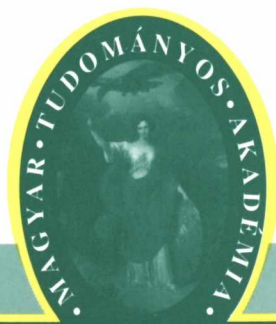


TUDOMÁNYPOLITIKA MAGYARORSZÁGON
II. A DISZCIPLÍNÁK MŰVELÉSE

FRIEDRICH PÉTER

BIOLÓGIA



1825

MAGYARORSZÁG AZ EZREDFORDULÓN



TUDOMÁNPOLITIKA MAGYARORSZÁGON
I–II–III.

- I. Tudománypolitika válaszúton
- II. A diszciplínák művelése
- III. Magyarországi kutatóhelyek

Programvezető és szerkesztő
Glatz Ferenc

Olvasószerkesztő
Balogh Margit, Pótó János

TUDOMÁNYPOLITIKA MAGYARORSZÁGON
II. A diszciplínák művelése

FRIEDRICH PÉTER

Biológia

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
BUDAPEST • 2001

Szerkesztő
GLATZ FERENC

Olvasószerkesztő
Balogh Margit

ISBN 963 508 277 0 Ö
ISBN 963 508 325 4
ISSN 1587-2408

Kiadja
a Magyar Tudományos Akadémia
A kiadásért felel: Glatz Ferenc, az MTA elnöke
Nyomdai előkészítés:
az MTA Történettudományi Intézetének kiadványcsoportja
Vezető: Kovács Éva
Borító: Horváth Imre
Tördelés: Csányi Attila
Nyomdai munkák: Áldási és Németh Nyomda Bt.
Felelős vezető: Áldási Pálné
Megjelent 2,6 (A/5) ív terjedelemben, 1500 példányban

Bevezetés

A biológiában – mint nyilván más tudományokban is – a fejlődés az utolsó évszázadban szinte teljesen tarthatatlanná tette a hagyományos, nagyrészt az egyetemi tanszéki struktúrák által fenntartott diszciplináris tagolást. Egyre-másra születnek új tudományágak. Negyedszázaddal ezelőtt nem létezett például bioinformatika vagy genomika. A mai biológiát szinte lehetetlen hibátlan belső logikával részdiszciplínákra tagolni, a különböző megfontolások alapján történő felosztások átmetszik egymást és főleg a hagyományokon alapuló – olykor nagyon kevésbé logikus – tagoltságot.

Úgy véljük, hogy a felosztás négy lehetséges szemponton alapulhat:

1. A vizsgált élőlények köre (pl. mikrobiológia, zoológia, botanika).
2. A vizsgálat organizációs szintje (pl. molekuláris, celluláris, individuális, szupraindividuális).
3. A vizsgálat szemlélete és módszertana (pl. biokémia, biofizika).
4. A vizsgált életjelenségek köre (pl. genetika, immunológia, neurobiológia).

Ha logikusnak is tűnhet e szempontok mindegyike, a létező biológiai tudományok teljes spektrumának lefedése a négy közül egyikkel sem lehetséges. A gyakorlatban létező felosztások keverik ezeket a szempontokat, és ötödikként adódik a hagyományon, történeti kialakuláson alapuló pragmatikus szempont is.

Jelen áttekintés, mely *Molekuláris biológia*, *Neurobiológia* és *Szupraindividuális biológia* fejezetekre tagolódik, szintén nem logikus, ám tükrözi a biológián belüli hazai tagozódást. A három fejezetet szakterületi kollektívák írták, óhatatlanul eltérő felfogásban, de ugyanazon kérdésekre keresve a választ.

Molekuláris biológia

Korunk biológiájának kétségkívül uralkodó (legtöbb kutatót foglalkoztató, legtöbb, legolvasottabb és legidézettebb közleményt produkáló) részdiszciplínája a *molekuláris biológia*. Ezt az 1950–1960-as években kikristályosodó, elsősorban a

biokémiából és a genetikából kialakuló tudományt a molekuláris organizációs szint és kémiai–fizikai módszerek primátusa jellemzi. Noha kialakulása idején a vizsgált életjelenségek köre is (öröklés) jellemző volt, ma gyakorlatilag minden biológiai jelenség és élőlény vizsgálatát felöleli. A molekuláris biológiai szemlélet és módszertan térhódítása miatt a diszciplína lassan parttalanná és határtalanná válik. Ez magyarázza azt a különös jelenséget, hogy univerzális jelentősége ellenére alig létezik molekuláris biológia tankönyv, és világszerte aránylag kevés az ilyen nevű tanszék. Egyes túlzó megállapítások szerint nemsokára az egész biológia egyenlő lesz a molekuláris biológiával, ezért ez a név – mint a biológia egy részdiszciplínája – megszűnik, értelmét veszti. Jellemző, hogy mikor – néhány évvel ezelőtt – a Nemzetközi Biokémiai Unió felvette a Nemzetközi Biokémiai és Molekuláris Biológiai Unió nevet, sorra tiltakoztak a genetikai, biofizikai, sejtbiológiai uniók, mert mindannyian igényt tartottak ugyanerre a névre. A celluláris és molekuláris szint elválasztása egyre tarthatatlanabb, a sejtbiológia gyakorlatilag egyesült a molekuláris biológiával. Ugyanígy nehéz vagy lehetetlen az immunológia, a biofizika, az élettan vagy a genetika elkülönített kezelése is. Érdekes tény, hogy azok a biológiai diszciplínák, amelyek sokáig a leginkább idegenkedtek a molekuláris biológia szemléletétől és módszereitől (taxonómia, ökológia, evolúciobiológia), egyre nagyobb mértékben használják a molekuláris biológiai megközelítést.

Tekintettel arra, hogy a huszadik század végének egyik ipari húzóágazatává fejlődik a biotechnológia és azon belül a géntechnológia, amely létét egyértelműen a molekuláris biológiának köszönheti, nehezen vitatható, hogy gazdasági szempontból ez a biológia legfontosabb modern irányzata. A „hagyományos” (tehát nem géntechnológiai eljárásokat használó) gyógyszerkutatás is egyre nagyobb mértékben támaszkodik a genomika (azaz a molekuláris biológia) eredményeire.

Hazánkban a biokémia (elsősorban *Szent-Györgyi Albert* iskolateremtő munkássága eredményeképpen) már viszonylag fejlett volt a második világháború előtt is, és – elsősorban *Straub F. Brunónak* köszönhetően – e hagyomány tovább élt a háború után is. Ez kevésbé mondható el a genetikáról, amelynek későbbi felzárkózását különösen visszavetette a liszenkoizmus uralma. Ennek tulajdonítható a molekuláris biológiai kutatás hazai kialakulásának megkésettisége is. Az elmaradás megszüntetésében kulcsfontosságú volt a Szegedi Biológiai Központ (SzBK) létrehozása. Ez szerencsésen egybeesett az 1970-es években a géntechnológia megszületésével, így ebbe a biológiai forradalomba a hazai kutatók is időben bekapcsolódhattak, sőt néhány eredményükkel egyes részterületeken (nitrogénfixáció, növényi mitokondriumok genetikája) úttörő szerepet is játszhattak. Noha ez az úttörő szerep ma már a múlté, a korszerű molekuláris bioló-

giai kutatásnak hazánkban még mindig az SzBK az első számú központja, bár már kiváló iskolák alakultak Debrecenben, Budapesten, Gödöllőn és Pécsen is.

Az egyetemi oktatás szintén késve alkalmazkodott a molekuláris biológiai forradalomhoz. A tantárgyszerkezetben, óraszámokban a molekuláris szemléletű és a hagyományos, természetleíró jellegű oktatás arányai a legfejlettebb országok gyakorlatához képest kedvezőtlenek. Ezzel a problémával kapcsolatban olykor elhangzik, hogy ezekben az országokban az utóbbi években – a zöld mozgalmak hatására – éppen némileg visszaszorult a molekuláris biológia (pl. az ökológia rovására). Ez kétségtelenül igaz, csak éppen még ebben a kissé hátrább szorult állapotban is jóval nagyobb tere van, mint jelenleg nálunk.

Ebből a szempontból egészségtelen jelenségnek kell tartani azt, hogy hazai biológusaink között szinte áthatolhatatlan szakadék választja el a két tábort. Természetesen bizonyos különbözőség a szemléleti-módszertani alapállásban elkerülhetetlen, de azért feltétlen kívánatos volna sok olyan személyiség jelenléte a biológiai tudományos közéletben, akik a két megközelítést integrálni képesek, akiktől nem idegen a másik tábor szemléletmódja (ebben az összefüggésben az egyik tábor a molekuláris biológusoké, a másik a szupraindividuális szintet kutató botanikusoké és zoológusoké) módszertana, ismeretanyaga. Sajnos ez a senior kutatók és oktatók szintjén jelentkező elkülönülés szükségképpen újratermelődik az egyetemi hallgatók körében is.

