

A ZOOTAXONÓMIA NEMZETKÖZI IRÁNYVONALAI

Werner E. Holzinger*

Ökoteam-Institut für Faunistik und Tierökologie
(Állatökológiai és Faunisztikai Intézet)
holzinger@oekoteam.at

*Zootaxonómia: új módszerek,
új adatok, új eredmények*

Több évig tartó nyomasztó érdeklenség után a zootaxonómia a múlt évtized folyamán végre ismét gyors fejlődésnek indult, elsősorban annak köszönhetően, hogy az emberiség kezd ráébredni a biológiai sokféleség, azaz a biodiverzitás kizárólag az ember által előidézett aggasztó mértékű csökkenésének veszélyeire. Számos kiemelkedő kezdeményezés célja a Föld biodiverzitásának felmérése és a további leromlás megelőzése volt. Közülük legnagyobb jelentőségű és volumenű az ENSZ környezeti programja: a biológiai sokféleség megőrzéséről szóló egyezmény. Ennek érdekében valósult meg a rendkívül fontos, 1992-ben, Rio de Janeiróban szervezett konferencia, amelynek az volt a célja, hogy 2010-ig megállítsa a biodiverzitás csökkenését, valamint a 2006-ban Curitibában megrendezett konferencia, amely egy olyan program elfogadását eredményezte, ami jelentősen mérsékelheti a biodiverzitás csökkenésének ütemét 2010-re.

Számos kormány és társadalmi szervezet kezdeményezte a saját területén a helyi bio-

lógiai sokféleség feltárását és védelmét (Magyarországon is). Ezek a kezdeményezések fokozták az állatok meghatározása és rendszerezése iránti igényt és érdeklődést, és épp ez a két tevékenység a zootaxonómia alapja. Ráadásul a zootaxonómiai kutatások eszköztárának gyors bővülése elősegítette a biológusok és zoológusok rendszertani problémákra irányuló érdeklődésének fenntartását.

Összehasonlító alaktan

A zootaxonómia klasszikus eszközei az összehasonlító morfológia körébe sorolhatók. Idetartozik a külső morfológia tanulmányozása, az anatómia, szövettan, sejttan stb. A homológ (azaz közös eredetű) karakterek aprólékos összehasonlítása teszi lehetővé a fajok azonosítását, a fajok közti különbségek felismerését, és arra is lehetőséget nyújt, hogy információkat szerezzünk például a fajképződés és a törzspejlődés lehetséges útvonalairól, valamint a fajok biológiájáról és viselkedéséről. Az utóbbi években az új technikák alkalmazása, például a pásztázó elektronmikroszkópok és a háromdimenziós rekonstrukciók elkészítéséhez bevetett számítógépek felhasználása lehetővé tette, hogy számos új elképzelés merüljön fel, sőt, újabb tények feltárását eredményezte az összehasonlító morfológia klasszikusnak tekinthető területén is.

* Fordította: Fuisz Tibor

*A „takarékoság”, azaz a parszimónia
elvét alkalmazó kladisztikus elemzés*

Ráadásul a számítógépek felhasználása forradalmasította az evolúciós biológiát is, különösen a rendszertani egységek (az úgynevezett taxonok) evolúciójának kutatására bevetett eszköztárat. A törzsfajlódeési fák gyakorlatilag mindig tudományos feltevések. Ezek az élővilág egységeinek rokonsági viszonyait és leszármazását tükröző fák mindig az adatok értelmezésétől függenek, s ezek az adatok elsősorban a vizsgált taxonok morfológiai és molekuláris jellegzetességein alapulnak, de a törzsfák felépítésében felhasználhatják például a viselkedésre, hangadásokra, élettani sajátosságokra vonatkozó adatokat is. Az elmúlt hatvan év folyamán az evolúciós útvonalak rekonstruálásának klasszikus módszere a Adolf Remane és Willi Hennig szerint értelmezett szünapomorfiák felismerése és megállapítása volt. Az adott taxon alapos és hosszú ideig tartó tanulmányozása után néhány gondosan kiválasztott jelleg alapján állították fel ezeket az elméleti törzsfákat. Manapság a számítógépek lehetővé teszik, hogy sokkal több jelleget és nagyobb adatbázisokat használjunk, azaz az állatra jellemező karakterek százait, és tucatnyi taxont is egyszerre tanulmányozhatunk bármilyen rendszertani egység ún. „szuperfájának” felállításához. A legnépszerűbb ilyen program a PAUP, ami lehetővé teszi a legparszimónikusabb (azaz a „legtakarékosabb”) fák automatikus kiszámítását. A módszer alapja az a feltevés, hogy az evolúció maga is a parszimónia elvét követi, azaz egy kevesebb karakterállapot-változást igénylő fa valószínűleg közelebb áll a valósághoz, mint egy sok karakterállapot-változást igénylő fa.

