

Magyar Tudomány

Az élet keletkezése

A jóléti állam – válság és kiutak

Tíz éves a Magyar Akkreditációs Bizottság

2004•1

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA FOLYÓIRATA. ALAPÍTÁS ÉVE: 1840
CX. kötet – Új folyam, XLIX. kötet, 2004/1. szám

Főszerkesztő:

CSÁNYI VILMOS

Vezető szerkesztő:

ELEK LÁSZLÓ

Olvasószerkesztő:

MAJOROS KLÁRA

Szerkesztőbizottság:

ÁDÁM GYÖRGY, BENCZE GYULA, CZELNAI RUDOLF, CSÁSZÁR ÁKOS, ENYEDI GYÖRGY,
KOVÁCS FERENC, KÖPECSI BÉLA, LUDASSY MÁRIA, NIEDERHAUSER EMIL,
SOLYMOSSI FRIGYES, SPÁT ANDRÁS, SZENTES TAMÁS, VÁMOS TIBOR

A lapot készítették:

CSAPÓ MÁRIA, CSATÓ ÉVA, GAZDAG KÁLMÁNNÉ, HALMOS TAMÁS, MATSKÁSI ISTVÁN,
PERECZ LÁSZLÓ, SPERLÁGH SÁNDOR, SZABADOS LÁSZLÓ, SZENTGYÖRGYI ZSUZSA, F. TÓTH TIBOR

Lapterv, tipográfia:

MAKOVECZ BENJAMIN

Szerkesztőség:

1051 Budapest, Nádor utca 7. • Telefon/fax: 3179-524

matud@helka.iif.hu • www.matud.iif.hu

Kiadja az Akaprint Kft. • 1115 Bp., Bártfai u. 65.

Tel.: 2067-975 • akaprint@matavnet.hu

Előfizethető a FOK-TA Bt. címén (1134 Budapest, Gidófalvy L. u. 21.);

a Posta hírlapüzleteiben, az MP Rt. Hírlapelőfizetési és Elektronikus

Posta Igazgatóságánál (HELP) 1846 Budapest, Pf. 863,

valamint a folyóirat kiadójánál: Akaprint Kft. 1115 Bp., Bártfai u. 65.

Előfizetési díj egy évre: 6048 Ft

Terjeszti a Magyar Posta és alternatív terjesztők

Kapható az ország igényes könyvesboltjaiban

Nyomdai munkák: Akaprint Kft. 25845

Felelős vezető: Freier László

Megjelent: 15,35 (A/5) ív terjedelemben

HU ISSN 0025 0325

TARTALOM

Ökológia

Fekete Gábor: Ökológia: a teóriától a praxisig	2
Bartha Sándor: Paradigmaváltás és módszertani forradalom a vegetáció vizsgálatában	12
Báldi András – Jordán Ferenc: Közösségi ökológia: évszázados nehézségek és új utak	27
Bíró Péter – Oertel Nándor: A hidrobiológia főbb irányvonalai és feladatai	37
Pásztor Erzsébet: Evolúciós ökológia: az adaptációk kutatásának tudománya	49
Scheuring István: Matematikai modellek az ökológiában	59
Vida Gábor: Záró globális gondolatok	67

Tanulmány

Kéri György: Jeltovábbítási terápiaák: új irányok a modern gyógyszerkutatásban	70
Mandel Kinga: A felsőoktatás akkreditációja Franciaországban	81

Tudós fórum

Kitüntetések a Magyar Tudomány Napja alkalmából	92
Fábrí György: Mindentudás Egyeteme (a műhely).....	96
A Bolyai János kutatási ösztöndíj kuratóriumának elemzése	106
Darvas György – Bérczi Szaniszló: Szimmetria fesztivál Budapesten	114

Megemlékezés

Farkas Tibor (<i>Kitajka Klára – Vigh László</i>)	121
---	-----

<i>Kitekintés (Jéki László – Gimes Júlia)</i>	124
---	-----

Könyvszemle

Kéri György – Tóth István: Molecular Pathomechanisms and New Trends in Drug Research (<i>Teplán István</i>)	129
A <i>Progress in Mining and Oilfield Chemistry</i> sorozat új kötetei (<i>Berecz Endre</i>)	131
Inczedy János: Kémiai folyamatok műszeres ellenőrzése (<i>Fonyó Zsolt</i>)	132
Éva V. Huseby-Darvas: Michigani magyarok (<i>Kontra Miklós</i>)	133

Ökológia

ÖKOLÓGIA: A TEÓRIÁTÓL A PRAXISIG

Fekete Gábor

az MTA rendes tagja, kutatóprofesszor
MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete, Vácrátót
h6868fek@helka.iif.hu

Milyen tényezők okozzák a Balaton eutrofizációját; hogyan lehet a jelenséget – szimulációs modellekkel – leírni? És hogyan lehet elejét venni? • Mi a cianidszennyeződés hatása a Tisza és a Szamos élővilága egyes állatsoportjaira, hogyan hat túlélésükre és regenerációjukra? • Hogyan érintette az Öreg-Duna vízszintcsökkenése a Szigetköz természetes élőhelyeit, az életközösségek faji sokféleségét? Mi helyreállásuk valószínűsége, várható időtartama vízpótlás esetén? • Milyen klímátényezők szabják meg az erdőösszetépp bióm határait a Kárpát-medencében? • Milyen az ökoszisztéma tápláléklánczatának szerkezete, és hogyan változik a szukcesszióban? • Milyen mikorrhiza-kapcsolatok alakultak ki egyes gyepfajoknál, és mi a jelenség szerepe a szárazságtűrésben? • Mi az ökofiziológiai háttere kultúrnövények és gyomnövények kompetíciójának? • Mi a módszertana a légszennyeződés bioindikációs monitorozásának? • Hogyan alakult a rovar-növény kapcsolatok evolúciója? • Mi az állatok szaporodásának „költsége”, és mi ennek az ökológiai következménye?

Az utóbbi évek ökológiai szakirodalmában tallózva választottunk ki fentebb – önkényesen – tíz olyan kérdést, amelyeket ökológusaink fontosnak tartottak/tartanak, kutatnak. A kis válogatás – durván – tekintettel van a különböző műfajok: esettanulmányok,

módszertani, illetve elméleti munkák számarányaira. A kutatások palettája különösen színes, ha az objektumok nagy változatosságát tekintjük; emellett a vizsgált objektumok „összetettségükben” is diverzek, az egyedekből összeálló populációktól az életközösségek komplexumáig. Az is kiolvasható, hogy a vizsgálatok térléptéke igen eltérő lehet. És talán az is sejthető, hogy a kutatásokhoz szükséges idő témánként változik ugyan, de – mint azt később jobban kifejthük – sokszor több vagy sok év.

De miben is összegezhető az ökológiai kutatás lényege? Az ökológia (amely nevét a görög *oikos* – ház, lakóhely, háztartás – szónak köszönheti) azt vizsgálja, hogy melyek azok a kényszerfeltételek, amelyek a növények, állatok és mikroorganizmusok magasabbrendű organizációs szintekbe szerveződött egységeire (populációkra, közösségekre, illetve társulásokra, társuláskomplexekre, biómokra) hatnak, és hogy e kényszerfeltételek hogyan határozzák meg térbeli eloszlásukat, viselkedésüket, működésüket (Juhász-Nagy, 1986). A kényszerfeltételek között egyre gyakrabban megjelenik az ember módosító-romboló hatása.

Az ökológia részterületeiről

Inkább a hagyományoknak tesz eleget az, aki a nagy élőlénycsoportok szerint *mikro-*

biális ökológiáról, növény- és állatökológiáról beszél. Megismerve azonban akárcsak a növény-állat interakciók sokféleségét és kiterjedtségét, az ilyen felosztás merevsége egyre nyilvánvalóbb. A nagy ökológiai kézikönyvek – noha hangsúlyaikban gyakran lényegesen eltérnek egymástól – egyben megegyeznek: abban, hogy a legvaskosabb fejezeteik a populációk (növény- és állatpopulációk) struktúrájáról, dinamikájáról, regulációjáról, interakcióiról, illetőleg közösségek (növény- és állatközösségek) elterjedéséről, szerkezetéről, dinamikájáról, forrásfelosztásáról stb. szólnak. A tény, hogy virágzik a „taxonómiai szempontokon” felülemelkedő *populáció-ökológia* vagy a *közösségi ökológia*, a törvényszerűségek generális jellegét bizonyítja (ezt hangsúlyozza a *general ecology* fogalma is). Integrál a maga módján az *ökoszisztéma-ökológia* is, azzal, hogy komplex (növényekből, állatokból, mikroorganizmusokból összeálló) rendszerek anyagforgalmi, energiaáramlási kérdéseit vizsgálja. A módszerre teszi a hangsúlyt a *statisztikai ökológia*. A *teoretikus ökológia* egyre szélesebb alapon segít értelmezni, egységbe foglalni a szinte emésztetlenül sok és sokféle terpei és laboratóriumi megfigyeléseket. Elméleti körébe beletartoznak a nagy empirikus evidencia-anyaggal dolgozó, szintézisre törekvő ún. magyarázó elméletek is, amelyek modelljei még hiányoznak. A teoretikus ökológia célja elvek, szabályok, törvényszerűségek, törvények, invarianciák kutatása, egységbe foglalása. Ezeknek a nyelve legtöbbször a matematika. Sok matematikai modell szerepe az új eszmék, új fogalmak előállításában van, ezzel a felfedezés folyamatát irányíthatják. A teoretikus ökológia gyökerei a populációnövekedési modellekig, populációölcsonthatás-modellekig, niche-elméleti modellekig, a ragadozó-zsákmány viszonyt leíró modellekig követhetők.

Napjainkban egyre nő az igény a működés, a mechanizmusok megismerésére. Ennek

köszönhetjük a *funkcionális ökológia* kialakulását (részterületei például a *beporzás* vagy a *diszperzál ökológiája*, de a *kémiai ökológia* is). Újabb idők találmánya az organizmus szintű fiziológiai folyamatok társulásszintű összerendeltségét kutató *szümfiziológia*. Egyáltalán: kruciális helyzetben vannak azok a területek, amelyek a biológia más vidékeihez való ízesülést szolgálják. Ilyen feladatot tölt be például az evolúcióbiológia felé az *evolúciós ökológia*; erre céloz már a hidrobiológus G. Evelyn Hutchinson korai metaforája is: „az evolúció az ökológia színpadán zajlik”. Dinamikusan fejlődik a *viselkedésökológia* tudományága, amely azt vizsgálja, hogy hogyan járul hozzá a populációk viselkedése az alkalmazkodáshoz az adott ökológiai és szociális környezetnek. Más nézőpontok más taglaláshoz vezetnek. Objektumcentrikus kérdéseket tesz fel például az *erdészeti ökológia*, a közeg sajátosságait veszi figyelembe a *teresztris ökológia*, a *hidroökológia*, a *talajökológia*.

Meglehetősen szigorú kényszerfeltételek között működik az *urbánökológia*. A városi vegetáció idegen fajokban dúsul fel, szukcessziója folytonosan akadályozott és megrekedt a pionír fázisban. Magasabb itt a mag- és a fészek-predáció aránya is, a rurális környezethez képest. De ez az újfajta szelektív környezet az evolúciót is befolyásolja, hiszen ismerünk például olyan madárpopulációkat, amelyek különböző morfológiákkal adaptálódnak a városi környezethez, és néhány baktérium, gerinctelen, sőt emlős faj is rezisztenciát fejlesztett ki antibiotikumok, mérgek, peszticidek ellenében. Az urbán ökoszisztémák mindemellett helyről-helyre nagy variációt mutatnak az ember okozta perturbációk különbözősége miatt.

Tanulságos a napjainkban nagykorúsodó ún. *makroökológia* karrierje (Brown, 1995). Ezzel a keveset mondó kifejezéssel illetik azt a tudományterületet, amely (idősebb kutatók megnyugvására) sokat merít az ökológiának

a hagyományosabb biogeográfiával szomszédos határvidékéről. A makroökológia a fajok elterjedésének, gyakoriságának, a fajgazdaságnak statisztikai mintázatait kutatja lokális, regionális és globális skálákon, és a mintázatok értelmezésére elméleti magyarázatokat dolgoz ki. Maga a szó arra utal, hogy a vizsgálatok gyakran folynak durvább térléptékben. Kiderült, hogy a megközelítéseknek ez a hatékony fajtája régi-új terület, mert korábbi, klasszikus elméletek, felismerések is ide vonhatóak. Általánosnak látszik például, hogy sok együtt élő, azonos taxonómiai csoportba tartozó szervezet (például kovamoszatok, hangyák, madarak, növények) fajai, ha gyakoriság szerinti eloszlásukat tekintjük, lognormál eloszlást követnek. Ez a törvényszerűség vonatkozhat flórákra, faunákra, de egy növénytársulás egy állományára is. Azok a diverzitási grádiensek (egyszerűen: fajszámcsökkenések), amiket például egy trópusi-mérsékelt égövi metszetben növények, állatok sok csoportjában kimutathatunk, szintén a makroökológia hatáskörébe tartoznak. De ilyen klasszikus terület a területméret-fajszám összefüggések leírása, formulázása is. Vagy a szigetbiogeográfia ekvilibrium elmélete, amely kimondja, hogy egy szigeten – egy élőlénycsoportot tekintve – idővel egyensúlyi fajszám alakulhat ki, ami két folyamat: az immigráció és az extinkció eredménye. Frissebb találmány a lokális populációgyakoriságok és a földrajzi elterjedtség közötti kapcsolatok kimutatása. Általában nagyszámú egyed, faj viselkedését leíró empirikus mintázatokról van itt szó, ahol az objektumok olyan rendszerekkel vannak interakcióban, amelyeket erős fizikai vagy biológiai kényszerek urálnak.

A jelenkori klímaváltozás megítélése nemegy kutató érdeklődését a paleoklimák ismerete felé tereli, ez a fő oka a *paleoökológia* jelenkori fellebbbásának. Fosszilis flórák például jó alapot nyújtanak a paleoklimák felvázolásához. Harmadidőszaki flórák mai

rokon fajai klímaigényéből kiindulva ilyen klímarekonstrukciókkal szerzett máig tartó világhírnevet Andreánszky Gábor. A módszeren itt különösen színes, újabban például a paleoökológiai kutatások színpadán – váratlan szereplőként – beugrott a biokémia is; azóta (a karbon izotópok arányára támaszkodva) több millió éves fosszilis anyagból is képesek vagyunk a fűevők étrendjére következtetni, ezen keresztül pedig arra, hogy mikor következett be a C₄-es fotoszintézis-típusú füvek expanziója, mikorra tehető a nyílt fátlan élőhelyek kiterjedése stb. Meszszire vezető felismerések ezek.

Akárhogy is: az ökológia legfontosabb kérdései az egyedfeletti biológiai szerveződés: a *szupraindividuális organizációk* körül forognak. Azt, hogy az *ökológia a biológia tudományának, ezen belül pedig a szűnbiológiának szerves része*, nem hangsúlyozhatjuk eléggé. Egyre divatosabb ugyanis a jelenség, hogy az ökológia határait mérhetetlenül kitágítják, ezáltal tartalmát is feloldják. Még jobbik eset, ha ezt a környezettudományok elegyében teszik. Mivel mindennapos – mint az MTA Ökológiai Bizottsága egy korábbi állásfoglalása is megállapítja –, hogy az ökológia mint jelzős szerkezet ma már bárhol megjelenhet, ahol az objektum és környezete viszonyáról van szó. Ilyen „paraökológiák” például: a „szocioökológia”, a „kultúra ökológiája”, sőt az „erkölcs ökológiája”. (Ezekkel szemben az ökológiai kultúra, az ökológiai morál szükséges fogalmak.) Még újabb keletű az „ipari ökológia”. A divat megtette a magáét: az új keletű „Mädchen für alles” szerepben az ökológia, az ökológiai szavak jelentése eltorzult, különösen mióta egyes újságírók, politikusok napi szótárába is bekerültek. És akkor még nem ejtettünk szót a társadalmak átalakítására törő ökológiai mozgalmak ún. alternatív gondolkodóinak felfogásáról; szerintük az ökológia tudománya a természettudomány mellett a humán-tudományokból is táplálkozik, ezért

például ökoszisztéma fogalmuk természeti és társadalmi jelenségeket egyaránt magában foglal. Így aztán nem meglepő, ha a „politikai ökológia” már nem tudomány, hanem társadalmi-politikai ideológia. A diszciplináris határok kijelölése, mint minden más tudomány esetében, itt is követelmény, ettől azonban, mint látni fogjuk, az ökológia még nyitott – egyre nyitottabb – a súlyosodó gazdasági, társadalmi kihatású kérdésekre kutatására. Ezt a tényt az is jelzi, hogy szaporodnak az olyan új társaságok, szimpóziumok, folyóiratok, amelyek az ökológia határvidékein távolabbi területek felé vonnak hidat. Ilyen példák: ökológia-ökonómia, ökológia-mérnöki tudományok/tevékenység (ecological engineering), ökológia-hidrológia stb.

Az ökológiai folyamatok természete

A szupraindividuális szintekre jellemző az egyedi, egyed alatti szintekkel szemben az, hogy a jelenségeknek sokkal nagyobb a bonyolultsága, komplexitása; nagyobb a térbeni és időbeni variabilitás; a stochaszticitás szinte mindenütt megnyilvánul; jóval nagyobbak a térbeli és időbeli léptékek; hogy a folyamatok állandóan változó feltételek között zajlanak. Nézzük csak közelebbről a folyamatokat. Stuart Pickett (1991) után elfogadhatjuk, hogy négy típusuk gyakori. Jellegetesen *lassú folyamat* a növényi életközösségek (növénytársulások, cönózisok) szukcessziója, időbeni egymásra következése. Még az ún. másodlagos szukcesszió is évtizedeket vesz igénybe, a primér szukcesszió pedig, amikor talajképződés és társulásszerveződés (másképpen: az ökogenezis és cönogenezis) egyszerre veszik kezdetüket (gondoljunk a zátonyok, nyílt sziklafelületek, nyers homok benépesedésére), több száz évig is eltarthat. Mindenfajta szukcesszió (így a ma általános degradáció, leromlás) megértéséhez nélkülözhetetlen a mechanizmusoknak, illetőleg a populációk térbeli kényszerei és dinamizmusai kapcsolatának megismerése. Mindez

nem megy sokéves vizsgálatok nélkül. A folyamatok második csoportja *ritka és váratlan*. Ilyen például a sikeres behurcolást követő invázió, erről majd bővebben is írunk. De váratlan eseményként lépett fel például a kocsánytalan tölgy pusztulása is a Középhegység keleti felében (az elmúlt évszázad hetvenes éveinek végén), hogy aztán járványszerűen végigsöpörjön az országon. A harmadik típusa a folyamatoknak, amikor *alig észrevehető, finom, apró változásokból* tevődik össze. Ilyen például egy táj rovar-együttesének lassú átalakulása. Kimutatható volt, hogy a Duna-Tisza köze nagylepkéinek fajszáma is, egyedszáma is csökkenő trendet mutat – nem mellesleg: jelezve a táji sokféleség szegényedését –, ám közben az évenkénti fluktuáció igen nagy. Ezért a folyamat csak sok (negyven) éves megfigyeléssorozattal volt biztonsággal leírható (a hazánkban világvizonylatban is elsőrangú, kitűnően szervezett fénycsapda-hálózat segítségével). Végül igen gyakoriak a *komplex folyamatok*. Maguk a tanulmányozott rendszerek is igen gyakran komplexek, sokszor egy nagyobb, ugyanakkor komplex rendszerbe beágyazva. A „kisebb” rendszer viselkedése rendszerint a „nagyobb” rendszer állapotváltozásaitól, folyamataitól függhet, ezek különféle időbeli és térbeli skálákon és különböző intenzitással működnek és kölcsönhatnak, létrehozva a „kisebb” rendszer komplex struktúráját és okozva annak nem-lineáris dinamikáját (jó példákat nyújtanak erre egyes rágcsáló emlősök populációméretének dinamikái). Szerencsésebb esetekben felismerhetőek, elkülöníthetőek olyan periódusok, amelyekben egy-egy tényező válik dominánssá. Ehhez megint hosszú megfigyelési idő kell.

Ilyen megfontolások is közrejátszottak abban, hogy még az 1980-as években az Egyesült Államokban létrehozták a hosszú távú ökológiai kutatások (Long Term Ecological Research – LTER) rendszerét a különböző biotópokban, többnyire nagyterjedésű kísérleti térben

(site) létesített nagy kutatóállomásokat. Ezen állomásokon a kutatás anyagi feltételei hosszú időre biztosítottak, a kutatási módszerek és részben – a biom adta körülményektől függően – a tematika is standardizált. Ami igen fontos: az állomásokon, ahol ismert az objektum előtörténete (mondjuk: a gyepek kezelési-használati módja a múltban), a terepkísérletek zavartalansága garantált. Az egyes állomások műszerezettsége nagyfokú, ez magasan képzett személyzetet igényel, annál is inkább, mivel a mérések technológiáját is minimum-standard előírások szabályozzák. A keletkező nagy adatbázisok közötti információcseréje érdekében az állomások hálózattá állnak össze. A már globális léptékű vizsgálatok elősegítését, a modell-predikciók érvényességének tesztelését, a szintézist stb. kiegészítő egységek (LTER Remote Sensing és GIS-laboratóriumok) végzik (Kovács-Láng – Fekete, 1995). A koncepció közben nemzetközileg is elfogadott lett, ezért az utolsó évtizedben létrehozták az ILTER jelenleg huszonegy országra kiterjedő hálózatát. A hálózat sokirányú információt közvetít, és lehetővé teszi a hasonló célokat kitűző állomások „párosítását”; skálázási-standardizálási problémák megoldását. Az ILTER-hálózat alakításában Magyarországnak a kezdetektől szerepe van, mint az Európában időben második csatlakozó partnerek. (A kimondottan jó nemzetközi reputáció annak a hét-nyolc projektnek is köszönhető, amely hazánkban két-négy évtizede folyik, de amelyek infrastruktúrája vagy elavult, vagy még igazában ki sem épült. A kép kifelé szebb, mint a valóságban: a három bejegyzett állomás egyike sem felel meg az LTER-standardnak; a fejlesztés halaszthatatlan.)

AZ LTER- (és a hasonló komplex terepi) állomások létrejötte a kutatások koncentrálódásának jeleként is felfogható, az ILTER-hálózat pedig egy lépés az ökológia globalizálódása felé, amit az a felismerés gyorsított, hogy hasonló problémák a világ különböző

részein felüthetik fejüket (erre utal a *globális ökológia*). Nem ez az első jele a nemzetközi összefogásnak, hiszen már a hetvenes években megjelent az *International Biological Programme* a maga korlátozott célkitűzésével (az egyes biómok-régiók szervesanyag-produkciójának, anyagforgalmának stb. meghatározása igényével). Jelenleg is élő az IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme). De működik a *Global Terrestrial Observing System* (GTOS) is, ehhez is kapcsolódnak magyar ökológiai kutatások. Több világprogram speciálisabb célkitűzéseket tűz zászlajára: a DIVERSITAS például azt az égető kérdést, hogy milyen a kapcsolat biológiai sokféleség és az ökoszisztéma működése között, hogy milyen hatással van a sokféleség változása (rendszerint: csökkenése) a funkcióra?

Már a fent vázolt kép is magában foglalja a választ arra a tarthatatlan, de még ma is felbukkanó állításra, miszerint: az ökológia olcsó tudomány. De hiszen hol vagyunk már attól az időtől, amikor a növénygyűjtő mappa, a lepkeháló, szippantó, jegyzetfüzet, ceruza jelentette az ökológus szinte teljes eszköztárát? Bár kétségtelen, hogy a terepi tények pontos regisztrálása, dokumentálása továbbra is a legfontosabb mozzanat a kutatásban, a kísérletek fontossága mérhetetlenül megnövekedett. Ezért helytelen az a tudománypolitikai szentencia, amely az ökológiát pusztán leíró tudománynak minősíti. Ha az állományszintű kutatásokat tekintjük, az alapvető folyamatok megértéséhez a lomb-sátor fotoszintézisét, mikrometeorológiai folyamatokat tartósan regisztráló műszerek szükségesek; az ökoszisztéma-anyagforgalom leírásához tucatnyi elemre kiterjedő analitikai technikákat, olykor nukleáris technikát alkalmaznak. Mozgó laboratóriumok, meteorológiai tomyok stb. évtizedek óta alapvető feltételnek számítanak. A klímaváltozás várható hatásának kutatása nagy klímaszimuláló terepi berendezéseket igényel. Az

ökológiai és konzervációbiológiai kérdések egyedi és populációsintű vizsgálatába (demográfiai paraméterek becslése, diszperziós mintázatok leírása, az egyedek genetikai rokonságának mérése, a populációtörténet rekonstrukciója stb.) bevonult a molekuláris markerek eszköztára (Pénzes et al., 2002). Táj szintű elemzésekhez nélkülözhetetlenek az űrfelvételek. A legtöbb kutatás velejárója az adatbázis-építés, statisztikai alkalmazások, szimulációs modellezés, olykor a földrajzi információs rendszerek építése – persze a megfelelő gépek és programok birtokában.

Ökológia és gyakorlat

Ezen írás elején felsorolt témákból is kiderül: az ökológiai diszfunkciók vagy környezeti katasztrófák kihívásainak az ökológus igyekszik megfelelni. Gyakran egyszeri, addig nem tapasztalt szituációkba kénytelen szinte „vakon” beilleszkedni. Ezek a gyakorlat felől érkező – nemegyszer sürgető és parancsoló kihívások erőpróbára sarkallnak. A motivációk egyike, hogy olykor sarkított, egyedülálló (ugyanakkor: reprodukálhatatlan) kísérleti körülmények jönnek létre. Persze, a rendkívüli eseteken túl is egyre több vonalon használható az ökológiai tudás. Vagy ha ma még nem, a holnap kikényszeríti tudomásulvételét. Már ma sem nélkülözhetjük a víztisztítás biológiai módszerét avagy a biológiai növényvédelmet, amely egyaránt épít a vírusok, baktériumok, gombák, állatok mint természetes ellenségek alkalmazására. De gondoljunk például a mezőgazdasági és ipari ökotoxikológiára, vagy arra, hogy az ökológiai szempont mára megkerülhetetlen a legkülönfélébb hatástanulmányok készítésekor. Igen gyakran az élő szervezetek környezetjelző tulajdonságait használjuk ki, ez az ún. ökológiai indikáció az alapja például a környezetminősítésnek (példák: nehézfémek, kéndioxid), a vízminősítésnek. Az utóbbi évek vagy akár csak a 2003. év rendkívüli időjárási eseményei előtérbe állították

a globális klímaváltozás problematikáját. Detektálása persze a meteorológusok dolga, de az ökológusok sem tétlenkednek, hanem éberren figyelik az élővilág válaszreakcióit. Gyűlnek is a tények a különböző éghajlati zónákból, a legkülönözőbb élőhelyekről és élőlénycsoportokból. Ilyenek: az asszimiláló szerveken a sztómasűrűség csökkenése, a virágzási idő előretolódása, rovarok, madarak életciklus-változásai, több tucat madárfaj északi elterjedési határának kitolódása, az Antarktiszon pedig egyes fűfajok újabkori terjedése. (Félelmetes predikciók látnak napvilágot a jövőről. Egy becslés például kilátásba helyezi, hogy az atmoszféra széndioxid-koncentrációjának megkettőződésével Földünk felszínének 16-55 százalékán változna át egyik bióm a másikba.) Idehaza mindenesetre kítűnő megfigyelések mutatják, hogy – már az 1980-as évektől fogva folyamatosan – sok, hazánkban addig ismeretlen – gyakran déli elterjedésű – rovarfaj bukkan fel és telepedik meg (Kozár, 1998). Az ilyen és hasonló indikációk vészjelzéseknek is felfoghatók, és részben azok is. Agroökológusaink már javában vizsgálják jelenleg is természetett kultúrművényeinket – elsősorban gabonafajtáinkat: hogyan viselkednek egy széndioxidban dúsult atmoszférában illetőleg növekvő szárazságnál? Melyeknél várható jelentős termés kiesés, melyek tolerálják a változásokat? Reális annak is a veszélye, hogy szántóföldjeinken a gyomkérdésnek is új aspektusa jelenik meg: és ekkor kérdés: melyek azok a gyomfajok (a C_3 - és C_4 -fotoszintézis-típusúak választékából), amelyeknek agresszivitása – a természetett fajták kárára – megnő? Egyre égetőbb gondokat vet fel a növényi, de az állatvilágban is fellépő és világméretű invázió jelensége. A rendszerint egy másik kontinensről származó (adventív), mértéktenül elszaporodó ún. invazív növényfajok („özöngyomok”) tömegükkel homogenizálják, transzformálják, sőt, mintegy leradírozzák egyes tájak eredeti

növénytakaróját. Létalapjukban veszélyeztetik tehát a biológiai sokféleséget, de mint veszélyes gyomok, gazdasági kártételük is tetemes. Az ember a forgalom, a kereskedelem globális kiterjesztésével, a szándékolt vagy véletlen behurcolásokkal áttörte, megkerülte a biogeográfiai barriereket; az így becsempészett élőlények az életközösségek természetes ellenségekben szegény közegében, tehát erős biológiai kontroll híján szaporodhatnak fel mértéktelenül. A bióták cseréjének, keveredésének tehát ára van. A tömeginvázióra ijesztő példa az észak-amerikai Nagy Tavak, ahol a transzocéáni hajókkal behurcolt több mint száznegyvenöt pontusi-káspi eredetű vízi gerinctelen telepedett meg. De a kölcsön visszajár. Hazai példát hozva: Nyugat-Dunántúl gondosan kutatott tájain nem egy Észak-Amerikából behurcolt özöngyom rombolja az eredeti vegetációt. De másutt is. Esetenként az ember egészségét is károsítják, gondoljunk a szintén amerikai eredetű, allergén parlagfűre. Ennyit a jelenségről, amelynek biológiai hátterét manapság hevesen kutatják. A részletekre itt nem térhetünk ki, az azonban említésre érdemes, hogy ennek a gyakorlati tekintetben is hűsbavágó jelenségnek: az invázióképeseknek az értelmezése megtermékenyítően hat az elméletre: a közösségi ökológia koncepcióira. Gyakorlat és elmélet között az utca tehát kétirányú. Amúgy az ökológiai kézikönyveknek legszebb lapjaira tartoznak azok az esettanulmányok, amelyek egy-egy veszedelmes (sokszor más kontinensről származó) invádor sikeres leküzdéséről számolnak be, felkutatva-felhasználva annak természetes ellenségeit, parazitáit.

De nézzük most a földhasználat témakörét. Európai csatlakozásunk a földhasználatban is változásokat kényszerít ki. A mezőgazdasági túltermelés Nyugat-Európában már hosszabb ideje ún. *set aside*-programokat gerjeszt, ez a földek egy részének a termelésből való kivonását célozza, sőt honorálja.

Hazánkban pedig, agroökológiai és ökonómiai megfontolásokra létrejött a Nemzeti Agrár-környezeti Program, ami a mindenütt minden áron való intenzív agrártermelés helyett egyfajta integrált földhasználati stratégia alapján áll (Ángyán et al., 1999). Ebben a stratégiában világosan felismerhető korunk új eszméje: a biológiai sokféleség fenntartásának, illetőleg a természetes élőhelyek megőrzésének vezérlő elve. A stratégia a földhasználatot és a környezetvédelmet-termesztvédelmet integrálja azáltal, hogy a táj adottságainak megfelelően határozza meg – tájról tájra – a használat és a védelem intenzitását, arányait. Így jönnek majd létre az egyes földhasználati zónák: környezetvédelmi, tájvédelmi magterületek; pufferező zónák illetve átmeneti zónák, ahol extenzív gazdálkodási formák érvényesülhetnek (például környezetileg érzékeny területek); agrárzónák: a mezőgazdasági művelés fő területei, a piaci versenykategóriában, de részben ökológiai alapozású gazdálkodással. A modern tájtervezőnek-tájépítőnek ma már törekednie kell arra, hogy az agrár-érintettségű tájak mikrostruktúráját úgy alakítsák az élőhelyek fragmentálódásának, izolálódásának megakadályozásával, a természetes élőhelyek foltjai összeköttetésének, illetve egy biotóphálózatnak megteremtésével, hogy a természetes biodiverzitás fennmaradjon. Másutt pedig – így például a környezetileg érzékeny területeken – természetközeli élőhelyek (például mocsarak, nádasok, szikesek, szárazgyepek) alkotta mozaiktájban a táj használatát kell úgy szabályozni, hogy közben a biodiverzitás is, az ökoszisztémák specifikus anyagforgalma, a tájban betöltött funkciója is tartósan fennmaradjon. A mezőgazdaság és a természetvédelem egymásra utaltságát jelzi, hogy agrártájban a kis természetközeli cserjés szegélyeknek, gypszakaszoknak növényvédelmi funkciójuk is van azzal, hogy élőhelyet nyújtanak a mezőgazdasági kártevők természetes ellenségeinek.

Mindehhez fogódzót, elméleti alapot nyújt az ökológia egyik leglátványosabban fejlődő területe, a *tájökológia*. Holisztikus irányzata a tájban zajló különféle emberi tevékenységet azok környezeti kihatásával együtt, rendszerben vizsgálja, ez egyfajta földrajzi alapozású erőforrás-gazdálkodáshoz vezet. Ami most minket jobban érdekel, az egy másik irányzat, amely azt kutatja, hogy a tájmozaik térbeli konfigurációja és dinamikája hogyan befolyásolja a növényfajok, állatfajok populációdinamikáját, a terjedést, máskor például a tápanyagok térbeli eloszlását vagy a diszturbáló ágensok terjedését (Turner et al., 2001). Ez a megközelítés erős elhanyagolásokkal él, a vizsgálat térbeli, időbeli skáláját is csupán a „fókuszban álló” élőlény vagy ökoszisztéma karakterisztikumai írják elő, csakúgy, mint a táj elemeinek megválasztását. Ezen elemek (mondjuk: lomberdő, tűlevelű erdő, nedves rét, mocsár, mezőgazdasági területek foltjai) minősége, mérete, térbeli eloszlása, a foltok határ- (áteresztő) tulajdonságai, konnektivitásuk („biológiai folyosók”) stb., azaz a tájszerkezet meghatározó a valamilyen (például konzervációbiológiai) szempontból kikutatott fajok túlélésében. Ez a koncepció erős szálakkal fűződik az ökológiai tudomány mai fősodrához. A tájökológiának ma integráló szerepe van, ami például abban nyilvánul meg, hogy a térbeli heterogenitásokat-mintázatokat leíró „tér-ökológia” tényeit, korábbi felismeréseit új, eddig elhanyagolt kontextusba (azaz: saját kereteibe) helyezi, katalizálja egyes koncepciók (például metapopulációk tana) fejlődését, de kihat az ökoszisztéma-tanra is.

Földhasználatról, annak változásáról szól a *restaurációs ökológia* is. Egyre nagyobb kiterjedést érnek el világszerte a sebzett, rontott felszínek, gondoljunk a felhagyott kőfejtőkre, külszíni művelésű bányafelületekre, a meddőhányókra, salakdombokra, felhagyott ipari területekre, tőzegkitermelő

helyekre, művelésből kivont szántóföldekre, erdőtüzekkel, agyonlegeltetéssel sújtott felszínekre. A feladat mindenütt azonos: a helyreállítás. Az ökológiai restauráció a restaurációs ökológia elvein nyugszik. Bármilyen felszínen bármilyen rendszer nem hozható létre; a cél-objektum (például ártéri gyepek, szárazgyepek, láprétek stb.) gyakran adott. De szükség van-e itt biológiai-ökológiai tudásra? Nagyon is! Mert ismernünk kell az alkalmazott növényfajok terjedési tulajdonságait, regenerációs dinamikáját, kompetitív képességét, a mortalitás paramétereit az egyes fejlődési fázisokban, fényigényét, tápanyag-toleranciáját stb. Ismerni kell a spontán betelepüléshez a források távolságát. A talajmagbankkészletéről, makrofaunájáról, gerinctelenjeiről, mikrobiális aktivitásáról is tudással kell rendelkezünk. És a természetes szukcesszióról is, főként azért, hogy ezt a folyamatot gyorsíthassuk, hogy alternatív utakat találjunk, néhány fázist átlépjünk stb.

Földhasználati mód az erdőgazdálkodás is. A hazai erdőgazdálkodás közel 90 %-án a tarvágásos üzemmódot alkalmazzák. Emiatt még erdőterületen sem állandó az erdőborítás, a tarva vágás után egy sor kedvezőtlen folyamat indul meg (gyorsuló szervesanyag-lebomlás, a termőréteg eróziója, olykor másodlagos talajsavanyodás, diverzitáscsökkenés a talajszintben). A tarvágás és a további erdőkezelés miatt egykor természetes erdőkben homogén erdőszerkezet, egykorú faállományok jönnek létre, csupán egy-két preferált fafajjal, de ezek génkészlete is csökken. A gazdasági erdőből a hasznos elegyfajok rendre kiszorulnak. Fenti, nemkívánatos következmények elkerülhetők egy, a természetes folyamatokra alapozott gazdálkodással, amilyent Európa néhány pontján már alkalmaznak. Előnyben részesítik az őshonos fafajokat, fenntartják – a taxonómia teljes terjedelmében – a faji változatosságot. Az erdőfelújítás, a rendezés és a fahasználat segítségével növelik az élőhely sokféleséget.

A vágásérett fák folyamatos kitermelésével csak olyan mértékű sebet ütnek a rendszeren, amelyet az erdő regenerálni képes. Az erdőszerkezet így heterogén, mert benne különböző méretű, korú fák, facsoportok élnek egyidőben. Mindennek a velejárója a természetes felújulás. Ilyen kezelés mellett a táj folyamatosan összefüggő erdővel borított, ez biztosítja, hogy az optimális termelékenység folyamatosan fennmaradjon. A természetes folyamatokra alapozott fokozatos áttérést egy európai mozgalom, a Pro Silva Europa – nálunk a Pro Silva Hungaria – szorgalmazza. Egy természetesebb erdőállapot kialakítását támogatja az ökológiai elmélet, mivel például az ún. lék-dinamikai modellek leírják a természetközeli erdőszerkezetben végbemenő folyamatokat. A közepes diszturbancia hipotézis pedig segít értelmezni azt a tényt, hogy ilyen, tarvágásoktól megkímélt „örök-erdőben” nagy a biodiverzitás. A mozaikos szerkezetű erdőben ugyanis a különböző szukcessziós (erdőregenerációs) fázisokat képviselő, különböző korú foltok – amelyeknek kialakulását az ember is elősegíti – flórája, kompozíciója is eltér némiképp egymástól.

De a tudás másra is, többre is kötelez. Mire is gondolunk?

Az 1990-es évek elején az Egyesült Államokban egy egyedülálló kísérletbe (Bioszféra-2) fogtak. Pontosabban: nagyszabású kísérleti berendezéseket létesítettek: üvegépületekben „élet-fenntartó” környezeti feltételeket teremtettek különböző biómok képviselői: esőerdő, szavanna, mocsár, sivatag számára. Ezek sokfajú közösségeit betelepítve „bioregeneratív” rendszerek jöttek létre, olyanok, amelyek a külvilágtól anyagcsere tekintetben (beleértve a vizet és az oxigént is) függetlenedtek. Betelepítettek mezőgazdasági ültetvényeket és háziállatokat is, amelyek – a fenti rendszerbe helyezett – nyolc ember tartós ellátását biztosították a kétéves kísérlet folyamán. A kísérlet egyik

tanulása az volt (Odum, 1997), hogy ezeknek az elszigetelt élő rendszereknek energiaellátása igen nagy pénzüsszeget emészt fel. Az energia tekintélyes része különböző szabályozásokra fordítódott, illetőleg arra, hogy az oda elhelyezett emberek számára a kísérleti létesítmények lakhatóak legyenek. De nézzük most a „Bioszféra-1”-et, a földi bioszférát. Természetes bióinjai, a nagy összefüggő síkvidéki, hegyvidéki erdőségek, a depressziók mocsarai-lápjai, a folyók, folyamok kiterjedt partvidéki és ártéri övezeteikkel, hegyvidéki rétek, legelők ökoszisztémái a tájak normális anyagforgalmát betöltő, szabályozó szerepükkel, nemcsak lokális, de regionális – és végső soron globális – hatással és mindazon funkciókkal, amelyeket összefoglalóan ökoszisztéma-szolgáltatásoknak nevezünk, nem egyebek, mint ingyen működő életfenntartó rendszerek. Körfolyamatokba szervezett működésük a földi élet folyamatoságának alapfeltétele.

A XXI. század ökológusa, aki tisztában van a rendszerek törekenységével, tudásával hitelesített érveivel kell hogy harcba szálljon: meg kell győzni a társadalmat arról, hogy e rendszerek megővése létérdek.

A nagy választék nehéz döntés elé állított: melyek legyenek azon részterületek, amelyeket az Olvasónak közelebről is bemutatunk?

Az erős hazai hagyományok szinte köteleznek arra, hogy szó essék a közösségi ökológiáról. Közösségi szabályok vonatkoznak nemcsak az állatok, de a növények együtteseire is. A növényi-növényzeti sokféleségnek a többi közösséget, sőt az emberi társadalom létét is meghatározó, a tájképet alakító, a tájban lezajló funkciókat stabilizáló szerepe, a helyhez kötöttségből fakadó sajátosságai bőven elegendő indokok ahhoz, hogy a vegetációtan sorra kerüljön. Nem lehetett kétség afelől sem, hogy bemutassuk a közeg szerint sajátos, gyakorlati tekintetben pedig egyre fontosabb hidrobiológiát.

Az említett diszciplínák sorából témáival, szemléletmódjával, módszereivel „kilóg” a rohamosan fejlődő, váratlan területekre is betörő és meglepő eredményeket produkáló evolúciós ökológia. De kihagyhatatlan volt a matematikai ökológia is, nemcsak mert generalizáló, összefogó a szerepe tudomá-

nyunkban – ahol sokszor egyenesen új felismerések, felfedezések motorja –, de azért is, mert az egyik hazai sikerárgazat.

Kulcsszavak: *hosszú távú ökológiai kutatások, ökológiai folyamatok, szupraindividuális organizáció, szinbiológia*

IRODALOM

- Ángyán József – Féstis I. – Podmaniczky L. – Tar F. – Vajnáné Madarassy A. (szerk.) (1999): *Nemzeti Agrár-környezetvédelmi Program*. Budapest
- Brown, James H. (1995): *Macroecology*. Univ. of Chicago Press, Chicago.
- Juhász-Nagy Pál (1986): *Egy operatív ökológia hiánya, szükséglete és feladatai*. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Kovácsné Láng Edit – Fekete Gábor (1995): Miért kellene hosszú távú ökológiai kutatások? *Magyar Tudomány* 40, **102**, 377-392
- Kozár Ferenc (1998): Éghajlatváltozás és rovarvilág. *Magyar Tudomány*. 43, **105**, 1069-1076
- Odum, Eugene P. 1997. *Ecology. A Bridge Between Science and Society*. Sinauer Ass., Sunderland
- Pénzes Zsolt – Csanádi Gy. – Kovács M. G. – Beer Zs. (2002): Molecular Markers in Ecology. *Tiscia*. **33**, 9-30
- Pickett, Stuart T. A. (1991): Long-term Studies: Past Experience and Recommendations for the Future. In: Risser, P. G. (ed.): *Long-term Ecological Research. SCOPE 47*. John Wiley, Chichester, 71-88
- Turner, Monica G. – Gardner, Robert H. – O'Neill, Robert V. (2001): *Landscape Ecology in Theory and Practice*. Springer, New York–Berlin–Heidelberg



PARADIGMAVÁLTÁS ÉS MÓDSZERTANI FORRADALOM A VEGETÁCIÓ VIZSGÁLATÁBAN

Bartha Sándor

a biológiai tudományok kandidátusa, tudományos tanácsadó
MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete, Vácrátót

Bevezetés

A növénytakaró a szupraindividuális szerkezetek látszólag jól felismerhető komponense. A vegetációval borított tájban – legalábbis felületen módon – a laikus is jól tájékozódik. Talán erre vezethetők vissza azok az előítéletek, amelyek a vegetáció vizsgálatát könnyű foglalatosságnak, afféle játéknak tartják, és a tudományterületet, mint egyfajta haszontalanságot, igazságtalanul az ún. *soft science*-ek közé sorolják.

Ezzel szemben történeti tény, hogy a vegetációan, a növényrendszertannal együtt már a gyarmatosítás korában igen fontos gyakorlati szerepet töltött be egy-egy terület ökológiai potenciáljának és gazdasági hasznosíthatóságának felmérésében. A gyakorlati kihívások második hulláma, az ipari szemléletű mezőgazdaság térnyerésével párhuzamosan, a XIX. sz. második felében jelentkezett, amikor például Svájc, Oroszország és az Amerikai Egyesült Államok legelőinek a túlhasználata óriási területek elgyomosodását, degradációját, s ezzel a tej- és húsprodukciónak drasztikus visszaesését eredményezte.

Talán nincs még egy diszciplína Magyarországon, amelynek fejlődéséről, eredményeiről ennyire keveset tud a hazai tudományos és közvélemény. Pedig a közelmúltban éppen a vegetációan területén belül születtek meg azok a felfedezések, amelyek a di-

verzítás keletkezésének, fennmaradásának és funkciójának teljesen új megközelítéseihez vezettek, felfedték a természetes zavarások és az egyensúlyoktól távoli folyamatok szerepét a természetes vegetáció működésében, és ezzel együtt gyökeresen átértékelték az ember és a természet viszonyáról korábban kialakult nézeteinket. Ezeket az új eredményeket döntően a kísérletes vegetációdinamika és a térben explicit szimulációs modellezés produkálta. Azonban a kialakuló új paradigma a vegetációan valamennyi részterületét átalakította. Az új szemlélet következtében erősödött az egyes ökológiai szub- és részdiszciplínák közötti kommunikáció és általában a szupraindividuális tudományterületek integrációja.

A legtöbb ember a vegetációt, így például a lakóhelyét körülvevő erdőket és réteket mint a környezetének stabil alkotórészeit érzékeli, sőt, ezekhez képest tájékozódik, mozog a tájban. A növényzet fogalmához ősidők óta a mozdulatlanság, stabilitás és ezzel együtt egyfajta biztonságérzet is társul. Mindannyian azzal a tudattal térünk aludni, hogy a környezetünkben élő fákat, bokrokat holnap reggel is ugyanott találjuk majd. Az utolsó másfél évtized egyik legfontosabb felfedezése, hogy ez a mozdulatlanság csak látszat, a humán percepció sajátosságainak a következménye. A vegetáció szempontjából releváns biológiai léptékben, az egyes

növényegyedek, klónok illetve populációk, növekedésük, pusztulásuk és utódjaik terjedése következtében állandóan változtatják a helyüket. Ha egy felgyorsított filmen követnénk a növényzet képét, sebesen kavargó, örökösen átfomálódó mintázatokat látnánk. E nélkül a dinamikus, hosszú időtartamot (évtizedeket, évszázadokat) átfogó szemlélet nélkül a vegetáció működése, viselkedése, funkciói nem értelmezhetők. A felismerés, hogy a vegetáció működésének léptéke a humán megismerés léptékétől ilyen sajátosan különbözik, forradalmasította a vegetációtudományt. De a fontos metodológiai konzekvenciákon túl filozófiai következményekkel is jár, és arra kényszerít minket, hogy általában is átértékeljük az élet- és természet-tudományok viszonyát a Természethez. A biológia tudománya sokáig az élet egységét kereste. A legutóbbi ökológiai felfedezések nyomán azonban rá kellett döbbernünk a sokféleség életünkben játszott meghatározó szerepére. Kiderült, hogy az élővilág korábban csak romantikus kuriózumként, érdekes látványosságként kezelt diverzitása és komplexitása döntő szerepet játszik életfeltételeink kialakításában, meghatározza világunk stabilitását, kiszámíthatóságát és az olyan alapvető értékek hozzáférhetőségét, mint amilyen az elviselhető klíma, a belélegezhető levegő és az iható víz.

Az új paradigma kialakulása

Harminc-negyven évvel ezelőtt a vegetációtanban a leíró, összehasonlító és rendszerező szubdiszciplínák (szünmorfológia, szüntaxonomía) domináltak. A növénytársulást zárt egyensúlyi rendszernek tekintették, amelynek dinamikája döntően a belső mechanizmusok működésén alapul. A kor szemléletét kifejező ún. egyensúlyi paradigma szerint a társulások állapotát a lokális termőhelyi paraméterek (talaj és klíma) és a fajok között a limitált forrásokért folyó versengés határozzák meg. Más trofikus szintek,

például a növényevők hatása elhanyagolható. Az ember (illetve a tájhasználat) szerepe csak kivételesen, mint zavaró hatás jelentkezik. Elhanyagolható a múlt és a szomszédos vegetáció. A társulás mindenkori állapotát a fajok átlagos mennyiségeit megjelenítő ún. faj/abundancia textúra jellemzi. A társulást alkotó populációk dinamikája differenciálegyenletekkel modellezhető. A modellek segítségével megjósolható adott vegetációtípus (szüntaxon) ideális (egyensúlyi) összetétele. A fajok együttélésének feltételei az interakciókat jellemző paraméterek (intraspecifikus és interspecifikus kompetíciós koeficiens) közötti relációkkal adhatók meg.

Ezután egy redukcionista, kísérletező periódus következett, amely kialakította a konkrét hipotéziseket tesztelő, oknyomozó funkcionális és dinamikus szemléletű szubdiszciplínákat (vegetációdinamika, funkcionális vegetációtan, szünfiziológia). A 70-es években kezdődő kísérletes, mechanisztikus irányzat igazi sikertörténetnek indult. Adva voltak a korábbi leíró-összehasonlító korszak által tett megfigyelések és általánosítások, azaz a megmagyarázandó jelenségek, adva voltak a társulás szerkezetét és dinamikáját leíró modellek, és ehhez hamar kialakult a kísérleti módszertan és a szükséges statisztikai eljárások. A megfigyelések, a kísérletek és a modellezés összekapcsolása azonban komoly, nem várt nehézségekbe ütközött. A kísérletes megközelítés keretében tereplaboratóriumokat is kiépítettek, ahol állandósított mintavételi egységekben követték a vegetáció változásait. Mindez pontosabb méréseket eredményezett, amelyek megkérdőjelezték a vegetáció mintázataira és folyamataira korábban megállapított trendeket, törvényszerűségeket. A korábbi becslések a térbeliségből az időbeliségre következtető spekulatív módszerrel történtek. Mivel a releváns vegetációdinamikai folyamatok igen hosszú időtartamúak (évtizedes, évszázados léptékben

zajlanak le), ezért a kutatók az egymás szomszédságában fekvő különböző korú területek állapotainak önkényes összeillesztésével rekonstruálták a megfelelő folyamatokat. Az új közvetlen mérések azonban azt mutatták, hogy a rekonstrukciós módszer jelentősen alulbecsülte a folyamatok komplexitását és variabilitását. De hasonló problémák jelentkeztek a mechanizmusok feltárása során is.

A redukcionista megközelítés módszerelméleti posztulátuma, hogy a természetben előforduló komplex és változatos mintázatok egyszerű generatív szabályokra vezethetők vissza. Ennek kapcsán feltételezzük, hogy a populációk számunkra fontos tulajdonságai (például a szaporodó- és versenyképességet a talajnedvesség függvényében leíró összefüggés paraméterei) viszonylag állandók, és ezek a paraméterek kísérletesen meghatározhatók. Ha ismerjük az alkotó populációk tulajdonságait (azaz fajonként kb. tíz–húsz paraméter értékét), akkor bármely fajkombinációra és bármely környezeti feltétel esetére (sok százezer, de akár sok milliárd esetre is) megjósolható a közösség viselkedése. Kezdetben úgy tűnt, hogy a kontrollált üvegházi körülmények között végzett rövid időtartamú mérések igazolják ezt a redukcionista programot (Harper, 1977). Ezeket a méréseket egyetlen populáción vagy egy kisebb, két-három populációból álló mesterséges közösségen végezték, és eredményül egyszerű függvényekkel leírható szabályos viselkedéseket kaptak. Kiderült azonban, hogy az *in vitro* (üvegházi körülmények között) megállapított populációs paraméterek segítségével a terepen észlelt jelenségek csak ritkán értelmezhetők. Például, ha két növényfajt különböző arányokban elvetünk, és követjük a keverékek populációinak a relatív növekedését, akkor meghatározhatjuk a fajpárra jellemző interspecifikus kompetíciós paramétert. Sokfajú természetes rendszerekben terepi körülmények között végzett mérések azonban azt mutatták, hogy a két

faj egymással szembeni viselkedése más fajok jelenlétében megváltozik, tehát a kétfajú kombinációkra kapott eredmények a sokfajú közösségekre nem általánosíthatók.

A kísérletes módszer lényegénél fogva egyszerűsítésre kényszerül. A problémát az okozza, hogy gyakran nem ismerjük az egyszerűsítések következményeit. A kényszerűen rövid időtartamú kísérletek arra nem adhatnak választ, hogy az egyszerűsített körülmények között, *in vitro* mért tulajdonságok és jelenségek mennyire relevánsak a populációk tartós együttélése szempontjából. Az egyszerűsítő feltételek következményeinek szisztematikus vizsgálata a 80-as évek elejétől, a nagyteljesítményű számítógépek megjelenésével vált lehetségessé. Olyan új, térben explicit, egyedalapú szimulációs modellek születtek, amelyekkel a korábbiaknál sokkal realiztikusabban lehetett megjeleníteni a növényközösségek kompetíciós dinamikáit (Czárán, 1998). A korábbi klasszikus modellekben (az üvegházi kísérletekhez hasonlóan) feltételeztük, hogy az azonos populációhoz tartozó egyedek egyformák, a populációk tökéletesen keverednek, az interakciók pedig nem függenek a populációk méretétől, illetve a közösség számára rendelkezésre álló terület méretétől. Az új típusú modellekkel sikerült bebizonyítani, hogy ezek az egyszerűsítő feltételek egyáltalán nem triviálisak, és megváltoztatásuk döntően megváltoztatja a közösség kompetitív dinamikáját. Ezek az eredmények azért is érdekesek, mert választ adtak az ökológia egyik fontos paradoxonjára. Közel 40 éve vetette fel G. Evelyn Hutchinson azt a problémát, hogy a tavakban együtt élő sok száz algafaj együttélésének ténye ellentmondásban van a niche-elmélet azon állításával, hogy a fajok száma nem haladhatja meg azoknak a forrásoknak a számát, amelyekért versengenek. A vizsgálatok szerint ugyanis a fajok száma több mint egy nagyságrenddel felülmúlta a limitáló tényezőket (például bizonyos vízben

oldott és tápanyagként hasznosított szervesetlen (sók) számát. A paradoxon később vizsgálatok ezreit motiválta, és erősen közrejátszott abban, hogy kialakult a nem-egyensúlyi paradigma. Kiderült, hogy a paradoxon oka nem a természetben, hanem a modellekben keresendő. A paradoxon csak akkor áll elő, ha a társulásokat a klasz-szikus kémiai reakciók mintájára képzeljük el, ahol nagyszámú részecske, híg oldatban, jól összekeveredve, nagy sebességgel reagál, és a reakció egyensúlyra vezet. Ezzel szemben, ha a figyelembe vesszük, hogy az ökológiai reakciók relatíve lassúak, az ökológiai rendszer térfogata véges, és kis egyedszámok is előfordulnak, hogy az egyedek nem egyforma méretűek, illetve hogy a populációk nem keverednek tökéletesen, minden esetben javulnak a koegzisztencia-feltételek az eredeti egyensúlyi modellhez képest.

Az egyensúlyi paradigma feltételezi, hogy a természetes közösségek többsége egyensúlyi vagy ahhoz közeli állapotban van, illetve hogy egy perturbációt követően az egyensúlyok hamar beállnak. Ezzel szemben egyre több esettanulmány kérdőjelezte meg az egyensúlyok létét a természetben, és demonstrálta, hogy a növénytársulásokra többféle (tíz-, száz-, ezeréves) időskálán egyaránt a folyamatos változás, átalakulás a jellemző. Más vizsgálatok azt bizonyították, hogy a társulások zárt rendszerként való felfogása is tarthatatlan. Eredményeik szerint a lokális vegetációdinamikák sokféleségének egyik fontos oka a társuláson kívül keresendő, mégpedig a környező növényzet propagulumforrásainak a jellemzőiben. Kimutatták, hogy bizonyos esetekben a propagulumforrás távolsága jobb prediktora a vegetáció állapotának, mint a terület dinamikai állapota (szukcessziós kora). A legújabb elméletek szerint a környező táj hatása a társulás koegzisztenciális mintázataira és dinamikáira az állományon belüli erőkkel egyenrangú lehet, sőt, azokat esetenként felülmúlja.

A táji léptékű vegetációdinamikai kényszerek szerepének a felismerése mellett az egyensúlyi paradigmának ellentmondott az a megfigyelés is, hogy a védett területek állapota gyakran tovább romlott a szigorú védelem, a további zavarások teljes kizárása ellenére is. Kiderült, hogy a védelem által funkcionálisan valóban zárt rendszerre alakított terület gyakran nem tud a normális módon működni és fennmaradni. Felismerték továbbá, hogy a vegetációt érő természetes zavarások (például a növényevők, a tűz, a viharok) részét képezik a természetes rendszerek, és az általuk okozott vegetációs dinamika szükséges a társulás diverzitásának a fennmaradásához. A diverzitás fennmaradása szempontjából fontosnak bizonyultak a növényi populációk állományon belüli mintázatai és e mintázatok átrendeződései is. Ha a társulás belsejében kijelölünk egy kisméretű mintavételi egységet, azon belül soha nincs egyensúly, hanem az egyedek, és ezzel a fajok folyamatos cseréje figyelhető meg. Bizonyos mintázatdinamikai feltételek teljesülése esetén azonban a lokális fajcserék hatásai egymást kiegyenlítik, és nagyobb léptékben, az állomány szintjén már viszonylag állandó összetételt és a fajok együttélését tapasztaljuk.

Az új eredményekből születő szemlélet, amely az ún. nem-egyensúlyi paradigma néven nyert megfogalmazást (Pickett et al., 1992), az állapotok helyett a folyamatok vizsgálatára helyezte a hangsúlyt. A nem-egyensúlyi paradigma szerint a vegetáció és általában az ökológiai rendszerek nyílt, egyensúlytól távoli rendszerek tekintendők, ahol a lokális folyamatok nem függetlenek egymástól, azaz egy adott objektum viselkedését (időbeli állapotváltozásait) a szomszédos objektumok és azok változásai nagy mértékben befolyásolják. A vizsgált rendszer viselkedése függ saját belső szerkezetétől, és a környezetével való kapcsolatai is mintázatok interakcióiként értelmezhetőek. Az új szemlélet az ökológiai kontextusokra, azaz a térbeli és

időbeli szomszédsági relációkra, valamint az anyag- és energiaforgalmi (például a táplálékláncbeli) kapcsolatokra helyezte a hangsúlyt. Annak eldöntése, hogy egy adott vizsgálati objektum mint ökológiai alrendszer egyensúlyban van-e, illetve hogy milyen távol van az egyensúlytól, nem is olyan egyszerű kérdés. A válasz függ a vizsgálat térbeli és időbeli léptékétől, az alkalmazott perturbációtól, és attól is, hogy hol húzzuk meg a mesterségesen elkülönített alrendszer határait. Például az észak-amerikai hosszú fűvű préri tipikusan nem-egyensúlyi rendszer, mert magára hagyva, zavarás hiányában beerdősül az adott klíma mellett. Ha azonban a nagytestű legelő állatokat és a spontán prérítüzeket is a rendszer részének tekintjük (ami evolúciós szempontból indokolt lehet), akkor ugyanez a rendszer egy bizonyos lépték felett egyensúlyinak is tekinthető. Általában igaz, hogy a nagy területű, erős emberi behatásoktól mentes természetes rendszerek (például a boreális erdők) egy bizonyos tér- és időléptékben (időben néhány évtizedes, térben több négyzetkilométeres léptékben) perisztensnek mondhatók, és kisebb zavarások után az eredetihez közeli állapotba regenerálódnak. Az állományléptékű állandóság azonban a legtöbb esetben élénk, finomabb léptékű dinamikák segítségével valósul meg. E problémák miatt az új paradigma „nem-egyensúlyi” elnevezése nem szerencsés, és talán helyesebb lett volna „mintázat-dinamikai paradigmaként” meghatározni. A lényeg azonban nem a tudománytörténeti esetlegességként kialakult címke, hanem a szemléletváltást követő metodológiai változások (1. táblázat) jelentik.

Metodológiai következmények

A korábbi paradigma esetében az egyensúlyi állapotok kitüntetése módszertanilag igen kényelmes egyszerűsítő feltevés volt, hiszen kimondható, hogy egyensúlyban a vegetáció csak az állomány belső, pillanatnyi állapo-

tától és a szorosan hozzá tartozó lokális környezettől függ. Ebben az esetben a modellezés során a térbeli relációk elhanyagolhatók, a koegzisztenciális dinamikát jellemző törvényszerűségek viszonylag egyszerűen, a modell paramétereire közötti egyenlőtlenségekkel megfogalmazhatók. Ezzel szemben a nem-egyensúlyi paradigma esetében a vizsgált jelenségeket téridő mintázatok, illetve téridő folyamatok formájában írjuk le, és ennek megfelelően bonyolultabb reprezentációkat kell alkalmaznunk. Az új szemlélet a statisztikai, mintavételi és dinamikai reprezentációk teljes átalakítását kívánta (1. táblázat).

A vegetáció sok más biológiai rendszerhez hasonlóan hierarchikusan szerveződik. Egyensúly esetén, amikor a szerveződési hierarchia stabil, és az egyes szinteket nagyságrendnyi különbségek választják el, egy konkrét vizsgálatban a kiválasztott objektum mérete és a feltett kérdések automatikusan kijelölik a vizsgálat léptékét. Egyensúlytól távoli rendszerekben azonban a vizsgálati skála kijelölése kevésbé triviális. Időben változó mintázatok esetén a szerveződési hierarchia sajátosságai is folyamatosan változnak. Egy adott szint viselkedése részben a magasabb szintű mintázatoktól függ, amelyekbe beágyazódik, részben a komponenseiként megjelenő alsóbb szintű mintázatoktól, amelyek saját belső variációs és ezzel válaszadási képességét meghatározzák. Az egyes részmintázatok képeződése, lebomlása során maga a mintázati hierarchia is folyamatosan átalakul. Egyes szintek megjelenhetnek, eltűnhetnek, a szintek közötti távolság változhat, különleges esetben skála-invariáns szerkezetek, fraktálok képződnek. Ebből adódóan nem dolgozhatunk egyetlen, önkényesen választott léptékben. A vizsgálatok során a mintavételi egységek méretét változtatva, ún. térsorozati vagy idősorozati skálázást kell alkalmaznunk, ahol az adott vegetációs attribútum léptékfüggése maga is állapotjelző karakterisztikum.

Említettük, hogy a vegetációban más szupraindividuális diszciplínákhoz hasonlóan az élő természet sokféleségének a leírásával és értelmezésével foglalkozik. A sokféleség megközelítésének fontos eleme az osztályozás és rendszerezés. Ugyanakkor az osztályozás során fennáll a veszély, hogy az azonos osztályba sorolt objektumok közötti változatosságot elhanyagolva a sokféleséget jelentősen alulbecsüljük. Az egyensúlyi paradigma alapot jelentett ezekhez az egyszerűsítésekhez. Ha a klasszifikáció során elkülönített szüntaxonokat egyensúlyi állapotoknak tekintjük, akkor az ezektől való eltérések, illetve az egyes típusok közötti átmenetek elhanyagolhatók. Feltételezzük ugyanis, hogy a nem-egyensúlyi, átmeneti állapotokat csupán valamilyen időleges perturbáció hozta létre, és ezek a zavaró hatás elmúltával visszaalakulnak majd a megfelelő egyensúlyi állapotba. Az új nem-egyensúlyi paradigma esetében, azáltal, hogy folyamatokat vizsgál-

lunk, és azáltal, hogy a folyamatokat mintázatfüggőnek tekintjük, az átmeneti állapotok szerepe, jelentősége megnő. Ezért olyan állapotrepresentációkat kellett kifejleszteni, amelyek képesek a nagyszámú átmeneti állapot kezelésére. A feladat nagyon nehéz. Addig, míg egy tipikus egyensúlyi esetben húsz-ötven állapot elkülönítése rendszerint elegendő, a megfelelő nem-egyensúlyi esetben az átmenetekkel együtt már sokezer állapot, transzformáció és egyéb reláció megkülönböztetésére van szükség. További komplikációt okoz, hogy az átmenetek száma függ a vizsgálat léptékétől.