A fejlett ipari országokban (elsősorban az Egyesült Államokban) a 20. század végének egyik ipari húzóágazatává vált az alkalmazott molekuláris biológia (molekuláris biotechnológia, farmakogenomika, géntechnológia stb.), így aligha vitatható, hogy gazdasági szempontból ez a biológia legfontosabb modern iránya. A „hagyományos” (tehát nem géntechnológiai eljárásokat használó) gyógyszerkutatás is egyre nagyobb mértékben támaszkodik a genomika eredményeire.

Arra a kérdésre, hogy – a nemzetközi trendekkel egybevetve – melyek a magyar molekuláris biológiai kutatás hiányosságai, az alábbiakban válaszolhatunk.

1. Teljesen hiányzik a molekuláris módszerek alkalmazása a szupraindividuális biológiában.

2. A hazai biológiában igen nagy hagyományú és magas színvonalon folyó neurobiológiai kutatásokban is viszonylag fejletlen a molekuláris biológiai módszerek és szemlélet alkalmazása (l. alább).

3. A strukturális biológia területén lényeges javulás történt az elmúlt két évtizedben, ma már létezik korszerű fehérjeterület-kutatás, de ennek szintje is lényegesen elmarad a világszínvonalától.

4. Hazánkban (eltérően valamennyi fejlett országtól) nincsen semmiféle humán (vagy bármily más) genomprogram. Természetesen az erre épülő nagyobb

szabású funkcionális genomikai kutatás, illetve gyógyszerkutatás (farmakogenomika) is hiányzik, így az ország sem profitálhat közvetlenül az ilyen kutatások ipari hasznosításából.

5. Majdnem teljesen hiányzanak a modern géntechnológia módszereit, eszközeit alkalmazó biotechnológiai kutatások. Nincsenek (illetve alig vannak) innovatív biotechnológiai kis- és középvállalatok.

Ha arra a kérdésre akarunk válaszolni, hogy ezeket a hiányosságokat fel kell-e, illetve fel lehet-e számolni, a költség-házon hányadost kell figyelembe vennünk.

Ezt mérlegelve, nyilvánvalónak látszik, hogy nincs lényeges akadálya az 1. és 2. pontban említett elmaradásunk felszámolásának. Ahogy megtörtént a molekuláris biológia hazai térhódítása a biológia számos egyéb területén, úgy be fog következni ezeken a területeken is, hiszen ezek a kutatások a már meglévő módszertani repertoáron, műszerezettségén túl nem igényelnek jelentősebb beruházást. Az előrelépéshez elsősorban az adott tudományterületek művelőinek szemléletváltozására, molekuláris biológusokkal kialakított együttműködések kezdeményezésére van szükség. Meggyőződésünk tehát, hogy ezeket a fehér foltokat el kell és el lehet tüntetni.

Nehezebb a válasz a 3. pontban megfogalmazott kérdésre. Bár a fehérjetermszerkezet-kutatás hazai szintje lényegesen elmarad a világszínvonalától, nem egyértelmű, hogy szükséges-e jelentősen (és nagy költséggel) bővíteni a meglévő hazai műszerállományt, vagy célszerűbb a nemzetközi kutatóhelyekkel történő együttműködésekre támaszkodni.

A 4. és 5. pontban említett területek művelése rendkívül költséges, ugyanakkor a hazai gyógyszerkutatás, biotechnológiai ipar versenyképességének növelése révén az ország számára jelentős előnyökkel járna. Minthogy a hazai gazdasági életben meghatározó szereppel bír a gyógyszeripar, szinte felmérhetetlen a kockázata annak, ha az ország lemond erről a lehetőségről.

Meggyőződésünk, hogy a 4. és 5. pontban felsorolt területeket, a funkcionális genomikát, farmakogenomikát az ország jövője szempontjából fontos kutatási területek közé kell sorolni és megfelelő támogatásban kell részesíteni.

*

A fentiekből kitűnik, hogy *a molekuláris biológia nem egyszerűen egy diszciplína, hanem az egész biológiát átjáró szemléleti-módszertani eszköztár, az életfolyamatok megértésének és befolyásolásának alapvető szintje. A hagyományos diszciplínák közül a biokémia és biofizika mindig is molekuláris (sőt szubmolekuláris) feloldású volt, a sejtbiológiát, genetikát, immunológiát és mikrobiológiát pedig már annyira átjárta ez a megközelítés, hogy ma mindezeket molekuláris biológiai*

(al)diszciplínáknak tartják. Ez persze nem jelenti azt, hogy e vizsgálódási területeknek ne volna meg sajátos profiljuk, tételesen felsorolható frontvonalai, igen nagy gyakorlati (orvosbiológiai és biotechnológiai) jelentőséggel. Ezek leírásától eltekintünk, ami nem értékítélet, csupán a tömörítés igénye diktálja. Az életjelenségek alapján való osztályozás szerint egyetlen diszciplínát ismertetünk részletesen, a neurobiológiát. Ennek oka az idegrendszer vezérlő szerepének központi jelentősége és az idegi funkciók sokszintű szerveződése.

Neurobiológia

Agyunk megismerése korunk legnagyobb kihívásának tekinthető, melynek nem csupán filozófiai jelentősége van. Magának a megismerést végző szervünknek a megismerése messze túlmutat az elméleti érdekességek szintjén, hiszen az emberiség fizikai, szellemi egészségének megőrzéséhez, sőt a társadalmi folyamatok értelmezéséhez, irányításához is alapvető jelentőségű. Nem véletlenül nyilvánította az Amerikai Egyesült Államok elnöke és szenátusa az 1990-es éveket „Az agykutatás évtizedé”-nek, amihez a magyar kormány elsőként csatlakozott 1991-ben. Az agykutatás vagy neurobiológia egy komplex multidiszciplináris tudományág, melynek robbanásszerű fejlődését az elmúlt két évtizedben a társtudományok (molekuláris biológia, biokémia, biofizika, számítástechnika) bevonásával létrehozott új módszerek tették lehetővé. Egyre szaporodnak azok a komplex megközelítési módok, melyek ugyanazt a jelenséget több szinten, egymást kiegészítő metodikákkal vizsgálják. Ezek az eredmények hozták meg azt az áttörést a neurobiológiában, melynek révén az egyes aldiszciplínák eredményei között kialakult az átjárhatóság, s így lehetővé vált az egyes agyi folyamatok molekuláris, sejt- és hálózati szintű funkcionális értelmezése. A hazai neurobiológiának is elsősorban a diszciplináris határterületeken van esélye a nemzetközi élvonalba tartozó kutatások folytatására, és elismertségének megőrzésére. A multidiszciplinaritás hangsúlyozása mellett az egyes idegtudományi kutatási területeket külön fejezetekben foglaljuk össze.

Molekuláris neurobiológia

Az elmúlt két évtizedben a molekuláris biológia és genetika, valamint a géntechnológia robbanásszerű fejlődése és az idegrendszeri kutatásokban való térhódítása soha nem látott mértékben megsokszorozta a sejt-, molekuláris és génszintű ismereteinket az idegrendszer fejlődéséről, működéséről és rendellenességeinek okairól.

- Ismereteink gyarapodtak az idegsejtek differenciálódásának, kapcsolataik kialakulásának és működésének alapvető mechanizmusairól, valamint az azokat irányító génekről és azok szabályozásáról.
- A neurotranszmitter-receptorok és transzporterek klónozásával közelebb jutottunk az idegsejtek közötti kommunikáció alapmechanizmusainak megértéséhez.
- Egyedi idegsejtek molekuláris markerekkel való azonosítása és jellemzése soha nem látott lehetőséget adott a kezünkbe neuronális hálózatok komplex módszerekkel való vizsgálatához és működésük megértéséhez.
- A genetikailag módosított állatok idegrendszeri kutatásokban való alkalmazásának lehetőségei pedig szinte korlátlanok. Egyes gének élő állatban való „elrontásával”, illetve működésének célzott megváltoztatásával azok funkciója komplex idegi működésekben is vizsgálható. Ma már arra is van lehetőség, hogy ezzel a módszerrel idegsejtcsoportokat „megjelöljünk” és tulajdonságaikat célzottan megváltoztassuk.
- Növekszik az olyan súlyos neurodegeneratív megbetegedések száma is, amelyeknél már sikerült azonosítani a kialakulásukban szerepet játszó génhibákat (pl. Alzheimer- és Huntington-kór). A „fordított genetika” módszerével pedig a pszichiátriai kórképek, valamint kábítószer-, nikotin- és alkoholfüggőség kialakulásában szerepet játszó gének azonosíthatók.
- A molekuláris neurobiológiai alapkutatás eredményeinek hasznosítása egyre nagyobb hangsúlyt kap a gyógyszerkutatásban is. Az idegrendszeri betegségek molekuláris okainak pontosabb ismerete és a genetikailag módosított állatmodellek használata hatásosabb gyógyszerek előállítását teszi lehetővé. A klinikai gyakorlatban pedig általánossá vált a molekuláris diagnosztika alkalmazása és megkezdődött a neurodegeneratív kórképek és agydaganatok tüneteinek enyhítésére és gyógyítására szolgáló génterápiás eljárások kidolgozása is.