Molekuláris adatok

Jelen pillanatban az állatok molekuláris adatainak tanulmányozása szinte divat lett. A DNS-

és RNS-szekvenciák mellett az allozyme analízis, a fehérjeszekvenálás, a DNS-miniszatellitek elemzése, az RAPD-technikák és mások is használatosak. A molekuláris adatok vizsgálata számos előnnyel jár: az elemzéseket egy laboráns is elvégezheti, és még az adatok kiértékeléséhez sem kell feltétlenül az adott csoport szakértőjének lenni. Nem szükséges a homológ és nem homológ bélyegek megkülönböztetése sem, hisz a ribonukleinsav bázispárok sorrendje szempontjából ez érdektelen. További előnyt jelent az a tény, hogy a vizsgálatokhoz igen kis mennyiségű anyag elegendő, nincs szükség a teljes egyedre. A molekuláris analízis nélkülözhetetlen eszköz a modern taxonómiában és a leszármazási kapcsolatok feltárásában, azaz a törzsfakutatásban, mivel nagymennyiségű értékes adatot szolgáltat még olyan rendszertani csoportok esetében is, ahol a morfológiai adatok megszerzése nehézségekbe ütközik. Mivel az adatok digitális formában jönnek létre, ezért könnyen felhasználhatók a parszimónia elvét alkalmazó kladisztikus programcsomagokkal végzett analízisekben. Ennek ellenére a szekvenciákat egy tapasztalt molekuláris biológusnak ellenőriznie kell, és az azok egymásnak való megfeleltetését (alignment) – ez a PAUP elemzéshez szükséges adatrendezés alapvető lépése – továbbra is kézi vezérléssel optimalizálják.

*DNS alapján történő azonosítás
(DNA barcoding)*

A fajok azonosításának egy új és egyszerű módja a DNS-*barcoding*. Az alapelv meglehetősen egyszerű: egy olyan DNS-szakaszt kell kiválasztani, amely jelentősen eltér a fajok között, de meglehetősen kis variabilitással rendelkezik egy fajon belül. Ennek a szakasznak a vizsgálatával elvégezhető a vizsgált egyedek faji hovatartozásának megállapítása. Egy

ilyen könnyen azonosítható és a fajok közt eltérő szakaszra jó példa a citokróm C oxidáz I (CO I), ami a mitokondriális DNS 650 bázispár hosszúságú szakasza. Ez a módszer nagy-szerűnek tűnik, de valójában a hagyományos fajmeghatározási módszerekhez hasonló előnyökkel és hátrányokkal rendelkezik. A feltáró tanulmányok kimutatták, hogy a vizsgált fajok 96 %-a azonosítható DNS-barcodinggal, de ezek nagy része hagyományos módszerekkel is elkülöníthető lenne. A fennmaradó 4 % esetében azonban a faj kizárólag a DNS-szekvencián alapuló azonosítása elfogadhatatlanul magas hibarányhoz (akár az esetek 31 %-ban is téves eredményhez) vezethet. Ezért véleményem szerint a DNS-barcodinggal történő faji besorolás alkalmazhatóságával kapcsolatos remények erősen eltúlzottak. A DNS-barcoding nem egyéb, mint egy újabb módszer a fajok azonosításának eszköztárában, azonban, lévén meglehetősen drága, és mivel előfordulhatnak hibák is alkalmazása esetén, hangsúlyozni kell, hogy csak egyike a lehetséges eszközöknek, és sohasem fogja helyettesíteni az igazi taxonómusokat és az adott csoport igazi szakértőit.