A fentiek ismeretében érthető, hogy miért dominálták a vegetációban elmúlt húsz évét a módszertani vizsgálatok. Szerencsés módon erre az időszakra esik a számítógépes kapacitások jelentős növekedése, a térinformatika, a távérzékelés és az adatbázisok fejlődése is. Bár ezek a technikák jelenleg még messze nem elégitik ki a biológusok

	régi: egyensúlyi társuláselemzés	új: nem-egyensúlyi társuláselemzés
Prior referencia:	textúra-állapotok, zárt szimplex konzervatív rendszerek	téridő mintázatok, téridő folyamatok, nyílt, komplex disszipatív rendszerek
Lépték:	mesterséges felbontás és kiterjedés	természetes, karakterisztikus skálapontok és intervallumok
Modellek:	klasszikus nem térbeli modellek	téridő modellek, főként objektum kölcsönhatás modellek
Törvények:	egyszerű univerzális elvek, a klasszikus modellek paramétereivel megfogalmazott egyenlőtlenségek	kontextusfüggő dinamikus korlátozási relációk a mintázat transzformációk rendje
Mintázat szerepe:	indikál	indukál és korlátoz
Értelmező populációs sajátságok:	lokális forráshasznosítási efficiencia és a lokális kondicionáló tényezőkkel szembeni tolerancia, táplálékkereső stratégiák	ugyanaz, ezenkívül: regionális térfoglalási-, és terjedési stratégiák, térbeli integráció

1. táblázat • Paradigmaváltás a vegetációban. Az egyensúlyi és a nem-egyensúlyi társuláselemzés néhány sajátosságának összehasonlítása

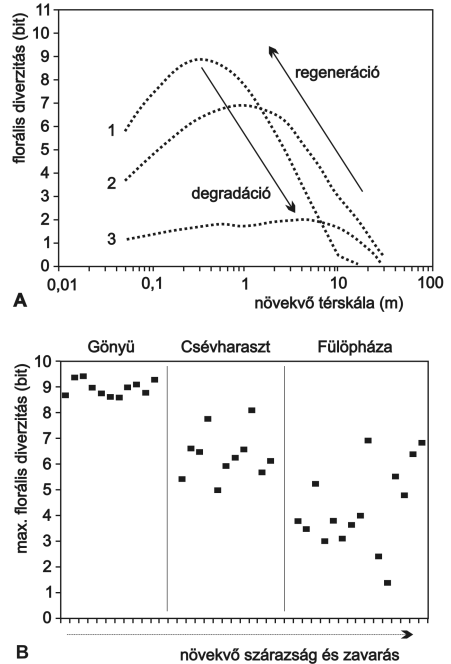
igényeit, alkalmazásuk máris forradalmasította a vegetációtant, és lehetővé tette a mintázatokkal való operatív munkát. A vegetáció új szemlélete és az új módszerek hatására megkezdődött a korábban jórészt izoláltan fejlődő szüntaxonómia, szünmorfológia és szüdinamika szintézise egy, az eddiginél jóval hatékonyabb, dinamikus és funkcionális vegetációtan keretében.

A módszertani, módszerelméleti fejlesztések közül kiemelkedik Juhász-Nagy Pál munkássága. Neki sikerült a világon először (ráadásul korát harminc évvel megelőzve) összekapcsolni a sokváltozós és a térbeli statisztikai eljárásokat egyetlen koherens modelles család formájában. A biológiai komplexitás reprezentálására alkalmas információelméleti modellek kidolgozása mellett megreformálta a klasszikus vegetációtan fogalomrendszerét és módszerelméletét is (Juhász-Nagy, 1980), amely így alkalmassá vált az új paradigma szerinti munkára. A sok ezer állapot és reláció azáltal válik kezelhetővé, hogy a statisztikus mechanikához és a termodinamikához hasonlóan a rendszer átlagos rendezettségi állapotait jellemezzük.

Az 1. ábra két alapvető cönológiai törvényszerűséget mutat be Juhász-Nagy módszerét felhasználva. A florális diverzitás nevű cönológiai állapotváltozó a fajok együttélési módjainak sokféleségét méri az állományon belül. Ha az együttélést semmi nem akadályozza, és a fajok lokális előfordulásaik során szabadon kombinálódnak, akkor a függvény értéke maximális, maximuma pedig kis térléptéknél jelenik meg. Ha az együttélés korlátozott, akkor bizonyos fajkombinációk tiltottak, és a függvény értéke kisebb lesz. Ha egy növényközösséget zavarás ér, akkor először a finom térléptéktű együttélések szerkezete bomlik fel, a vegetáció mozaikossá válik. A mozaik egy-egy foltján belül pedig jelentősen lecsökken az együtt előforduló fajok kombinációinak változatossága. Ilyenkor a cönológiai állapotjelző függvény ma-

ximuma a nagyobb térléptékek felé tolódik, jelezve, hogy egymáshoz közel, kis térrészletben már nem vagy csak kevésbé képesek együtt élni a fajok. Egy koegzisztenciális szerkezet felbomlása, degradációja során tehát a fajkombinációk diverzitásának csökkenése és a maximális diverzitáshoz tartozó karakterisztikus skála nagyobb térléptékek felé való eltolódása következik be. Egy szukcessziós folyamatban, amikor a társulás regenerálódik, a diverzitás növekedése és a karakterisztikus maximum skála csökkenése, tehát a degradációval ellentétes irányú transzformációk figyelhetők meg (1.A ábra).

Az 1.B ábra több tucat vegetációfolt állapotát mutatja egy ökológiai gradiens három pontján. (Az áttekinthetőség végett a cönó-



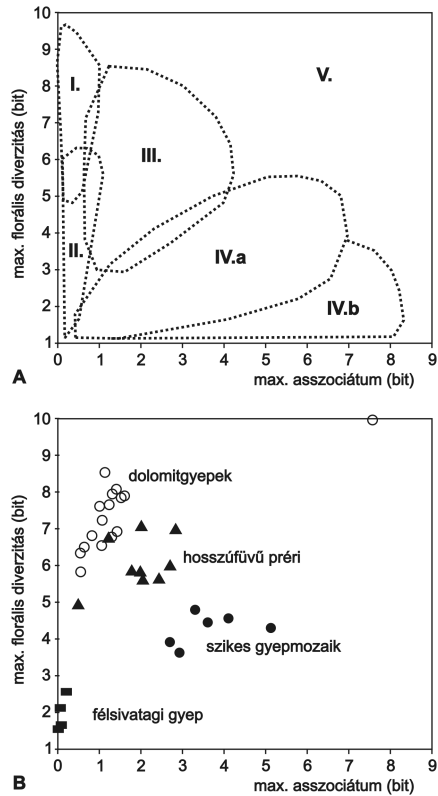
1. ábra • A koegzisztenciális mintázattanszformációk alapfolyamatai. A – regeneráció és degradáció; B – egy hazai növénytársulás (*Festucetum vaginatae*) koordinátságának csökkenése a globális ökológiai változásokat reprezentáló gradiens mentén.

lógiai állapotjelző függvényeknek itt csak a maximumait ábrázoltuk, tehát minden pont egy adott vegetációs állomány koegzisztenciális állapotát jellemzi). Itt is látható, hogy az ökológiai gradiens mentén a növekvő emberi zavarás és a növekvő ariditás hatására csökken a florális diverzitás, elszegényedik, leromlik a közösség. Ugyanakkor az is látszik, hogy a zavartabb és szárazabb környezetben a pontok szórása nagyobb, csökken a társulások koordináltsága (homeosztázisa), ami közvetve jelzi a szabályozási, önfenntartó és önreprodukáló mechanizmusok gyengülését. Valamennyi itt felhasznált adat ugyanabból a társulásból, a magyar csenkesz és a pusztai árvalányhaj gyepjeinek szép, értékes, védett állományaiából származik. Ezek finom változásai, a kezdődő problémák a felületes szemrevételezéskor még láthatatlanok, de az általunk használt érzékeny módszer egyértelműen jelzi a riasztó tendenciát. Sajnos a példában bemutatott jelenség általános. A koordináltság csökkenése a jelenlegi globális ökológiai változásokat (növekvő emberi zavarások, szárazodás és egyre gyakoribb időjárási szélsőségek) kísérő törvényszerű cönológiai jelenség.

Cönológiai mintázatok és folyamatok dinamikai összefüggéseinek megértése érdekében érdemes összekapcsolni a Juhász-Nagy-féle sokváltozós térbeli statisztikai eszközöket a térben explicit modellezéssel. Térben explicit egyedalapú szimulációs modellek segítségével absztrakt referenciaközösségek dinamikája modellezhető. Ilyenkor szisztematikusan változtatjuk a fajok dinamikai paramétereit (demográfiai, inváziós, diszperzál, kompetíciós, a zavarásokkal és a környezeti feltételekkel szembeni toleranciát leíró paramétereket), a szimulált mintázatképződési folyamatokat pedig a Juhász-Nagy modelljeivel definiált állapotterben ábrázoljuk. Kimutatható, hogy összefüggés van a generatív paraméterek osztályai és a szimulált trajektórium halmazai között (Bartha

et al., 1998). A cönológiai állapottermek a fenti módszerekkel való beszkálázása lehetővé teszi, hogy távoli területekről származó egyedi terepi mérések adatait összehasonlítsuk, és mintázatképződési, társulásszerveződési kontextusban értékeljünk (2. ábra).

A szimulációs eredményeket a terepadatokkal összevetve jó egyezést tapasztaltunk



2. ábra • Cönológiai állapotok értelmezése dinamikus neutrális modellekkel. A – az állapotter felosztása a domináns mintázatképző mechanizmusok szerint (lásd niche-differenciáció, II. kompetitív dominancia, III. zavarás és kompetitív dominancia, IV.a és IV.b közepes és erős környezeti heterogenitás, V. tiltott zóna). B – magyarországi és észak-amerikai növény-társulások elhelyezkedése a cönológiai állapotterben

a szimuláció által jósolt mintázatképző mechanizmusok és az adott terepi objektumról a szakirodalomban leírt releváns mechanizmusok között (Kovács-Láng et al., 1999; Bartha, 2000).

Funkcionális vegetációtan

A funkcionális vegetációtan azokkal a folyamatokkal foglalkozik, amelyek révén a növényzet anyagokat, energiát (és információt) köt meg, alakít át, tárol vagy transzportál. E folyamatok következménye a környezethez való adaptáció, a zavarások utáni regeneráció, az önfenntartás és önreprodukció. Ennek során a növényzet nemcsak alkalmazkodik környezetéhez, de azt sok esetben átalakítja, egyben hozzájárul az ökoszisztéma illetve a bioszféra működéskéhez (Tuba et al., 1998).

A különböző környezettípusokban megjelenő változatos növényi adaptációs formák kérdése régóta foglalkoztatja a kutatókat. Az új kutatási paradigma fontos következménye, hogy az utóbbi években az érdeklődés egy adott környezeti típuson belül is az átlagok helyett a variáció és a mintázatok leírása és értelmezése felé fordult. A klasszikus niche-elmélettel összefüggő gyakorlati kérdések arról, hogy mi hová ültethető és hol terem jól, újabban kiegészültek az adaptációs formák sokféleségének és téridőbeli szerveződésének funkcionális következményeire vonatkozó kérdésekkel.

Az állomány léptékű diverzitás a korábbiaknál jobban interpretálható, ha figyelembe vesszük, hogy a fajok az adott élőhelyen belül a forrás- és kondicionáló tényezőknek nem az átlagához, hanem ezek téridőmintázataihoz adaptálódnak. Mérések igazolják, hogy a forrás- és a kondicionáló tényezők állományon belül is jelentősen variálnak, értékük a növényegyedek mérettartományában is folyamatosan változik. Az új paradigma szerint a populációk ezekhez a dinamikus környezeti mintázatokhoz adaptálódnak, illetve visszacsatolások révén

azokat befolyásolják. Új eredmény, hogy a források mintázataihoz a populációk növekedési és terjedési stratégiákkal is adaptálódnak (Oborny, 2001). A hasonló viselkedésű, a forrás és a kondicionáló tényezőkhöz hasonló módon adaptáló és a társulásban hasonló szerepet betöltő fajokat ún. funkcionális csoportokba soroljuk (például egyévesek, évelők, sőtűró vagy szárazságtűrő fajok). Az új, nem-egyensúlyi szemlélet elterjedésével az elmúlt években jelentősen kibővült a funkcionális attribútumok köre. A környezeti tényezők mintázataira adott válaszokkal kapcsolatosan fontossá (azaz funkcionálisan interpretálhatóvá) váltak a populációk térbeli elhelyezkedésével, az egyedek méretével, alakjával, integrációjával, illetve ezen tulajdonságok időbeli változásaival (dinamikus morfológia) kapcsolatos attribútumok is.

A funkcionális vegetációtan fejlődésében, módszereinek egységesítésében jelentős szerepet játszanak az ökoszisztéma-modellek új változatai, az ún. egyedalapú mechanisztikus szimulációs modellek. Segítségükkel részletesen megjeleníthető a növényegyedek viselkedése (például csírázás, növekedés, interakciók, szaporodás, halál) és sokezer egyed együttes követésével a korábbiaknál lényegesen részletesebben és realiztikusabban reprezentálható az állományok dinamikája. A vegetációt képviselő (szub)modell más, az ökoszisztéma egyéb komponenseit (például a talajnedvesség téridődinamikáját) megjelenítő modellekkel köthető össze. E nagyon bonyolult modellek eredetileg konkrét (gyakorlati szempontból kiemelten fontos) állományok részletes leírására születtek. Az új, egyszerűsített változatok, amelyeket a globális változások modellezése érdekében fejlesztettek, már különböző vegetációtípusok összehasonlítására is alkalmasak. Az az igény, hogy e modellek input paramétereit távoli és különböző összetételű társulásokban összehasonlítható módon becsülhesstük, nagyban hozzájárult a szabványosított mérési eljárások

kialakulásához. A legújabb kutatási projektek olyan multinacionális, interkontinentális vállalkozások, amelyek valamilyen általános kérdés (például a szervesanyag-dekompozíció hőmérsékletfüggése, a különböző dinamikai állapotú közösségek invázióval szembeni érzékenysége vagy a rövid életű fajok szerepe a szemiarid rendszerekben) vizsgálata során nagyon sok és nagyon különböző vízi és teresztris rendszer párhuzamos mérésével már általánosítható, globálisan is robusztus és releváns összefüggések felismerését teszik lehetővé.

A funkcionális vegetációan legfontosabb kérdései ma a globális ökológiai változásokkal kapcsolatosak. Kérdés, hogy a globálizáló ipar és kereskedelem hatására, a földrajzi izoláció jelentős csökkenésével milyen további fajok terjednek el, ezek képesek-e beépülni a helyi növényközösségbe, vagy túlszaporodva, olyan mértékig alakítják át a lokális környezet téridőmintázatát, hogy kiirtják a korábbi közösséget. Kérdés az is, hogy milyen funkcionális következményekkel jár egy-egy faj elvesztése. Arra is keressük a választ, hogy megváltozott körülmények között milyen növényzeti típusok képesek önnfenntartó módon továbbműködni, illetve szerkezeti változások esetén hogyan változik a stabilitás, a növény-állat-mikroorganizmus kapcsolatok és a vegetáció szerepe az anyag-és energiaforgalomban.

A diverzitáscsökkenés funkcionális következményeinek a kutatása az elmúlt tíz év legforrongóbb és leggyorsabban fejlődő területe (Loreau et al., 2001). A 70-es években indultak azok a terepi körülmények között végzett hosszú távú vizsgálatok, amelyek párhuzamosan rögzítették a fajkompozíció, a diverzitás, a növényi produkció és a környezeti paraméterek változásait. A hosszú távú adatsorok feldolgozása során bizonyították először, hogy a diverzebb közösségek produkcióját kevésbé zavarja meg egy-egy környezeti perturbáció (például aszály), illetve a

zavarást követően funkcióik (például szervesanyagprodukcíójuk) gyorsabban helyreállnak. A mérések azt is kimutatták, hogy azonos körülmények között a kisebb diverzitású rendszerek kevésbé efficiensen hasznosították a forrásokat. Tíz évvel az első eredmények után a kép artikuláltabb, és a diverzitásfüggés összefüggés különböző típusairól beszélhetünk. Eközben az ökológiai rendszerek diverzitásának folyamatos csökkenése mint globális jelenség, egyre jobban dokumentált, vitathatatlan tény. Sokasodnak azok a vizsgálatok is, amelyek az ökológiai rendszerek funkcionális zavarairól, valamely ökológiai szolgáltatás sérüléseiről számolnak be.

Mely természettudósok a Természet igazi tudósai?

Mindez közelebb visz a legvégső kérdéshez: kijavíthatók-e a leromlott, diszfunkciós ökológiai rendszerek, lecserélhetők-e a természetes ökológiai rendszerek hasonló vagy jobb hatásfokkal működő mesterséges rendszerekre? A funkcionális vegetációan eredményei alapján megtervezhető és létrehozható-e egy terület optimális növényzete? Megoldhatók-e a környezeti problémák a biotechnológia segítségével?

A reneszánsz óta a modern tudomány sikert sikere halmozva hoz létre fantasztikusnál fantasztikusabb technikai újításokat. E folyamat lényege, hogy az emberi populáció természetes környezetét egyre nagyobb mértékben mesterséges környezetűvé alakítja. A módszer egyelőre példátlanul sikeresnek tűnik, aminek objektív bizonyítéka a humán populáció méretének példátlan növekedése és az ökológiai források fölötti példátlan dominanciája. Mára a szárazföldre jutó bioszféra felét alkotják többé-kevésbé mesterséges, emberkéz alkotta ökológiai rendszerek. Kérdés, hogy van-e, és hol van ennek a folyamatnak a határa? Rendelkezik-e az emberiség azzal a szemlélettel és kultúrával, ami képessé teheti saját környezetének mesterséges kialakítására,

fenntartására és újratemelésére? Redukálható-e a földi bioszféra egyetlen faj környezetére? Sikerülhet-e a technika segítségével túlszárnyalni a természetes ökológiai rendszerek teljesítményét? Jelenlegi tudásunk alapján ez eddig még soha nem sikerült. Az ökológiai evidenciák szerint az emberi beavatkozások az ökológiai rendszer bizonyos (rendszerint egyetlen) komponensét szaporítják fel, miközben a rendszer egészének a teljesítménye romlik. Tudjuk például, hogy a szántóföldi monokultúrák és a homogén faültetvények fenntarthatósága véges, a kultivált populációk genetikailag leromlanak, a talaj tápanyag-újratemelő és -megtartó képessége csökken, a mesterséges ökológiai rendszerekben gyakoribbak a predátorok és patogének gradációi, és a monokultúrák kevésbé állnak ellen az időjárás viszonyosságainak (Somogyi, 2001; Vida, 2001).

A technológiai megoldás termékekben gondolkodik, amelyet gyárak állítanak elő. A jelenleg uralkodó felfogás szerint a tökéletes termék ismérve a homogén minőség, a tökéletes gyáré pedig a megtermelt mennyiség állandó növelése. *Az ökológia törvényei szerint egy hasonló jelenség a szupraindividuális rendszerek körében maga az ökológiai katasztrófa.* A nem-egyensúlyi paradigma hívta fel a figyelmet arra, hogy természetben is előfordulnak lokális szabályozási katasztrófák. Ez rendszerint valamilyen zavarás hatására következik be, amikor is egy populáció a többiek rovására elszaporodik, és monopóliumot szerez a források felett. Érdekes módon ez az állapot nem marad fenn stabilan, hanem idővel a monopóliumot szerzett populáció is összeomlik, és helyén valamilyen diverz közösség regenerálódik. A hasonlatnál maradván, a tapasztalat azt mutatja, hogy az evolúció során azok a természetes „ökológiai gyárak” bizonyultak életképesnek, és azoknak sikerült legyőzni versenytársaikat, amelyek egyszerre sok egymással összefüggő terméket gyártottak,

a gyártás során állandóan adaptálódtak a piac követelményeihez, és ahol ugyanazon gyáron belül megvalósult a termelőeszközök karbantartása és újratemelése, valamint az innováció és a hulladékgazdálkodás is. Ha az emberiség a jövőben arra kényszerül, hogy maga állítsa elő saját környezetének elemeit, a számára nélkülözhetetlen forrás- és kondicionáló tényezőket (például a belélegezhető levegőt, az iható vizet, az elviselhető klímát és az élelmiszereket), vajon alkalmazhat-e olyan technológiát, ami ellentétes az evolúció és az ökológia törvényeivel? Az ökológia törvényei felől nézve a humán populáció jelenlegi „sikertörténete” már valószínűleg az ökológiai katasztrófa első felvonása.

A funkcionális szemléletű vizsgálatok legfontosabb konklúziója, hogy a szupraindividuális rendszerek diverzitása és rendezettsége a normális működés szükséges feltétele. Ebből következik, hogy azok az ún. mikrokozmosz-kísérletek, amelyek kis területen, rövid ideig, homogén környezetben, csupán néhány faj néhány egyedének bevonásával folynak, a megérteni kívánt mintázati jelenséget nem reprezentálják megfelelően. Ezért eredményeiket csak nagyon óvatosan szabad interpretálni, és arra semmiképpen sem alkalmasak, hogy segítségükkel az ökológia nagy (a földi evolúciót befolyásoló) kérdéseit (mint például a természetes és a mesterséges ökológiai rendszerek fenntarthatóságának feltételei) megválaszoljuk. Az új ökológiai paradigma azzal, hogy felhívta a figyelmet a mintázati jelenségek fontosságára és az ebből következő léptékfüggésre (beleértve a nagy tér- és időléptékű jelenségeket is) alapvetően átalakította az ökológiai kísérletek módszertanát.

Kutatások biológiailag relevánsabb léptékekben

A biológiailag releváns léptékekhez való alkalmazkodás igénye hívta életre a hosszú távú ökológiai kutatásokat (Kovács-Láng

– Fekete, 1995). Az Egyesült Államokban az 1970-es évek közepére kiderült, hogy az IBP és a MAB programok által feltett kérdések a programok eredetileg tervezett időkeretében nem válaszolhatók meg. Világossá vált, hogy az addigi mérések térben túl lokálisak, időben pedig túlzottan rövidek és esetlegesek, emiatt az eredmények nem terjeszthetők ki a gyakorlat és a társadalom számára releváns regionális léptékre. A probléma megoldására olyan kutatásfinanszírozási rendszert hoztak létre, amely túlmutatott a korábbi egy-három éves pályázati időszakokon, valamint létrehozták azt az infrastruktúrát, amely egy-egy biomon belül egy-egy tipikus (sok ezer hektáros) nagy területen biztosította a hosszú távú, tervezetten több évtizedes munka biztonságos feltételeit. A területeken belül folyamatosan és automatikusan regisztrálják a környezeti paramétereket, és szervezett módon, táji léptékben és időben hosszú távon kezelési kísérleteket folytatnak. A kezeléseket az adott biomra jellemző természetes zavarási rezsim figyelembevételével alakították ki. A hosszú fűvű préri (Konza Prairie LTER hosszú távú ökológiai kísérleti terület, vö. Knapp et al., 1998) esetében például a kezelések a különböző gyakoriságú égetéseket jelentik, amit marhákkal vagy bölényekkel való legeltetéssel kombinálnak. A kezeléseket egy-egy völgyrendszer (több száz ha), azaz a táj egy természetes funkcionális egysége, elegendően nagy terület ahhoz, hogy az eredmény a gyakorlat számára is közvetlenül hasznosítható legyen. A kezeléseket folyamatos végrehajtását és a terület őrzését a technikai személyzet végzi. A területen a kutatók számára szálláslehetőség és egyes gyorsan elvégzendő mérésekhez, illetve számításokhoz laboratórium áll rendelkezésre. Az így kiépített területen sokféle szakirányú kutató dolgozik és végzi saját speciális vizsgálatait, amelyeket azonban összekapcsol a közös terület és a közösen vizsgált kezelési kísérlet. A konkrét

kutatások különböző léptékben folynak (a távérzékeléssel reprezentált táji léptéktől az egyetlen levélen végzett ökofiziológiai mérésekig), és abban különböző (szub)diszciplínák kutatói (ökoszisztéma-, társulás- és populációökológusok, talajtanosok stb.), illetve különböző élőlénycsoportok szakértői (botanikusok, zoológusok, mikrobiológusok) vesznek részt. Az egyes kutatási eredmények összekapcsolását segítik a területre kidolgozott szimulációs modellek, amelyek optimális esetben hierarchikusan szereztek (a térinformatikai modellektől az egyed alapú vagy az ökofiziológiai modellekig).

Az itt vázolt kutatási módszertan az Egyesült Államokban szervezeten húsz éve folyik, de az elmúlt tíz évben az egész világon elterjedt, és lassan általánosan elfogadott szabvánnyá válik. Fontos leszögezni, hogy a vegetációdinamikai kutatások jelenlegi felépítését az ökológiai rendszerek tulajdonságainak fokozatos megismerése tette szükségessé, azaz a komplexitásukról, hierarchikus szerveződésükről, a környezeti és a toleranciamintázatok jellemző léptékeiről, és az állatok, valamint az ember szerepéről megismert tényekhez való kényszerű alkalmazkodás.

Hogyan befolyásolhatja a vizsgálat léptéke (például időtartama) a vizsgálat eredményét? Nézzünk néhány példát! Az első esetben arra keressük választ, hogy mi a szerepe a növénytársulásokban a közepesen gyakori és a ritka fajoknak. A vizsgálat során az egyes kezelésekből rendre kiirtjuk a domináns, a közepesen gyakori, illetve a ritka fajokat, és figyeljük a következményeket. Trópusi gyepes esetében figyelték meg, hogy a ritka fajok eltávolítása után az ott maradó fajok teljesen, a közepesen ritka fajok eltávolítása után pedig részlegesen kompenzálták az állományszintű szervesanyag-termelést. Viszont ugyanebből a rendszerből a domináns fajt eltávolítva, a termelés lényegesen csökkent. Ha ezt a vizsgálatot nem hónapokig,

hanem évekig folytatjuk, már azt tapasztaljuk, hogy a gyep a domináns faj hiányát is képes kompenzálni. A domináns faj kiirtása után a közepesen gyakori fajok részvételével egy, a sebgyógyuláshoz hasonló regenerációs folyamat indul be, és a fajok egymást jellegzetes sorrendben helyettesítve három-öt év után már közel teljesen helyreállítják a gyep funkcióit, akkor is, ha az eredeti domináns faj visszatérésére még éveket kell várni. A közepesen gyakori fajok más alkalmakkor (például az időjárás fluktuációi, herbivor gradációk vagy tűz esetén) is átveszik időlegesen a domináns faj szerepét. Egy újabb elmélet szerint az egészen ritka fajok a több száz vagy több ezer éves időléptékű folyamatokban kapnak szerepet, például a jégkorszakok és az interglaciálisok váltakozása idején. Ez azt is jelenti, hogy az egészen ritka növényfajok szerepének tisztázásához a rövid távú megfigyelések nem adnak érdemi információt, vagy félrevezető eredményre vezethetnek.

A másik példa kapcsán azt vizsgáljuk, hogyan befolyásolja a gyakori égetés a talaj tápanyagkészletét és a legelő fenntarthatóságát a hosszú fűvű préri esetében. A préri gyakori (évente való) tavaszi égetése egy-kettő-négy év távlatában (ameddig a hagyományos kutatási projektek általában tartanak) egyértelműen pozitív beavatkozásnak mutatkozott. Az égetés hatására visszaszorultak a gyomok (itt például a *Bromus tectorum*), megerősödött a domináns őshonos fűfaj, és nőtt a produkció. Ahhoz viszont legalább tíz-tizenöt évig kellett folytatni a kísérleteket, hogy a káros hatások első jelei megmutatkozzanak. Tíz év után a talaj C- és N-tartalma csökkenni kezdett, a gyep érzékenyvé vált a szárazságra, felnyílt, beindult az erózió, és csökkenni kezdett a produkció is. Tehát egy kezelés, ami egy-öt év távlatában kedvezőnek bizonyul, még nem biztos, hogy hosszabb időtávon is alkalmazható, fenntartható. Mivel a fenntartható tájhasználat lényegénél fogva hosszú

távú feladat, a kezelési tervek kialakításakor nagyon óvatosan kell eljárni. Ott, ahol rövid távú tapasztalatok birtokában tervezik meg egy terület hosszú távú kezelését, a kezelés hatásának léptékfüggése (a kezdetben pozitív hatás későbbi esetleges elmaradása vagy negatívba fordulása) igen komoly probléma, veszélyforrás lehet.

A magyar kutatók a környező országok közül elsőként ismerték fel a modern nem-egyensúlyi paradigma jelentőségét és módszertani konzekvenciáit, és már több mint tíz évvel ezelőtt csatlakoztak a hosszú távú ökológiai kutatások nemzetközi szervezetéhez (ILTER). Az új szemlélet hazai elterjedését elősegítette az a szerencsés tény, hogy Magyarország mind az ökológiai mintázatok leírásában, mind a téridődinamikus modellezésben a világelsői közé tartozik (vö. Juhász-Nagy, 1980; Czárán, 1998). Hazánkban eddig három helyen sikerült megszervezni a hosszú távú ökológiai kutatások nemzetközi szabványának megfelelően a kutatásokat (Balaton Projekt, Síkfőkút Projekt, Kiskunság LTER Projekt). Ezek közül a Kiskunságban a természetvédelemmel szorosan együttműködve, a tájképi mozaik hierarchikus jellegét és sokféleségét is reprezentálva, több kutatóhely közreműködésével és számos diszciplína együttműködésével folynak komplex kutatások (Kovács-Láng – Fekete, 1995; Kovács-Láng et al., 1999). Jelenleg egy Széchenyi-pályázat keretében a természetvédelmi kezelési tervek ökológiai megalapozása a kutatás egyik célkitűzése. A projekt keretében ugyan lokálisan (Fülöpháza és Ágasegyháza térségében), de a táji léptéket reprezentáló nagy területen (több 100 ha) és sokféle aspektusból (populáció- és társulásdinamika, tájökológia, restaurációs ökológia, produkciós ökológia) folynak intenzív, terepkísérletekre alapozott kutatások. Az itt alkalmazott modern módszerek lehetővé teszik, hogy a helyben végzett kutatások más hasonló európai és amerikai kutatóhelyek kutatásaival

összekapcsolódva (ILTER Network) a globális (éghajlati és tájhasználati) változásokból adódó kérdésekre is válaszoljanak.

Kitekintés

Hosszú távon, evolúciós perspektívában gondolkodva, egy tudományág annyit ér, amennyire az emberi populáció adaptációját segíteni képes. Az emberiség előbb a csillagokat, majd a mikrovilágot ismerte meg. Sokáig úgy véltük, hogy az előttünk álló nagy problémák megoldásához elegendő a makro- és a mikrovilág törvényszerűségeinek az ismerete. Korunk (újra)felfedezése, hogy a makro- és a mikrovilág között létezik egy, a modern ember számára már rejtett világ, a bioszféra egyedszint feletti szerveződésének és működésének a világa. Létezését sokáig elhanyagoltuk, és jelenlétét ma is inkább csak közvetve érzékeljük, a bioszféra funkcionális zavarain, a környezeti szélsőségek és diszfunkciók (például aszályok, árvizek, szélviharok és járványok) egyre gyakoribb és feltűnőbb jelentkezésén keresztül. Közös érdekünk, hogy még időben megismerjük e rejtett szerkezet fennmaradásának és normális működésének feltételeit.

A szupraindividuális szerkezetek és folyamatok új, nem-egyensúlyi szemlélete egy realisabb, ezért a gyakorlatban jobban alkalmazható tudás megszerzésére ad elméleti és módszertani lehetőségeket. A korábbi túlegyszerűsített irányzatokkal szemben egy komplexebb, érdekesebb világ képét ígéri. De a realitásokhoz, azaz a szupraindividuális rendszerek komplexitásához és léptékeihez való alkalmazkodás azzal a következménnyel is jár, hogy a dinamikai folyamatokba való beavatkozáshoz szükséges tudás megszerzése nagyobb szervezést, több munkát és komolyabb infrastrukturális beruházásokat kíván annál, mint azt korábban gondoltuk.

Az új ökológiai paradigma az ökológiai alap kutatások számára igen magasra tette a mércét. Az elvárás az, hogy nagy területen,

több évtizedes távlatban tervezhetően, többféle tudományág munkáját operatíván integrálva történjen magas szintű kísérletes munka. A kísérletek arra keresik a választ, hogy melyek azok a legfontosabb mechanizmusok, amelyek az adott ökológiai rendszer hosszú távú fennmaradását és normális működését (az ökológiai szolgáltatásait, a bioszféra egészével fenntartott anyag- és energiaforgalmát) biztosítják. A kísérletek kialakítása során az adott vegetációtípusokat jellemző természetes zavarásokat és a hagyományos emberi tájhasználat hatását igyekeznek utánozni, illetve kicsit átszabni, a megváltozott környezeti feltételeknek megfelelően.

Az ökológusok egy allometrikus összefüggést találtak az állatok testmérete és populációmérete között. Ennek alapján a humán populáció természetes (azaz az eredeti ökológiai kényszereket követő) lélekszáma csak néhány tízmillió lehetne. A vadászó, gyűjtögető ősember populációmérete becslések szerint megfelelt ennek a nagyságrendnek. A kulturális-technikai fejlődés a természet adta korlátokhoz képest hihetetlenül megnövelte az emberiség lélekszámát, egyben kitágította lehetőségeinket a bioszféra szerkezetébe és működésébe való beavatkozásra. Ezeket a változásokat azonban nem követte a környezetünk érzékelésének a megváltozása. A humán populáció ökológiai niche-e megnőtt, azaz a forrás és kondicionáló tényezők topológiai terének egyre nagyobb tartományát használjuk. E növekedés során azonban valahol elvesztettük azt a képességet, hogy érzékeljük az általunk elfoglalt, használt és befolyásolt környezetet. Ma már nem abban a léptékben él az emberiség, amelyben eredetileg kialakult. Veszélyes helyzet állt elő azzal, hogy jelenleg a technikai evolúció gyorsabb, mint kognitív apparátusaink evolúciója. Ennek következménye, hogy elvesztettük a saját territóriumunkban való tájékozódás képességét. Pedig ez a képesség az adaptáció, azaz a fennmaradás

alapfeltétele. Korunk tudományának nagy kihívása, hogy helyreállítsa ezt az elvesztett képességet. A vegetációan az általa vizsgált léptéktartományok kitágításával (a növényzeti állományokon belüli mikromintázatok felé, illetve a táji és a globális mintázatok felé), a sokféleség funkcionális szerepének a felismerésével, a mintázatok, mechanizmusok és funkciók operatív összekapcsolásával képessé vált arra, hogy választ adjon a gyakorlati kihívásokra. A vegetációan specialis-

tái, más diszciplínák kutatóival együttműködve, jelentősen hozzájárulhatnak, hogy visszaszerezzük tájékozódási és adaptációs képességünket mai, gyorsan változó környezetünkben.

Kulcsszavak: *degradáció, diverzitás-mintázatok, funkciós csoportok, koegzisztencia feltételek, léptékfüggés, LTER, nem-egyensúlyi vegetációdinamika, ökológiai szolgáltatások, primer produkció*

IRODALOM

- Bartha Sándor (2000). In vivo társuláselemlet. In: Virágh K. – Kun A. (szerk.) *Vegetáció és dinamizmus*. MTA-ÖBKI, Vácrátót, 101-141
- Bartha Sándor – Czárán Tamás – Podani János (1998). Exploring Plant Community Dynamics in Abstract Coenostate Spaces. *Abstracta Botanica*. 22, 49-66
- Czárán Tamás (1998). *Spatiotemporal Models of Population and Community Dynamics*. Chapman and Hall, New York
- Harper, John L. (1977). *Population Biology of Plants*. Academic Press, London
- Juhász-Nagy Pál (1980). A cönológia koegzisztenciális szerkezeteinek modellezése. Akadémiai doktori értekezés, Budapest
- Juhász-Nagy Pál – Podani János (1983). Information Theory Methods for the Study of Spatial Processes and Succession. *Vegetatio*. 51, 129-140
- Knapp, Alan K. – Briggs, J. M. – Hartnett, D. C. – Collins, S. L. (eds.) (1998). *Grassland Dynamics. Long-term Ecological Research in Tallgrass Prairie*. Oxford University Press, N. Y.
- Kovács-Láng Edit – Fekete Gábor (1995). Miért keltenek hosszú távú ökológiai kutatások? *Magyar Tudomány*. 102, 377-392
- Kovács-Láng Edit – Molnár E. – Kröel-Dulay Gy. – Barabás S. (szerk.) (1999). *Long Term Ecological Research in the Kiskunság, Hungary. KISKUN LTER*, MTA-ÖBKI, Vácrátót
- Loreau, Michel et al. (2001). Biodiversity and Ecosystem Functioning: Current Knowledge and Future Challenges. *Science*. 290, 804-808
- Oborny Beáta (2001). A növények térfoglaló és táplálékkereső stratégiái. In: Bartha Zoltán – Liker András – Székely Tamás (szerk.) *Viselkedésokológia: modern irányzatok*. Osiris, Budapest, 43-62
- Pickett, Stuart T. A. – Parker, Victor T. – Fiedler, Peggy Lee (1992). The New Paradigm in Ecology: Implications for Conservation Biology above the Species Level. In: Fiedler, Peggy Lee – Jain, Subodh (eds.) *Conservation Biology: The Theory and Practice of Nature Conservation, Preservation, and Management*. Chapman & Hall, London, 65-88
- Somogyi Zoltán (2001). *Erdő nélkül? L'Harmattan*, Budapest
- Tuba Z. – Csintalan Zs. – Nagy Z. – Sente K. – Kemény G. – Takács Z. – Koch J. – Badacsonyi A. – Murakeözy, P. – Palicz G. – Kőbor Sz. – Ötvös E. – Bartha S. (1998). Szünfiziológia: alapozó gondolatok és exploratív vizsgálatok egy születő növényökológiai tudományterülethez. In: Fekete G. (szerk.) *A közösségi ökológia*

KÖZÖSSÉGI ÖKOLÓGIA: ÉVSZÁZADOS NEHÉZSÉGEK ÉS ÚJ UTAK

Báldi András

PhD. Magyar Tudományos Akadémia – Magyar Természettudományi Múzeum Állatökológiai Kutatócsoport – baldi@nhmus.hu

Jordán Ferenc

PhD. ELTE Növényrendszertani és Ökológiai Tanszék – jordanf@falco.elte.hu

Bevezetés, történet és meghatározások

Minden tudományban, így az ökológiában is érdemes időnként számvetést készíteni: hol tart, merre tart a fejlődés. A jelen áttekintés két okból is időszerű. Egyrészt a *hazai ökológia az elmúlt években ugrásszerű fejlődésnek indult* mind más hazai természettudományos kutatásokhoz viszonyítva, mind a nemzetközi ökológiai cikkek közötti részeselekések tekintetében.¹ A másik ok, immár a szűkebb közösségi ökológiát (vagy közösségökológiát) tekintve, hogy e tudományágban alapvető változások történtek az elmúlt években.

¹ Erdős Sarolta (Magyar Természettudományi Múzeum) és Báldi András az Oktatási Minisztérium EISZ rendszerében az *ISI Web of Science* alapján a következő kereséseket végezte el 1975-től 2002-ig évenként: (1) az „address” rovatba beírták, hogy *Hungary*, majd (2) ugyanezt a keresést elvégezték a harmincnégy, általuk legfontosabbnak tartott ökológiai folyóiratra. Így azt kapták, hogy 1975-től az összes magyar (=magyarországi címmel publikáló) szerző között az ökológiai folyóiratokban publikálók aránya az utóbbi években jelentősen nőtt. Hasonló növekedést mutatott az ökológiai folyóiratok összes szerzői között a magyar szerzős ökológiai cikkek aránya. Lévéen tudatában az *ISI Web of Science* korlátainak illetve az elektronikus adatbázisokban való keresés hátulütőinek, eredményeink eléggé robusztusak ahhoz, hogy e problémák ellenére megalapozottnak tartsuk a hazai ökológiai kutatások gyors ütemű fejlődését mutató elemzésünket.

Először nézzük, mi is lesz e tanulmány tárgya. A közösségi ökológia durva megközelítéssel az együtt élő fajokkal foglalkozik. Ez a néhány szó rengeteg izgalmasnál izgalmasabb kérdést vet fel: miért vannak együtt a fajok? Miért van együtt egy területen oly sok, egy másikon oly kevés faj? Mennyire befolyásolják egymás előfordulását, gyakoriságát, viselkedését? Milyenek a diverzitás, gyakoriság, elterjedtség stb. mintázatai? Milyen a mintázatok dinamikája, hogyan lehet ezt kvantifikálni? Milyen törvényszerűségek alakítják ki ezeket? Ilyen és hasonló kérdések tartoznak a közösségökológiához. Ezzel az is nyilvánvalóvá vált, hogy a következő néhány oldalon levőket a legjobb indulattal is csak szemelvényeknek lehet tekinteni, melyben a szerzők egyéni érdeklődése jól felismerhető.

A közösségökológia gyökerei évszázadokra nyúlnak vissza, a nagy felfedezőik és természettudósok koráig. Többek között Alexander von Humboldt-nak és Charles Darwin-nak is feltűnt a fajok sokfélesége, illetve a sokféleségnek egyes markáns mintázatai, például a szélességi körök mentén változó fajgazdagság vagy a lokálisan gyakoribb fajok szélesebb körű elterjedtsége. Ha már magának a szűkebb értelemben vett közösségi ökológiának a történetét nézzük, akkor egy olyan kettőséget lehet észrevenni, ami a XX. század első felétől mostanáig ível át. Az egyik

felfogás korai megfogalmazója Frederic Clements volt, aki szerint a közösségek *super-organizmusként* működnek, amit a populációk közötti erős interakciók alakítanak ki. A másik felfogást ezzel egyidőben Henry A. Gleason és L. G. Ramensky (orosz botanikus) egymástól függetlenül fogalmazta meg, akik szerint a fajok *individualisztikusan* viselkednek a közösségekben, azaz egyszerűen a hasonló környezeti igények miatt egy területen egy időben előforduló populációk össz-szességének tekintették a közösségeket. Ez a kettősség a *közösségi ökológia számos definíciója* között is megtalálható annak megfelelően, hogy mit vettek figyelembe a populációk fajok közötti kölcsönhatásaiból, és a fajok rokonsági viszonyaiból (McIntosh, 1995). Tehát a definíciók az „egy időben egy helyen élő populációk”-tól az „egymással kölcsönható populációk”-ig terjednek. E meghatározásokból látható és nyilvánvalóan elfogadható, hogy egy közösség, azaz az egy adott helyen és adott időben együtt élő populációk körébe az állatok, növények, gombák és mikrobák is beletartoznak. Gyakran azonban az ökológiát mesterségesen szétválasztják állatökológiára, növényökológiára, és mikrobiális ökológiára, ami természetesen a közösségökológiára is igaz. Ez elsősorban ott történt meg, ahol az ökológiai kutatás erősen a botanika, a zoológia illetve a mikrobiológia hagyományaira építve alakult ki. Bár tanulmányunkban számos általános témát tekintünk át, a hangsúly az állatok közösségökológiája felé tolódik.

A közösségökológiához *tudományterületek széles skálája* kapcsolódik, így a biogeográfia, az evolúciós, populációs szintű, tájszintű és viselkedésökológia, a taxonómia, illetve több élettelen diszciplína, mint például a geográfia és az éghajlatlan.

A múltira visszatekintve a *hazai „zoocönológia”*, azaz az állatok közösségökológiája méltán érdemel említést. A XX. század közepe után ugyanis a kort megelőző kutatások

és gondolatok születtek Balogh János, Jemny Tibor, Szélynyi Gusztáv és mások révén. Sajnos a későbbiekben ez a lendület megakadt, sőt megtört, továbbá a nemzetközi irodalomban is csak kismértékben került át. Szerencsére az utóbbi években ismét elindult a fejlődés, mint látható a Fekete Gábor által szerkesztett kötetben (Fekete 1998), illetve példázza a Magyar Ökológusok Tudományos Egyesületének 2000-ben indított, egyre rangosabb nemzetközi lapja, a *Community Ecology* (www.akademiaiakiado.hu). A botanikusként dolgozó néhai *Juhász-Nagy Pálnak* az állatok közösségökológiai kutatására is jelentős hatása volt. Mára vezető nemzetközi lapokban publikáló hazai kutatógárda alakult ki az állatok közösségökológiája területén, kutatási területük a talaj mikrobiális közösségeitől, változatos gerinctelen és gerinces közösségeken át a módszertani és szimulációs vizsgálatokig tart. Az 1997-es pécsi IV. és a 2000-es debreceni V. Magyar Ökológus Kongresszusok több mint ötszáz absztraktja alapján a hazai paletta még szélesebb, a kisebb rovaraxonokon végzett diverzitási vizsgálatoktól a térskálán, élőhelyfoltoságon, fajkompozíción stb. keresztül a predációig és parazitizmusig tart.

A továbbiakban röviden ismertetjük a közösségek főbb vonásait, a szigeti ökológiát, majd rátérünk a közösségi ökológia fejlődésének néhány nehézségére, illetve a végén a kibontakozó új irányokat ismertetjük.

A közösségek leírása

A közösségek leírása, szerkezetük feltárása, a szerkezet térbeli, illetve időbeli ismétlődése által kialakuló mintázatok keresése a központi témái a közösségökológiának (például Southwood, 1996). A közösségek leírása a fajszám, abundancia és a fajkompozíció köré csoportosíthatók.

A *fajszám* a legegyszerűbb és leggyakrabban használt paraméter. Egyszerűen egy adott területen előforduló fajok számát adja meg, például egy tölgyerdőben több madár

faj fészkel, mint egy fenyőerdőben. Persze a fajszámot alapvetően befolyásolja, hogy mekkora mintanagyságon alapul a becslés, például mekkora terület, illetve hány egyed került a mintába. Könnyű belátni, hogy ha egy kéthektáros tölgyes fészkelő fajait hasonlítom össze a Kárpátok fenyveseiben fészkelőkkel, akkor a nagyobb területű fenyőerdőkben több fajt kaphatok, mint a tölgyesben. Azonos fajszámú közösségek is nagyban különbözhetnek egymástól, ha eltérő a közösségekben előforduló egyedek száma, illetve az egyedszámok (abundancia) eloszlása a fajok között. Ez utóbbi összefüggésnél régóta ismert, hogy egy közösségben néhány faj nagy egyedszámmal képviselteti magát, míg a többség nem gyakori, illetve kifejezetten ritka. Olyannyira, hogy Gallé László szerint ahhoz, hogy például a Kiskunság egyes területeinek hangyafajait megfelelően felmérhessük, sok tízezer egyedet kell azonosítani. Papp László becslései szerint az igazán ritka légyfajok kimutatása egy közösségből milliós nagyságrendű egyed meghatározását igényli. Számos függvénnyel próbálták a *faj-abundancia összefüggést* leírni (például geometrikus, törött pálcá, logaritmikus, lognormális eloszlások), gyakran ökológiai elméletet is hozzárendelve magyarázatnak egy-egy függvényhez. Jól értelmezhető, egységes törvényszerűség, mely mindegyik mintázatot magyarázná, illetve a háttérmechanizmust is feltárná, nem született. Eddig, mert a később ismertetendő neutrális teória erre tesz kísérletet.

Közösségek leírásának harmadik nagy csoportja a *fajkompozícióval* foglalkozik, azaz milyen fajok alkotják az adott közösséget, vannak-e fajok amelyek „vonzák”, illetve „taszítják” egymást? Milyen a fajok egymáshoz viszonyított aránya? A kompozíciós elemzések viszonylag kis száma módszertani problémáknak is betudható. A fajpárok pozitív illetve negatív asszociáltságának kimutatásával mutualizmusra, illetve

kompetícióra utaló mintázatot lehet regisztrálni. Csakhogy közösségi szinten ez $(N^2-N)/2$ fajpár összehasonlítást igényel, ami gyakorlatban lehetetlenné teszi a megértést. Többek között *Juhász-Nagy Pál kompozicionális diverzitása*, illetve az egymásba ágyazott fajkészleteket feltételező modellek révén lehet közösségi szintű kompozicionális elemzéseket elvégezni. Ez utóbbi modellek feltételezik, hogy az egy adott közösségben előforduló fajok a fajgazdagabb közösség fajkészletének egy nem random részhalmaza. Így a fajgazdagság ismeretében a fajkompozíció megjósolható.

A következőkben egy rövid közösség-ökológiai példát mutatunk be. A Kis-Balaton nádi-mocsári élőhelyein másfél évtizede végez madártani felméréseket az MTA-MTM Állatökológiai Kutatócsoportja. A terület vízszintjét 1992 őszén jelentősen megemelték, ami a növényzet kiritkulását és elszegényedését okozta. A fajgazdagság, abundancia, illetve a kompozíció vizsgálata alapján a fajgyűttes változásait nyomon lehet követni, így a Kis-Balaton madárvilágának átalakulását értékelni tudjuk. A jelentős környezeti változásokat a fajszám változása nem igazán követte nyomon. Ennek oka a kompozicionális változásokban kereshető, minthogy a fajösszetétel jelentősen megváltozott, egyes fajok ritkábbak lettek (például a foltos nádi-poszáta), mások gyakoribbak lettek (például a nádirigó), azaz az egyes mintákban más fajok, más abundanciával fordultak elő. A fenti, fajokra lebontott változások mellett egy jelentős általános, összabundancia-csökkenés is bekövetkezett. A kis-balatoni elárasztásra tehát az egyes fajok eltérően, fajspecifikusan reagáltak, amit a közösségek átfogó vizsgálata alapján megfelelően nyomon lehetett követni.

A közösségek leírásának nehézségei

A közösségi ökológia szépségét és „izgalmasságát” is a nehézségek és az ezek lektiz-

dése után kapható válaszok adják, csakúgy, mint más tudományoknál. A megválaszolatlan nagy kérdések jelentik az igazi kihívást. Több ilyen „izgalmas” probléma közül három nehézségre hadd mutassunk rá.

Első a mintavétel problémája. Nézzük, milyen gondokkal szembesülünk, ha egy terület közösségét fel akarjuk támi. A Bükkben például közel 8500 állatfajt találtak a Magyar Természettudományi Múzeum által koordinált faunisztikai feltárás során, pedig jelentős csoportok (például a pókok) kimaradtak. A résztvevő taxonómusok száma pedig nyolcvan volt! Dan Janzen szerint *egy minden rendszertani egységet a növényektől a gombákon át az állatokig magába foglaló területfelmérés akár több tízmillió dollár költséggel is lehet.* Valójában a legtöbb állatcsoport speciális mintavételi eljárásokat és taxonómus specialistát igényel. Emiatt az állatközösségek fajspektrumát gyakran a kényszerűségből leszűkített mintavétel korlátjai és a rendelkezésre álló taxonómusok által feldolgozható rendszertani egységek adják meg. Igaz, ezek néha ökológiailag egységes csoportot alkotnak, így a praktikus korlát nem okoz torzítást. Ilyen csoport például a hangyák. A költő „énekesmadarak” közössége viszont heterogén, melybe az énekesmadarak (Passeriformes) kívül a harkályok (Piciformes) és a galambok (Columbiformes) is beletartoznak. Ennek oka, hogy a madárszámlálás során a territóriumtartó és azt énekkel vagy más hangadással jelző fajokat detektáljuk, és ez a mindhárom esetben előforduló fajokra általában igaz. További példa lehet a talajcsapdázás, mely során a talajon mozgó állatok, elsősorban bogarak, csigák, de gyíkok és kisemlősök is a mintákba kerülhetnek, vagy a fűhálós rovargyűjtés, melybe szinte minden fűszálakon élő gerinctelen (bogarak, sáskák, lepkék, pókok, csigák stb.) bekerülhet. A feldolgozás hatalmas munka- és szakértelem igénye miatt legtöbbször már

csak egy rendszertani csoportra, például a sáskákra koncentrál a kutatás további része. Mindenképpen szükséges volna túllépni azon, hogy ne a gyakorlati korlátok, hanem a valós ökológiai szempontok domináljanak a vizsgálatok tervezése és megvalósítása során, azonban a szükséges források töredéke sem áll rendelkezésre. Nem véletlen, hogy Lawton (2000) vastagon szedte könyvében: „Entire communities are almost impossible to study”.²

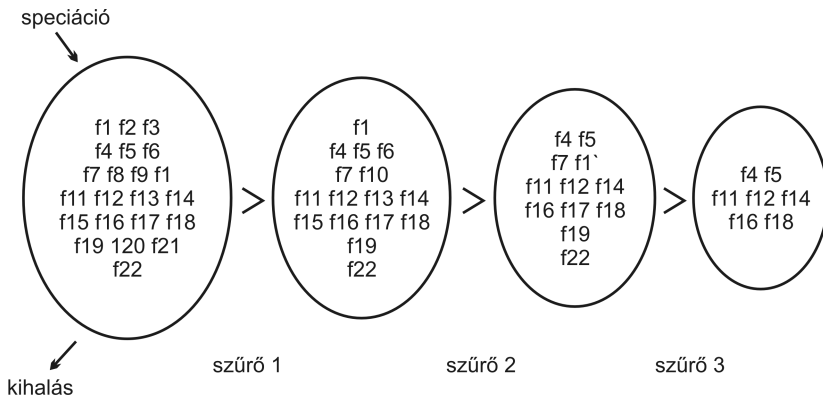
A másik jelentős nehézséget a közösségi ökológia gyakran „embertelen” tér- és időléptéke jelenti, azaz a vizsgálatok akár kontinentális térskálája, illetve évszázados időskálája (lásd a makroökológiát Fekete Gábor e kötetben levő bevezetőjében – 2. o.). Igaz, az ismeretek bővülése itt is előrelépést eredményez. Például Nicholas Gotellinek társszerzőkkel készült egy cikke (Gotelli et al. 1997), melyben Ausztrália madárfajainak együttes előfordulását elemezték 812 darab 10 000 (azaz tízezer) km²-es négyzetben. Ehhez az 1977 és 1981 között, a Királyi Ausztrál Madártani Egyesület szervezésében végzett felmérések eredményeit használták fel. Ez már hatalmas lépés a térskála határainak kiterjesztésében, de vegyük észre, hogy a hatalmas terepi munka nem a kutatási projekt része volt.

A harmadik nehézséget a közösségek mintázatának értékelése jelenti. A *fajszámtérület összefüggés* például a közösségi ökológia egyik alapvető törvényszerűsége, mely szerint minél nagyobb területen vagy térfogatban veszünk mintát, illetve mérjük fel az ott előforduló egyedeket és fajokat, annál több fajt fogunk az adott területről kimutatni. A növekedés mértéke 100 %-os területnövekedés esetében ~25 %-os fajszámnövekedés. Ez az érték meglepően állandó a mikroorganizmusoktól kezdve a növényeken és gerincteleneken át a gerincesekig. Csakhogy

² Teljes közösségeket lényegében nem lehet vizsgálni.

a fajszám növekedése a területtel valójában evidencia. Teljesen véletlenszerűen elhelyezkedő különböző fajhoz tartozó egyedeket mintázva is megkapjuk a növekedést. Az izgalmas probléma tehát nem ez, hanem annak a keresése és értékelése, hogy az evidencián túl van-e valamilyen ökológiai tényező, mely befolyásolja a fajszám-terület összefüggést? Ehhez a megfigyelt mintázatot egy null modellhez kell viszonyítani. Valójában a XX. század vége felé érett meg az idő a megfelelő ideák és eljárások széleskörű elterjedésére. Jól jelzik ezt a releváns könyvek elmúlt néhány éven belül történt megjelenése (Gotelli – Graves, 1996; Weiher – Keddy 1999; Hubbell, 2001). A *null modell* Nicholas

J. Gotelli és Gary R. Graves (1996) szerint egy olyan mintázat-generáló modell, ami valós adatok vagy ismert eloszlások randomizációján alapul. A null modell az egy adott ökológiai mechanizmus hiányakor kialakuló mintázatot állítja elő, amelyhez a megfigyelések adatait hasonlítani lehet. E kétféle mintázat összevetése alapján indirekt módon következtetni lehet a mechanizmus meglétére. Természetesen null modellek korábban is voltak (érdemes itt megemlíteni Daniel Simberloff nevét), de csak az elmúlt években vált mindennapi gyakorlattá a használatuk. Többek között mostanra lettek elérhetőek és az internetről letölthetőek a közösségek mintázatának leírására és tesztelésére kidolgozott és testreszabott programok (például



1. ábra • A helyi közösségek kialakulása a teljes regionális fajkészletből (f1-f22: fajok). A regionális fajkészletből a biogeográfiai vagy elterjedési szűrő (Szűrő 1) kialakítja a táji szintű fajkészletet. Például a Kárpát-medence gerinces fajaiból, mint regionális fajkészletből a Pilisben előfordulóakra szűkíti a kört. Az átfedő előfordulások még nem feltétlenül jelentik a fajok együttes előfordulását, hiszen lényegi környezeti, élőhelyi szűrők is vannak (Szűrő 2), például az azonos élőhelyek iránti alapvető igény (vízi vs szárazföldi). A Pilisben előforduló fajok közül például a kis tavakban, pocsolyákban élőkre szűkül a kör, amely elsősorban békafajokat jelent. És végül a fajok közötti interakciók jelentik a harmadik, fajkölsönhatási szűrőt (Szűrő 3). Ez lehet például a predáció, illetve kompetíció. A példánál maradva, az egyes pilisi tavacs-kákban előforduló helyi békaközösségeket nagymértékben befolyásolja, hogy vannak-e az adott tavacs-kában szitakötő lárvák, melyek predációja nagymértékben csökkentheti az ebihalak abundanciáját. A „szűrők” más tér- és időskálán működnek (Lawton, 2000 alapján).

Nicholas J. Gotelli és Gary L. Entsminger: *EcoSim: Null Models Software for Ecology*; Wirt Atmar és Bruce Patterson: *Nestedness Temperature Calculator*, vagy magyar szerzőktől a diverzitási indexek vizsgálatára, Tóthmérész Béla: *DivOrd*, illetve Izsák János *Diversi* programjai).

A közösségek szerkezete, illetve a kialakuló mintázatok leírása izgalmas, sok terepi kutatást igénylő feladat. Kérdés azonban, mi alakítja ki a megfigyelt mintázatokat? Hogyan alakul ki egy közösség? Milyen törvényszerűségek szabályozzák? Egyáltalán van-e valami mechanizmus, vagy csak véletlenszerűen alakulnak ki a mintázatok? Valójában számos tényező játszhat közre a figyelembe vett tér-és időskála függvényében.

Nagyobb tér- és időléptékeknel a modellezés fegyvertára segíthet az összefüggések feltárásában (lásd Scheuring István tanulmányát e kötet 59. oldalán). A következőkben néhány alapvető ismeretre térünk ki, majd egy új, nagy hatású elméletet mutatunk be.

A mintázatokat kialakító mechanizmusok és a biodiverzitás egységes neutrális elmélete

A közösségi mintázatokat abiotikus és biotikus hatások alakítják ki. A továbbiakban a helyszűke kényszere miatt csak a biotikus mechanizmusokkal foglalkozunk. Minden ökológiai tankönyv elején ott szerepelnek a legegyszerűbb közösségben (a két fajt tartalmazó közösségben) levő lehetséges interakció módozatai (+, -, 0; egyik fajszámára kedvező, kedvezőtlen, illetve semleges hatás):

- + + mutualizmus (például a beporzás, ahol az adott növény szaporodását elősegítik a méhek, „cserébe” a méhek táplálékot, nektárt kapnak)
- + – predáció, parazitizmus, herbivória (a rókának kedvező, ha megeszi a nyulat, a nyúlnek már kevésbé)
- + 0 detritivória, kommenzalizmus (az elefánt számára semleges, hogy az elpottyantot „elefántleányban” a koprofág rovarok

dőzsölhetnek)

- – kompetíció (cinegefajok versengése a költőodúért vagy gyíkfajok versengése a táplálékért)
- 0 amenzalizmus (nagytestű állatok eltapossák a gyepet)

00 neutralizmus (általában nem tárgyalt kölcsönhatás; az előző kategóriákat kiegészítő, mesterséges kapcsolatnak tartják)

Hatalmas terepi, kísérletes és modellező erőfeszítések történtek és történnek e kölcsönhatások kutatására. Sokáig a kompetíciót, a versengést tartották a legfontosabb közösségszervező erőnek, mely meghatározza a guildeket, az állatközösségek funkcionális egységeit. Később, a 80-as évektől az egymást segítő fajkölcsönhatások fontosságát emelték ki, a kompetíció központi közösségformáló szerepét kétségbe vonták. A legújabb elmélet azonban mindezeknek a kölcsönhatásoknak a jelentőségét vitatja, és a neutralitás alapján értelmezi az oly sok verejtékkel leírt közösségi mintázatokat.

Ez az elmélet a *biodiverzitás egységes neutrális elmélete* (BENE) (Hubbell, 2001), melyet az elmúlt ötven év egyik legfontosabb ökológiai munkájaként aposztrofált Edward O. Wilson. A BENE szerint a közösségi ökológia számos mintázatát egyszerűen meg lehet magyarázni a rendelkezésre álló fajkészletből a közösségbe történő véletlenszerű diszperzióval. Azaz az *1. ábrán* feltüntetett szűrők közül a harmadik nem „funkcionál”, véletlenszerűen jutnak be fajok a helyi közösségbe. Ez alakítja ki az ökológiai sodródást (ecological drift), mely fogalom a genetikai sodródás mintájára kapta nevét, és annak analógiájára, az összes egyed azonos születési/bevándorlási, illetve kihálási esélyét jelenti.

Neutrális modellek korábban is voltak, de nem átfogóak. Egy-egy kisebb problémához rendelték mint null-modellt, azaz amihez viszonyítani lehet a természetben megfigyelt mintázatot. A BENE viszont az első egységes

elmélet, mely a biodiverzitás mintázatait, a fajok relatív abundanciáját, a fajszám-terület összefüggést és a speciációt is egyesíti helyi és regionális térskálakon is. Meghökkenítő pontossággal modellezi a faj-abundancia összefüggést vagy a fajszám-terület összefüggést. Az előbbinél a különféle eloszlások (logaritmikus, lognormál stb.) előfordulását is megmagyarázza. Tehát bármennyire is nehéz elfogadni a BENE újszerű elméletét, nem lehet figyelmen kívül hagyni.

A fajkölsönhatások egy részére nem érvényes a BENE, mivel az elmélet limitált a horizontális, azaz az azonos trofikus szinten álló fajokra, fajegyüttesekre (tehát például az énekesmadarakra, edényes növényekre, futóbogarakra stb. érvényes, de ragadozó – zsákmány, gazda-parazita stb. kapcsolatokra nem). A BENE egész újnak számít, így korai lenne bármilyen állásfoglalást tenni érvényességéről. Ettől Stephen P. Hubbell könyvének ismertetői is bölcsen tartózkodnak. Graham Bell (2001) jóslata szerint a neutralizmusnak kétféle jövője lehet: vagy mint null modell fog szerepelni, és a közösségökológiai vizsgálatok egyik rutinszerű lépése lesz, hogy a neutrális modellhez viszonyítva keressék a kutatók a feltételezett mechanizmusokat, vagy pedig elfogadottá válik, hogy a neutrális teóriák a mechanizmust is azonosították. Ez viszont a közösségökológia új koncepcionális alapozását igényli.

A táplálkozási kapcsolatok rendszerének jellegzetességei

Eddig elsősorban a közösségek leírásával foglalkoztunk, illetve a hasonló táplálkozású fajokból álló közösségeket vizsgáltuk. A továbbiakban egy alapvetően fontos vertikális kapcsolatrendszeret veszünk górcső alá, mégpedig az egymással táplálkozási kapcsolatban álló fajok rendszerét. Kérdésünk, hogy táplálékhálózatok kutatása mennyiben segíthet a közösségek életének megértésében?

A táplálékhálózat több mint pusztán annak felsorolása, mi mit eszik, hiszen implicit módon egy sor jelentős indirekt hatásról is informál (például az azonos vízi gerinctelen táplálékért kacsák és halak között léphet fel forráskompetíció, de közvetlen kölcsönhatás a két faj populációi között nincsen). Ugyanakkor nagyon fontos, táplálkozashoz kapcsolódó kölcsönhatásokról semmi információt nem nyújt (például a növények és a fitofág rovarok parazitái között létrejövő kémiai kommunikáció ilyen).

