

Válasz Dr. Batáry Péter bírálatára

Köszönöm Dr. Batáry Péter alapos és konstruktív bírálatát, valamint az értekezéssel kapcsolatban megfogalmazott elismerő megjegyzéseit. A feltett kérdések és javaslatok az értekezés tárgyát érintő több fontos szakmai szempontra hívja fel a figyelmet, illetve több jövőbeni kutatás irányait is kijelölhetik. A bírálat végén tett apróbb észrevételekre nem válaszolok, azokkal egyetértek. Az egyes felvetésekre az alábbiakban válaszolok:

1. *„Ezen kívül nem tisztázott még kellőképpen az sem, hogy az emésztőrendszerben uralkodó biológiai (pl. kórokozók), fizikai (pl. hőmérséklet) és kémiai (pl. savasság) körülmények hogyan befolyásolják a halak ikráinak életképességét vagy a posztembrionális fejlődését.”* Ezzel egyetértek, és ez egyben azt is jelenti, hogy itt még számos kutatási irány lehetséges, például más globális környezeti változást előidéző tényezőkkel való interakció vizsgálatára (pl. klímaváltozás, vízszennyezés). Milyen további reális kísérletes vizsgálatok lehetségesek ezen interakciókra?

A bíráló felvetésével egyetértek, az endozoochór terjedés sikerét nem kizárólag az emésztőrendszeren való áthaladás határozza meg, hanem az ott uralkodó fizikai, kémiai és biológiai körülmények (például a savas közeg, a mikrobiális hatások, a magasabb hőmérséklet és az ozmotikus stressz) valamint ezek más környezeti stresszorokkal való kölcsönhatása is. Éppen ezért ígéretes kutatási irányt jelent az endozoochór terjedés és más globális környezeti változási tényezők (például a klímaváltozás vagy a vízszennyezés) közötti interakciók kísérletes vizsgálata. Az ilyen típusú, valós ökológiai helyzeteket modellező kutatások több irányban is tovább vihetők. A mi kísérletünk elvégzése után számomra az alábbi vizsgálati lehetőségek tűntek a legizgalmasabbnak:

- Az eltérő méretű és morfológiai jellegekkel rendelkező ikrák endozoochór terjedési potenciáljának összehasonlítása fontos információt szolgáltat az ikra-tulajdonságok szerepéről. Ennek egy részét már elvégeztük, ahol különböző fajok ikráinak túlélését vizsgáltuk kísérletes körülmények között (Lovas-Kiss et al. 2024, *Ecography*).
- A bélcsatornán áthaladt és kontroll propagulumok eltérő trofitású vizes közegben történő inkubációja lehetőséget adna annak tesztelésére, hogy az endozoochór kezelés módosítja-e az ikrák tápanyagterhelésre adott válaszát. Tekintettel arra, hogy a felszíni vizek jelentős része eutróf vagy hipertróf, különösen érdekes kérdés lehet, hogy az endozoochória növeli-e az ikrák érzékenységét a trofitás okozta stresszre.
- Kontrollált körülmények között, például antibiotikus vagy mikrobiom-módosító kezelésekkel, vizsgálható lenne, hogy a gazdaszervezet bélflórájának összetétele miként befolyásolja az ikrák emésztőrendszeren való átjutásának és túlélésének sikerét. Ennek jelentőségét az is növeli, hogy egyre több bizonyíték utal arra, hogy pl. a klímaváltozás a gazdaszervezetek (ember) mikrobiomját is módosíthatja (pl. Lichtmann et al. 2025, *The Lancet*).
- A kísérletes vizsgálatok többségében a tőkés réce modellfajként szolgál, mivel gyakori és könnyen tartható. Ahogy a magokkal végzett kísérletek során is vizsgálták, úgy halak esetében is érdemes lenne más récefajok vagy akár ludak bevonása. Ez lehetővé tenné annak vizsgálatát, hogy a vektor faj fiziológiája (például a testméret, a tartózkodási idő vagy az emésztőrendszer felépítése) miként befolyásolja az endozoochór terjedés sikerét. Míg

növényi magok esetében terepi vizsgálatokból számos madárfajról rendelkezünk adatokkal, a halikrák esetében ez a kérdés jelenleg csak kísérletes megközelítéssel vizsgálható.

2. „Egy ikránál azonban 4–6 órányi átjutási időt mértünk, ami egy madárnak akár 360 km megtételére ad lehetőséget.” Ez a mérés, de jogosan említett extrapoláció feltételezi a halikra jelenlétét akkor, amikor a madarak nagyobb vonulást tesznek meg. A tőkés réce részleges vonuló hazánkban, télen kifejezetten sok érkezik hozzánk. Felmerül bennem, hogy mennyire van átfedés a réce hosszabb távú repülése és a vizsgált halfajok szaporodása között?