Digitális kódolás vs. kettős nevezéktan (binomiális nomenklatúra)

A fentiek érvényesek a fajok digitális kódolására történő kísérletekre, azaz hogy kiváltsák a hagyományos kettős nevezéktan alkalmazását. Számos intézmény próbálkozott a fajok digitális kódolásának kidolgozásával, abban a reményben, hogy így stabilabb rendszer alakul ki, ami könnyebben alkalmazható az adatbázisokban. Véleményem szerint ezen rendszerek mindegyikét két fő probléma jellemzi: az első inkompatibilitásuk a rendszerezési szabályokkal és a későbbi taxonómiai revíziókkal. A második fő hátrányuk pedig az

egységesség feláldozása, mivel valamennyi adatbank és szervezet eltérő kódolást használ. Ezért összegzésképpen kijelenthető, hogy a digitális kódolás fontos eszköz egy kutatócsoporton vagy egy adott adatbázis keretein belül, de szerintem sohasem lesz képes teljes egészében helyettesíteni a kettős nevezéktan.

Digitális publikációk

A zootaxonómia egy másik, ma divatos trendje az, hogy a nyomtatott tanulmányok helyett digitális publikációkat közölnek a kutatók. A könyvtárak jelentős mennyiségű helyet és pénzt takaríthatnak meg a folyóiratok csupán digitális verzióinak megvásárlásával, ráadásul a különlenyomatok cseréje felgyorsul és olcsóbbá válik. A taxonómia egyike a biológia azon kisszámú területeinek, ahol a cikkek, szemben például a biokémiai vagy molekuláris biológiai tanulmányokkal, nem avulnak el rövid idő leforgása alatt. Néha még a két-száz éves cikkek is az eredeti adatok nélkülözhetetlen forrásai lehetnek.

Valóban nyugodtan kijelenthetjük, hogy teljesen biztonságos a taxonómiai szempontból fontos cikkeket kizárólag digitális formában megjelenő folyóiratokban közölni? Tényleg garantálhatjuk, hogy az esetleg magánkiadó és/vagy könyvtár a következő évszázadok során fenntartja a weboldalát?

A magam részéről erősen ajánlom a hagyományos papírra nyomtatott publikációkhoz történő ragaszkodást. Szeretnék óva inteni mindenkit attól, hogy megfeleldkezzen a digitális adattárolás árnyoldalairól. Mindenki bizonyára tudja, hogy a tíz éve elterjedten alkalmazott számítógépes floppy lemezek a modern számítógépekben szinte olvashatatlanok, és ennek fényében ki tudja, hogy a ma alkalmazott adatrögzítők használhatók lesznek-e húsz vagy mondjuk ötven év múltán

az akkor használatos számítógépekben? És vajon a CD-ink még akkor is olvashatók maradnak? Másodsorban a világhálóról letöltött publikációk esetében különösen fontos az a probléma, hogy sohasem lehet biztos abban az ember, hogy valóban az eredetit tölti le, vagy esetleg egy hackerek vagy a szerző által később módosított változatot.

A zootaxonómia válsága

A szeretet hiánya

A fenti új trendek mellett a zootaxonómia legjellegzetesebb vonása a krízishelyzet. A politikusok ellentétes értelmű választási ígéreteivel és kormányaink egyértelműen elvállalt kötelezettségeivel (itt elég, ha a kormányok által aláírt 1992-es riói, 1996-os johannesburgi, 2002-es curitibai egyezményekre, illetve az azokat követő EU-direktívákra utalok) szöges ellentétben a valódi taxonómusok száma még mindig meredeken csökken. Nyugdíjba vonulásuk után a taxonómusok állásait rendszerint nem ifjú taxonómusok „öröklik”, hanem a karcsúsítás jegyében megszűnnek, vagy az egyetemeken manapság divatosabbnak számító tudományterület művelőit alkalmazták helyettük: például molekuláris biológusokat. Ez nagyon komoly veszteségekhez vezet, a hagyományok és a tudományos kapcsolatok elvesztését okozza, ami a későbbiekben nagyon nehezen pótolható.