A táplálékhálózatok kutatásával kapcsolatban a vélemények erősen megoszlanak. Egyesek szerint a *táplálékhálózatok kutatása lehet az ökológia egyre távolodó részterületeinek közös nevezője*, hiszen ez a talán kicsit elvont témakör alkalmas arra, hogy lekösse a populációbiológusok, a rendszerökológusok, a viselkedésökológusok vagy éppen az ökológia iránt érdeklődő fizikusok figyelmét is. Szép kihívás a fenti területek ismereteinek egységes képbe történő illesztése. Mások viszont azt gondolják, hogy a módszertani nehézségek miatt csak nagyon óvatosan értelmezhetők az eredmények, és a hálózatok inkább csak illusztrációként hasznosak. Az egyik probléma a feladat bonyolultságából adódik, mint fentebb már bemutattuk: nincs ember (és nem is volt), aki egymagában képes arra, hogy egy közösség trofikus hálózatát megalkossa. Ehelyett három, jól elkülöníthető fázisra tagolódik a munka: terepi adatfelvétel (például begyűjtés elemzése, de ide sorolhatjuk a taxonómiai azonosítást is), sok alapadattól a kapcsolatok összegzése (leginkább több évtizedes kutatómunka nyomán, irodalmi adatok alapján), majd a kész hálózat „vállatása” (ezt sokszor fizikusok végzik, esetenként nagy számítástechnikai apparátussal). A feladatok ilyen megosztása sokszor azzal a nehézséggel jár, hogy a terepen dolgozó ember nincs pontosan tisztában a felvett adatok sorsával, a lánc végén ülő elméleti szakember pedig nem

hoz mindig a realitásokat tükröző döntéseket. Azonban igazi közösségi ökológust nem rettentenek el a bonyolult problémák, így a táplálékhálózatok kutatása – módszertani revíziókat követően – megújult erővel lendül fel (egy nagyszerű összefoglaló alapmunka: Polis – Winemiller, 1996). Mára változatos, de igényes módszertan biztosítja a terület elismertségét: a kölcsönhatások erősségének Robert Paine által javasolt terepi mérésétől a Robert E. Ulanowicz-csoport izotópos vizsgálatain át egészen a mikrokozmoszkísérletekig (Angliában a John Lawton vezette Silwood Parkban, Amerikában például a Tennessee Egyetemen James Drake vezetésével folytak/folynak ilyen kísérletek). Természetesen vannak még tisztázandó kérdések (például a nagy hálózatok aggregációjának módja), de a hálózatelemzés eredményei egyre robusztusabbak: úgy tűnik, valóban egyre pontosabb képet alkothatunk az interspecifikus kapcsolatok additivitásáról, az ökoszisztéma sztöchiometriai viszonyairól vagy az energiaáramlás megbízhatóságáról. A táplálékhálózatok kutatásának újabb virágkora részben talán hozzájárulhatott ahhoz is, hogy ismét egyre népszerűbb a rendszer-szintű, holisztikusabb tárgyalásmód a közösségökológusok körében (Higashi – Bums, 1991). Ezen szemlélet gyakorlati gyümölcse pedig nem a faj-, hanem a közösség- (illetve ökoszisztéma-) szintű természetvédelem.

A fajtól a közösségig és vissza

A mai nemzetközi közösségi ökológiai kutatások egyik legizgalmasabb kérdéscsokra a fajok és közösségek közötti kapcsolatok megértésére irányul. A kapcsolat kétirányú: egyrészt fontos megérteni, mi történik például az erdő élővilágával, ha mondjuk egy harkályfajt alaposan megzavarunk (netán kipusztítunk). Másrészt képet kell nyernünk arról is, hogy a közösség (az élőhely, az ökoszisztéma) általános megzavarása hogyan „csapódik le” egy-egy fajon. Ezek nagyon

nehéz kérdések, de bőven adunk okot arra, hogy fájoan aktuálisak legyenek. Egy könyv (Jones – Lawton 1995), legalábbis címével, kijelöli a jövő imént vázolt egyik legfontosabb csapását.

A probléma mögött elsősorban az az évtizedek során fokozatosan felismert nehézség áll, hogy a *páros fajkölcsönhatások* elemzése sokszor félrevezető, például ha valamilyen indirekt hatást nem veszünk figyelembe. A kutatott téma, például az „A” faj hatása „B”-re, Z területen, esetleg W környezeti hatás mellett, zavaros eredményei a „C” faj jelenléte miatt jönnek ki. Kiderülhet ugyanis, hogy a kutya éppen mondjuk a vizsgált „A” faj predátora parazitáinál, a „C”-nél van elásva. A „minden mindennel összefügg” elv azonban nem vezet túlságosan operatív kutatási stratégiákhoz, így nem lényegtelen a kérdés: ha nem csak a „szomszédok” számítanak, de mégsem törődhetünk az egész közösséggel, akkor hogyan állapítsuk meg, mi hat mire és mennyire (a már meglévő eredményeknek egy, a főképp számára életbevágó alkalmazását lásd: Yodzis, 2001). Az indirekt hatások explicit vizsgálata még gyermekcipőben jár, pedig Charles S. Elton már 1927-ben is felvetette, sőt, kristálytisztán meg is fogalmazta a problémát. Mivel azonban az ilyen vizsgálatokhoz egyszerre több fajra van szükség, ráadásul a direkt kapcsolatoknál rendszerint picit gyengébb indirekt kölcsönhatások demonstrálásához több időre is szükség van, máig sem tartoznak a legnépszerűbb kutatási témák közé. Pedig az indirekt kapcsolatok kvantitatív, s egyszer talán prediktív erejű vizsgálata csak az első lépést jelentené az együtt élő fajok relatív fontosságának felbecsüléséhez. A már jó ideje folyó elméleti vizsgálódások után az első terepi eredmények éppen az egyik nagy, statisztikai értelemben véve is összehasonlítható táplálékhálózati adatbázisból származnak: mérsékelt övi és trópusi gazda-parazitoid közösségek kapcsán vizsgálta Charles Godfray

munkacsoportja egy indirekt kölcsönhatás, a látszólagos kompetíció erejét. Módszereikkel sikerült becslést adni a vizsgált gazda-parazitoid rendszerek kölcsönhatási hálózatának legfontosabb szereplőire.

Fajok és funkciók

Az ökológusoknak jelentős mértékben a taxonómusok munkájára kell építeniük. Sok esetben ugyanis az aktuális ökológiai probléma megkívánja a részletgazdag, fajsztű vizsgálatokat. Később azonban meg kell adni az adatbázis értelmes összesűrtését – az áttekinthetőség, a kezelhetőség és (nem utolsósorban!) az ökológiai problémafelvetésnek megfelelő funkcionalitás elérése érdekében. Konkrétan: tételezzük fel, hogy egy táplálékhálózat megalkotása segítségével szeretnénk felépíteni egy dinamikai szimulációs modellt mondjuk egy póp populáció viselkedésének előrejelzése érdekében. Az fog minket érdekelni, mi hogyan hat a pókra: hogyan befolyásolja a pókok létszámát például táplálékuk vagy éppen a velük táplálkozó fajok bősége (tehát inkább *bottom-up* vagy *top-down* szabályozás alatt állnak-e). Első lépésként nem engedhetjük meg azt a luxust, hogy nem próbáljuk meg az adott közösséget a lehető legrészletesebben feltérképezni: milyen fajok élnek ott, mi mit eszik, esetleg miből mennyit. A kimerítő taxonómiai munka gyümölcse lesz az, hogy meghatározhatjuk, mely fajok tekinthetők redundánsnak *az adott probléma szempontjából*, s így százötven fajt mondjuk tizenöt-húsz, ökológiai funkciókat értelmesen tükröző csoportba lehet sűríteni (mint például repülő rovarok, hálózó pókok, növényevő rovarok, lágyszárú növények stb.). Mindehhez ugyan feltétlenül szükséges a fajok ismerete, de nagy hiba, ha az ökológus nem meri bátran kimondani bizonyos fajok egy csoportba tartozását. Még nagyobb hiba, ha egy-egy nagy nehezen megalkotott funkcionális csoporthoz aztán az idők végezetéig ragaszkodik, nem is-

merve fel azt, hogy azok csak egy-egy jól megfogalmazott probléma függvényében értelmesek, tehát más kérdésfelvetéshez más funkcionális csoportokat kell alkotni ugyanazon fajokból. Ha viszont gondolatban elvégzünk sok-sok ilyen kísérletet, és egy adott X fajt sohasem vontunk össze másokkal, akkor – igen leegyszerűsítve – arról van szó, hogy ez a bizonyos X faj pótolhatatlan, mások nem helyettesíthetik: valamit tud, amit a többi faj nem. X ilyenkor bátran kimondhatóan kulcsfaj, egy egyszemélyes funkcionális csoport, még ha sokan dinamikai hatásokhoz vagy éppen abundanciaviszonyokhoz kötik is a fogalom pontos használatát.

A fajok relatív fontosságának kvantitatív becslése egyelőre a módszertani háttér körvonalazódásánál tart: az első próbálkozások, katalán és magyar kutatók munkájaként, a táplálékhálózatban elfoglalt pozíció alapján rangsorolják a fajokat. Itt az a kérdés, hogy egy adott faj kihalásának hatására mennyire sérül a kölcsönhatási hálózat. Stuart L. Pimm hasonló jellegű, dinamikai kutatásainak fényében úgy tűnik, bonyolult hálózatok esetében a strukturális megközelítés lehet célravezetőbb. Az egyszerű topológiai modellek realitásának növelése érdekében küszöbön áll a kapcsolataival súlyozott hálózatok vizsgálata is, illetve kutatások folynak a prédaváltás (switching) figyelembevétele érdekében.

Zárószó

Tanulmányunkban igyekeztünk bemutatni a közösségi ökológia tárgyát, útját, nehézségeit. A hazai ökológia fejlődése és ezzel egyidőben a közösségi ökológia tudományának fellendülése jelzés is, hogy a hazai kutatói szellemi kapacitás és a tudományág helyzete kiemelt figyelmet érdemel. Erre pedig csak részben az alap kutatások miatt van szükség. Legalább ilyen fontos, de sokkal sürgetőbb ok, hogy az élővilág eltűnő sokfélesége egy-egy kiszemelt objektum (faj, populáció stb.)

védelmével nem oldható meg. A közösségek megértése szükséges előfeltétele annak, hogy az élővilág komplex rendszereit meg tudjuk óvni.

Köszönetnyilvánítás

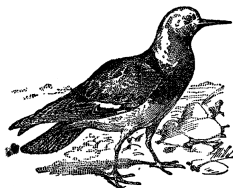
Köszönjük Prof. Fekete Gábor, Prof. Gallé László és Dr. Orci Kirill Márk kritikai észrevé-

teleit a kézirattal kapcsolatban. A cikk írását az OTKA F/29242, T/37726, D/42189 pályázatok és mindkét szerző esetében a Bolyai Kutatási Ösztöndíj támogatta.

Kulcsszavak: *állatközösség, szigeti ökológia, táplálékhálózat, közösségszerveződés, neutrális elmélet*

IRODALOM

- Báldi András – McCollin, Duncan (2003): Island Ecology and Contingent Theory: The Role of Spatial Scale and Taxonomic Bias. *Global Ecology and Biogeography*. **12**, 1-3.
- Bell, Graham (2001): Neutral Macroecology. *Science*. **293**, 2413-2418
- Fekete Gábor (1998): *A Közösségi ökológia frontvonalai*. Scientia Kiadó, Budapest
- Gotelli, Nicholas J. – Graves, Gary R. (1996): *Null Models in Ecology*. Smithsonian Institution Press, Washington
- Gotelli, Nicholas J. – Buckley, Neil J. – Wiens, John A. (1997): Co-Occurrence of Australian Land Birds: Diamond's Assembly Rules Revisited. *Oikos*. **80**, 311-324
- Higashi, Masahiko – Burns, Thomas P. (eds.) (1991): *Theoretical Studies of Ecosystems - The Network Perspective*. Cambridge University Press, Cambridge
- Hubbell, Stephen P. (2001): *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton University Press, Princeton–Oxford.
- Jones, Clive G. – Lawton, John H. (eds.) 1995. *Linking Species and Ecosystems*. Chapman and Hall, New York
- Lawton, John H. (2000): *Community Ecology in a Changing World*. Ecology Institute, Oldendorf/Luhe
- McIntosh, R. P. (1995): H. A. Gleason's Individualistic Concept and Theory of Animal Communities: A Continuing Controversy. *Biological Review*. **70**, 317-357.
- Polis, Gary A. – Winemiller, Kirk Owen (eds.): *Food Webs - Integration of Patterns and Dynamics*. Chapman and Hall, London
- Southwood, Thomas R. E. (1996): Natural Communities: Structure and Dynamics. *Philosophical Transactions of the Royal Society London, Series B*. **351**, 1113-1129.
- Weiher, Evan – Keddy, Paul (eds.) (1999): *Ecological Assembly Rules. Perspectives, Advances, Retreats*. Cambridge University Press, Cambridge
- Yodzis, Peter (2001): Must Top Predators Be Culled for the Sake of Fisheries? *Trends in Ecology and Evolution*, **16**, 78-84.



A HIDROBIOLÓGIA FŐBB IRÁNYVONALAI ÉS FELADATAI

Bíró Péter

az MTA levelező tagja

MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézete, Tihany – biro@tres.blki.hu

Oertel Nándor

a biológiai tudományok kandidátusa

MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete, Magyar Dunakutató Állomás, Göd – oer63@ella.hu

A Föld hidroszférájának csupán 3%-a édesvíz. Ennek is kétharmada a jégsapkákban, gleccserekben van. A maradék 1 % jelenik meg az atmoszférában, a folyókban, tavakban és a felszín alatti vizekben. Ebből következik, hogy az élet egyik nélkülözhetetlen eleme rendkívül törekeny és sérülékeny életér. A hidrobiológiai tárgyat az álló- és folyóvizekben (felszíni és felszín alatti) zajló fizikai-kémiai és biológiai folyamatok képezik. A tó kutatás története a XIX. század közepéig nyúlik vissza, így kb. másfél évszázados múlttal rendelkeznek, s kezdeit Európában François-Alphonse Forelnek (1841–1912) a Genfi-tóról írt tanulmányaitól számítjuk: *Le Léman: monographie limnologique*. A tó geológiáját, fizikáját és kémiáját, valamint biológiáját leíró három kötet 1892 és 1904 között jelent meg. Észak-Amerikában Louis Agassiz (1807-1873) 1850-ben a Felső-tó (Lake Superior) fizikai jellegéről, vegetációjáról és állatairól (halfauna) közölt munkája jelenti a kezdeteket. A „nagy ugrást” Stephen A. Forbes színre lépése és mikrokozmosz-szemlélete jelentette, az 1887-ben megjelent *The Lake as a Microcosm*, mely felismerés a belvizeknek mint önálló élettereknek viselkedésére irányította a figyelmet. Igaz, a Genfi-tavat már Forel (1871) is

zárt egységnek tekintette: „als eine Welt für sich”. Észak-Amerikában a rendszeres tó kutatás Edward A. Birge és Chancey Juday munkásságával a Mendota-tavon (Wisconsin) kezdődött (v. ö. Sebestyén, 1963).

A limnológia (édesvízi tavakkal foglalkozó tudomány) ugrásszerű fejlődését az ökológiai szemlélet előtérbe kerülése biztosította, amely a német August Thienemann (1882-1960) és a svéd Einar Naumann (1891-1934) nevéhez fűződik, akiknek szemlélete alakította ki a modern limnológiát, amelynek központi kérdése a vízi környezet és a vízi élővilág kölcsönös kapcsolata. Hazai úttörők illetve előfutárok Papp János (1843-1917), Herman Ottó (1835-1914), Lóczy Lajos (1849-1920), Francé Rezső (1874-1944), id. Entz Géza (1842-1919), Winkler Lajos (1863-1939), Cholnoky Jenő (1870-1950) majd később Maucha Rezső (1884-1962), Sebestyén Olga (1891-1986), ifj. Entz Géza (1875-1943) – és még sokan mások – voltak.

A tó kutatás (limnológia) irányvonalai

A tudományterület kialakulásakor a felszíni – és később, a felszín alatti – vizek sokrétűségének felismerése azok rendszerezését igényelte. A tavak tipizálása Thienemann nevéhez fűződik (1926), aki a belvizeket külön-

böző szempontok és tulajdonságok szerint osztályozta, s a tavak kémhatása szerint „tisza” (lúgos) és „bama” (savas) tavakat különböztetett meg. Ma már tudjuk, hogy közöttük számos átmenet lehetséges. Forel (1901) az állóvizek fejlődési fokozatait (öregedés) különítette el. A tavakat különböző alapon osztályozták földtani (eredet), földrajzi, hőmérsékleti, florisztikai stb. szempontból. A biológiai csoportosítás lényegét az alapvető táplálék mennyisége, a trófia képezi az oligotróf-hipertróf skála mentén (amely a növények elsődleges szervesanyagtermelésével érzékeltethető) (v. ö. Sebestyén, 1963).

Az *Ecosystems of the World* 23. kötete a *Lakes and Reservoirs* (Taub, 1984) a modern hidrobiológia ismeretanyagát rendszerezi. A tavakat és mesterséges víztározókat egy nagyobb területű környezeti rendszer, a vízgyűjtő terület részeként értékelhetjük. A figyelem a környezeti rendszerekben zajló, a tavakban és víztározókban közös folyamatokra irányult, leírásuktól e folyamatok matematikai modellezéséig jutottunk. A vízbilógusok – a szárazföldi ökológiát művelőkhöz hasonlóan – folyamatorientáltak voltak, de korán felismerték, hogy a legkülönbözőbb vizekben zajló folyamatok nagyrészt azonosak, s így az egyik víz összefüggései – bizonyos megszorításokkal – a többire is alkalmazhatóak. Noha a limnológusok az elsők között ismerték fel az élővilág és a környezetük közötti szoros kapcsolatokat, legtöbbjük érdeklődése mégis specifikus folyamatokra vagy taxonómiai csoportokra irányult, vagy e folyamatoknak, illetve folyamatcsoportoknak a tavak közötti összehasonlítását célozta. A kezdeti planktontanulmányok után a vizeket benépesítő gerinctelen és gerinces szervezetek (halak) előfordulásának, terjedésüknek, izolációiknak stb. jellegzetességeit tárták fel. Ebben a folyamatban a tavak biológiai folyamatait meghatározó elsődleges szervesanyag-termelés vizsgálata volt az uralkodó irányzat. Újabban felismer-

ték, hogy a ragadozók a tavakban fontos szabályozó szerepkört töltenek be, ezért a táplálékhálózat magasabb energiaszintjei a korábbihoz képest jóval nagyobb figyelemben részesültek.

A hidrobiológia eredményeinek és feladatainak összegző értékelése több tanulmányban megtalálható generális vagy részterületek értékeléseként, melyekből kitűnik, hogy a magyar ökológiai kutatásokban a hidrobiológia mind tudományos céljait, mind módszertanát tekintve nemzetközileg elismert szinten teljesített. Ebben a folyamatban számos korszak különíthető el, többnyire a nemzetközi trendekhez igazodóan. A hazai hidrobiológia eredményeit, fejlődését, irányultságait is több összegző munka értékeli, mely áttekintésekből kitűnik, hogy e tudományterület igen gyorsan követte a vezető nemzetközi irányzatokat mind elméleti, mind pedig módszertani megalapozásával, s igen nagy szemléleti ugrást jelentett az 1960-as években a „produkcó-biológia” térhódítása, majd az IBP (Nemzetközi Biológiai Program). A tó kutatás főbb területei és problematikája a következőkben vázolhatóak (Entz, 1984).

A *vízminőséggel* kapcsolatos első tanulmányok az ivóvíz, illetve a tisztított szennyvizek minőségével voltak kapcsolatosak. A legfontosabb kérdések ebből a szempontból a vezetéki víz másodlagos szennyeződésének kialakulása, illetve a különböző eredetű szennyvizek tisztulási folyamatainak feltárása voltak. A szaprobiológiában az 1900-as évek elejétől az 1960-70-es évekig egyeduralmú volt a vizek flórája és faunája alapján történő megítélés („biológiai vízminősítés”). A szaprób rendszerek egyeduralmát csupán a Nemzetközi Biológiai Program törte meg, mely program a vizek szervesanyag-termelőképességének mennyiségi vizsgálatát állította az érdeklődés középpontjába, s a vízben élő szervezetek biológiai produktója szerint kategorizál.

Avízkörnyezetésazélőviláganyagforgalmi kapcsolatainak alapelemeire Charles S. Elton tanulmányai szolgáltattak elméleti alapot. Az 1960-1970-es években a világ számos területén a tavak (itthon például a Balaton) vízminőségének rohamos romlása irányította a figyelmet az eutrofizálódásnak mint káros külső hatások következményének kutatására. A növényi tápanyagok túlzott vízbejutása következtében egyre nagyobb gyakorisággal jelentkező vízszíneződés, algavirágzás szélsőséges körülmények kialakulását jelezték egyre több folyó- és állóvízben. A növényi termelés mérésére kidolgozott, s bevezetett C^{14} -es technika lehetővé tette a növényi (alga) produkció egzakt mérését és összehasonlítását. A szaprobiológiai kutatásokat követően ez volt az a kérdéskör, amely egyre nagyobb hangsúlyt és figyelmet kapott a vizek biológiai állapotának (trófia) kvantitatív jellemzésére, a limitáló tényezők megismerésére. Az algainvázio kialakulásának kutatása mellett egyre inkább a kiváltó okok feltárása irányába fordult a szakemberek figyelme, s ez szükségessé tette a növényi tápelemek (P, N, C) forgalmának mennyiségi kutatását, a vizek anyagforgalmának vizsgálatát (esettanulmányok) és modellezését, illetve szimulálását (limnokorall-kísérletek). Különösen a külső és belső P-terhelés, a vízgűjtő területeken előforduló pontszerű és diffúz szennyezőforrások kaptak nagy figyelmet. Az 1970-80-as évek első felében – a világ számos területén – megjelenő kékalga-virágzások felhívták a figyelmet a légkörből történő N-fixálás folyamatának és körülményeinek jelentőségére. A tavakban végbemenő, egymásba kapcsolódó folyamatok (cascade) leírása új szemléletet teremtett, s ennek egyik mozgatórugóját a globális klímaváltozások jelentik (Carpenter et al., 1992), s a tavak biológiai sokrétűségét (biodiverzitás) szabályozó, alulról (bottom-up) és felülről jövő hatások (top-down) az emberi tevékenységre (biomanipuláció) hívták fel a figyelmet (Palmer et al., 2000).

Tavaink *eutrofizálódásának* kutatása intenzíven az 1990-es évek közepéig folyt. A – valószínűleg – globális klímaváltozások következményeként jelentkező vízminőség-javulás („oligotrofizáció”) ma még nem kellően magyarázható folyamatokat takar. Az eutrofizáció modellezése, ha nem is oldotta meg a fő kérdést, segítségül szolgált azokhoz a művi beavatkozásokhoz, melyek célja a külső szennyezőforrások csökkentése, a tisztított szennyvizekből az oldott P kicsapása és a tisztított szennyvizeknek a vízgűjtőről való elvezetése. Az alapvető változásokat nyilván e beavatkozások mellett a csökkent ózonréteg miatt fokozott UV-sugárzás és az algaszaporodás inhibíciója okozhatták (Lake et al., 2000). A tavak anyagforgalmi kutatásában kiemelt figyelem jutott olyan kérdésekre, mint: a víz és üledék anyagainak forgalma, a táplálkozás környezetbiológiai vetülete, a biológiai produkció (termelés), a fogyasztás, a lebontás összhangja. A belvizekben (döntő mértékben tavak) jellemző környezeti és biológiai struktúrák, anyagforgalmi kölcsönhatások törvényszerűségeit foglalja össze a *Developments in Hydrobiology* 53. kötete (Bíró – Talling, 1990).

A *vízbakteriológiai* kutatások a szaprobiológiával párhuzamosan fejlődtek, s főleg az ivóvíz közegészségügyi, járványügyi szempontból történő megítélését célozták (higiénés vízbakteriológiai vizsgálatok, vízminősítés). A szennyvizek higiénés megítélésével kapcsolatos vizsgálatok az 1960-as években erősödtek meg. Elsődleges céljuk az ivó- (felszíni és rétegvizek) és fürdővízbe a külső környezetből bekerülő fekál-indikátor, illetve patogén vagy fakultatív patogén baktériumok jelenlétének kimutatása, mennyiségük megállapítása voltak. A hidrobiológiai szempontú vízbakteriológiai kutatások módszertanilag is az 1960-70-es évek folyamán alakultak ki, s a baktériumok mennyiségi viszonyainak (vízben és üledékben), vertikális és horizontális elterjedésének, illetve éves,

évszakos és rövid periódusú változásainak feltárására irányultak. Később a trofikus viszonyok, az anyagforgalmi folyamatok megismerése céljából kiterjedtek a bakteriális biomassza és produkció, valamint a szervesanyag-lebontás intenzitásának mérésére. Kimutatták a különböző fiziológiai csoportok mennyiségét és szerepét a vizek anyagforgalmában, s e vízmikrobiológiai kutatások kapcsán bővültek ismereteink a legkülönbözőbb vízi életközösségek struktúráját és működését illetően. A gerinctelen szervezetek (zooplankton) táplálkozásbiológiai vizsgálatai tisztázták a vízi baktériumok szerepét a gerinctelenek táplálékában. A vízbakteriológiai kutatások számos új ismerettel szolgáltak a különféle vizek bakteriális produkciójára nézve, továbbá egyes anyagforgalmi folyamatok (például nitrogén- és kénforgalom) bakteriális hátterének megismerésével kapcsolatban. Gyakorlatilag a halastavak, víztározók vizében lejátszódó bakteriális folyamatok kaptak nagyobb figyelmet. A vízbakteriológiai kutatásoknak és rutinméréseknek kiemelkedő jelentősége van a biológiai szennyvíztisztítás fokozatainak, az öntözővíz minőségének megítélésében. Újabbban a vízi vírusok kutatása is előtérbe került.

A tavak *algológiai* kutatása a XIX. század végétől taxonómiai-florisztikai vizsgálatokból fejlődött ki, majd az ivó- és iparivíz-felhasználás, szennyeződés, eutrofizálódás következtében, bonyolult ökológiai problémák megoldásához járultak hozzá. Az 1960-as években tért hódított a kvantitatív algológia, a biomassza meghatározása, az a-klorofill tartalom mérése, majd a fotoszintézis C^{14} -es módszerrel történő meghatározása. Az 1970-es évektől a fitoplankton struktúrájának kutatása (diverzitásmeghatározás, clusteranalízis) és dinamikájának modellezése került előtérbe. Mint fentebb említettük, ekkortól mutatták ki a primér produkciómérések a felszíni vizek fokozott algásodásának

következményeit, a vizek trofikus állapot-változását, az eutrofizáció folyamatát. E kutatások jelentőségének gyakorta túlzott, egysíkú hangsúlyozása hátrányosan hatott a természetes vizek zoológiai feltárására. Az eutrofizálódás jelentőségét még akkor is gyakran hangsúlyozták, amikor ez a folyamat klasszikus értelemben már régen lezajlott, s a vízminőség javulása, az alga-biomassza csökkenése következett be. Az 1980-90-es években a légköri nitrogén fixálására vagy toxikus anyagok termelésére képes kékalgák (prokarióták) tömeges megjelenésével előtérbe került az algák funkcionális csoportjainak a kutatása. A kutatások is nagyrészt ezen kérdések irányába mutattak. Algatörzsek izolálása, a kísérletes tápelemforgalom (P, N, Fe) tanulmányozása sok adattal szolgált a természetes folyamatok értelmezéséhez. Ezzel egy időben a termelés kérdése „örökzöld” témának bizonyult, s jelentős felismerésnek értékeljük a bakteriális méretű pikoalgák felfedezését és a szervesanyag-termelésben való részvételük tisztázását.

Hidrobotanikai kutatások alatt a vízi magasabb rendű növényekre (ún. vízi makrofitonokra) irányuló vizsgálatokat értjük. Ezek a múlt század elejére vezethetők vissza. Cönológiai kutatások feltárták a folyók és morotvák hínártársulásait, e kutatások kiemelten foglalkoztak a legkülönbözőbb jellegű tavak makrofita-társulásaival, az ún. „kultúr”-nadasokkal, a nádgazdálkodás hatásaival. A florisztikai-cönológiai irányt követően az ökológiai-produkcióbiológiai tanulmányok során a tavak hínártársulását, elterjedési viszonyait és a biológiai indikációt vizsgálták, s a jellemző asszociációkon kívül leírták a hínárosok szukcessziós dinamikáját, a hínárnövények kémiai összetételét, a dekompozíció során az elemek felszabadulását. A hínárok produkciójának becslése a hínárosoknak a tavak életében betöltött szerepét segített tisztázni a fényklíma és a tápanyagok felvételi dinamikájának tanulmányozása mel-

lett, s kimutatták az algák és a makrovegetáció antagonizmusát. A nádasokban kialakuló élőbevonat mint másodlagos alzat szerepét, benépesülését, struktúráját, zonációját, biomasszáját, a víztisztításban játszott szerepét álló- és folyóvizekben egyaránt széleskörű kutatások tisztázták, s ez a terület a jövőben még számos újdonságot eredményezhet.

A *hidrozoológia* alapismereteit az állatrendszertan és faunisztika adják, s a XIX. századtól (esetenként a XVII.-től) napjainkig követhetjük az akvatikus biotópok faunájának kialakulását, módosulásait, a fajok elterjedését és dinamikáit. Igaz, az ismeretek eléggé szétszórta és nem kellően folyamatosak, viszont számos gerinctelen állat-taxonnal kapcsolatban széleskörű tudásanyagot szolgáltatottak. A felszíni vizek állattani feltárása a planktonikus és bentikus gerinctelenek kutatásával kezdődött, s a fajok és elterjedésük megismerésében a gyűjtőmódszerek és feldolgozási, illetve értékelési technikák fejlődésének nagy szerepe volt. A zoológiai kutatásokban is a nagy ugrás a Nemzetközi Biológiai Program (IBP) bevezetését követően történt. Ettől kezdve az érdeklődés középpontjába a leíró jellegű tanulmányok helyett a fajok populációinak, a fajgyűtteseknek szerkezete és dinamikái kerültek. Világszerte különös figyelem illette a szaporodás és produkció körülményeit, s az ezeket befolyásoló külső és belső tényezőket. Mindez számos állóvízben a táplálkozási kapcsolatok leírását, s az anyagforgalom mennyiségi feltárását eredményezte, s így nemcsak a faunaképről, de – sok esetben – a különböző szerveződési szintű társulások működéséről is kielégítő ismereteket szereztünk. A folytonos problémát itt főleg az élőhelyek állandó változása, a káros és rendkívül szerteágazó emberi hatások jelentik. A vízi élettájuk és életformák (például zooplankton, bentosz, fitotekton, epiliton, nehton) kutatása az utóbbi két-három évtizedben lehetővé tette a tavak biológiai struktúrájának és összműködésüknek

megértését, a kölcsönhatások, összefüggések mennyiségi leírását. Ebből a szempontból számos változó jellegű víztér állatvilága ma már jól ismert. A különböző gerinctelen és gerinces fajok előfordulása, tovaterjedése, izolációja, a *niche*, a lakóhelyért és táplálékért folyó versengés (kompetíció, konkurencia), a ragadozó-préda viszony, az interaktív szegregáció, a refúgiumok szerepe, a betelepített illetve bevándorló fajok hatása stb. mind-mind olyan kérdések, amelyek még hosszú időre biztosítanak kutatásra érdemes területeket egyaránt álló- és folyóvizekben. Ezzel párhuzamosan még számos állat-taxon és biotóp feltáratlan. Állatélettani, etológiai kutatások, a vándorlások természetének, a barlangi és intersticiális fauna feltárásával kapcsolatos tanulmányok újabb ismeretekkel szolgáltattak, viszont meglehetősen hiányosak szünökológiai ismereteink.

A hal- és halászatbiológiai kutatások a XIX. századtól (vagy még korábbról) szolgálnak széleskörű ismeretekkel. A közvizek halaival, halászatával számos kézikönyv foglalkozik, módszertani fejlesztésekkel (Ricker, 1975) bővítve ki ezek ismeretanyagát. A mesterséges haltenyésztést világméretben forradalmasította Woynárovich Eleknek (1964) a halikra ragadásmesztésére tett felfedezése, amely természetes vizeink halállományának mesterséges pótlását is biztosította. Újabb keletűek a kisebb-nagyobb álló- és folyóvizek halaival, a halállományok termőképességével, dinamikáival (népességsűrűség, biomassza, produkció, mortalitás, természetes utánpótlás), állományaik szabályozásával, táplálkozási kapcsolataikkal (*niche*, konkurencia, táplálkozási stratégia), anyagforgalmukkal, a különböző kisvizek veszélyeztetett halfaunájával kapcsolatos felmérések. Sejt- és szervezettani, biometriai-morfológiai, élettani-biokémiai, etológiai, genetikai-szaporodásbiológiai kutatások, az egyedfejlődéssel és növekedéssel, faunisztikával és ökológiával kapcsolatos

ismereteink ma már igen széleskörűek, s a világ számos vízterére vonatkoznak. Nyilván számos olyan kérdéskör marad nyitva, mint például a táplálékhálózatok menti anyagforgalomnak, a faunaváltozás körülményeinek, a fajok izolációjának, genetikai készletüknek, a környezeti változások következtében módosult dinamikai jellemzőiknek részletes feltárása.

Alkalmazott hidrobiológiai kutatások elsősorban a szennyvíztisztítás technológiájával, szennyvízes halastavak működtetésével, a vízminőséggel, vizes területek létesítésével, fenntartásával, védelmével kapcsolatos tevékenységet jelentenek.

A folyókutatás irányvonalai

A természetes folyóvizek – vízgyűjtő területekkel együtt – a kontinensek legváltozatosabb, legdinamikusabb és legösszetettebb ökoszisztémái. Mint megújuló energiaforrás is a folyó jut eszünkbe legelőször, és felhasználhatóságukat legtöbbször korlátlannak hisszük. A folyóvizek különleges státusára figyelmeztet, hogy ez a nélkülözhetetlen nyersanyag- és energiaforrás a globális vízforgalomnak csak csekély hányada. A folyók évente mindössze 40 ezer km³ vizet visznek vissza a tengerekbe és óceánokba (Myers, 1987).

A folyók hasznosítása egyidejű az emberiséggel, a legkorábbi folyó menti kultúrák korában kezdődött meg, és kiaknázásuk – mondhatjuk: *kiszigerelésük* – a mai napig tart. A folyókat hagyományosan számtalan különböző célra használták és használják ma is: ivóvíznyerés, háztartási és ipari vízfelhasználás, mezőgazdasági öntözés, halászat, hajózás, vízienergia-nyerés. Európában például, már 1250 táján gátakat építettek a víz erejének hasznosítására, a XIV-XV. században már csatornáztak, szabályozták a hajózás érdekében, a XX. század pedig a nagy gátak és tározók korszaka. Európa nagy alluvialis folyóit a történelem során

oly mértékben változtatták meg, hogy napjainkra csak nyomokban fedezhető fel természetes folyószakasz. Az észak-amerikai folyókban az „indian kultúrák” idején, még prehisztorikus hatások érvényesültek. A fizikai változásokat elsősorban a geológiai folyamatok irányították, az éves ciklusokban nem akkumulálódtak, illetve minden, a folyóba kerülő szervesanyag biológiailag lebonthatóvá vált (Cummins, 1975).

Egy, a XX. század végi összefoglaló tanulmány, amely a Föld északi egyharmadát lefedő folyórendszerek degradáltságára vonatkozik, még a szakembert is megdöbbeníti adataival (Dynesius – Nilsson, 1994). Ezek szerint Észak-Amerika, Mexikó, Európa és a volt Szovjetunió területén a 139 legnagyobb folyórendszer teljes vízhozamának 77 %-a a vízgyűjtő medencék közötti elterelés (átvezetés más vízrendszerbe, közvetlen átvágás a tenger felé), illetve öntözés következtében erősen vagy közepesen módosított fragmentáció (gátak, tározók). Sajnos a mi Dunánk is ebben a kategóriában szerepel. A maradék, szabadon folyó nagy és ötvenkilenc közepes folyórendszer a távoli északon van Norvégia, Svédország, Finnország, Dánia területén.

A gátépítést a legdrámaibb és legelterjedtebb szándékos emberi cselekedetnek tekintik. A 10⁸ m³-nél nagyobb tározók területe vetekszik Franciaország, illetve Kalifornia területével. A gátak hatása sokféleképpen jelentkezhet; a természetes vízjáráshoz és vízjáráshoz alkalmazkodott szervezetek élőhelyei elszegényednek, a folyók folyosó szerepe csökken, és a *wetlandek* – szárazföldi és vízi rendszer közötti – szűrő szerepe jelentősen módosul. Néhány, a humán hatások között említett kiemelkedő, illetve elrettentő példák közül:

- 1950-1986 között 39 ezer gát létesült.
- A tározókapacitás mint az éves lefolyás százaléka a világ átlagában 9 %, Európában 10 %, Észak-Amerikában 22 %.

- A folyók elterelése következtében Kanadában $4400 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ víz nem tér vissza az eredeti folyóba. Ez két Nílus víztömegének felel meg!

- Az öntözés és a tározók párolgása következtében megnőtt az evaporáció, és mértéke eléri a Föld éves lefolyásának 6 %-át.

- A Colorado folyó rendszeréből a víztömeg 64%-a kerül öntözésre, 32%-a elpárolog a tározókból és csak a maradék 4 % jut el a Kalifornia-öbölbe!

A múlt században a Dunán is jelentős változások történtek: például az osztrák és német szakaszon gátak, tározók épültek; elkészült a Rajnát és a Dunát összekötő csatorna; felépült a bőszi erőmű, és megtörtént a Duna elterelése. Jelentős mértékben növekedett a hazai folyószakasz profitása, amely a szakemberek szerint a felvízi tározókban kiüledő hordalék miatt megváltozott fényklíma következménye.

A folyóvizek kutatása később kezdődött meg, mint az állóvizeké. Ennek elvi oka az állandóan „elfolyó”, komplex és kellőképpen bonyolult rendszer tér-idő folyamatainak értelmezésében, gyakorlati nehézségei pedig az előbbiekből fakadó módszertani megközelítésekben gyökereznek, amit az „ókori vízügyi szlogen” úgy fejez ki, hogy kétszer nem lehet ugyanabból a folyóból vízmintát venni. Mint ahogy a folyóvizek kutatási módszertana is először az állóvizek adaptálásán alapult, úgy legfőbb fluvialis jellegzetességeiket is az állóvizekkel való összehasonlítás alapján szokás, ill. lehetséges szemléltetni.

A folyók jelentős hosszanti irányultsággal rendelkeznek, és medrükben a víz, valamint a hordalék a nehézségi erő hatására a magasabban fekvő térszínről az alacsonyabb felé határozott, egyirányú mozgást végez. Hosszirányban való elnyújtottsága miatt a víztest érintkezési felülete a szárazfölddel jóval nagyobb lehet, mint a tavak esetében. Ez utóbbi azt is jelenti, hogy a folyók mint nyílt

rendszerek szorosabb kapcsolatban állnak a szárazfölddel, és annak irányából teljes hosszuk mentén igen változatos és intenzív hatások érik a tér és idő 3+1 dimenziójában. Hosszirányban, a hidrológiai és morfológiai jellemzők együttesen jelennek meg a vízgyűjtőre jellemző geológiai, domborzati, talajtani, térszínbeli különbségekkel, és egy, a forrástól torkolatig tartó hossz-szelvénybeli gradienst hoznak létre (például növekvő szélesség és mélység, csökkenő vízsebesség és hordalék-szemcseméret, növekvő tápanyagellátottság). Oldalirányban az akvatikus zónának nagyon szoros és többirányú kapcsolata van a közelebbi parti illetve a távolabbi ártéri zónával (például a kereszt-szelvényre jellemző eltérő áramlásbeli, sebességbeli gradiensek, erózió és a szedimentáció). A mélységi dimenzióban, a függély mentén alakul ki gradiens a folyó üledéke és az üledék alatt elhelyezkedő élettér (hiporheális régió) irányába. A szorosan értelmezett függőleges hatás mellett a mélység felé, de egyben oldalirányban is – a parti régió irányába, illetve az alá – tartó hatásokat kell mindenkor érteni, aminek egyik legjelentősebb gyakorlati haszna a parti szűrésű víznyerésben jelentkezik. A negyedik dimenzió időbeli. A rövidebb-hosszabb természetes időbeli vízszintváltozások, árhullámok mellett egy ideje az ember okozta hatások időskáláján is jelentős változások figyelhetők meg. Ez utóbbiak elsősorban a természetes fluktuációknak és dinamizmusoknak – a szabályozások okozta – elmaradásában jelentkeznek, és túlnyomórészt negatív hatásúak a vízi életközösségekre. A folyó adott szakaszán kialakuló aktuális életközösséget a tér és idő 3+1 dimenziójában megjelenő és bonyolult kölcsönkapcsolatban ható abiotikus és biotikus tényezők integrált válaszában tekinthetjük. A folyó és a szárazföld többszörös kölcsönkapcsolatban álló rendszerének együttes ismerete vezet el a vízgyűjtő terület fogalmához, a folyóvi-

zek egyedüli lehetséges szemlélet- és a vízgazdálkodásbeli alapegységéhez.

A folyókat a forrásuk és a torkolatuk között az esésgörbe jellemzi, amely általában lépcsőzetes, szakaszokból álló homorú vonal, és a folytonosan változó mederesési viszonyokat tükrözi. A folyó egy szabályos, parabolikus esésgörbe kialakítására „törekszik”, amely azt jelenti, hogy a medencéket feltölti, az akadályokat pedig áttöri. Ebben a folyamatban a folyó munkavégző képessége kapja a fő szerepet, azaz a folyó medrének folyamatos alakítása közben megtámadja a meder fenekét és oldalfalait, annak anyagát elbontja, és továbbviszi mint görgetett, illetve lebegtetett hordalékot. Ez a mozgatott mederanyag segíti az alsóbb szakaszokon a további mederalakító munkát. A folyók felső szakaszán a víz munkavégző képessége nagyobb, mint amit a hordalék elszállítása igényel, az erózió következtében megtámadja a medret, és jellegzetes V alakú völgybevágódást hoz létre. A közép szakaszon a folyó többé-kevésbé szabályosan kanyarog. Itt a víz munkavégző képessége és a hordalék-szállítás egyensúlyba jut, hordalékot ugyan szállít, de a medret nem mélyíti. Jellegzetes munkája révén oldalirányban, a centrifugális erő hatására, az egyik partot erodálja, ugyanakkor a másikat építi. Ennek következtében, a meder alaprajza nem állandó, a kanyarulatok oldalirányba és lefelé is vándorolnak. Amikor a víz munkavégző képessége tovább csökken, és hordalékot már nem képes szállítani, annak egy részét lerakja, feltölti a medret. Ez jellemző az alsó szakaszra, ahol a folyó kavicsból és homokból épít zátonyokat, hordalékkúpot, amely azután az addig egységes medrét ágakra bontja. A folyó munkavégzése megszűnik, amikor eléri a tengert (erózióbázisát), és a betorkolás után maga a folyó is megszűnik. A fent vázolt, leegyszerűsített szakaszjellegzők alapvetően meghatározzák a hosszirányú gradiensek kialakulását, és ez által az élőlények szempontjából

meghatározó élőhelyek létrejöttét. Éppen az esési viszonyok meghatározta természetes áramlási és az azzal szorosan összefüggő hordalékmozgási viszonyok változnak, illetve sérülnek elsődlegesen a folyószabályozás, csatormázás vagy a gátépítés során.

A folyókutatás koncepciói elég későn, a 60-as években, egymással párhuzamosan, egymást követve és egymásra építve alakultak ki. J. V. Ward és munkatársai (2002) kritikai értékelése jelen ökológiai ismereteink általános és koncepcionális elvei – *gradiens versus* folyamatosság, a diszturbancia, hierarchia, ekotón és konnektivitás elméletek – szerint rendezzi a múlt század második felében született folyóvízi koncepciókat.

A folyóvízi ökológia sokáig az iránt érdeklődött, hogyan alakulnak a mintázatok és folyamatok a környezeti gradiensek mentén. Mivel az egyirányú áramlás a folyók meghatározó jellemzője, természetes, hogy először a forrásvidéktől az alsóbb szakaszokig jelentkező gradiensek tanulmányozása vált dominánssá a folyóvízi ökológiában. Elsőként Joachim Illies és Lazare Botosaneanu *stream zonation concept*-je vázolta fel a folyó mentén megkülönböztethető társulások sorozatát (1963). Illiestől (1961) származik az első folyóvízi szinttájak szerinti általános érvényű rendszerezés, elsősorban az ott uralkodó halfauna alapján. Ezzel a beosztással és szemlélettel a folyóvízi élettájak határozottan elkülöníthetők az állóvízi élettájaktól. A hossz-szelvénybeli gradiensek által az egyes folyószakaszokon biztosított életfeltételek meghatározzák a halfajok előfordulását, és fordítva, a fajok jellemző előfordulása a róluk elnevezett szinttájakat jelzi. A szinttájakhoz (pisztráng-, pér-, paduc-, márna-, dévér-, durbincs-szinttáj) hozzárendelhetők a környezeti paraméterek (az alzat mennyiségi és minőségi jellemzői, sebesség, hőmérséklet, oldott oxigén koncentráció) azon tartományai, amelyeken belül az illető faj előfordul. Ezt követte Robin L. Vannote és munka-

társai *river continuum concept*-je, amely a folyót struktúrájában és funkciójában eltérő életközösségek folyam(at)ának tekintette, amelyre jellemző, hogy a felső szakaszon megtermelődött szervesanyag folyamatosan transzportálódik az alsó szakaszra, és ez azután a vízfolyás hosszában alapvetően meghatározza a társulások struktúráját és funkcióját (1980). A folyó-kontinuum adott szakaszára jellemző termelő és fogyasztó társulások strukturálisan és funkcionálisan illeszkednek a fizikai rendszer kinetikus energiacsökkenés, energiavesztés mintázatához, és gyorsan alkalmazkodnak a fizikai rendszerben bekövetkezett energiaátrendeződéshöz is. A folyó természetes ökológiai folyamatait egységes rendszerbe terelő *river continuum concept*-be – éppen annak elvi keretlehetőségei okán – bekapcsolhatók a nem természetes zavarások, az emberi beavatkozások is, amelyek befolyásolják az autotrófia-heterotrófia arányát (például a tápanyag-ellátottság növekedése, szerves szennyezés, parti vegetáció lelegettetése, tarra vágása), illetve amelyek a transzport minőségét, mennyiségét változtatják meg (például tározás, nagy hordalékterhelés). Ezek a humán változtatások „reset” mechanizmusként hatnak, és az egész kontinuum választ a forrás vagy a torkolat felé tolják el, a zavarás típusától, illetve annak helyétől függően.

Korábban a diszturbanciát a természetben uralkodó egyensúlyi körülményektől való eltérésnek, ma pedig általánosságban az ökoszisztéma ökológiai integritásának fenntartásáért felelős tényezőként tekintik. A diszturbancia hiánya elnyomja a biodiverzitást, és ez elsősorban az erősen szabályozott folyókban jelentkezik. A *serial discontinuity concept* egy elméleti modell azokra a folyókra, ahol a természetes dinamikát a szabályozások csökkentik (Ward – Stanford, 1983). A *flood pulse concept* (Junk et al., 1989) pedig elvi keretet biztosít annak

tanulmányozására, hogyan képes a vízi és szárazföldi élővilág a nagy ártereken, az éves ciklusokon belül váltakozó nedves és száraz periódusokkal kapcsolatos dinamikákat adaptációs stratégiái segítségével kiaknázni. A hangsúly ezért az oldalirányú és az időbeli dimenziókon van. Jelentősége a biodiverzitás és a produktivitás fokozásában, illetve a „mozgó parti sáv” okozta dinamikus széli hatásban jelentkezik. Stuart G. Fisher és munkatársai *telescoping ecosystem model*-je speciálisan a folyóvízi ökoszisztéma alrendszerain belüli zavarásokkal (áradás, aszály) és az azt követő visszarendeződési lehetőségekkel foglalkozik (1998). Elméletük a folyóvízi alrendszerek folyamatainak változását a teleszkóp tagok elmozdulásával demonstrálja: például a zavarás növeli az anyagforgalmi folyamat hosszát, míg a helyreállítás a folyamat – zavarás előtti rátával jellemezhető – eredeti hosszához történő visszatérés.

Az ekotónok, a viszonylagosan homogen foltok közötti szemipermeabilis határok olyan átmeneti zónák, ahol az ökológiai mintázatokban és folyamatokban a környezethez képest ugrásszerűen változás áll be. Minden bizonnyal az ekotónok a legjellemzőbbek az érintetlen árterekre. Ezeken belül nagyon széles skálán jelenhetnek meg: part menti régió közösségei közötti különböző határok, felszíni víz-talajvíz közötti átmenetek (például felfelé illetve lefelé áramló zónák, források), folyóvízi-állóvízi átmenetek, oxidatív-redukatív átmeneti zónák a talajban). A változatos folt típusokat és szukcessziós állapotokat létrehozó természetes zavarások nagyon fontos szerepet játszanak a folyóvízi ártereken az ekotón élőhelyek diverzitásának fenntartásában. Az ekotónok menedzsmentje szerves része kell hogy legyen a folyó védelmét és restaurációját szolgáló programoknak.

Az ökológiai jelenségek változatos skála sorozatokon keresztül valósulnak meg. A hierarchiaelmélet egyik legfontosabb megállapítása, hogy az egyik hierarchikus szintet

létrehozó jelenség lehet, de nem feltétlenül operatív egy másik szinten. Dave B. Arscott és munkatársai három hierarchikus szinten (folyosó, ártér és élőhely), egy dinamikus folyórendszer hat geomorfológiai szakaszán végzett tér-idő heterogenitás vizsgálata tisztázta, hogy a mintázat változása skála- és változó függő (2000). G. Wayne Minshall és Christopher Thomas Robinson pedig kimutatták, hogy az élőhely-heterogenitást elősegítő intézkedések a különböző méretű folyók élővilágát eltérő módon és mértékben befolyásolták (1998). A folyóvízi táplálékhálózatok szintén jól példázzák a skálafüggést. Érthető módszertani szempontból, a kutatók legtöbbször a jól definiálható élőhelyekkel rendelkező diszkrét közösségekre, térben és időben kisebb skálára korlátozódnak, holott ezek csak részei a teljes tájnak, a folyóvölgyeknek. A tápláléklánc kapcsolatainak tájléptékű ismerete nélkülözhetetlen a valós ökológiai mintázatok és folyamatok felismeréséhez (Woodward – Hildrew, 2002).

A konnektivitás – térbeli értelemben – viszonylag új elképzelés az ökológiában. A hidrológiai konnektivitás Claude Amoros és Albert-Louis Roux megfogalmazása szerint a folyóvízi táj különböző egységei között, a vizes közegen átáramló anyag (beleértve a szervezeteket is) és energia kicserélődésére vonatkozik (1988). A fő csatornájukban állandóan vízzel rendelkező, de konnektivitásukban eltérő síkvidéki vízterek különböző szukcessziós pályákat járnak be, és különböző életközösségekkel rendelkeznek. Egy dunai ártéren például a fauna és flóra vizsgált csoportjai a maximális fajgazdagságot a konnektivitási gradiens különböző pontján mutatták (Tockner et al., 1998). A konnektivitás mértéke a talajvíz és a felszíni vizek között szintén nagyon fontos meghatározója a vízi és partközeli zónákban zajló funkcionális folyamatoknak (Ward et al., 1998). Azonban, ahogy azt Amoros és Gudrun Bornette is hangsúlyozták, a konnektivitás komplex

jelenség, nem lehet egyszerű gradienssé redukálni (1999).

A folyóvízi ökoszisztéma-elméletek csak részlegesen vágnak egybe az ismert ökológiai teóriákkal. Részben azért, mert nem ismerjük, hogy mi jellemzi a természetes folyó-ökoszisztémákat. Mivel a folyóvízi ökológia elméleti alapozása főleg olyan földrajzi területeken keletkezett, ahol a folyók már jelentősen módosultak, az elképzelések egy része a természetes állapotok félreértelmezése is lehet. Nem ismerjük eléggé a folyóvízi dinamikák és a geomorfológiai szerkezet közötti főbb kölcsönkapcsolatokat a folyóvízi folyosók ökológiai folyamatainak és biodiverzitási mintázatainak fenntartásában. Az ártereket és a csatlakozó talajvizeket a folyó szerves részének kell tekinteni minden téma kidolgozásakor. Az „ökológia új paradigmáját” – miszerint a természet nem-determinisztikus, nem-egyensúlyi, rendkívül heterogén és skálafüggő – minden szinten figyelembe kell venni a folyóvízi ökológia elméleti fejlesztésékor. Ward és munkatársai egy olyan modulokból épülő keret elképzelést mutattak be, amely – a dinamikus folyóvízi ökoszisztéma integrált modelljének fejlesztésekor – a különböző koncepciók legfőbb alkotóelemeiből építkezik (2002). Az ökológiai folyamatoknak – egy erős elméleti alapon álló – még átfogóbb megismerése nemcsak hogy előmozdítja a tudományterület fejlődését, de fokozza a konzervációs és restaurációs kezdeményezések hatékonyságát is. Ahhoz, hogy a folyókutatás gyakorlata is profitáljon az elméleti koncepciókból, hogy annak eredményei kivitelezhetőek legyenek a mindennapi vízügyi munkában, a közöttük húzódnó, sokszor csak látszólagos ellentmondást is fel kell oldani. Piet F. M. Verdonshot (1990) tesz is erre javaslatot, amikor azt mondja, hogy az osztályozó és kontinuum koncepciók egymást inkább kiegészítő, semmint kizáró kategóriák: a gyakorlaté az osztályozás, az alap kutatásé az absztrakt fogalom felismerése.

Kitekintés, hazai feladatok, problémák

A hazai hidrobiológiai kutatások aktuális feladatainak tekinthetjük a legkülönbözőbb jellegű, álló- és folyóvizek, különleges adottságú vízterek anyagforgalmának feltárását, a hosszú idejű trendek, a globális klímaváltozás hatásait és láncreakcióként jelentkező hatássorozatait. A zoológiai vizsgálatokkal is igazolni kell a vízminőség-változások okait és a vízi faunában tapasztalható kihatásait. Nemcsak a jelen, hanem a távlatok igénye is a biodiverzitás- és biomonitorozás, s ezek módszertani megalapozása és az EU-kíválmaknak megfelelő összehangolása. Az EU víz-irányelvek rutinfeladatai (főleg a vízügyi hálózatban) jelentős zoológiai ismeretanyagra épülnek, ezért az ilyen irányú oktatás-képzés és kutatásfejlesztés nélkülözhetetlen. Ezzel egyidőben a fokozott társadalmi igények miatt is új alapokra kell helyezni a természetes vizek másodlagos hasznosításának kérdéseit (terhelhetőség), s a vizeink termelőképességéhez kell azokat igazítani (halászat, horgászat, nádgazdálkodás, vízfelhasználás, rekreáció, ökoturizmus), ami folyamatos, széleskörű kutatásokat igényel.

A referenciák hiánya okozza és fogja jelenteni a jövőben is a legnagyobb problémát a folyók életközösségének értékelésekor vagy a vízminősítésre való felhasználásakor. Éppen Európa túlnépesedett és az évszázadok során a humán zavarások minden lehetséges fajtáját felmutató folyó völgyeiben nem találunk kellő térbeli referenciát. Az időbeli referenciák alkalmazása sem mindig vezet eredményre, mert a történelmi állapotok ismerete hiányos és nehezen hasonlítható össze – éppen a tudomány fejlődéséből fakadóan – a korábbi korok eltérő szemléletbeli és módszertani megközelítése miatt.

A folyók ökológiáját érintő alap tudásbeli hiányosságainkat pótolandó és a jövőben rutinszerűen alkalmazni kívánt vízminősítési eljárásokat (Európai Unió Víz

Keretirányelv) tudományosan megalapozandó, nagyon sok kérdésben és területen kell fokozni a hazai alapkutatásokat is, valamint korszerűsíteni szükséges a folyókutatás esz-közkháttérét, intézményesített, de legalábbis koordinált rendszerét. Néhány a megoldásra váró legsürgősebb hazai feladatok közül:

- A vízfolyások tipológiájának, azt követően az élőhelytipológiának szakmai konszenzuson alapuló, minél előbbi átültetése a gyakorlatba, mert ez előfeltétele az életközösségek megismerésének, minősítésre való felhasználhatóságának.

- A már említett tér- és időbeli referenciák megismerése.

- A faunisztikai feltáratlanság hiányának sürgős pótlása (szakemberképzés, mintavételi és specialistahálózat kiépítése, identifikációs központ felállítása, korszerű határozók és számítógépes adatbázis).

- Az inváziós fajok kérdése, ökológiája, globalizációja az összekapcsolt európai folyórendszerekben.

- A funkcionális kérdések (működés) feltárása és megértése, amely a struktúra mellett, azzal együtt lehet csak a folyórehabilitáció alapja (például az anyagforgalmi ciklusok, a táplálkozási hálózatok részletes megismerése). Feltárára vár – főleg a nagy folyókban – a tér- és időbeli skálafüggés, a mezo- és mikrohabitatok szerepe a heterogenitás fokozásában, a fajdiverzitás fenntartásában. A környezetvédelmi célú (EU Víz Keretirányelv) és a természetvédelmi célú (Nemzeti Biodiverzitás-monitorozó Rendszer) szempontok és törekvések, valamint hálózatok összehangolása egy tudományosan megalapozott, korszerű, hatékonyan és költségkímélően működő folyómonitorozó rendszer érdekében.

Kulcsszavak: *limnológia, folyókutatás, anyagforgalom, vízminőség, hidrobotanika, hidrozoológia, folyó folytonossági koncepció, diszturbancia*

IRODALOM

- Amoros, Claude – Bomette, Gudrun (1999). Antagonistic and Cumulative Effects of Connectivity: A Predictive Model Based on Aquatic Vegetation in Riverine Wetlands. *Archives of Hydrobiology Supplement*. 115, 3, 311-327
- Amoros, Claude – Roux, Albert-Louis (1988). Interactions between Water Bodies within the Floodplains of Large Rivers: Function and Development of Connectivity. In: Schreiber, Karl-Friedrich (ed.): *Connectivity in Landscape Ecology*. Münsterische Geographische Arbeit, Münster, 125-130
- Arcott, Dave B. – Tockner, R. Klement – Ward, J. V. (2000). Aquatic Habitat Diversity along the Comidor of an Alpine Floodplain River (Fiume Tagliamento, Italy). *Arch. of Hydrobiology*. 149, 679-704
- Bíró Péter – Talling, Jack F. (eds.) (1990). Trophic Relationships in Inland Waters. *Developments in Hydrobiology*. 53. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht–Boston–London. 340.
- Carpenter, Stephen R. – Fisher, S. G. – Grimm, N. B. – Kitchell, J. F. (1992). Global Change and Freshwater Ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 23, 119-139
- Cummins, Kenneth W. (1975): *The Ecology of Running Waters: Theory and Practice*. Sandusky River Basin Symposium, 277-293
- Dynesius, M. – Nilsson, Ch. (1994). Fragmentation and Flow Regulation of River Systems in the Northern Third of the World. *Science*. 266, 753-762
- Entz Béla (szerk) (1984). *Magyar hidrobiológia 1958–1982*. MTA Szakszorosító, Budapest. 359.
- Fisher, Stuart G. – Grimm, N. B. – Marti, E. – Holmes, R. M. – Jones, J. B. (1998). Material Spiralling in Stream Corridors: A Telescoping Ecosystem Model. *Ecosystems*. 1, 19-34
- Illies, Joachim – Botoseanu, Lazare (1963). Problemes et methodes de la classification et de la zonation ecologique des eaux courantes, considerees surtout du point de vue faunistique. *Mitteilungen. Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*. 12, 1-57
- Illies, Joachim (1961). Versuch Einer Allgemeinen Biozönotischen Gliederung Der Fließgewässer. *Internationale Revue Gesamten Hydrobiologie*. 46, 205-213
- Junk, Wolfgang Johannes – Bayley, Peter B. – Sparks, Richard E. (1989). The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. *Canadian Special Publication Fishery and Aquatic Sciences*. 106, 110-127
- Lake, Philip S. – Palmer, M. A. – Bíró P. – Cole, J. – Covich, A. – Dahm, C. – Gibert, J. – Goedkoop, W. – Martens, K. – Verhoeven, J. (2000). Global Change and Biodiversity of Freshwater Ecosystems: Impacts on Linkages between Above-Sediment and Sediment Biota. *Bioscience*. 50, 12, 1099-1107
- Minshall, G. Wayne – Robinson, Christopher Thomas (1998). Macroinvertebrate Community Structure in Relation to Measures of Lotic Habitat Heterogeneity. *Archives of Hydrobiology*. 141, 129-151.
- Myers, Nancy J. (Ed.) (1987). *The Gaia Atlas of Planet Management*. Pan Books, London
- Palmer, Margaret A. – Covich, A. P. – Lake, S. – Biró P. – Brooks, J. I. – Cole, J. – Dahm, C. – Gibert, J. – Goedkoop, W. – Martens, K. – Verhoeven, J. – Van De Bund, J. (2000). Linkages between Aquatic Sediment Biota and Life above Sediments as Potential Drivers of Biodiversity and Ecological Processes. *Bioscience*. 50, 12, 1062-1075
- Ricker, William Edwin (1975). *Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Populations*. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada . 191, 382
- Sebestyén Olga (1963). *Bevezetés a limnológiába*. Akadémiai, Budapest. 235
- Taub, Frieda B. (ed.) (1984): *Ecosystems of the World. 23. Lakes and Reservoirs*. Elsevier. 643
- Tockner, Klement – Schiemer, Fritz – Ward, J. V. (1998). Conservation by Restoration: The Management Concept for a River-Flood-Plain System on the Danube River in Austria. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 8, 71-86
- Vannote, Robin L. – Minshall, G. W. – Cummins, K. W. – Sedell, J. R. – Cushing, C. E. (1980). The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 130-137
- Verdonschot, Piet F. M. (1990). *Ecological Characterization of Surface Waters in the Province of Overijssel (The Netherlands)*. Thesis. Agricultural University of Wageningen, The Netherlands
- Ward, J. V. – Stanford, J. A. (1983). The Serial Discontinuity Concept of Lotic Ecosystems. In: Fontaine, Thomas D. III – Bartell, Steven M. (eds.): *Dynamics of Lotic Ecosystems*. Ann Arbor Science Publ., Ann Arbor, Michigan, 29-42
- Ward, J. V. – Bretschko, G. – Brunke, E. M. – Danielopol, D. – Gibert, J. – Gonsler, T. – Hildrew, A. G. (1998). The Boundaries of River Systems: The Metazoan Perspective. *Freshwater Biology*. 40, 531-569
- Ward, J. V. – Robinson, Christopher Thomas – Tockner, Klement (2002). Applicability of Ecological Theory to Riverine Ecosystems. *Verhandlungen der Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*. 28, 443-450
- Woodward, Guy – Hildrew, Alan G. (2002). Food Web Structure in Riverine Landscapes. *Freshwater Biology*. 47, 777-798
- Woynárovich Elek (1964). Biológiai megfigyelések különböző halfajok mesterséges tenyésztésével kapcsolatosan. *MTA Biológiai és Orvosi Tudományok Osztályának Közleményei*. 5, 103-108

EVOLÚCIÓS ÖKOLÓGIA: AZ ADAPTÁCIÓK KUTATÁSÁNAK TUDOMÁNYA

Pásztor Erzsébet

adjunktus, ELTE Genetikai Tanszék Populációbiológia Csoport – lizp@falco.elte.hu

Vannak tudományterületek, melyeknek még a nevét se hallottuk, eredményeik mégis befolyásolják gondolkodásunk egyes elemeit, és hozzájárulnak legalapvetőbb problémáink kezeléséhez. Ilyen tudomány az evolúciós ökológia.

*Utódgondozás és szex:
megalapozatlan balítéletek?*

Életmódunk és életminőségünk nem elhanyagolható mértékben függ attól, hogyan gondolkodunk gyerekeink felnevelésében játszott szerepünkről és a szexről. Az utódgondozó állatfajok többségében a nőtények hosszabb ideig, intenzívebben gondozzák utódaikat, mint a hímek. Mi lehet a jelenség oka? A tradicionális válasz az, hogy a nagyméretű petesejt produkciója energiaigényesebb, mint a kicsiny hímivarsejtek termelése, ezért a hímek számára „olcsóbb” a dezertálás (kevesebbet veszítenek egy-egy utód esetleges pusztulásával), mint a nőtények számára. Ezért a hímek rátermettségüket azzal növelhetik, ha minél több nőténnyel párosodnak, míg a nőtények evolúciós sikere költségesen létrehozott utódaik felnevelésén múlik. Az ivarsejtek közti méretkülönbségeken alapuló szelekciós folyamatok ezek szerint bebetonozzák az utódgondozásban betöltött szerepeket. Nemrégiben kiderült, hogy a mind a szakmában, mind a népszerűsítő irodalomban harminc éve elterjedt, a férfiak hűtlenkedésére elegáns és általános „biológiai alibit” szolgáltató érvelés alapjául

szolgáló grafikus modell hibás (*Trends in Ecology and Evolution*. 2003. márciusi szám, Hannah Kokko kommentárja). Nem veszi ugyanis figyelembe, hogy mennél inkább leköti az utódgondozás a nőtényeket, annál kisebb valószínűséggel találnak a „portyázó” hímek szabad partnert, s így nehézségekbe ütközik rátermettségüket újabb utódok nemzésével növelni. Valószínűbb, hogy több, szintén általánosan elterjedt mechanizmus vezet a nőtényekhez képest csökkent hím utódgondozáshoz. Az egyik mechanizmus az apaság bizonytalan voltából ered. A szülők közti egyenlőtlen munkamegosztás oka lehet az is, hogy az eddig vizsgált fajok többségében a hímek között vannak agresszivitásuk vagy valamilyen előnyös tulajdonságuk miatt az átlagosnál jóval több nőténnyel párosodó egyedek. Ezek a hímek könnyen találnak párt, ezért a hűtlenség számukra valóban előnyös, míg a kevésbé „vonzó” hímek számára párjuk őrzése kifizetődő. Ez esetben a különböző stratégiát követő hímek közti illetén versengés az, ami szintén csökkent intenzitású utódgondozáshoz vezet.