A tőkés réce részben vonuló faj, amelyre ősszel és tavasszal hosszabb távú migráció jellemző, ugyanakkor a tavaszi–kora nyári időszakban is rendszeresek a napi szintű, akár több tíz–száz kilométeres mozgások. A közönséges ponty és az ezüstkárász ívási időszaka jellemzően tavasszal és kora nyáron zajlik, amikor a récék elsősorban lokális, táplálkozó- és pihenőhelyek közötti ingázást végeznek.

Ezzel szemben több gazdasági jelentőségű halfaj pl. csuka, süllő fajok, balin ívása kora tavasszal történik, pontosan a migráció idején. Mindezek alapján feltételezhető, hogy a halikrák endozoochór terjedése nem csupán lokális, hanem regionális léptékben is jelentős szerepet játszhat a víztestek közötti kapcsolatok kialakításában.

3. „Mindazonáltal az, hogy az általunk itt bizonyított endozoochór terjedési események milyen eséllyel vezetnek új inváziós édesvízi halpopulációk sikeres létrejöttéhez, jelenleg egy jövőben tisztázandó kérdés.” Számos további kapcsolódó kérdés merülhet fel itt. Például (1) mennyiben járulhat hozzá az endozoochória ritka és/vagy védett őshonos halfajok terjedéséhez, meta-populációik fenntartásához? (2) Terjeszthetnek-e a vízimadarak más gerincteleneket vagy gerinceseket, például kétéltűeket? (3) Mi a helyzet abban az esetben, ha a „vektorszervezet” maga is egy inváziós faj, mint például a nílusi lúd Nyugat-Európában?

(1.) A tézisben bemutatott etetési kísérletet követően további kísérletsorozatot végeztünk, amelyben több halfaj ikráinak endozoochór terjedési potenciálját vizsgáltuk. A vizsgálatok során compó (*Tinca tinca*), harcsa (*Silurus glanis*), közönséges ponty (*Cyprinus carpio*), fogassüllő (*Sander lucioperca*), kínai razbóra (*Pseudorasbora parva*), amurgéb (*Perccottus glenii*), naphal (*Lepomis gibbosus*), amur (*Ctenopharyngodon idella*) és hibrid afrikai harcsa (*Clarias gariepinus* × *Heterobranchus longifilis*) ikráit etettük tőkés récékkel.

A vizsgálatok során felmerült további fajok, köztük védett és fokozottan védett halfajok bevonásának lehetősége is. Tudni kell azonban, hogy sok halfaj esetében jelentős gyakorlati nehézséget jelent a megfelelő mennyiségű ikra begyűjtése, illetve a mesterséges megtermékenyítés kivitelezése. A legtöbb vadon élő halfaj esetében nem áll rendelkezésre megbízható protokoll a megtermékenyítésre. Emiatt a vizsgálatban végül csak olyan fajok ikráit tudtuk felhasználni, amelyekre ez nem volt igaz. A bevont fajok közül több, például a kínai razbóra, az amurgéb, a naphal vagy a hibrid afrikai harcsa, jelentős természetvédelmi problémát okozó, inváziós vagy idegenhonos fajnak számít, de a fogassüllő és compó őshonos faj. A kísérletek során életképes embriók jutottak át az afrikai harcsa, a közönséges ponty, a naphal, a kínai razbóra és a compó esetében. A visszanyert ikrák közül a kínai razbóra és a compó ikrái sikeresen ki is keltek.

Ezen eredmények részben bizonyítják, hogy az endozoochór terjedés nem kizárólag inváziós fajokra korlátozódik. Elméletileg ez a mechanizmus hozzájárulhat

- ritka vagy izolált populációk metapopulációs kapcsolatainak fenntartásához (Green & Figuerola 2005 lásd: <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2005.00147.x>; Figuerola & Green 2002 lásd: [10.1046/j.1365-2427.2002.00829.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00829.x)),
- kis víztestek közötti genetikai kapcsolatok kialakulásához (Nathan 2006. [10.1126/science.1124975](https://doi.org/10.1126/science.1124975)).

(2.) Hasonló terjedési mechanizmusok ismertek más vízi szervezetek esetében is, például vízi gerinctelenek (Green & Sanchez 2005 <https://doi.org/10.1098/rsbl.2005.0413>) vagy zooplankton peték (Figuerola et al. 2005 lásd: [10.1086/427092](https://doi.org/10.1086/427092);) esetében. A túlélés esélye itt is a pete struktúrától függ, nagyjából úgy ahogy a magoknál is látjuk (minél kisebb, kerekdedebb, keményebb annál jobban terjed endozoochór módon).