Véleményem szerint ezekért a végzetes fejleményekért a jelenlegi társadalmi változások tehetősek felelőssé. Először is a mezőgazdaság iparosítása miatt, valamint az emberek természettől való elszakadása miatt gyermekeink már semmit sem tudnak a természetről, nem láthatják az otthonuk közelében, ugyanis a természetvédelmi területeken kívül már nemigen akad természetes élőhely. Ha az ember már nem észleli a természet gazdagsá-

gát, vagy csak távoli egzotikus vidékeken töltött nyaralások során szembesül vele, akkor nem támad fel az érdeklődése a természet tanulmányozása iránt, és persze arra sem fordít figyelmet, ha a természet változatossága csökken vagy esetleg eltűnik. És ami még ennél is riasztóbb, az ilyen gyerekek felnőttkorukban semmit sem adhatnak át a saját gyermekeiknek a biodiverzitással kapcsolatos ismeretekből, hiszen maguk is teljesen híján vannak az ezirányú ismereteknek. Azt hiszem a legtöbb taxonómus épp azért lett taxonómus, mert kora gyermekkorában örömet lelte az állatokban és növényekben. Ez egyfajta szerelem első látásra, ami elmélyül az adott élőlényről beszerzett tudás növekedésével. Manapság a szerelem kevésbé fontos, mint a karrier és a pénz. Ezt a családi életben és a tudományban is tetten érhetjük. Az életünk felgyorsult az élet intenzitása és mélysége rovására. Ugyanez játszódott le a tudományban is: a tudományos karrier építéséhez minél számosabb cikk szükségeltetik, amelyeknek a témája és eredménye nagyon körülhatárolt lehet. Mégis ezek vezetnek a magasabb idetzettség (impakt faktor) eléréséhez, és sokkal többet számítanak, mint az olyan átfogó jellegű munka, amelyet nagy terjedelme miatt szinte alig lehet megjelentetni.

Hova tűntek a taxonómusok?

Korábban a taxonómusok jelentős része amatőr volt – nem biológusok, hanem tanárok, orvosok vagy papok. Kitűnő munkát végeztek, és olyan ragyogó cikkeket közöltek, amelyek a mai napig rendkívül fontosak. Azonban manapság a taxonómia már nem számít érdekes hobbinak, és ezért az amatőr taxonómusok szinte kihaltak. Egy olyan új fejlemény is megfigyelhető, hogy a taxonómia iránt érdeklődő szakemberek nem az egyetemek vagy múzeumok alkalmazásában állnak, hanem

például környezetvédelmi tanácsadással foglalkozó magántulajdonú cégek munkatársai. Ezek többsége azonban a taxonómia tárgyköre helyett faunisztikai, ökológiai vagy természetvédelmi cikkeket ír – ha egyáltalán publikál valamit –, de legalább fajokkal és fajközösségekkel foglalkozik, és érdeklő a fajok meghatározása és elkülönítése.

A múzeumok a taxonómiai kutatások utolsó bástyái. Az olyan híres intézmények, mint például a Magyar Természettudományi Múzeum, a párizsi, londoni, szentpétervári, washingtoni vagy San Franciscó-i múzeum, még ma is sok taxonómust alkalmaznak, és nagyszerű taxonómiai folyóiratokat jelentenek meg, melyekben kiváló taxonómiai cikkeket publikálnak. A mezőgazdasági és növényvédelmi kutatóintézetek és a hozzájuk hasonló intézmények is számos zoológust alkalmaznak, akik a taxonómia területén dolgoznak és publikálnak.

Azonban az egyetemek korábbi vezető szerepe mára semmivé foszlott, történelemé kövült. Itt bátran idézhetjük a berni múzeumban tevékenykedő Christian Kropfot: „Manapság egy erdőkerülő fia gyakran több állatot ismer, mint egy zoológiai kutatóintézet igazgatója.”

Egyetemek: mennyiség a minőség helyett

Az utóbbi évtizedek folyamán az egyetemi hallgatók létszáma többszörösére duzzadt. Mivel az oktatói kar és szakmai személyzet létszáma ezzel szemben nagyjából változatlan maradt, a korábbi elit egyetemek mára névtelen tömegtermelő intézményekké degradálódtak, ahol oktatási rendszer a középiskolai színvonalhoz és módszertanhoz közeledett inkább, ahelyett hogy az egyetemi tanulmányok mélységét és összetettségét célozná meg. Az egyetemeken ma a szakképzett munkaerő

lehető leggyorsabb kiképzése a cél. Európa kontinentális részén mindenhol teret nyert az amerikai *bachelor–masters–PhD*-fokozatrendszer. Azaz most pontosan feleannyi idő alatt elérhető egy egyetemi képesítés megszerzése, mint pár évvel ezelőtt, és elképzelhető, hogy ez milyen hatással van az egyetemisták általános tudására: mindössze a töredéke annak, amit mondjuk huszonöt éve megköveteltek egy hallgatótól.

