint ugyanis, amik eddig érintetlenek, és a magyarul olvasó közönség számára

elérhetetlenek voltak. Ahhoz, hogy megértsük, miről is van szó, nézzük a kiindulópontokat.

Legtöbbünk feltehetően úgy gondolja, hogy ha egy mondat igaz, akkor annak oka van; vagy az okságra való hivatkozás nélkül, pontosabban fogalmazva – van valami a világban, ami miatt igaz a mondat, ami igazá teszi a mondatot. Azt a valamit, ami igazá teszi a mondatunkat, *igazságalkotónak* (*truth-maker*) nevezik. Azt a valamit pedig, amit igazá tesz az igazságalkotó, *igazsághordozónak* (*truthbearer*) nevezik. Az általános és homályos megfogalmazás nem véletlen: a

metafizikai vizsgálódásoknak épp az a tétjük, hogy megmondják, mik lehetnek igazságalkotók és igazsághordozók. A legtöbben ezt persze nem gondolnák problémásnak: a kijelentéseink és például a kijelentéseinkből felépülő elméletek például azért igazak, mert a világban a dolgok úgy vannak, ahogy azt ezek leírják; slussz-passz. Persze általában, aki ezt mondja, az egyúttal az igazság úgynevezett korrespondencia-elméletére is támaszkodik: eszerint „az igazság nem más, mint a világgal, egészen pontosan bizonyos típusú világbeli entitásokkal, a tényekkel való korrespondencia” (40.). Mindazonáltal Kocsis többször is meggyőzően érvel amellett (40–45.), hogy az igazságalkotás és a korrespondencia-elmélet (ami az igazság elmélete) nem tartozik szükségszerűen össze.

Kocsis kötete, ahogy a címe is jelzi, az igazságalkotás metafizikai kérdéseit érinti. Olyan témákat feszeget, minthogy mik lehetnek igazsághordozók (1.2. szakasz); milyen reláció az igazságalkotás relációja (2. fejezet); mik lehetnek igazságalkotók (3. fejezet); végül pedig egy, általában véve az igazságalkotás számára felmerülő problémát tárgyal, nevezetesen a negatív egzisztenciális állítások kérdését (4. fejezet).

Korántsem egyértelmű vagy épp evidens, hogy mik lehetnek igazsághordozók, noha a legtöbb jelölt valamilyen nyelvi entitás (26–27.): mondatok, állítások (*assertions*), kijelentések (*statements*), ítéletek (*judgements*), proposíciók (*propositions*), de akár hitek (*beliefs*) is lehetnek. Ahogy arra a szerző rámutat, a legjobb jelöltek ezek közül a *proposíciók*, így a kötetben ő maga is azokat tekinti igazsághordozóknak. De mik is azok a proposíciók? A releváns szakaszokból mindössze annyit tudunk meg, hogy a proposíciók se nem fizikai, se nem mentális entitások; nem kötőd-

nek egyetlen nyelvhez, vagy elméhez sem; „az a valami, ami független a beszédaktusainktól és elmeállapotainktól, és amit mindannyian *kifejezésre juttathatunk* a szavainkkal vagy *megragadhatunk* a mentális aktusaink során” (27., kiemelés tőlem). Mindazonáltal Kocsis nem köteleződik el abban a kérdésben, hogy „pontosan miféle entitások is a proposíciók” (28.), azokon leginkább az *elsődleges igazsághordozókat* érti – noha így is egy működőképes koncepciót kapunk, valójában néhány szakasszal később Kocsis (és a szakirodalom) épp azzal vádolja és utasítja el Armstrong bizonyos meglátásait, mert „nincs igazán kiforrott álláspontja a proposíciók természetével kapcsolatban” (63.).

Ezek alapján ismét némileg pontosabbak lehetünk: az igazságalkotás metafizikája azokat a kérdéseket vizsgálja, hogy a világ, illetve a világban fellelhető különféle entitások (hogy milyen entitásokról van szó, azt még nem tisztáztuk) miképp teszik igazá a proposíciókat. A proposíciók mint igazsághordozók és az igazságalkotók viszonyának általános elméletének (1.3. szakasz) kiindulópontja az úgynevezett *igazságalkotó-elv*: szükségszerűen, ha egy proposíció igaz, akkor van olyan entitás, amelynek létezése alapján a proposíció igaz (32.).