(3) Az inváziós vízimadarak (pl. nílusi lúd) több szempontból is fokozhatják a terjedési folyamatokat. Ezek a vektorok gyakran maguk is generalista élőlények, élőhelyhasználatukra jellemző, hogy sokféle típusú élőhelyet látogatnak, köztük pl. az antropogén élőhelyeket is, ahol nagyon sok idegenhonos inváziós növényfajjal találkozhatnak. Olyan víztesteket kapcsolhatnak össze, amelyek korábban izoláltak voltak, híd szerepet is tölthetne be a városi–természetes élőhelyek között. Az inváziós vektor + inváziós propagulum egyben akár egyfajta szinergikus hatással is bírhat, amit az *'invasional meltdown'* hipotézis mentén lehet értelmezni és vizsgálni. Ez akár növelheti az idegenhonos propagulumok felvételének és leadásának esélyét.

A magok terjedésében nagyon fontos szempont, hogy mekkora a vektor állat *'home-range'*-e, vagyis a távolság, amit napi szinten mozog. Ez pl. a tőkés réce esetében 30–100 km, de a nílusi lúd esetében is kb. ennyi. Az idegenhonos madarakra ugyanakkor jellemző az is, hogy nem megtelepednek egy adott élőhelyen, hanem ahol jól érzik magukat ott egy darabig léteznek, majd gyorsan továbbállnak, így ez a home range távolság jelentősen megnő. Vagyis ez (is) egy kontextus függő dolog, sokat számít a vektor állat viselkedése is.

4. A vízinváziók endozoochór terjedésének vizsgálata bőséges és jó adatsoron alapul, ami elméletileg lehetővé tenné egy másfajta elemzést is, kifejezetten arra, hogy a terjedés különböző szakaszait jobban össze lehessen vetni, illetve azok kumulatív hatását vizsgálni. Ehhez a meta-analízis technikáját lehetne használni, ui. a 8 fajtára és a 4 fázisra elegendő (32) hatásméret (pl. log response ratio) számítását teszi lehetővé, és fázisonként, illetve összegezve is lehetne ún. „fixed-effect” meta-analíziseket végezni. Amennyiben ez megoldható, akkor a log response ratio hatásméret transzformációjával megtudhatjuk, hogy hány százalékban járulnak hozzá a terjedéshez az egyes fázisok, és így jobban láthatjuk, hogy melyik a kritikus fázis.

A bíráló javaslata nagyon érdekes felvetés. Bár nem vagyok a téma szakértője, a módszertani háttér gyors áttekintése alapján több potenciális probléma is felmerül: Egyrészt az egyes terjedési fázisokhoz tartozó változók skálázása eltérő irányultságú lehet, pl. az átjutási sikernél a nagyobb érték jelenti a „jót”, de a visszatartási időnél már a kisebb érték tekinthető előnyösnek. Probléma lehet az is, hogy a különböző terjedési fázisok egymásra épülnek, így az egyik fázisban megfigyelt különbségek (pl. az idegenhonos és őshonos magok eltérő átjutási ideje) várhatóan hatással vannak a későbbi fázisok kimeneteire (pl. csírázási siker és csírázási idő). A fázisonkénti elemzés ezt a problémát részben elfedi, azonban nem kezeli az adatok közötti inherens összefüggéseket.

További kérdésként merül fel az elemszám megfelelősége. A szakirodalom szerint 5–10 effektusméret mellett a meta-analízis technikailag kivitelezhető, de az eredmények megbízhatósága korlátozott lesz. Általánosan elfogadott, hogy >30 független adatpont biztosít robusztus következtetéseket. A jelenlegi adatmennyiség (fázisonként ~6 adatpont) ezért valószínűleg jelentős bizonytalanságot hordoz.

5. 23.o. „Azonban a csírázási időben elszenvedett késedelem akár versenyelőnyt jelenthet az idegenhonos fajok számára...”. Ez számomra nem teljesen intuitív, hogy miért.

A késleltetett csírázás számos ökológiai mechanizmus révén biztosíthat előnyt a növények számára, különösen változékony környezeti feltételek mellett.