Az élenjáró országokhoz képest Magyarországon nagyon lassú ütemben halad a molekuláris biológia térhódítása az idegtudományokban. Az országban gyakorlatilag csak egyetlen olyan laboratórium létezik (az MTA Kísérleti Orvostudományi Kutatóintézetében), amelyik a génklónozástól a génműködés szabályozásának vizsgálatán át a genetikailag módosított állatmodellek előállításáig a molekuláris biológia szinte teljes fegyvertárát felhasználja az idegrendszeri kutatásokhoz. Néhány vezető laboratóriumban, felismerve a molekuláris biológiai technikákban rejlő rendkívül nagy lehetőségeket, most kezdik beépíteni azokat a saját kutatási irányjaikba. A magyar idegtudományok kiemelkedő nemzetközi színvonalának a megtartásához azonban nemcsak a molekuláris biológiai technikák használatának, hanem a molekuláris szemléletnek is szervesen be kell épül-

nie az idegtudományokba. Ezért egyrészt a molekuláris biológiai ismereteknek nagyobb hangsúlyt kell kapniuk az idegtudományi oktatásban és posztgraduális képzésben, másrészt a molekuláris neurobiológiának a tudományfinanszírozásban is előnyt kellene élveznie. Ez elősegítheti mind a klasszikus idegtudományokba való beépülését, mind pedig gyógyszergyári és klinikai alkalmazását. Ezt követeli meg a társadalmi igény is, mivel ma már a korszerű és hatékony gyógyszerfejlesztés és a gyógyítás sem képzelhető el erőteljes molekuláris háttér nélkül.

Funkcionális neuroanatómia, molekuláris anatómia

A neuroanatómia olyan tradicionális diszciplínának tekinthető, amely talán a legrégebben művelt ága a neurobiológiának, mégsem megy, nem mehet ki soha a „divatból”. Az egyes tárdiszciplínák fejlődése, újabbak keletkezése az anatómia folyamatos megújulását eredményezik, új kérdések feltételére készítetik, illetve új válaszok adására teszik alkalmassá. Tipikus példa a molekuláris biológia forradalmi berobbanásával járó új anatómiai kutatási ág, a *molekuláris neuroanatómia* kifejlődése. Ennek persze feltétele volt a több mint húsz évvel korábban kifejlesztett immunhisztokémiai módszerek bevonása a neuroanatómiába. Szinte naponta klónoznak meg újabb és újabb receptor-, transzporter- és ioncsatorna-típusokat, fejtenek meg újabb szintézislebomlási útvonalakat, foszforilációs–defoszforilációs enzimkaskádokat. Ezek az eredmények azonban nem válhatnak az idegrendszer működéséről alkotott elképzeléseink szerves részévé, amíg funkciójukat és pontos lokalizációjukat meg nem határozzuk. A molekuláris neuroanatómia teszi lehetővé az új receptor alegységek, egyéb regulációs fehérjék és enzimek *célzott* fiziológiai és farmakológiai vizsgálatát, hiszen pontosan megmutatja, hogy hol érdemes, hol kell vizsgálni, mely sejteket, régiókat, szinapszisokat kell összehasonlítani. A hatásmechanizmust jelző szubcelluláris lokalizációra is alkalmas, például megmondhatja, hogy egy adott receptortípus pre-, poszt-, peri-, extra- vagy szubszinaptikus elhelyezkedésű, ami nemcsak az endogén transzmitter hatásának megfejtéséhez elengedhetetlen, hanem az exogén, esetleg terápiás céllal bevitt drogok hatásmechanizmusát és a hatás pontos helyét is jelzi. Számos alkalommal tette lehetővé a strukturális viszonyok pontos tisztázása a korábban értelmezhetetlen élettani és gyógyszeres eredmények magyarázatát.

A funkcionális neuroanatómiai és elektrofiziológiai metodikák „házassága” világszerte jelentős előrelépést hozott az agy komplex integratív központjai – ezek között is legjelentősebben a magasabb rendű idegműködésekért felelős agykéreg – működésének, neuronhálózatainak felderítésében. Számos metodi-

kai és koncepcionális előrelépés éppen magyar kutatóknak köszönhető, tehát ezen a területen Magyarország továbbra is tartja a *Szentágothai János* és iskolája által kivívott vezető szerepét a világban. Új sejttípusok és kapcsolódási törvényszerűségek meghatározása tette lehetővé olyan, régóta fennálló élettani kérdések megválaszolását, mint a theta-oszcillációk keletkezési mechanizmusa, vagy újabban a tudatos érzékelés szempontjából jelentősnek tartott gamma-oszcillációk (40 Hz) generálásának neuronhálózati szintű magyarázata.

Az idegi sejtbiológia (celluláris neurobiológia) és fejlődésbiológia

Ez a diszciplína az ideg- és gliasejtek élettanával, molekuláris felépítésével, intercelluláris kapcsolataival és az idegszöveti sejttípusok kialakulásával foglalkozik. Vizsgálódási körébe sok olyan kérdés tartozik, amelyek más neurobiológiai tudományághoz is sorolhatók, de jellegzetes módszerei és a sejtesszerűződés szintjén folytatott vizsgálatai segítségével „új” jelenségeket tár fel. A modern sejtbiológiai módszerek lehetővé tették az addig „megközelíthetetlen” idegsejt-sajátosságok vizsgálatát, és a kutatás az utóbbi tizenöt évben látványos eredményeket hozott a szinaptikus anyagkibocsátás folyamatai, a növekedési faktorok termelődése és hatása, a bioelektromos sejtaktivitás, az idegszöveti sejttípusok kialakulása és kapcsolatteremtése stb. területén. A sejt- és szövettenyésztés módszereinek fejlődése az egyes idegszöveti sejttípusok *in vitro* fenntartását és ellenőrzött körülmények közötti vizsgálatát biztosította. A mikroelektrofiziológiai módszerek finomodásával, a „nem invazív”, fluoreszcens képalkotó technikák és a számítógépes videomikroszkópia kidolgozásával közvetlenül megfigyelhetővé vált a sejtek élettani működése. A molekuláris biológia eszköztárának felhasználásával az ideg- és gliasejtek genetikai módosítása megvalósítható, és ezzel elérhető céllá vált az idegsejt-fenotípust meghatározó génműködések feltárása. A felnőtt agyban is jelenlevő idegsejt-előalakok kimutatása és az idegi „törzssejtek” *in vitro* módosításának lehetősége azt eredményezte, hogy intenzív kutatások indultak a – sérülések vagy neurodegeneratív betegségek során – pusztuló idegsejtek pótlását vagy hiányzó anyagok újratermelődését célzó gyógyító eljárások kidolgozására. Az agyszövet sérülésekre adott válaszainak, az agyi gyulladásos folyamatoknak a megértését és klinikai kezelését jelentősen segítik az ideg- és gliasejtek reakcióinak *in vitro* vizsgálatai, amelyek az alkalmazott (gyógyszeripari, klinikai) kutatásoknak is meghatározó ágává váltak. Az idegsejteken vagy idegsejtreceptorokkal transzfektált sejtvonalakon végzett toxikológiai–farmakológiai vizsgálatok a gyógyszeripari laboratóriumok vegyület-válogató módszereivé fejlődtek. Miután az idegsejtek olyan „végdifferenciált” sejtek, amelyek sok – más sejttípusban is kimutatható – sajátóságot végletesen kifejtett

formában hordoznak (vagy nem jelenítenek meg), az idegi sejtbiológia az általános sejtbiológiai kutatásokban is kiemelt területté vált.

Magyarországon az idegi sejtbiológia elméleti kérdéseit több egyetemi (ELTE, POTE, SOTE, SZOTE) és akadémiai (KOKI, SzBK) laboratóriumban vizsgálják, módszereit pedig nagyon sok kutatóhelyen alkalmazzák. A sejt szintű neurobiológiai kutatásokat folytató kutatóhelyek számának és teljesítményének növekedése jelzi, hogy a nemzetközi irányultsághoz hasonlóan az utóbbi évek hazai idegtudományi kutatásaiban is jelentősen nőtt az idegi sejtbiológia jelentősége.