A *viselkedés-ökológia*, mely az állatok viselkedését szelekciós folyamatok eredményeképp létrejött adaptációkként értelmezi és az *életmenet-evolúció*, mely a várható élettartamot, utódszámot, az ivarérettségi korát, azaz a demográfiai jellemzőket vizsgálja adaptációkként, az evolúciós ökológia két olyan területe, amelyek állatokra vonatkozó eredményeinek ismertetésekor a népszerűsítő

irodalom szívesen utal humán példákra. A felhalmozódó modellek és a növényi, állati populációkra vonatkozó empirikus eredmények azonban azt mutatják, hogy általában több alternatív mechanizmus hoz létre egy-egy jelenséget, ezért különösen óvatosan kell eljárni a humán – állat összehasonlítás esetén. Hasonló jelenségek mögött gyökeresen eltérő mechanizmusok állhatnak.

A hetvenes években etológusok és etológia iránt érdeklődő diákok tömegei választották a relatíve egyszerű, olcsó és gyors terepkísérletekkel operáló viselkedés-ökológiai kutatásokat, míg az életmenet adaptációk vizsgálata sok populációdinamikával foglalkozó kutató számára biztosított rövid futamidejű pályázatokkal nehezen finanszírozható munkájuk számára folytatási lehetőséget. Mára a két terület számos probléma vizsgálata kapcsán összenőtt, és az ökológián belül a terepökológiai kísérleti technikák kidolgozásában, a modern statisztikai módszerek alkalmazásában, a modellezést és az empirikus munkát összekapcsoló kutatói kultúra fejlesztésében világszerte vezető szerepet játszik. Ráadásul a viselkedési mechanizmusok és a szaporodási költségek kutatása fontos szerepet kapott az intraindividuális biológiai kutatások eredményeinek integrálásában, mivel neurobiológiai, fiziológiai, molekuláris genetikai és immunológiai eszközök és eredmények alkalmazását igényelte a kilencvenes években (Ricklefs – Wikelski, 2002).

Az európai trendnek megfelelően a hazai viselkedés-ökológiai kutatások elsősorban madarakon folynak, s többségük nemzetközi együttműködésben hoz a *Nature*-ben, az amerikai és angol tudományos akadémiák folyóirataiban is publikálható eredményeket (<http://bio.univet.hu/met>). A tudományterületről és hazai művelőiről gyorsan és hatékonyan tájékozódhat az érdeklődő egy tavaly megjelent könyvből (Barta et. al., 2002), s az MTA 2003. évi tavaszi ülészakán tartott *Viselkedés-ökológia* előadóiülés anyagából.

Betegségeink evolúciós ökológiája

Közismert és általánosan elfogadott gondolat, hogy a természettől elrugaszkodott életkörülményeink, életmódunk egy sor civilizációs betegséget szülnek. Az viszont forradalmian új meglátás, hogy kórokozóink nagy részét is a „saját képünkre” formáljuk. Viselkedésünk, szokásaink gyors szelekciós folyamatok révén határozzák meg gyakran mutáló, tömegesen elterjedt, s ezért változatgazdag kórokozóink számos tulajdonságát, s velük a fertőzés eredményeképp létrejövő betegség lefolyását is. Például az AIDS betegség igen mutábilis kórokozója „megszelídül”, virulenciája csökken, ha terjedését korlátozzuk. A virulenciát csökkentő szelekció alapja az, hogy jórészt csak a hosszú lappangási idejű, gazdájukkal sokáig tünetmentesen együtt élő vírustörzsek terjedhetnek gazdáról gazdára, ha a korán felismert vírus hordozók fegyelmelmezettek, és nem fertőzik meg partnereiket, kiszűretnek a véradásnál, és nem drogoznak közös tűvel. E feltételezéssel összhangban az óvszert kiterjedten és gyakran alkalmazó San Franciscó-i homoszexuális férfiak körében a lappangási idő orvosi kezeléssel nem magyarázható meghosszabbodását tapasztalták.

A virulencia és az infektivitás szelekciós kapcsolatának fontosságát és drámai humán vonatkozásait a korábban csak szűkebb körben ismert Paul W. Ewald szinte egyedül hangsúlyozta a 90-es évek elején (Ewald, 1994). A virulencia és az infektivitást összekötő szelekciós mechanizmusok felismerése ma már széles körben vizsgált hipotéziseket generál, időszzerűségét jelzi, hogy a *Trends in Ecology and Evolution* (TREE) márciusi számának fő témája lett, s a nagy nemzetközi kiadók sorban jelentetik meg a könyveket a virulencia evolúciójáról. Az egyik maliciózus referens meg is jegyezte, hogy a könyveket olvasva már érti, hogy a NIH (National Institutes of Health) miért finanszíroz evolúciós

ökológiai kutatásokat, s angol elméleti biológusok miért tértek át tömegesen a potenciálisan nagy közegészségügyi jelentőséggel bíró téma tanulmányozására.

Ewald második könyvét Koch Sándor példás gyorsasággal és élvezetes stílusban fordította magyarra (Ewald, 2002). E könyvben Ewald már amellet érvel, hogy a fejlett országok halálozásainak túlnyomó többségéért felelős betegségeink, mint a gyomorfekély, a rák és az érrendszeri betegségek szintén fertőzések eredményei. A gyorsan élő baktériumoktól, vírusoktól a magas szintű higiéné megszabadított minket, helyettük viszont sűrű népességeinkben a kevésbé virulens, azaz a hordozókban lassan szaporodó, „csak” az évtizedek alatt alattomosan felhalmozódó „mellékhatások” miatt halálos kórokozók terjedtek el. Ezek tehát olyan „fertőző betegségek”, amelyek a hagyományos kritériumok alapján nem is tekinthetők annak.

Az *evolúciós epidemiológia* olyan populációk interakciójának vizsgálatát jelenti, melyekben a kórokozó genetikailag változatos, a gazda populációkban pedig különböző kórokozók terjesztési-terjedési stratégiák vannak, amelyeket szokásaink, életmódunk (például a promiszkuitás mértéke vagy a közös tű használata AIDS esetén; szűnyogháló használata a maláriás területeken; maszkviselés, otthon maradás SARS megbetegedéssel területeken stb.) határoznak meg. A modellek alapján vizsgálható, hogy az adott feltételek mellett milyen tulajdonságú kórokozók terjedése várható, s a modellek feltevései, előrejelzései statisztikai módszerekkel tesztelhetők.

Limitáló tényezők és gének olvasásából írt történelem

A XX. század közepén még dominált az a vélemény, amit egyes technokraták és „zöldek” még ma is osztani látszanak, hogy a természet eredetileg egy bőségszaru, amit

a technológiai fejlődés és az azzal járó népességrobbanás ürít ki. E felfogásban a trópusi őserdők felszámolása azért is probléma, mert ezáltal a potenciálisan természetbe, termelésbe vonható fajok millióit veszítjük el. A bőségszaru hipotézissel szemben az evolúciós ökológia szerint a természetes populációkban folyamatos létszámszabályozás és ahhoz csatolt szelekció működik. Például kórkorszaki körülmények között a lélekszámot valószínűleg az elérhető táplálékmenyiség szabályozta. Ezt a hipotézist hasonló körülmények között élő recens népességek demográfiai-populációdinamikai vizsgálatával lehetett alátámasztani.

Jared Diamond (www.extra.hu/typotex/diamond), eredetileg az indonéz szigetek mádtársulásaiával foglalkozó amerikai ökológus szerint, Ausztrália őslakossága azért rekedt meg kórkorszaki szinten, mert a természetes élővilág csak kis létszámú, az élelmet vadászattal, gyűjtögetéssel megszerző, állandóan vándorlásban lévő csoportok számára biztosított elegendő táplálékot. A vadászó-gyűjtögető ősemberek kedvezőbb természeti adottságokkal rendelkező területeken is csak igen hosszú keresés, kísérletezés után, ritkán bukkanhattak rá a természetbe vonható néhány növényfajra, fejleszthették ki a termelés eszközeit, s találhatták meg a háziasítható állatfajokat. Nagytestű emlősöket például a láma kivételével csak Euráziában tudtak háziasítani, s ez lehetett egyik oka, hogy a kelet-nyugati kiterjedésű, hasonló földrajzi zónákból álló eurázsiai fejlődés jóval gyorsabb volt, mint a többi földrészé. A termelhető élelmiszermennyiség meghatározta egy-egy népesség lélekszámát, az viszont a népesség struktúráját, fejlődési lehetőségeit.

Diamond evolúciós ökológia szemüvegen keresztül nézi az emberiség történetét. A múlt század legbefolyásosabb evolúciós-ökológiai iskolájának tagjaként (Kingsland, 1985) heterogén populációkban, limitáló tényezőkben és azok által szelektált populációs tulajdonsá-

gokban gondolkozik. Munkája is bizonyítja, hogy embercsoportok történelem előtti terjeszkedésének vizsgálatához kiválóan használhatóak például a madárfajok szigetről szigetre való terjeszkedését vizsgáló *biogeográfia* (MacArthur – Wilson 1967) vizsgálati eszközei és fogalmi konstrukciói. Azon túl, hogy a primitív embercsoportok lélekszámát hasonló tényezők limitálhatták, mint az állati és növényi populációkét, az embercsoportok genetikai heterogenitása a többi élőlényéhez hasonló, ezért az evolúciós ökológia fiatal területe, a biológiai makromolekulák szekvenciájának összehasonlításán alapuló *filogeográfia* egyaránt vizsgálhat embereket, növényeket és madarakat. A szekvenciaelemzések alapján nyomon követhetjük a nagy népvándorlásokat: Európa újra benépesülésének módját az utolsó eljegesedés után vagy akár a honfoglalást. Nem véletlen, hogy a „történelem előtti” humán történelmet olyan sokoldalú evolúciós ökológusok írják, mint a matematikai modellezésben is jártas Diamond, aki pillanatnyilag fiziológaprofesszor, hisz ehhez a történetíráshoz az evolúciós szemlélet mellett az evolúciós ökológia számos területén kimunkált eszköz és fogalomtár megértése és alkalmazása is szükséges.

Volt egyszer egy iskola...

Az evolúciós ökológia több amerikai és angol forrás összetételéből eredt. A *British Ecology*-két egymást követő elnöki székfoglalója jelezte, hogy új diszciplína születik. 1965-ben David Lack oxfordi zoológusprofesszor tartott *Evolutionary Ecology* címmel programadó előadást, amit a részben nála iskolázott, szintén iskolateremtő növényökológus John Harper *A Darwinian Approach to Plant Ecology* című székfoglalója követett két évvel később (az előadások szövege a *Journal of Animal Ecology* című lapban található). A hatvanas évek elejétől kezdve pedig sorban jelentek meg Robert MacArthur amerikai

fizikus-biológus és kollégái, tanítványai elméleti és a modelleket tesztelő cikkei, melyek meghatározták a további évtizedek kutatásainak fő irányvonalait. Az első, ideológiai vonatkozásai miatt elképesztő vihart kavart, nagy szintetizáló evolúciós ökológiai munka 1975-ben jelent meg, nyolc évvel az előbb idézett szigetbiogeográfiai mű után (Wilson, 1975. Érdekes, hogy Wilson *Minden egybe cseng. Az emberi tudás egysége* című új könyvének magyar fordítása az idei könyvnapra jelent meg.). Ki gondolta volna, hogy épp egy szigetbiogeográfiai mű lesz az, ami az evolúciós ökológia kérdésfelvetéseit, fogalomkészletét, szellemiségét mindmáig nagymértékben meghatározza?

A termékeny analógiáiról, elegáns egyszerűsítéseiről híres, manapság redukcionistának aposztrofált MacArthur alig több mint húsz évet alkotott, korai halála után két tanítványa Martin Cody és Jared Diamond szerkesztett gazdag, ma is sokat hivatkozott emlékkötetet *Ecology and Evolution of Communities* címmel 1977-ben. MacArthur és köre az r, K-szelekció hipotézisének megfogalmazásával, a csereviszony (trade-off) és az optimalizációs gondolkodás széleskörű alkalmazásával, a populáció-genetikai és a populációs-ökológiai modellek összekapcsolásával, a biogeográfia evolúciós alapmodelljének felállításával óriási hatást gyakorolt az ökológia fejlődésére, míg a *niche* fogalom operativizálási törekvésebe, a forrásfelosztás és a korlátozott hasonlósághoz kapcsolódó technikai-elvi problémák megoldatlansága miatt belebukott (Rosenzweig, 1995). A niche, a fajok ökológiai helye, még ma is az ökológia-tankönyvekben tisztelettel körülírt, de egyébként szinte használhatatlan szent tehene (Leibold, 1995), amit valószínűleg csak tágabb, a változó dimenziószámú nemlineáris rendszerek evolúciójának vizsgálatára kidolgozott matematikai keretek között lehet operatíván újraértelmezni (Meszéna et al., kézirat).

...és sok másik...

Az evolúciós ökológia egy másik ága a terep-ökológiai empirikus kutatások és az elméleti populációgenetika összekapcsolásán alapszik, s a század első felében vált kutatási programmá Angliában. Az angol *ökológiai genetikai* iskola (Ford, 1971) kedvenc objektumain: a kerti csigán, a nyírfaaraszoló lepkén végzett terepvizsgálatok óriási szerepet játszottak abban, hogy a természetes szelekció mérésének statisztikai módszereit a múlt század vezető statisztikusa, Ronald Fisher irányítása mellett kidolgozzák és alkalmazzák. De ugyanebben az iskolában, a kerti csiga háza sávozottságának kutatásával kapcsolatban születtek meg azok a különböző lokuszokon lévő allélek kapcsoltságai egyensúlyára vonatkozó eredmények is, amelyek nélkül ma nem lehetne a humán genom program nyújtotta adatbázison a betegségeket meghatározó lokuszokra, allélekre, statisztikai módszerek segítségével vadászni (Templeton, 1999). Ezzel egy időben viszont amerikai populációgenetikusok, elsősorban Theodosius Dobzhansky és munkatársai, kidolgozták az *ecetmuslica-tömegtenyészetek* genetikai összetétel-változásainak mérésére szolgáló módszereket (Dobzhansky, 1951). Mindez elég tudást és problémát halmozott fel ahhoz, hogy John Lee Hubby Angliában, Richard Lewontin pedig az USA-ban elindíthassa 1966-ban a genetikai molekuláris polimorfizmus felmérésére vonatkozó programot, ami a nyolcvanas évekre a *molekuláris ökológia* kialakulásához vezetett. A molekuláris evolúció nagyrészt *ecetmuslicán* tesztelt neutrális elméletének kidolgozása a hozzá kapcsolódó statisztikai eszköztárral együtt teszi lehetővé, hogy a nukleinsav szintű molekuláris polimorfizmusok alapján a recens populációk evolúciós kapcsolatait, populációdinamikai múltját rekonstruáljuk. Ezt a tudományterületet nevezik a kilencvenes évektől *filogeográfiának* (Avice, 2000).

Míg az ökológiai genetika egyszerű öröklődési változatok polimorfizmusának vizsgálatára vállalkozott, egy Güte Turesson nevű lundi botanikus által publikált cikksorozattal (*American Naturalist*, 1922) megindult *génökológia* a folytonos skálán variáló mennyiségi jellegek (például: méret, tömeg) eloszlásának természetes változásait vizsgálta. Turesson alapkérdése kvantitatív genetikai volt: a széles elterjedésű növényfajok eltérő morfológiájú *ökotípusai* között van-e öröklődő különbség, a különböző lokális környezetek szelekciós folyamatok révén átalakítják-e a populációk genetikai összetételét? Ezt a problémát később üvegházi és keresztbe átültetési kísérletekkel, meglehetősen bonyolult kísérleti elrendezések és statisztikai analízisek alkalmazásával vizsgálták. A génökológia sokáig mind az ökológiai, mind a genetikai kutatások perifériáján mozgott, s az ötvenes évek elejére kimerülni látszott. Az evolúciós ökológiában szélteben elterjedt optimalizációs modellek genetikai megalapozásának igénye viszont újra felszínre hozta a mennyiségi jellegek evolúciós vizsgálatának szükségességét, és új modellek, módszerek létrehozásával ebből az igényből alakult ki mára az *evolúciós kvantitatív genetika* (Roff, 1997).

Az ökológia és az evolúciós ökológia ma már nehezen választható szét, amit jelez az, hogy az általános ökológiai folyóiratok cikkeinek többsége evolúciós ökológiai, hogy a modern ökológiai tankönyvek fejezeteinek egy része szintén evolúciós, hogy a két terület összhangban fejlődik. Például a nyolcvanas évek végétől skálabővítés történt mind az elméleti, mind az empirikus ökológiában. A kutatók érdeklődése egy-egy izoláltan vizsgált populáció mellett a térben strukturált, egyedeik szóródása révén összetartott metapopulációk felé irányult (Hanski, 1999), a több évtizedes, például rovarcsapdás populációs adatsorok pedig lehetővé tették, hogy a populációk egyedszámváltozásainak mintázatait hosszabb futamokban lehessen

vizsgálni (Turchin, 2003). A többfaktoros problémák is előtérbe kerültek: ahhoz hasonló kérdések például, hogy egy ragadozó vagy egy parazita hatása hogyan függ egy-egy populáció egyedszámától, a kompetitorok jelenlététől stb. (Newton, 1998). Ezzel párhuzamosan az evolúciós ökológiában is dominánssá vált a metapopulációk térbeli genetikai szerkezetének, migrációs viszonyainak molekuláris módszerekkel történő feltérképezése (*molekuláris ökológia, filogeográfia*), a környezeti fluktuációkhoz való alkalmazkodási mechanizmusok vizsgálata, a metapopulációkban működő szelekciós-adaptációs mechanizmusok felderítése (például *adaptív dinamika*), a populációk közti interakciók hatásának vizsgálata a populációk összetételére (például *evolúciós epidemiológia*). Új evolúciós társulások ökológiai kutatási terület a hangzatos *társulásgenetikára* keresztelt társulás-populációgenetika, az *Ecology*-nak, az Amerikai Ökológiai Társaság folyóiratának márciusi fő témája. Ez a terület többek között a genetikailag módosított fajok populációs interakcióinak vizsgálatával foglalkozik.

A nyolcvanas és a kilencvenes évek az új statisztikai és molekuláris technikák elterjedése révén óriási módszertani megújulást hoztak, aminek a nagyvilágban manapság aratják le az eredményeit. Ebből a magyar ökológia pénz-, eszköz- és státuszhiány miatt végleg lemaradni látszik. Két olyan kis laborról tudok az országban, ahol évtizedek óta folynak populációgenetikai tudásra alapozott, igen korlátozott eszközökkel, viszont jó nemzetközi kapcsolatokkal rendelkező növényi (Major Ágnes, ELTE) és rovar (Pecsenye Katalin, DE) molekuláris populációs vizsgálatok. Központi szolgáltató laborok felállítása, több, részképzésre külföldre küldött diplomással és gyakorlott asszisztenssel, a felszereltség mellett megfelelő működési költséggel (ezen kutatások költsége nagyságrendekkel nagyobb a „mezítlás” ökológiai kutatásokénál) javíthatna a helyzeten.

...és egy hazai is

A hazai evolúciós ökológiai kutatások óriási szerencséje, hogy Juhász-Nagy Pál és Vida Gábor személyében két olyan természetbúvár kezdett szinte egyszerre tanítani az ELTE-n, akik számára ökológia, genetika és evolúcióbíológia ezer szállal függött össze (Vida, 2001). A Csaba György által szerkesztett *Biológiai Szabályozás* kötetben ketten írták a szupraindividuális organizációról szóló fejezetet, amelyben együtt tárgyalják az elméleti ökológia és a populációgenetika alapkérdéseit. Az „evolúciógenetikus” Vida Gábor szerkesztette ötkötetes *Evolúció* sorozat nyitó esszéjét az „ökológus” JNP – Juhász-Nagy Pál írta az evolúciós gondolatról (Juhász-Nagy, 1981), Varga Zoltán és Kiss János fejezetei pedig bőven tartalmaztak ökológiai elemeket, mi több: részben a JNP adta ökológiai szemléletben fogantak. Számmunkra, tanítványok számára így evidencia lett, hogy rengeteg ökológiai probléma populációgenetikai, de legalábbis szelekciós kontextusban tanulmányozandó, s ökológiai genetika nélkül értelmetlennek, „sterilek” a laborbenyészeten kapott populációgenetikai eredmények. A hetvenes évek végén, a nyolcvanas évek elején sorban születtek a MacArthur-iskola által felvetett problémákhoz csatlakozó tudományos diákköri munkák és szakdolgozatok. Ebben a légkörben született a budapesti elméleti biológiai iskola, mely világszerte elismert, és elsősorban evolúciós és ökológiai területeken hozott figyelemre méltó eredményeket. A mi generációnk tagjai is felcserélhetőek: például akár Scheuring István, akár Jordán Ferenc is írhattott volna evolúciós ökológiai tanulmányt ebben a kötetben.

Evolúciós ökológia: adaptációk kutatása

Az evolúciós ökológia annak tömeges tudomásul vételét hozta világszerte, hogy az állati és növényi populációk genetikailag

heterogének, s a környezeti változások szintelenül újabb és újabb szelekciós folyamatokat generálnak az öröklődő változatok között. A szelekció szempontjából neutrális genetikai változatosság pedig, a klasszikus elméleti populációgenetikának hála, hatékony eszközt ad a populációk történetének felderítéséhez. Míg az ökológusok alapkérdései az elterjedésre és a számosságra vonatkoznak, addig az evolúciós ökológusok viszont az adaptációkra fókuszálnak (Rose – Lauder, 1996). Végso soron talán az érdeklőket, hogy az elterjedés és a számosság hogyan függ a populációk tulajdonságaitól, valamint, hogy a környezet változásakor hogyan változik az elterjedés és számosság a populáció összetételének függvényében (Pásztor, 1984).

Az élőlények komplexitása az evolúciós ökológusok számára *csereviszonyok* (*trade-off*, közgazdaságtanból átvett fogalom) és *kényszerek* (constraint) formájában jelenik meg. Egy élőlény sokféle tulajdonsága állhat csereviszonyban. Az *energiaallokációs elv* azt mondja ki, hogy egy-egy élőlény véges energiakészletét különböző funkciók, struktúrák között kell felossza: ha többet fordít önfenntartásra, akkor kevesebb energia jut növekedésre és szaporodásra. Ha öröklődő különbségek vannak az allokáció módjában, az a változat terjed el, melynek adott külső feltételek között legnagyobb a rátermettsége. Az életmenet-jellemzők (például effektív termékenység, halandóság) közötti allokációs csereviszonyhoz vezet például az, hogy egy madár megeshi-e a táplálékot, vagy a fiókáit eteti-e vele. A *környezeti allokációs elv* szerint viszont egy élőlény rátermettsége nem lehet azonos minden környezetben: a különböző környezetekben mutatott rátermettségek csereviszonyban vannak. De feltételezhető számos más, például a virulencia és a gazdáról gazdára történő terjedés közti csereviszony fennállása is. A csereviszony csak egyike a genetikai változatosság fenotípusos hatásait megszabó kényszerfélésegeknek. A

természetes szelekció alapjául szolgáló változatkészlet nem végtelen, infraindividuális szerveződési szabályok határozzák meg, hogy a genetikai anyag másolási hibái milyen tulajdonságokat, hogyan változtatnak meg (Pásztor, 1985). Rátermettség-függvények adják meg, hogy az egyes változatok (például fejenkénti, pillanatnyi növekedési rátával mért) rátermettsége, hogyan függ a környezettől, a többi jelenlévő változat számától, illetve egyszerűbb esetben a populáció denzitásától. Míg az egyedi komplexitás a változatkészlet megadásánál, a változatok, populációk közti interakciókból származó komplexitás a rátermettség függvények meghatározásánál jelentkezik. A fenotípusos plaszticitás, azaz az egyedi adaptációk evolúciójának kutatása az evolúciós ökológia kurrens, fontos témája. Plasztikus tulajdonság esetén a változatkészletet a lehetséges, öröklődően különböző reakciónormák megadásával definiáljuk és a reakciónormák rátermettségét vizsgáljuk, adott, térben vagy időben inhomogén környezetben. A reakciónorma fogalma még az orosz Ivan Ivanovics Smalhausentől származik: egy adott genotípushoz tartozó fenotípus-környezet függvényével, illetve azonos genotípusú egyedek különböző környezetekben mutatott fenotípusos értékének mérésével adható meg.

Az adaptációk keresésének fontos matematikai módszere az evolúciós ökológiában az optimális stratégiák keresése adott feltételek között, illetve az optimális stratégiák változásainak vizsgálata környezetváltozás hatására. Az optimalizációs modellezés azon a „darwini” feltevésen alapszik, hogy az öröklődő változatok rátermettsége összevethető és a természetes szelekciós folyamatok során a legnagyobb rátermettségű változat terjed el. A populációdinamikát és az adaptációk vizsgálatát az köti össze, hogy a változatok rátermettsége, azaz a populációk növekedési rátája függ a populációk egyedszámsűrűségétől, denzitásától. Denzitásfüggő optima-

lizációval a nyolcvanas évek közepén kezdünk Meszéna Géza fizikus kollégámmal foglalkozni (Meszéna – Pásztor, 1986). Sűrű populációkban például az ökológusok termékenységet csökkentő, az ivarérettségre késleltető szelekciós folyamatok várnak, mely folyamatok tesztelhető komponensei modellek segítségével szisztematikusan felderíthetők. A környezetváltozás a halálzási ráták megváltoztatásán keresztül egyszerre szelektálhat közvetlenül s közvetve, mivel a populációsűrűségének megváltoztatásával közvetett denzitásfüggő szelekciót is indukálhat. Ezért is kompenzálódhat a környezet romlása a szaporodási időszakon kívül, a termékenység növekedésével a szaporodási időszakban (Pásztor, 1988).

Korai, azonban egyre szélesebb körben terjedő és ható felismerés, hogy a természetes szelekció általi optimalizáció tereuma korlátos. A környezet tér- és időbeli inhomogenitása mellett a változatok rátermettsége attól is függ, hogy milyen más változatok, egyenként milyen létszámban vannak jelen, s az így kialakuló gyakoriságfüggő szelekció mellett nincs optimális, legjobb stratégia, kialakulhat azonban stratégiák evolúciós stabil koalíciója. A gyakoriságfüggő szelekció vizsgálatára alkalmazott játékelméleti modelleket elsősorban viselkedésökológusok tesztelték. A terület fejlődéséhez magyar kollégáink is hozzájárultak, az inhomogenitás következtében fellépő gyakoriságfüggő szelekció vizsgálatára Meszéna Géza, Stefan Geritz, Kisdi Éva és Hans Metz új numerikus és analitikus módszereket fejlesztett ki. Az *adaptív dinamika* elmélete lehetővé teszi a természetes szelekció következtében létrejött evolúció modellezését olyan bonyolult ökológiai rendszerekben, amelyekben a rátermettség az interakcióban lévő fenotípusok gyakoriságának függvénye. Matematikai szempontból fontos újdonság, hogy olyan sztochasztikus dinamikus rendszereket vizsgál, melyek dimenziószáma a fajképződés és

kihalás révén változik. Az adaptív dinamika kiváló elméleti eszköz a fajképződés és a metapopulációkban zajló adaptációs folyamatok vizsgálatára is (irodalmáról, köztük a magyar-holland csoport közleményeiről a <http://users.utu.fi/evakis/ad.htm> weboldal tájékoztat).

A természet kezelhetetlen komplexitása

Az evolúciós ökológia egyszerre van robbanásszerű fejlődésben és a szertesztet repülő, táguló tudományterületek miatt szétesésben. Az evolúciós ökológiát története elején vonzó elméleti egység jellemezte. Ez az egység egyszerre volt tartalmi és módszertani. Elegáns előadások, megvilágító erejű metaforák, egyszerű, de általános modellek jellemezték a hatvanas, hetvenes éveket. Az alapelvek nem évtűltek el, a módszerek többségéről bebizonyosodott, hogy alapjában véve jók, a komplexitás viszont szétzúzta a kezdeti egységet. Míg MacArthur társulásökológus és populációbiológus tanítványai együtt írták az emlékkötetet és félészavakból is megértették egymást, ma már a technikai igényesség miatt nehézségekbe ütközik egy filogeográfus és egy viselkedésökológus eszmecsereje. Az evolúciós ökológusok legerjedtebben alkalmazott módszere a lehető legegyszerűbb, magyarázó, masinriacentrikus modellépítés. A modellekből mintázatokra és folyamatokra vonatkozó perdikciók fakadnak, egyes területeken élénk kísérletezést indukálnak. Ezzel együtt nagyon sok az inkonzuzív kutatás, a megválaszolatlanul félredobott kérdés. Ahogy egy őszinte amerikai kolléga írja: egy-egy nagy projekt határozza meg négy-öt év arcultatát, divattémáit, aztán a szekér az eredménytől függetlenül megy tovább. A folyamatot kollégák figyelmes hada terelgeti: a jól ellenőrizhető részekenél nincs is gond. A modellek matematikailag ellenőrizhetőek, a terepvizsgálatok és kísérletek tervezése, az eredmények kiértékelése jól bejáratott algorit-

musok szerint történik. A fő probléma e két terület: a modellezés és az empirikus munka összekapcsolásában rejlik, ahol nincsenek világos algoritmusok, ahol sokminden ötletszerű, intuitív, sok a vélemény és kevés a tény. További gondot jelent a szétrepülő tudományrészek eredményeinek összevetése: évtizedekig folyt elkeseredett vita például arról, hogy a csereviszonyoknak a különböző objektumokon és eltérő kontextusban folyó fenotípusos és genetikai vizsgálatai mit mondanak egymás számára. Hiányzik a közvetítő modellrendszer, hiányoznak a közvetítő empirikus vizsgálatok. És mégis: a szekér halad. Összességében többet értünk a komplexitásból, s mint egy gyerek, szétszedjük ezer csillogó, önmagában is érdekes darabra. Nem tudunk jobbat, csináljuk legjobb lelkiismeretünk szerint. Bízunk „Istenben” (tudományunk általános erejében), és szárazon tartjuk a puskaport.

Oktatás

Végül egy személyes megjegyzés. Több mint húsz éve tanítok evolúciós és ökológiai tárgyakat az ELTE-n. Ahogy a zoológia, a botanika (szervezetan, rendszertan, élettan stb.) és a molekuláris biológia (biokémia, molekuláris genetika, immunológia stb.) számos részterületre differenciálódott, úgy az ökológia is. Szerveződési szintek, kérdéscsoportok és módszercsaládok különítik el az egyes területeket. Írásom illusztrálni kívánta az evolúciós ökológia hasonlóan nagymértékű differenciáltságát is. Klasszikus területei mellett, mint a genetikai ökológia, viselkedésökológia és az életmenet-evolúció, önálló tankönyvekkel rendelkezik már az evolúciós kvantitatív genetika és a filogeográfia is. Sorban jelennek meg a kézikönyvek a most születő

evolúciós epidemiológiában. Gyors ütemű fejlődés várható a társulásgenetikában is. Az evolúciós ökológiai szakterületek megértése és művelése erős populációbiológiai, populációgenetikai és populációökológiai, valamint társulásökológiai alapozást igényel. Ahogy egy immunológus elvárja, hogy hallgatója erős biokémiai, molekuláris genetikai, élettani alapképzést kapjon, úgy én is elvárom, hogy hallgatóim erős populációbiológiai, statisztikai és matematikai alapokkal érkezzenek. Ezek hiányában még tájékozódni sem képesek a szakirodalomban. Csak akkor várható a biológusképzés gyökeres reformja, a szükséges új tárgyak oktatásának bevezetése, oktatói státuszok számának növelése, tanszékek alapítása stb., ha a természettudós társadalom és az oktatáspolitikusok egyaránt egzakt és fontos tudománynak tekintik az ökológiát, és tájékozódnak differenciáltságának mai mértékéről s a felhalmozott tudásanyag nagyságáról, mibenlétéről. Érdeklődő, jobb sorsa érdemes hallgatók tömegeit frusztráljuk, pocsékoljuk el évről évre, mivel nem kapják meg az ökológusszakma műveléséhez szükséges modern eszközöket, ismereteket, nem fejleszthetik ki a szükséges készségeket. A jelenlegi helyzetben továbbra is csak egy-két kiugró, elsősorban elméleti kutatói teljesítmény várható, de a napi szakmai rutint: az általános és középiskolai oktatás minőségét, a hazai környezet és természetvédelem szakmai színvonalát, s abból következően a „környezettudatosságot” meghatározó *általános képzettségi szint* növekedése nem. Környezetünk minősége, életminőségünk fontos meghatározója, viszont elvárásainkon és tudásunkon egyaránt múlik.

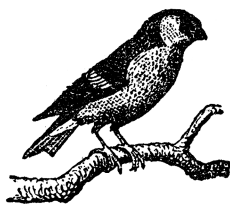
Kulcsszavak: *környezetvédelem, népegészségügy, optimalizáció, populáció, viselkedés*

IRODALOM

Avise, John C. (2000): *Phylogeography. The History and Formation of Species*. Harvard University Press

Barta Zoltán – Liker András – Székely Tamás (szerk.) (2002): *Viselkedésökológia: modern irányzatok*. Osiris, Budapest

- Diamond, Jared M. (2000): *Háborúk, járványok, technikák*. Typotex, Budapest
- Dobzhansky, Theodosius (1951): *Genetics and the Origin of Species*. Columbia University Press, N.Y.
- Ewald, Paul. W. (1994): *Evolution of Infectious Disease*. Oxford University Press, New York
- Ewald, Paul. W. (2002): *Járványok kora. Fertőzés okozza a rákot, a szívbetegeket és más halálos kórokat?* Vince, Budapest
- Ford, Edmund Briscoe (1971): *Ecological Genetics*. Chapman-Hall, London
- Hanski Ilkka (1999): *Metapopulation Ecology*. Oxford University Press, Oxford
- Juhász-Nagy Pál (1981): Az evolúciós gondolat. In: Vida Gábor (szerk.): *Az evolúció genetikai alapjai*. Natura, Budapest 7-25
- Kingsland, Sharon E. (1985): *Modeling Nature*. The University of Chicago Press
- Leibold, M. A. (1995): The Niche Concept Revisited: Mechanistic Models and Community Context. *Ecology*. 76, 1371-1382
- MacArthur, Robert H. – Wilson, Edward O. (1967): *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press
- Meszéna Géza – Pásztor Erzsébet (1986): Denzitásfüggő életmenet stratégiák I. *Abstracta Botanica* 10, 97-116
- Newton I. (1998): *Population Limitation in Birds*. Academic Press, London
- Pásztor Erzsébet (1984): *Egyetemi doktori értekezés a biológiai adaptáció fogalmának operatívizálásáról*. ELTE TTK, Budapest
- Pásztor Erzsébet (1985): A természet rendje és az evolúcióökológia. In: Vida Gábor (szerk.): *Az evolúciókutatók perspektívái*. Natura
- Pásztor Erzsébet (1988): *Unexploited Dimensions of Optimization Life-history Theory*. In: de Jong, Gerdien (ed.) *Population Genetics and Evolution*. Springer, Berlin. 19–33
- Ricklefs, Robert E. – Wikelski, Martin (2002): The Physiology/Lifehistory Nexus. *Trends in Ecology and Evolution*. 17, 462-468-
- Roff, Derek A. (1997): *Evolutionary Quantitative Genetics*. Kluwer
- Rose, Michael R. – Lauder, George V. (eds.) (1996): *Adaptation*. Academic Press
- Rosenzweig, Michael L. (1995): *Species Diversity in Space and Time*. Cambridge University Press
- Templeton, Alan R. (1999): Uses of Evolutionary Theory in the Human Genome Project. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 30, 23–49.
- Turchin, Peter (2003): *Complex Population Dynamics: A Theoretical/Empirical Synthesis*. Princeton University Press
- Vida Gábor (2001): A SIO forrásvidéke. In: Oborny Beáta: *Teremtő sokféleség. Emlékezések Juhász-Nagy Pálra*. Vácrátót, MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete
- Wilson, Edward O. (1975): *Sociobiology. The New Synthesis*. Belknap, New York



MATEMATIKAI MODELLEK AZ ÖKOLÓGIÁBAN

Scheuring István

a biológiai tudományok kandidátusa, ELTE Növényrendszertani és Ökológiai Tanszék,
MTA Ökológiai és Elméleti Biológiai Kutatócsoport – shieazsf@ludens.elte.hu

Bevezetés

A XX. század első évtizedei a modern fizika kialakulásának időszaka. Gyaníthatóan kevesebben tudják, hogy e csodálatos felfedezések ármékában, ezidőtájt rakták le a matematikai ökológia alapjait is. Míg a huszadik század kiemelkedő elméleti fizikusait minden természettudós ismeri, addig az elméleti ökológia megalapozói iránt csak a szakmabeliek hallottak. Emlékezzünk meg tehát néhány mondatban a nagy elődök munkájáról. Érdekes, hogy többségük (pl. Sir Ronald Ross, William R. Thompson, Vito Volterra) valamilyen konkrét gyakorlati probléma megoldásához alkalmaztak matematikai modelleket. Az általános elméleti kérdésekre koncentrált Alfred J. Lotka inkább kivételnek számított.

A hőskor

Ronald Ross, foglalkozására nézve orvos, sokoldalú tehetséggel megáldott ember volt. Kifejezett érzelme volt a matematikához, de festett, verseket és színdarabokat is írt. Orvosként Indiában dolgozott, ahol a malária-fertőzés ökológiai hátterével foglalkozott. Felismerte, hogy a betegség terjedésének jellemzői a malária kórokozó, a közvetítő szúnyog és az ember közti kapcsolat matematikai modelljének segítségével jól magyarázhatók. Dinamikai modelljének segítségével megmutatta, hogy a betegség csak a terjesztő szúnyogok egy kritikus denzitása felett marad fenn tartósan, tehát a legjobb véde-

kezés a szúnyogok irtása. A maláriafertőzés biológiai ökológiai hátterét felfedő kutatásait 1902-ben Nobel-díjjal jutalmazták.

Vito Volterra a matematikai fizika neves professzora volt Rómában. Figyelmét ökológiai problémák felé későbbi veje, a biológus Umberto D'Ancona fordította. D'Ancona az Adriai-tenger halászati adatait elemezve észrevette, hogy az I. világháború idején, amikor az aknazár miatt a halászat jelentősen visszaesett, egyes ragadozó halak fogási aránya megnőtt, míg a ragadozók potenciális zsákmányainak számító halfajok egyedszáma visszaesett. Kimutatta továbbá, hogy mind a ragadozó, mind a zsákmány halak populációinak mérete egymást követően ciklikusan változik. Vajon miért van ez így? – kérdezte az ifjú biológus apósától. Volterra mint igazi fizikus a probléma lehető legegyszerűbb matematikai modelljét vizsgálta: egyetlen ragadozó és egyetlen zsákmány faj denzitásának változását egy kétváltozós közönséges differenciál-egyenletrendszerrel írta le. Modellje segítségével könnyen magyarázni tudta veje megfigyeléseit. Eredményeit 1926-ban publikálta olasz nyelven. E cikkről a *Nature* rövid ismertetőt közölt. Érdekes módon egy másik fizikusnak, az amerikai Alfred J. Lotkának, egy évvel korábban könyve jelent meg *A fizikai biológia elemei* (Elements of Physical Biology) címen, melyben Volterra eredményei lényegében mind megtalálhatóak voltak. Ez a felismerés az egyébként elég nehéz körülmények között és szakmai izoláltságban

elő Lotkát meglehetősen felkavarta. Ráadásul könyvének célkitűzése, az ökológiai kapcsolatok matematikai leírása, sokkal általánosabb volt, mint Volterra idézett cikkének motivációja. Bár a két tudós viszonya a prioritási viták miatt később sem volt felhőtlen, a köztük lévő verseny és tehetségük eredményeként kiemelkedő szerepük volt a matematikai ökológia megteremtésében. Egyikük egy konkrét problémán keresztül jutott el a legáltalánosabb elméleti kérdések matematikai megfogalmazásáig, másikuk alapvetően ezzel a szándékkal kezdett az ökológiával foglalkozni.

Az ökológiai modellek jellemzői

A többi természettudományos diszciplínához hasonlóan a matematika szerepe az ökológiában a térítő folyamatok tömör leírása, a mintázatok mögött húzódó mechanizmusok felderítése. Azonban a fizikai vagy a kémiai rendszerekkel összehasonlítva az ökológiai rendszerek lényegesen összetettebbek. Egy populáció egyedei különböznek egymástól életkorban, öröklődő és szerzett tulajdonságokban, továbbá az élettelen környezet leg-többször térben és időben is nagymértékben heterogén. Egy élőközösségben számos, sokszor több száz különböző populáció egyedei vannak egymással kölcsönhatásban, s ezek a kapcsolatok jellemzően *nemlineárisak* és *sztochasztikusak*. Ráadásul, ami fontos lehet például egy vízi élőközösségben, az egyáltalán nem lényeges mondjuk egy gyeptársulásban vagy egy erdőben. Míg például egy gyeptársulás kialakításában döntő szerepe van a térbeli kényszereknek, addig a planktonközösségekre inkább az áramló víz fizikai tulajdonságai vannak nagy hatással. Maga a vizsgálat tárgya rendkívül *diverz* és *komplex*, felépítése alapvetően *hierarchikus*.¹ Ebből következik, hogy a rendszerek

leíró matematikai modellek is nagyon sokféle és bonyolultak. Igen ám, de ezekből a nagyon részletes, sokparaméteres és sokváltozós matematikai modellekből általános következtetéseket aligha lehet levonni. Ezt a problémát felismerve, az elméleti ökológusok kutatásaik során két irányt követnek. Az első irányzat (hasonlóan Lotkához és Volterrához) igyekszik minél egyszerűbb, a folyamat lényegét megragadó ún. *stratégiai modellek* segítségével minél szélesebb körben érvényes megállapításokat tenni, a második csoport egy-egy működésében jobban ismert rendszert igyekszik minél pontosabban leírni ún. *részletes modellekkel* (ahogy egykor Ross is tette). Az első csoport inkább alap-, a második inkább alkalmazott kutatásokkal foglalkozik.

Természetesen a fizikai vagy kémiai modellekhez hasonlóan az ökológiai modellek is alapvető posztulátumok alapján építik fel a konkrét modelleket. A legfontosabb azt leszögezni, hogy az ökológiai kutatások alap-egysége a populáció, bár sokszor érdekes (és érdekes) a populációnál magasabb szerveződési szintű egységek (élőközösségek, társulások, biomok) dinamikai viselkedését vizsgálni. Mivel a populációkról és az azokat felépítő egyedekről többet tudunk, mint a magasabb szerveződési egységekről, általános érvényű posztulátumokat a populációkra lehet megfogalmazni. Az egyik legfontosabb kiinduló posztulátum, hogy ha a környezeti hatásokban nincsenek szisztematikus változások, akkor a populáció egyedszáma exponenciálisan változik. Ez egyszerűen azért van, mert ebben az esetben a populáció egyedszámváltozását (az időátlagban) állandó születési és halálozási ráták határozzák meg. Ez a megállapítás analóg a newtoni tehetetlenség törvényével: egy teljesen ideális esetben, melyet igazából csak gondolatkísérlet útján tudunk előállítani, meg tudjuk mondani a test, illetve a populáció dinamikai viselkedését. Természetesen az exponenciális növekedés,

¹ Az egyedek populációkat, a populációk ismétlődően tartósan együtt előforduló populáció-kollektívumokat alkotnak.

illetve csökkenés elvét a megfigyelések és a kísérletek nagyon jó közelítéssel igazolják. Egy táptalajban gazdag baktériumtelepen a populációméret kezdetben exponenciálisan növekszik, ilyen a betegségszám növekedése minden járvány kitörésekor is.

Ezek után azokat a posztulátumokat érdemes lefektetni, melyek segítségével a valós populációk dinamikai viselkedését leírhatjuk. Ilyen posztulátum például, hogy minden populációban van egy felső határa a denzitásnak, amelyet a populáció nem léphet túl. Mivel a rendelkezésre álló források végesek, ez a józan ésszel teljes összhangban lévő megállapítás. Kimondva-kimondatlanul ezt a feltevést használjuk, amikor a populációnövekedés denzitásfüggését matematikai modellekben alkalmazzuk. Például a szaporodáshoz tápanyagfelvételre van szükség, és a szaporodási sebesség ennek a tápanyagfelvételnek monoton növekvő függvénye. A tápanyagfelvétellel kapcsolatban két további általános összefüggést vagy posztulátumot mondhatunk ki: 1.) alacsony tápanyag-denititás esetén a tápanyagfelvétel arányos a forrás denzitásával, 2.) magas tápanyag-denititás esetén a fogyasztó fiziológiai képességei felső határt szabnak a tápanyagbevitelre, s így a szaporodási sebességre is. E két utóbbi posztulátumon alapulnak a speciális esetekre megfogalmazott úgynevezett funkcionális válaszfüggvények, azaz azok a függvények, melyek a tápanyagmennyiség és az egységnyi idő alatt felvett tápanyag között teremtenek kapcsolatot (Turchin, 2003). Bármilyen jellegű matematikai modelljét vizsgáljuk a populációknak, illetve a populációk alkotta közösségeknek, társulásoknak, ezeknek a posztulátumoknak eleget kell tenni.

Egy tudomány akkor fejlődik egészségesen, ha a kísérleti (terepi, laboratóriumi) és az elméleti (matematikai modelleken alapuló) kutatások ismerik és alkalmazzák egymás eredményeit. Sajnos az ökológiában ezen a lényeges ponton komoly nehézségek

vannak, elsősorban azért, mert az ökológiai folyamatok többsége olyan lassú és a rendszerek olyan összetettek, hogy a kísérletezés és a terepi megfigyelések is komoly akadályokba ütköznek. Világszínvonalú terepökológiához hosszú időre, átgondolt kutatási stratégiákra és sok pénzre van szükség. Annak ellenére, hogy ma már sok helyen végeznek gondosan tervezett, hosszú távú ökológiai kísérleteket az elméleti ökológusok sokszor nem tehetnek mást, mint igyekeznek a meglévő adatokat összegyűjteni, elemezni, és ezek alapján a modellek jóslatait a terepi eredményekkel összevetni, továbbá a stratégiai modellek viselkedéséből viszonylag általános érvényű hipotéziseket megfogalmazni. A következő fejezetben néhány, a matematikai modellek támogatásával kialakított hipotézisről, illetve egy-egy olyan kutatási területről kívánok szólni, ahol a kísérleti és terepadatok matematikai modellek együttes alkalmazása vezetett új eredményekre.

Modellek, hipotézisek, ellentmondások

A modellezés egyik legfontosabb erénye, hogy a modellek alapján egyértelműen megfogalmazott feltételek mellett határozott, sokszor nagyon éles következtetéseket lehet megfogalmazni. Ilyen például a kompetitív kizáródás elve. A tápanyagforrások és a fogyasztók dinamikáját közönséges differenciálegyenletekkel leírva arra a megállapításra jutunk, hogy a stabilan egyensúlyban lévő fajok száma nem haladhatja meg a független források számát. E matematikai eredmény legizgalmasabb vonása, hogy a terepi megfigyelések egyáltalán nem támasztják alá. George Evelyn Hutchinson, az elmúlt század egyik legnagyobb ökológusa, már a negyvenes években felfigyelt arra, hogy az együtt élő fajok száma a legtöbb élőközösségben messze túlhaladja a limitáló források számát. Az elmélet és a valóság közötti ellentmondás, mint oly gyakran, rendkívül termékenyen hatott a tudomány fejlődésére.

Azóta számtalan matematikai modell és terepi megfigyelés eredményeként sokkal összetettebben látjuk ezt a kérdéskört; kiderült, hogy az adott élőközösségtől függően igen sokféle, a fajok együttélését fenntartó mechanizmus képzelhető el. Például, ha a tápanyagforrások vagy (belső dinamikai okok miatt) a populációdensitások fluktuálnak, esetleg az élőlények túlélése külső hatások miatt időnként lecsökken, akkor a tartósan együtt élő fajok száma meghaladhatja a független források számát. Matematikai modellek segítségével sikerült kimutatni azt is, hogy a fitoplankton élőközösségekben az áramló víz kaotikus keveredése² is hozzájárulhat a versengő fajok együttéléséhez. Annak következtében, hogy a keveredés hatására a tápanyagforrás és a fogyasztók is egy fraktál mentén mozognak, a tápanyagfelvétel a kis denzitású fogyasztó számára rendkívül hatékony lesz. Ennek következtében a kevésbé hatékony kompetitor gyorsabban fog szaporodni, mint a hatékonyabbak, ha elég kis denzitásban van jelen (például Károlyi et al., 2000; Scheuring et al., 2003). A fitoplankton esetében a herbivóroknak (a fitoplankton fogyasztó zooplankton) az élőközösség szabályozásában általában nincs jelentős szerepe, de számos más közösségben maga ragadózó vagy valamilyen parazit az, aki a versengő fajokat egyensúlyban tartja, növelve ezzel a közösség fajgazdagságát. Ezen a ponton átléphetünk egy másik szövevényes területre: a táplálékhálózatok témakörébe.

Miközben a fajok kapcsolatát elsősorban a forrásokért való versengésként fogtuk fel, elhallgattuk azt a nyilvánvaló tény, hogy heterotróf fogyasztók esetén a források maguk is élőlények. Egy-egy élőközösség akár több száz fajból álló táplálkozási hálózatot alkot. Számos, távlatilag „életbevágóan fontos” kér-

dés tehető fel a táplálékhálózatokkal kapcsolatban: Milyen topológiai és dinamikai tulajdonságokkal rendelkeznek ezek a hálózatok, vannak-e általános érvényű jellegzetességeik? Hogyan épülnek föl és mennyire stabilak a külső zavarokkal szemben? Robert May korszakalkotó könyvében (May, 1974) az ilyen általános problémák megközelítéséhez használt stratégiai modellek segítségével számos kiindulópontként használható megállapítást tett. Kimutatta például, hogy a táplálékhálózat komplexitásának növelésével a modellezett hálózat stabilitása csökken. Akárcsak a kompetitív kizáródás elve esetén ez a következtetés sincs igazán összhangban a terepi megfigyelésekkel. Tehát a modellek lényeges ponton élnek túlzott egyszerűsítésekkel. A valósághoz jobban közelítő matematikai modellek vizsgálatának eredményeként néhány éve arra hívták fel a figyelmet, hogy a táplálékhálózatban lévő néhány gyenge kölcsönhatás³ jelentősen fokozhatja a hálózat stabilitását (McCann – Hastings, 1997; McCann et al., 1998). Bár e sorok írója saját kutatásai alapján kételkedik az iménti megállapítások általánosságában, íme egy újabb elméleti eredmény, melynek jelentős szemléletformáló ereje volt az utóbbi években.

Eddig olyan kutatásokról tettünk említést, ahol a modellezés meglepő, a megfigyelésekkel ellentmondó eredményei sarkalták mind az elméleti, mind a terepbiológusokat az adott kérdéskör mélyreható tanulmányozására. Vannak esetek, amikor a rendelkezésre álló adatok elemzése a modellezési ismeretekkel társulva hoznak létre érdekes felfedezéseket. Az ökológiai rendszerekre jellemző nemlineáris kölcsönhatások ered-

² Kaotikus keveredés esetén a vízben mozgó részecskék pályája kaotikus, bár a sebességtér az idő folyamatosan változó függvénye (ellentétben a turbulens áramlásokkal). A keveredés erős, de nem tökéletes.

³ Két faj akkor van trofikus kölcsönhatásban, ha az egyik fogyasztja a másikat. Annak erősségét leggyakrabban az egységnyi idő alatt felvett és leadott biomasza mennyiségével szokták definiálni. A hatás akkor tekinthető gyengének, ha az adott populáció többi trofikus kölcsönhatásánál sokkal kisebb.

ményeként a populációk denzitása gyakran ciklikusan változik. Matematikai modellek segítségével megmutatható, hogy ha a populáció növekedését nem az aktuális táplálékmenyiség határozza meg, hanem a populáció demográfiai szerkezete, akkor a ciklus periódusa rövidebb lesz, mint olyan populációknál, ahol a növekedést egy forrás limitálja. Ezt az eredményt és a meglévő terepi adatokat felhasználva nemrégiben kimutatták, hogy a generalista (sok független forrást kiaknázni képes) fajok dinamikai szempontból úgy viselkednek, mintha egyetlen, a táplálékhálózatból kiemelt fajt vizsgálnánk, a specialisták viszont hosszabb periódussal fluktuálnak. Tehát a generalisták csak gyengén csatolódnak a táplálékhálózatba, ezzel szemben a specialisták a forrásokhoz erősen csatolódva alkotnak rendszert (Murdoch et al., 2002). Lehet, hogy ennek alapján a nagyméretű táplálékhálózatok elemzése is egyszerűbbé válik? Vajon szélesebb adatbázist figyelembe véve, illetve nem-ciklikus esetekben is lehet-e hasonló megkülönböztetést tenni a generalisták és a specialisták között? Ezek egyelőre nyitott kérdések, de biztos vagyok benne, hogy nem kell sokáig vámi a válaszokra.

Modellek és adatok

Ahogy a gyümölcsmuslica a genetikusok egyik kedvelt kísérleti élőlénye, úgy az elméleti ökológusoknak is vannak kedvelt kísérleti rendszereik. Fontos, hogy a vizsgálandó közösség kevés fajtól álljon, könnyű legyen azokat laboratóriumi körülmények között tartani, és rövidek legyenek a generációs idők. Ilyen szempontból ideálisak a planktonközösségek és bizonyos rovarok is. (Például a fitoplankton-zooplankton közösségekben a plankton denzitások ciklikusságát az akvárium színének ciklikus változása azonnal jelzi.) Az egyik legnépszerűbb laboratóriumi rovar a *Tribolium castaneum* (lisztbogár). Egy amerikai csoport lassan

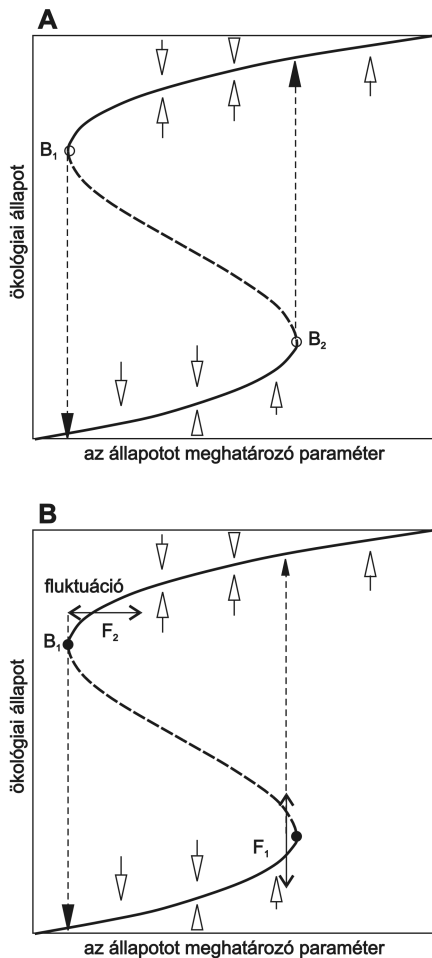
egy évtizede tart ilyen rovarokat ellenőrzött körülmények között. Folyamatosan mérik a populáció demográfiai adatait, és nagyon átgondolt modellépítéssel próbálják a populáció dinamikáját minél pontosabban leírni (Dennis et al., 2001). Részletes, de mégsem túlzottan bonyolult modelljük nagyon szépen illeszkedik a mérésekhez. Ráadásul, a modell jóslataival teljes összhangban, az imágók halálozási rátájának változtatásával igen sokféle dinamikai viselkedést elő lehetett idézni. Például, nagyon nagy halálozási ráták esetén a populáció egyedszáma kaotikusan változik.

Az elméleti ökológusokat a hetvenes évek eleje óta intenzíven érdekli, hogy az ökológiai rendszerekben mennyire jellemző a kaotikus viselkedés. Bár a populációdinamikai, ökológiai modellek sokaságában mutatták ki a káosz jelenlétét bizonyos paramétertartományokban, a lisztbogár talán az egyetlen meggyőző kísérleti bizonyíték arra, hogy (legalábbis mesterséges körülmények között) a káosz a populációk lehetséges dinamikai állapota. A meglévő számos, de igen rövid populációs adatsor viszont nem igazán alkalmas e kérdés megválaszolására. Arról nem is beszélve, hogy sokváltozós, zajos dinamikai rendszerekben alacsonydimenziós determinisztikus káoszlól⁴ beszélni értelmetlen. Ezért az adatsorokból újabban inkább azt próbálják meg kideríteni, hogy a mögötte lévő dinamikai rendszer mennyire érzékeny a zajra, milyen erős a rendszerben periodicitás stb. (Turchin, 2003). Ezek a kutatások felhívják a figyelmet arra, hogy még a legegyszerűbb stratégiai modelleknek is figyelembe kell venniük, hogy az ökológiában jellemzően nemlineáris kapcsolatok vannak, ahol a külső és belső hatások zajos jellege nem elhanyagolható.

⁴ A káosz kifejezést olyan teljesen determinisztikus rendszerekben megfigyelhető szabálytalan mozgásra alkalmazzák, ahol a független változók száma (azaz a rendszer dimenziója) nem több, mint hat vagy mondjuk tizenkettő.

Folytonos leromlás, növekvő fluktuációk, hirtelen katasztrófák

Az átlagos éves középhőmérséklet, a szén-dioxid-koncentráció növekedése, a talaj pH-jának csökkenése, a természetes élőhelyek feldarabolódása egyaránt az emberi hatások okozta folyamatok. De a természetes szukcesszió hatására is lassú folytonos változások mennek végbe a mikroklimában és a biotikus feltételekben is. Vajon ezek a változások hasonlóan lassú és megjósolható deformációkat okoznak az ökológiai rendszerekben, vagy eredményezhetnek igen gyors katasztrófális változásokat is? A kérdés korántsem akadémikus, de a megalapozott válaszhoz szükség van a modellezők stratégiai modelljeire. Az imént hangsúlyozott nemlineáris kölcsönhatások miatt könnyen előfordulhat, hogy egy ökológiai rendszernek több alternatív stabil egyensúlyi állapota van. Megfigyelhető ez a jelenség például egy olyan ökológiai rendszer matematikai modelljében, ahol valamilyen rovar fogyasztja egy erdő lombját, és a rovarokat egy állandó egyedszámú, aktív keresőképpel rendelkező ragadozó fogyasztja. A lombkorona biomasszája a lassan változó paraméter a modellben. Az 1. a ábra egy ilyen rendszer stabil és instabil állapotait mutatja be valamilyen lassan változó külső paraméter függvényében. Látható, hogy egy adott paramétertartományban a rendszernek két stabil egyensúlyi állapota is lehet. E két állapot vonzó tartományát egy instabil állapot választja el egymástól (szaggatott vonal). A paraméter növelésével az ökológiai állapot folytonosan változik, mígnem elérkezünk a B_1 bifurkációs ponthoz, ahol hirtelen ugrik át a másik stabil állapotba. Érdeemes hangsúlyozni, hogy semmi sem jelzi előre azt, hogy a rendszer közeledik a bifurkációs ponthoz! Viszont, ha vissza szeretnénk vezetni a rendszert az eredeti állapotba, akkor a környezeti



1. ábra • Az egyensúlyi állapotok az ökológiai rendszer valamilyen paraméterének függvényében. A stabil állapotokat folytonos, az instabil szaggatott vonallal jelöltük. **a)** Ha a paraméter változása során a rendszer eléri a B_1 (B_2) bifurkációs pontot, akkor az átugrik a másik stabil állapotba. **b)** A bifurkációs pont közelében, az ökológiai állapot fluktuációjának hatására (F_1), a két stabil állapotot elválasztó instabil állapot átlépve jut el a rendszer az alternatív stabil állapotba. Az állapotot meghatározó paraméterek megnövekedett fluktuációja (F_2) is vezethet bifurkációhoz.

változó értékét csökkenteni kell, egészen addig, míg a B_2 pontba jutunk. A rendszerben hiszterézis van, azaz az eredeti állapot visszaállításához nem elégséges, ha környezeti paramétereket az eredeti szintre állítjuk vissza. A bifurkációs pont felé közeledve a stabil állapot vonzó tartománya egyre szűkül, tehát a természetes fluktuációk az ökológiai rendszerben egyre nagyobb eséllyel okozhatnak drámai változásokat. A rendszer a másik stabil állapotba ugrik át, ha az ökológiai állapot annyira fluktuál, hogy az instabil állapoton átjutva a másik stabil állapot vonzáskörébe jut (*1. b ábra, F_1 pont*). Nemcsak a folytonos környezeti változások, hanem a megváltozott viszonyok miatt megnövekedett fluktuációk is okozhatnak katasztrofális változásokat (*1. b ábra, F_2 pont*). Természetesen ezek csupán a matematikai modellekből származó megállapítások, de a megfigyelések alátámasztják őket. A már említett erdő-rovar-rovarevő rendszerben közismert példák vannak arra, hogy a lombozat növekedésével a rovarok egyedszáma lassan, majd egy kritikus értéket elérve ugrásszerűen növekszik (gradáció). A gradációt a tápnövény letarolása miatt egyedszámcsökkenés követi, és a ciklus kezdődik előlről. Több sekély tóban az eutrofizáció is gyaníthatóan hasonló jelenség. Ha a bevitt tápanyagmennyiség eléri egy kritikus értéket, a tóban hirtelen szaporodnak el bizonyos algák, vagy a hínárállomány tömege növekszik ugrásszerűen (ez persze csak az 1-2 méter mély tavakban fordul elő). Ettől a tó mélyebb részére nem jut el elég napfény. Ezért az ott élő fotoszintetizáló élőlények többsége kipusztulhat, majd az őket fogyasztó állatok is eltűnhetnek a tóból. Az eredetihez hasonló fajkészletű állapot visszaállításához gyakran a kritikus értéknél jóval alacsonyabb tápanyagbevitelre van szükség (Scheffer et al., 2001). Tehát a hiszterézis egyértelműen megfigyelhető.

Összefoglalás

A természettudományok a matematika nyelvén íródnak. Természetesen az ökológia ebből a szempontból sem kivétel, bár a folyamatok matematikai modellezése egyelőre szerényebb sikereket képes felmutatni, mint az élettelen természettudományok. Véleményem szerint ennek legalább három oka van: egyrészt a vizsgálat tárgya rendkívül összetett, másrészt a kísérletezés és terepi adatgyűjtés is számos nehézségbe ütközik, harmadrészt ez a tudományterület rengeteg új matematikai módszer kifejlesztését is igényli.

A nehézségek ellenére a fejlett statisztikai eljárások mellett a matematikai modellalkotás alapvető és egyre nagyobb fontosságú részét képezi a biológiának és ezen belül az ökológiai kutatásoknak is. Természetesen hazánkban is vannak kutatók, akik kifejezetten ökológiai modellezéssel foglalkoznak. Ilyen jellegű kutatások elsősorban, az ELTE Növényrendszertani és Ökológiai Tanszékén, a Genetika Tanszékén, a Fizikai Biológia Tanszékén, a Vácrátóti Botanikai Intézetben és a KLTE Ökológiai Tanszékén folynak. Bár csupán tucatnyi szakemberről van szó, túlzás nélkül állítható, hogy a magyar elméleti ökológiai iskola eredményeivel nevet szerzett a tudományos világban. A sikerek hátterében egyértelműen ott található néhai Juhász-Nagy Pál (pl. Juhász-Nagy, 1986), akinek szellemi hagyatéka és személyes varázsa máig érezhetően éltető ereje az ökológiai modellezőknek.

Köszönetnyilvánítás

A szerzőt az OTKA 032423-as és a 037726-os számú pályázata, valamint a Bolyai János kutatói ösztöndíj támogatja. Köszönöm Bartha Sándor, Jordán Ferenc és Pásztor Erzsébet kritikai észrevételeit, javaslatait.