- A késleltetett csírázás elősegítheti a **térbeli terjedést és új élőhelyek kolonizációját**. Ha a magok egy része hosszabb ideig nyugalmi állapotban marad, akkor nagyobb valószínűséggel kerülhetnek új helyekre további (az endozoochór terjedéstől eltérő) más terjedési mechanizmusok révén (például vízáramlás). Ez növeli annak esélyét, hogy a faj olyan élőhelyeket is kolonizáljon, amelyek a magok kibocsátásának időpontjában még nem voltak alkalmasak a csírázásra.
- Egyrészt biztosíthat egy **időbeli niche-elkülönülést** a domináns fajokkal szemben. Amennyiben egy faj magjai nem egyszerre csíráznak, hanem egy részük késleltetve kel ki, akkor a csíranövények eltérő időpontokban (más fenofázisban pl) jelennek meg a közösségben. Ez csökkentheti a közvetlen kompetíciót azokkal a fajokkal, amelyek csírázása koncentráltan, egy adott időszakban történik. Az időbeli eltolódás lehetővé teszi, hogy a később csírázó egyedek más erőforrás-feltételek mellett fejlődjenek, vagy olyan időszakban jelenjenek meg, amikor a versenytársak már kevésbé dominánsak.
- A késleltetett csírázás emellett **csökkentheti a korai csíranövények mortalitását** is. Sok élőhelyen, különösen változékony klímájú / hidrológiai viszonyokkal rendelkező élőhelyeken, a korai csírázás jelentős kockázattal járhat. Például egy idő előtti csírázás után bekövetkező fagy, száraz periódus vagy hirtelen vízszintváltozás a csíranövények tömeges pusztulásához vezethet. Ha a magok egy része később csírázik, akkor ezek az egyedek elkerülhetik az ilyen kedvezőtlen időszakokat.

A vizes élőhelyeken ez utóbbi különösen fontos, mivel a csírázás gyakran hidrológiai vagy szezonális feltételekhez igazodik. A vízszint, a talaj oxigénellátottsága vagy a hőmérséklet jelentős ingadozásokat mutathat, ezért az azonnali csírázás nem mindig kedvező stratégia. Sok vízi és vizes élőhelyi növény magja ezért hosszabb ideig nyugalmi állapotban maradhat, és csak akkor csírázik, amikor a környezeti feltételek megfelelővé válnak. Ez a jelenség a **„bet-hedging” (kockázatmegosztó) stratégia** egyik formájaként is értelmezhető. A bet-hedging lényege, hogy az élőlények nem egyetlen időpontban vagy nem egyféle stratégiával „fektetnek be” a szaporodásba, hanem több időpontra osztják el azt. A magok egy része azonnal csírázik, míg más részük később. Ez csökkenti annak kockázatát, hogy egy kedvezőtlen évjárat vagy időszak az egész generációt elpusztítsa. Bár ez rövid távon csökkentheti az adott évben csírázó egyedek számát, hosszú távon növeli a populáció fennmaradásának valószínűségét változékony környezeti feltételek mellett.

6. Az 1. táblázat magyarázatában nincs kifejtve, hogy az egyes inváziós státuszok mit is jelentenek. Illetve visszautalva az előző fejezetre, az utolsó oszlopról az jutott eszembe, hogy mely fajokról képzelhető el egyáltalán az endozoochór terjedés. Feltételezem, hogy van köztük olyan, amelyről viszonylag biztosan feltételezhető, illetve olyan is, amiről tudható, hogy kizárt?

A bíráló megjegyzése jogos, az inváziós státusz kategóriák jelentését a táblázat magyarázatában részletesebben is ki lehetett volna fejteni. A dolgozatban használt kategóriák a nemzetközi invázióbiológiai szakirodalomban széles körben alkalmazott felosztást követik (pl. Richardson et al. 2000; Pyšek et al. 2004). Ennek megfelelően a

- a *casual* fajok alkalmi előfordulású idegenhonos fajok, amelyek ugyan képesek lehetnek átmenetileg megjelenni egy adott élőhelyen, de nem hoznak létre tartós, öfenntartó populációkat.
- a *naturalized* fajok ezzel szemben már stabil, öfenntartó populációkkal rendelkeznek, azonban terjedésük és ökológiai hatásuk általában korlátozott.
- az *invasive* kategóriába azok a fajok tartoznak, amelyek gyors terjedésre képesek, és jelenlétük jelentős ökológiai hatással járhat az őshonos közösségekre és az ökoszisztémák működésére.