Idegélettan, farmakológia

Az agy normális és kóros működésének és gyógyszeres befolyásolhatóságának megismerése szempontjából alapvető jelentőségű az idegsejtek egymás közötti, valamint a különböző szervrendszerekkel fenntartott kommunikációjának feltárása. Ezek a kutatások, melyek zömmel az elektrofiziológia és farmakológia tárgykörébe tartoznak, az idegi kommunikáció több szerveződési szintjét célozzák meg: a komplex neuronhálózatok, agyi régiók működését, az egyedi sejtek aktivitását, a sejteken kialakuló ionáramok és az általuk létrehozott feszültségváltozás tulajdonságait, illetve az ingerületátvivő anyag felszabadulásában és az ionáramok kialakításában szerepet játszó receptorok, csatornafehérjék, másodlagos hírvivő molekulák és enzimkaskádok közvetlen vizsgálatát. Az elmúlt két évtizedben az idegtudományok ezen ágai óriási fejlődésen mentek keresztül, ami elsősorban a technikai újításoknak és a különböző társtudományok (fizika, molekuláris biológia, biokémia) hozzájárulásának, együttes alkalmazásának köszönhető. Sajnos, ezt a rohamos fejlődést a Magyarországon folyó elektrofiziológiai kutatások nem, vagy csak részben voltak képesek követni.

Az agyi régiók, komplex neuronhálózatok vizsgálata az elektroencefalográfia (EEG), illetve az ún. „multi-unit” aktivitás regisztrálásával és elemzésével alvó vagy ébren levő állatokban az 1960–1970-es években élte fénykorát. Mára ezek a módszerek sajnos kissé háttérbe szorultak, és sokszor mint kiegészítő vizsgálatok szerepelnek a mai modern fiziológiai laboratóriumok metodikai arzenáljában. Az alvás-ébredés különböző fázisainak vizsgálatában ma is hoznak új eredményeket ezek a módszerek, de a legnagyobb visszhangot kiváltott megfigyelés a tudatos érzékeléssel, felismeréssel, valamint az akaratlagos cselekvéssel kapcsolatba hozható nagy frekvenciás (gamma, 40 Hz) agykérgi oszcillációk észlelése volt. A gammatevékenység megjelenése minden bizonnyal tudati, pszichikus tevékenységet tükröz. A jelentős új felfedezések közé tartozik az eseményfüggő potenciálok (event-related potentials: ERP) megfigyelése, melyben hazai kuta-

tók is részt vettek (MTA Pszichológiai Intézet). Az illeszkedési negatív hullám (Mismatch negativity: MMN) felismerése igazolta, hogy az agy képes az ún. nem illeszkedő befutó ingerek azonnali detektálására.

Az elmúlt tíz évben a makrofiziológiai vizsgáló módszerek új lendületet kaptak az elsősorban az emberi agy működésének vizsgálatára kifejlesztett ún. nem invazív képalkotó eljárások révén. Ezek nagy felbontásuk segítségével kis agyi régiók véráramának vagy metabolizmusának a változását regisztrálják, ami a feltételezés szerint korrelál az idegsejtek működésével. Ezen eljárások – a funkcionális mágneses rezonancia képalkotás (fMRI) vagy a pozitronemissziós tomográfia (PET), kombinálva az EEG és/vagy az egyes sejtek tüzelésének elemzésével – igen részletes betekintést nyújtanak az egyes agyterületek funkciójába, illetve az agyterületek közti kapcsolatok működési sajátosságaiba fiziológiás és patológias körülmények között.

Az elmúlt évtized legmarkánsabb fejlődését a sejt szintű neurofiziológia mutatta. Ez a patch-clamp mérés technika kifejlesztésének köszönhető, amely igen széles körben elterjedt, és több tudományág kutatásai módszereit alkalmazva az egyedi idegsejtek működésének igen részletes megismerését ígéri. A fluoreszcens mikroszkópia társítva a patch-clamp elvezetésekkel lehetővé teszi a sejten belüli Ca^{2+} koncentrációváltozások nagyon pontos idő- és térbeli felbontású analizálását. Ezen a kutatási vonalon ma a „két-foton” konfokális pásztázó mikroszkóp alkalmazása jelenti a csúcstechnológiát, amellyel sikeresen mérhetők intracelluláris jelek akár élő állatokból is. Igen nagy fejlődési potenciált jelent a molekuláris biológia egyes módszereinek kombinálása a patch-clamp technikával (pl. „single cell PCR”, különféle fehérjék kifejeztetése az idegsejtekkel vírusvektorok segítségével stb.). Ma Magyarországon alig fél tucat patch-clamp mérőállomás szolgálja a neurobiológiai kutatásokat. Ma még gyermekcipőben jár hazánkban mind a fluoreszcens mikroszkópia, mind a molekuláris biológia összekapcsolása e mérés technikával, de meghonosításukra a kezdeti lépések megtörténtek.

Kiemelkedő nemzetközi színvonalú elektrofiziológiai kutatások folynak Magyarországon elsősorban a celluláris fiziológia, a rendszerfiziológia (agy régiók, komplex hálózatok szintje), valamint a pszichofiziológia területén, melyben részt vesznek az orvostudományi egyetemek élettani, gyógyszeres, anatómiai és neurológiai intézetei, a tudományegyetemek élettani intézetei, valamint az MTA Kísérleti Orvostudományi Kutatóintézete és Pszichológiai Intézete.

A *farmakológiai* kutatások jelentős része az alkalmazott gyógyszeres fejlesztő tevékenység, illetve a klinikai kutatások körébe tartozik, itt most röviden csak az alap kutatás jellegű irányokat foglaljuk össze. A klasszikus *in vitro* szövetszlet-preparátumokból történő transzmitter felszabadulását vizsgáló metodikákat

az elmúlt néhány évtizedben *in vivo* mikrodiálízis vizsgálatok egészítették ki, amelyek – társulva a fejlett, nagy nyomású folyadékkromatográfiás (HPLC) analitikai eljárásokkal, és újabban a tömeg-spektrometriai méréstechnikával – lehetővé tették a szabadon mozgó, illetve az altatott állatok különböző agyi régióiból történő transzmitter-felszabadulás mérését. A szelettechnika azonban továbbra is egyedülálló módszer maradt ezen folyamatok pre- és posztzinaptikus szabályozási mechanizmusainak feltárására, az egyes ingerületátvivő anyagok ürülésében részt vevő receptorok, ioncsatornák, transzporterek, másodlagos hírvivő rendszerek azonosításában. Ezek a kísérletek képezik minden alkalmazott farmakológiai kutatás alapját, az egyre specifikusabb hatású drogok tervezésének kiindulópontját. Napjainkban a farmakológiai kutatások jelentős fejlődésen mennek keresztül a molekuláris biológiai metodikák bevonása révén (lásd molekuláris neurobiológiai fejezet), melyek közvetlen lehetőséget biztosítanak – a transzgenikus vagy knockout állatok előállításával – a neurotranszmisszió egyes fázisaiban szerepet játszó fehérjék pontos funkciójának meghatározásában. Jelentős előrelépés történt az utóbbi tíz évben a különböző ingerületátvivő anyagoknak (noradrenalin, dopamin, szerotonin) az egyes elmekörképekben játszott szerepének tisztázásában.

Neuroimmunológia, neuroendokrinológia, neurokémia

Jelentős új kutatási irány a *neuroimmunológia*, amely az idegrendszer védekezési reakcióival és az ideg- és az immunrendszer kölcsönhatásainak vizsgálatával foglalkozik. Megdőlt az az elképzelés, miszerint a központi idegszövet sérülései nem váltanak ki lokális immunreakciókat. A neurodegeneratív kórképek jelentős részében alapvető szerepet játszanak az idegszöveti gyulladási reakciók, de a folyamatok okainak és mechanizmusának feltárása kezdeti stádiumban van. A hazánkban is megindult közös immunológiai és neurobiológiai kutatások már eddig is hozzájárultak bizonyos kérdéskörök megválaszolásához. Magyar kutatók is hozzájárultak annak bizonyításához, hogy a sokáig mereven huzalozottnak tekintett idegrendszer képes sok egyéb szervünk mellett egy folyékony halmazállapotú effektorrendszerrel, az immunrendszernek a vérben jelenlévő komponenseivel (T limfociták, antitestek) is kölcsönhatásba lépni, ezeken keresztül pedig a szervezet természetes védekező rendszerét tonikusan megfelelő aktivitású állapotban tartani. Ma már tisztázottak a kölcsönhatás lehetséges pontjai, a résztvevő ingerületátvivő anyagok és egyéb faktorok.

Magyarországon a hagyományosnak mondható és ma is kiterjedten alkalmazott *in vitro* transzmitter-felszabadulási vizsgálatok a világ élvonalába tartoznak, és számos kutatóhelyen, az orvosegyetemek farmakológiai intézeteiben, az MTA Kísérleti Orvostudományi és Központi Kémiai Kutatóintézteiben folynak.