Az általános elmélet két alaptézise a következőképp hangzik: (1) Igazságalkotó általi szükségszerűsítés: ha egy entitás igazá tesz egy proposíciót, akkor az entitás létezése *szükségszerűsíti* a kérdéses proposíció igazságát. (2) Igazságalkotó maximalizmus: *minden* igaz proposíciónak van (legalább egy) igazságalkotója. Az első tétel kibontásából (2.2. szakasz) megtudjuk, hogy az igazságalkotás relációja nem oksági és nem is logikai következményreláció, sokkal inkább talán kategóriákon átívelő (nyelvi és nem nyelvi entitások közt

fennálló) *metafizikai* reláció. Hogy pontosan milyen, az már egy további kérdés: Kocsis áttekinti az összes releváns jelöltet, ezek a szupervenienencia, az esszenciális függés, illetve a primitivizmus, és az utóbbi kettőről mondja azt, hogy azok képesek megőrizni az igazságalkotásra vonatkozó meggyőződéseinket: egyrészt, hogy az aszimmetrikus, azaz az igazságtévők teszik igazzá a proposíciókat és nem fordítva; másrészt, hogy egy ontológiai függési koncepcióról van szó: az igazsághordozók igazsága függ az igazságalkotók létezésétől.

Noha leginkább csak átfogó képet kapunk a különböző alternatívákról és azok gyengeségeiről/erősségeiről, Kocsis továbbmegy a 3. fejezetben az igazságalkotók természetének vizsgálatára. Itt is több alternatíva merül fel: az igazságalkotók szerepére olyan jelölteket találunk, mint a *tények* (vagy *körülmények*), *partikuláris dolgok* és *trópusok* (vagy *módszerek*). Akármelyik kategória mellett is tesszük le a voksunkat, mutat rá Kocsis, az eredeti téziseket a szükségszerűsítésről és a maximalizmusról feltehetően módosítanunk, és legtöbb esetben korlátoznunk kell. Mindazonáltal Kocsis úgy véli, hogy „a tények a legjobb jelöltek arra, hogy igazságalkotók legyenek” (119.). A kérdés azért is külön érdekes, mert, ahogy arra a szerző rámutat (87–93.), az igazságalkotás koncepciója a klasszikus quine-i ontológiai elköteleződés koncepció egy releváns alternatíváját kívánja. Ennél fogva az igazságalkotó-elmélet működéséhez szükséges entitások mellett elköteleződésünk a világ alapvető bútorzatát jelentő ontológiánk megadását is jelentheti.

Miután az első három fejezetben tisztázta az igazságalkotás általános elveit, illetve a konkrét kérdések kapcsán az általános elvek módosításait, Kocsis a végső fejezetben rátér a negatív egzisztenciális állítások kérdésére.

Noha filozófiai szempontból korántsem egyértelmű, intuitíve mégis világosnak tűnik, hogy mi teszi igazzá azt az állítást, hogy „Az előtttem álló asztalon lévő alma piros,” addig már intuitíve sem teljesen világos, hogy a világ milyen módon teszi igazzá azt, hogy „Nincsenek unikornisok,” vagy, hogy a világban *mi teszi igazzá* azt, hogy „Nincsenek unikornisok.”

Bertrand Russell szerint egész egyszerűen léteznek *negatív tények*, és ezek teszik igazzá a negatív állításokat (123–127.), ám Kocsis úgy véli, hogy Russell elmélete problémás, és kétes filozófiai előfeltevésekre épít, így nem kellene elfogadnunk. David Lewis szerint, ahogy vannak igazságalkotók, úgy vannak *hamisságalkotók* is (127–130.): „Egy proposíció nemcsak annak köszönhetően igaz, mert létezik valami, ami igazzá teszi, hanem mert nem létezik semmi, ami hamissá tenné. [...] Nem a hiány létezik, hanem a létező hiányzik” (128.). Mindazonáltal Lewis megoldása a hírhedt lehetségesvilág-realizmus elfogadásával jár együtt (miszerint számos konkrét téridőbeli lehetséges világ létezik), ami pedig csupán nagyon kevesek számára elfogadható következmény. Végezetül David Armstrong úgy véli, hogy bizonyos *totalitás körülmények* (*totality states-of-affairs*) mellett kellene elköteleződünk, amelyeknek az összetevői elsőrendű körülmények, azonban a körülményeknek az ilyen jellegű összefonódása korántsem problémamentes.