A táblázatban felsorolt fajok endozoochór terjedési potenciálja jelentős mértékben eltérhet. Ezt elsősorban a propagulumok bizonyos morfológiai és funkcionális tulajdonságai befolyásolják. A kisebb és kerekdedebb magok, a keményebb és vastagabb maghéj bizonyítottan növelik az endozoochór terjedés esélyét. De az is fontos, hogy a magok mennyire hozzáférhetők a fogyasztó szervezetek számára. A növényi jellegek (beleértve a magokat is) alapján is lehet inváziós kockázatbecslést végezni, ez a hazai fajokra készülöben is van. De szinte mindegyik itt felsorolt növény vegetatív úton is jól terjed, akár kültakaróra tapadva (ektozoochór) vagy a víz útján (hidrochória) is. A fajok többsége ezen kívül akváriumi dísznövényként is forgalomban van, a terjedésük ezáltal sajnos sokkal hatékonyabban biztosított, mint lenne az endozoochór módon.

7. „...a nem termál (hideg) vizekhez alkalmazkodott idegenhonos fajok ... sokkal veszélyesebbek (vagy később azok lesznek), mint a termálvizekből még ki nem jutott fajok.” Mekkora potenciális veszélyt jelent a hazai nagy tavainkra a Nemzeti Botanikus Kert hidegvízű Nagy-tavában sikeresen megtelepített lótosz?

A vácrátóti botanikus kertben indiai lótosz (*Nelumbo nucifera*) található, jelenleg még kevés adattal rendelkező faj Magyarországon, de terjedőben van (pl. Mártélyi Holt-Tisza, akasztói halastavak csatornája)! Ebből adódóan már lehet azt mondani, hogy van kockázata. Ha figyelembe vesszük, azt is, hogy a magjai közepes méretűek (1-2 cm), alakjuk kerekded-ovális és a maghéja is kemény akkor ez az elméleti kockázat tovább nő. A méret bizonyos mértékig korlátozza, hogy mit tud lenyelni egy madár, de találtak már gesztenyét is madár ürülékben. Ez a méret még tökéletesen fogyasztható számukra. Összességében a lótosz endozoochór terjedésének a kockázata – a magok jellegei alapján – szerintem magas. Magjai ráadásul rendkívül hosszú élettartamúak, egyes vizsgálatok szerint akár több mint 1300 évig is megőrizhetik csíráképességüket.



Az Indiai lótosz (*Nelumbo nucifera*) magja

8. A vizsgált Hévízi-csatornánál, vagy más hasonló élőhelyeken a folyásirány szerinti csökkenő hőmérséklet és további graduálisan változó környezeti paraméterek mennyire lehetnek gyakorlóterei az idegenhonos fajok (akár növény, akár állat) hidegvízre váltásának? Hogyan lehetne ezt tovább vizsgálni, illetve létezhet-e módszer, technológia ennek megakadályozására?

A bíráló felvetésével egyetértek abban, hogy a termálvíz-kifolyások sajátos, átmeneti, grádiens jellegű rendszereket képviselnek, amelyek bizonyos értelemben természetes adaptációs környezetként értelmezhetők. Jó példát szolgáltat erre a *Vallisneria spiralis* esete: közel egy évszázados alkalmazkodási folyamat eredményeként a Tapolca-patakból kiindulva mára a Balaton területén is terjed. Ezekben a csatornában a hőmérsékleti, tápanyag- és hidrológiai viszonyok térben fokozatosan változnak, ami lehetőséget biztosít annak vizsgálatára, hogy az idegenhonos fajok milyen mértékben képesek alkalmazkodni az alacsonyabb hőmérsékletű, nem termál jellegű környezetekhez. Növények esetében ez genetikai vizsgálatokkal kiegészített common garden és mezokozmosz kísérletek révén jól tesztelhető; kutatócsoportunk mindkét megközelítést alkalmazza. Jelenleg értékelés és írás alatt van egy 16 honos-idegenhonos fajpáron végzett mezokozmosz vizsgálati eredmény sor, amelyben a fény, a tápanyag-ellátottság és a hőmérséklet kombinált hatásait elemezzük, továbbá párhuzamosan common garden típusú kísérleteket is folytatunk. De a közelmúltban publikált eredmények szintén alátámasztják a kérdés relevanciáját: a *Vallisneria australis* fotofiziológiai válaszait vizsgálták a Hévízi-csatornában, a hossz tengely menti hőmérsékleti grádiens mentén, kifejezetten az akklimatizációs folyamatokra fókuszálva (Nagy & Tóth 2026).