Egy-egy kutatóhelyen (MTA KOKI) a molekuláris neurobiológiai metodikák meghonosítására is sor került a farmakológiai kutatásokban, továbbá – hasonlóképpen az elektrofiziológiai vizsgálatokhoz – itt is alkalmazzák a legmodernebb kalciumleképezési (imaging) eljárásokat, ideértve a „két-foton” technikát is. A hazai farmakológia tehát ráértett a helyes fejlődési irányra, minimális késéssel követve a nemzetközi trendeket. A gyorsabb fejlődés és a felzárkózás csupán a megfelelő mértékű támogatás függvénye.

Az idegéletteni kutatásokhoz sorolható a *neuroendokrinológia* is, melynek kiemelkedő szerepe van számos, a hormonháztartás szabályozásával kapcsolatos alapkutatás, valamint napjaink egyik legégetőbb egészségügyi problémája, a stressz vizsgálatában. Számos organikus megbetegedés kiváltó okát sikerült megtalálni a krónikus stressz által indukált (centrális és perifériás) idegi folyamatokban. Idetartoznak az immunrendszer betegségei, az arra visszavezethető rák, gyomorfekély, a szív és az érrendszer károsodása, a magas vérnyomás és az abból fakadó egyéb szervi problémák, és még folytathatnánk a sort. A váratlan környezeti ingerekre adandó optimális válaszhoz szükséges szintű (egészséges) stressz, illetve a káros hatású krónikus stressz kialakulási mechanizmusait, kontrollálhatóságát, az egészséges és káros stressz közötti élettani, farmakológiai és molekuláris szintű különbségeket sok laboratóriumban vizsgálják a világ vezető orvostudományi kutatóhelyein. A hazai neuroendokrinológia, nagy nemzetközi hagyományainak megfelelően, ma is a világ élvonalába tartozó kutatócsoportokkal rendelkezik, melyek az orvosegyetemek anatómiai és élettani intézeteiben, valamint az MTA Kísérleti Orvostudományi Kutatóintézetében működnek. A neuroendokrinológiát is forradalmasította a molekuláris biológia és a kalcium-imaging technikák, ezeknek az új megközelítési módoknak is számos hazai követője van.

A *neurokémiai* kutatások tárják fel az idegszöveti anyagcsere mechanizmusait, az idegszöveti sejtek makromolekuláris felépítését, a sejtek közötti folyadéktér és az extracelluláris mátrix összetételét. A szövethomogenátumból vagy szövetnedvből vett minták molekuláris elemzése nagyban hozzájárult – és a jövőben fontos eredményeket ígér – az élettani és kórélettani folyamatok megértéséhez. A „klasszikus” neurokémia eredményei és módszertára beépült az idegi molekuláris és sejtbiológiai, hisztokémiai, immuncitokémiai és idegéletteni kutatásokba. A neurokémia önálló eredményeinek köszönhetőek a transzmitter-metabolizmusról, az agyi védekező reakciókról, a sejt-specifikus (neuron-glia) anyagcsere-folyamatokról nyert ismereteink és az idegszövet számos makromolekuláris alkotójának azonosítása, szerkezetének feltárása. Hazánkban több egyetemi és akadémiai kutatólaboratóriumban folynak neurokémiai alapkutatások.

A hazai gyógyszergyárak szinte minden biokémiai laboratóriumában is végeznek részben alkalmazott, részben alapkutatás jellegű neurokémiai kísérleteket. Az egyetemi és gyári kutatások egyik fő iránya az agyi hipoxiás károsodás és degeneratív megbetegedések patomechanizmusának tisztázása és gyógyszeres befolyásolása. A magyar neurobiológia kiegyensúlyozott fejlődése szempontjából fontos, hogy a molekuláris biológiai kutatások erősítése mellett a sikeres és nagy hagyományokkal rendelkező neurokémiai kísérletes tevékenység is kellő támogatást kapjon.

Számítógépes neuronhálózat-modellezés

Az egyre precízebb anatómiai, fiziológiai és farmakológiai adatok ideális helyzetet teremtenek a realiztikus számítógépes neuronhálózat-modellezés számára. Ehhez természetesen szükséges volt a számítógépek sebességének és memóriakapacitásának ugrásszerű növekedésére is. Ma már jól modellezhetők például az agykérgi oszcillációs folyamatok, az egyes neuronok receptív mezőtulajdonságaik kialakulása, az epilepsziás szinkronizációs folyamatok és az egyedi sejteken a különböző lokalizációjú serkentő és gátló szinapszisok terjedése, szummációja. A modellneuronok és a belőlük összeállított hálózatok nemcsak replikálják a biológiailag mért adatokat, hanem felhasználhatók kísérletesen tesztelhető predikciók előállítására is. Ez a modellezés egyik leglényegesebb területe, melyben a hazai kutatócsoportok (az MTA Központi Fizikai Kutatóintézetében, a JATE Élettani és a SOTE Anatómiai Intézeteiben) kezdenek felzárkózni a nemzetközi élvonalhoz.

Intenzíven fejlődő terület a *neuroinformatika*, az idegrendszer működési törvényszerűségein alapuló analóg számítógépek tervezése. Magyarország ezen a területen is az élen jár az MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézetének egy csoportja révén.

Viselkedés-neurobiológia

A magatartáskutatás is erőteljesen fellendült, amit jól mutat a magatartással foglalkozó szaklapok számának és színvonalának emelkedése, valamint az, hogy a nem magatartási profilú lapok egyre több magatartási vonatkozású cikket közölnek. A tisztán magatartásleíró, vagy egyszerűbb hormon-magatartás kapcsolatot vizsgáló kutatások helyét fokozatosan átveszi az idegi mechanizmusok kutatása, amely alkalmazza a legmodernebb neurobiológiai kutatási módszereket. Hangsúlyos kutatási irányok a pszichikai rendellenességek állatkísérletes kutatása, valamint a kábító- és élvezeti szerek hatásainak kutatása. Mindkét kutatási

iránynak megvan a tisztán gyakorlati, „gyógyszerkereső”, valamint a mechanizmusokat vizsgáló irányzata. Teret nyer a humán etológia, mint az emberi psziché és a gyógyszerhatások kutatásának új, a pszichiátriát és a pszichológiát kiegészítő irányzata.

Magyarországon az idegtudományok hagyományosan magas színvonala kedvező feltételeket teremt a magatartáskutatás új irányzatai számára. Több magyarországi kutatási központban mind tematikailag, mind technikailag magas színvonalú és korszerű kutatás folyik. A hagyományos, „leíró” kutatási irányok – amelyek természetesen külföldön is tovább élnek – talán a nemzetközínél magasabb arányban maradtak fenn idehaza. Az egyes kutatók teljesítményén túl azonban a magatartáskutatás jelenléte a hazai tudományos életben nem olyan hangsúlyos, mint a legtöbb fejlett amerikai vagy európai országban. Ennek fontos oka lehet a szakemberképzés lényeges lemaradása az igényektől. A magatartáskutatás, bár modern módszereinek jelentős részét az idegtudományoktól kölcsönzi, továbbra is egy sajátos képzettséget és gondolkodásmódot igénylő tudomány. Számos országban saját tanszéke van olyan részterületeknek (pl. magatartásfarmakológia), amelyeket idehaza egyáltalán nem, vagy csak más tárgyak keretein belül, hiányosan oktatnak. A szakemberképzés elégtelensége e tudományág hazai fejlődésének komoly problémája lehet.

Szupraindividuális biológia

E fejezetben azon diszciplínákkal foglalkozunk, amelyek az *egyed feletti biológiai szerveződés* szintjeit veszik szemügyre. Alapegységük a populáció, de a szupraindividuális jelenségek populáció-kollektívumok, társulások, sőt társuláskomplexek körében egyaránt érvényesülnek.

Az érintett diszciplína elsősorban a *szünbiológia*. A szünbiológia: a különböző élőlények együttélésével, társulásképzésével foglalkozó tudomány, amely magában foglalja a „jelenségtant” (pl. a *vegetációtant*) és az okokat kereső *ökológiát* (mint szubdiszciplínákat), miközben maga az ökológia is számos, mára önálló részterületre (pl. *viselkedésökológia*, *evolúciós ökológia*, *ökofiziológia* stb.) bomlott. A *hidrobiológia* is szünbiológiai részdiszciplína, amelyet a sajátos közeg miatt hagyományosan külön tárgyalnak. Munkánkban kitérünk a *növény- és állattaxonomiára* is, ezek nélkül szünbiológiai kutatás nem létezik.