Végül arra jut Kocsis, hogy ismét módosítanunk és korlátoznunk kellene az igazságalkotás maximalizmusának elvét: „[...] kénytelen-kelletlen, de elismerjük, hogy vannak bizonyos igazságok, nevezetesen a negatív egzisztenciális igazságok, amelyeknek nem tudunk megnyugtató módon igazságalkotót

biztosítani, vagyis nincs olyan entitás, amelynek létezése elégséges ahhoz, hogy igazzá tegye azokat az igazságokat, amelyek valami nem-létezésével kapcsolatosak” (138.). Azonban a szerző ezt követően felvázol egy érvet azoktól, akik nem akarják az újabb korlátozást. Szerintük, ha csak a pozitív állítások kapcsán találunk igazságalkotókat, a negatív állítások esetében nem, „akkor miért gondoljuk, hogy van egyáltalán bármelyiknek is” (139.).

Kocsis azonban nem találja meggyőzőnek az érvelést – abban igaza van, hogy abból, hogy bizonyos igazságok esetén kétséges, hogy lennének igazságalkotók, *nem következik*, hogy egyetlen igazságnak sincs igazságalkotója. Azonban az ellenvetést finomíthatjuk azzal, ha azt mondjuk, <abból, ha lehetséges, hogy bizonyos igazságoknak nincs igazságalkotója, *lehetséges az is*, hogy egyetlen igazságalkotónak sincs igazságalkotója. Egyáltalán miért gondoljuk azt, hogy az igazságalkotás egy megfelelő elmélet, ha nem épp a szisztematikussága miatt? Ha egy helyen nem működik, mi garantálja, hogy máshol igen?> Persze ez az észrevétel meglehetősen általános. Azonban ez leginkább csak azért baj, mert az ilyen jellegű általános megfontolások hiányoznak a könyvből – egészen pontosan egy olyan fejezet hiányzik a könyvből, ahol Kocsis részletesen beszámol arról, hogy mit ért metafizika alatt, mit tekint a metafizika adekvát módszerének, és mi a viszony a metafizika és a hétköznapi, intuitív meggyőződéseink közt (vagyis egy kis *metametafizika* jól jött volna). Minderre azért van szükség, mert Kocsis számos esetben épp az intuíciónkra hivatkozva lép túl bizonyos elképzeléseken (mert egy metafizikai elmélet nem tudja megőrizni a hétköznapi vélekedéseinket), vagy épp, mert bizonyos entitásokat „kétes ontológiai státu-

szúnak” bélyegez (135.). Vagyis, a kérdés arra vonatkozik, hogy a metafizika a világ (elme- és nyelvfüggetlen) fundamentális struktúráját írja-e le, a legjobb és leghasznosabb fogalmi sémánkat adja meg, esetleg a dolgok lényegét? Kocsis könyve túlságosan is fontos a kortárs vitákban ahhoz, hogy ne számoljon ezekkel az általános és örök érvényű kérdésekkel.

Noha a kötet stílusa is inkább a pozitívumok közé tartozik, hiszen nincsenek felesleges kitérők, elnyúló lábjegyzetek, a felépítése tökéletesen strukturált, valójában könnyen okozhat egy kis fejfájást is: a könyv rendkívül tömör, érződik rajta, hogy minden bekezdésbe hatalmas tudásanyagot szorított bele Kocsis. Miközben igyekszik a lehető legtöbb fogalmat elmagyarázni (bevezetve természetesen mindegyik be van), ő maga is jelzi, hogy az olvasó jobban jár, ha támaszkodik a már megjelent hazai tankönyvekre. Ebből a szempontból a kötet jól tud kapcsolatot teremteni (tartalmi szinten is) a már fellelhető magyar nyelvű szakirodalommal. Mindazonáltal sok esetben a magyarázatok inkább tűnnek redundánsnak, mintsem megvilágító erejű átfogalmazásnak – elvarratlan szálak természetesen nem maradnak.