Egy idegenhonos vízinövény meleg vízből hideg vízbe történő akklimatizációjához több generáción keresztül fennmaradó állomány szükséges. Ennek megakadályozása elsősorban a betelepülési útvonalak megszakításával, a propagulum-nyomás csökkentésével, valamint a korai detektálás és rendszeres, illetve gyors mechanikai beavatkozás kombinációjával érhető el. Az árnyékolás egy hatékony, de nehezen alkalmazható kezelés, a legtöbb trópusi faj fényigényes, az árnyékolást

rosszul tűri. Ezek a beavatkozások a gyakorlatban azonban nem szoktak működni, mivel idő- és költség igényes dolog. Korlátos mértékben hatékony lehet a termásvíz kifolyáson a víz mechanikai szűrése vagy ülepítése, a vegetatív fragmentumok visszatartása rácsokkal vagy ülepítő tavakkal is. Azokon a helyeken, ahol a meleg termásvizet nem közvetlenül engedik egy befogadóba, hanem egy hűtőtóban tárolják hosszabb-rövidebb ideig ott kontrollált módon, jobban átlátható körülmények között lehet ezt kezelni.

Nagy, D., & Tóth, V. R. (2026). Physiological differentiation of the invasive macrophyte *Vallisneria australis* along a thermal gradient in the Lake Hévíz outflow. – *Biological Invasions*, 28(4), 86. <https://doi.org/10.1007/s10530-026-03803-9>

9. „A TRY adatbázisból gyűjtöttünk vízinövényekre vonatkozó jellegadatokat, amelyek 20 észak-olaszországi víztestből származtak (KATTGE et al. 2011). Ezt egészítettük ki a Hévízi-csatornából és a Tapolca-patakából származó saját, mért adatainkkal. Összességében 69 faj (50 olaszországi, 19 magyarországi, amiből kilenc faj közös) jellegadatait tartalmazó adatsor jött létre.” Hogyan történt a hazai fajok kiválasztása, ui. a 4. fejezetből tudjuk, hogy a hévízi csatornában jóval több faj fordulhat elő. Mi volt a cél a kilenc közös faj „újráméréseivel”?

A közös fajok jellegadatainak újrámérése nem volt kifejezett célja a vizsgálatnak. A hazai gyűjtések és mérések elsődleges célja a fajszám növelése, valamint az, hogy a honos és idegenhonos kategóriákon belül minél több növekedési formát lefedjünk. Az olaszországi adatok bevonásakor fontos szempontnak tekintettük még, hogy a két adatbázis lehetőség szerint azonos vagy egymással összehasonlítható módszertannal gyűjtött jellegadatokra épüljön.

Noha a növényökológiai szakirodalomban számos jelleg-adatbázis érhető el, ezekben aránytalanul kevés adat található a hínárnövényekre vonatkozóan. A cikk írásának időpontjában nemzetközi viszonylatban is viszonylag korlátozott mennyiségű ilyen jellegadat állt rendelkezésre. A vizsgálatban felhasznált két adatsor egymástól függetlenül keletkezett, és kizárólag a tanulmány elkészítése során kerültek össze. Azoknál a fajoknál, amelyek mindkét adatsorban szerepeltek, a jellegértékeket átlagolással vontuk össze.

10. „Összesen 35 őshonos és 18 idegenhonos vízinövény jellegadatait gyűjtöttük össze.” Ez ellentmond az adatbázisnak, ahol 69 faj került említésre a 46. oldalon.

A bíráló észrevétele jogos, ez nem volt sem cikkben, sem az értekezésben egyértelműen tisztázva. A két szám különböző adathalmazokra vonatkozik: a 69 faj az összes jellegadatot tartalmazó adatbázis, míg a 35 őshonos és 18 idegenhonos faj a statisztikai elemzésbe bevont fajok köre. A szűkítés oka az volt, hogy csak azok a fajok kerüljenek az elemzésbe, amelyeknél minden szükséges jellegadat rendelkezésre állt.

11. A két átokhínárfaj kísérletes vizsgálatának eredményei némileg ellentmondanak annak, hogy az inváziós fajok erősíthetik egymás jelenlétét (<https://doi.org/10.1023/A:1010086329619>).

A két *Elodea* faj kísérletes vizsgálata során megfigyelt eltérő növekedési stratégiák nem feltétlenül mondanak ellent az „invasional meltdown” (inváziós leolvadás ?) hipotézisének. Eredményeink

elsősorban arra utalnak, hogy a két faj eltérő erőforrás-használati stratégiával rendelkezik: míg az egyik faj inkább a gyökérzet és az alsó hajtásrészek fejlesztésére fordít nagyobb energiát, addig a másik faj a hajtásnövekedésre és a fényért folytatott versenyben való előny megszerzésére koncentrálnak.