Kulcsszavak: *komplexitás, nemlineáris dinamika, populáció, sztochasztikus folyamatok*

IRODALOM

- Dennis, Brian – Deshamais, R. – Cushing, J. M. – Henson, S. M. – Costantino, R. F. (2001). Estimating Chaos and Complex Dynamics in an Insect Population. *Ecological Monographs*. **71**, 277-303
- Juhász-Nagy Pál (1986). *Egy operatív ökológia hiánya, szükségszerűsége és feladatai*. Akadémiai, Budapest
- Kingsland, Sharon E. (1995). *Modelling Nature*. The University of Chicago Press, Chicago
- Károlyi György – Péntek Á. – Scheuring I. – Tél T. – Toroczka Z. (2000). Open Chaotic Flow: The Physics of Species Coexistence. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. **97**, 13661-13665
- May, Robert M. (1994). *Stability And Complexity in Model Ecosystems*. Princeton University Press, Princeton, USA (Second Edition)
- McCann, Kevin – Hastings, Alan (1997). Re-Evaluating the Omnivory-Stability Relationship in Food Webs. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B*. **264**, 1249-1254
- McCann, Kevin – Hastings, Alan – Huxel, Gary R. (1998). Weak Trophic Interactions and the Balance of Nature. *Nature*. **395**, 794-798
- Murdoch, William W. – Kendall, B. E. – Nisbet, R. M. – Briggs, C. J. – Mccauley, E. – Bolser, R. (2002). Single-Species Models for Many Species Food Webs. *Nature*. **417**, 541-543
- Scheffer, Marten – Carpenter, S. – Foley, J. A. – Folke, C. – Walker, B. (2001). Catastrophic Shifts in Ecosystems. *Nature*. **413**, 591-596
- Scheuring István – Károlyi Gy. – Tél T. – Torockai Z. (2003). Competing Populations in Flows with Chaotic Mixing. *Theoretical Population Biology*. **6**, 77-90
- Turchin Peter (2003). *Complex Population Dynamics: A Theoretical/Empirical Synthesis*. Princetone University Press, Princeton



ZÁRÓ GLOBÁLIS GONDOLATOK

Vida Gábor

az MTA rendes tagja, kutatóprofesszor

MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete – vidag@botanika.hu

A 20. század számos nagyszerű felfedezése között látszólag szerényen húzódik meg Vlagyimir Vernadskij (angolosan írva Vernadsky) bioszféra fogalma (1926). Földünk külső burkának néhány kilométer vastag szilárd, folyékony és gáz halmazállapotú étellel teli rétegeiben anyagciklusok mozognak egy roppant bonyolult rendszerben, melynek mi is tevékeny részesei vagyunk. Vernadskij bioszféra koncepciója a nyugati világ előtt csak halála (1945) után lett közismert, jórészt az amerikai G. Evelyn Hutchinsonnak, a 20. század egyik legnagyobb ökológusának köszönhetően. A bioszféra szintű jelenségek iránti érdeklődés azonban csak a bioszférából történő kilépési lehetőségeinkkel, az űrutazás első próbálkozásaival lett jelentősebb.

A tudományt ritkán lendítette előre kimondottan szubjektív nem „tudományos” megfigyelés. Mégis, ilyen volt az asztronauták lelkes, sőt döbbenetes beszámolója Földünk szépségéről az űrből vagy a Hold felszínéről nézve. Egy szerencsétlenül megghiúsult holdraszállási kísérlet tapasztalatai (Apollo 13) ezen túl igen fontos, könnyen belátható üzenetet is jelentettek. A leszállókabinba zsúfolódott űrhajósok küzdelme az oxigénért, az elviselhető hőmérsékletért, saját vizelettüktől való megszabadulásért az űrben izolált kabinban arra figyelmeztet minket, hogy Földünk is véges kiterjedésű, s az eddig oly természetesnek vett levegő, víz, talaj és az élővilág sérülékeny, nem fogyasztható, szennyezhető tetszőleges mértékben.

Földünk is egy űrhajóhoz hasonlítható, melynek gyakorlatilag zárt anyagi rendszerében az élő és az élettelen világ csodálatos rendszere, annak megfelelő működése a mi létfeltételünk. Nem véletlenül kezdi Eugene P. Odum népszerű ökológiakönyvét (Odum, 1997) az Apollo 13 történetének elemzésével. A hatvanas évektől meginduló, s egyre intenzívebb műholdas földmegfigyelések (TIROS, Nimbus, Landsat stb. sorozatok) mind tökéletesebb és specializáltabb információkkal szolgáltak. Ezeket kiegészítve a földi megfigyelésekkel egyre komplexebb, izgalmasabb, de korántsem megnyugtató kép rajzolódik ki bioszféránk helyzetéről, működéséről és változási tendenciáiról.

Földünk valamivel több mint 4,5 milliárd éves történetének kutatása is fontos eredményeket hozott, melyek szerencsére magyar nyelvű könyvekben is olvashatók (Pálffy, 2000; Vida, 2001; Mészáros, 2001). A múlt eseményeinek értékeléséből kiemelkedő annak felismerése, hogy az élővilág milyen fontos szerepet játszott bolygónk mai légkörének kialakításában, klímájának szabályozásában, biológiailag elviselhető feltételeinek fenntartásában, globális katasztrófák (például aszteroidbecsapódás) utáni regenerálásban stb. Mindezek mögött pozitív és negatív visszacsatolási mechanizmusok rendszerei ismerhetők fel. Ezek ismeretében tűnik kritikusnak az emberiség utóbbi néhány száz évben véghezvitt, s azóta is exponenciálisan növekvő természetátalakító tevékenysége, melynek során a bioszféra

jelentős részében (szárazföldön kb. 40 %-ban) az anyagforgalom tekintetében közel egyensúlyi ökoszisztémákat hosszabb távon fenntarthatatlan agrár- és urbánrendszerekre cserélte le. Ennek következménye már globális hatásaiban is észlelhető és mérhető.

A *global change* ma még sokak számára inkább érdekes mint veszélyes folyamatnak tűnik. Ennek oka, hogy a szélsőségesebb időjárás, a globális melegedés, az élővilág szegényedése, pusztulása, a fokozódó UV-B sugárzás, a termőtalaj pusztulása, vizeink elszennyeződése mind oly fokozatosan, számunkra alig észrevehetően történik, hogy ezáltal nem válnak igazán hírtévkükké, s hozzászokva hajlamosak vagyunk elfogadni őket. Pedig a mérések egyértelműek. A légkör CO₂ tartalmát például 270 ppm-ről mára már 370-re emeltük, s még ha minden állam betartaná a Kiotói Egyezmény szerinti mérsékelt CO₂-kibocsátást, akkor is tovább nőne ez a szint, s vele Földünk felszínének hőmérséklete. Az élővilág reakciója máris jól mérhető. Camille Parmesan és Gary Yoke (2003) 1700 különféle élőlény elterjedési adatait elemezve megállapították, hogy e fajok átlag 6,1 kilométert nyomulnak előre évtizedenként a sarkvidék irányába – már ahol nem áll útjukban átjárhatatlan természetes vagy mesterséges akadály. A változás egyes mediterrán fajok megjelenésével, hegyvidéki-alhavas reliktum fajaink gyérülésével, kipusztulásával a magyar flórában és faunában is észlelhető.

Bioszféraünk változásának monitorozása világszerte folyik földön, föld alatt, vizekben, levegőben és az úrból is. A tudományok szinte valamennyi területének van keresnivalója e témában. A nagy földi rendszer működésének kibogozása, megértése még messze van. A rendszer elemeinek hatásai, kölcsönhatásai tudományterületeket ívelnek át, s a nagy szintézis szokatlanul nehéz feladat. Ahogy az egyik legjobb próbálkozás szerzője írja (Smil 2002): „Szintéziseket nem lehet hosszú enciklopédia formájában írni, s bár-

mennyire is szeretnénk élni az élet ezemi részleteinek mély, magabiztos megértését, ez meghaladja bármelyikünk képességét. Ilyen veszélyekkel jár a nem-redukcionista közelítés, melynek várható jutalma másrészt némi új perspektíva lehet.” (p. viii)

Az ökológiai kutatások e kötetben vázolt célja e nagy bioszférarendszer egy-egy részproblémájának megfejtése, megértése azzal a távolabbi céllal, hogy valamikor valaki be tudja majd építeni szintézisébe, s ezáltal feltehetőleg hozzájárult korunk nagy problémájának, a fenntarthatóság mikéntjének kidolgozásához. E kérdéskör legnehezebb eleme azonban kívül esik a természettudományok körén. Bioszféraünk meghatározó eleme lett az ember (lásd Takács-Sánta, 2003 nagyszerű szintézisét), annak minden társadalmi, politikai, gazdasági, etikai eszméivel s ezek hatásaival. Megdőbbszentő az a rövidlátó szemlélet, ami például a gazdasági élet mai globalizálódó irányzatát jellemzi különösen a bioszféra és a gazdasági rendszer viszonyában. A fenntarthatatlansági diagnózis már formálódik, a megoldás mikéntje azonban még alig (Kerekes, 2003; Kocsis, 2002). A probléma pedig akut, mivel a korábbi ígéretes világkonferencia-sorozat (Stockholm 1972, Rio de Janeiro 1992) Johannesburgban (2002) úgy tűnik, megszakadt. A bioszféra-ember relációban nem következett be a várt paradigmaváltás. Az ember anyagi jólétét továbbra is az első helyre téve a minket éltető bioszféra működőképességét károsítjuk, s valamivel hosszabb távon ez rajtunk csattan. 6-8 milliárd ember nem élhet tartósan amerikai fogyasztói szinten. A nem növekvő fogyasztásra alapozott gazdasági rendszer pedig még nagyon távoli elképzelés.

Mit tehet a tudomány a megoldás érdekében? A problémák feltárása, a minél pontosabb diagnózis az első lépés, mely még úgy-ahogy megy a hagyományos redukcionista közelítéssel is. A megoldáshoz azonban mindenképp más módszerek

kellenek, mivel az összefüggések megértése nélkül – ahogy a szólásmondás tartja – a jó szándékkal kikövezett úton haladhatunk a pokol felé. A tudomány mai helyzete komoly tudósokat aggaszt, egyesek már az emberiség közeli végőráját jóslják. (Rees, 2003; vesd össze Brownlee, 2003). Alapos korrekt szintézisre van szükség. Ugyanakkor a szintézis jellegű tudományos tevékenység korántsem „kifizetődő” a scientometriával terhelt versenyfutásban. Azt sem tarthatjuk előnynek a támogatás megszerzésében, hogy a kutatás eredménye nem egy embercsoport

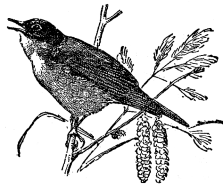
érdekeltségét szolgálja, hanem az emberiség egészének fennmaradását segíti elő. A tudományok minden területének összefogásával kellene keresnünk a nagyléptékű, hosszú távú megoldásokat egy másféle világ megtervezésében, melyben az emberek nem versenytársaik, hanem segítőtársaik egymásnak, saanyagjavak megszerzését nem mások rovására, hanem velük megosztásban tűzik ki célul, a szellemi javak prioritása után.

Kulcsszavak: *bioszféra ökológia, fenntarthatóság*

IRODALOM

- Brownlee, Don (2003). A Walk to the Gallows. Could Scientific Advances Be Hastening the End of the World? *Nature*. **423**: 803-804
- Kerekes Sándor (2003): A fenntartható fejlődés és a felelős gondolkodás. In: Czippán Katalin (szerk.) *Helyzetkép a fenntarthatóságról a hazai felsőoktatásban*. Környezeti Nevelési és Kommunikációs Programiroda, 8-14
- Kocsis Tamás (2002): *Gyökereink. Örömről és gazdagságról egy világméretű fogyasztói társadalomban*. Kairosz, Budapest
- Mészáros Emő (2001): *A Föld rövid története*. Vince, Bp.
- Odum, Eugene P. (1997): *Ecology. A Bridge Between Science and Society*. Sinauer Ass., Inc. Sunderland, Mass.

- Parmesan, Camille – Yohe, Gary (2003): A Globally Coherent Fingerprint of Climate Change Impacts across Natural Systems. *Nature*. **421**, 37-42
- Pálfy József (2000): *Kihaltak és túlélők*. Vince, Budapest
- Rees, Martin (2003): *Our Final Century: Will the Human Race Survive the Twenty-First Century?* William Heinemann, UK
- Smil, Vaclav (2002): *The Earth's Biosphere. Evolution, Dynamics and Change*. The MIT Press, Cambridge Mass., London
- Takács-Sánta András (2003): *The Major Transitions in the History of Human Transformation of the Biosphere*. Kézirat
- Vida Gábor (2001): *Helyünk a bioszférában*. Typotex, Budapest



Tanulmány

JELTOVÁBBÍTÁSI TERÁPIA – ÚJ IRÁNYOK A MODERN GYÓGYSZERKUTATÁSBAN (KOMMUNIKÁCIÓS ZAVAROK A BETEGSÉGEK MOLEKULÁRIS MECHANIZMUSAINAK HÁTTERÉBEN)

Kéri György

MTA doktora, tudományos tanácsadó, egyetemi tanár
Semmelweis Egyetem, MTA Peptidbiokémiai Kutatócsoport – Keri@puskin.sote.hu

Mi a jeltovábbítási terápia?

Az elmúlt években a molekuláris biológia és a fehérjekémia eredményeire építve alapvető áttörés következett be a legfontosabb betegségek molekuláris mechanizmusainak megismerésében, és ezek az eredmények új perspektívákat nyitottak a gyógyítás számára is. A hagyományos gyógyszerkutatói stratégiák *random* hatóanyag kipróbálására illetve különböző eredetű hatóanyagok optimalizálására épültek, a betegséget, illetve a szervezetet többnyire fekete dobozként kezelve. Ma már egyre nagyobb teret nyer a molekuláris betegség-mechanizmuson alapuló gyógyszerkutatás, melynek során a beazonosított és molekuláris biológiai módszerekkel igazolt „betegségokozó” célmolekulák (többnyire fehérjék) ellen történik célzott hatóanyagkeresés. Az ismert célmolekulák legnagyobb része a jeltovábbításban, azaz a sejtek közötti kommunikációban vesz részt, ezért vált a jeltovábbítási terápia fogalma a biotechnológia és a modern gyógyszerkutatás kulcsfogalmává.

A jeltovábbítási terápia (meghonosodott angol kifejezéssel: szignál-transzdukciós terápia) koncepciója szerint a patológiás állapotok jelentős része, így a daganatos betegségek, a különböző gyulladások, de az érlelmeszesedés és a neuro-degeneratív betegségek bizonyos típusainak hátterében is jeltovábbítási probléma, például *fals* proliferációs jelek állnak (Levitzy, 1994). Az elmúlt évek kutatásai nyomán világossá vált, hogy bizonyos jelátviteli utak kóros működése – az ebben involvált gének és fehérjemolekulák különböző eredetű defektusai révén – a legkülönbözőbb patológiás állapotok kóroktanában játszanak meghatározó szerepet (Kéri–Tóth, 2002). Ezen kórállapotok közös jellemzője, hogy a hibásan működő átviteli egységek, például a legfontosabb jeltovábbítási mechanizmusnak tekinthető foszforilációt végző kináz enzimek „hibás” jeleket generálnak. Ezek a fehérjék gyógyszerfejlesztési célpontoknak tekinthetők, s abban az esetben, amikor a betegség-mechanizmus hátterében a fehérjemolekula kóros működése igazolható, „validált célmolekuláról”

beszélünk. A humán genom projekt után a „post-genomikus” érában egyre több ilyen szerkezetileg és működésében jól leírt terápiás célpont ismert, s várhatóan egyre több válik ismertté már a közeljövőben. A humán genom kb. 32 ezer génjéhez az előrejelzések szerint kb. 250-300 ezer fehérje tartozik, amelyek transzkripció, illetve translációs reguláció és poszt-transzlációs modifikáció révén jönnek létre (jelátviteli hatás!). Figyelemreméltó, hogy e fehérjék kb. 20-25 %-a vesz részt a jelátvitelben. A molekuláris pathomechanizmusok szempontjából fontos adat még, hogy a jelenleg forgalomban lévő gyógyszerek kb. 280 gén produktumára (az általuk kódolt fehérjére) hatnak, miközben a becslések szerint legalább 8 ezer gén produktuma lehet betegségokozó. Az előbbieket szerint a kapcsolódó fehérjék száma ennek legalább tízszerese, és ezek jelentős része a jeltovábbításban vesz részt. A jeltovábbítási terápia tehát igen komoly terápiás perspektívát jelent annak ismeretében, hogy bizonyos kitüntetett szignálok számos megbetegedésben dokumentáltan sebességmeghatározó szerepet visznek, illetve bizonyos proliferációs jelek mint „túlélési faktorok” jelennek meg.

A koncepció sikerét fémjelzi, hogy 2001 májusában rekord sebességgel került törzkönyvezésre az USA-ban egy, a krónikus myeloid leukémiában (CML) szenvedő betegek daganatsejtjeiben mutáció nyomán megjelenő fehérje (BCR-ABL kiméra kináz enzim) gátlószere. Ez a gyógyszer a „szignál-transzdukciós terápia” eszköztárában az általános klinikai gyakorlatba bevezetett első gyógyszer, és a valaha előállított legsikeresebb rákellenes gyógyszer, 90 %-os CML hatékonysággal. Ugyanakkor jelenleg közel kétszáz szignál-transzdukciót gátló molekula van világszerte a klinikai fejlesztés különböző fázisaiban, ami egyértelműen mutatja, hogy a szignál-transzdukciós terápia ma a modern gyógyszerkutatás frontvonalát jelenti.

(A klinikai fejlesztési fázisban lévő anyagok között szerepel az egyik általunk előállított PDGF-RTK gátló molekula, mely amerikai fejlesztésben klinika III. fázisig jutott, míg egy antitumor somatostatin analógunk hazai fejlesztésben klinika II. fázisban van). (Kéri et al., 1996; Strawn et al., 1996)

A jeltovábbítási terápia és a sejtszintű kommunikáció

A jeltovábbítási terápia tehát a sejtszintű kommunikációban előforduló hibás jelek kijavítását célozza, a fogalmak tisztázása érdekében azonban felmerül a kérdés, hogy mennyiben nevezhetjük kommunikációnak a sejtek közötti és sejten belüli jeltovábbítást. A jeltovábbítás ugyanis nem azonos a kommunikációval, de amikor sejtek közötti jeltovábbításról beszélünk, ez alatt egyértelműen egyfajta kommunikációt értünk. A kommunikáció fogalma ugyanakkor ma már nagyon széleskörűen használt és nem egyértelmű fogalom. A kommunikáció fogalma a latin *communare* szóból ered, ami azt jelenti: közössé tenni. Tehát a kommunikáció mai szóhasználattal az információ közössé tételét jelenti, valóban közössé tenni valamit viszont csak kölcsönhatás során lehet. A kommunikáció fogalma a társadalomtudományokból került át a természettudományokba, illetve a biológiába, és számos, nem kellően tisztázott fogalom kapcsolódik hozzá. A telekommunikáció vagy például az irodalom mint kommunikáció nyilvánvalóan nem tekinthető kitérítendő interaktív jelátadásnak, ugyanakkor a jeltovábbítási terápia szempontjából a sejtek közötti kommunikáción egy olyan interaktív, sőt kooperatív jelátadási folyamatot értünk, amely molekuláris vagy sejtes választ indukál. A sejtet folyamatosan rengeteg olyan molekuláris kölcsönhatás (információ) éri, ami a jel-zaj viszony szempontjából csak zajnak tekinthető, illetve ami jel, de nem indukál sejtválaszt, azaz

nem tekinthető interaktív kommunikációnak. Egy kommunikációs rendszer akkor működik jól, ha a rendszer elemei között tiszta kommunikáció zajlik, ha a közösséget információ valós és releváns, és ha a rendszer egyedei összehangolt célorientált választ produkálnak.

Fölmerül a kérdés, hogy mi a jelentősége az élő rendszerek szempontjából ennek az ún. kooperatív interaktív kommunikációnak? *Az élet alapmotívuma a kapcsolat, a kölcsönhatás.* Ha egy sejtet kivesszünk a környezetéből és egyedül tápfolyadékba tesz-szük, hiába kap meg minden tápanyagot, elpusztul. Vannak bizonyos molekuláris biológiai technikák amelyekkel az egyedül álló sejt is életben tartható, de általában egy bizonyos mennyiségű sejtet együtt kell kitennünk az edénybe ahhoz, hogy életképes populáció (sejtkultúra) alakuljon ki belőlük. Ha általánosságban nézzük az élő rendszereket, világossá válik, hogy kommunikáció nélkül nincs élet, az élet lényegéhez tartozik a kölcsönhatás, az interakció, és ez bizonyos szinten elvezet egészen az evolúció fogalmáig, ami azonban már messze túlmutat ennek a cikknek a témáján. Azt azonban leszögezhetjük, hogy az élet ökoszisztémás rendszerben zajlik, és a különböző szintű rendszerek fennmaradásának és „fejlődésének” alapja (a fejlődés fogalmát most nem részletezve egyelőre maradjunk a komplexitás növekedésénél) a rendszeren belüli és rendszerek közötti interaktív kooperatív kölcsönhatás, azaz az interaktív kommunikáció.

Rendszerbiológia (Systems biology)

Az utóbbi időkben a biológia és az orvostudomány különböző területein is előtérbe kerül a rendszer-biológiai szemlélet (Hood – Galas, 2003), ami a molekuláris patomechanizmusok és a jeltovábbítási terápia szemszögéből is új szemléletet és stratégiákat jelenthet. Ezen szemlélet szerint az élővilágot és azon belül például az egyes

organizmusokat különböző szintű komplex rendszereknek kell tekinteni, és az egyes rendszerekben rendszerszintű szabályozás zajlik, ami föltételezi, hogy az egyes rendszerekben minden egyednek funkciója van és létezik egy rendszerterv. Az egyed (jelen esetben a sejt) tehát az összetett jeltovábbítási rendszerek (interaktív kommunikáció) révén érzékeli az egész rendszer állapotát, és itt már eljutunk egyfajta holografikus, illetve holisztikus szemlélethez (a biológiai rendszerekben a holografikus szemlélet az információ tárolás holografikus elméletéből származik) amit egy taoista mondás is jól érzékeltet: „A tengerben benne van a csepp, és a cseppben benne van a tenger.”

Mindezek alapján a jeltovábbítási terápiát helyesebb volna kommunikációs terápiának hívni, de sajnos ma már a *signal transduction therapy* fogalma lett elfogadott a nemzetközi szakirodalomban.

Ha a sejtek közötti kommunikáció fogalmát tárgyaljuk – hangúlyozva, hogy ezen kommunikáció zavarai vezethetnek betegségekhez –, tisztázunk kell, hogy milyen alapon tekintjük egy soksejtű szervezet sejtjeit kommunikációra képes egyedeknek. Bizonyos szemléletes és didaktív felfogás szerint a soksejtű szervezet egy jól szervezett *sejttársadalomként* fogható fel, ahol – amennyiben a rendszer egészséges – mindenki tudja és teszi a dolgát, szükségletei szerint részesedik és képességei szerint dolgozik, de nincs diktatúra, csak tiszta kommunikáció. Mit nevezünk tiszta kommunikációnak? A tiszta kommunikáció fogalmilag valós és releváns információk átadását jelenti, az emberi társadalomban ez az „igazat szól, és azt komolyan gondolja” kategóriája, az angol úgy mondja: „*you mean it*”. A sejttársadalomban ha a rendszer egészséges, tiszta kommunikáció zajlik. Például ha az idegsejteknek cukorra van szükségük, és nincs elég cukor a vérben, akkor ezt közvetítő molekulákon keresztül jelzik az emésztőrendszerek és a májnak, és ez az üzenet valós, és

csak addig áll fenn, amíg valóban szükség van rá. Amikor a sejtek a külső üzeneteket egymás között kis csatornákon továbbadják, ugyanazt az információt adják tovább, amit kaptak, vagy ha sejtosztódásra van szükség, ezek az üzenetek is valóságosak, és ha már nincs rá szükség, egy másik, szintén a valódi helyzetet tükröző üzenet például a kontakt hatások révén leállítja az osztódási üzenetet.

A baj mindig akkor kezdődik, amikor a rendszerben *hamis kommunikáció* jelenik meg. Egy normál sejt a szervezetben csak akkor osztódik, ha erre a rendszerből üzenetet kap (növekedési faktorok vagy például extracelluláris mátrix proteinek közvetítésével), a tumorsejt, illetve például számos proliferációs körképben, illetve gyulladásos folyamatban részt vevő sejt ugyanakkor mimikálja ezt az üzenetet, azaz hamis kommunikációt végez. A kérdés az, hogy mitől kezd egy vagy több sejt hamisan kommunikálni. Sokféle külső, illetve belső hatás vezethet a sejt, illetve a sejtek hibás működéséhez, ronthatja el, illetve zavarhatja meg a sejtek egy csoportjának kommunikációs rendszerét. Ha azonban a rendszer jó „kommunikációs állapotban” van, jól működik az immunrendszer, a hormonális rendszer, a kontakt hatások, a differenciációt indukáló faktorok stb., akkor a hamis üzenetet mimikáló vagy generáló sejtet a rendszer eliminálja, és nem fejlődik ki a patológiás állapot. A jeltovábbítási terápia célja a rendszer tiszta kommunikációs állapotának helyreállítása, amit elsősorban a hamis jelek gátlásával igyekszik megvalósítani, másrészt bizonyos „pozitív” jelek stimulálásával, például immun stimulánsok, neuromodulátorok, hormonok révén is elérhető a remélt egyensúlyi állapot.

Sejtkommunikáció és programozott sejthalál

Atisztán kommunikáló, egészséges rendszerben (sejttársadalomban) a sejtek odafigyelnek és vigyáznak egymásra, ugyanakkor az

egyedi sejt maximálisan védi a rendszert, és képes önmagát is föláldozni a rendszer védelmében. Ha a sejt sérül, vagy sérülés miatt a környezetből hamis üzenetet kap, a környező sejtek és a szervezet egésze számos molekuláris kommunikációval próbálja őt segíteni abban, hogy a hiba ellenére is elláthassa feladatát, azaz „küldetését”, mint például differenciált vesesejt vagy májsejt. Ugyanakkor, ha a sejt súlyosabb károsodást szenved például genomális szinten, ezt bizonyos sejten belüli fehérjék, például a p53 jelű fehérje érzékeli, és bekapcsolja először a javító mechanizmusokat, az ún. „*repair*” rendszert”, ha ez nem elég, leállítja a sejtosztódást, és ha ez sem elég bekapcsolja a programozott sejthalált, hogy a hibás sejt ne szaporodjon, ne lehessen veszélyes a rendszerre. A tumorsejt ugyanakkor éppen úgy válik rosszindulatú daganatsejtté, hogy miközben hamis osztódási jelet generál, a folyamatos osztódás során begyűjti azokat a mutációkat, amelyek életképessé teszik egy őt kordában tartani igyekvő rendszerrel és kommunikációs közeggel szemben. A tumorsejt negatív evolúciójához szükség van a programozott sejthalál kikapcsolására, amit részben újabb hamis kommunikációval, részben mutációk begyűjtésével ér el. Érdekes módon hasonló mechanizmusokkal operál a vírussal fertőzött sejt is. A vírus ugyanis miközben megszállja és átprogramozza a gazdasejt kommunikációs rendszerét – hogy ezentúl már ne elkötelezett differenciált funkciót ellátó sejt legyen, hanem víruskiszolgáló sejt –, arra is vigyáz, hogy a sejt regisztrálva a behatolót és a génállomány sérülését, ne gyilkolhassa meg önmagát, ne haljon meg programozott sejthalállal. A vírus az uralma alá vont jeltovábbítási mechanizmusok alkalmazásával kikapcsolja a gazdasejt halálprogramját.

Külön érdekesség, hogy a sejttöngyilkosság ezzel a speciális programozott sejthalállal történik, aminek rendszerszempontból az az indoka, hogy a sejtpusztulás során nem keletkezik hulla,

nem keletkezik bomlástermék, káros anyagok. Tehát a programozott sejthalál az inter- és intracelluláris kommunikációs rendszerek fontos végpontja, ami például a tumor és a vírusos betegségek esetében indukálendő, viszont más típusú betegségek, például bizonyos gyulladáshoz vezető neurodegeneratív betegségek esetén a kommunikációs rendellenesség miatt bekapcsolt programozott sejthalál kikapcsolása a cél.

Racionális gyógyszertervezés a jeltovábbítási terápiában

A jeltovábbítási terápia szorosan összekapcsolódik és ráépül a modern gyógyszerkutatás legfontosabb technológiáira, az úgynevezett racionális hatóanyagtervezésre, ugyanakkor ezzel összefüggésben a modern gyógyszerkutatás legfontosabb irányává a jeltovábbítási terápia megközelítése vált. Racionális hatóanyagtervezés alatt korábban elsősorban a célmolekula fehérje háromdimenziós szerkezete alapján történő hatóanyagmolekula-tervezést értették, manapság azonban ez a fogalom a modern gyógyszertervezés teljes folyamatát takarja, mely magába foglalja a molekuláris patomechanizmus ismeretében történő célmolekula-kiválasztást, a célmolekula validálását, a strukturális biológia, a molekulamodellezés, a szerkezet-hatás összefüggések vizsgálata, illetve farmakofor modell alapján történő hatóanyag kiválasztást és a hatástani, illetve farmakológiai optimalizációt.

A jeltovábbítási terápia szempontjából kulcskérdés a célmolekula-kiválasztás és validálás (Courtneidge – Plowman, 1998).

A jelenleg ismert molekuláris patomechanizmusok több mint 80 %-a jeltovábbítási zavarokra vezethető vissza, és az ezek alapján beazonosított folyamat-, vagy sebesség-meghatározó célmolekulák döntő része is a jeltovábbítás területére esik (Kéri – Tóth, 2002). A célmolekula kiválasztása során az egyik legáltalánosabb technika a normál és a patológiás sejt összehasonlítása gén- illetve

proteinszinten (funkcionális genomika illetve proteomika) (Hanash, 2003). A célmolekula jeltovábbítási terápia szempontjából történő validálása különböző molekuláris biológiai módszerekkel (például domináns negatív mutáns, *knockout* egér, receptor kimerák), illetve kémiai módszerekkel történik (például az általunk kifejlesztett kinázgátló validációs molekulakönyvtár). A célmolekula ellen történő hatóanyag kutatás (vezető-molekula kiválasztás) történhet *random* molekulakönyvtárak nagy hatékonyságú tesztelésével (HTS), a szerkezeti biológia módszereire épülő, a fehérje 3D szerkezete alapján történő molekulatervezéssel és ligand alapú kvantitatív szerkezet-hatás összefüggések vizsgálatára épülő farmakofor modellezéssel. A farmakofor modell alapján virtuális tesztelés – szintézis – tesztelés – modellbe illesztés iterációs ciklusokkal fejeződik be a vezető molekula kiválasztása, amit a racionális hatóanyagtervezés utolsó fázisaként farmakológiai és az ún. ADME paraméterek (Adsorbtion, Desorbtion, Metabolism, Excretion) szerinti optimalizáció követ.

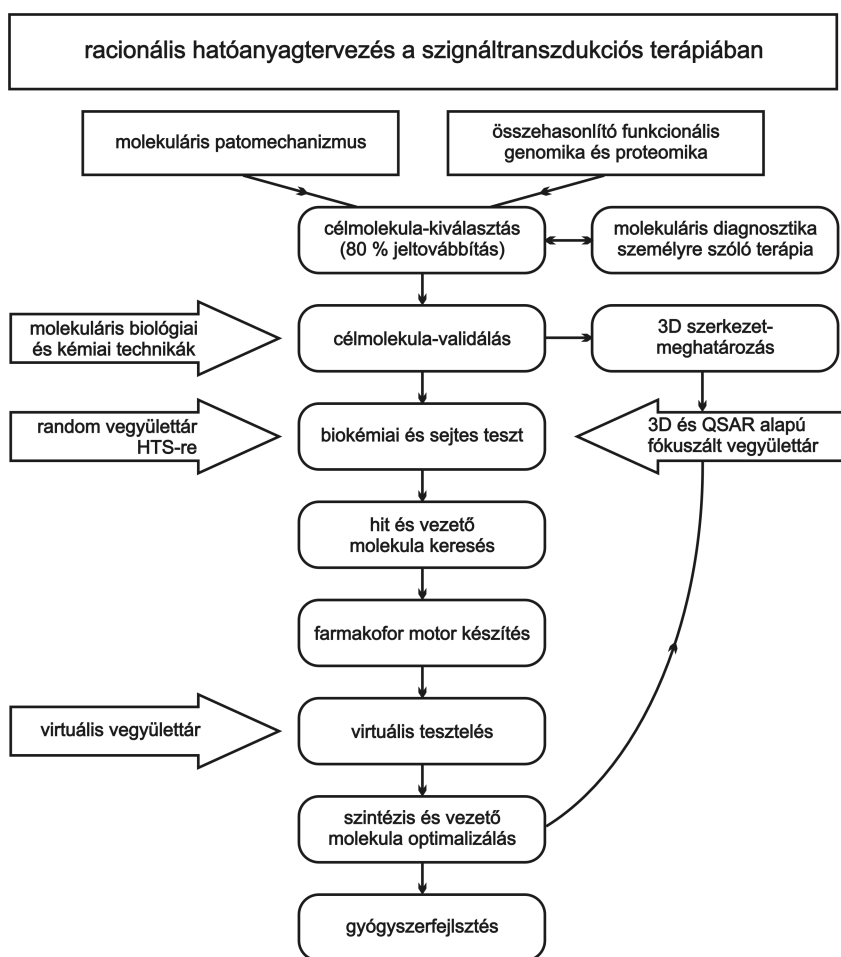
A jeltovábbítási terápia gyógyszertervezési koncepcióját mutatja az 1. ábra.

Bináris kód és fehérjekonformáció-változás a jeltovábbításban

A jeltovábbítási terápia legfontosabb célmolekulái az úgynevezett G-protein kapcsolt receptorok (GPCR) és a kináz enzimek. A GPCR-ok elsősorban hormonok, neurotranszmitterek és immun-mediátorok (citokinek) receptorainak jeleit közvetítik. Ligand hatására guanozin trifoszfátot (GTP-t) köt a fehérje, ami aztán GDP-vé hidrolizál, és közben a fehérje konformációja megváltozik. A kinázok foszforilező enzimek, amelyek elsősorban a tirozin, threonin, illetve a szerin nevű aminosavakra visznek rá egy foszfátcsoportot, aminek következtében specifikus módon megváltozik a fehérje konformációja, és ily módon az aktivitása, illetve a kölcsönhatások módja. Tehát a fosz-

forilezés a jeltovábbítás egyik legalapvetőbb mechanizmusa a sejtben, mely egyfajta bináris kódként jelenik meg, de hatása ennél sokkal összetettebb, a reguláció finoman modulált konformációváltozások sorozatán keresztül történik. A jeltovábbítási hatások ugyanis elsősorban a fehérjék konformációváltozásai, illetve az ezekhez kötött biokémiai reakciók révén érvényesülnek, így például a foszforilezés igen-nem bináris kódjára (egy-egy fehérje ugyanakkor több helyen is foszforilezhető) egy, a konformációválto-

zásokon keresztül érvényesülő érzékenyen modulált, többféle hatást integráló jeltovábbítási rendszer szuperponálódik. (Teague, 2003) A fehérjéknek ezt az úgynevezett biológiailag aktív konformációját számos celluláris kölcsönhatás befolyásolja, és a jeltovábbítás fontos eleme a jel kikapcsolása, vagyis egy másik energetikailag stabil, de biológiailag, illetve jeltovábbítás szempontjából nem aktív fehérjekonformáció visszaállítása, például amikor a foszfatázok kikapcsolják a kinázok jeleit.



1. ábra

Ugyanakkor bizonyos erősebb hatásokra, illetve kölcsönhatások nyomán a fehérjék olyan irreverzibilis konformációváltozáson mennek keresztül, hogy nem képesek többé felvenni valamelyik jeltovábbításra alkalmas natív konformációt. Ezekkel a behatásokkal szemben az ún. chaperonok vagy hőszokkfehérjék védik a fehérjéket, ezért ezeknek a hőszokkfehérjéknek fontos szerepük van a jeltovábbításban, és fontos terápiás célpontokat is jelentenek, a jelek fenntartása, illetve például a hamis onkogenikus jelek gátlása szempontjából is.

Jeltovábbítási hálózatok és szelektivitás

A jeltovábbítási mechanizmusok a sejtek szintjén nemcsak azért összetettek, mert egy-egy fehérje nemcsak bináris kódot közvetít, hanem a fehérjék maguk is egy komplex hálózatot alkotnak, ahol a bejövő jelek bizonyos konstellációja, illetve aránya szükséges a kimenő jel vagy továbbmenő jel létrejöttéhez. (Tucker et al., 2001) A *neurális hálózatok* mintáihoz hasonló jeltovábbítási hálózatokat találunk a sejtekben, és a patológiás állapot megismeréséhez, illetve a jeltovábbítási terápiához alapvetően szükség van ezen jeltovábbítási hálózatok, illetve a sebességmeghatározó folyamatok, azaz a validált célmolekulák beazonosításához.

Egy adott sejtet csak például mitogenikus hatás szempontjából többszáz féle jel érhet el a környezetéből (növekedési faktorok, differenciációt indukáló faktorok, homonok, citokinek, parakrin regulátorok, extracelluláris mátrix proteinek, membránból szekretált mediátorok stb.), és ezen jelek a rendszer szempontjából specifikus üzenetté a jeltovábbítási *network* szelekciós szűrője miatt válnak. A jeltovábbítási terápia keretében egy adott patomechanizmus esetében (például tumor vagy vírussal fertőzött sejt) a normál és a patológiás sejt összehasonlítása során több száz gén eltérő expresszióját találjuk, az eltérő fehérjék száma pedig ennek még többszöröse. A patológiás és az egészséges

sejt összehasonlításában az egyes fehérjék, illetve enzimek aktivitása is eltérő lehet, ami az úgynevezett proteomikai vizsgálatokat még komplikáltabbá teszi. Ugyanakkor a jeltovábbítási terápia szempontjából az a cél, hogy kiválasszuk azokat a fehérjéket, illetve enzimeket, amelyek gátlása révén a kóros jeltovábbítási hálózat összeomlik (McCormick, 1999).

Alapvető kérdés, hogy egy adott jeltovábbítási enzim – mely mondjuk overexpresszáldóva vagy megváltozott aktivitással van jelen a patológiás sejtben – gátlása megfelelő gyógyszer-hatóanyag molekulával hogyan fogja befolyásolni a normál sejt jeltovábbítási mechanizmusát, mennyire lesznek egy ilyen anyagnak kóros mellékhatásai. Az elmúlt évek jeltovábbítási anyagokkal végzett klinikai kísérletei alátámasztották azt a korábban megfogalmazott tételt, miszerint a hamisan kommunikáló sejt nagy mértékben függ a saját „alap-hazugságától”, azaz jelfüggő, és ezen alapjelek (úgynevezett túlélési faktorok) gátlása a patológiás sejt pusztulásához vezet, például a korábban már említett programozott sejtihalál révén. A normál sejtekben egy adott jeltovábbítási enzim gátlása nem vezet pusztuláshoz, mert a rendszer más elemei átveszik a szerepét. Tehát a jeltovábbítási terápia egyik nehézsége: a *network*-szerű jeltovábbítás a célmolekula-kiválasztást nehezíti, de a szelektivitás és a káros mellékhatások szempontjából előnyt jelent.

A sejt-kommunikáció holografikus elmélete

A sejt-kommunikáció holografikus elmélete az információátvitel, illetve a memória holografikus elméletéből ered. Az információ-tárolás molekuláris mechanizmusa a mai napig nem teljesen tisztázott, és a szinaptikus plaszticitás, valamint a holografikus elmélet a legáltalánosabban elfogadott elméletek közé tartozik. A holografikus elmélet szerint az információátvitel során az egyedi sejt (elektromágneses hullámok

és sejt-sejt kölcsönhatások révén) érzékeli az egész agy ingerületi mintázatát, és így bizonyos egyedi idegsejtekben egy adott állapotban leképződik az egész agy ingerületi mintázata, és innen elő is hívható – mint a holografikus képen, ahol a hologram egy elemében benne van az egész képe. Újabb feltételezések szerint az egész szervezet sejtjei közötti kommunikációs rendszerben is érvényesül az elektromágneses hullámok révén való kommunikáció és a holografikus elv, ami új prespektívákat nyit a rendszer biológiai szemlélete előtt. Ugyanakkor ez az elmélet – amennyiben igazolható a jeltovábbítási terápia szempontjából is – számos dolgot, illetve stratégiát átértékel, hiszen a patológiás szempontból fontos hamis jelek beazonosítására ebben az esetben nem elegendő a normál és patológiás sejtek genomális szintű összehasonlítása. Ugyanakkor, a feltételezések szerint az elektromágneses hullámok a proteinek szintjén avatkoznának be a jeltovábbítási mechanizmusokba, tehát proteomszinten érdemes követni a normál és a patológiás sejt közötti különbséget.

Molekuláris diagnosztika és személyre szabott terápia

A jeltovábbítási terápia egyik legfontosabb kérdése, hogy megállapítsuk az adott beteg esetében mi a hamis jel, és a jövő perspektívája az, hogy minél több ilyen beazonosított jelle legyen szelektív gátlószertünk. A molekuláris diagnosztika legújabb iránya az egyénre szabott terápia keretében arra törekszik, hogy például a daganatok és érrendszeri betegségek kialakulását és progresszióját kísérő jelátviteli utakat DNS-chip és proteinchip technológiával feltérképezze, és ezáltal elősegítse a daganatok molekuláris diagnózisát, prognózisát és az individuális terápiás terv kialakítását. A vizsgálatosorozat lehetővé teszi, hogy a daganatokat a jelátviteli mintázat alapján alcsoportokba soroljuk, és új terápiás célpontokat

azonosítsunk. Lehetőség nyílik a daganatok és érrendszeri betegségek terápiás érzékenységének predikciójára és új terápiás célpontok azonosítására (Huang et al., 2003). Jelenlegi becslések szerint ugyan a kb. 32 ezer génünkhöz transzkripció, transláció és posttranszlációs modifikációk révén kb. 2-300 ezer protein tartozik, ugyanakkor farmakológiai szempontból jelenlegi becslések szerint kb. 10 ezer a terápiás szempontból célba vehető gyógyszer-célpont. Ezeknek kb. 22 %-a a jeltovábbítás szempontjából meghatározó jelentőségű kináz enzim, azaz közel 2000 kináz lehet terápiás célpont. Ugyanakkor körülbelül 500 kináz génünk van, tehát a génextpressziós vizsgálatokhoz, amennyiben például elsősorban a hamis jelek szempontjából meghatározó jelentőségű kináz enzimekre koncentrálnunk, elegendő néhány száz kináz gén expresszióját vizsgálnunk. Ezekben a vizsgálatokban tehát nem várható új jeltovábbítási gén beazonosítása, hisz ismert génekre vizsgálunk, viszont adott tumortípusokra jellemző jeltovábbítási mintázatok és így bizonyos célmolekula-kombinációk azonosítása várható. Mivel a sejtekben *network*-szerű jeltovábbítás zajlik, a célmolekula kombinációk beazonosítása gyógyszertervezési szempontból is fontos, ugyanakkor az egyénre szabott terápia szempontjából a megfelelő hatóanyag koktéll összeállítását teszi lehetővé. Ehhez persze az kell, hogy minél több ilyen célmolekula ellen legyen hatékony gyógyszerünk.

Molekuláris patomechanizmusok a jeltovábbítási terápiához

Az elmúlt évek során számos fontos betegség molekuláris patomechanizmusáról sikertült fontos ismereteket begyűjtenünk, ami a jeltovábbítási terápia szempontjából fontos célmolekulák beazonosítását tette lehetővé, és új kutatási irányokat nyitott meg. Például a rák molekuláris mechanizmusa alapjaiban ma már elég jól ismert. Mint arról korábban

már szó volt, mai ismereteink szerint a rosszindulatú daganatsejtek kialakulása többlépcsős folyamat következménye, mely egyrészt genomális változások sorozatára (többek közt bizonyos onkogének aktivációjára, illetve szupresszor gének inaktivációjára), másrészt az intercelluláris kommunikációs rendszer rendellenes működésére vezethető vissza. (Hunter, 1999) Az onkogének különböző hatásokra bekövetkező aktivációja és a tumor szupresszor gének inaktivációja folyamatos proliferációs jelet generálnak, és kiiktatják, illetve gátolják a sejtciklust kontrolláló fehérjék működését. Számos vezető onkológus véleménye szerint a rák igen hatékony gyógyítása hamarosan valóra válhatna, ha a világ megfelelő pénzügyi erőforrásokkal támogatná a feltételezett 100-as nagyságrendű legfontosabb jeltovábbítási célmolekula beazonosítását és specifikus hatóanyag kifejlesztését. Ebben a feltételezett ideális scenárióban a beteget egyénre szabott terápiával kezelnék, melynek során a beteg tumorszövetéből, illetve az esetleges biomarker keringési faktorokból beazonosítanák a tumor meghatározó proliferációs jelét (túlélési faktort), és ezt, illetve esetleg néhány ilyen jelet kombinációban kellene gátolni specifikus jeltovábbítást gátló anyaggal.

A másik legfontosabb népbetegség az atherosclerosis, szövődményei az összes haláloknak mintegy a felét teszik ki. Régebben úgy gondolták, hogy az atherosclerosis a koleszterin és más lipidek lerakódásával kezdődik a verőér falában, többnyire a vér emelkedett lipidszintjének eredményeképpen. Jelenlegi ismereteink szerint úgy tűnik, hogy a lipidinfiltráció csak másodlagos szerepet játszik az atherogenezisben, és az elsődleges irritáló faktor az atheromatosus plakkok képződésében a simaizomsejtek proliferációja az intimában. Az elektronmikroszkópos vizsgálatok alátámasztják ezt az elképzelést, megmutatva, hogy az intima simaizomsejtjeinek proliferációja a legkorábbi atherosclerotikus elváltozás. A

keringő vérből makrofágok vándorolnak az intimába, utána lipidek rakódnak le az izomsejtekben és makrofágokban, kialakítva az egyszerű atheromatózus plakkot. Később lipidek, kollagén, rugalmas rostok és proteoglikánok rakódnak le az extracelluláris térben. Vérzés, nekrozis és meszesedés a még későbbi stádiumokban keletkezik. A simaizomsejtek proliferációja egy elsődleges proliferatív folyamat, amelyben egyetlen sejt kontroll nélkül szaporodik (monoklonális hipotézis). Az érfal struktúráját a növekedési faktorok egy csoportja befolyásolja. E faktorok egymással is kölcsönhatásba léphetnek, fiziológias körülmények között ezek irányítják az érfal normál szerkezetének kialakulását. Ugyanezek a faktorok működnek közre, sőt indukálni is képesek azoknak a drámai mértékű strukturális és funkcionális változásoknak a kialakulását, amelyek egyes patológias folyamatok, például vénás trombózisok, az atherosclerosis vagy a hipertónia során lépnak fel.

A legutóbbi időkben bizonyos bakteriális, illetve vírusos betegségek is a jeltovábbítási terápia hatókörébe kerültek. A fertőző, illetve a vírusos betegségek esetében például a vírusok átprogramozzák a gazdasejt jeltovábbítási útjait, arra kényszerítve ezzel a sejtet, hogy a vírus életciklusát szolgálja. Ezeknek a jeltovábbítási utaknak az azonosítása teljesen új utat nyit hatékony vírusellenes szerek kifejlesztésére, mivel a hagyományos vírusellenes szerek elől a vírusok mutációkkal ki tudnak térni, de a gazdasejttel való kommunikálás gátlása révén a vírus elveszti életterét, illetve önreprodukciós lehetőségét.

A jeltovábbítási terápia fontos területe a neurodegeneratív rendellenességek, a kapcsolódó kórképek és ezek összetett mechanizmusai, mivel a központi idegrendszeri betegségek során, például az epilepszia és a skizofrénia esetében is, a sejtek közötti kommunikációs rendellenességek vezetnek a betegség kialakulásához, amelyek részben persze örökölt

vagy szerzett génhibákra, illetve genomális rendellenességekre vezethetők vissza. Az Alzheimer-kór esetében szintén egyrészt gyulladáso reakciók, másrészt sejtek közötti kommunikációs rendellenességek vezetnek az idegsejtekre lerakódó és a sejteket pusztító amiloid plakkok kialakulásához.

A fájdalom mechanizmusának vizsgálata során előtérbe került a neurogén gyulladás mechanizmusa, ami egy önerősítő ciklusban vezet súlyos kórképek kialakulásához. A különböző, például mechanikus okokra visszavezethető fájdalomérzet során az érző idegvégződésekből felszabaduló jeltovábbítási anyagok (neuropeptidek) gyulladást indukálnak, ami újabb fájdalmat és ez újabb gyulladást indukál. Ennek az önerősítő ciklusnak a megszakítása tehát nemcsak a tüneti kezelés és az életminőség, hanem a terápia szempontjából is nagyon fontos. Az ilyen neurogén gyulladáso mechanizmusok fontos szerepet játszanak például az artritisz, illetve az asztma kialakulásában is. Új terápiás célpont a neurogén gyulladáso mediációjának háttérében igazolt szignál-transzdukció, melyet a gyulladáso fájdalommal együtt járó, az ún. „polimodális nociceptorok” aktiválódásának hatására felszabaduló szenzoros neuropeptidek (neurokininek és CGRP) mediálnak. A gyulladáso ezt a komponensét nem-szteroid gyulladáso gátlók (NSAID), az általánosan használt ciklooxygenáz (COX)-gátlók nem befolyásolják (Helyes et al., 2001). Az általunk kifejlesztett jeltovábbítást gátló somatostatin származék viszont igen hatékony neurogén gyulladáso gátló molekulának bizonyult, és jelenleg klinikai fejlesztés alatt áll (Helyes et al., 2001). A gyulladáso gátló kezelés és az antiproliferatív mechanizmus kapcsolátát ma már kísérletes és klinikai adatok is igazolják, miszerint COX-2 gátló vegyületek számos daganatos sejtípusban hatékony apoptózis induktorok, és a vastagbélrák prevenciójában is szerepet kaphatnak.

Az itt vázolt molekuláris patomechanizmusok alapján számos célmolekula vált be-

azonosíthatóvá, s ellenük remélhetően hamarosan új hatóanyagok kerülnek kifejlesztésre.

Konklúzió

A jeltovábbítási terápia koncepciója szerint betegségeink nagy részének háttérében intra- és intercelluláris (és rendszerszemlélet alapján nyilván intra- és interperszonális), jeltovábbítási zavarok, kommunikációs rendellenességek állnak. Az előzőekben áttekin tettem a jeltovábbítási terápia legfontosabb fogalmait, a sejt- és rendszerszintű kommunikációval, a sejtársadalom működésével és a programozott sejthalállal kapcsolatos fogalmakat. Ismertettem a jeltovábbítási terápia racionális hatóanyagtervezési koncepcióját és a molekuláris diagnosztika és az egyénre szabott terápia elvét, valamint a rák, az érlelmeszesedés és a neurogén gyulladáso molekuláris patomechanizmusát. Összefoglalva hangsúlyozni szeretném, hogy bár a jeltovábbítási terápia ma világszerte az érdeklődés középpontjába került, nem egy alapvetően új koncepcióról van szó, csupán a molekuláris patomechanizmusok megismerése nyomán új terápiás célpontok (célmolekulák) azonosításáról és egy másfajta rendszerszemlélet alkalmazásáról, aminek a lényege, hogy az ökoszisztémás rendszer megzavart, illetve felbomlott egyensúlyi állapotát a hibás jelek gátlásával, esetleg „pozitív”, funkcionális jelek stimulálásával állítsuk helyre. Kicsit fellengzős megfogalmazással a jeltovábbítási terápia az ágyú helyett üzenet koncepcióját érvényesíti, a hamis üzenetek gátlását és a tiszta kommunikáció megvalósítását igyekszik elérni a rendszer egyensúlyának visszaállítása érdekében.

Befejezésül e gondolat jegyében egy taoista versikét szeretnék idézni:

A betegség az egység hiánya.

A betegség a Lélek magánya.

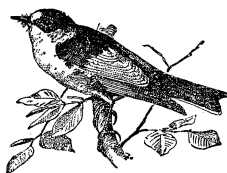
A szellem, a lélek, a test és az értelem

Egységben aranyvirágot terem.

Kulcsszavak: *jeltovábbítási terápia, racionális hatóanyag-tervezés, molekuláris pathomechanizmusok, egyénre szabott terápia, jeltovábbítási enzimek, kináz gátlók, sejttársadalom*

IRODALOM

- Courtneidge, A. Sara – Plowman, D. Greg (1997): The Discovery and Validation of New Drug Targets in Cancer. *Current Opinion in Biotechnology*. **9**, 632-636
- Hanash, Sam (2003): Disease Proteomics. *Nature* **422**, 226-232
- Helyes Zsuzsanna et al. (2001): Anti-Inflammatory Effect of Synthetic Somatostatin Analogues in the Rat. *British Journal Of Pharmacology*. **134**, 1571-1579.
- Hood, Leroy – Galas, David (2003): The Digital Code of DNA. *Nature*. **421**, 444-448
- Huang, Erich et al. (2003): Gene Expression Phenotypic Models That Predict the Activity of Oncogenic Pathways. *Nature Genetics*. **34**, 226-230
- Hunter, Tony (1997): Oncoprotein Networks. *Cell*. **88**, 333-346
- Kéri György (1998): Antitumor hatású molekulák. *Magyar Tudomány*. **9**, 1082-1090
- Kéri György et. al. (1996): Tumor-Selective Somatostatin Analog (TT-232) with Strong In Vitro and In Vivo Antitumor Activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. **93**, 12513-12518
- Kéri György – Tóth István (eds.) (2003): *Molecular Pathomechanisms and New Trends in Drug Research*. Taylor&Francis Group, London–New York
- Levitzi, Alexander (1994): Signal Transduction Therapy. A Novel Approach to Disease Management. *European Journal of Biochemistry*. **226**, 1-13
- McConnick, Frank (1999): Signalling Networks That Cause Cancer. *Trends in Genetics*. **15**, M53-20M56
- Park, Catherine C. et. al. (2000): The Influence of the Microenvironment on the Malignant Phenotype. *Molecular Medicine Today*. **6**, 324-329
- Pintér Erika et. al. (2002): Pharmacological Characterisation of the Somatostatin Analogue TT-232. *Nauyn-Schmiedebergs Archives of Pharmacology*. **366**, 142-150
- Steinberg, Daniel (2002): Atherogenesis in Perspective: Hypercholesterolemia and Inflammation as Partners Crime. *Nature Medicine*. **8**, 1211-1217
- Strawn, Laurie M. et. al. (1996): Flk-1 as a Target for Tumor Growth Inhibition. *Cancer Research*. **56**, 3540-3545
- Szende Béla – Kéri György (2003): Effect of a Novel Somatostatin Analogue Combined with Cytotoxic Drugs on Human Tumour Xenografts and Metastasis of B16 Melanoma. *British Journal of Cancer*. **13**, 132-136
- Teague, Simon J. (2003) Implications of Protein Flexibility for Drug Discovery. *Nature Reviews Drug Discovery*. **2**, 527-541
- Tucker, Chandra L. et al. (2001): Towards the Understanding of Complex Protein Networks. *Trends in Cell Biology*. **11**, **3**, 102-106
- Vogelstein, Bert et al. (2000): Surfing the P53 Network. *Nature*. **408**, 307-310



A FELSŐOKTATÁS AKKREDITÁCIÓJA FRANCIAORSZÁGBAN

Mandel Kinga

tudományos munkatárs, MTA Kisebbségkutató Intézet – mandel@mtaki.hu

1. A felsőoktatás állami irányítása

Ha a Clark-féle felsőoktatási koordinációs tengelyt tanulmányozzuk (Clark, 1983), amely aszerint sorolja az egyes országok felsőoktatási rendszerét különböző csoportokba, hogy azok mennyire vannak az állam, az akadémiai szféra vagy a piac hatása, irányítása alatt, azt mondhatjuk, hogy a Napóleon utáni időszakról kezdve a francia felsőoktatás leginkább az állami bürokráciához (state authority) állt közel, és a piac (market), valamint az akadémiai oligarchia (academic oligarchy) kevesebb befolyással volt rá. Mára azonban bizonyos elmozdulások történtek az akadémiai oligarchia irányába, amit a szerződéses politika (politique contractuelle) bevezetése is érzékeltet, és a jelenben próbálkozások történnek a piac felé történő elmozdulás tekintetében is. (Kaiser, 1993)

1.1 Előzmények

Az 1789-es francia forradalom megfosztotta az egyetemeket privilégiumaiktól, az egyetemeket irányító professzorok testületét pedig a tudományos fokozatok és címek odaítélésének monopóliumától.

Napóleon, akit a francia felsőoktatási rendszer megalapozójának tartanak, 1808-ban az egyetemi oktatást állami monopóliummá tette, de mivel érdekösséget akart megvalósítani az oktatói karral, ezért visszaadta nekik a címek és fokozatok odaítélésének ellenőrzését, de működésüket és szervezetüket szigorú hierarchikus állami irányítás alá helyezte.

Élükre általa bármikor elmozdítható vezetőt nevezett ki (Grand Maître), valamint a szintén általa kinevezett Egyetemi Tanácsot. Területi oktatási igazgatási körzeteket szervezett, tankerületeket, amelyeket akadémiáknak hívtak, ahol az általános oktatási hatáskört a rektor gyakorolta, az alárendelt tankerületi felügyelők (inspecteurs d'académie) segítségével.

A tankerületek száma Franciaországban huszonhét volt, mindegyikben két (természettudományi és bölcsészettudományi) tanárképző intézet működött.

A második császárság alatt (1851-1870) tovább erősödött az állami ellenőrzés. Az egyetemi és főiskolai tanárokat az államfő nevezte ki és mentette fel, hűségesküvet kellett tenniük a császárságra, be kellett mutatniuk oktatási programjukat, felügyelőbizottság bírálta el szakmai és politikai alkalmasságukat. A rendszer hiányosságai és szakmai elértéktelenedése a korszak vége felé egyre nyilvánvalóbbá vált. A császárság kísérletet is tett a színvonal javítására, a felállított reformbizottság javasolta az egyetemi autonómia növelését, de ez nem következett be.

1875-ben az állami és magánegyetemek professzoraiból álló bizottság ítélte oda a magánegyetemek tanulóinak a fokozatokat, ezt a rendszert azonban már 1880-ban megszüntették, a magánegyetemek tanulóinak az állami bizottság előtt kellett vizsgáznuk, ha államilag elismert diplomát akartak szerezni. (Lövetei, 1990)

A II. világháború után is csak a 60-as években érlelődött meg a strukturális változtatás

igénye az 1968-as diáklázadások eredményeképpen. Az 1960-as években az egységesítés és a demokratizálás volt az oktatáspolitikai fő célja. 1968-ban megszületett az első felsőoktatási kerettörvény, mely napjainkig szabályozza a felsőoktatást.

1.2 A felsőoktatási törvényhozás

Edgar Fauré miniszter nevét viseli az 1968. november 12-én hozott felsőoktatás-irányítási törvény (Loi d'orientation de l'enseignement supérieur), melyet egyszerűen csak Fauré-törvény néven szoktak emlegetni. E törvény során váltak a francia felsőoktatási intézmények autonóm, részvételen alapuló, multidiszciplináris intézményekké. A törvény új típusú intézményeket hozott létre – tudományos és kulturális jellegű közintézményeket (établissements publics à caractère scientifique et culturel – EPCSC), az addig létező fakultásokat pedig felcserélték az oktatási és kutatási egységekre (unités d'enseignements et de la recherche – UER).

A törvény által előírt autonómia magába foglalta:

1.) az intézményi autonómiát (az egyetemeket és azok kutatási egységeit egy választott tanács vezette, mely szabadon meghatározta az egyetem státusát),

2.) a pénzügyi autonómiát (az egyetem az államtól és más köz- vagy magánforrásból származó pénzekkel önállóan rendelkezett, szabadon állapította meg önmaga számára a költségvetését, csak utólagos pénzügyi ellenőrzés történt).

3.) az adminisztráció autonómiáját (csak jogi típusú felügyelet érvényesült, az egyetem által hozott határozatokat a felsőbb szerveknek történő továbbítása nélkül hajtották végre), és a pedagógiai autonómiát (az egyetemek maguk határozták meg az oktatás és az értékelés módozatait).

A Fauré-törvény kimondja, hogy a tudományos és kulturális jellegű közintézményeket (établissements publics à caractère

scientifique et culturel – EPCSC) rendeletileg hozza létre az Oktatási Minisztérium a Felsőoktatás és Kutatás Nemzeti Tanácsának (Conseil national de l'enseignement supérieur et de la recherche – CNESER) javaslatára. Azon oktatási és kutatási intézményeket, melyek nem közintézmények, az Akadémia (területi oktatásigazgatási egység, tankerület) rektora határozattal hozza létre. A Felsőoktatás és Kutatás Nemzeti Tanácsát (CNESER) az oktatási miniszter vezeti, tagjai az egyetemek képviselői, az egyetemektől független felsőoktatási és kutatási intézmények választott képviselői, valamint, egyharmad erejéig, nagy nemzeti érdeket képviselő külső személyiségek. E rendelkezés mindmáig érvényben maradt, csak kiegészült, illetve tovább részleteződött.

A Savary nevet viseli az 1984. január 24-én született felsőoktatási törvény (Loi sur l'enseignement supérieur), mely a második nagy reformlépést jelentette. E törvény amellett, hogy megőrizte az 1968-as törvény alapelveit, ugyanakkor egységes keretbe foglalja az egyetemeket és a főiskolákat (Grandes Écoles-okat). Célja, hogy minél inkább a külvilág felé nyisson. Megerősíti a szakmai, tudományos és kulturális jellegű közintézmények (établissements publics à caractère scientifique, culturel et professionnel – EPCSCP) létét. Azonban egyes elemzők szerint (Bob, 2001) a valóságban az egyetemek ebben az időben politikai adminisztratív problémákkal küzdenek, mely gátolja a kezdeményezések kibontakozását, és a bizottság legaktívabb elemeinek rendeli alá az intézmény vezetését. Demokratikusnak tűnő, de áldemokratikus folyamatként egy tanácsból három jön létre: adminisztratív tanács (Conseil d'Administration – CA), tudományos tanács (Conseil Scientifique – CS), valamint a tanulmányok és az egyetemi élet tanácsa (Conseil des Études et de Vie Universitaire – CEVU). A döntéshozatalnak e polarizációja az egyetem hatékonyságának csökkenéséhez veze-

tett, e törvény a részvételi követelmények érdekében feláldozta a működési hatékonyságot (Bienaymé, 1984).

E törvény megállapítja, hogy a felsőoktatás a szakmai környezettel szoros együttműködésben történik. Ily módon a mérnöki képzést megvalósító intézmények akkreditációját (habilitációját, a francia szóhasználat szerint) az Oktatási Minisztérium minisztere vagy az egyes ágazati minisztériumok minisztere végzi, a Mérnöki Címek Bizottságának (commission des titres d'ingénieurs – CTD) javaslata alapján. E bizottságot az 1934. július 10-i törvény hozta létre, a mérnöki címek odaítélésének és használatának feltételeivel foglalkozik, összetételét az Államtanács határozata szabályozza. A bizottság az egyetemek, felsőfokú intézmények, speciális felsőfokú intézmények, valamint szakmai szervezetek képviselőiből áll.

Ugyanakkor a Savary-törvény tartalmazza azt is, hogy a nemzeti oktatásért felelős minisztérium mellett létrehozta egy minisztériumok közötti bizottságot (commission interministérielle), melynek felelőssége a felsőfokú képzés feltérképezése és irányítása. Feladata, hogy információt adjon a kutatás fejlődéséről, és minden ágazatra vonatkozóan az alkalmazási és a képzési feltételekről. Ez a bizottság hagyja jóvá az egyetemi címek és titulusok akkreditációjának politikáját.

1.3 A szerződéses politika

1989. március 24-én Lionel Jospin miniszteri körlevéllel vezeti be a *szerződéses politikát* (politique contractuelle) az állam és a felsőoktatási intézmények között, mely politikát 1998-ban az új miniszter, Claude Allégre megerősíti és tovább mélyíti. E politika célja, hogy valóságos autonómiát adjon az egyetemeknek, és lehetővé tegye az állam számára, hogy betöltse fő szerepét, mely az ösztönzésben és a koherencia megvalósításában áll.

A szerződést az állam a felsőoktatási intézményekkel egy négyéves időtartamra köti.

A szerződés folyamata lehetőséget biztosít:

- az intézmények akkreditációjára (habilitációjára) a célból, hogy ezen intézmények képesek legyenek nemzeti diplomákat kibocsátani
- a doktori iskolák és a kutatócsoportok elismerésére
- a folyamatos képzés és oktatás során használt új technológiák és politikák kifejlesztésére
- az eszközök megszervezésére, beütemezésére.

A szerződéskötés lényegében egy alkufolyamat, ahol az intézményi tervek a nemzeti politikával konfrontálódnak.

Az intézményi tervek meghatározzák a stratégiai prioritásokat:

- a képzések fejlesztését és hatékonyságuk növelését
- a diákélet és ahhoz kapcsolódó tevékenységek fejlesztését: tanácsadás, a kulturális tevékenységek és a sportolás ösztönzése, a diákok szociális támogatása
- a kutatás fejlesztése és kapcsolatok teremtése a nagy kutató szervezetekkel
- partnerségi kapcsolatok politikája: területi, szakmai és nemzetközi szinten.

A szerződés tartalmazza az egyetemi élet összes területét: az oktatást, a kutatást, nemzetközi kapcsolatokat, a könyvelést, a vezetést, és érinti az oktatás összes aktorát: a hallgatókat, az előadókat, a személyzetet és a partnereket.

A szerződés által megállapodás születik az oktatás céljaira, eszközeire és módszereire vonatkozóan. Megállapodás születik a minisztérium által rendelkezésre bocsátott eszközök mértékét, valamint az egyetem által kibocsátható diplomákat illetően. Meghatározza az egyetem emberi erőforrás és gazdálkodás politikáját. A szerződésben foglalt vállalásokról az adott intézmény rendszeresen beszámol, egy, a Nemzeti Értékelési Tanácshoz (Comité National d'Évaluation – CNE) küldött jelentésben.