A felsorolt szakágak a diszciplínák (részdiszciplínák–szubdiszciplínák) nagy épületének különböző mértékben, de elkülönülő, monolitikus elemeit jelentik. Gondoljuk meg: az egyetemek intézményi–oktatási struktúrájában majd mind-egyikről önálló tanszék gondoskodik, tudománytörténetük eltérő, gyakran vizs-

gálati objektumuk is, de főleg a megközelítési-szemléleti mód, a módszertan az, ami önálló. A tárgynak ez az igen nagyfokú heterogenitása – különösen a kényszerűen szűkre szabott terjedelmi keretek között – óhatatlanul tükröződik az alábbi szemlében. Több terület áttekintésére – különböző okokból – nem kerülhetett sor. Egyes esetekben azért nem, mert hazai művelésük csak nemrég indult meg. Ilyen például a *tájökológia*, az a részdiszciplína, amely pedig már a közeljövőben is integráló szerepet tölthet be.

Nemzetközi fejlemények

A tudomány organikus fejlődésének megfelelően az 1990-es évek elejéig a populációs szintre összpontosító, elsősorban evolúcióökológiai és viselkedésökológiai érdeklődés újra az életközösségek felé fordult.

A természetvédelmi praktikum oldaláról jelentkező, az elméleti kutatások iránti igény hívta élete a *természetvédelmi biológiát* (konzervációbiológiát). Az elmélet és a gyakorlat egymásra találásának nagy szerepe volt az ökológiában világszerte tapasztalt kétirányú *skálaáttörésnek*: érzékelve, hogy a szupraindividuális biológiai jelenségek értelmezéséhez és magyarázatához nem kielégítő a kutatások klasszikus élőhelyléptéke, kiterjesztették azt egyrészt a hosszú távú és nagy térléptékű (táj-, regionális és globális szintű), másrészt a finom struktúrákat feltáró, mikroléptékű vizsgálatok irányába. A váltást és áttörést nemcsak a kutatások tér–idő skáláján tapasztalhatjuk, hanem a tanulmányozott *organizációs szintek* közelítésén is. A populációbiológiai és életközösségi kutatások már említett, sajátos kapcsolata mellett jelentős eredmények születtek az *individuális különbségek* populációbiológiai szerepe és a populációsintű jelenségek *fiziológiai* és *molekuláris értelmezése* kapcsán is. Külön ki kell emelnünk az életközösségek és populációk *nem egyensúlyi dinamikájának* felismerését, mely paradigmaváltáshoz vezetett az ökológiában és konzervációbiológiában egyaránt. Az *evolúciós ökológia* mára nagymértékben meghatározza a korábban egyeduralkodó *evolúciógenetikai* kutatások menetét is. Az *életmenet-evolúció* és a *viselkedésökológia* után a *kognitív ökológia* is önálló tudományterületté vált. A módszertanban is rohamos fejlődésnek vagyunk tanúi. A *vegetációtanban* nagy és egyre nagyobb gépi adatbázisok, másrészt új és újabb sokváltozós módszerek, a null-modellek (neutrális modellek) elterjedése teszi a kutatásokat egzaktabbá; egyre több területen gyökeresedik meg a modellezés. Meghonosodnak a távérzékelési módszerek is. A *hidrobiológiában* szemléletbeni változás történt, amely a vizet csak a vízgyűjtő területével együtt, az ottani folyamatok, történések figyelembevételével kezeli. Most van kibontakozóban a növényi állományok, illetve természetes társulások fizio-

lógiai folyamatainak kutatása. A globális klímaváltozás (emelkedő CO₂-koncentráció és léghőmérséklet) hatásait prognosztizáló kutatási területen belül a *növényi ökofiziológia* rohamos módszertani fejlődést mutat. Nagyon pozitív fejlemény a *zootaxonómia* módszertani fegyvertárának rendkívül gyors gyarapodása az informatika eredményeinek hasznosításával. A másik, igen határozott trend a molekuláris biológia módszereinek igen nagyarányú felhasználása *növény- és zootaxonómiai* problémák megoldásában, amely mára egy új tudományág, a *molekuláris filogenetika* kifejlődéséhez vezetett.

A hazai kép a nemzetközi trendek tükrében

A szupraindividuális biológia hazai műhelyei számos területen betörték a nemzetközi élvonalba. Világszínvonalúak az elméleti kutatások és eredmények az evolúciógenetikában, az adaptív dinamikai modellezésben, a térben strukturált populációk vizsgálatában, az életmenet-evolúcióban. Sikeres könyvek jelennek meg külföldön; magyar társszerzős az első történeti evolúciógenetikai könyv. Kiemelkedőek a madárviselkedés-ökológiai tanulmányok; egyes természetes és agrárterületek állatközösségeinek szerkezetére és működésére vonatkozó felismerések, a fényre repülő rovarok évtizedes országos monitorozásának eredményei. A vegetációtanban a *Juhász-Nagy Pál* kifejlesztette módszer család forradalmasította a koegzisztenciális szerkezetek vizsgálatát. Elismertek a vegetációdinamikai eredmények, a trópusi botanikai (vegetációtani és taxonómiai) kutatások. Külföldön is népszerűek magyar kutatók által készített sokváltozós statisztikai programcsomagok. A zootaxonómiát illetően számos állatcsoportban folyamatosan nemzetközi színvonalúak az eredmények. A hidrobiológia terén külföldi elismertségnek örvendenek a Balaton, a Kis-Balaton és a Duna vízminőségével, anyagforgalmával foglalkozó, a gyakorlatban is fontos felismeréseket hozó kutatások. Növényi ökofiziológusaink bejutottak a nemzetközi élbolyba, például az emelt szén-dioxid-szint hatásainak kutatása révén. A sor távolról sem teljes. Ugyanakkor hangsúlyoznunk kell, hogy a szünbiológiai diszciplínák, így az ökológia is, esetenként lokális-regionális kötöttségűek. Esettanulmányok szintjén nagy feladataink vannak itthon, a Kárpát-medencében, és ezek nem szükségszerűen találkoznak a nemzetközi trendekkel.

Reprezentációnk a nemzetközi szervezetekben jó, de a hazai kutatások súlya és színvonala ennél többre is jogosítana. Szakmánk nagy megbecsülése, hogy a British Ecological Society egyik tiszteleti tagja magyar. Az elmúlt periódusban magyar volt a European Ecological Federation alelnöke, és jelen vagyunk a European Centre for Nature Conservation igazgatótanácsában is. Jelentős a képviseletünk az International Association of Vegetation Science-ben is.

A szupraindividuális szerveződési szintekre jellemző az infraindividuális szintek jelenségeivel szemben az igen nagy komplexitás, a sokkal nagyobb variabilitás, a sztochaszticitás, a folyamatok jóval nagyobb tér- és időléptéke, és az, hogy a folyamatok állandóan változó feltételek között zajlanak. Ezért hozták létre (az Egyesült Államokban) az 1980-as években a tervszerű–szervezett–koordinált, hosszú távú ökológiai kutatásokat (Long Term Ecological Research, LTER), a különböző biotópokban létesített nagy kutatóállomásokat, illetve ezek hálózatát. Az állomásokon ismeretes az objektum előtörténete, biztosítva van a beállított kísérletek zavartalansága, folyamatossága. Mondani sem kell, hogy mára a kutatások nagy fokú műszerezettségű és magas fokú képzettséget igényelnek, valamint nagy költségigényűek. Az egyes állomásokon folytatott mérések technológiáját (és részben a tematikát is) minimum-standard előírások szabályozzák. Az utóbbi öt év fontos fejleménye, hogy folyamatban van az International Long Term Ecological Research elnevezésű nemzetközi kutatási hálózat kifejlesztése. Jelenleg 16 ország tagja ennek a rendszernek. Az ILTER alakításában Magyarországnak kezdettől fogva szerepe van mint az egyik első európai csatlakozó partnernek. A kimondottan jó nemzetközi reputáció jórészt annak a hét-nyolc projektnek köszönhető, amelyek hazánkban kettő-négy évtizede folynak (de amelyek infrastruktúrája többségében vagy elavult, vagy még igazából ki sem épült). A kép kifelé szebb, mint a valóságban: az LTER-standardnak megfelelő állomásunk jelenleg még egy sincs.

Bár a hazai taxonómia nemzetközileg még mindig nagyon elismert, a legkorszerűbb molekuláris filogenetika területén szinte el sem indultunk, amin sürgősen változtatni kell.