Fontos hangsúlyozni, hogy az inváziós leolvadás hipotézise nem feltétlenül azt állítja, hogy minden idegenhonos faj közvetlenül erősíti egymás populációit vagy együttélését minden helyzetben. A hivatkozott tanulmány (Simberloff & Von Holle 1999) inkább arra hívja fel a figyelmet, hogy az idegenhonos fajok közötti interakciók sok esetben nem csupán kompetitív jellegűek, hanem gyakran facilitáló hatással bírnak, például kölcsönösen előnyös kapcsolatok jönnek létre terjesztő vagy beporzó szervezetekkel, illetve élőhelymódosító hatások révén. Ezek az interakciók közvetve vagy közvetlenül hozzájárulhatnak más idegenhonos fajok megtelepedéséhez és terjedéséhez, ami hosszabb távon akár az inváziós folyamatok felgyorsulásához is vezethet.

12. „A funkcionális gazdagság (functional diversity, FD) a fajok által kitöltött jellegtér, vagyis a fajok funkcionális térben elfoglalt területe. Értékét erősen befolyásolja a fajszám.” Ebben az esetben nem lett volna érdemes kovariánsként bevenni a fajszámot a funkcionális gazdagságot elemző statisztikai modellbe, és így kontrollálni rá?

A funkcionális gazdagság a közösség egészére vonatkoztatott szám, értéke általában erősen függ a fajszámtól. Az általunk alkalmazott TPD-megközelítésben a közösségi szintű jellegtér a fajok egyedi jellegeloszlásainak aggregálásával jön létre, amelyben a fajok jelenléte, relatív gyakorisága és a jellegek fajon belüli variabilitása egyaránt szerepet játszanak. Ennek következtében a funkcionális gazdagság nem pusztán a fajszám függvénye, hanem a fajok jellegeloszlásainak térbeli kiterjedését is tükrözi a funkcionális térben. A fajszám itt a közösségi szintű TPD egyik alapvető komponense, nem pedig olyan zavaró tényező, amelyet a számítás során célszerű lenne statisztikailag kiszűrni. A fajszámra történő standardizálás ebben az esetben szerintem torzíthatná is az index ökológiai értelmezését, mivel a TPD-alapú funkcionális gazdagság éppen azt fejezi ki, hogy az adott közösség szintjén a jelen lévő fajok és azok jellegeloszlásai milyen mértékben töltik ki a funkcionális teret. Emiatt a fajszám hatásának külön kovariánsként történő kezelése a módszer logikájával sem lenne teljesen összeegyeztethető.

13. 2. táblázat. Ezzel kapcsolatban arra lennék kíváncsi, hogy ez nem túl kevés faj-e az ilyen jelleg alapú vizsgálatokhoz, hiszen egy-egy faj jelenléte vagy hiánya komoly hatással lehet a különböző funkcionális diverzitási indexekre?

A bíráló felvetése olyan szempontból jogos, hogy kis fajszám esetén valóban nagyobb lehet annak a valószínűsége, hogy egy-egy faj jelenléte vagy hiánya érzékelhetően nagyobb mértékben befolyásolja a funkcionális diverzitási indexek értékét. Ugyanakkor a vizsgálatban alkalmazott TPD-alapú megközelítés részben éppen ezt a problémát kezeli azzal, hogy nem csupán fajlistákból vagy a jelleg értékek egyetlen fajszintű átlagértékből indul ki, hanem a fajok jellegeloszlásait használja fel a funkcionális térnek a közösségi szinten történő leírására. A vizsgálatban a fajszám valóban mérsékelt volt, azonban a mintavételi egységek (mért jelleg értékek és bevont egyedek) száma már magas volt. A közösségi TPD a fajok relatív abundanciájával súlyozott fajszintű TPD-k összegzéséből áll elő, így az indexek nem pusztán a fajszámtól, hanem a fajok által lefedett jellegtértől, azok átfedésétől és a fajon belüli variabilitástól is függenek. Olyan esetekben, amikor

egy faj funkcionálisan egyedi helyzetet foglal el a jellegtérben a kisebb fajszám mellett a funkcionális indexek érzékenyebbek lehetnek az egyes fajok jelenlétére vagy hiányára. A TPD-keretrendszerben maguk a szerzők is hangsúlyozzák, hogy egyes indexek (különösen a funkcionális redundancia) kapcsolatban állhatnak a fajgazdagsággal, és ezért bizonyos esetekben indokolt lehet korrekció vagy standardizálás. A redundancia esetében például külön javasolják az S-1 korrekció alkalmazását az eltérő fajszámú közösségek összehasonlíthatósága érdekében.