A könyvnek azonban számos előnye is van. Külön említést érdemelnek a fejezetek végén szereplő összefoglalások, az ontológiai elköteleződés quine-i kritériuma és az igazságalkotás különbségéről szóló részek, az igazságalkotás és az igazságelmélet, illetve az igazságalkotás aszimmetrikus és a korrespondencia szimmetrikus elképzelésének elkülönítése. A szerző keze nyomát viselő Név- és Tárgymutató kimondottan ritkaságnak számít, és hatalmas segítséget nyújt a sűrű szövegben fellelhető egyes pontok visszakereséséhez.

Kocsis László *Az igazságalkotás metafizikája* című könyve tehát egy fontos és elsőrendű

munka, a nemzetközi szakirodalmat épp lázban tartó kérdések kiváló feldolgozása és átadása. A könyv azonban pontosan az, amit ígér: az igazságalkotás *metafizikája*, így az olvasó jobb, ha felkészül, hiszen a szövevényes úton két kézzel kell kapaszkodnia Kocsis

mankóiba, azonban a könyv megéri a fáradságot. (Kocsis László: *Az igazságalkotás metafizikája*. Budapest: L'Harmattan, 2016, 149 p.)

Tuboly Ádám Tamás

MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont
Filozófiai Intézet

A vallások, az állam és a szólás szabadsága

Műfaját tekintve azt lehet mondani, hogy a szerző korábbi tanulmányaira épülő, tematikus szakkönyvet tarthatunk a kezünkben. Koltay András korrekt módon hivatkozik is az egyébként jelentősen átírt és kiegészített korábbi írásaira.

Képes beszéddel élve a könyv olyan, mint egy nagy amerikai legfelső bírósági, strasbourgi vagy éppen alkotmánybírósági határozat, amit a szerző jegyez, tele párhuzamos indoklással, különvéleménnyel. Egyik legnagyobb érdemének éppen ezt tartom: miközben határozott értékvalasztása van, nyitott más vélemények felé is, mindvégig az érvek és az ellenérvek mentén hajózik. A tolerancia könyve, amely azonos mércével kívánja mérni a vallásokat, az iszlámmal szemben megnyilvánuló korunkbeli jogos vagy jogtalan ellenérzések dacára is.

Jól szerkesztett kötet, amely a bevezetőt követően három nagy részből és összesen harminchárom alfejezetből áll, az egyes részek dualista szerkezetűek, és minden részt a szerző szuverén következtetései zárnak.

Teljességre törekvő kötet, amely a választott téma szempontjából releváns, szinte valamennyi jogesetet tartalmazva áttekintést ad az amerikai, az európai és a magyar szabályozásról, továbbá a bírósági gyakorlatról.

Terjedelmét tekintve tekintélyes kötet, amely a válogatott bibliográfiával és a 804

lábjegyzettel együtt 438 oldalon át tárgyalja mondanivalóját.

Hangsúlyozni szeretném, hogy a könyv sokkal többről szól, mint amire címéből és alcímeiből következtetni lehet. Olvasatomban a könyv a legfontosabb demokrácia-kritériumokat teszi mérlegre. A sokféle demokrácia-fogalom közül most csak Walter Lippman *A közjó filozófiája* című könyvében (Lippman, 1993, 5.) megfogalmazott kritériumokat idézném: „Szólás- és vallásszabadság, valamint mentesség a félelemtől és nélkülözéstől”. Enélkül és hozzátenném a hatalom-megosztás teóriáját, nincs alkotmányos demokrácia.

Zárszában a szerző is beismerő vallo mást tesz, többről van itt szó, mint a konkrét jogesetek eldöntése. A bajor vagy az olasz fészület ügy, az amerikai jászol ügy vagy a kőbe véssett tízparancsolat, az imaórák, a vallásoktatás, a fejkendők viselése mögött az euroatlanti civilizáció, legelőbb az öreg és betegeskedő kontinens múltjáról, jelenéről és jövőjéről, az itt élő emberek együttélését meghatározó elvekről szól a történet.