Hazai intézményi feltételek

A szupraindividuális biológiai diszciplínák hazai intézményi feltételei gyenge közepesnek minősíthetők. Az akadémiai kutatóintézmények közül két intézet, a vegetációtant és hidrobiológiát művelő Ökológiai és Botanikai Kutatóintézet (benne a Magyar Dunakutató Állomás) és a Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, továbbá egy osztály, az agrárterületen működő MTA Növényvédelmi Kutatóintézet Zoológiai Osztályának fő profilja kifejezetten szünbiológiai, de kutatói létszámuk jóval kisebb, mint az szükséges lenne. Ezen a helyzeten csak részben javított a négy kutatóhely tematikus társulása egy ökológiai központ kereteiben, és a korábbinál több fiatal kutató alkalmazása. Ráadásul jelentős területek hiányoznak. A teresztris állatökológiai alapkutatások például csak kutatócsoport szintjén vannak képviselve a hazai akadémiai palettán.

Egyetemi vonatkozásban még kedvezőtlenebb a helyzet. Legtöbb felsőoktatási intézményünkben mindössze 1–2 szünbiológiai profilú tanszék működik,

ezek az összes szupraindividuális biológiai tárgy oktatását ellátják. Így nem ritka, hogy az „egytárgyas” (egyetlen diszciplínához kapcsolódó, mindössze néhány főkollégiumot előadó) tanszékekkel szemben az „ökológiaiak” 10–20 főkollégiumot is kénytelenek gondozni. Ez természetesen mind oktatási hatékonyságukat, mind pedig kutatási kapacitásukat csökkenti. Ehhez járul, hogy a kényeszerű és az oktatási terheket figyelmen kívül hagyó leépítések az ökológiai tanszékeket jobban sújtották, mint a sokkal kevesebb oktatási feladatokat ellátó egységeket. Szükséges lenne a szünbiológiai profilú tanszékek gyarapítása, például hidrobiológiai, etológiai stb. tanszékek létesítése is.

A kutatási bázis teljes áttekintésére a helyszűke miatt nem vállalkozhatunk. A teljes kép megrajzolását az is nehezíti, hogy egyes területekre nem éppen a kutatói koncentrátság jellemző. Persze a kutatási bázist erősítik azok a tanszékek, intézetek is, ahol csupán egy-két szakember műveli az adott területet. Példának hozzuk fel a vegetációtant, amely képviselve van a négy tudományegyetemen, négy szakegyetemen tanszékenként néhány fővel, két főiskolán, a Magyar Természettudományi Múzeum Növénytárában és vidéki múzeumokban, de még nemzeti parkokban is. Széles a hidrobiológia bázisa is (a két akadémiai intézet mellett még Budapesten a VITUKI, az ELTE, Debrecenben a KLTE, néhány más egyetemi és főiskolai tanszék, Szarvason a HAKI, valamint a vízügyi és környezetvédelmi kutatóhelyek stb.). Feltűnő a növénytaxonómiát művelők kis száma. A mind alaptudományos, mind alkalmazások tekintetében fontos populációgenetikai kutatások igen elhanyagoltak. Szűkösek a zootaxonómia bázisai: a Magyar Természettudományi Múzeum Állattárának túlsúlya változatlan, az egyetemi bázisok alig gyarapodnak.

A nehézségek ellenére egyre több műhely dolgozik eredményesen. Az akadémiai intézetek közül Vácrátót a vegetációkutatás kiemelkedő központja, a tihanyi intézetben pedig a hidrobiológia területén folyik világszínvonalú munka. Az agrárterületen az MTA Növényvédelmi Kutatóintézetének Zoológiai Osztálya működik eredményesen. Az egyetemek közül az ELTE elsősorban a gerinceskutatás és az elméleti-modellező munka számos vonalán nyújt nemzetközileg számontartott eredményeket. A KLTE jelenlegi specialitása és fő erőssége a hidrobiológia és a viselkedésökológia, az ökológiai modellezés, a JATE-n az állatközösségek vizsgálata rendelkezik jelentősebb hagyományokkal, nemzetközi hírnévvel és e mellé zárkózott fel a konzervációbiológia. Igen eredményesen művelik a JPTE-n a vegetációkutatást, felfejlődőben van az állatökológia. A Magyar Természettudományi Múzeum Állatökológiai Kutatócsoportja a szárazföldi állatközösségek vizsgálata, a GATE pedig a növényi ökofiziológia területén nyújt kiválót. Igen jó kapcsolat alakult ki a akadémiai kutatóintézetek és az egyetemi tanszékek között. Az együttműködés mind a kutatásban (közös projektek,

pályázatok, különösen a vegetációkutatásban), mind pedig az oktatásban, első-sorban a PhD-képzésben hatékony.

A kutatóhelyek felszereltsége, hála az utóbbi 5-6 év kiegyenlített tudománypolitikájának, sokat javult, de még mindig nem megfelelő. A sokáig „olcsó” diszciplínáknak tartott szupraindividuális biológiai tudományokról az utóbbi időben nyilvánvalóvá vált, hogy csak úgy tarthatják meg helyüket a nemzetközi mezőnyben, ha fegyvertárukba a *nagy tér–idő léptékű projektek, terepkísérletek* és nemegyszer molekuláris technikákat alkalmazó laboratóriumi kísérletek egyaránt szerepelnek. Ez pedig *felszereltség- és költségigényes*.

A közeljövőben egy permanensen működő, akadémiai, teresztris *állatökológiai* kutatásokat végző, legalább *osztály szintű bázis létrehozása, a hosszú távú* kutatásokat segítő *terebázis* („long-term site”) kifejlesztése a legfontosabb feladat. A folyamatos biomonitorozás alapvető fontosságú a kis és nagy tér–idő léptékű ökológiai változások regisztrálásához és előrejelzéséhez. Ennek anyagi feltétele a *terebázisok alapellátásának* hosszú távú biztosítása, ami a jelenlegi pályázati rendszerben nem megoldott. Elengedhetetlen a nehézségekkel küszködő *egyetemi tanszékek helyzetének normalizálása* is. Megfelelő pályázatokkal és erkölcsi támogatással továbbra is segíteni kell a *regionális szintű, határokon átnyúló* kutatásokat is. A Kárpát-medence ugyanis egészen unikális lehetőségeket biztosít egy ökológiai EU-régió létrehozásához.

Szakemberállomány

A személyi helyzet kedvezőbb az intézményinél, annak ellenére, hogy még mindig nagyon kevés a területen dolgozó kutatók és egyetemi oktatók száma. Az egyes részterületeken azonban eltérő a helyzet. A hidrobiológiában a minősítettek között a 40 év alattiak aránya alacsony, az utánpótlás állapota nem megnyugtató. A vegetációtan területén a kutatói koreloszlás az elmúlt évtizedek tudománypolitikájának következtében torz: senior kutatók, sok fiatal pályakezdő mellett az ötvenesek korcsoportja ugyancsak alulreprezentált. Örvendetes, hogy az e pálya iránt érdeklődők száma évek óta magas: e fiatalok többségükben jó képességűek, erős szakmai elkötelezettséggel. A generációs viszonyok a zootaxonomiában szinte katasztrofálisak: alig van a pályára újonnan belépő fiatal kutató. Hasonló a helyzet a növénytaxonomiában is. Az utánpótlásképzés helyzete nem rossz. Graduális szinten az ELTE, a KLTE és a JATE ökológusokat képez ágazati vagy szakirányi képzés formájában. Jónéhány program biztosítja a posztgraduális képzést. Igen nyugtalanító viszont, hogy álláshelyek hiányában még a legjobbak pályán maradása is kérdéses. Az akadémiai intézetekben például évenként egy vagy két fiatal jut szerződéses alkalmazáshoz, és csupán három

évre. A terepmunkák hosszadalmassága miatt ennyi idő a PhD-disszertáció megírásához nem elegendő; amúgy a szervezett PhD-képzés befejezése utáni elhelyezkedés szintén igen problematikus.

Publikációs és információs viszonyok

A szünbiológiát tekintve megállapítható, hogy a nemzetközi publikációs lehetőségek messze lemaradnak a biológia más ágaitól. A vezető ökológiai–szünbiológiai folyóiratok visszautasítási rátái 70–80%-osak, impakt faktoruk csak kivételesen haladja meg a kettőt, de nem egy vezető folyóiraté egynél is kisebb. Ennek ellenére örvendetes, hogy különösen fiatal *ökológusaink* egyre nagyobb számban jutnak be vezető nemzetközi folyóiratokba. *Evolúcióbiológusaink* rendszeresen publikálnak erős nemzetközi lapokban; növényi *ökofiziológusaink* nagyszámú tanulmányt tettek közzé nemzetközi peer-review folyóiratokban. A *zootaxonómia* terén publikációs és információs viszonyaink jónak mondhatóak. Nemcsak arról van szó, hogy hazánkban több színvonalas folyóiratban lehet jó zootaxonómiai cikket publikálni, hanem e cikkek számára a nemzetközi lapok is nyitottak. *Hidrobiológiai* tárgyú cikkeket 5–6 hazai folyóiratban lehet közölni, ezek egyike sem impakt faktoros, de legtöbbször referált. A hazai és nemzetközi folyóiratokban közölt cikkek itt kb. fele-fele arányt mutatnak.