Húsz évvel ezelőtt az egyetemünkön hente kétszer mehettünk terepgyakorlatra. Az utóbbi években olyannyira lecsökkentették intézetünk költségvetését, hogy a korábbinak mindössze 10–20 %-ára zsugorodott a terepen tölthető idő. Ráadásul az állatismerettel, fajmeghatározással foglalkozó kurzusok minimálisra csökkentek. Ennek az az eredménye, hogy a biológushallgatóknak egyáltalán nincs lehetőségük arra, hogy a biodiverzitással foglalkozzanak – végzett biológus kutatók vagy biológiatanárok lehetnek kétnapos terepgyakorlat birtokában.

Sajnos nincs idő

A stressz, hogy a lehető leggyorsabbak legyenek, a hallgatók számára lehetetlenné teszi, hogy alaposan megismerjenek egy olyan rendszertani csoportot, amelynek az egyedeit nehéz meghatározni. Márpedig a legtöbb ízeltlábú és puhatestű rend épp ebbe a kategóriába tartozik. Azonban épp ez a fajismeret a legfontosabb alapismeret egy taxonómus számára! Azt hiszem, legalább egy-két éves munka szükséges ahhoz, hogy egy Közép-Európában csak több száz fajt számláló rovarrenddel is megismerkedjen egy hallgató. Azonban ha az egész egyetemi tanulmány három évre, a diplomamunka elkészítése pedig hat hónapra korlátozódik, akkor ez az ismerkedési és tanulási folyamat egyszerűen lehetetlenné válik. Ráadásul mára a kizárólag

egy terület faunisztikájával foglalkozó diplomamunkák nemkívánatossá váltak, mivel azokat nem tartják elég tudományosnak. Ezzel szemben egy hasonló módon alárendelt jelentőségű tartalommal bíró, de divatos biológiai irányzatban született diplomamunka felettebb kívánatosnak bizonyul. Példának okáért, egy pár fajra kiterjedő, eddig nem kutatott DNS-szakasz szekvenálásán, majd a kapott adatok PAUP-analízissel történő feldolgozásán alapuló diplomamunka még manapság is rendkívül jól eladható.

*Egyetemi, tudományos pályafutás:
mennyiség a minőség helyett*

Mint az köztudott, a tudományos folyóiratok között is erőteljes versengés folyik. A folyóiratok rangsorolása a folyóiratok idézettségén, azaz impaktfaktor-rendszeren alapul. Az ebből a rendszerből származó, és különösen a taxonómusokat sújtó hátrányok jól ismertek. Véleményem szerint az impaktfaktorok három tulajdonsága sürgős felülvizsgálatra szorul: először is ez a rendszer a folyóiratok egy szűkebb körét támogatja, és elsősorban az amerikai és angol folyóiratokra koncentrál. Számos híres európai taxonómiai folyóirat teljes egészében kimaradt az impaktfaktor-listáról. Ha valaki egy ilyen folyóiratban közöl cikket, az a tudományos pályafutása, illetve annak külső megítélése szempontjából értéktelen lesz. Másodsor: ez a rendszer nem veszi figyelembe az egyes tudományterületeken dolgozó szakemberek számát. Ha az impaktfaktor-rendszer valóban a tudományos munkák minőségmutatója, nem pedig az egyes témák „divatosságának” mércéje kíván lenni, akkor a műre érkező citációk számát az adott terület művelőinek számához viszonyítva kellene értékelni. Harmadszor: az impaktfaktor-rendszer alulbecsüli a tudományos közlemények hosszú távú ha-

tásait: a biokémiai vagy molekuláris biológiai cikkek pár hónappal, esetleg pár évvel közlésük után már meghaladottá válnak, ezzel szemben a taxonómiai munkák rendszerint évtizedekig fontosak maradnak.