Érzékeny kérdések sokaságát teszi fel a szerző és egyik sem költői kérdés, a könyv keresi a válaszokat, a megoldást, az egyensúlyt. Higgadt, nyugodt hangon, bölcsen és kiérlelten ír. A két magas rangú, magas védelmi szintű, nagy tradíciókkal rendelkező alapjog keresztútján ez nem is olyan könnyű feladat. Jól mutatja ezt a könyv egyik legerősebb, mintegy száz oldal terjedelmű fejezete, amely

a blaszfémiairól szól. Egyet lehet érteni Koltay Andrással, aki egyaránt óv a teljes körű megengedéstől és az általános tiltástól, „de lege ferenda” a tiltás nélküli igazolható korlátozást javasolja megfontolásra.

Rendkívül gondolatgazdag könyv, e gondolatok közül két, a művön végigvonuló általánosabb kérdést emelnék ki:

Az egyik az állam szerepe • A vallásokhoz való viszony minden alkotmányos állam kulcskérdése. A történelmi modellek jól ismertek. Az állami semlegesség elvéről évszázadok óta tart a vita, pontos tartalma ma sem teljesen világos. A képzeletbeli skálán a két véglet, nevezetesen a szigorúan szétválasztó liberális doktrína és a keményen beavatkozó államegyház között mindenki, aki a témával foglalkozik, és maguk az egyes alkotmányok is elfoglalnak valamilyen közjogi pozíciót.

A könyv is ezt teszi, az együttműködő, a nem közömbös állam híve. A vallás nem magánügy, a vallásokat nem szabad kirekeszteni a közélet valamennyi területéről – vallja. Nézeteivel egyet lehet érteni, magam számára úgy szoktam sarkítani a kérdést: van-e egyáltalán keresztény állam? Válaszom: alkotmányjogi jelzős szerkezetében és ideológiai szempontból nincs, az állam világnézetileg semleges, ez a Rubikon-szabály. Ám, ha abból indulunk ki, hogy az állam célja a közjó szolgálata, akkor elvárás, hogy a keresztény értékek alapján is mérhető és értékelhető legyen az állam cselekvése. A mérőeszköz, a keresztény értékek jogi normativitása, kétségtelen, hogy nagy kérdés. Az Alaptörvény preambulumban mindez erősödött.

Még egy, talán kritikai széljegyzet engedjék meg az állammal kapcsolatban: beszélhetünk-e az állam szólásszabadságáról? A beszélő állam amerikai teóriáját a szerző is idézőjelbe teszi, de a könyv címe bizonyos érte-

lemben félreérthető. Nehezen tudnám a számra venni, hogy az állam szabad, nem állítja ezt persze a könyv sem. Nézetem szerint az állam nem ősellenség, szövetséges lehet, együttműködő a közjó szolgálatában. Tevételes, objektív alapjogvédelmi szerepéről szólnék inkább, mint a szólás szabadságáról, nem honosítanám meg a divatos, amerikai doktrínát. Nekik könnyű a történelmük a két alapjog viszonylatában.

A mennyi államot és hol? régi nagy kérdése az alkotmányos államnak, ha csak az Alaptörvény alapjogi fejezetét vizsgálom, az állam – és ez igaz a két vizsgált alapjogra is – néha ott van jelen, ahol nem kéne, és onnan menekül el, ahol szükség lenne rá.

A másik a keresztény értékrend – kulturális értékrend kapcsolata • A másik kiemelt kérdés a keresztény értékrend; a keresztény jelképek mennyire váltak az általános emberi kultúra részévé. A keresztény értékrend nem feltétlenül ideologikus, ezek az értékek, szerepek, magatartásminták az egyetemes emberi kultúra részévé váltak. A keresztény értékrend fogalma elválóban van a keresztény világnézet fogalmától, mondják, Európában az ateista is keresztény. A könyv nem kerüli meg a választ például a kereszt esetében – kulturális vagy vallási jelkép-e – Koltay András nézete az, hogy egyszerre el lehet fogadni kulturális, történelmi jelentőségét, de ne fosszuk meg vallási jelentésétől sem. Jelzi azt is, hogy az igen vagy a nem súlyos lemondás mindkét fél részéről, a tézisek antitezissé válhatnak.