A szünbiológia egyik sajátossága, hogy eredményei jelentős részben lokális vagy regionális jellegűek, ezért a nemzeti és regionális publikációs fórumok jelentősége az utóbbi időben sem csökkent. Hazánkban mindössze egy, évente megjelenő, deklaráltan ökológiai tárgyú folyóirat van, az inkább regionális jellegű *Tiscia*, de az utóbbi időben szinte kizárólag szünbiológiai cikkeket publikál az ELTE Növényrendszertani és Ökológiai Tanszéke által megjelentetett *Abstracta Botanica* is, amely az elmúlt években nemzetközileg is ismertté vált. Jelenleg lépéseket tesznek arra, hogy az *Abstracta Botanica* és a nemzetközi *Coenoses* egyesülésével egy új, hazánkban szerkesztett, világszínvonalú közösségi ökológia folyóirat (*Community Ecology*) jöjjön létre. Örvendetesen bővült a korábban csak taxonómiai cikkeket publikáló *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungariae* profilja is, melynek új publikációs stratégiája és nem utolsósorban vezető zoológusokból álló nemzetközi szerkesztőbizottsága máris nagyban hozzájárult eredményeink nemzetközi elismertségéhez. Nincs egyetlen hazai hidrobiológiai folyóirat sem, de úgy tűnik, nincs is rá igény. Új fejlemény, hogy a biotika (elsősorban a florisztika) és a vegetációtan felívelő népszerűségének jeleként több helyi, magyar nyelvű folyóirat is létrejött.

Az anyagi szűkösség rányomja bélyegét a könyvtárak könyv- és folyóirat-ellátására is. Nem megnyugtató, hogy fontos nemzetközi folyóiratokat csak a kutatók

pályázati pénzeiből tudnak fenntartani. Az írott információhoz való hozzájutás különösen nagy probléma a kis létszámú ökológiai kutatóhelyeken, ugyanis közeliükben legtöbbször nincs olyan rokon intézmény, amelynek a könyvtárát használnák. Egy-egy egyetemi városban az infraindividuális, például molekuláris biológiai diszciplínákkal foglalkozó tudományegyetemi tanszékek vagy intézetek kutatói használhatják az intézmény rokon tanszékeinek, az orvosegyetemek megfelelő tanszékeinek, esetleg kutatóintézeteknek a könyvtárát, az ökológus azonban aligha találja meg az őt érdeklő könyvet vagy folyóiratot máshol, mint saját tanszéke könyvtárában. A jövőben e problémákon úgy lehet segíteni, hogy regionális szünbiológiai kutatási és oktatási centrumokat kell kialakítani ott, ahol megfelelő a folyóirat- és szakkönyv-ellátottság. Hazánkban ilyenek lehetnek Budapest–Vác-rátót, Debrecen, Szeged, Pécs és Szombathely–Sopron. Ezek a centrumok kiválóan épülnének be a Kelet-közép-európai Ökológiai Hálózatba, melynek szervezése már megkezdődött. Az informatikai háttér általában kielégítőnek mondható.

A diszciplína „társadalmi képe”

A több mint évszázados kutatási múltra visszatekintő, számos területet magában foglaló szünbiológia, különösen az ökológia, aligha nevezhető új tudománynak. Mégis fogalmával, vizsgálati tárgyával, feladataival, de nemegyszer természettudományi voltával kapcsolatosan is nagyon sok a vita és félreértés nemcsak a nagyközönség körében, hanem olykor a tudomány berkeiben is. Ezért egyik nagyon fontos és aktuális feladatunk, hogy megértsük: az *ökológia szupraindividuális biológiai tudomány*. Meg kell kímélni egyes áltudományos, a környezet- és természetvédelmet az ökológiával konfundáló, olykor politikai vagy NGO-köntösben jelentkező tevékenységektől, a filosz vagy élettelen természettudományos indíttatású kisajátítási kísérletektől.

Nagyon fontos viszont az ökológia, valamint a természet- és környezetvédelem közötti viszonynak mint szaktudomány és intézkedési tevékenység közötti kapcsolatnak, a kölcsönös kapcsolódási pontoknak a megismertetése. Ez azért is lényeges, mert az ökológiai kutatások legnagyobb „fogyasztója” a természetvédelem. Emellett az egymásra utaltság is nagy: a szünbiológiai (ökológiai) kutatás elvégzi a természeti értékek feltárását, elméleti vagy kísérleti megalapozást nyújt regenerációs beavatkozásokhoz stb., a természetvédelem viszont a megfigyelésekhez és kísérletekhez biztosítja a háborítatlan területeket. A közelmúltban nagyon jelentős lépéseket tettek egy praktikumorientált természetvédelmi kutatóhálózat kialakítására (pl. a Nemzeti Biodiverzitás Monitorozás programjának keretében), de ez a folyamat még nem zárult le, folytatását például az EU-csatlakozás kapcsán jelentkező új igények elengedhetetlenné teszik.

STRATÉGIAI KUTATÁSOK A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIÁN MŰHELYFÜZETEK

II. DISZCIPLÍNÁK MŰVELÉSE

Matematika (*Császár Ákos*)

Orvostudomány (*Vizi E. Szilveszter*)

Biológia (*Friedrich Péter*)

Fizika (*Horváth Zalán–Nagy Károly–Tompa Kálmán*)

Kémia (*Görög Sándor*)

Gazdaságtudományok (*Szentes Tamás–Zalai Ernő*)

Nyelvtudomány (*Kiefer Ferenc*)

Állam- és jogtudomány, politológia (*Kulcsár Kálmán*)

Művészetek (*Poszler György*)

Történettudomány (*Glatz Ferenc*)

Filozófia (*Vajda Mihály*)

Agrártudomány (*Dohy János–Heszky László–Tomcsányi Pál*)

Szociológia és demográfia (*Cseh-Szombathy László*)

Földtudomány (*Pantó György–Ádám József–Mészáros Ernő*)

Műszaki tudományok (*Somlyódy László–Bokor József–*

Finta József–Gyulai József–Nyíri András)

Informatika (*Vámos Tibor*)

1996 májusában az MTA javaslatára átfogó tudománypolitikai reform kidolgozása indult meg Magyarországon. A Tudománypolitikai Kollégium május 22-én állást foglalt egy hosszú távú terv és egy cselekvési program kidolgozásáról. A Tudománypolitikai Kollégiumnak az Akadémia elnöke az érintett tárcákkal egyeztetve november 13-án előterjesztette a rövid távú cselekvési programot, amely többek között tartalmazta a magyarországi állami fenntartású kutatóbázis áttekintését és konszolidálását (többek között az akadémiai és a tárcák kezelésében lévő kutatóintézetek áttekintését és későbbi időpontban diszciplínánként, a tanszéki kutatóbázis átvilágítását). Tartalmazta a program a finanszírozási rendszer felülvizsgálatát, s ennek részeként a költségvetési ráfordítás hanyatlásának megállítását. Emellett szólt a program a fiatal kutatók helyzetének megvizsgálásáról, a kutatói és egyetemi bérrendszer reformjáról, tudomány és társadalom viszonyának felülvizsgálatáról és általában a magyar tudomány és kutatásszervezet nemzetközi beágyazottságának elősegítéséről.

1996 decemberében állást foglalt az országgyűlés a tudomány kiemelt költségvetési támogatásáról, és megbízta a Magyar Tudományos Akadémiát azzal, hogy tízéves távlatban, folyamatos munkával vizsgálja felül a magyarországi tudomány helyzetét, és fogalmazzon meg javaslatokat a tennivalókra.

Az MTA közgyűlése 1997 decemberében állást foglalt három tudománypolitikai program megindítása érdekében:

1. Készüljön el egy helyzetértékelés és annak vitája.
2. Kerüljön sor a Magyarországon művelt tudományágak helyzetértékeléseire (diszciplínaviták).
3. Készüljön el a magyarországi kutatóbázis katasztere.

1998 tavaszára elkészült a helyzetértékelés és a piacgazdaság viszonyai között mozgó tudománypolitika alapelveinek tisztázó vitairata. (*Tudománypolitika az ezredforduló Magyarországn.* Budapest, 1998.) És megindultak a tudománypolitika kérdéseiről a viták (ezek eredményeiként 2002-ben jelenik meg a *Tudománypolitika és kutatásszervezet Magyarországon* című kötet). 2000-ben pedig elkészült a magyarországi kutatóbázis katasztere (*Magyarországi kutatóhelyek.* Budapest, 2001).

1999-ben és 2000-ben lefolytatták a diszciplínavitákat. E viták eredményeként készültek el az elmúlt esztendőben az egyes diszciplínákat értékelő tanulmányok, amelyeket a jelen füzet sorozatban adunk köze.