A szerződés által a minisztérium megelőlegezi a bizalmat az intézmények számára, miáltal bizonyos mértékű autonómiát biztosít számukra. A szerződéses politikát támogatják úgy az egyetemek, mint az egyes felsőoktatási intézmények vezetői. (Bob, 2001)

Ebben a szerződéses folyamatban több más intézmény is szerepet kap, így például a felsőoktatás és kutatás nemzeti tanácsa (Conseil national de l'enseignement supérieur et de la recherche – CNESER), és a Mémóriai Címek Bizottsága (Commission des titres d'ingénieur – CTI), melyek köztes tanácsadó szervként szolgálnak az akkreditációs folyamatban.

A szerződéses politika létrejöttében és az egyes döntéshozó vagy döntéselőkészítő testületekben a részvétel kitágításában több tényező játszott közre, köztük az alábbiak:

a.) a diákmegmozdulások

b.) a francia esélyegyenlőség-elvű oktatáspolitikai hagyománya (ami leginkább elvi szinten érvényesül)

c.) a felsőoktatás expanziója és ennek következtében az államra háruló megnövekedett anyagi terhek

d.) a „fogvasztók”, azaz a piac nyomása

Mint láthattuk az 1984-es Savary-törvény esetében, mely feláldozta az egyetemi tanács működésének hatékonyságát a szélesebb körű részvétel érdekében, az egyetemi hallgatók nagy hatalomra tettek szert a diáklázadások során, aminek következtében az egykori oktatási miniszter kénytelen volt lemondani hatalmáról.

Ugyanakkor a francia oktatáspolitiká mindenkor nagy hangsúlyt fektetett az esélyegyenlőség és méltányosság elvére, melyet nemcsak a baloldali kormányok hangsúlyoztak. Az utóbbi tizenöt év oktatáspolitikájának másik jelszava a minél több minél jobban képzett fiatal – célul tűzte ki, hogy az adott korcsoport 80 %-a elérje az érettségi szintet, és lehetőleg tovább is tanuljon. Azonban a felsőoktatás expanziója Franciaországban

is, mint más fejlett országokban, hatalmas anyagi terheket rótt az államra, mely terhek megosztását az állam a régiók bevonásával próbálja csökkenteni. (Neave, 1996)

Az állam fennhatósága alatt levő felsőoktatási intézmények nagymértékű tehetetlenségről tettek számot, nem tudtak megfelelni a piaci elvárásoknak, nyomásnak. Ez indokolja a szerződéses politika bevezetését.

A szerződéses politika célja a régiókon belüli együttműködések elősegítése felsőoktatási intézmények és partnereik között, a közösség felsőoktatás iránti felelősségének, támogatásának növelése. E célt szolgálja a nagy nemzeti érdeket képviselő külső személyiségek bevonása az egyes konzultatív jellegű szakmai szervezetek munkájába, mint amilyen a CNESER, CTI, CEPPE (Comité d'expertise pédagogique des projets d'établissements – az Intézményi Tervek Pedagógiai Szakértői Bizottsága).

2. Az akkreditáció szervezetei

Tekintettel a francia felsőoktatás komplex jellegére, az akkreditáció folyamatában nem egyetlen intézmény játszik közre. Ugyanakkor akkreditáció nemcsak az egyes intézmények vonatkozásában, hanem az egyes képzések tekintetében is történik. Az Oktatási Minisztérium akkreditálhatja az egyes magánjellegű felsőoktatási intézmények egyes képzéseit is, melyek ezáltal nemzeti oklevelek kibocsátására kapnak jogosultságot.

Általános szabályként az akkreditációt az Oktatási Minisztérium vagy az illetékes ágazati minisztérium, egy vagy több köztes szakmai szervezet ajánlására (Conseil national de l'enseignement supérieur et de la recherche – CNESER, Commission des titres d'ingénieur – CTI, comité d'expertise pédagogique des projets d'établissements – CEPPE), szerződéses úton, meghatározott időre adja az illető felsőoktatási intézmény számára.

A francia felsőoktatás sajátossága az intézményeinek pluralitásában, sokféleségében

van, mely intézmények különböznek egymástól mind céljaik, mins strukturájuk és a hozzáférhetőség (bejutás) feltételeinek tekintetében. A képzés alapvetően két intézménytípusban zajlik:

1.) Tudományos, kulturális és szakmai jellegű közintézmények (Établissements publics à caractère scientifique, culturel et professionnel – EPCSCP): egyetemek, nemzeti műszaki intézmények, egyetemen kívüli iskolák és intézmények, a nagy (speciális) intézmények (köztük Grandes Écoles-ok), a külföldön működő francia iskolák, tanárképző főiskolák (écoles normales supérieures). Ezen intézmények adminisztratív, pénzügyi, pedagógiai és tudományos jellegű autonómiával rendelkeznek.

2.) Adminisztratív jellegű közintézmények:

- melyek az EPCSCP-hez csatoltan működnek: nemzeti felsőfokú mérnökképző iskolák, a műszaki képzés nemzeti központja, a vidéki politikatudományi intézetek, a párizsi vállalatokat adminisztráló intézet, az egyetemi szintű tanárképző intézmények
- vagy
- melyek autonómak; a mérnökképző iskolák és más intézmények

A felsőoktatás közintézményei laikus jellegű, független objektív tudás létrehozására törekvő intézmények. Tisztelik a vélemények különbözőségét, a társadalmi és kulturális egyenlőtlenségek csökkentése a céljuk a felsőoktatás nyitásának, tömegesedésének megvalósítása által. Ezen intézmények az állam fennhatósága alatt állnak, mely rendelkezik a diplomák és fokozatok odaítélésének monopóliumával.

A felsőoktatás és kutatás nemzeti tanácsa (CNESER) képviseli ezen szakmai, tudományos és kulturális jellegű közintézményeket (EPCSCP), ő játszik szerepet tanácsadóként ezen intézmények akkreditációjában.

2.1 A Felsőoktatás és Kutatás Nemzeti Tanácsa (Conseil national de l'enseignement supérieur et de la recherche – CNESER)

Az 1971-ben Oliver Guichard, felsőoktatással megbízott miniszter által létrehozott CNESER az elsőrendű nemzeti felsőoktatási és kutatási tanácsadó szervezet.

A CNESER működését az oktatási törvény (Code de l'éducation) L 232-es cikkelye, az 1984-es Savary-törvény 64. cikkelye, az 1985. január 18-i rendelet, az 1989. január 2-i rendelet, az 1990. november 14-i rendelet, az 1989. október 9-i határozat és az 1994. április 13-i határozat szabályozza.

A CNESER véleményezi:

- A nemzeti diplomákat kibocsátó szakmai, tudományos és kulturális jellegű közintézmények (EPCSCP) akkreditációját
- A szakmai, tudományos és kulturális jellegű közintézmények (EPCSCP), továbbá az egyetemeken belüli vagy hozzájuk tartozó intézmények létrehozását
- A szakmai, tudományos és kulturális jellegű közintézmények (EPCSCP) program- és kreditkeréseit
- A miniszter szakmai, tudományos és kulturális közintézményekre (EPCSCP) vonatkozó rendkívüli intézkedéseit, azok jelentős működési rendellenességei vagy kötelezettségeik elhanyagolása esetén
- Az oktatási minisztériumtól függő felsőoktatási képzések kohéziójára irányuló közhatalmak által javasolt politikát
- A nemzeti diplomák (oklevelek) listáját, a címek és titulusok megszerzésének feltételeit és azok védelmét
- A felsőoktatási és kutatási képzések kínálatát
- Az összes felsőoktatással és kutatással kapcsolatos tervezetet (legyen az törvény, rendelet vagy határozattervezet)
- Az államnak az intézményekkel kötött szerződéseit, azok irányultságát
- Az eszközök szétosztását az egyes intézmények között stb.

A CNESER elnöke a felsőoktatással megbízott miniszter, de az üléseken gyakran a helyettese vesz részt. A vitákat a gyakorlatban legtöbbször a felsőoktatás igazgatóságának (Direction des Enseignements Supérieurs – DES) munkatársa vezeti.

A CNESER hatvanegy tagból áll, melyből:

- tizenegy a professzorok és e státusnak megfelelő más személyek képviselője,
- tizenegy az oktató-kutatók, oktatók és kutatók képviselője,
- egy a könyvtárak és a tudományos személyzet képviselője,
- hat az adminisztrációs, technikai, karbantartó és takarító személyzet képviselője (personnels administratifs, techniques, ouvriers et de services – ATOS),
- tizenegy a hallgatók képviselője,
- huszonegy a jelentős nemzeti érdekeket képviselő külső tag.

Ezen nemzeti érdeket képviselő tagokat a felsőoktatással megbízott miniszter határozat útján nevezi ki, közülük három a Nemzetgyűlés, a Szenátus és a Gazdasági és Társadalmi Tanács (Conseil Économique et Social) tagja, három a munkáltatók és foglalkoztatottak képviselője.

A hallgatók indirekt választás során kerülnek a bizottságba, a felsőfokú intézmények központi tanácsainak (adminisztrációs tanács – CA, tudományos tanács – CS, tanulmányok és az egyetemi élet tanácsa – CEVU) diák-képviselői választják őket. Kinevezésük két évre szól, míg a többi CNESER tagé négyéves, egyszer megújítható mandátum.

A személyzet képviselőit direkt szavazással választják a különböző testületeken belül (professzorok, docensek, könyvtárosok, adminisztratív, technikai, karbantartó és takarító személyzet). Mandátumuk négy évre szól, egyszer megújítható. Minden választott rendelkezik egy helyettesítővel, aki lemondás vagy végleges akadályoztatás esetén a mandátum lejártáig helyettesíti az illetőt.

A CNESER két bizottság formájában működik: egy állandó bizottság és egy tudományos bizottság révén. A tudományos bizottság készíti elő a kutatással, oktatással és a felsőoktatás harmadik ciklusának diplomával foglalkozó anyagokat az állandó bizottság plenáris ülései számára.

A tudományos bizottság 23 tagból áll, akik közül

- tizenkét fő az oktató-kutatók, az oktató és kutató vagy e státusoknak megfelelő más személyek képviselője,
- egy fő az adminisztrációs, karbantartó, technikai és takarító személyzet (ATOS) képviselője ,
- két fő hallgatói képviselő,
- nyolc a jelentős nemzeti érdeket képviselő külső tag, akik közül két tagot a Nemzeti Tudományos Kutatási Központ vezetője, két tagot pedig a Nemzeti Egészségügyi és Orvosi Kutatások Intézete (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale – INSERM) és az Agronómiai Kutatások Nemzeti Intézete (Institut National de la Recherche Agronomique – INRA) vezetői együtt javasolnak.

Az állandó bizottság 20 tagból áll, akik közül

- négy a professzorok vagy e státusnak megfelelő más személyek képviselője
- négy a többi oktató-kutató, oktató és kutató vagy e státusnak megfelelő más személyek képviselője,
- kettő az adminisztrációs, karbantartó, technikai és takarító személyzet (ATOS) képviselője ,
- négy hallgatói képviselő,
- hat a jelentős nemzeti érdeket képviselő külső tag.

A kvórumot, melyet minden gyűlés kezdetekor ellenőriznek, a tagok vagy azok küldötteinek a fele képezi. Abban az esetben, ha nincs meg a kvórum, és a felsőoktatásért felelős miniszter nem dönt másképpen, a nemzeti tanács érvényes döntést hozhat. Amennyiben egy tag nem tud részt venni,

felhatalmazhat egy másik tagot az ő képviselőtére, de senki sem rendelkezik egynél több meghatalmazással.

A felsőoktatással megbízott miniszter feladatai a CNESER-en belül a következők:

- legalább évente háromszor (melyből egy alkalom a költségvetés megvitatása) összehívja a nemzeti tanácsot és a bizottságokat, kitér a napirendi pontokra,
- dönt a tagok által javasolt kérdések napirendre tűzéséről (elfogadhatja vagy elutasíthatja azokat), a napirendi pontokkal kapcsolatos bizalmatlansági indítványok elfogadhatóságáról és azok napirendre tűzésének időpontjáról,
- saját kezdeményezésére vagy a bizottságok, a nemzeti tanács javaslatára meghívhat külső kompetens szakértőket (egy gyűlés alkalmával maximum hatot, például nem tag minisztériumi tisztségviselőket), akik részt vehetnek és tanácsadás céljából szót is kaphatnak.

Minden felmerülő probléma bemutatásra kerülhet, egy a miniszter által kijelölt jelentéskészítő személy által. E személy lehet a nemzeti tanács tagja, a felsőoktatásért felelős minisztérium tisztviselője, más állami testület tagja. A nemzeti tanács állandó bizottsága vagy a tudományos bizottság helyben is véleményt nyilváníthat az adott jelentéssel kapcsolatban, de ki is dolgozhat egy javaslatot az ülés ideje alatt. Ebben az esetben egy átfogó javaslatot dolgoznak ki, melyet aztán az egyes tagok kezdeményezésére cikkelyenként vitatnak meg. Az ülés elnöke maximum öt percre ad szót a felszólaló tagoknak. A nemzeti tanács tagjai megkapnak minden szükséges információt és dokumentumot a felsőoktatásért felelős minisztertől ahhoz, hogy tevékenységüket elláthassák.

A döntés szavazással történik, kézfelemeléssel vagy kétely esetén felállással. Egy-egy személy kinevezése esetében a titkos szavazás is jogszerű, adott személy kérése vagy az elnök döntése alapján rendelhető el.

A gyűlések nem publikusak, interpellációkra nincs lehetőség. Minden tag kap egy emlékeztetőt és egy jegyzőkönyvet az ülésről, mely tartalmazza a szavazatok listáját is. A felsőoktatással megbízott miniszter irodája szervezi meg a nemzeti tanács választását, irányítja a gyűléseken dolgozó adminisztratív személyzetet, a felhívások, a munkaanyagok és a jegyzőkönyvek szétküldését.

Érdekes, hogy az Egyetemi Előjárók Oktatóintézményének (Institut de Formation des Élus Universitaires) honlapján egy rövid cikk a CNESER baloldali beállítottságáról, annak baloldali felülréprezentációjáról szól.

2.2 A Mérnöki Címek Bizottsága (*Commission des titres d'ingénieur – CTI*)

A mérnöki képzés az egyetemeken, főiskolák, a nagy (speciális) felsőfokú oktatási intézmények (Grandes Écoles), felsőoktatási intézmények és iskolák keretében történik. Az állami mérnöki iskolák az Oktatási Minisztérium hatáskörébe, a Grandes Écoles-ok keretében folyó mérnöki képzés az ágazati minisztériumok alá tartoznak.

Tudományos, kulturális és szakmai jellegű közintézmények (Établissements publics à caractère scientifique, culturel et professionnel – EPCSCP): egyetemek, nemzeti műszaki intézmények, egyetemen kívüli iskolák és intézmények, a nagy (speciális) intézmények (köztiük Grandes Écoles-ok), a külföldön működő francia iskolák, tanárképző főiskolák (écoles normales supérieures).

A mérnöki címek odaítélésére alkalmas intézmények, valamint a mérnöki képzések akkreditációját az Oktatási Minisztérium vagy az illető ágazati minisztérium (mezőgazdasági, ipari, postai és telekommunikációs, védelmi) adja a Mérnöki Címek Bizottságának (CTI) javaslatára. A Mérnöki Címek Bizottságát az 1934. július 10-i törvény hozta létre.

A Mérnöki Címek Bizottsága (CTI) feladatai:

- a habilitált képzések listájának közzététele,

- a francia nyelven történő mérnöki képzések értékelése,
- a külföldi képzések akkreditációja az illető kormányok kérésére,
- az állami mérnöki oklevelek kiadásának megszervezése,
- részvétel a mérnöki képzés fejlődéséről szóló tanulmányok elkészítésében.

A Mérnöki Címek Bizottsága 16 „akadémiai” és 16 „gazdasági” tagból áll. Az akadémiai tagokat a következő személyek képviselik:

- négy fő a szakmai, tudományos és kulturális jellegű közintézményeket (EPCSCP) képviseli,
- négy fő az Oktatási Minisztérium (Ministère de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie – MENRT) által már akkreditált iskolákat képviseli,
- nyolc, tudományos kompetenciával rendelkező személy a MENRT által már akkreditált iskolákból.

A tizenhat „gazdasági” tag összetétele a következő:

- nyolc fő a munkáltatókat képviseli (6 – Mouvement des Entreprises de France – Medef, 2 – Confédération générale du patronat des petites et moyennes entreprises – CGPME),
- nyolc fő a szakszervezeteket képviseli (3 – Conseil National des Ingénieurs et des Scientifiques de France – CNISF, 1 – Confédération Général des Cadres – CGC, 1 – Confédération Française Démocratique du Travail – CFDT, 1 – Confédération Générale du Travail – CGT, 1 – Force Ouvrière – FO, 1 – Confédération Française des travailleurs Chrétiens – CFTC).

A bizottsági tagjait négy évre nevezik ki, ez a mandátum egyszer megújítható. Az elnök két évente cserélődik, a tagok egy részének cserélődésével egyidőben.

A Mérnöki Címek Bizottsága által kitűzött akkreditációs kritériumok a következők:

- a beiskolázás feladatainak és céljainak leírása,

- a képzés feltételeinek ismertetése: óra-rendek, fokozatok, oktatók, értékelés, alapozó tudományágak, mérnöki tudományok (kapcsolatok kutatóhelyekkel), környezet (gazdasági, emberi, társadalmi), nemzetközi környezet,
- az adott mérnöki diploma funkciójának pontos leírása.

Jelenleg 226 habilitált mérnöki iskola létezik, melyben 441 típusú képzés (államilag elismert diploma kibocsátására alkalmas) működik. Ezen iskolák fele az Oktatási Minisztérium (MENRT), negyede a technikai minisztériumok, negyede pedig magán vagy konzulátus fennhatósága alatt működik. A 226 iskola mellett létezik az Új Mérnöki Képzés (Nouvelles Formations d'Ingénieurs – NFI) hálózata is, hatvanöt egységgel, melyek folyamatos képzést, valamint alapképzést biztosítanak, és melyek akkreditációja szintén a Mérnöki Címek Bizottsága javaslataira történik. Az Új Mérnöki Képzés a még inkább szakosodott jellegében, valamint az elméleti és gyakorlati képzés megoszlásában különbözik a többtől.

Az akkreditálás a közintézmények esetében csupán javaslatként, a magán, és konzulátusi intézmények esetében kötelező érvényű ítélet formájában történik.

1995 óta az intézményeket (ez nem vonatkozik a képzések akkreditálására) normál esetben hat évre akkreditálják, majd ezt az akkreditálást a Mérnöki Címek Bizottsága által elvégzett értékelés alapján megújítják.

Három évre akkreditálják azokat az intézményeket, melyek helyzetét problémásnak ítélték, egy vagy két évre, melyek kifutó ágazatok. 1997-1998-ban száznegyvenkét intézmény akkreditációja történt meg, ebből száztizenegy hatéves időtartamra, huszonhárom háromévesre, nyolc intézmény egy vagy két éves időtartamra kapta az akkreditációját.

Minden magán- és közintézmény, mely létrehozott egy speciális szakmának megfe-

lelő magas színvonalú tudományos és technikai programot, kérheti a mérnöki diploma kiállítás jogának helybenhagyását.

A Mérnöki Címek Bizottságának (CTI) aktuális nehézségeit a mérnöki diplomák nemzetközi elismertetése, az iskolák elnevezése, a képzések ágak szerinti definíciója, az iskolák újracsoportosítása, valamint az iskolák objektív politikájának kialakítása képezi.

3. Várható változások

Az akkreditációs rendszer kritikáját fogalmazza meg Jacques Dejean, a felsőfokú elektronikai, elektrotechnikai és mérnöki iskola professzora az Iskolák Értékelése Legfelsőbb Tanácsának írott tanácsadói jelentésében (Dejean, 2002). Véleménye szerint a miniszter feladata az, hogy állami garanciát vállaljon az oklevelek akkreditálása során, melyeket nemzeti oklevélnek hívnak. Látszólag, azonban mindenki (egyetemiek és munkáltatók) egyetért abban, hogy a nemzeti oklevelek egyenértékűsége valótlan, a nemzeti oklevelek hierarchiába rendeződnek, melyet az egyes szakok és az egyetemek neve határoz meg. Az egyes cégek, sőt a hadsereg is rendelkezik egy besorolási listával, mely alapján a diplomásokat értékeli. A professzor felhívja a figyelmet arra, hogy az akkreditációs dossziék összeállítása a gyakorlatban nagyon esetlegesen történik, például a képzési célok meghatározása helyett a pályázó intézmények tartalmi kérdéseket vázolnak, valamint az oktatás értékelése helyett a diákok ismereteinek ellenőrzését vázolják. Ennek ellenére akkreditálják ezen intézményeket. A professzor véleménye szerint az akkreditációs tanácsadó bizottságok nem illetékesek a pedagógiai kérdésekben, és nincsenek eszközeik az értékelés elvégzéséhez. Nincs hatalmukban megtagadni akkreditáció megújítását, amit az is bizonyít, hogy 2001-ben 1780 megújítási kérelemből csupán tizennégy esetben született kedvezőtlen javaslat. Az

akkreditáló tanácsadó testületek tisztában vannak azzal, hogy nincs esély egy képzés megszüntetésére, még akkor is lehetetlen a megújítási kérelem visszautasítása, ha teljes mértékben indokolt. Ebben az esetben figyelmeztetésként egyéves akkreditációt adnak, mellyel azonban nem szüntetik meg magát a képzést. Maguk az intézmények is komolytalannak vélik az akkreditációs mechanizmust. Ugyanakkor a miniszter is tudatában van a rendszer gyengeségeinek, ahogy azt a következő kijelentése is mutatja: „megrémit, amilyen könnyedséggel habitáljuk a szakosodott felsőfokú okleveleket (DESS – Diplôme d'études supérieures spécialisées)”. A professzor javaslata az, hogy a következő követelményeket figyelembe kell venni a dossziék értékelésekor: a humán erőforrás minőségét (elsősorban az oktató személyzet számát és státusát), a munkaerőpiac szükségleteit a régióban és a képzés célját, azonos jellegű képzések létezését az adott régióban, az oktatás célját és értékelési módjait. Ugyanakkor javasolja pedagógiai szakemberek bevonását az akkreditációs tanácsadásba.

Úgy gondolom, hogy az akkreditációs kérdésekkel kapcsolatos várható változások leírása egy újabb tanulmánytárgyat képezhetné. Ezért csak a tendenciák vázlatos felvillantására merek vállalkozni. A különböző elemzésekből az akkreditációs politika változásának három tendenciája körvonalazódik:

- az állam egyre nagyobb mértékű kivonulása, a piac tényezőinek előtérbe kerülése,
- külső szakembereknek, gazdasági szereplőknek, regionális érdekek képviselőinek, más oktatási aktoroknak nagyobb mértékű bevonása a felsőoktatást érintő döntéshozatalba,
- a nemzetköziesedés hatásainak leképeződése a rendszerre, igazodás más országok oktatási rendszeréhez, esetleg részvétel egy közös európai akkreditációs politika kidolgozásában.

A szerződéses politika és finanszírozás létrejötte nagy lépést jelentett a francia oktatáspolitikában az intézmények autonómiájának, felelősségvállalásának és más társadalmi-gazdasági partnereknek a bevonását tekintve. Úgy is értelmezhetjük, mint a reform egy implicit eszközét, mely az alulról jövő kezdeményezéseket intézményesíti. Azáltal, hogy a szerződéses politika keretében az intézmények készítik el a saját terveiket, dolgozzák ki a stratégiájukat és programjukat, lehetővé válik a változó piaci igényekhez történő alkalmazkodás. A vállalás ellenében történő, teljesítmény alapú finanszírozás révén kialakult az intézmények közötti versengés az államilag jobban támogatott képzések megszerzéséért, mely a minőség javításában nagy szerepet játszik. (Neave, 1991) Azonban nem minden szerző osztja e véleményt. Alain Bienaymé a felsőfokú intézmények kiszolgáltatottságáról beszél, arról, hogy a törvényhozók szándéka ellenére a rendszer három nagy problémával küzd: lealacsonyodás, függőség, motivációhiány. Az egyetemek továbbra sem szabadok a rektor és az oktatókutató személyzet kiválasztásában, a pénzügyi források bővítésében és diverzifikálásában, a diákvétel lehetőségeinek megálapításában. Mindezen állami kötöttségek

mellett, még számos köztes intézménynek kell számot adjanak (CNSER, Commission Nationale d'Évaluation – CNE, CTI, CEPPE stb.), melynek ellenében alacsony összegű, szigorú feltételekhez kötött hiteleket kapnak (Bienaymé, 2002).

Várhatóan az egyes felsőoktatási intézmények szintjeiként és a képzési típusok szerint differenciálódott konzultatív szakmai szervezetek összevonására (CNSER, CTI, az Intézményi Tervek Pedagógiai Szakértői Bizottsága (Comité d'expertise pédagogique des projets d'établissements – CEPPE), Szakmai Licenzek Nemzeti Szakértői Bizottsága) kerül sor a közeljövőben. Ugyanis a habilitációban szerepet játszó szakmai szervezetek feldaraboltsága átláthatatlanná teszi a képzések rendszerét a szakértők és döntéshozók számára is.

A különböző nemzetközi szerződések (Sorbonne 1998, Bologna 1999, Prága 2001) a felsőoktatás nemzetköziesedését vonják maguk után, melynek következtében a külföldi modellek nagyobb figyelemben részesülnek, visszaszorul a felsőoktatás túlzott szakosodása.

Kulcsszavak: akkreditáció, akkreditációs szervezetek, felsőoktatás, felsőoktatási törvények, Franciaország, szerződéses politika

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE:

ATOS – Administratífs, techniques, ouvriers et de services (Adminisztrációs, karbantartó, technikai és takarító személyzet)
 BEP – Brevet d'études professionnelles (Szakmai tanulmányok oklevele)
 BTS – Brevet de technicien supérieur (Felsőfokú technikai oklevél)
 CA – Conseil d'Administration (Adminisztratív Tanács)
 CAP – Certificat d'aptitude professionnelle (Szakmai képesség bizonyítványa)
 CEPPE – Comité d'expertise pédagogique des projets d'établissements (Intézményi Tervek Pedagógiai Szakértői Bizottsága)
 CEVU – Conseil des Études et de Vie Universitaire (A Tanulmányok és az Egyetemi Élet Tanácsa)
 CFDT – Confédération Française Démocratique du Travail (Demokratikus Munka Francia Szövet-

sége)
 CFTC – Confédération Française des Travailleurs Chrétiens (Keresztény Dolgozók Francia Szövetsége)
 CGC – Confédération Générale des Cadres (Alkalmazottak Szövetsége)
 CGPME – Confédération générale du patronat des petites et moyennes entreprises (Kis- és Középvállalatok Vezetőinek Egyesülete)
 CGT – Confédération Générale du Travail (Általános Munkaszövetség)
 CNE – Comité National d'Évaluation (Nemzeti Értékelési Tanács)
 CNESER – Conseil national de l'enseignement supérieur et de la recherche (Felsőoktatási és Kutatási Nemzeti Tanács)
 CNISF – Conseil National des Ingénieurs et des Scientifiques de France (Franciaországi Mérnökök és Tudományos Kutatók Nemzeti Tanácsa)

- CPGE – Classe préparatoire aux grandes écoles (A speciális iskolák előkészítő osztálya)
- CPPN – Classe préprofessionnelle de niveau (Szakmai szintelőkészítő osztály)
- CTI – Commission des titres d'ingénieurs (Mémóki Címek Bizottsága)
- CS – Conseil Scientifique (Tudományos Tanács)
- DEA – Diplôme d'études approfondies (Alaptanulmányok oklevele)
- DES – Direction des Enseignements Supérieurs (Felsőoktatási Igazgatóság)
- DESS – Diplôme d'études supérieures spécialisées (Felsőfokú szakmai oklevél)
- DEUG – Diplôme d'études universitaires générales (Általános egyetemi tanulmányok oklevele)
- DEUST – Diplôme d'études universitaires générales et de technologie (Általános és technológiai tanulmányok oklevele)
- DRT – Diplôme de recherche technologique (Technológiai kutatások oklevele)
- DUT – Diplôme universitaire de technologie (Technológiai egyetemi oklevél)
- EPSCS – Établissements publics à caractère scientifique et culturel (Tudományos és kulturális jellegű közintézmények)
- EPCSCP – Établissements publics à caractère scientifique, culturel et professionnel (Szakmai, tudományos és kulturális jellegű közintézmények)
- FO – Force Ouvrière (Munkás szakszervezet – egyenes fordításban Munkáserő)
- INRA – Institut National de la Recherche Agronomique (Nemzeti Agronómiai Kutatóintézet)
- INSERM – Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (Nemzeti Egészségügyi és Orvosi Kutatóintézet)
- IUT – Institut universitaire de technologie (Technológiai Egyetemi Intézet)
- MEDEF – Mouvement des Entreprises de France (Francia Vállalatok Mozgalma)
- MENRT – Ministère de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie (Nemzeti Oktatási, Kutatási és Technológiai Minisztérium)
- MR – Master Recherche (Tudományos kutatói oklevél)
- NFI – Nouvelles Formations d'Ingénieurs (Új mémóki képzések)
- STS – Section de technicien supérieur (Felsőfokú technikus szekció)
- UET – Unités d'enseignements et de la recherche (Oktatási és kutatási egységek)

IRODALOM

- Anêté relatif à la licence professionnelle 1999
- Anêté relatif au DESS, 2002
- Anêté relatif au diplôme d'études universitaires générales, à la licence et à la maîtrise, 1997
- Anêté relatif au diplôme national de master, 2002
- Anêté relatif au grade de licence, 2002
- Anêté relatif aux études doctorales, 2002
- Bajomi Iván (2002): *Új megoldások a felsőoktatásba kerülés és a felsőoktatásban való benntaradás gyakorlatában*. Kézirat. Oktatáskutató Intézet könyvtára, Budapest
- Bienaymé, Alain (1984): The New Reform of French Higher Education. *European Journal of Education*, 19, 2
- Bienaymé, Alain (2002): Réflexion sur l'Université Française: institution ou organisation? *Journal d'études sur les systèmes d'enseignement supérieur*.
- Bob (2001): www.ifeu.uni.asso.fr – az Institut de Formation des Élus Universitaires honlapja.
- Clark, Burton R. (1983): *The Higher Education System: Academic Organization in Cross-National Perspective*. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, CA.
- Décret de 8 avril 2002 relatif aux grades et titres universitaires et aux diplômes nationaux
- Dejean, Jacques (2002): L'évaluation de l'enseignement dans les universités françaises. Rapport établi à la demande du Haut Conseil de l'évaluation de l'école. in <http://cisad.acd.education.fr/hcee/publications-2002.html>
- Durand-Prinborgne, Claude: France. in Burton R. Clark – Neave, Guy (ed.): *The Encyclopedia of Higher Education*.
- Kaiser, Frans – Neave, Guy (1993): Higher Education Policy in France. in *Higher Education Policy. An international comparative perspective*. Pergamon Press.
- Loi d'orientation de l'enseignement supérieur. Loi n° 68-978 du 12 novembre 1968 (Fauré)
- Loi d'orientation sur l'éducation. Loi n° 89-486 du 10 juillet 1989
- Loi sur l'enseignement supérieur. Loi n° 84-52 du 26 janvier 1984 (Savary)
- Lövetei István (1990): A felsőoktatás struktúrája és az állam szerepe a francia felsőoktatásban. in Szamel Katalin (szerk.) *A felsőoktatás és az állam. Összehasonlító tanulmányok a felsőoktatás állami irányításának köréből*. Budapest
- Luc Ferry (2002): De nouvelles perspectives pour l'enseignement supérieur. www.ifeu.uni.asso.fr
- Mandel Kinga (1999): *A francia felsőoktatási rendszer*. Kézirat. Oktatáskutató Intézet könyvtára, Budapest.
- Neave, Guy (1991): The Reform of French Higher Education or the Ox and the Toad: A Fabulous Tale. in *The Changing relationship between Government and Higher Education in Western Europe*, Pergamon Press.
- Neave, Guy (1996): The Evaluation of the Higher Education System in France. in Cowen, Robert (ed.): *The Evaluation of Higher Education Systems*.
- Ribier, Renée (1995): Quality Assurance and Institutional Accreditation: French Procedures and Operational Aspects. in *Higher Education in Europe*. XX, 1-2.
- Two Decades of Reform in Higher Education in Europe: 1980 onwards. France. National Description (2000). www.eurydice.org

Tudós fórum

KITÜNTETÉSEK

A MAGYAR TUDOMÁNY NAPJA ALKALMÁBÓL

a Magyar Tudományos Akadémia Elnöksége kiemelkedő tudományos életművük elismeréseként

EÖTVÖS JÓZSEF-KOSZORÚVAL tüntette ki:

Lackó Miklóst, a történelemtudomány doktorát, az MTA Történettudományi Intézetének nyugalmazott osztályvezetőjét, aki a magyar társadalomtörténet, a 20. századi nemzetközi politikatörténet és a modern magyar kultúra, szellemi élet kutatása, európai eszmei összefüggései terén végzett sok új forrást feltáró eredményes munkát;

Mőcsényi Mihályt, a mezőgazdasági tudomány doktorát, a Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem Tájépítészeti, -védelmi és -fejlesztési Kar Kertművészeti Tanszékének egyetemi tanárát a tájépítészet szak- és tudományterületén elért tudományos munkásságáért. Szakmai és tudományos tevékenysége itthon és külföldön egyaránt széleskörűen elismert. Kiemelkedő szerepet játszott a tájépítészet szakterületének hazai elismertetésében, a tájtervezés, a tájrendezés diszciplínájának hazai megteremtésében és egyetemi szintű oktatásának bevezetésében. Meghatározó szerepe van a tájépítészmérnök-képzés fej-

lesztésében és a Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetemen a Tájépítészeti Kar létrehozásában. A települések fejlesztésének és a táj rendezésének ökológiai szempontjai, elvei kidolgozásában elért tudományos eredményei korszakos jelentőségűek;

Sugár Jánost, az orvostudomány doktorát, a Nyíró Gyula Kórház Patológia nyugalmazott tanszékvezető egyetemi tanárát, nyugalmazott tudományos főigazgatót a rákmegelőző állapotok felismerése, jellemzése, valamint a rákra ható kemoterápiás szerek hatásosságának és hatásmechanizmusának vizsgálatában elért tudományos eredményeiért, oktató és tudománypolitikai tevékenységéért. Több mint kétszáznyolcvan hazai és elsősorban nemzetközi folyóiratban megjelent közleménye, könyvei és könyvfejezetei kivételes aktivitását példázzák;

Dulácska Endrét, a műszaki tudomány doktorát, a BME Szilárdságtan és Tartószerkezetek Tanszék tanszékvezető egyetemi tanárát, professor emeritust a tartószerkezetek elméletében kifejtett széleskörű, úttörő jelentőségű, nemzetközi színvonalú elméleti eredményeiért és azok gyakorlati hasznosításáért;

Braun Tibort, a kémiai tudomány doktorát, az ELTE-MTA Tudományelemzési Kutatócsoport vezetőjét a nukleáris kémia, a tudománymetria és a fullerénkémia területén

kiemelkedő tevékenységéért. Eredményeit kétszázhatvan dolgozatban és tíz könyvben publikálta, és az azokra történt hivatkozások száma azt jelzi, hogy publikációit több mint kétezer kutató használta fel vizsgálataihoz. Három, nemzetközi publikációs fórummá vált folyóiratot alapított. Ezek: *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* (1968), *Scientometrics* (1978), *Fullerene Science and Technology* (1993). Ezek a folyóiratok a magyarországi tudományos közélet tekintélyét is növelik;

Román Zoltánt, a közgazdaságtudomány doktorát, az MTA Ipar- és Vállalatgazdaságtudományi Intézet nyugalmazott igazgatóját a magyar vállalat-gazdaságtani, illetve alkalmazott közgazdaságtani kutatások végzésében elért iskolateremtő munkásságáért. Tudományos eredményei több területen is kiemelkedők, különösen a kisvállalat-fejlesztési és innovációs politika terén szerzett nagy nemzetközi hírnevet. Legújabb kutatásaiban a nemzetközi felzárkózást segítő magyar technológia- és K+F politika megalapozásával kapcsolatban ért el jelentős eredményeket;

Gyarmati Borbálát, a fizikai tudomány doktorát, az MTA Atommagkutató Intézetének nyugalmazott tudományos tanácsadóját, aki az Atommagkutató Intézetben évtizedek óta működő és nemzetközileg elismert elméleti magfizikai iskola megalapítója és évtizedeken át meghatározó tudósegénisége, a debreceni rezonanciaiskola megteremtője. Tanítványai: Vertse Tamás, Gazdy Béla, Lovas Rezső, Kruppa András, Cseh József, Papp Zoltán, Wolf György, Csótó Attila és újabban egy tanítványának tanítványa Varga Kálmán, akik sikerrel vitték tovább az általa elkezdett kutatást, a rezonanciákkal kapcsolatos vizsgálatokat, melyekben a debreceni iskola továbbra is a nemzetközi élvonalba tartozik.

az Arany János Közalapítvány
a Tudományért Kuratóriuma

NAGYDÍJBAN részésítette

Ormos Mária akadémikust sokoldalú alapkutatásokra épülő, mély elemzésekben realizált, nemzetközileg is elismert, szakmai igényességgel, elmélyültséggel, szintézisre törekvéssel végzett tudományos munkásságáért, példamutató oktató, iskolateremtő, utánpótlás-nevelő, valamint igen jelentős oktatásszervező és tudományos közéleti tevékenységéért;

Szántay Csaba akadémikust a biológiaiilag aktív, természetes szerves anyagok kémiaja és a sztereoselektív szintézisek területén elért nemzetközileg kiemelkedő tudományos eredményeiért, iskolateremtő és oktatói munkásságáért, a magyar tudomány, ezen belül a Magyar Tudományos Akadémia, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem és a magyar felsőoktatás érdekében kifejtett tudományos és tudományos-szervezői munkájáért;

Székely György akadémikust az idegszövet szerveződése terén elért, nemzetközileg elismert, kiemelkedő tudományos eredményeiért, amelyek arra utalnak, hogy az egyes idegi struktúrák működésének meghatározásában a morfológiai kapcsolatok csupán a keretet biztosítják az idegsejtek közötti interakciók számára, valamint magas színvonalú neurobiológiai iskolateremtő munkásságáért és igen értékes oktatói, tudományos-szervezői és tudományos közéleti tevékenységéért.

az Arany János Közalapítvány
a Tudományért Kuratóriuma szakkuratóri-
umainak javaslatára kiemelkedő tudomá-
nyos
kutatómunkájuk elismeréseként

SIMONYI KÁROLY-díjban

részésítette

Janszky Józsefet, az MTA levelező tagját és
Zombori Lászlót, a műszaki tudomány
doktorát;

WIGNER JENŐ-díjban

részésítette

Pónya József mérmököt;

a Magyar Tudományos Akadémia
Peter Munk közérdekű felajánlásának fel-
használásával alapított

MUNKÁCSI BERNÁT-díjat adományozott

Fónagy Ivánnak, az MTA külső tagjának a
magyar nyelv hangrendszerének, a költői
nyelvnek, a nyelvi változás elméletének
nemzetközi szintű műveléséért és

STEINDL IMRE-díjat adományozott

Jurcsik Károlynak, Ybl-, Állami és Kossu-
th-díjas építésznek, aki a jelenkori magyar
építészet iskolateremtő mestere, tanítványai
közül a magyar építészet meghatározó egyé-
niségei kerültek ki;

a Magyar Szabadalmi Hivatal

AKADÉMIAI SZABADALMI NÍVÓDÍJ-ban
részésítette

Antal Sándort, a műszaki tudomány kandi-
dátusát, a nagyterhelésű, különleges műszaki,
elsősorban nagyterhelésű olajipari tömlők
kifejlesztése terén elért, világszínvonalú, szé-
les körben hasznosított és szabadalmakban
is testet öltött találmányaiért,

Járdán Rafael Kálmánt, a PhD tudományos
fokozat tulajdonosát a közúti gépjárművek-
ben használt középvezettségű konverterek
és az Európa számos repülőterén megtalál-
ható nagyvezettségű konverterek és más,
szabadalmakkal védett rendszerek kifejlesz-
téséért és

Láng Lászlót, a mezőgazdasági tudomány
kandidátusát, aki eddigi munkássága során
negyvennégy ősizibúza-fajta és öt őszi du-
rumbúza nemesítésében vett részt, amelyek
közül huszonhat fajta szabadalmi oltalmat
kapott.

A Magyar Tudományos Akadémia és
a Richter Gedeon Részvénytársaság által
alapított díj kuratóriuma

BRUCKNER GYŐZŐ-díjat adományozott

Tóth Gábornak, a kémiai tudomány dokto-
rának a mágneses rezonancia spektroszkó-
piával a szerves kémiai szerkezetkutatásban
elért kimagasló eredményeiért, iskolateremtő
tevékenységéért, és

Kotschy Andrásnak, a kémiai tudomány
kandidátusának a heterociklusok fém-katali-
zált reakcióinak területén elért kiváló ered-
ményeiért;
a Magyar Tudományos Akadémia – a Magyar

Államvasutak Részvénytársaság kötelezettségvállalásával – a magyar vasutak fejlesztését szolgáló, kiemelkedő tudományos teljesítmények jutalmazására alapított

MIKÓ IMRE-díjat
adományozott

Gittinger Tibornak életművéért, a MÁV személynforgatási szolgáltatásainak hosszú időn át tartó ötletgazdag fejlesztéséért, valamint a korszerű európai vasúti menetrend-szerkesztési gondolkodás meghonosításáért, valamint

Dr. Mosóczi Lászlónak aktív napi munkájáért, a vasút automatizálási rendszereinek, azok megbízhatóságának hazai és nemzetközi szinten kifejtett elméleti és gyakorlati munkásságáért, valamint a szakmai utánpótlás oktatása területén végzett tevékenységéért;

a SOMOS Alapítvány támogatásával a Magyar Tudományos Akadémia Radiokémiai Bizottsága és a Magyar Kémikusok Egyesülete által alapított

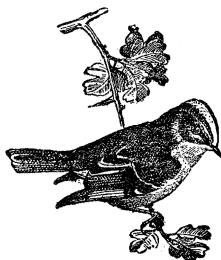
HEVESY IFJÚSÁGI ELŐADÓI díj

- I. fokozatát *Boros Márton*,
II. fokozatát *Radó Krisztián*
III. fokozatát *Gmélíng Katalin* nyerte el

a Magyar Tudományos Akadémia főtitkára

FŐTITKÁRI DICSÉRETBEN részesítette

Benussi Silvió Antóniót,
Czeplédi Katalint,
Deme Ilonát,
Dózsa Ildikót,
dr. Szabó Gábort,
Gáti Gábornét,
Kerék Károlynét,
Konczos Gézárt,
Szabó Klárát,
Takács Gabriellát.



MINDENTUDÁS EGYETEME (A MŰHELY)*

Fábri György

az MTA kommunikációs és tudománypolitikai igazgatója,
a Mindentudás Egyeteme akadémiai felelőse – fabrigy@office.mta.hu

Teltházás előadások minden hétfőn, népszerű televíziós és rádiós sorozat, újságok és hetilapok állandó rovata, napi többezres letöltésű internetes portál (www.mindentudas.hu), a felnőtt lakosság közel felét elérő ismertség és körükben igen magas tetszési index, társasági téma – mostanság inkább érheti el bármely *trendi talk*- vagy *reality* show, vetélkedő, szappanopera, politikai akciózás mindezt, mint egy komoly tudományos ismeretátadó program. Mégis ez történik Magyarországon 2002 szeptembere óta, amikor elindult a Magyar Tudományos Akadémia és a Matáv távközlési nagyvállalat, valamint tagvállalata, az Axelero Internet közös vállalkozása, a *Mindentudás Egyeteme* tudományos előadás-sorozat.

Média- és társadalomkutatók bizonyosan feltárják e sikemek, a tudomány sikerének azokat az összetevőit, amelyek a közönséget, a sajtót illetik. Most, amikor a könyvkultúra közegében is hozzáférhetővé válik a *Mindentudás Egyeteme* első tizenkilenc előadása, a programmal kapcsolatos tudományos kérdésekről olvashat az érdeklődő. Arról, hogy milyen tudománykép áll a kezdeményezés mögött, és arról, hogy milyen motívumok teszik indokolttá és érthetővé egy *telecom* cégcsoport és egy tiszténél fogva értékörző tudományos szervezet közös felelős-

ségvállalását a tudományos ismeretátadás legkorszerűbb formáinak működtetésében.

A Mindentudás Egyeteme ugyanis olyan ismeretátadási kísérlet, amelynek megvalósításának elméleti háttere és gyakorlati formája egyesíti a magyar tudományos ismeretterjesztés hagyományait, a nemzetközi tudományos PR tapasztalatait és a legkorszerűbb infokommunikációs médiumok alkalmazását.

Tudomány és tudásátadás

A tudásszerveződés azon formája, amelyet Johannes Kepler, Galileo Galilei és René Descartes óta úgy ismerünk mint nyugati tudományt, a 20. század második felére lényegi pontokon alakult át. A kutatások tematizálásában, finanszírozásában, de még az értékelési-reputációs hierarchiákban is meghatározóvá vált a piac, a gazdaság szempontrendszere. A tudományos működés legsajátabb elemeit (az értékelést, a nyilvánosságot, a szerzőséget) is elérte a medializálódás és jogosodás összetársadalmi terjedése. A tudományos-oktatási autonómiák (akadémiák, egyetemek, kutatóhelyek) viszonylagos önállóságát is kikezdtte a pártelví demokráciák állami-politikai expanziója.

Míndez „kívülről” feszíti szét a tudományművelés klasszikus kereteit – miközben hasonló irányba mutatnak „belülről” kibontakozó fejlemények is. Ilyen az információmenyiség, a tudományterületek áttekinthetetlen egymásba fonódásai, a szaktudományos teljesítmény

* Jelen írás utószóként olvasható a *Mindentudás Egyeteme* előadásainak első 19 darabját tartalmazó kötetben, mely a Kossuth Kiadó gondozásában jelent meg 2003. november 24-én.

technicizálódása és instrumentalizálódása s így egyre gyakoribb elszakadása az általános ethosztól és a közösségi-kulturális felelősségvállalástól. A tudományos nyilvánosság fórumai – a tömegessé és önálló szolgáltatási ágazattá vált konferenciaturizmus hatására, valamint a publikációs kényszerek és lehetőségek miatt – átalakulnak, a hagyományos módon immár követhetetlen a szakirodalom. A közlemények nyilvánosságát pedig drámai mértékben szűkíti a katonai vagy ipari megrendelésekre készülő kutatások információs zártága. Ugyanakkor néhány nagy horderejű fejlesztés esetében a piaci riválisok közös fejlesztési platformokat, hálózatokat hoznak létre, amelyek mintegy újrat teremtik a tudományos nyilvánosság tágasságát.

A tudományos tudás közvetítésének hagyományos formája, vagyis a napóleoni/humboldti egyetem és a legújabb kori közoktatási rendszer teljességgel felbomlott. A tudás új finanszírozói és felhasználói a gyakorlati készségek, képességek (skills) iránt fogékonyak. Az oktatás 18-19. században stabilizálódott nemzeti tudásszerveződési keretein túllép a mobilitás és a képzési elvárások új rendje. A korábban egyértelműen elhatárolt életszakaszokhoz, helyekhez és értékelésekhez kötött ismeretszerzés térben és időben egyaránt kitérült – ezért az *életen át tartó tanulás* (life-long learning) ismert kifejezésében a *life-long* voltaképpen újrafogalmazza a *learning*-et. A tanulás ma már nem stabil tankönyvekhez, lényegében egyirányú kommunikációval és szigorú számonkéréssel zárt társadalmi szerepekhez kötődő folyamat.

Posztakadémiai korszak – így nevezik a tudományozsociológia jelesei a kort, kifejezve az akadémiai (academic) jellegű tudománysszervezés és tudományművelés felbomlását.

Bővülő szereposztás

Új szerepek, új szereplők is megjelentek a tudásiparban, nevezetesen a *gazdasági part-*

ner, a tudomány professzionális közvetítője, aki ötvözi a társadalmi felelősségvállalást és a tudásintenzív termékek iránti piaci keresletet.

Míg az újkor hagyományos modelljében a kutató, alkotó *tudós* volt az abszolút középpont, addig már a hatvanas évektől – részben a *Big Sciences* (fizika, kémia) felemelkedésével összefüggésben – egyenrangú résztvevővé vált a *tudománymenedzser*, a tudomány- (és egyetem-) szervező. A kilencvenes évekre azután egy harmadik funkció képviselői lettek megbecsült és intézményesített tagjai a kutatási tevékenységnek: a tudományos eredmények bemutatói, a *tudományközvetítők*. Ezt jórészt annak a monetáris szemléletnek az elterjedése követelte ki, amely a köz- és magánpénzek felhasználását egyaránt igazolandóvá, a források elosztásában pedig a közönség véleményét perdöntővé tette. Így vált a tudomány, a tudás és a közösség viszonya a 21. század tudományának egyik legfontosabb kérdésévé.

A folyamat a tudománysszervezettől, *tudományigazgatástól* kezdve az egyes *kutatóműhelyek* stratégiáján át a tudományos beszéd, a *tudósi megnyilvánulások* szóköszletéig átalakította a tudományművelésnek nem csupán a környezetét, hanem a kutatói munka lényegi elemeit is.

Ebben meghatározó volt a kutatói világ új partnersége a gazdasággal. A vállalatok közvetlen kutatás-fejlesztéseiken túl munkaszervezési, vezetési és kommunikációs kultúrájukkal döntő hatást gyakoroltak a tudományos intézményrendszer működésére. A 20. század elején például még magától értetődően és sikeresen perelték be a részvényesek a főtulajdonost, ha az a vállalati nyereséget mecenatúrára fordította, a század második felében már elképzelhetetlenné vált, hogy a nagyvállalati működés közösségi-karitatív feladatvállalásából kihagyják a tudományt, az oktatást és a tehetség gondozást. Az ezredfordulóra még jelentősebb a változás: a *Corpo-*

rate Social Responsibility jegyében a cégek már túllépnek a mecenatúra megoldásain, és igyekeznek felelős társadalmi tényezőként használni forrásaikat. Ekkor a marketingben jól használható, illetve az „úriemberséghez” hozzá tartozó néhány jótékonyági akción túl magának a vállalati stratégiának lesz része a társadalmi dimenzió. Mivel a tudáselem a gazdasági versenyképességnek meghatározó tényezőjévé válik, éppen a tudomány és az oktatás területén figyelhetők meg leginkább az ilyesfajta aktivitások.

Tudásipar

Mindezek a folyamatok azt eredményezték, hogy immár nem a hagyományos értelemben létező tudomány, oktatás került szorosabb kapcsolatba a hagyományos gazdasággal, hanem a *tudásipar* területén indultak projektek. A terminus sok egyéb mellett azt is kifejezi, hogy itt már egy gazdasági ágazatról van szó, tehát nem az oktatási és kutatási intézmények közszférában szabályozott rendszeréről, hanem piacról, amelyen az új szereplők megjelenése magától értetődő fejlemény. A *Mindentudás Egyeteme* esetében is ez történt: az infokommunikáció és a tudatos médiahasználat eszközzrendszerének segítségével, a nagyvállalati forrásgazdálkodás és a legmagasabb fokú tudományos presztízs egymáshoz igazításával lépett a tudásipar szereplői közé egymással szövetségben az Akadémia és a Matáv-csoport.

Magyarországon az információs kultúra technológiai és hozzáférési fejlődése sok buktatóval, vitákkal és érdekütközésekkel zajlott-zajlik. A kilencvenes évek radikális telefonellátottság- és mobilterjedési felfutása azonban világosan mutatja, hogy a távközlési óriásvállalat felismerte: csakis a magyar információs kultúra következetes fejlesztése melletti elkötelezettséggel számíthat bővülő piacra. A *telecom*-ágazat fejleményei ráadásul világszerte azt mutatják: a beszédalapú távközlési monokultúra helyét a komplex

– tartalmat, hozzáférést, kommunikációt, adattovábbítást és multimedialitást együtt kínálni képes – szolgáltatás veszi át. A globalizálódott információs piac ilyen irányú mozgásai a multinacionális (a Deutsche Telecom meghatározó tulajdonába került), nyilvános részvényjegyzésű Matáv-csoport innovációit is áthatották: immár fél évtizede működik a legnépszerűbb magyar nyelvű tartalomegyüttes, az [origo] portál, melynek tulajdonosa és üzemeltetője az Axelero Internet, a csoport Oktatási Igazgatósága pedig a legkorszerűbb internetes tudásátadási megoldásokat kínálja. Mindezen tényezők érthetővé teszik, hogy a *Mindentudás Egyeteme* prog-ram jóval több, mint szponzorációs akció: a cégcsoport gazdasági-társadalmi pozicionálásának szerves része, hogy tudásintenzív szolgáltatóként tudásközpontú programban vesz részt. Mindemellett az, hogy a *Mindentudás Egyeteme* gyakorlati megvalósítását döntő részben közvetlenül is a Matáv munkatársai végezték, kétirányú kölcsönhatással járt: egyrészt lehetővé tette a tudásipar sajátos követelményeinek elsajátítását, másrészt behoza a tudásátadás-projektbe a vállalati menedzsment kultúráját.

Volt hova behozni: *Magyarországon néhány akadémiai kutatóhely, majd egészében az MTA vált kutatási szinten az „Internet és tudásszerveződés” tematikájának letéteményesévé.* Az egyetemi, illetve vállalati világ informatikai eszközhasználatára és információs fogékonysága ugyan semmivel sem marad el az akadémiai közegétől, ez irányú innovatív affinitása azonban mégsem bontakozott ki (kivéteklént itt a BME Távoktatási Központjában zajló, a tudásátadás elméleti kérdéseivel is számot vető PhD-kurzusok említhetők).

A kilencvenes évek felsőoktatás- és tudománypolitikai változásai azonban olyan helyzetbe hozták az Akadémia kutatóit, kutatóhelyeit, mely különösen kedvezett az információs kihívás felismerésének és

alkotó interpretálásának. A tudományos kutatás főhivatású közegében egybeesik a mindennapok kutatásmenedzsmentjében történt változás és a folyamat elméleti reflexiója. Sajátos szempontokat, a tudásegészre nyitott perspektívát eredményez az Akadémia multidiszciplináris jellege, valamint (még mindig) az egész magyar tudományosságot reprezentáló státusa. Mindebből olyan kezdeményezések születtek, mint az internet és tudományművelés kapcsolatát feldolgozó empirikus kutatások, a Nyíri Kristóf kutatásaiból kinőtt MTA Filozófiai Kutatóintézetének Akadémiai-Filozófiai Szabadegyeteme vagy a genomikai Virtuális Kutatási Központ koncepció, amelyet több hasonló is követett, például az infobionika területén. Így adhatott az Akadémia *megalapozott választá* Mindentudás Egyeteme *tudomány-szervezési és médiakihívásával kapcsolatos tudomány-szociológiai és -elméleti kérdésekre*.

A Mindentudás Egyeteme-sztori

A *Mindentudás Egyeteme* ötletet az Akadémia meghatározó személyiségei kezdetől fogva olyan lehetőségek tekintették, amely alkalmas a tudományos tudás internetes-mediális menedzselésének, azaz szerveződé-sének, kutatásának és megjelenítésének magyarországi fejlesztésére. Ehhez rendelkezésre állt az a szakmai-személyi bázis, a tudánypolitikai elszántság és a módszertani-elméleti tudás, mely elengedhetetlen volt a program indításához. Az Akadémia társadalmi tekintélyét és kapcsolati tőkét is csak ilyen háttérrel lehetett egyelőre nem látható kimenetű vállalkozáshoz felhasználni.

Magának a programnak létrejöttében kiemelendő György Péter esztétának, a Matáv média-tanácsadójának szerepe, akinek az ösztönző felvetést és az induláshoz szükséges vállalati döntések kiharcolását köszönheti a *Mindentudás Egyeteme*. Külön méltatást érdemel a fentebbiekben vázolt gazdasági-társadalmi funkcióváltás

megvalósításában, hogy a távközlési vállalat vezetése – pénzügyi nagyvonalúságán túl – érdemben elköteleződött a program mellett. Straub Elek elnök-vezérigazgató és Pásztory Tamás vezérigazgató-helyettes, valamint Simó György, az Axelero Internet vezérigazgatója a programot elindulása után is folyamatosan egyaránt személyes és céges ügyüknek tekintik, így gyakran napi szintű közreműködésük igen üdvös hatású ösztönzést jelentett.

Ugyanez a figyelem és konkrét munka jellemezte az Akadémia képviselőinek feladatvállalását. Az Akadémia vezetői az első előadások megtartásával vállalták a szakmai kockázatot, majd önmaguk lettek a program leghatékonyabb kommunikátorai – ami újabb tanulsága a tudánymenedzsment korszerűsítésének. Vizi E. Szilveszter, az MTA elnöke és Kroó Norbert, az MTA főtitkára szakmai s egyben tudánypolitikai affinitással fogadták, támogatták a Mindentudás Egyeteme koncepcióját, majd állandó konzultációkkal segítették a szakmai tartalom színvonalának javítását, az előadói kör bővítését.

A kiindulópont mindehhez Nyíri Kristóf tudományos indítatású, ám a gyakorlatban is hatékony kezdeményezése volt, valamint az a szakmai munka, melyet Dudits Dénessel és Szegő Károllyal közösen végzett a program tartalmi kidolgozása érdekében. A programban részt vevő akadémikusok, kutatók munkájának nevesítése nem csupán történeti érdekességű: jól illusztrálja, hogy a *Mindentudás Egyetemében* a legmagasabb szinten legitimált akadémiai tartalom találkozik a legkorszerűbb infokommunikációs és mediális csatornákkal, a nagyvállalati menedzsmentkultúra közvetítésével. Az ötletet adó francia *L'Université de tous les savoirs* Yves Michault francia programját így nem csupán magyar méretre szabtuk (miközben a név megőrizte a franciásan nagyvonalú és univerzális fantáziáját lendületet), hanem logi-

kájában, üzenetében, alapfelfogásában és szerveződésében is alapvetően más programot indítottunk, amihez a külföldi példák és a hazai előzmények csupán segítségül szolgáltak.

A megvalósítás irányítása során Sallai Lászlóval, a Matáv Oktatási Igazgatóságának vezetőjével, éppen az volt a legnagyobb feladatunk, hogy a kétfajta intézményi indíttatás közös célját, vagyis a közönség számára értéket közvetítő és mediálisan vállalható előadások létrehozását az akadémiai szempontokat érvényesítve a hatékony projektmenedzsment körülményei között érjük el. Sok buktató, kísérlet és egyeztetés nyomán jutottunk el oda, hogy a *Mindentudás Egyetemének* a Budapesti Műszaki Egyetem által rendelkezésünkre bocsátott, igen színvonalas előadóteremben rendezett előadásait egy üzemszerűen dolgozó, teljes körű gyártási sort működtető stáb készíti elő és építi tovább a médiában.

A legfontosabb innováció ugyanis az, hogy a magyar *Mindentudás Egyetemének* az internetes tudásbázis az alapzata, ami mellett a televíziós megjelenés teszi lehetővé a közönség leghatékonyabb elérését. A tudás demokratizálásának eredeti szándékát megtartva a *Mindentudás Egyeteme* ezzel újabb missziót vállal: a tudás társadalmi státusának helyreállítását, a tudomány, a tudósok önértékű közszereplővé tételét. Ezért kötődik a program erősebben a szervezett tudományhoz, ezért védi a tudományos tudás hagyományos értékeit.

A *Mindentudás Egyeteme* éppen azt bizonyította be, hogy ezek az értékek érvényesek maradtak a mai médiapiacra szocializálódott közönség számára is. Ennyiben tehát rehabilitálódott az „akadémiai” jelző. A tudásbázis, amelyet a legkiválóbb magyar tudósok közvetítettek-közvetítenek, nem-

zetközi színvonalú, hiteles és élvezhető. A *Mindentudás Egyeteme* honlapja egy jól definiált helyet hozott létre, egy virtuális *campus*, amely érdekelt az ilyen megközelítések hozzáférhetővé válásában és elterjedésében. Természetesen léteznek másfajta, a hagyományos tudományos szerveződéstől eltérő szellemi megközelítések is, az internet és a tömegmédiák szabad dimenzióiban bőségesen van erre példa. A *Mindentudás Egyeteme* ebben a tág világban egyértelműen jelzi, hogy milyen típusú válaszokat kínál: a bevett tudományos paradigmákon belül megfogalmazhatókat. A kőből épített egyetemi terekben is szabályozott, hogy kik és miről adhatnak elő, valamint hogy a viták és véleménynyilvánítások milyen szemléleti keretben folyhatnak. Ehhez hasonlóan a *Mindentudás Egyetemének* virtuális közege is olyan hely, ahol az eredeti célból összejövők bízhatnak abban, hogy a honlap fenntartói biztosítják számukra a tudományos diskurzus kereteinek érvényesülését.

Az értékeknek és a színvonalnak ezt a stabilitását az előadás-sorozatot alkotó tudósok biztosítják. Nincs az a menedzselési technika vagy mediális innováció, amely az ő közreműködésük, tudásuk és személyiségük nélkül bármit is elért volna a *Mindentudás Egyetemében*. A tudományos tudás érvényességét igazolja, hogy a bevett tudomány reprezentánsainak egész soráról bizonyosodott be: prezentációs kultúrában, előadói és produkciós kvalitásokban egyaránt állják a versenyt az ún. tévészemélyiségekkel. A hamarosan megjelenő kötetünkben közlendő, a 2002/2003-as szemeszterben megtartott tizenkilenc előadás, önmagáért beszél: ezek alkotják a *Mindentudás Egyetemét*, kaleidoszkópszerű áttekintést adva az akadémiai tudományosság mondandójáról az ezredforduló Magyarországon.

AZ ELSŐ SZEMESZTER ELŐADÁSAINAK ÖSSZE- FOGLALÓI

Vizi E. Sziveszter orvos akadémikus, az MTA elnöke vállalkozott a nyitóelőadás megtartására, az *élet és halál* nagy kérdéseinek orvostudományi megközelítését bemutatva – széleskörű kitekintéssel a tudás más területeinek idevágó eredményeire, élményeire. A filozófia, a vallás és az irodalom alapvető belátásait idézve érvelt az előadás az élet és halál egysége, egymást átható értelmezése mellett. Orvostudományi szempontból az élet kezdetének meghatározása könnyebb, mint a halálé, ami egy hosszú folyamat eredménye. Az élet és halál egysége a mindennapi létezésünkben is munkál, hiszen sejteink másodpercenként milliós számra halnak el és képződnek újra. Betegségek sora magyarázható s egyre inkább gyógyítható is a sejtek szintjén zajló elhalás és születés folyamataival, ami a genetikai kutatások szédítő haladásának köszönhetően új eszközöket ad az orvoslás kezébe. A klónozástól azonban nem kell félnünk: az ember egyszerű mivolta, megismételhetlensége nem pusztán költői-etikai elvártás, hanem neuronbiológiai alaptényből fakadó adottság is: az élet minden pillanatában zajló tanulási folyamat formálja az egyéniséget.

Pléh Csaba pszichológus akadémikus, a *gondolkodás és a nyelv* alapvető összefüggéseit vizsgálta, kiindulva a reprezentáció kognitívista megközelítésű fogalmából. Mivel viselkedésünk nem a külső ingerek, hanem az azokról kialakított leképezés függvénye, a szimbólumok használata mind a belső világunk, mind a külvilág, mind a társas kapcsolatok viszonyában meghatározó. A belső modellek két alapvető típusa, a képek és a szavak eltérő módon vonatkoznak a világra. A képi gondolkodás az elsődleges és közvetlenebbül lenyomata a külvilágnak. A

szavak viszont önkényesen kapcsolódnak a tárgyakhoz, jelentésviszonyaikban alkotva rendszert. A nyelv és gondolkodás kapcsolatairól többféle, filozófiai és pszichológiai alapfelfogásban különböző elmélet ismert – melyek közül az előadó a kompromisszumos verzió híve, azaz a világ leképezésében sajátos önfejlődést érzékel, azonban a nyelv a figyelem irányítójaként befolyásolja, mi válik fontossá egy adott kultúra beszélői számára.

Venetianer Pál biológus akadémikus a *genetikát*, mint az egyik leginkább divatos tudományágat tekintette át. A tudományág története az örökléstan kezdetétől a kettős spirál felfedezésén át a fehérjekutatás legújabb fejleményeiig a folyamatos előrehaladás és mind szélesebb körű alkalmazások története is. Mindennek eddigi csúcspontja a közelmúltban megvalósult Humán Genom Program, amely eredményeképpen meghatározták a közel két méter hosszú, minden egyes emberi sejtben megtalálható emberi DNS kettőslánc nukleotidjainak sorrendjét. Ez az első lépés volt az emberi alapműködés megismerésében, hisz a szekvenciák funkcióit, jelentéseiket még alig értjük. A génsebészet előtt mindez távlatokat nyit, s eddigi, a növényi és állati világban szerzett ezirányú tapasztalataink felhasználásával a betegségek gyógyításában is új eszközökhöz juthatunk. A géntechnológia ezért nem szörnyű távlat, hanem lehetőségek sora – amelyekkel élni ugyanakkor komoly emberi, tudósi felelősség is egyben.