Hogyan orvosolható a válság?

Azt hiszem, nagyon nehéz általános gyógyódot találni ezeknek a problémáknak a megoldására, hiszen itt az egész társadalom betegségről van szó. A tudományos közéletnek legalább kísérletet kellene tennie a tünetek enyhítésére, és a szűkös idők átvészelésére. A hibák ezen a területen is az iskolai neveléssel kezdődnek: a gyerekek még nagy érdeklődést mutatnak a biológiával, a biodiverzitással és a fajokkal kapcsolatban. Ezt az érdeklődést támogatni, mintsem elnyomni kellene, azaz az iskolai tananyagot ennek szellemében kellene összeállítani. Az egyetemi képzés területén is vannak hiányosságok. A diákoknak több időt kellene hagyni tanulmányaik elvégzésére, hogy több örömet leljék a tanulásban, és hogy nagyobb érdeklődésük alakulhasson ki az egyes tárgyak iránt ahelyett, hogy a jelenlegi trendnek megfelelően a lehető legrövidebb idő alatt a munkaerőpiacra dobott gyorstalpaló szakemberképzés termékei legyenek. És persze számos álláslehetőségre lenne szükség a taxonómusok számára Magyarországon csakúgy, mint Európa többi országában. Helytelen az az üzenet, mikor a taxonómusok rovására állásokat takarítanak meg, illetve olyan biokémikusokat, molekuláris biológusokat alkalmaznak a taxonómusok állásaira, akik egy kicsit konyítanak a taxonómiához is.

Azt hiszem, tudományterületünk legbefolyásosabb személyiségeinek gondolkodniuk kell azon, hogyan lehetne csökkenteni az emberekre általánosan, a kutatókra pedig

különösen erősen nehezedő nyomást, ami pályafutásuk megítéléséből, tudományos teljesítményük méréséből fakad. Ennek a nyomásnak a csökkenése vezethetne oda, hogy hivatásukat és munkájukat imádó, kreatív emberek válasszák a kutatói pályát. Véleményem szerint ez lenne a legfontosabb lépés a

taxonómia megerősítése irányában, ugyanis ismét képessé tenné az embereket a világunk és a biodiverzitás értékeinek felismerésére.

Kulcsszavak: *zootaxonómia, kladisztika, DNA barcoding, módszertan, válság, biodiverzitás, képzés, digitális publikáció*

NÉHÁNY, A CIKKBEN HASZNÁLT SZAKKIFEJEZÉS MAGYARÁZATA

szünapomorfia: két vagy több filogenetikai egység, például faj, nemzetség (génusz), család osztozik egy (ideálisan csak rájuk jellemző) levezetett (apomorf) tulajdonságban (karakter)

parszimónia: kladisztikai alapelv, annak a kladogramnak a megtalálását célozza, mely a minimális számú evolúciós változásokat képviselő elágazásrendszert mutatja

kladisztika: törzsfajlódási (leszármazási) viszonyokat fa-gráfokkal (kladogram) rekonstruáló tudomány

PAUP-elemzés: a kladisztikában általánosan alkalmazott PAUP-programcsomaggal végzett elemzés

allozim analízis: allozimek vizsgálata, melyek különböző allélek által kódolt, elektroforézissel elkülöníthető formái egy adott enzimnek

alignment: két vagy több szekvencia (lehet nukleotid vagy fehérje is) egymáshoz igazítása az átfedő szakaszok egymásnak megfeleltetésével. Bonyolult lehet a folyamat, ha sok deléció, inzerció, reverzió, inverzió történt az adott szakaszokon

RAPD-technikák: (polimorf DNS-szakaszok random felszaporítása), a teljes DNS-re kiterjedően szaporítanak fel bizonyos szakaszokat rövid oligonukleotidokkal, majd a fragmentumokat gélen futtatva következtetéseket vonnak le a minták hasonlóságát illetően

impakt faktor: adott folyóirat átlagos cikke idézettségének gyakorisága adott időszak alatt. Az ISI (Institute of Scientific Information) impakt faktora meghatározott évben egy folyóirat esetében az adott évben ISI-folyóiratok által a megelőző két évben megjelent cikkekre adott idézeteinek száma osztva a kérdéses folyóiratban a megelőző két év során megjelent cikkek számával