Korábban idéztem, hogy az alapjogbarát könyv sokkal többről szól, mint önmagában a két magas rangú, történeti veretű alapjog. Elgondolkoztat azon, hogy jó fele megyünk-e a gyorsuló időben, amikor jelentősen megváltozott a nyilvánosság szerkezete, súlypontja, a vallások szerepe, vonzása a demokratikus

társadalmakban. Nehéz a válasz, ám a gyűlölet és a szeretet legújabb kori háborújának nem mindegy, hogy mi lesz a végeredménye. „Keresd a békét és járj utána” – mondja Európa védőszentje, Szent Benedek *Regulá*-ja. És ha már Európa szóba jött Robert Schumann közismert gondolatával szeretném zárni a rövid könyvismertetést: „Európa vagy keresztény lesz vagy nem lesz”. Évtizedek óta sokat töprengenek ezen a bölcs mondaton, nem csak szekuláris értelemben.

Meggyőző erejű könyv, sokat tanulhat belőle az olvasó. Gondolkodásmódot, toleranciát. Jó szívvel ajánlom mindenkinek. (*Koltay András: A vallások, az állam és a szólás szabadsága, Vallási jelképek, vélemények és blaszfémia a közéletben. Budapest: Századvég Kiadó, 2016*)

Kukorelli István
DSc, egyetemi tanár

HIVATKOZÁS

Walter Lippman (1993): *A közjó filozófiája*. Budapest: Bagolyvár Kiadó



CONTENTS

Multi-faceted Evolution

Guest Editor: Zoltán Varga

Zoltán Varga: Introductory Address	130
Gábor Holló: Simple Symmetry	134
Zsófia N. Gertheis – Gergely J. Szöllősi: Reconstructing Species Trees with Gene Trees ...	141
János Podani: “Thinking in Trees” in Biology – True and False Trees	148
Zoltán Varga: Evolution on Hierarchic Levels—Populations, Species, Communities	165
Tamás Székely: Significance of Adult Sex Ratio for the Evolution of Mating Systems and Parental Care	176
Zoltán Barta: The Effect of Individual Variation on Evolution of Cooperation.....	183

Study

Tamás Bódai – Gábor Drótos – Tímea Haszpra – Mátyás Herein – János Márffy – Tamás Tél: The Theory of Parallel Climates on Earth	188
István Hargittai: George Klein (1925–2016)	202
Veronika Szántó: Life as a Natural Philosophical Problem in the History of Western Thought	210
László Csató: Revenge of the Third Reviewer, or the Importance of Axioms	219

Discussion

András Holl: Open Access Needs to be Discussed Openly. Reflections on the Paper by Kármén Kovács.	224
Tibor Czvikovszky: Ethology, Homo sapiens, Society	228

Interjú

New Breeding Techniques—Do Regulate Or Do Not Regulate László Egyed's Interviews with Dénes Dudits and Joachim Schiemann	232
---	-----

Introduction of the New Corresponding Members of the MTA

Gábor Kecskeméti	240
Zsolt Páles	242
István Simon	244

<i>Outlook (Júlia Gimes)</i>	246
------------------------------------	-----

<i>Book Review (Júlia Sipos)</i>	248
--	-----

Ajánlás a szerzőknek

1. A Magyar Tudomány elsősorban a tudományterületek közötti kommunikációt szeretné elősegíteni, ezért főleg olyan dolgozatokat közöl, amelyek a tudomány egészét érintik, vagy érthetően mutatják be az egyes tudományterületeket. Lapunk nem szakfolyóirat, ezért a szerzőktől közérthető, egy-egy tudományterület szaknyelvét mellőző cikkeket várunk.

2. A terjedelem ne haladja meg a 30 000 leütést (szóközökkel együtt), ha a tanulmány ábrákat, táblázatokat is tartalmaz, kérjük, arányosan csökkentse a szöveg mennyiségét. Beszámolók, recenzíók terjedelme ne haladja meg a 7–8000 leütést. A kéziratot.doc vagy .rtf formátumban, e-mailen vagy CD-n kérjük a szerkesztőségbe beküldeni.