14. A 3. bekezdés írja le a vízfolyások csoportosítását méretkategória szerint, és a következő bekezdés eleje csak részben részletezi a mintaszámokat. Tájökológusként azonnal felmerül bennem, hogy egy térkép (ld. pl. <https://doi.org/10.1890/12.WB.015>) nagyban segíthetné a vizsgálati terület áttekintését, illetve megállapíthatnánk, hogy van-e közöttük valamiféle térbeli autokorreláció. Továbbá, hiányolom a pontos méretkategóriák szerinti esetszámokat, amelyből látható lenne, hogy ebből a szempontból mennyire kiegyensúlyozott a vizsgálati elrendezés.

A bíráló javaslata indokolt. A mintavételi pontok térképi ábrázolása valóban segítené az áttekinthetőséget. A térbeli autokorreláció vizsgálata potenciálisan fontos, de a mintavételi design elsősorban környezeti gradiensek mentén történt, nem térbeli elrendezés szerint.

15. Az 1. táblázatban hasznosnak találtam volna, ha ezek a különböző környezeti változók a vízfolyás kategóriák alapján is fel lennének osztva.

A javaslat jogos. A környezeti változók vízfolyás-kategóriák szerinti bemutatása valóban segítené az adatok értelmezését.

16. A statisztikai elemzéseket kissé erőltetettnek találom, azáltal, hogy PCA-k készültek, amikből az első két tengely ment tovább RDA-ákba. Igazából nem került bemutatásra, hogy a 2. tengelyek egyáltalán mennyit magyarázta a teljes varianciából (feltehetőleg kicsit)? Ehelyett praktikusabbnak tartottam volna a legfőbb változók kiválasztását a PCA-ák alapján, és azok továbbvitelét, ami könnyebb „cause-causality” magyarázatot tesz lehetővé. Szintén furcsáltam kissé, hogy a jellegek súlyozott átlagai is bekerültek az RDA-ákba. Ehelyett az egész helyett, illetve a jövőbeni munkákhoz sokkal praktikusabbnak és célravezetőbbnek találnám az RLQ elemzést, mely lehetővé teszi a környezeti tényezők, a fajok közösségi szerkezete és a fajok ökológiai tulajdonságai közötti kapcsolatok átfogóbb és integrált megértését.

A PCA alkalmazásának az elsődleges célja az volt, hogy csökkentjük a magyarázó változók számát, valamint mérsékeljük az egymással erősen korreláló környezeti változók okozta kollinearitást. A vízkémiai és a szubsztrátra vonatkozó változók több esetben erősen korreláltak egymással, ezért ezek közvetlen bevonása a modellekbe instabil paraméterbecslésekhez és nehezen értelmezhető modellekhez vezethetett volna. A PCA segítségével a változókat 2 db független környezeti tengelybe sűrítettük, amelyek a legfontosabb gradienseket reprezentálták.

Az igaz, hogy a második PCA-tengely által magyarázott variancia általában kisebb, ugyanakkor ezek a tengelyek gyakran olyan környezeti gradienseket reprezentálnak, amelyek ökológiai

relevánsak lehetnek, ezért döntöttünk azok megtartása mellett az RDA elemzésekben. A 2 db PCA tengely használatának további előnye az volt, hogy a környezeti gradienseket összetett változókként tudtuk kezelni, ami segített elkerülni a több, egymással korreláló változó párhuzamos használatát.

A közösségi szintű jellegátlagok (CWM) bevonása az elemzésbe szintén tudatos döntés volt, mivel ezek lehetővé teszik annak vizsgálatát, hogy a domináns fajok jellegei miként változnak a környezeti gradiensek mentén, ami a jelleg-alapú ökológiai megközelítés egyik gyakran alkalmazott eszköze.

A bíráló által javasolt RLQ-elemzés valóban egy hatékony módszer a környezeti változók, a fajösszetétel és a fajok jellegadatai közötti kapcsolatok integrált vizsgálatára. A jelen tanulmány elsődleges célja azonban nem a jellegek és környezeti változók (trait–environment) közötti kapcsolatok leírása volt, hanem annak vizsgálata, hogy kimondottan a közösségi szintű jellegértékek (CWM) és a funkcionális diverzitási indexek miként változnak a vizsgált környezeti gradiensek mentén. Ez a kérdésfeltevés módszertanilag inkább az RDA alkalmazását indokolta. Az RLQ-elemzésbe a CWM értékét bevinni pl. módszertanilag redundáns is lenne, ez sokkal inkább a fajok jellegei és a környezeti változók közötti közvetlen kapcsolatok vizsgálatára alkalmas.

Debrecen, 2026. április 13.

Dr. Lukács Balázs András