Romsics Ignác történész akadémikus a *történelem fogalmáról* tartott előadásában a definíciók és felfogások sorát áttekintve mutatta be, hogy egyfelől a történeti folyamatot szemlélők nézőpontja, másfelől a

történelem szó sokrétősége miatt tapasztaljuk a történetírás iskoláinak kavalkádját. A kezdetben háborúkat leíró, majd a népek eredetmondáit összegyűjtő műfajok után specializálódott a történetírás, először a politikátörténet eszközeivel, amit a gazdaság-, az eszme- és társadalomtörténet részdiszciplínáinak megerősödése követett a 20. század fordulójára. Ezek további diverzifikálódása a történelmi tudat többsíkúvá, komplexebbé válását is jelenti. A történelembőlcsélet irányzatai ugyancsak sokszínű értelmezési lehetőségeket kínálnak Szent Ágostontól a posztmodern értelmezésekig. A történeti tények alapfelfogásában is eltérő megközelítések egyben a történészek feladatairól való nézetkülönbségekben is megnyilvánulnak.

Marosi Ernő művészettörténész akadémikus, az MTA alelnöke a művészettörténetet mint az emlékezés tudományát tárgyalva olyan modellkonstrukciókat vázolt, amelyek a művészet egy-egy meghatározott fogalma alapján értelmezik a műalkotások és a befogadás viszonyát. A művészettörténet sajátossága, hogy tárgyának, az emléket alkotó műalkotásoknak kiválasztása feltételezi a művészetéről alkotott fogalom valamely értelmezését. Az emlékfogalom sokféleségét a Laokoön-csoport vagy a katedrálisok elemzése, a nemzeti emlékek sajátosságai illusztrálják, míg általánosnak tekinthető a kvalitások és hatásosságuk iránti elvárások rendszere. Mindez olyan gyakorlati problémákban is megnyilvánul, mint a restauráció és konzerválás dilemmája, illetve a szándékolt és spontán emlékek körüli vitákat felelevenítő magyar Szentkorona-elhelyezés is.

Króó Norbert fizikus akadémikus, az MTA főtitkára arra keresett választ: *hol vannak a fizikai tudás határai?* A fizikát úgy jellemezte, mint a természet leírásának legalapvetőbb, legátfogóbb kísérletét. Az új felismerésekkel a fizikai megismerés határai kitolódtak, ami

átalakította más természettudományok szerkezetét is, és számos új tudományág, például a molekuláris biológia, a kvantumkémia, az asztrofizika, a kozmológia stb. megszületését eredményezte. A fizika sok területen korábban lehetetlennek látszó mérési pontosságot ért el, ennél fogva valószínű, hogy a fejlődés még jó ideig folytatódni fog. De még így sem hághatunk át alapvető, elvi korlátokat.

Hámori József biológus akadémikus *az emberi agy működéséről* tartott előadása a nyúl-ványos idegsejtekből szinapsziszok révén kialakuló idegi hálózatok sajátosságait tárgyalta. Az állatvilágtól leginkább megkülönböztető két tényezője az emberek: az idegrendszeri tanulóképesség felnőttkori megmaradása és az agyféltekék sajátos aszimmetriája. Az egyedfejlődés genetikusan vezérelt folyamat, aminek során a korai szakasz szigorúbb meghatározottságai után egyre inkább a nyitott genetikai program és az igen hosszú nyúló környezeti integráció szerencsés összjátéka következtében alakul ki az emberi elme plaszticitása. A domináns jobbkezesség, ami valamilyen környezeti alkalmazkodáshoz kötött mutáció eredménye lehet, az emberre jellemző aszimmetria első tényezője. A gesztusnyelv hatására így alakulhatott ki a beszédközpont egyik féltekéhez kapcsolódása is. A két agyfélteke eltérő funkcionális egysége teszi az Univerzium egyik legnagyobb csodájává az emberi agyat.

Almár Iván csillagász professzor azt vizsgálta, vajon *az élet az Univerzumban szabály vagy kivétel?* A Földön szinte a kezdet kezdetén megjelent az élet, majd évmilliárdokig tartó, bonyolult fejlődéssel eljutott az értelemig és a technikai civilizációig. Járható ez az út más égitesteken is, vagy csak az események rendkívül valószínűtlen, véletlen láncolatáról van szó, vagyis Földünk lényegében ritka vagy egészen egyedülálló *kivétel* az élettelen Univerzumban? Vagy éppen ellenkezőleg, ez

a szabályos út, mert erre vezet a fejlődés a galaxisok sok százmilliárdnyi csillaga körül? A matematika, a fizika, a kémia törvényei általánosak, vagyis egységesen érvényesek az egész Világegyetemben, de vonatkozik-e ez a rájuk épülő biológia törvényeire is – hiszen a biológia jelenleg *egyetlen* ismert életforma, a földi tanulmányozásán alapszik! Felismerjük-e, ha idegen életet találunk? Van-e jövője az életnek az Univerzumban, ha csak erre az egyetlen, törékeny égitestre, Földünkre korlátozódik?

Láng István akadémikus a *környezetvédelem és fenntartható fejlődés* kérdését tárgyalta történeti és nemzetközi vonatkozásaiban. Számos konferencia és kezdeményezés nyomán formálódott a fenntartható fejlődés koncepciója, amely a környezet- és gazdaságpolitika integrálását szorgalmazza. Mindez a Riói Konferencián, 1992-ben érett nemzetközi egyezményekben foglalt gyakorlati programmá. Ezek alaplogikája az emberi, szociális és ökológiai szempontok érvényesülését követeli meg a hagyományos termelési és fogyasztási kultúrákkal szemben. A globális környezeti problémák kezelése ugyancsak új gazdasági szemléletet igényel – amit Magyarország számára az Európai Unió elvárásai is közvetítenek, de elsősorban mindennapjaink élhetővé tétele követel meg.

Jéki László fizikus arra az első hallásra meghökkentő (talán ijesztő) tényre hívta fel a figyelmet, hogy *sugárözönben élünk*. A radioaktivitással kapcsolatos ismereteink még csak száz éve gyűlnek, ezért hajlamosak vagyunk azt gondolni, hogy ez csak egy modern találmány, emberi csinálmány. Pedig a radioaktivitás a természet része, e nélkül nem lenne lakható a Föld. Mi, emberek a többi élőlényhez hasonlóan mindig együtt éltünk a sugárzásokkal. Gondolatainkban a radioaktivitás szó mellé társul az atom szó. Sokakban viszont irracionális félelem él min-

dennel kapcsolatban, ami „atom”, legyen az atomerőmű vagy orvosi vizsgálat. Az utóbbi száz évben pedig rengeteg fontos és hasznos alkalmazást dolgoztunk ki, ezek mára nélkülözhetetlenekké váltak. Ugyanakkor megszülettek a pusztítás eszközei is.

Szegő Károly fizikus a Naprendszer, mint környezetünket vizsgálta. *Hideg. Sötét. Végtelen magányosság*. Jellemezhetjük-e így a világuirt? – tette fel a kérdést, s rögvést igen látványos előadással adott csattanós választ: nem! Hiszen a világuirt tele van mozgással, változással, csodálatos aktivitásokkal. Ilyenek például a Nap folyamatai, a Jupiter légkörének mozgása vagy a bolygók láthatatlan, töltött részecskékből álló környezetének tánca. E történések nagy részét emberi érzékszerveinkkel nem érzékelhetjük. A sugárzások zöme az elektromágneses hullámok olyan tartományában érkezik, melyet emberi szem nem lát. A világuirtban terjedő részecskéket érzékszerveink nem fogják fel. Azért kell műszereket építeni, hogy megismerjük a Földön kívüli környezetünket – ez az űrtechnika

Borhídi Attila botanikus akadémikus a *növényvilág életétársadalmak stratégiájának* formájában mutatta be, okulásul az emberi és növényi világ együttélését meghatározó döntések számára. A növények ugyanis nem amorf biomasszaként jelennek meg, hanem jellemző növényi alapformákat tartalmaznak, melyekből ma félszáznál is többet ismerünk. Ezek ráadásul olyan stratégia-típusok szerint alkalmazkodnak a környezetükhöz, amelyek egyben szociális magatartások is. Az embertől nem érintett területeken élő növények kompetitorok, specialisták, generalisták vagy a termőhely szélsőségeit jól tűró pionírok lehetnek. Az antropotoleráns, sőt antropofil fajok az emberi létezésre reagálnak. A növényi és a humán társadalom együttélésének konfliktusait nagyban oldaná,

ha a növényi működés és gazdálkodás sajátosságait tiszteletben tartó emberi stratégiákat alakítanánk ki.

Ferge Zsuzsa professzor szociológusként az emberi társadalom működését mutatta be szociológiai szempontból, mégpedig a *társadalmi tagolódás, egyenlőtlenségek* és ezek magyarországi megjelenésére koncentrálna. A társadalmi struktúrát a különböző tőkék körüli küzdelem alakítja, s az így kialakuló egyenlőtlen viszonyok kapcsolódnak össze a társadalmi térben. Az államszocializmus konszolidálódott időszakában Magyarországon a központ túlhatalma lefojtotta a struktúrát, a nem hatalmi jellegű egyenlőtlenségeket pedig korlátozta. A rendszerváltozással létrejött újkapitalizmusban strukturáló tényezővé vált a magántulajdon. A jövedelemkülönbségek és a szegénység is drámai méretékben megnőtt. Ehhez képest alternatívát az európai szociális modell kínál, ami civilizálja a piacgazdaságot.

A fizikai kutatások határterületén mozgott az az igen elgondolkodtató és látványos előadás, amelyet *Vicsék Tamás fizikus* akadémikus tartott a *rendről és rendezetlenségről*. A problémakör azért érdekes, mert olyan kérdéseket vet fel, amelyek mindennapjainkat is áthatják. Rend vagy rendetlenség jellemezheti az atomok vagy a mikroszkopikus élőlények világát, ugyanakkor megtalálható az íróasztalunktól kezdve a gondolatainkon át egészen a kollektív viselkedésformáinkig is. Megtudhattuk, hogy az igazán érdekes, változatos jelenségek éppen a két szélső eset, a rend és az összeverisszaság határán történnek. Ezen a határvidéken jönnek létre a bonyolult geometriájú alakzatok, a fraktálok és a különböző, gazdag mintázatokat mutató, részben rendezett csoportos mozgások is.

Andrásfalvy Bertalan professzor a *nép-hagyomány értékeit idézte fel napjaink*

kultúrájában, s karácsonyi előadás lévén, különösen ehhez az ünnephez kapcsolódó népszokások és élmények bemutatásával. A történeti néprajztudomány helyének meg-megújuló vitatását azzal a megközelítéssel lehet feloldani, hogy a néphagyomány nem más, mint sok-sok ember sok-sok évszázad alatt szerzett tapasztalatainak, igényeinek, szükségleteinek összessége. A hagyományos népi tudás gyakran alkalmasabb megoldásokat kínál minderre, mint a legkorszerűbbnek vélt technikák, s az élet megélésének érzelmi, emberi oldalait őrző népi kulturális jelenségek is segíthetnek a ma emberének. A születés, a gyermeknevelés, a szerelem, a bánat, a reménnyel teli ünnepek hagyományai nem „csupán” szépek, hanem működőek is mind a mai napig.

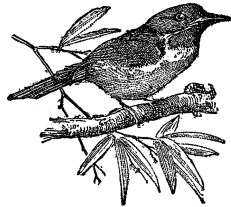
A meglepően viselkedő elemek világába vitt el egy parádés tudományos *show*-val *Zrínyi Miklós*, amikor az *intelligens anyagokat* mutatta be az ámuló közönségnek. Az előadás címe első hallásra talán meglepőnek tűnt, pedig az intelligencia szó egyik jelentése: alkalmazkodóképesség új helyzetekhez. Ilyen értelemben beszélhetünk tehát anyagok és anyagi rendszerek intelligenciájáról. Az elnevezés az anyagtudomány egy olyan új területére utal, amely az anyag és közvetlen környezete – az élő rendszerekhez hasonló – aktív kapcsolatát igyekszik feltárni és kiaknázni. E tudományág elsődleges célja olyan szintetikus anyagok előállítása és tulajdonságainak vizsgálata, amelyek felhasználói szempontból előnyösen reagálnak a környezetből származó hatásokra.

Sokakat izgató kérdést tett fel *Bencze Gyula*: *kell-e félnünk a nukleáris energiától?* Hiszen manapság a nukleáris energia emlegetése az emberekben rossz érzést kelt, és sokan azonnal Csernobilra asszociálnak. Az előadás azal igyekezett eloszlatni ezt a félelmet, hogy röviden áttekintette, mi is a nukleáris energia

valójában, mely tulajdonságai különböztetik meg (ha egyáltalán megkülönböztetik) a többi energiafajtatól, és létezhet-e modern társadalom atomenergia nélkül. Megmutatta, az alapvető ismeretek birtokában mindenki képes lehet felmérni a nukleáris energia felhasználásának előnyeit és kockázatát. A misztikus félelmet így felválthatja a racionális mérlegelés.

Bor Zsolt akadémikus az általa *mindentudó fénysugárnak* nevezett lézerről beszélt. A lézer mindennapi és különleges alkalmazásait mutatta be. A CD-lemezjátszó, az áruházi vonalkód-leolvasó, a rendőrségi sebességmérő kamera, a postai és internet-

vonalak többsége lézereket használ. Ezzel a technikával állítják elő használati tárgyaink egy részét is: a borotvapengét, a fűstszívós cigarettát, a számítógép-processzort, a mobiltelefont. De lehet lézerral birkát nyírni, arcbőrt fiatalítani, vérösszetételt analizálni és fekélyes sebeket gyógyítani. A mindentudó fénysugár az atomórák taktusadó karmestere, fontos szerepet kap például a korlátlan és tiszta energiaforrás reményével kecsegtető fúziós reaktorban ugyanúgy, mint a csillagháborús fegyverekben vagy Krisztus halotti leplének vizsgálatában. És persze egészségügyi alkalmazásai is óriási jelentőségűek: a lézertechnika a szemészetben például a szuperlátás lehetőségét ígéri.



A BOLYAI JÁNOS KUTATÁSI ÖSZTÖNDÍJ KURATÓRIUMÁNAK ELEMZÉSE

AZ ÖSZTÖNDÍJRENDSZER 1998-2003 KÖZÖTTI MŰKÖDÉSÉRŐL ÉS TAPASZTALATAIRÓL

I. ELVEK, CÉLKITŰZÉSEK

A Magyar Tudományos Akadémia 1996-ban az új tudománypolitikai program részeként szükségesnek tartotta a pályakezdő fiatalok tudományos életpályájának megtervezhetőségét; a kutatói állományban a különböző generációk együttműködését; a fiatal kutatók itthon tartásának segítését és teljesítményközpontú nevelését. E hármas követelmény megvalósításának egyik elemeként az MTA elnöke kezdeményezte a Bolyai-ösztöndíj létrehozását.

A kitűzött cél az volt, hogy a sikeres fiatal kutatóknak hirdessünk meg olyan ösztöndíjat, amely a hivatali alkalmazástól függetlenül segíti és ösztönzi a jelentősebb eredményeket már elért fiatalokat az *akadémiai doktori* disszertáció megírására és a cím megszerzésére. A Bolyai-ösztöndíj emellett kösse össze a helyi autonómiák, azaz az egyetemek által adott PhD-fokozattal rendelkező fiatal kutatókat az országos (nemzeti) autonómiával, az Akadémiával.

A Bolyai-ösztöndíj *ösztöndíj* és nem fizeteskiegészítés, nem kutatói pótlék. Teljesítményközpontú, mert a fiatal kutatót egy adott kutatási téma feldolgozására és az eredmények irodalmi összefoglalására, közlésére serkenti. A Bolyai-ösztöndíj anyagi támogatás, mert a kutatói állás mellett megvalósítja azt az elvet, hogy a kiemelkedő munkát, a többletmunkát a költségvetés finanszírozza. Segíteni kívánja a legkiválóbbakat a kutató-

hoz méltó életkörülmények megteremtésében. A Bolyai-ösztöndíj országos ösztöndíj, nem a lokális autonómia adja, tehát hozzá szoktatja a fiatalokat az országos-nemzeti megmértetés igényéhez. A Bolyai-ösztöndíj akadémiai ösztöndíj, vagyis nem a négyévenként változásoknak kitett tárcavezetések szabályozzák, hanem az állandóságot és a folyamatosságot képviselő testület, a Magyar Tudományos Akadémia. A Bolyai-ösztöndíj hidat képez az országos autonómiában döntő szerepet játszó akadémikusok, akadémiai doktorok és a fiatal kutatói generáció között. Biztosítani kívánja a tudományban a különböző generációk együttműködését és együttgondolkodását. A Kuratórium célkitűzése szerint tehát a Bolyai-ösztöndíj nem csupán anyagi lehetőségeket (ösztöndíjat) biztosít a kutatóknak, hanem a legjobbjaikat igyekszik bekapcsolni az Akadémia életébe.¹

II. SZERVEZETI KERETEK

A Kormány 156/1997.(IX.19.) számú Kormányrendeletével létrehozta a Bolyai János Kutatási Ösztöndíjat, melyet a 316/2001. (XII. 28.) Kormányrendelettel módosított. (I. 1. melléklet)²

Az MTA elnöke - az oktatási miniszterrel tör-

¹ Glatz Ferenc: *Generációk és kutatásszervezet*. A Bolyai János Kutatási Ösztöndíj kiadványa Budapest, 2000. augusztus

² A mellékleteket olvasóink a Magyar Tudomány internetes honlapján olvashatják: www.matud.iif.hu

tént egyeztetés után - kiadta a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj Szabályzatát (l. 2. melléklet), és 1997. decemberében megbízta a kilenc tagú Kuratóriumot, melynek megbízatását változtatlan összetételben 2000 decemberében meghosszabbította (l. 3. melléklet).

Az ösztöndíj részletes szabályait a Kuratórium előkészítő munkája alapján az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj Kuratóriumának Szervezeti és Működési Szabályzatában az MTA elnöke állapította meg (l. 4. melléklet).

A Kuratórium tizenegy szakértői kollégiumot kért fel munkájának segítésére. A szakértői kollégiumok tagjaira a tudományos osztályoktól kért javaslatot.

Az ösztöndíjjal kapcsolatos igazgatási munkával az MTA Vezetői Kollégiumának döntése alapján az MTA Főtitkára a Doktori Tanács Titkárságát és a Pénzügyi Főosztályt bízta meg.

A Kuratórium saját és szakértői kollégiumainak működését, valamint a Doktori Tanács Titkárságának és a Pénzügyi Főosztály Gazdasági Osztályának a Bolyai-ösztöndíj intézésével kapcsolatos sajátos feladatait a Titkárság előkészítő munkája alapján az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj Kuratóriumának Ügyrendjében szabályozta.

A Titkárság a Bolyai Kuratórium illetve a szakértői kollégiumok ülésének előkészítését, illetve az azt követő döntések végrehajtását szervezi. Ennek keretében

- tájékoztatja az érdeklődőket a Bolyai-ösztöndíj követelményeiről,
- a pályázati rendszer keretében gondoskodik a pályázatok nyilvántartásáról, dokumentálásáról,
- szervezi a pályázatok elbírálását,
- szervezi az ösztöndíjasok éves és záró kutatói jelentésének benyújtását, elbírálását,
- közreműködik az Akadémia tudományos osztályainak az ösztöndíjasok munkáját bemutató rendezvényei előkészítésében,
- szerződést köt az ösztöndíjasokkal,

- előkészíti az ösztöndíj felfüggesztésével, illetve szüneteltetésével kapcsolatos döntéseket,

- tervezési adatokat szolgáltat a Pénzügyi Főosztálynak a költségvetés megtervezéséhez, illetve a költségvetési beszámoló elkészítéséhez,

- értesíti a Gazdasági Osztályt az ösztöndíj kifizetésének jogosultságáról, utalványozza azokat.

A Gazdasági Osztály

- gondoskodik a jogosult ösztöndíjak határidőre történő folyósításáról,

- intézi a járulékok fizetésével kapcsolatos feladatokat,

- intézi a személyi jövedelemadóval kapcsolatos feladatokat,

- és a jövedelem-, adóigazolások kiküldését az ösztöndíjasoknak.

A feladatok megoldásához a Titkárság a Kuratórium döntései alapján kifejlesztette a Bolyai-ösztöndíj számítógépes rendszerét, amely támogatja az adminisztratív és pénzügyi teendők ellátását. A Titkárság hatékonyan, körültekintően és emberien végzi a munkáját.

III. A PÁLYÁZATOK ELBÍRÁLÁSA

A Kuratórium az ösztöndíjat nyilvános pályázati rendszerben, évenként ítéli oda.

Az ösztöndíjra kezdetben a negyven éven, 2002-től a negyvenöt éven aluli kutatók pályázhatnak, akik alkalmasságukat (tudományos fokozattal, eredményes kutatómunkával) a pályázati feltételnek megfelelően igazolják. Az ösztöndíj tudományos munka megírására vagy azzal egyenértékű kutatási projektben létrehozott alkotás elkészítésére, adott kutatói tevékenység végrehajtására ítéltet oda.

1998 és 2003 között hatszor került meghirdetésre, majd elbírálásra és odaítélésre a Bolyai-ösztöndíj. A pályázatok és odaítélt ösztöndíjak adatait az 5. és 7. mellékletek tartalmazzák.

A Kuratórium – mint már arról szó volt – tizenegy szakértői kollégiumot kért fel a pályázatok elbírálására. Ezek összetétele olyan, hogy bennük minden szaktudomány képviselőjét egy-két tudós látja el. (Amennyiben olyan kevésbé művelt vagy kifejezetten hiányszakot jelentő szakterületről érkezik a pályázat, amelynek nincsen eredetileg képviselője a grémiumban, ez esetben a kollégium illetékes szakértővel egészíti ki sorait.) A Kuratórium a beérkezett pályázatok számbavétele után megállapítja az egyes szakértői kollégiumok által ösztöndíjra javasolható pályázatok számát. Ennek alapja a befutott ösz-szes pályázat és a kiosztható ösztöndíjak aránya. A szakértői kollégiumok a tudományterületeikre érkezett pályázatokból ugyanebben az arányban választják ki az ösztöndíjra javasoltakat. A szakértői kollégium munkája során minden pályázatot két, egymástól független szaktudós bírál el, majd ezen bírálatok ismeretében a kollégium az egyes pályázatokat lelkiismeretes összehasonlító-elemző vizsgálatnak veti alá és rangsorolja. A Kuratórium a szakmai kollégiumok rangsorán nem változtat, csak vitás esetekben él döntési jogával, illetve bizonyos esetekben – kizárólag tudománypolitikai megfontolások alapján és átlátható módon – a tizenegy szakértői kollégium által javasolt személyeken túl is odaítélhet néhány ösztöndíjat. Ez azonban nem haladta meg az ösztöndíjak 5-10 %-át. Az elbírálásnak ez a rendje messzemenően biztosítja azt az elvet, hogy a szaktudományok a maguk szakmai szükségletei és értékrendje által követett módon hozzák meg döntéseiket.

IV. AZ ÖSZTÖNDÍJASOK TELJESÍTMÉNYÉNEK ÉRTÉKELÉSE

A Kuratórium célul tűzte ki, hogy az ösztöndíjban részesülők tudományos tevékenységét folyamatosan figyelemmel kíséri és értékeli. Ehhez éves és záró kutatói jelentéseket

kér az ösztöndíjasoktól. A kutatói jelentések fő szempontjait a Kuratórium határozta meg. A beérkezett kutatói jelentéseket szakértő értékeli, és a szakértői kollégium javaslata alapján a végső értékelést a Kuratórium végzi el.

Az elmúlt évek tapasztalatai azt mutatják, hogy az ösztöndíjasok eredményesen dolgoztak. A kutatói jelentések több mint fele kiemelkedőnek, a többi megfelelőnek bizonyult. Csak néhány esetben került sor arra, hogy az eredetileg „nem megfelelt” értékelés miatt a Kuratórium képviselői az ösztöndíjossal beszélgetést folytattak, és ennek eredményeként alakult ki a végső értékelés.

A Kuratórium másik célkitűzése az volt, hogy a kiemelkedő szakmai tevékenységet folytató ösztöndíjasok kapcsolatot találjanak az Akadémia szakmai fórumaival. Ezért kezdeményezte, hogy az osztályok önálló rendezvények formájában vagy az osztály más tudományos rendezvényeihez kapcsolódóan teremtsenek fórumot a kiemelkedő ösztöndíjasoknak ahhoz, hogy szakmai munkájukat bemutathassák. Ezen rendezvények egy része a Tudomány Napja keretében zajlott, más rendezvények pedig az osztályok egyéb szakmai rendezvényéhez kötődtek, és alapvetően pozitív visszhangjuk volt. Az ösztöndíjasok bekapcsolódhattak az Akadémia tudományos életébe, és a köztestület tagjai megismerkedhettek a fiatal kutatók munkájával.

A Kuratórium az ösztöndíj odaítélése után az ösztöndíj elnyerését igazoló dokumentum adományozásának is méltó keretet kívánt teremteni. Az oklevelek átadására ünnepélyes keretek között kerül sor, és ez a rendezvény kiegészül néhány, jelentősebb eredményt felmutató ösztöndíjas szakmai előadásával is. Az Akadémiához, az ösztöndíjhoz kötődést erősíti a Bolyai-jelvény is, amelyet minden ösztöndíjas megkap az oklevéllel együtt.

A Kuratórium a kiemelkedő szakmai

minősítést elérő végzett ösztöndíjasoknak Bolyai Emléklapot adományoz. Közülük néhányan, évente legfeljebb tizenöt főnek, a Szakértői Kollégiumok javaslata alapján MTA Bolyai Plakettet ítél oda, amelyet szintén ünnepélyes keretek között ad át.

A Kuratórium örömmel támogatja az ösztöndíjasok önálló szerveződését, amely a Bolyai Klub keretében, 2000-ben kezdődött. Ezen öntevékeny klubmunka keretei egyre inkább kirajzolódnak, és hasznosak abból a szempontból is, hogy a különböző tudományterületek képviselői a tudományos kutatómunka általános gondjaival, célkitűzéseivel kapcsolatos megbeszéléseket folytassanak.

V. GAZDASÁGI KÖRNYEZET

Az ösztöndíj mértéke 1998 és 2001 között a folyósítást megelőző évre megállapított kötelező legkisebb munkabér háromszorosra, 2002 és 2003 évben a költségvetésről szóló törvény fix összegben határozta meg; fedezetét a központi költségvetés az MTA költségvetésében önálló fejezeti előirányzatként biztosítja. Az ösztöndíj összege elvált a kötelező minimálbértől, és kormányrendeletben egy összegben került meghatározásra. Az ösztöndíjasok számára csalódást okozott, hogy az ösztöndíj nem tartott lépést a minimálbér emelésével. Több kezdeményezés született körülükben ennek a megváltoztatására.

A kormányrendelet megjelenésekor, 1997-ben pénzügyi terv készült, amelynek célja az volt, hogy 1998-tól 2000-ig folyamatosan kétszázötven-háromszáz ösztöndíjast kapcsoljunk be a rendszerbe. A teljes hároméves időtartamra kb. nyolcszáz Bolyai-ösztöndíjossal számoltak a tervek. Az 1998-as ösztöndíjpályázat meghirdetése nagy érdeklődést váltott ki. Eddigiek során ekkor pályáztak a legtöbben, több mint nyolcszázán. A nagyszerű szakmai pályázatokra tekintettel

a Kuratórium úgy döntött, hogy lehetőleg maximálisan kihasználja a rendelkezésre álló pénzügyi keretet, ezért háromszázötven ösztöndíjossal indította el a rendszert, azt tervezve, hogy ezt követően mintegy kétszáz-kétszáz fővel indítja meg 1999-ben, illetve 2000-ben a programot. Sajnos azonban az 1999-es ösztöndíjkeretek tervezésekor kiderült, hogy az erre a célra biztosított összegből 100 millió Ft zárolásra kerül. Ez komoly gondot jelentett az 1999-es ösztöndíjas pályázatok elbírálásakor, amelyek eredetileg áprilistól indultak volna. A már meglévő kötelezettségvállalásokra is tekintettel végül is a Kuratórium úgy döntött, hogy 1999-ben szeptembertől indítja az ösztöndíjat, összesen mintegy száznyolcvan fővel, és ezt követően lépéseket tesz annak érdekében, hogy az eredeti pénzügyi tervben szereplő összeg rendelkezésre álljon. Ezen törekvését elvi állásfoglalásával az Akadémia 1999. évi májusi közgyűlése is megerősítette, ezt figyelembe véve 2000-ben ismét rendelkezésre állt a megfelelő keret, így 2000-ben százötven, majd 2001-ben kétszázötven fővel lehetett az ösztöndíjat indítani. Ekkor azonban a Kuratórium már azt látta célszerűnek, hogy a kényszerből kialakult szeptemberi kezdést tekinti véglegesnek, így tulajdonképpen az ösztöndíj a tanévhez kapcsolódóan kerül meghirdetésre. 2002-ben száznyolcvan, 2003-ban pedig százhetvennyolc fő részesült ösztöndíjban.

VI. TOVÁBBFEJLESZTÉS

2000 novemberében, három év pályázatainak tapasztalatai alapján a Kuratórium elemezte a továbbfejlesztés lehetőségét. Erre az is ösztönözte, hogy időközben az Oktatási Minisztérium ugyane réteget megcélzó kétféle ösztöndíjat hozott létre (Békésy posztdoktori ösztöndíj, Széchenyi-ösztöndíj). Ösztönözték emellett az első években jelentkező sajátos dilemmák és az első döntések tudománypo-

litikai kihatásai. A Bolyai-ösztöndíj első meghirdetése, majd az első pályázatok elbírálása, az értékelési szempontok kidolgozása – a fiatal kutatók és a vezető tudósok köreiben, a tudományszervező apparátus soraiban egyaránt feltörő általános, szinte euforikus öröm mellett – meghozta az első gondokat is, az első határozott állásfoglalások kialakításának nehézségeit. Azon belül, hogy az elbírálás alapvető, meghatározó szempontja természetesen a minőség kérdése, kiknek ítélik oda az elbíráló testületek elsősorban az ösztöndíjat? Kiknek támogatását szolgálja a Bolyai-ösztöndíj mindenekelőtt? Egészen fiatalokat, kezdő kutatókat; PhD-t szerzett fiatalokat közvetlenül a fokozatszerzés után; tudományos fokozattal rendelkező, érett és tapasztalt kutatókat; az MTA doktora cím elnyeréséért pályázó vezető kutatókat támogasson? Vagy éppen állás nélküli fiatal kutatókat? Valamint milyen arányban részesedjenek az ösztöndíjból a határainkon túl élő fiatal magyar kutatók?³

A saját tapasztalatok és az új ösztöndíjak célkitűzéseit figyelembe véve a Kuratórium fő következtetései az alábbiak voltak:

- Markánsabban kell érvényesíteni az ösztöndíjnak azt a funkcióját, hogy segítse a pályázót az MTA doktora cím megszerzésére történő felkészülésben.
- Hangolja össze ezt az ösztöndíjat az időközben létrehozott másik két ösztöndíjjal.

Mindezek alapján a Kuratórium kezdeményezte a kormányrendelet módosítását a következőkben:

- Az ösztöndíjas pályázónak rendelkeznie kell PhD-vel vagy azzal egyenértékű tudományos fokozattal.
- A pályázat korhatárát negyvenöt évre javasolta felemelni.
- Nem pályázhat MTA doktora címmel rendelkező személy.

³ Körmendi Sándor – Stier Miklós: Haloványuló fényugarak. A Bolyai-ösztöndíjről – mindenkinek. Magyar Tudomány. 2000. 9. szám

Ezen javaslatok birtokában – figyelemmel időközben a minimálbér-változása miatti pénzügyi kényszerre is – a kormány a Bolyai-ösztöndíjra vonatkozó rendeletet módosította.

VII. TAPASZTALATOK

A Bolyai János Kutatási Ösztöndíj indításának idején jelentős szerepet vállalt a fiatal(abb) kutatók munkájának segítése terén. Az indulásnál – az akkori fizetések mellett – az ösztöndíj összege sem volt elhanyagolható, másrészt a támogatási lehetőségek köre is szűkebb volt. Az első évfolyamokon megfelelő, sőt jó mérítési bázis volt, kiváló emberek részesültek ösztöndíjban. A tapasztalatok szerint az ösztöndíjasok általában jól éltek a lehetőséggel. Az ösztöndíjas szerződés, illetve önmagában a „megtiszteltetés” intenzívebb, célratörőbb, határidőhöz kötött munkára ösztönözte a fiatalokat.

Hat év tapasztalata alapján elmondható, hogy az ösztöndíj beváltotta a hozzá fűzött reményeket. Egyrészt növelte a legkiválóbb fiatal kutatók hozzájárult ahhoz, hogy kevesebben távozzanak külföldre), másrészt az alapos döntési eljárás lehetővé tette a legjobbak kiválasztását. Volt ugyan néhány bizonytalansági tényező (például a finanszírozás hullámvásai), ami a Bolyai-ösztöndíj rendszerének a kiszámíthatóságát veszélyeztette, de alapvetően szerencsére nem rendítette meg.

A Bolyai-ösztöndíj helyesen célozta meg azt a réteget, amelynek az ösztöndíjat a Kuratórium odaítéli, mert egy stabil, megállapodott kutatói réteg kapott ezzel támogatást, amely már komoly tudományos eredmények elérésére képes és ilyen eredményeket valóban fel is tud mutatni. Helyes volt az a cél is, hogy az akadémiai doktori értekezés megírását segítse elő, mert valóban mind több volt Bolyai-ösztöndíjas nyújtja be dok-

tori értekezését az MTA Doktori Tanácsához (lásd 10. melléklet). Ez döntően a műszaki és természettudományokban igaz, de kezd a társadalomtudományok területén is megmutatkozni. A korhatár negyvenöt évre való kiterjesztése is ezt a célt szolgálta.

A Bolyai-ösztöndíj nem pusztán beépült a hazai ösztöndíjak rendszerébe, hanem generálójá volt az ösztöndíjrendszer kialakításának. Az Oktatási Minisztérium a Bolyai-ösztöndíj megszületése után, annak első tapasztalatai alapján alakított ki egy országos ösztöndíjpolitikát és épített ki ösztöndíjrendszert. Ez a rendszer az Akadémia és az Oktatási Minisztérium együttműködésével született meg, és az Akadémiának tudománytörténeti szerepe volt ennek létrehozásában. Az ösztöndíjak kuratóriumai is kialakították együttműködésüket, amely az indulás óta folyamatos. Valamennyien tartják magukat ahhoz az elvhez, hogy a Békésy-, Bolyai-, Magyary- és Széchenyi-ösztöndíjak rendszert alkotnak, s ezeket egyidejűleg nem lehet elnyerni. Ugyanakkor nem hátrány, hogy az ösztöndíjak között vannak bizonyos átfedések, ezek nem egyszerűen egyenes láncolatot alkotnak, mert így ugyanazoknak a korosztályoknak alternatívákat is kínálnak.

Az ösztöndíjasok megfelelőnek tartják a pályázati lapot és a mellékleteket, korszerűnek, hogy a honlapról elektronikusan is letölthetőek a pályázathoz szükséges nyomtatványok. Értékelték, hogy éves és záró kutatói jelentéseket kellett benyújtani, amelyekre visszajelzést is kaptak.

Cserni Gábor volt Bolyai-ösztöndíjas fogalmazta meg sokuk pozitív vélekedését a Bolyai-ösztöndíjről: „Az ösztöndíj elsősorban azzal segített munkámban, hogy családos ember lévén, nem azzal kellett törődnöm, hogy miből élünk meg, hanem a második vagy harmadik munkahely helyett kutatási feladataimra tudtam az időt szánni. Az ösztöndíj összege ezt mindenképp lehetővé tette, és ezért nagyon is hálás vagyok, hogy

a kuratórium méltónak talált az ösztöndíjra, és igyekeztem a megisztelő bizalmat eredményekkel alátámasztani; ... Az anyagi juttatás mellett szubjektív támogatást is nyújtott az ösztöndíj; nem kis büszkeséggel jegyeztem meg a három év alatt született közleményeimben, hogy az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíja támogatott munkám elvégzésében.” Az ösztöndíjasok zöme, akikkel az évek során beszélgettünk, ugyanezekkel az érzésekkel viszonyult a Bolyai-ösztöndíjhoz.

A rendszeres értékelés elengedhetetlen az eredményesség érdekében, ezért nagyon helyes az évenkénti és záró kutatói jelentések bekérésének és értékelésének módszere. Értékesnek tarthatjuk a pályázatok és teljesítések értékelésénél alkalmazott és fejlődő szempontrendszert, az értékelésnek nemrégiben bevezetett új formáit, a legkiválóbbaknak MTA Bolyai Plakett, és minden kiemelkedő teljesítményű ösztöndíjasnak Bolyai Emléklap adományozását. Az MTA Bolyai Plakett alapításával a Kuratórium és a szakértői kollégiumok nehéz feladatot adtak saját maguknak, mert – szerencsére – sok kiváló ösztöndíjas van, akik közül egy-egy szakértői kollégiumon belül kiválasztani a legkiválóbbat, komoly nehézséget – már-már lehetetlen feladatot – jelent. Különösen nehéz azoknak a szakértői kollégiumoknak a dolga, ahol egyszerre több tudományág van jelen.

Nagyon fontos, hogy az ösztöndíjasoknak lehetőséget teremtetek arra, hogy előadásokkal mutakozhassanak be az Akadémián. Értékes kezdeményezés volt a Bolyai Klub létrehozása, amely a különböző tudományterületen dolgozó ösztöndíjasok összefogásának intézménye, ahol megismerkedhetnek egymás munkájával, és közérdeklődésre számot tartó előadásokat hallgathatnak meg.

Jó visszhangot váltott ki, hogy az ismételt kiválóan teljesítők újra pályázhatnak. Mind a Kuratórium tagjai, mind az ösztöndíjasok pozitívan értékelik ezt a változást. Felmerült az is, nem szerencsés, hogy csak az első hároméves ciklus lezárulása után lehet ismét

pályázni, mert így egy év kimarad a két ciklus között. A jövőt illetően az újr pályázók közül az ösztöndíjat elnyerők számának a korlátozása újragondolandó. A végig kiválóan teljesítők közötti válogatás ugyanis nem lesz egyszerű feladat, bőven túltesztelik az előző pályázók értékelési mutatóit. Felmerül a kérdés, hogy milyen alapon lehet majd közülük – esetleg helyhiány miatt – kizámi ígéretes, értékes és ráadásul már egyszer bizonyított kutatókat.

A hat év alatt nem nagy számban fordultak elő nem, vagy gyengén teljesítő ösztöndíjasok. Az ő beszámoltatásukra azonban mindig sor került. Az esetek nagyobbik részében az derült ki a beszámoltatás során, hogy ezeknek az ösztöndíjasoknak az „ön-adminisztrációs képességük” a rossz, vagyis egyszerűen rosszul írták meg beszámolóikat. Azokban az esetekben azonban, ahol végül is a nem teljesítés bizonyosodik be, a szankciók rendszerének újragondolása volna indokolt, azt markánsabbá, „elriasztóbbá” kellene alakítani. Szankcionálni kellene továbbá azokat, akik nem nyújtják be beszámolóikat, vagy ezt nem határidőre, csak újabb felszólításra teszik, további felesleges munkát okozva ezzel az adminisztrációnak.

Indokolt, hogy a változó körülmények miatt a pályázati feltételek bizonyos mértékben, a tapasztalatok függvényében ismételten változzanak vagy változhassanak.

A Kuratórium az évek során jól együttműködő testületté, működése gördülékenyvé vált. Nem volt könnyű a helyzetük azoknak a kuratóriumi tagoknak, akik két akadémiai osztály diszciplínáit is képviselték. (Az ebben a helyzetben lévők igyekeztek részrehajlás nélkül eljárni a kuratóriumi munkájukban. Hogy ez mennyire sikeres lehetett, jól mutatja, hogy a matematikai tudományok szakértői kollégiuma köszönetet mondott Tompa Kálmánnak, a fizikai tudomány doktorának, aki a legnagyobb meglepődésükre képviselte tudományágu-

kat.) A Kuratórium tagjai (beleértve azokat az érintetteket is, akiknek ez kétszer annyi munkát jelent) helyeslik a kuratóriumi tagok számában megmutatkozó interdiszciplinaritást, és nem értenének egyet az egy osztály – egy kuratóriumi tag struktúrával.

A Bolyai-ösztöndíjrendszer sikeres működésében fontos szerepe volt a Kuratórium és a szakértői kollégiumok munkáját kiszolgáló hivatali szervezetnek. Megállapítható, hogy szerencsésnek bizonyult a Vezetői Kollégium 1997. november 26-i döntése, mely szerint a Bolyai-ösztöndíjal kapcsolatos igazgatási feladatokkal a Doktori Tanács Titkárságát és a Pénzügyi Főosztályt bízta meg. A Bolyai-ösztöndíj elmúlt hat évének eredményes lebonyolításához mindkét szervezet hatékonyan járult hozzá azzal, hogy a személyes ügyintézkést szakszerűen, emberségesen végezte, és feladatát korszerű számítógépes rendszer támogatásával oldotta meg.

Szokás mondani, hogy „minden szándék annyit ér, amennyit megvalósítanak belőle”. Az elmúlt évek tapasztalatai azt bizonyítják, hogy a szakértői kollégiumok és a Kuratórium közel optimumot „hoznak ki” a lehetőségekből, mert ügyeltek a szakmai és életkori arányokra, nem nyomták el a huszonéveseket, de segítették a nagydoktori előtt álló kutatókat is. A több szakmát összefogó szakértői kollégiumok is mindig megtalálták a szakmák közötti konszenzust, ha ez – különösen kezdetben – nem is mindig ment zökkenők nélkül. Az ösztöndíj hosszú távú fenntartása a tapasztalatok tükrében feltétlenül indokolt.

MELLÉKLETEK

(Lapunk honlapján olvashatók)

1. melléklet: 156/1997. (IX.19.) és 316/2001.(XII.28.) Kormányrendeletek
2. melléklet: A MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj Szabályzata
3. melléklet: A Bolyai János Kutatási Ösztöndíj Kuratóriuma

4. melléklet: Az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj Kuratóriumának Szervezeti és Működési Szabályzata
5. melléklet: Pályázók számának alakulása szakértői kollégiumonként (1998-2003)
6. melléklet: Pályázók megoszlása életkor és fokozat szerint (1998-2003)
7. melléklet: Ösztöndíjat nyertek számának alakulása szakértői kollégiumonként (1998-2003)
8. melléklet: Ösztöndíjat nyertek megoszlása munkahely típusa szerint (1998-2003)
9. melléklet: Ösztöndíjat nyertek megoszlása életkor és fokozat szerint (1998-2003)
10. melléklet: MTA doktori címet szerzett Bolyai-ösztöndíjasok számának alakulása

11. melléklet: Az ösztöndíj időtartamának letelte előtt megszüntetést kérők számának alakulása szakértői kollégiumonként.

Budapest, 2003. szeptember 8.

Az elemzés előkészítésében való értékes közreműködésükért köszönetet mondunk a Doktori Tanács Titkárság dolgozóinak, név szerint is Kömendi Sándornak, Kozári Monikának és Szalai Sándornak.

*a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj
Kuratóriuma*

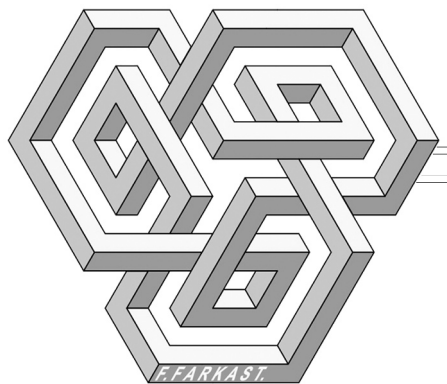


SZIMMETRIA FESZTIVÁL BUDAPESTEN

Darvas György
tudományos főmunkatárs
MTA Kutatásszervezési Intézet
darvasg@helka.iif.hu

Bérczi Szaniszló
egyetemi docens
ELTE TTK Általános Fizika Tanszék
bercziszani@ludens.elte.hu

Budapest a fesztiválok városa volt 2003-ban. Ezek egyike, az augusztus 16-22. között első ízben megrendezett nemzetközi Szimmetria Fesztivál a tudományok és a művészetek találkozásának ünnepe volt. Tudomány, művészet sok van, ráadásul számos rendezvény témája ezeknek egy-egy részterülete. Ennyire tágra meghatározott érdeklődési kört csak egy jól körülhatárolható összekötő elem mentén lehet összefogni, amely valamennyi tudományban és művészetben jelen van. Ilyen összekötő kapocs a *szimmetria* is, de ez a fogalom még mindig nagyon tág, hisz a nemzetközi rendezvénynaptárba pillantva évente több tucat olyan rendezvénnyel találkozunk, amelyen a szimmetria jelentős szerepet kap. Ezúttal a szimmetriát mint az állandóság és a változás szintézisének fogalmát, jelenségét, módszerét jelölték meg a szervezők a fesztivál tematikájául. A budapesti fesztivál azokat a témákat preferálta, amelyek a tudomány eszközeivel, módszereivel a közös momentumokat tárgyalták a tudományok eredményeit alkalmazó vagy éppen fordítva, azokra hatást gyakorló művészetekben. A résztvevők tehát nem elsősorban saját tudományterületük vagy művészeti águk szimmetriáit keresték, hanem a szimmetriának mások szakterületén is fellelhető közös elemeit, azt, ami közös szerteágzó munkájukban, s ami tudományterületüket így mégis összekapcsolja. Keresték, és a fesztivál fórumán meg is találták. A fesztivál címe *Az állandóság és a változás szintézise* a szimmetriafogalom általánosításából ered.



1. ábra • A *Symmetry Festival 2003* logója, F. Farkas Tamás grafikája

Mindannyiunknak vannak hétköznapi fogalmaink a szimmetriáról, s ezek segítségével többnyire a tükrözéssel, esetleg a forgásszimmetriával azonosítjuk e jelenséget. Tudjuk, hogy hétköznapijainkon kívül jelen van a műalkotásokban, épített környezetünkben és a természet számos jelenségében. Tudjuk, hogy a kifejezés görög eredetű, de kevésbé közismert, hogy a görögök számára nem elsősorban geometriai jelentéssel bírt, hanem a harmóniát, az arányosságot, ennek révén pedig átvitt értelemben a művészi szépséget is jelentette. A tudományban a szimmetria keresése a tudományos igazság keresésével azonosult, az etikában pedig a középutat, kiegyensúlyozottságot követő helyes, erényes viselkedést jelentette. A reneszánszban jelentése átalakult, elsősorban az újrafelfedezett Vitruvius, vagyis főként

az építészet hatására erősödött geometriai jelentéstartalma, ami szinte egyeduralkodóvá vált a XIX. században, amikor is – Platón és Arisztotelész formátanát követve – a kristálytan vált a szimmetriakutatások meghatározó terepévé. A szimmetria fogalmának általánosítása azonban megállíthatatlanul folytatódott a XX. században, amikor a kristálytani alapokat átvette a *design*, majd részben kristálytani, részben statikai alapokon, nem utolsósorban a szinergetika elvének érvényesítésével követte ezt az építészet megújulása. Mindezzel párhuzamosan haladt a biológiában – a morfológiai szimmetriák megismerése után – a funkcionális szimmetriák felismerése és alkalmazásaik immár a humán és a társadalomtudományokban is. A legabsztraktabb általánosítást pedig az anyag fizikai szerkezetének kutatásában érte el, a mo-dem fizikai kutatások alapfogalmává válva.

Lehet-e az ily szerteágazóan alkalmazott szimmetriát a görög vagy akár a vitruviusi alapokon értelmezni? A fesztivál résztvevőinek válasza a kérdésre egyértelmű: lehet, csak általánosabban kell definiálni. Mindenesetre nem lehet elégszer hangsúlyozni, a szimmetrológusok számára a szimmetria egyrészt jelenség, másrészt a jelenségszaladot leíró fogalom, harmadrészt pedig művelet, amellyel a szimmetria jelensége létrehozható.

A szimmetria hétköznapi, geometriai jelentései azon a tapasztalaton nyugszanak, hogy tükrözés, forgatás, eltolás vagy bármely egyéb geometriai művelet során egy adott geometriai alakzat formája, térbeli helyzete vagy valamely geometriai tulajdonsága (esetleg több is) változatlan marad. Az általánosítás első lépésben azon alapulhat, hogy geometriai tulajdonság helyett vehetjük mondjuk a szint vagy valamely más nem geometriai tulajdonságot. Az általánosítás második lépéseként a geometriai objektum helyett vehetünk egy más objektumot, például logikai jelet vagy fizikai eseményt. Harmadik lépésben

pedig mindezeket alávethetjük nemcsak geometriai műveleteknek, változtatásoknak, hanem például ellenkező előjelűre cserélhetjük elektromos töltésüket. Általánosított értelemben tehát akkor beszélünk szimmetriáról, ha minden (geometriára korlátozódó) megkötés nélkül egy tetszőleges objektum, jelenség valamely tulajdonsága változatlan marad valamely (tetszőleges jellegű) változás során, amelynek következtében más tulajdonságai megváltoznak. Az adott objektum változatlanul maradó tulajdonsága a szimmetria. Ebben az értelemben tekintjük az állandóság és a változás szintézisének, amely a hétköznapi élet, a tudományok, a művészetek számos területén változatos formákban nyilvánul meg.

Az absztrakcióban legmesszebb menő fizikai szimmetriákon kívül két alkalmazási terület játszott meghatározó integráló szerepet a XX. század második felében a szimmetriák tanulmányozása során. Az egyik a designhoz, a másik a szinergetikához kapcsolódik (és mindkettő szorosan kötődik az építészeti alkalmazásokhoz is). A szimmetrológusok számára azonban azért kedveznek, mert tág lehetőséget kínálnak arra, hogy a különböző területeken dolgozó mémőkők, tervezők, művészek, kutatók gondolatokat, megoldási ötleteket, módszereket kölcsönözzenek egymástól. Ahhoz, hogy a szimmetria révén átültethető problémamegoldások termékeny talajba hulljanak, szükség van a különböző szakmák szimmetria iránt érdeklődő művelőinek időszakonkénti személyes találkozására. Az írott folyóiratok, az internetes diszkussziók, a személyes levelezés mellett a személyes találkozás és közvetlen gondolatcsere, a személyes ismeretség varázsa semmi mással nem pótolható. Ráadásul ez utólag is hat, amikor olyan személlyel cserélünk írásban gondolatot, akivel már találkoztunk, személyesen vitattunk meg kérdéseket. Az olyan bemutatókról, ismeretek átadásáról nem is szólva, amelyeket

nem lehet sem írásban, sem videón, sem CD-n, de még interaktív internetes oldalon sem átadni. Ilyen fórumként szolgált a Szimmetria Fesztivál. A fesztivál, amely számos kulturális programjával az előadótermeken kívül is csaknem egy héten át napi 12-13 órán keresztül együtt tartotta a résztvevőket, azért bizonyult alkalmas eseménynek az interdiszciplináris diskurzusokra, a szó szoros értelmében vett gondolatcserékre, mert az igazi eszmecserék ezeken a kötetlen fórumokon folytak.

A fesztivál előkészítését ötvennégy tagú nemzetközi, illetve tizennégy tagú hazai tanácsadó bizottság – az előbbiben négy Nobel- és egy Wolf-díjas valamint egy Einstein-medállal és két Grossman-díjjal kitüntetett tudós, az utóbbiban négy akadémikus – és egy húsz főből álló szervezőbizottság segítette. A program során hat napon keresztül plenáris üléseken, illetve délutánonként párhuzamos szekciókban előadások hangzottak el. A szünetekben az előadótermek előterében álló asztalok, poszterek között a kiállítók várták az érdeklődőket. Esténként kulturális programok, kortárs zeneszerzők hangversenyei – saját bemutatásukban –, a mozgásművészetet, ritmust és költészetet egybeszővő euritmia bemutató, videovetítések és internetes bemutatók zajlottak. Négy kiállításra is sor került. Három különböző



2. ábra • Einar Thorsteinn arany-
metszés- pavilonjának szerkezeti váza

helyszínen három tematikusan elkülönülő képzőművészeti kiállítás nyílt, s a negyedik – a tudományos rendezvényekkel azonos helyszínen – modelleket, maketteket és posztereket mutatott be. A képzőművészet mellett az építészet és a társművészetek kölcsönhatása is tetten érhető volt a tudományok mindegyikén, és hasonlóan hangsúlyos volt a design jelenléte is (2. kép).

A színergetika alig három-négy évtized alatt szinte klasszikus területévé vált a szimmetria fórumainak. Formatervezőktől szerkezeti kémikusokig, krisztallográfusoktól virológusokig, grafikusoktól filozófusokig, szobrászoktól statikusokig, építészekől geometerekig szinte mindenki alkalmazza és kutatja alapelveit. A színergetikai elv sikere a fullerén molekula felfedezéséhez vezető úton a – művészeteket is magában foglaló – interdiszciplináris gondolkodás diadala, az utóbbi évtizedek egyik leglátványosabb sikertörténete volt, amelynek példája a mai napig ösztönzően hat a szimmetrológusok tevékenységére.

A szimmetriaelvek sikeres alkalmazása a design területén sok példával szolgál. A leglátványosabb hatásúak az elmúlt három évtizedben talán mégis a sík ötszöges szimmetriát mutató lefedésének, illetve a tér ötszöges szimmetriát mutató kitérésének megoldási lehetőségei voltak, amelyek egy ősinek mondható geometriai problémát, a díszítőművészeteket is segítségül hívva oldottak meg, úgy, hogy közben az anyagtudomány számára felfedezték az úgynevezett kvázikristályokat. Az ennek során kidolgozott kváziperiodikus elrendezések tudománya a szimmetrológiának is egyik központi témájává vált.

A szimmetria az önálló designban a huszadik század eleje óta összekötő kapocs volt a tudományok és a művészetek között. Ekként vonult be az oktatásba a Bauhausban, majd annak utódintézményeiben. Feltehető a kérdés, hogy a mai szimmetrológia mit

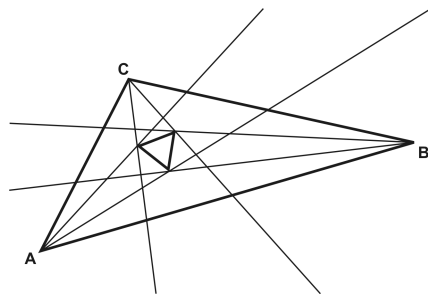
vállalhat a gropiusi kiáltványok alapelveiből, illetve mivel szükséges a mai kor számára kiegészítenie azokat. Nos, a több mint nyolcvan éve megfogalmazott elvek ma is vállalhatók. Kiegészítésre szorulnak azonban a műszaki fejlődés eredményeivel. A mai design elengedhetetlen eszköze a számítógép. A számítógép ugyan éppúgy nem hoz létre magától új formákat, ahogy az ecset sem fest magától képet, de az alkotó emberi elme kiegészítőjeként a tervezésnek olyan hatékony eszköze lett, amely minőségileg változtatta meg a designt. Ez a minőségi változás a legutóbbi másfél évtizedben vált meghatározóvá, részben azzal, hogy mindenki számára könnyen kezelhető interfésszel felszerelt programok kerültek forgalomba, részben pedig azzal, hogy a személyi számítógépek ebben az időszakban terjedtek el olyan mértékben, hogy szinte minden tervező, kutató, sőt laikus felhasználó számára is hozzáférhető és egymással összekapcsolhatóak lettek. Ha valami igazán minőségi különbséget fedezhettünk a mostani szimmetria fesztivál, illetve a Budapesten legutóbb tizennégy éve rendezett hasonló rendezvény között, akkor ez a számítógépes design alkalmazásaiban érhető tetten. Ez a ma már természetesnek tűnő eszköz és felhasználói programjai új integráló elemként szerepelnek a tudomány és a művészet határán.

A fesztiválon elhangzott előadások közül először néhány olyat emelünk ki, amelyek eredetien új kutatási eredményekről számoltak be, ami nem jelenti azt, hogy összegző, elemző, illetve áttekintő jellegű előadások nem tartoztak ugyancsak a sztárprogram-pontok közé.

A geometria területén a legnagyobb újdonságot talán Johan F. Aarnes és Signe H. Knudtson norvég kutatók szolgáltatták a Morley-háromszögre vonatkozó tétel (egy tetszőleges háromszög belső szögharmadainak metszéspontjai mindig egy szabályos háromszöget alkotnak) új bizonyításával,

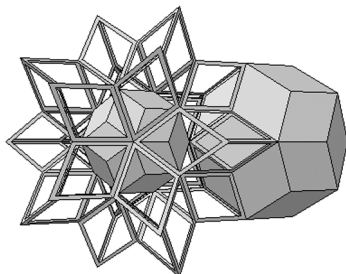
amelynek illusztrálására a számítógépes design lehetőségeit maximálisan kihasználták. Az új bizonyítás a szögekre vonatkozó aritmetikai számítások helyett kifejezetten a háromszög rejtett szimmetriáira épül (3. kép). Ozone Jun az ún. fixpont-tételt a hagyományos japán geometria, a *wasan* szabályai szerint bizonyította – a számítógépes vizualizációt igen szemléletesen, de csak az illusztrálásra felhasználva –, és rámutatva alkalmazásaira az *origami* (szétvágás nélküli papírhajtogatás) törvényszerűségeiben. Hasonló eszközökkel mutatta be Roberto Giunti a Paul Klee formabontó perspektíva kísérleteiben megmutatkozó rejtett szabályosságokat, s hogy miként tekinthető a megtöbbszörözött néző- és enyészponttal jellemezhető perspektívájú ábrázolás sajátos, összetett szimmetriaműveletnek. Ugyancsak geometriai újdonság volt Perjés Zoltán előadása, amely a hat, különböző színekkel megjelölt lapú kockából alkotott tóruszok egy problémáját oldotta meg: a hat színes kockából alkotott tóruszok harmincnégy színinvariáns osztályát a Conway-mátrixon színinvariáns huszonegy minta izomérjének tekintve.

A poliéderek világa hangsúlyozottan szerepelt a fesztivál programjában. A számítógépes reprezentáció forradalmasította a poliéderek világáról megszerezhető ismereteink lehetőségeit, és napjaink kutatói élnek is vele. Kabai Sándor és Bérczi Szaniszló



3. ábra • A Morley-háromszög

számítógépes programok felhasználásával mutatták be, hogyan építhető meg egy képzeletbeli űrállomás szerkezete illeszkedő poliéderrendszerekből, amely a fő funkcionális követelményeket is kielégíti. (Szétnyitható szerkezeteket mutatott be Szergej N. Sajapin posztere is.) Michael Burt – a kvázikristályok által inspirálva – a félig szabályos rombikus triakontaéderek egy osztályának kváziperiodikus legsűrűbb pakolásával foglalkozott, amelyek megfeleltethetők a gömbi (3.2.5) szimmetriacsoportnak. A poliéderek látványos megtestesítői számos geometriai szimmetriának. Magnus Wenninger, Kabai Sándor és Szilassi Lajos poliédereinek kiállításán mindig sok érdeklődő illesztette össze vagy szedte szét elemeire a kiállított alakzatokat (4. ábra)



4. ábra • Poliéderek „dokkolása”
(Kabai Sándor számítógépes grafikája)

Darvas György előadásában – Maurice C. Escher többek által elemzett műalkotásaira utalva – megmutatta, miként tekinthetők a kváziperiodikus lefedések egy mérték-szimmetriának, továbbá bemutatta, hogy miként lehet – szinkódokkal jellemzett pontokból álló mátrixnak tekintett – képeket (egy szabadalmazott eljárással) a matematikai mátrixfelbontáshoz hasonló módon szimmetrikus és antiszimmetrikus összetevőkre bontani, s miként használható föl mindez – a művészi képelemzésen kívül – műszaki alkalmazásokban is. A világ szimmetrikus

és antiszimmetrikus összetevőkre bontása a keleti filozófiáknak visszatérő eleme volt. Hasonló gondolatok felmerültek Kirti Trivedinek az indiai *talamana* rendszerről bemutatott elemzésében is. A szimmetria és az antiszimmetria egysége a kínai *Változások könyvének* szintén alapeleme volt – gondoljunk csak a jin-jangra – s a *Változások könyvének* szimmetriái a hármas kódok algebrájában is előfordulnak. Erre a gondolati és formai hasonlóságra rámutatott Szergej V. Petuhov is a genetikai kódok és a fehérjeszintézis algebrája kapcsán. A genetikai kódok és a tripleteikből fölépíthető fehérjeszintézis algebrája napjaink genetikájának gyorsan terjedő kutatási területe. Ennek az algebrai nyelvnek egyik úttörője, Petuhov, itt mutatta be először nemzetközi fórumon e tripletek bipériódusos rendszerbe foglalására vonatkozó eredményeit, és azok lehetséges alkalmazásait, illetve következményeit.

Több poszterbemutató (Orosz István, Bérczi Zsófia) és előadás (Emanuel Dimas de Melo Pimenta) elemezte a szimmetria és a labirintusok kapcsolatát. Ezt az ősi építészeti formát a különböző korok más és más céllal újították föl, de a gyakori újraépítés mégis arra utal, hogy a szimmetriának és a rejtvénynek ez az összekapcsolása a szimmetriafogalom állandó újragondolásának egyik hajtóeleme a térformálásban. Mára egy másik hajtóerővé vált a struktúrák fraktálszerkezete. Bense László svédországi és magyar kutatókból álló csoportja a tüdő szerkezetében mutatott rá e fogalom fontosságára, miközben a tüdő számítógéppel modellezett szerkezetének (Kabai Sándor, Bérczi Szaniszló) elváltozásait egyes tüdőbetegségekkel kapcsolta össze munkájában. Fröhlich Georgina a zenében mutatta be hallgatható variációkban is a fraktálos szerkezet szerepét.

A szimmetriakutatás örök témái a mintázatok. Hargittai István megnyitó előadásától, Annegrete Haake indonéziai batikmintáin, Bérczi Szaniszló eurázsiai régészeti leletekről

bemutatott típusain és Ramila Patel szváci-földi fűfonatos szimmetriamintáin át, a Hatok *Természet-Matematika-Művészet* kiállításának formáit is érintve, Takaki Ryuji rezgő csepp és Konsztantyin V. Frolov, Sz. V. Petuhov és Vlagyimir V. Utencov biotechnológiai mintázataiiig számos előadó mutatta be e témavariáció kimeríthetlenségét. Külön szekció foglalkozott a spirális szimmetria eredményeivel, amelyből Erdély Dániel síkbeli és térbeli spidron rendszere emelhető ki. A ma is eleven kézművességtől (Bérczi Katalin, Annegret Haake) a modern számítógépes grafikáig (Irina Aniscsenko, Kabai Sándor) vivő utakon pedig azt is láthatták a résztvevők, hogy a szimmetria-rejtvény kapcsolat nemcsak a labirintusban, hanem a régi összetett (sakk, fonott tárgyak és bútorok) és a konstruált új (rombikus triakontaéderekből megépített) szerkezetekben is föllelhető.

A legnagyobb érdeklődéssel várt előadások sorából kiemelendő Hargittai Istvánnak – az Akadémia nevében tartott – megnyitó előadása, amelyben szimmetriáknak tudománytörténeti jelentőségű felfedezésekben játszott szerepét vette sorra, a gondolati háttér mellett az analógiákra és a művészetekkel való kapcsolatokra is rámutatva. E gondolatkörhöz kapcsolható Schiller Róbert, valamint Albert van der Schoot sok kultúrtörténeti elemmel illusztrált előadása is. A fizika több fejezetét átfogó, szintén számos történeti elemmel illusztrált előadást tartott Yuval Ne’eman – az SU(3) szimmetria és annak a részecskék osztályozásában való alkalmazásainak társfelfedezője – a fejlődési folyamatok szimmetriájáról, komplexitásáról és entrópiájáról. A fizikában bevezetett ún. tiltott szimmetria fogalmának a kvázikristályokra való alkalmazásáról tartott előadást Ivar Olovsson. David Avnir a szimmetria mérhetőségéről beszélt molekulaszervezeteknek a geometriailag lehetséges legtökéletesebb szimmetriától való eltéréseinek számszerűsítése kapcsán, míg Robert Glaser szintén szerkezeti kémiai ala-

pokon elemezte Escher – kristályszerkezeteket tükröző – periodikus szimmetriarajzainak megfeleltetését az NMR spektroszkópiában kirajzolódó mágneses mintázatokkal. Doris Schattschneider, az Escher-életmű matematikai feldolgozója, a természettudományokban oly jelentős szerepre szert tett lokális és globális szimmetriák összecsapását elemezte, ugyancsak Escher művészi munkássága kapcsán. Kiemelendő még Theo Hahn előadása a kristálydomének szimmetriáinak kísérleti megfigyeléséről, illetve Solomon Marcus előadása, aki a kváziperiodicitást a szemiotika kapcsán elemezte, következtetéseit kiterjesztve biológiai, filozófiai és esztétikai példákra is.