3. Másodközlésre csak indokolt esetben, előzetes egyeztetés után fogadunk el dolgozatokat.

4. Kérünk a cikkhez 4–6 magyar kulcsszót és az írás angol címét, valamint a szerző nevét, tudományos fokozatát, munkahelye pontos nevét, s ha közölni kívánja, e-mail címét. Külön kérjük azt a levelezési és e-mail címet, telefonszámot, ahol a szerkesztők a szerzőt általában elérhetik.

5. Kérjük, hogy a cikkben mindig jelöljék az idézetek forrásait.

6. Idegen nyelvű idézetek esetében kérjük azok lábjegyzetben vagy zárójelben való fordítását is.

7. Kérjük, az irodalomjegyzékben adják meg az idézett cikkek DOI (Digital Object Identifier) kódját, s ha a cikkhez, könyvhöz ismernek szabad, ingyenes elérést, akkor azt is.

8. A szövegben emlegetett, hivatkozott személyek vagy intézmények teljes nevét kérjük kiírni azok első előfordulásakor.

9. Kérjük, az idegen nyelvű ábrák szövegét fordítsák le, vagy mellékeljenek egy szólistát.

10. Ha a szerző nem saját illusztrációit használja, akkor fel kell tüntetni azok forrását. A szerző dolga, hogy kiderítse a copyright tulajdonosát, és amennyiben nem szabad felhasználású, engedélyt szerezzen a közléshez.

11. Szövegközi kiemelésként *dőlt*, vagy *félkövér* formázást alkalmazunk; ritkítást, VERZÁLT,

KISKAPITÁLIST és aláhúzást nem. A jegyzeteket lábjegyzetként kérjük megadni.

12. Az ábrák érkezhetnek papíron, lemezen vagy e-mail útján, bármilyen vektoros vagy pixeles formátumban; utóbbi esetben jól olvasható, finom felbontásban és min. 10×10 cm-s tényleges méretben. Kérjük, hogy ne a Word-dokumentumba ágyazzottan, hanem külön küldjék őket. Készítésüknél vegyék figyelembe, hogy lapunk **nem** színes, és a tükörméret 125 mm. A szövegben tüntessék fel az ábrák kívánatos helyét.

13. A hivatkozásokat mindig a közlemény végén közöljük, a lábjegyzetekben legfeljebb utalások lehetnek az irodalomjegyzékre. Irodalmi hivatkozások a szövegben: (szerző, megjelenés éve) pl. (Balogh, 1957). Ha azonos szerző(k)től ugyanazon évben több tanulmányra hivatkoznak, akkor a közleményeket az évszám után írt a, b, c jelekkel kérjük megkülönböztetni mind a szövegben, mind az irodalomjegyzékben. Kérjük: csak olyan és annyi hivatkozást írjanak, amilyen és amennyi elősegíti a megértést. Számuk ne haladja meg a 10–15-öt.

14. Az irodalomjegyzéket ábécé-sorrendben kérjük. A tételek formája a következő legyen:

- Folyóiratcikkek: Feuer, Michael J. – Towne, L. – Shavel, R. J. et al. (2002): Scientific Culture. *The Educational Researcher* 31, 8, 4–14.

- Könyvek: Rokkan, Stein – Urwin, D. W. – Smith, J. (eds.) (1982): *The Politics Identity*. Sage, London

- Tanulmánygyűjtemények: Halász Gábor – Kovács Katalin (2002): Az OECD tevékenysége az oktatás területén. In: Bábosik István – Kárpáthi Andrea (szerk.): *Összehasonlító pedagógia*. Books in Print, Budapest

15. Ha internetes írásra hivatkozik a szerző, ennek formája a szövegben (URL₁), (URL₂) stb., az irodalomjegyzékben URL₁: Magyar Nemzeti Bibliográfia <http://mn.b.hu/>

16. A Magyar Tudomány kefelevonatokat nem küld, de elfogadás előtt minden szerzőnek elküldi egyeztetésre közleménye szerkesztett példányát.