A kiállítási program középpontjában a huszadik század napjainkban is tovább élő geometrikus képzőművészeti irányzatai álltak, amelyeket Beke László elemző művészettörténeti bevezetővel nyitott meg. Ezen irányzatokon belül is hangsúlyozott szerepet adott és külön kiállítást szentelt a fesztivál a MADI (Mozgás, Absztrakció, Dimenzió, Invenció) irányzatának, amely a konstruktivizmus geometrikus jellegét megőrizve többek között kilépett a kép síkjából, a téglalap szabta keretek korlátaival szakítva felvállalt valamennyi geometriai alakzatot, és vállalta a színek kontrasztja által kínált variabilitást. Dárdai Zsuzsa a kiállítások kurátoraként és Fejérvári Boldizsárral közös előadásában újszerű megvilágításban elemezte a MADI kapcsán a képzőművészet és a szimmetria sajátos kapcsolatát.

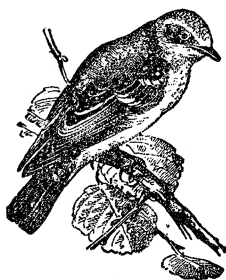
A fesztivál keretében megemlékezésekre is sor került. Több előadás emlékezett meg a pár hónappal korábban elhunyt H. S. M. Coxeterről, aki nagyon készült arra, hogy ezen a fórumon még előadást tartson. Külön szekció emlékezett meg a szimmetriamozgalom két kiemelkedő „filomorf” tagjáról, Cyril Smithről, aki 1989-ben még itt volt az előző nagyobb budapesti szimmetriarendezvényen, s most lenne százéves, illetve Arthur Loebrol,

aki egyik szellemi előkészítője volt ennek a fesztiválnak, és itt szerette volna ünnepelni nyolcvanadik születésnapját – tanítványai, kollégái nem feledkeztek el róla.

További rendszeres fórumok szervezése és a folyamatos kapcsolattartás, kölcsönös informálódás érdekében a fesztivál résztvevői egy új nemzetközi egyesület, az International Symmetry Association (ISA) létrehozását határozták el, amely az egyéni tagok mellett kollektív tagokat is tömörít. A szimmetriamozgalom megújulása és egy új

szervezeti forma iránti sürgető igényt jelzi, hogy taglétszáma néhány hét alatt közel ötven országból több százra bővült. Az egyesület keretében rövid idő alatt öt tematikus vitacsoport, klub, társaság alakult egyes szakterületek szimmetriáinak vitafórumául, s folyamatosan szerveződnek továbbiak.

A *Szimmetria Fesztivál 2003* programja a <http://www.conferences.hu/symmetry2003/>, a *Nemzetközi Szimmetria Egyesület* honlapja a <http://us.geocities.com/symmetrion/> címről érhető el.



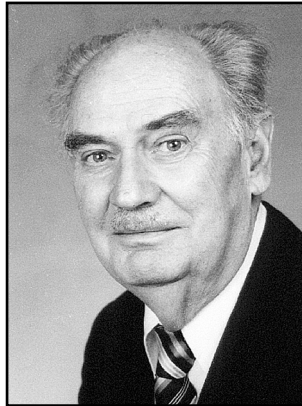
Megemlékezés

Farkas Tibor akadémikus kevesek által művelt tudományág élmezőnyében számon tartott tudós, tekintélyes lipidkutató volt. Szerecsésnek tartotta magát, amiért egész életében „szórakozhatott”. Azzal foglalkozott, amit szeretett.

Farkas Tibor 1929. június 8-án született Budapesten. Elemi iskoláit Kelebián végezte. Gimnáziumi tanulmányait Kiskunhalason a református Szilády Áron Gimnáziumban kezdte 1940-ben, majd Szabadkán folytatta a Magyar Királyi Fiúgimnáziumban. Később visszakerült a kiskunhalasi gimnáziumba, érettségi bizonyítványát is itt szerezte 1948-ban.

Két évvel később került a Szegedi Tudományegyetem biológia-kémia szakára. Az egyetem első két évfolyamát itt végezte el, majd 1952 őszén, a szakbiológus oktatás beindulásakor az Eötvös Loránd Tudományegyetem állatfiziológus szakán folytatta nagy érdeklődéssel tanulmányait.

A diploma megszerzése után, 1955-ben kinevezték az MTA Tihanyi Biológiai Kutatóintézetébe. Az ezt követő majdnem két évtizednyi kutatómunkát először 1956-ban egy pár hónapos tanulmányút a Német Demokratikus Köztársaságba, majd 1963-ban a Milánói Tudományegyetem Farmakológiai Intézetének meghívására eltöltött bő egyeztetendőnyi időszak szakította meg. Néhány évvel később a Szovjetunióban tengerbiológiai



FARKAS TIBOR

(1929–2003)

giai és zsírkutatással foglalkozó intézeteket látogatott, 1972-73 között pedig Los Angelesben, a Kaliforniai Egyetemen (UCLA) végzett kutatómunkát.

Kandidátusi fokozatát 1970-ben, a doktori címet 1990-ben szerezte meg. Az MTA Szegedi Biológiai Központ Biokémiai Intézetének 1971-től volt kutatóprofesszora haláláig.

A szakmai elismerést a nyolcvanas évek vége hozta meg számára: 1989-től az Amerikai Nemzeti Tudományos Akadémia, 1990-től a Magyar Tudományos Aka-

démia levelező, majd 1998-tól az MTA rendes tagjává választották. Az MTA Szegedi Akadémiai Bizottságának alelnöke volt 1993-tól, később a TMB és a Doktori Tanács, továbbá a Német Lipidtudományi Társaság (1959), illetve az Amerikai Olajkémikusok társaságának tagja (1991). Széchenyi-díjjal 1998-ban tüntették ki.

Fő kutatási területe a lipidek biokémiája és élettana, különös tekintettel a membránok hőmérsékleti adaptációjára. A sejtmembránok szintjén történő termoadaptáció története az 50-es évek második felére, helyileg pedig az MTA Tihanyi Biológiai Intézetébe nyúlik vissza, ahol 1955 óta foglalkozott lipidekkel, ezekkel a vízben nem oldódó anyagokkal. Az ifjú kutató kedvenc időöltésének hódolva gyakran gyűjtögette egy vödörbe a Balatonban élő alacsonyabb rendű rákokat. Feltűnt neki, hogy zsíros lett tőlük a víz felszíne. Mivel

senki sem tudott választ adni arra a kérdésre, hogy miért olyan sok az olaj ezekben a szervezetekben, saját kedvteléséből hozzálátott a lipidkutatáshoz. E döntés meghatározta életét, hiszen ekkor tette le a mai lipidiskola alapkövét. Hans Paul Kaufmann, a világ öt legnagyobb lipidkémikusainak egyike volt az, aki tihanyi látogatása során megismerte Farkas Tibor munkáját, s felismerve kutatása jelentőségét, hazatérve egy rangos német szaklapban ismertette azt a technikát a világgal, melyet Farkas professzor fejlesztett ki a zsírsavak elválasztására.

Amunka ezután több évtizeden át folyt. Első komoly eredményét Herodek Sándorral, néhai Tóth Gézával és néhai Csáky Lászlóval közösen érte el, amikor kimutatták, hogy a halak testébe juttatott radioaktív ecetsav megjelenik azok zsírsavjaiban. A hatvanas évek elején Herodek Sándorral együtt közölték a világviszonylatban is szenzációsnak számító megfigyelésüket, miszerint a Balatonban élő alacsonyabb rendű szervezetek képesek lipidjeik fizikai állapotát (olvadáspontját) igen érzékenyen hozzáigazítani a környezeti hőmérsékletéhez, ezzel mintegy biztosítják önmaguk számára, hogy életfolyamataik olyan alacsony hőmérsékleten is lejártszóclhaszanak, amelyek mellett egyébként elpusztulnának. Ez a magyar felfedezés alapozta meg a tizenöt évvel későbbi, az élővilág széles körében bizonyított híres Sinensky-féle homeoviszkózus adaptáció elvét. E hajdani tanulmányt, illetve felfedezést ma is gyakran idézik e tudományterületen. Módszeresen válogatott, mérsékelt égövi, arktikus és szubtrópusi szervezetekből származó minták elemzésével nemcsak bizonyította a homeoviszkózus adaptáció érvényességét, hanem – a foszfolipidek és biomembránok szintjén – feltárta az adaptációs válasz molekuláris alapjait is. Ezek a felismerések tették igazán ismertté Farkas Tibor munkásságát, és járultak hozzá ahhoz, hogy az Amerikai Nemzeti Tudományos Akadémia tagjai sorába válassza őt.

Már szakmai tekintélyt szerzett kutató volt, amikor 1971-ben Straub F. Brunó akadémikus meghívta a Szegeden abban az évben felavatott Biológiai Központba, ahol kelet-európai mércével mérve kiváló körülmények között folytathatta kutatómunkáját. Majd tíz évig kalandozott a növények világában, ahol arra kereste a választ, milyen kapcsolat létezik a sejtmembránok és a fagyttűrés között, továbbá már a korábbi megfigyelések birtokában vizsgálta, milyen membránadaptív megoldásokat találtak ki a fagyttűró növények az extrém alacsony hőmérsékletek túlélésére. Tanítványaival és akkori munkatársaival, Horváth Ibolyával és Vigh Lászlóval sikerült bejuttatni hidegérzékeny haszonnövényekbe olyan molekulákat, amelyek a hidegtűró növények is képesek előállítani ahhoz, hogy képesek legyenek alkalmazkodni a külső hőmérsékleti változásokhoz, hogy védekezhessenek a korai fagyok ellen. Tizenöt országban fogadták el ezt a szabadalmat. Egy évtizednyi kalandozás után Farkas Tibor visszatért a halakhoz. Kimutatta, hogy többek között bizonyos lipidmolekulák szabályozzák a membránok rendezettségét egy adott hőmérsékleten, s ez egyaránt igaz az északi sarki, édesvízi vagy szubtrópusi hidegvérű állatokra. Nevéhez fűződik az a nagy visszhangot kiváltó felismerés is, hogy a busának olyan típusú olaja van, mint bizonyos tengeri halaknak, vagyis fogyasztása alkalmas az érrendszeri betegségek megelőzésére. Munkásságában a hangsúly a membránok molekuláris összetételére és architektúrájára helyeződött, különös tekintettel egyes foszfolipid molekula speciestek termoadaptációban, illetve különböző betegségek kialakításában betöltött szerepére.

Túl a számos hazai együttműködésen Farkas Tibor és munkatársai kiterjedt nemzetközi kapcsolatrendszer építettek ki. Említést érdemel a finn Institute of Marine Research (Helsinki), a német Alfred Wegener Institute für Polar und Meeresforschung-al (Bremer-

haven), a szintén német Wilhelms-Universität (Münster), az olasz Stazione Zoologica (Nápoly), illetve az indiai National Institute of Oceanography (Dona Paula, Goa) és a spanyol Universidad de las Islas Baleares (Palma de Mallorca).

Farkas Tibor élete végéig folyamatosan gyűjtötte és rendszerezte adatait. Mindennel és mindenkivel szemben nyitott volt: szívesen osztotta meg gondolatait munkatársai-val. Gondolatmenete mindig egyszerű és világos volt. A nemzetközileg elismert tudósegénység sok évtizedes, merőben új alapokról induló munkásságának tapasztalatai tovább élnek, hiszen nemcsak a lipidológia, a lipid-membrán iskola megeremntése, hanem a lipidológusok nevelése is az ő nevéhez fűződik. Különös gondot fordított a tanítványok gondolkodásának csiszolására. A volt diákok kiváltságosnak érezhették magukat, hogy vele dolgozhattak. Nemcsak egy zseniális kutató elmével hozta őket össze

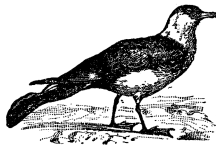
a sors, de példaképet kaphattak emberségből és szeretetből is.

Élete utolsó percéig dolgozott és alkotott. Halálával rendkívül sokoldalú, színes és gazdag tudományos életpálya szakadt meg. Mindig optimista volt. A betegségét illetően egyetlen dologra panaszkodott, hogy az operáció és a felépülés napjai elvonják a munkától. Majd sok más, számára fontosabb témáról beszélt. Elvesztése talán azért is felfoghatatlan, mert mindannyian, akik vele dolgoztunk, úgy tekintettünk rá, mint gyermek a szülőjére, gondolva, hogy vele soha semmi komoly baj nem történhet...

„Sose valami vagy valaki akartam lenni, egyszerűen csak érdekelt, hogy miért vannak a dolgok úgy, ahogy vannak.”

Kitajka Klára
tudományos munkatárs

Vigh László
tudományos tanácsadó, intézeti igazgató,
SZBK Biokémiai Intézet



Kitekintés

BOLYGÓNK ÁLLAPOTA

A *Science* cikksorozatba kezdett bolygónk állapotáról. A szerkesztőség az írásokkal a közös jövőnkéről folytatandó együttes gondolkodást kívánja serkenteni. Nem vészhangokat kongatnak, csak figyelmeztetnek, senkit se érjenek készületlenül a változások. Sorra veszik a közös erőforrásokat: levegő, édesvíz, halászat, élelem és talaj, energia, továbbá a legfontosabb változásokat, az emberi népesség, a biodiverzitás, az éghajlat változásait. A cikkek nem ígérnek megoldást, nem adnak választ a kérdésekre, „csak” kiindulópontokat adnak a gondolkodáshoz.

Joel E. Cohen (Rockefeller és Columbia University) szerint 2050 körül a népesség 2-4 milliárdal nagyobb lesz a mainál. A növekedés lelassul, a legfejlettebb régiókban csökkenés áll be. Növekszik a városi népesség aránya, elsősorban a kevésbé fejlett régiókban, és a népesség idősebb lesz, mint a 20. században. A demográfiai változások előrejelzését két jelentős bizonytalanság nehezíti: a nemzetközi migráció és a családszerkezet változásai. A demográfiai változásokra erős hatással lesznek a gazdasági, a természeti környezettel kapcsolatos és a kulturális (ideértve az értékeket, vallásokat és a politikát) tényezők. Ezért az emberi döntéseknek, választásoknak – az egyéni és a kollektív döntéseknek egyaránt – a szándékoktól függetlenül demográfiai hatásai lesznek.

Martin Jenkins (ENSZ környezetvédelmi program monitorozó központja, Cambridge) a biodiverzitás kilátásait elemezte. Feltételezve, hogy az emberi viselkedés nem változik meg radikálisan, 2050-re jelentős változá-

sok várhatók a biodiverzitásban, az ökológiai rendszerekben. 2050-re jelentős számú faj hal ki. A trópusi erdők mai nagy területei lényegesen csökkennek és részekre szakadnak. A mérsékelt égövi erdők és a trópusi erdők egy része stabil marad vagy növekszik a területe, de a trópusi erdők flórája és faunája elszegényedik. A tengeri ökológiai rendszerek nagyon különböznek majd a maitól, kevesebb lesz a nagy tengeri ragadozó, az édesvízi biodiverzitás csaknem mindenütt komolyan lecsökken. Ezek a változások önmagukban nem fogják az emberi faj túlélését veszélyeztetni.

A sorozat első két írása a *Science* 2003. november 14-i számában jelent meg. A további írásokat rendre ismertetjük majd a *Kitekintés* rovatban. A sorozat cikkei egyéb kapcsolódó webinformációkkal kiegészítve a www.sciencemag.org/sciext/sotp internetes címen érhetőek el.

J. L.

NAGY TUDOMÁNYOS PROGRAM- TERVEK RANGSORA AZ USA-BAN

Az amerikai Energiaügyi Minisztériumban (DOE) fontossági sorrendbe rendezték a nagy, távlati tudományos programokat. A DOE vezető tudósa, Raymond L. Orbach felkérte a minisztérium hét főosztályát, hogy állítsák össze azoknak a berendezéseknek a listáját, amelyek minimum 50 millió dollárba kerülnének, és a következő húsz évben meg kell építeni őket, hogy az USA vezető szerepet

töltsön be a világ tudományos életében. Negyvenhat tételt javasoltak, ezeket külső tanácsadó testületek elé terjesztették. A bizottságok sorrendbe állították a javaslatokat, és további hét tételt adtak hozzá a listához. Ezután Orbach egymaga döntött: huszonöt beruházási tervet kihúzott a listából. A minisztérium szerint a bizottságok legjobb számdékaik mellett is mindig kompromisszumos döntést hoznak, ezért kellett az egyszemélyi döntést vállalni. A listától azt várják, hogy ennek ismeretében a kongresszus növelni fogja a kutatásra szánt összegeket. Természetesen senki sem számít arra, hogy valamennyi nagyberendezés megépülhet, de a lista jó recept lehet a pluszpénzek elköltéséhez.

Első helyre az ITER fúziós program került 5 milliárd dollárral. A döntés érdekessége, hogy az USA korábban kilépett a nemzetközi programból, és csak 2003-ban kapcsolódott be újra. (A részletekről lásd: „*Kitekintés. Kedvező hírek a szabályozott termonukleáris kutatások világából*”, Magyar Tudomány, 2003/4.) A második helyen egy szuperszámitógép szerepel, amellyel például jobban modellezhető lesz a földi éghajlat. A harmadik helyen négyes holtversenyt hirdettek. A NASA-val közös program a világegyetem sötét energiájának űreszközökkel való tanulmányozása, az egymilliárd dolláros műhold fellövését 2014-re tervezik. Harmadik helyezett a lineáris gyorsító koherens fényforrás is. A 220 millió dolláros berendezés egy részecskegyorsító, amelynek segítségével anyagvizsgálati célokat szolgáló röntgenlézert lehet működtetni. Ugyancsak harmadik a fehérjetermelő és -azonosító program, itt fehérjék tízezreinek tömegtermelése, kapcsolódási pontjaik felderítése a cél. Az angol ábécé szerint utolsó a harmadik helyezettek között a ritka izotópok gyorsítója, a ritka és sugárzó izotópok gyorsítása révén az erős kölcsönhatás részleteit szeretnék feltárni. A harmadik helyezettek után a hetedikiek jönnek, itt már öt program szerepel egyenlő

súllyal, egymáshoz képest nem rangsorolták őket: biomolekuláris képkalkotás, a Jefferson Laboratórium nyalábja, az ESnet adathálózat és a NERS számítóközpont korszerűsítése, továbbfejlesztése, valamint nagyobb felbontású elektronmikroszkóp építése. A rövid távú javaslatok tizenkettes listáját a B-részecskék létrehozása a Tevatronnál program zárja. (A Tevatron ma a világ legnagyobb energiájú részecskegyorsítója, a B-részecskék b kvarkot tartalmaznak.) A 13-18. sorszámú tételeket középtávú feladatnak minősítették, a 13. tétel egy lineáris ütköztető részecskegyorsító. Frank Wilczek elméleti fizikus túl alacsonynak tartja a besorolást, az ehhez hasonló listák sohasem szoktak eljutni a 13.-hoz. A középtávú program további tételei: sejtrendszerek elemzése és modellezése; a spallációs neutronforrás korszerűsítése, második *target* a spallációs forráshoz; teljes fehérjeanalízis, föld alatti kettős béta-bomlás detektor, a következő fúziós tórusz kísérlet, a RHIC gyorsító korszerűsítése. A távlati programok között, a 21-28. helyen csak fizikai kísérleti berendezések szerepelnek: szinkrotron és más fényforrás, a RHIC gyorsító kiegészítése elektrongyűrűvel, az ITER bővítése, szuper neutrínó nyaláb, nagyenergiájú ionnyaláb fúziós kísérletekhez.

Malakoff, David – Cho, Adrian: ITER Tops DOE's List of Next Big Science Projects. Science. November 2003, **302**, 14, 1126-1127

J. L.

MERRE JÁR A VOYAGER?

Az 1977-ben pályára állított két Voyager űrszonda közül az első 13 milliárd kilométerre jár a Földtől, ez a Föld-Nap távolság nyolcvanötszöröse, 85 csillagászati egység (cs. e.). Stamatios M. Krimigis és kollégái szerint a Voyager-1 elérte a Naprendszernek azt a külső tartományát, ahol a napszél kezd belevegyülni a csillagközi közegbe.

Frank B. McDonald és munkatársai viszont ugyanilyen meggyőzően mellett érvelnek, hogy a Voyager-1 még nem ért el ebbe a tartományba. A *Nature* hasábjain egymást követi a két tanulmány. Az mindenesetre egyértelmű, hogy a Voyager a Naprendszer olyan tartományában jár, ahonnan még sohasem kaptunk mérési adatot. Sajnos a napszél sebességét közvetlenül mérő műszer már évekkal ezelőtt felmondta a szolgálatot, így más mérésekből lehet következtetéseket levonni. A másodpercenként 400-750 kilométeres sebességgel haladó napszél az átmeneti tartományba érve jelentősen lelassul, sebessége a szuperszonikus tartományból a szubszonikusba lép át, az átmenetet lökéshullám megjelenése kíséri. A sebességcsökkenést a részecskesűrűség és a mágneses térerősség megváltozása jelzi. Az átmenet helyére vonatkozó becslések eléggé bizonytalanok, nyolcvanöt és százhusz cs. e. közé teszik. Az átmeneti tartományban még egy jelentős változás megy végbe: a csillagközi térből a helioszférába belépő semleges gáz ionizálódik, majd a részecskék korábbi sebességük tízezerszeresére gyorsulnak fel. Krimigis csoportja a kisenergiájú részecskék elemzéséből következtetett, míg McDonald és munkatársai a felgyorsított részecskéket keresték.

A helioszféra határfelületének helye állandóan változik, kiterjedése a Nap tevékenységétől függ. Krimigis szerint a Voyager-1 tavaly nyáron kb. kétszáz napra behatolt az átmeneti tartományba, majd a tartomány határa kifelé mozdult el, ezért a műhold egyelőre ismét a szuperszonikus napszél tartományában repül. A két tanulmányt összehasonlító elemző Krimigis álláspontjának elfogadására hajlik. A Voyager-2 kb. húsz cs. e. távolságban követi az első Voyagert, ez a szonda még küldhet adatokat az átmeneti tartomány tulajdonságairól. A Voyager-1 három-négy cs. e./év sebességgel mozog, előbb-utóbb eléri a Naprendszer határát,

a napszél plazma és a csillagközi plazma választóvonalát, ennek helyét ma százötven cs. e.-re teszik. Sajnos, mire a szonda 2020 táján odaér, energiaellátó rendszere már teljesen kimerül, és nem küld többet mérési adatokat. Negyvenéves repülés után belép majd a csillagközi térbe.

Érdemes újra felidézni a számokat: 13 milliárd kilométerről küld információkat egy huszonhét éve útjára indított szerkezet. Fantasztikus!

Krimigis, Stamatios M. et al.: Voyager 1 Exited the Solar Wind at a Distance of 85 AU from the Sun. *Nature*. 6 November 2003, **426**, 45-48

McDonald, Frank B.: Enhancements of Energetic Particles near the Heliospheric Termination Shock. *Nature*. 6 November 2003, **426**, 48-50

Fisk, Len A.: Over the Edge? *Nature*. 6 November 2003, **426** 21-22

J. L.

PRÍMSZÁM – TÖBB MINT 6 MILLIÓ SZÁMJEGYBŐL

Minden idők legnagyobb prímszámát azonosította a Michigan-i Állami Egyetem huszonhat éves vegyészmemők hallgatója – adta hírül a *New Scientist* hírszolgálat 2003. december 2-án. (www.newscientist.com/news)

A Michael Shafer nevű fiatalember által talált prím 6 320 430 számjegyből áll, 2 millióval több számjegyből, mint a máig ismert, eggyel és önmagán kívül más osztóval nem rendelkező legnagyobb szám. Shafer a Great Internet Mersenne Prime Search (GIMPS) program keretében érte el ezt a sikert. A projekt a világ minden részéről több mint 200 ezer számítógép – gyerekek, iskolák, egyetemek, cégek számítógépeinek – kapacitását használta fel az új prímszám kereséséhez. Egyetlen számítógéppel ezt huszonöt ezer év alatt lehetett volna felfedezni. Az előző „bajnokot” is a GIMPS keretében találták meg két évvel ezelőtt. Az a szám 4 053 946 számjegyből állt. Shafer Pentium 4-es személyi számítógépén tizenkilenc

napig ellenőrizte, hogy a most talált óriási szám, melyet öt hét alatt lehetne papírra leírni, valóban prímszám-e.

G. J.

MESTERSÉGES VÍRUS

Szintetikus vírust készítettek a Humán Genom Program felgyorsításáról híres Craig Venter egyik kutatóintézetében (Institute of Biological Energy Alternatives), az amerikai Marylandben. A hír Venter sajtótájékoztatója nyomán 2003. november 13-án jelent meg a BBC honlapján, majd november 14-én a *Nature Science Update* és a *New Scientist online* is közölte.

Egy baktériumokat megtámadó és elpusztító, phi-X174 nevű vírus mesterséges másolatáról van szó, amely tökéletesen úgy működik, mint természetes „testvére”. Felépítéséhez olyan új, rendkívül hatékony technikát dolgoztak ki, amelynek segítségével két hét alatt felépítették a baktériumvírus DNS-láncát.

Az első mesterséges vírus létrehozásáról az ugyancsak amerikai Eckard Wimmer számolt be 2002 júliusában. Az általuk felépített gyermekbénulás- (polio) vírus azonban három év alatt készült el, és egy genetikai hiba következtében az igazítól eltérően nem volt fertőzőképes.

Elvileg Venterék távlati célja az, hogy rendkívül hatékony módszerükkel hasznos, az emberiség súlyos gondjaira megoldást kínáló mikroorganizmusokat konstruáljanak: például olyanokat, amelyek hidrogént termelnek, s így alternatív energiaforrást jelentenek. Olyanokat, amelyek megkötik a levegő széndioxidját, és így csökkentik az üvegházhatást. Vagy olyanokat, amelyek tengereken vagy olajfinomítók térségében lebontják az olajszenyveződéseket.

Mivel az új eljárás következményei beláthatatlanok, hiszen segítségével elvileg biológiai

fegyvereket, eddig soha nem létezett életformákat lehet „összeszokábálni”, Venterék etikai bizottságot hoztak létre a felvetődő kérdések, problémák megfogalmazására. Ugyanakkor kijelentették, hogy hamarosan megjelenő cikkükben (*Smith, H. O. – Hutchison, C. A. – Pfannkoch, C. – Venter, J. C.: Generating a Synthetic Genome by Whole Genome Assembly: PhiX174 Bacteriophage from Synthetic Oligonucleotides. Proceedings of the National Academy of Sciences. in the press, (2003)*) a veszélyek csökkentése érdekében nem közlik részletesen az „organizmusgyártó” technológiát.

Venterék persze hiába titkolódnak, nyilvánvaló, hogy előbb-utóbb mások is rájönnek ötletük lényegére, és használhatják akár rossz szándékkal is. A viták tehát elkerülhetetlenek. Vannak persze, akik már most azzal érvelnek, hogy a természet produkálja a legszörnyűbb biológiai fegyvereket – lásd feketehimlővírus, antrax, azaz lépfenebaktérium, gyilkos galóca mérge – semmi szükség tehát arra, hogy bonyolult biotechnológiai módszereket használjanak biológiai fegyverek előállítására. Mások máris kontráznak: Venterék módszerével új életformák létrehozására is sor kerülhet. Ezek a természetbe kerülve előre nem látható ökológiai folyamatokat indíthatnak el, vagy új, ismeretlen betegségeket produkálhatnak. És bámmennyire az emberiség javát akarja is szolgálni Craig Venter, a jövőbe ő sem lát.

G. J.

A DISZKÓDROG KÁROSÍTTJA A DNS-T

A fiatalok kedvelt stimulálószer, az *Ecstasy*, valamint a kokain kémiai változásokat idézhet elő az örökítőanyagban, a DNS-ben. A mutagén hatás következtében ezek a szerek daganatokat és más betegségeket okozhatnak. Az Olasz Nemzeti Kutatóintézet

(CNR) munkatársa, dr. Giorgio Bronzetti állatkísérleteire hivatkozva jelentette ezt több nagy hírügynökségnek, (ABC, Reuters) 2003. december 5-én. Eredményeiről ugyanis a CNR jelentést adott közre. A kutató szerint eredményeikre már csak azért is érdemes felhívni a figyelmet, mert az ENSZ nemrég elkészült tanulmánya szerint ma már az Ecstasy és más amfetamin-származékok tekinthetők a legnépszerűbb drogoknak. Fogyasztásuk 1995 és 2000 között hetven százalékkal emelkedett. Bronzettiék három éven át végzett kísérleteik során közvetlen kapcsolatot találtak az ecstasy-, illetve a

kokainhasználat és a DNS mutációk gyakorisága között. Következtetések szerint, minél hosszabb ideig alkalmazza valaki ezeket a drogokat, örökítőanyagát annál több károsodás éri.

Az Ecstasy hatásairól egyébként évek óta folyik a vita: egyes kutatások szerint amellett, hogy tagadhatatlanul kiváltja a lelki függőséget, rendszeres használata károsítja a memóriát, a tanulási folyamatokat. Sokan azonban még ma is kiállnak az ecstasy ártalmatlansága mellett.

G. J.

Jéki László – Gimes Júlia



Könyvszemle

Kéri György – Tóth István: Molecular Pathomechanisms and New Trends in Drug Research

A Taylor & Francis nevű hírneves angol-amerikai kiadóvállalat nemrégiben kiadott egy igen fontos szakkönyv-kézikönyvet, melynek címe: *Molecular Pathomechanisms and New Trends in Drug Research*, amit két magyar professzor: Kéri György (MTA–Simmelweis Egyetem, Budapest) és Tóth István (University of Queensland, Ausztrália) szerkesztett. A könyv áttekinti az utóbbi időkből megismert legfontosabb pathomechanizmusokat és a molekuláris betegségmechanizmusokat újszerű módon, elsősorban a jeltovábbítási zavarok szempontjából tárgyalja. A könyv részletesen tárgyalja a jeltovábbítási zavarok alapján azonosítható, terápiás szempontból fontos célmolekulákat. Áttekinti a legújabb molekuláris biológiai módszereket és technikákat, beleértve a humán genom föltérképezését és a funkcionális genomikát valamint a racionális gyógyszertervezés és a gyógyszer célbajuttatásának legmodernebb lehetőségeit. Részletesen tárgyalja a betegségekhez kapcsolódó jeltovábbítási mechanizmusokat és bizonyos molekuláris diagnosztikai módszereket.

A jeltovábbítás, azaz szignál-transzdukció a sejtek közötti és a sejten belüli kommunikáció alapvető fontosságú mechanizmusa. Hírvivő csatornák láncolatát alkotva a sejt-magba közvetíti a környezet felől érkező információkat, s ezáltal a változó kívánalmaknak megfelelően képes befolyásolni illetve összehangolni a sejtek életfunkcióit. Az utol-

só tizenöt év kutatásai nyomán világossá vált, hogy ezen jelátviteli utak kóros működése – az ebben involvált gének és fehérjemolekulák különböző veleszületett, szerzett vagy interakcióban indukált defektusai révén – a legkülönbözőbb patológiás állapotok kóroktanában játszanak meghatározó szerepet, például a daganatos, gyulladásos megbetegedések illetve az érlelmeszesedés. E kórállapotok közös jellemzője, hogy a hibásan működő átviteli egységek „fals” proliferációs jeleket generálnak. Ezek a molekulák gyógyszerfejlesztési célpontoknak tekinthetők.

Betegségeink tehát többnyire bizonyos jeltovábbítási fehérjék, elsősorban bizonyos enzimek rendellenes működése révén manifesztálódnak. Ezért a modern gyógyszerkutatás célul tűzte ki, hogy az egészséges és a patológiás állapotú sejtek összehasonlításával beazonosítsa a betegség kialakulásában meghatározó szerepet játszó fehérjéket, és ezek rendellenes működését gátolja. A könyv bemutatja a betegségmechanizmusok szempontjából fontos célmolekulák azonosítását, a pathomechanizmusban betöltött szerepük igazolását és a gyógyszerhatóanyag-tervezés különböző módszereit.

A könyv egyebek között részletesen tárgyalja a rák kialakulásának molekuláris mechanizmusát, külön elemezve a rák genomális rendellenességekre, illetve „kommunikációs rendellenességekre” visszavezethető okait és ezek összekapcsolódásait, valamint az ezekből adódó terápiás lehetőségeket. A rosszindulatú daganatsejtek kialakulása többlépcsős folyamat következménye, mely egyrészt genomális változások sorozatára, másrészt a sejtek közötti kommunikációs rendszer rendellenes működésére vezethe-

tő vissza. A rosszindulatú daganatsejt, azaz a tumoros transzformáció létrejöttének első lépései olyan változásokból állnak, melyek az onkogének aktivációja révén folyamatos sejtosztódáshoz vezetnek, ugyanakkor bizonyos sejtosztódási jelek, mint „túlélési faktorok” jelennek meg, amelyek kikapcsolják a sejtek védekező, programozott sejthalált indukáló mechanizmusát. Ezen sejtosztódási jelek gátlása a tumorterápia nagyon ígéretes új útját jelenti.

A keringési rendellenességek tárgyalása során a könyv igen részletesen tárgyalja az érlemezésedés okait és molekuláris mechanizmusát, kiemelve a háttérben meghúzódó gyulladáshoz és kóros sejtosztódási mechanizmusokat, amelyek szintén hibás jeltovábbítási mechanizmusokra, illetve sejt- és rendszerszintű kommunikációs zavarokra vezethetők vissza. Külön fejezet tárgyalja az infarktus, illetve az agyvérzés érlemezésedéshez kapcsolódó mechanizmusát. Az arteriosclerosis szövődményei az összes haláloknak kb. a felét teszik ki, ebből az elhalálozás egyharmada a 36-65 év közötti személyekre esik. Az arteriosclerosis által okozott halálesetek háromnegyede a koszorúér-betegség számlájára írható. Az arterioscleriosishoz kapcsolódó betegségek a fő okai az állandó rokkantságnak is, és több kórházi betegnapért felelősek, mint bármely más betegség. Külön fejezetek tárgyalják a véralvadással kapcsolatos rendellenességeket, illetve az angiogenesis rendellenességeit és az ezekhez kapcsolódó betegségmechanizmusokat.

A könyv négy fejezetben tárgyalja a fertőző, illetve a vírusos betegségek molekuláris mechanizmusait, kimutatva, hogy a kórokozók a gazdasejt jeltovábbítási útjait használják, ami fontos lehetőséget kínál a jeltovábbítási terápiának.

A könyv kilenc fejezetben részletesen tárgyalja a központi és a perifériális idegrendszeri betegségeket és neurodegeneratív

rendellenességeket, a kapcsolódó kórképeket és ezek összetett mechanizmusait, és kimutatja, hogy például az epilepszia és a skizofrénia esetében is sejtek közötti kommunikációs rendellenességek vezetnek a betegség kialakulásához, amelyek részben persze örökölt vagy szerzett génhibákra, illetve genomális rendellenességekre vezethetők vissza. Az Alzheimer esetében szintén egyrészt gyulladáshoz vezető reakciók, másrészt sejtek közötti kommunikációs rendellenességek vezetnek az idegsejtekre lerakódó és a sejteket pusztító plakkok kialakulásához. A fájdalom mechanizmusának, illetve a Capsaicin-receptor szerepének tárgyalása során a könyv részletesen elemzi a neurogén gyulladás mechanizmusát, ami egy öngerjesztő ciklusban vezet súlyos gyulladáshoz kórképek kialakulásához.

Az endokrin és az emésztőszervi betegségek molekuláris pathomechanizmusa is nagyon összetett, és miközben a könyv áttekinti a molekuláris mechanizmusokat és a kapcsolódó jeltovábbítási rendellenességeket, rámutat az ezekből eredő terápiás lehetőségekre is.

A konkrét betegségmechanizmusok tárgyalása mellett a könyv részletesen elemzi a betegségmechanizmusok legfontosabb közös, illetve általános mechanizmusait, melyek mind kapcsolódnak a jeltovábbítási terápiához, mint például a programozott sejthalál, a transzkripció faktorok, a gyógyszermetabolizmus, a neuro-immunoreguláció és az immunsejt receptorok és citokinek szerepe. Külön fejezet csoport tárgyalja a racionális gyógyszerhatóanyag-tervezés illetve fejlesztés módszereit.

A könyv szerzői között rangos nemzetközi szerzők társaságában szerepel számos neves magyar orvos-biológus illetve gyógyszerkutató is, többek közt: Bauer Pál, Csemely Péter, Ember István, Erdei Anna, Falus András, Furka Árpád, Gergely János, Halász Péter, Hudecz Ferenc, Jelencsik

Ilona, Keserű György, Kéri György, Kopper László, Machovics Raymund, Mandl József, Marcsek Zoltán, Nagy Zoltán, Órfi László, Penke Botond, Sarkadi Balázs, Szende Béla, Szolcsányi János, Timár József, Tulassay Zsolt, Vizi E. Szilveszter.

A könyv mottója: „*Sickness comes from lost integrity...*” (a betegség az egység hiánya...) jelzi a rendszerszemléletre épülő koncepciót. Ez a szemlélet és az ehhez kapcsolódó jeltovábbítási terápia szempontjából tárgyalt molekuláris betegségmecha-

nizmusok modern és alapos tárgyalása teszi különlegessé és igen értékessé ezt a könyvet. Ezért a könyvet melegen ajánlom a molekuláris betegségmechanizmusok iránt érdeklődő orvosok, gyógyszerészek, kutatók valamint egyetemi és PhD-hallgatók számára. (György Kéri – István Tóth (eds.): *Molecular Pathomechanisms and New Trends in Drug Research*. Taylor and Francis, London – New York, 2003.)

Teplán István

akadémikus

A Progress in Mining and Oilfield Chemistry sorozat új kötetei

Szerkesztette: Lakatos István

A mind hazai, mind nemzetközi vonatkozásban hiánypótló sorozat két új kötete jól reprezentálja a jövőben szükséges, ígéretes és korszerű, az interdiszciplináris tudományág körébe tartozó fluidum- és szilárdásványbányászati tudományos kutatómunka és a technológiai fejlődés mai szintjét.

A Recent Advances in Enhanced Oil and Gas Recovery című, 2001-ben megjelent kötet huszonhét közleményének kanadai, belga, francia, magyar, orosz, angol, venezuelai, norvég, osztrák, német, török és albán szerzői a kőolajtermelés különböző intenzív módszereivel (többek között a polimer oldatokkal, szén-dioxiddal, gélekkel és habokkal történő elárasztással) foglalkoznak, amelyek elsődleges célja a megkutatott földtani készlet minél hatékonyabb hasznosítása, kitermelése. A közlemények elméleti és gyakorlati oldalról egyaránt tárgyalják a különböző elárasztási módszerek kombinációját, a különböző vegyi anyagok kompatibilitását, a kiszorítási folyamatokat befolyásoló kapilláris és adszorpcióerőket, a tárolókban uralkodó geokémiai viszonyokat, a folyadékok és gázok migrációját meghatározó körülmé-

nyeket, az áramlás során bekövetkező szilárd/folyadék diszperziót, a poliaminokarboxil-savaknak a rétegtkárosodást okozó baritra gyakorolt oldóképességét, a fúrások során a kőzetből tennikus, mechanikai és kémiai úton kikerülő szénhidrogén gázok tulajdonságait, valamint a szerves anyagok geokémiai interpretációját. A közlemények az általános megközelítés mellett bemutatják a különböző nagykiterjedésű szibériai olaj- és gázkitermelési zónákat, foglalkoznak azok sajtóságainak vizsgálatával és a kis mennyiségben kivett minták statisztikai analizálásával. Mindezek mellett – lévén a sorozat célja általában a bányászati alkalmazott kémia új eredményeinek a megjelenítése – több közlemény foglalkozik a szálló porok szilikátkémiai sajtóságaival és a kisméretű részecskék statisztikus analizálásának lehetséges útjaival is.

A Focus on Remaining Oil and Gas Reserves című, 2002-ben megjelent kötet közleményeinek fő célja a kőolaj- és földgáz-készletek mai és távlati helyzetének vizsgálata, és az ezzel összefüggő legkorszerűbb kutatási eredmények bemutatása. A közleményeket témacsoportonként három fő részre osztva tartalmazza a kötet.

Az 1. részbe csoportosított huszonkét közlemény a különböző módszerekkel elősegített konvencionális olaj- és gáztermelési módszerekkel kapcsolatos eredményeket, a

távlati gondolatkört mutatja be. Néhány példa: gélek és nemionos tenzidekkel történő kiszorítási technológia, a gáz- és vízáramlás törvényszerűségei porózus közegben, az intenzív kitermelésnél használatos új felületaktív anyagok, fázisviselkedés a természetes olaj/gáz rendszerekben, tixotróp áramlás modellezése, CO₂ - adszorpciós izotermák előrejelzése, heterociklusos nitrogéntartalmú korróziós inhibitorok hatásmechanizmusa.

A kitermelési technológiákkal és a környezetvédelmi megoldásokkal kapcsolatos 2. rész közleményei főként magyar szerzőktől származnak. A tanulmányok többek között foglalkoznak a nehézfémek hatásának vizsgálatával a cementgyártásban és felhasználásban, a fűrészi iszap lerakásának környezeti hatásaival, peryék felhasználásával Németországban és Franciaországban, diaszpor bauxitok nagynyomású őrlés utáni poríthatóságával különböző közegekben. A szerves és szervetlen geokémiai eredményeket bemutató 3. rész közleményei külföldi kutatók munkái, akik főként a saját országuk – Törökország, Szibéria, Albánia – területén lévő termelőhelyek viszonyaival kapcsolatos új, általános érdeklődésre számot tartó (ge-

netikai osztályozási, geokémiai) vizsgálataik eredményeit ismertetik.

Ennek az alig pár éve indult fluidum- és szilárdásvány-bányászati kémiai kiadvány sorozatnak eme két újabb kötete – a korábbiakhoz hasonlóan – érdekes és új eredményeket tár elénk. A bemutatott eredmények jól felhasználhatók az új fejlesztési, technológiai megoldások kidolgozásánál, és hasznos, korszerű segédanyagként szolgálnak mind a terület tudományos kutatói, mind a gyakorlati szakemberek számára.

A könyvsorozat közvetlen és elektronikus terjesztésében, kiállításokon történő bemutatásában az Akadémiai Kiadó mellett részt vesz az European Association of Geoscientists and Engineers (Houten, Hollandia) és az Amazon.com. Inc. (Seattle, USA). A könyvsorozat első négy kötetét az Akadémiai Kiadó nívódíjjal tüntette ki. (*Recent Advances in Enhanced Oil and Gas Recovery. Budapest, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2001. 290 p.* – *Focus on Remaining Oil and Gas Reserves. Budapest, Akadémiai Kiadó, 2002. 400 p.*)

Berecz Endre

professor emeritus, a kémiai tudomány doktora

Inczédy János: Kémiai folyamatok műszeres ellenőrzése

Vannak bizonyos szakterületek, melyeknek alakulása és haladása nemcsak mindennapi életünket, de sok más tudományterületet is jelentősen befolyásol. Nemcsak a gyakran kiemelt környezetvédelem és az informatika ilyen, de az ipari anyagátalakító folyamatok minőségbiztosítására vonatkozó szakismertetek is. Inczédy János szakkönyve a kémiai folyamatok műszeres ellenőrzésének jelenlegi helyzetéről ad korhű képet. Akadémiánk széleskörű nemzetközi elismeréssel övezett tagja az analitikai kémia és a kémiai

kinetika sikeres kutatója. Ez a kiindulási alap számára ahhoz, hogy a legújabb könyvében a rendkívül szerteágazó új analitikai eljárások tervezője, valamint a folyamatos és automatikus elemzés hirdetője legyen.

A szerző világviszonylatban is egyedülálló kezdeményezésére kifejlődött tudományterület, a dinamikus rendszerek analitikai kémiája (Process Analytical Chemistry), az elmúlt két évtizedben önálló diszciplínává vált. E tudományterület ma már a kemometriai és szenzorkutatások felerősödése révén jelentősen kiterjedéyesedett. Jelentősége nemcsak a minőségbiztosítás és az ipari alkalmazások szempontjából nagy, de a mai közgondolkodásban és kutatásban központi szerepet játszó élettudományok

és környezetközpontú folyamattervezés valamennyi részterületének témakörében is jelentős. A könyv elsősorban a folyamatok, vagyis a dinamikus rendszerek analitikai kémiai alapismereteit, gyakorlati alkalmazását és a műveleti áramok minőségellenőrzési módszereit ismerteti, másrészt összefoglalja a szerző Veszprémi Egyetemen e témakörben végzett több évtizedes kutatómunkájának jelentősebb eredményeit.

A korszerűen irányított kémiai folyamatok minőségbiztosítása a kémiai mérés-technika jelentős fejlesztését igényli. Ehhez a szerző a könyvben az alapismeretek és elméleti fejezetek után olyan fontos eszköztárat ismertek, mint a műszerek jelének feldolgozása, az anyagáramok összetételének ellenőrzése, a korszerű folyamatos kémiai mérőeszközök, a dinamikus rendszerek szabályozásának tervezése és a mesterséges neurális hálózatok. Ezt követi a jelátviteli és szabályozás fejezet a szabályozástechnikában fontos rendszerelemek működésének magyarázatával, melyet gyakorlati példákkal és alkalmazásokkal illusztrál. A könyv a dinamikus rend-

szerek analitikai kémiájának legjavát adja, nemzetközi viszonylatban is kiváló mű.

Fontos munkáról van szó, amely tájékoztatja mindazokat, akik a folyamatok műszeres ellenőrzésével és minőségbiztosításával foglalkoznak. A könyv elsősorban a vegyész, vegyész-mérnöki, biomérnöki, környezet-mérnöki és rokon tanulmányokat folytató kollégák számára íródott, de a szerző arra is törekedett, hogy használható legyen a kutatásban, továbbá a termelő és szolgáltató szférában dolgozó mérnökök számára is. Ez a könyv olyan műszaki kémiai szakismeretű kollégák számára is ajánlott, akik már bizonyos gyakorlattal rendelkeznek, és szeretnék a dinamikus rendszerek analitikai kémiája és általában az idevonatkozó mérés-technika fejlődésében rejlő lehetőségeket átfogóan látni, a folyóiratok és könyvek közleményeit megérteni, felhasználni és alkotó módon továbbfejleszteni. (Inczédy János: *Kémiai folyamatok műszeres ellenőrzése. Veszprém, Veszprémi Egyetemi Kiadó, 2002. 180 p.*)

Fonyó Zsolt

az MTA levelező tagja

Éva V. Huseby-Darvas: Michigani magyarok

Kivándorlás mindig volt: a 19. század végén is, 1989-ben sem szünetelt, s e recenzió írásakor, 2003-ban sem szünetel. Vagyis amerikai magyarok lesznek ezután is, de a 21. századi amerikai magyarok alig-alig hasonlítanak majd a 20. századiakra, akiket többek között Puskás Julianna, Albert Tezla, Vázsonyi Endre, Dégh Linda és Fejős Zoltán örökített meg nagyszerű monográfiákban és dokumentumkötetekben.

Huseby-Darvas a magyar bevándorlás hat hullámát tárgyalja. Az első 3-4-et jól ismerik az amerikai magyarokat kutatók, nevezetesen az 1880 és az I. világháború között bevándorolt öregamerikásokat, a két világháború között

bevándorlókat, a II. világháborút követően bevándorló dípiket (*displaced persons*), és az 1956-os szabadságharcosokat. Az 5. hullámot „Kádár árváinak” (*Kádár's orphans*) nevezi a szerző, ők a 60-as és 80-as évek között érkeztek Amerikába, a létező szocializmust hagyták el, de a dípiknél vagy az 56-osoknál általában intenzívebb kapcsolatokat tartottak fenn magyarországi családjukkal, barátaikkal. A 6. hullám, az 1989-es rendszerváltásokat követő bevándorlás Magyarországról s a környező államokból, ma is tart még. Ebben az utolsó hullámban legalább két csoport tűnik azonosíthatónak: az Erdélyből menekültek és a jól képzett értelmiségiek (az agyelszívás részesei). Az Allen Park-i magyar református templomban az erdélyiek 1990-ben Magyar Hagyományokat Ápoló Kört is alapítottak, ahol minden második vasárnap

rendeznek különféle programokat. A Körben csak magyarul folyik a szó, eltérően a legtöbb olyan eseménytől, ahol magyarok (is) beszélgetnek egymással.

Michiganben a 2000-es népszámlálás szerint a „magyar származásúak” 118 651-en voltak, de tudnunk kell, hogy zömük nem beszél magyarul. Magyar származásúnak az számít az amerikai népszámlálásban, akinek, mondjuk, egyik nagyszülege a kérdezett szerint magyar volt. Számos demográfiai adatot tudhatunk meg a magyarokról, többek között azt is, hogy sem a bevándorló, sem az Amerikában született magyar nők nem szülnék távolról sem annyi gyermeket, amennyi a reprodukcióhoz szükségeltetne.

A könyv utolsó fejezete a michigani magyarokat mutatja be az ezredfordulón (49-60). Az egykor idilli, virágokkal teli és boldog Delray a 20. század végére nagyon megváltozott. Huseby-Darvas egyik adatközlője, akinek boltját az 1990-es évek közepén hét fegyveres rablás érte, mielőtt végleg bezárta, 2001-ben azt a lakonikus kijelentést tette, hogy „Delray meghalt!” (49). S valóban: az épületek elhanyagoltak, kiégettek, az ablakok bedeszkázva, a szemét mindent ellep, s az autóval arra járók jól teszik, ha nem szállnak ki kocsijukból, ha kedves az életük. Európai ember nehezen tudja elképzelni, amiről Huseby-Darvas beszámol: akiknek még van autójuk Delrayben, fákhöz láncolják a kocsijukat, így éjszaka csak a kisebb mozdítható alkatrészek tűnnek el. Nehéz elképzelni, de igaz, hogy Delrayben ma is működik még a Szent Kereszt Magyar Templom. Bizonyos értelemben Delray még ma is szimbolikus központja a délkelet-michigani magyaroknak, például a Szent Kereszt Templom évente megrendezett kétnapos fesztiválján ezrek vesznek részt a Yack Arénában Wýandotte-ban (egy biztonságos városrészben levő nagy csamokban). Delray a még ott élők szerint *végvár*, amit egy idős asszony a következőképp jellemzett: „A gazdagok, akik

elköltöztek innét, lenéznek minket, amiért még mindig Delrayben lakunk. Csakhogy mi itt igazi magyarok maradtunk, de ők, amikor elköltöztek innen, itt hagyták a magyarságukat. Ha jól akarják érezni magukat, visszajönnek látogatóba... jönnek, amikor csak tudnak, vagy telefonálnak, hogy felemlégesünk a régi időket. Hozzánk képest magányosak azokban a puccos kertvárosokban. Még a szomszédait sem ismerik.” (53)

A Delray-n kívüli magyar intézmények között fontos a Taylorban található Hungarian American Cultural Center (egyfajta művelődési ház), az Allen Park-i református egyház (s ennek már említett Magyar Hagományokat Ápoló Köre), a Lincoln Park-i református és baptista egyházak, valamint a William Penn betegsegélyző egyesület. 2002-ben Ann Arborban néhány energikus magyar sikeres filmklubot szervezett: a kéthetente tartott vetítésekre s az őket követő vitákra nemcsak Michiganból, de Ohióból s a kanadai Windsorból is sokan elautóznak. A közösségi alkalmak között kiemelkedő szerepe van a nagy nemzeti ünnepeknek (például március 15., október 23.), a Budapestről vagy épp a Felvidékről érkező zenés-táncos kabaré-előadásoknak, s persze a családi ünnepeknek s a temetéseknek is. Az amerikai magyar temetéseknek számos, számunkra meglepő vonását mondatja el adatközlőivel Huseby-Darvas, például egy, az 1970-es években bevándorló asszony szerint a halottakról csak szépet-jót mondanak (nem az igazat), s a „gyászolók” a ceremónia után rögvest csevegni kezdenek s nevetgélnek, még a nyitott koporsó közelében is.

A delrayi magyarok szinte mind egy szálig elfogytak, gyermekeik, unokáik különféle kertvárosokba költöztek szét. Az újabb bevándorlók (az 56-osoktól a rendszerváltások után érkező „globalizációs” magyarokig) eleve a kertvárosokba költöztek, ők magyar negyedekben már sosem éltek s nem is foglalkoznak élni. „Kádár árvái” és a legújabb hullám

nem jelentettek vérfriessítést a régi magyarok számára. Az amerikai születésű második-harmadik generáció tagjainak magyarsága szimbolikus etnicitás: nem mindennap megélt, hanem csak időnként, például hétvégén a templomban gyakorolt magyarság. (A csigatésztát készítő asszonyok „szerdai magyaroknak” hívják magukat, mert szerdánként szoktak összegyűlni.) Az ételek, a szüreti bálók és más, gyakran a templomokhoz kapcsolódó események egy se nem amerikai, se nem magyar kultúra hordozói – sajátságosan michigani, amerikai-magyar kultúráról van szó, ami addig fog fennmaradni, amíg a magyar egyházak működnek Michiganben – jósolja Huseby-Darvas Éva (60).

A könyv főszövege hatvan oldalt tesz ki, amit négy melléklet, bőséges jegyzetek, bibliográfia, név- és tárgymutató követ, negyvennyolc oldal terjedelemben. Az 1. melléklet egy élettörténet, a 2. a gyermekek szocializációjából villant fel ezt-azt, a 3. hat magyar étel receptjét közli (a gulyáslevestől a kolozsvári rakott káposztás kacsacombon át a „finom vajás kifliig”), a 4. a michigani magyar kalendárium.

Ez a könyv több szempontból kiemelkedik az amerikai magyarsággal foglalkozó társadalomtudományi művek közül. Mindezekelől azzal, hogy – a szűk terjedelem ellenére – nagyon pontos, árnyalt kulturális antropológiai leírását kapjuk egy amerikai magyar közösségnek. A könyvet szerzője több mint húsz éve kezdte írni, hisz több mint húsz éve gyűjt magnetofonnal amerikai magyar élettörténeteket. Mivel maga is közéjük tartozik, sokkal könnyebben mozog az amerikai magyarok között, mint bármely magyarországi kutató, ugyanakkor a magyarországi terepismeretei is elsőrangúak: a 80-as években egy teljes évet töltött Cserépfaluban az ott élő emberek tanulmányozásával. Huseby-Darvas Éva nagyon „kétlaki” kutató, s ezt jól kamatoztatja elemzéseiben és a megfigyelt magatartások magyarázatában. A könyv ol-

vasója egy hiperszorgalmas és hihetetlenül kitartó kultúranropológusra gyanakszik, s joggal. Aki próbálta már, tudja, hogy milyen nehéz az amerikai magyar emigrációt (a bevándorlókat) kutatni. Elég egyetlen óvatlan megjegyzés, és rögtön áthatolhatatlan falak emelkedhetnek a kutató köré. Hosszú és gondos résztvevői megfigyelés eredményezhet csak olyan kijelentéseket, mint például: „A bevándorlók első négy hulláma és a két utóbbi hullám közötti feszültségek különösen nyilvánvalóak az amerikai magyar egyesületekben” (29), vagy az, amit az 56-osok kapcsán olvassunk egy helyen: „Az 56-osok a dípiknél valamelyest reálisabb képpel rendelkeznek Magyarországról, mivel az 1963-as amnesztia után rendszeresen kezdtek hazalátogatni. Mindazonáltal, az otthonról távol töltött idő következtében, bizonyos értelemben minden bevándorló esetében megáll az idő” (26).

Magam ebből a könyvből a következő eltéréseket olvastam ki: a régi magyarok kétkezi munkások voltak, az újak jelentős részt jól képzett értelmiségiek vagy a szolgáltatóiparban dolgozó emberek. A régiek valódi magyar beszélőközösségekben éltek, melyekben a gyerekek is jól megtanulhattak magyarul. Az újak nem valódi, hanem virtuális (vagy semmilyen) magyar nyelvközösségben élnek, melynek tagjai zömmel csak telefonon vagy az Interneten kommunikálnak egymással. Ilyen körülmények között az ő gyermekeik nem tanulnak meg magyarul, mert nincs kitől s nincs hol megtanulniuk. Csupán a család a legtrikább esetben képes egy gyermeket Amerikában megtanítani magyarul. Azt hiszem, megjósolhatjuk, hogy a 21. században lesznek még amerikai magyarok, de gyermekeik közül (szinte) senki nem fog már megtanulni magyarul. (Éva V. Huseby-Darvas: *Hungarians in Michigan. East Lansing, Michigan State University Press, 2003. 108 p*)

Kontra Miklós

kandidátus, egyetemi tanár

CONTENTS

Ecology

Gábor Fekete: Ecology: from Theory to Praxis	2
Sándor Bartha: Paradigm-shift and Methodological Revolution in Vegetation Science...	12
András Báldi – Ferenc Jordán: Community Ecology: Problems and Perspectives	27
Péter Bíró – Nándor Oertel: Hydrobiology: Its Main Directions and Tasks	37
Erzsébet Pásztor: Evolutionary Ecology: Science of Biological Adaptations	49
István Scheuring: Mathematical Models in Ecology	59
Gábor Vida: Closing Global Remarks	67

Study

György Kéri: Signal Transduction Therapy and Rational Drug Design	70
Kinga Mandel: The Accreditation of Higher Education in France	81

Academy Affairs

Kitüntetések	92
György Fábri: University of All Knowledge	96
Survey of the János Bolyai Research Scholarship's Advisory Board on Activities and Experiences Concerning the Scholarship System between 1998 and 2003	106
György Darvas – Szaniszló Bérczi: Symmetry Festival in Budapest	114

Obituary

Tibor Farkas (<i>Klára Kitajka – László Vígh</i>)	121
---	-----

<i>Outlook (László Jéki – Júlia Gimes)</i>	124
--	-----

<i>Book Review</i>	129
--------------------------	-----

Ajánlás a szerzőknek

1. A Magyar Tudomány elsősorban a tudományterületek közötti kommunikációt szeretné elősegíteni, ezért elsősorban olyan kéziratokat fogad el közlésre, amelyek a tudomány egészét érintő, vagy az egyes tudományterületek sajátos problémáit érthetően bemutató témákkal foglalkoznak. Közlünk téma-összefoglaló, magas szintű ismeretterjesztő, illetve egy-egy tudományterület újabb eredményeit bemutató tanulmányokat; a társadalmi élet tudományokkal kapcsolatos eseményeiről szóló beszámolókat, tudománypolitikai elemzéseket és szakmai szempontú könyvismertetőket.

2. A kézirat terjedelme szöveges tanulmányok esetében általában nem haladhatja meg a 30 000 leütést (a szóközökkel együtt, ez kb. 8 oldalnak felel meg a MT füzetekben), ha a tanulmány ábrákat, táblázatokat, képeket is tartalmaz, a terjedelem 20-30 százalékkal nagyobb lehet. Beszámoló, recenzió esetében a terjedelem ne haladja meg a 7-8 000 leütést. *A teljes kéziratot .rtf formátumban, mágneslemezen és 2 kinyomtatott példányban kell a szerkesztőségbe beküldeni.*

3. A közlemények címének angol nyelvű fordítását külön oldalon kell csatolni a közleményhez. Itt kérjük a magyar nyelvű kulcsszavakat (maximum 10) is. A tanulmány címe után a szerző(k) nevét és tudományos fokozatát, a munkahely(ek) pontos megnevezését és – ha közölni kívánja – e-mail-címét kell írni. A külön lapon kérjük azt a *levelezési és e-mail címet*, telefonszámot is, ahol a szerkesztők a szerzőt általában elérhetik.

4. Szöveg közbeni kiemelésként *dólt*, (esetleg **félkövér** – bold) betű alkalmazható; ritkítás, VERZÁL betű és aláhúzás nem. A jegyzeteket lábjegyzetként kell megadni.

5. A rajzok érkezhetnek papíron, lemezen vagy email útján. Kérjük azonban a szerzőket: tartsák szem előtt, hogy a folyóirat fekete-fehér; a vonalas, oszlopok, stb. grafikonoknál tehát ne használjanak színeket. Általában: a grafikonok, ábrák lehetőség szerint minél egyszerűbbek le-

gyenek, és vegyék figyelembe a megjelenő oldalak méreteit. A lemezen vagy emailben érkező ábrákat és illusztrációkat lehetőleg .tif vagy .bmp formátumban kérjük; értelemszerűen fekete-fehérben, minimálisan 150 dpi felbontással, és a továbbítás megkönnyítése érdekében a kép nagysága ne haladja meg a végleges (vagy annak szánt) méreteket. A közlemény szövegében tüntessék fel az ábrák kívánatos helyét.

6. Az irodalmi hivatkozásokat mindig a közlemény végén, abc sorrendben adjuk meg, a lábjegyzetekben legfeljebb utalások lehetnek az irodalomjegyzékre. Irodalmi hivatkozások a szövegben: (szerző, megjelenés éve). Ha azonos szerző(k)től ugyanabban az évben több tanulmányra hivatkozik valaki, akkor a közleményeket az évszám után írt a, b, c jelekkel kérjük megkülönböztetni mind a szövegben, mind az irodalomjegyzékben. Kérjük, *fordítsanak különös figyelmet a bibliográfiai adatoknak a szövegben, illetőleg az irodalomjegyzékben való egyeztetésére!* Miután a Magyar Tudomány nem szakfolyóirat, a közlemények csak a legfontosabb hivatkozásokat (max. 10-15) tartalmazták.

7. Az irodalomjegyzéket abc sorrendben kérjük. A tételek formája a következő legyen:

- Folyóiratcikkek esetében:

Alexander, E. O. and Borgia, G. (1976). Group Selection, Altruism and the Levels of Organization of Life. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **9**, 499-474

- Könyvek esetében:

Benedict, R. (1935). *Patterns of Culture*. Houghton Mifflin, Boston

- Tanulmánygyűjtemények esetén:

von Bertalanffy, L. (1952). Theoretical Models in Biology and Psychology. In: Krech, D., Klein, G. S. (eds) *Theoretical Models and Personality Theory*. 155-170. Duke University Press, Durham

8. Havi folyóirat lévén a *Magyar Tudomány* kefelevonatot nem küld, de az elfogadás előtt minden szerzőnek elküldi egyeztetésre közleménye szerkesztett példányát. A tördelés során szükséges apró változtatásokat a szerző adott napon a szerkesztőségben ellenőrizheti.

KIS GYÜLÉS, OCT. 28. 1844.

Schedius Lajos ur.' helyettes elnököle alatt

Jelen Bajza, Bugát, Döbrentei, Fogarasi, Frivaldszky, Gebhardt, Györy, Kállay, Kiss, Luczenbacher, Szalay, Szilasy, Szontagh, Vállas, Vörösmarty, rr. tt. — Bárfay, Gaal, Henszlmann, Karácson, Nagy Ign., Széchy, Székács, Tasner, Török, Wargha ll. tt. — Schedel Ferencz titoknok, Lukács M. helyettes segédjegyző.

Olvastatott

JERNEY JÁNOS rtnak

Jászvásárt, oct. 17. 1844. költ ötödik jelentése, mellynek lényeges része ekkép következik:

Tekintetes Academia! Három fő momentum vezérli moldvai kutatásimat, miket minden lépten nyomon mint iránytűt szem előtt tartva, működésimet azokhoz mérni, kitelhető erőmmel igyekszem. Moldvát ugyan is 1-ör mint eleink' atelkuzni honának egy része, 2-or mint régi Cumania, vagy is a' kunok' egykori hazája, mélyebb vizsgálatot vár; de 3-or, hogy az itt élő és már kiholt magyarok' hajdani emlékei úgy, valamint jelen állapotuk gondosan fürkésztessek ki, méltó ohajtás.

Most már Szereth melléki, jelesen a' csángók' keblében intézendő nyomozásokra kerülend a' sor, mikhez rövid pihe-nés és itteni dolgaim' elintézése után hozzá is fogok: majd az eredményekkel egyetemben pontosan közlő a' már eleve talált forrófalvi sírköveket is; azonban addiglan hű másolatban imide melléklem a' scytha, vagy ha annak nem akarnók nevezni, ismeretlen iratu, gúlaalakú, kódarab' föliratát. Vizsgál-gasák régiségbuvárink, és ha megfejtendik, legyen dicsőség ne-vőknek! Én most feloldási munkálatára időt nem vehetek. Hogy „realis scriptura“ nem pedig önkényes jegyek legyenek, legkevésbbé kételkedem; a' hosszab keresztjegyet mégis olyan és nem betűnek itélem. Véleményem szerint azon kor-ból való e' különös emlék, midőn a' csángók' elei igaz hitre térvén, kezdetben régi pogány őseiktől maradtott betűjelle-meket még használtak. Némelyiknek a' rohonczi codex és IV. Béla' korabeli réz pénz' betűivel szembetűnő hasonlatossága.

M. L. Schedius
17. Oct. 1844

- 2. oldal

