

Válasz Dr. Stenger-Kovács Csilla bírálataira

Köszönöm Dr. Stenger-Kovács Csillának az értekezéssel kapcsolatos részletes, ugyanakkor pozitív értékelését, alapos kritikai észrevételeit és előremutató javaslatait. Az alábbiakban ezekre válaszolok.

1. Ezeket az ökoszisztéma- szolgáltatásokat két jelentős tényező veszélyezteti: a növényi tápanyag-túlkínálat (eutrofizáció) és a globális klímaváltozás.”

Ez a mondat úgy hangzik, mintha csak ez a két tényező jelente problémát, holott számos más jelentős globális veszéllyel/problémával is szembe kell néznünk. Melyek ezek?

Válaszom:

Egyetértek a bíráló észrevételével abban, hogy az ökoszisztéma-szolgáltatásokat nem kizárólag az eutrofizáció és a globális klímaváltozás veszélyezteti. A két tényezőt azért emeltem ki, mert értekezésem központi témájához ezek kapcsolódnak a legszorosabban. Ugyanakkor számos további környezeti stresszor is jelentős hatást gyakorolhat az ökoszisztémák működésére és szolgáltatásaikra. Ilyenek többek között a szalinizáció, az idegenhonos inváziós fajok antropogén terjedése és az ezzel összefüggő biodiverzitás-csökkenés, a peszticidek és a nehézfémek toxikus hatásai.

2. „amely révén a sekélyebb árkokban és kisebb tavakban teljesen dominánssá válnak (van Zuidam és Peeters 2013, Smith 2014). A nagy tápelem-koncentrációjú, kis, lentikus víztestekben és a lassú áramlású csatornában ...” Mit ért sekélyebb árkok alatt? A lentikus víztest helyett az állóvizek / tavak és tározók szavak használata magyarosabb lett volna, ha ezekre gondolt.

Válaszom:

A „sekélyebb árkok” alatt mezőgazdasági 0,5-1,5 vízmélységű vízelvezető csatornákat értettem. A „kis, lentikus víztestek” kifejezést a hullámszásmentes, kis kiterjedésű állóvizekre (pl. kis tavakra, tavacskákra) használtam. Egyetértek azzal, hogy magyar nyelvű értekezésben az „állóvizek”, illetve szükség szerint a „kis tavak” megfogalmazás természetesebb.

3.

1.1 CÉLKITŰZÉSEK

A célkitűzésben nem szerepel az epifitikus algák szerepének feltárása.

Válaszom:

A doktori mű előszavában szereplő „Célkitűzések” fejezetben szándékom szerint kizárólag a dolgozat legátfogóbb kutatási céljait fogalmaztam meg, hogy ezzel keretet adjanak a teljes értekezésnek. Az egyes kutatási részek részletes célkitűzéseit – így az epifitikus algák szerepének vizsgálatát is – az adott fejezetek bevezetőiben ismerttettem. Bár az epifitikus algák vizsgálata fontos eleme a vízinövényekkel kapcsolatos ökológiai kölcsönhatások feltárásának, nem tartottam indokoltnak valamennyi részelt az előszóban szereplő, általános célkitűzések között is külön felsorolni. A bíráló észrevételét ugyanakkor köszönöm, és azt a védési előadásomba beleépítem.

4.

A kiemelt alcímekben többször ugyanaz a helyírási hiba szerepel (pl. Algák és úszó növények közötti kölcsönhatások), ami nagyon zavaró. Az értekezésben emellett maradt számos elírás, de azok kevésbé problematikusak, hiszen kiemelés nem vonja rá a figyelmet.

A rajzok gyönyörűek, informatívak és élménnyé teszik a tudományos munka olvasását, ennek ellenére ezeket nem csak úgy beszúrtam volna egy üres helyre, hanem adott témához kapcsoltam volna, szövegközi hivatkozással.

Válaszom:

Köszönöm a bíráló alapos észrevételeit. Elismerem, hogy az értekezésben maradtak gépelési és helyesírási hibák. Ezekre a végső ellenőrzés során ismét figyelmet kellett volna fordítanom. Örülök annak, hogy a grafikus ábrák a bíráló számára esztétikai értéket képviseltek. Elhelyezésük elsődleges célja az volt, hogy az egyes fejezeteket vizuálisan is tagolják. Mivel nem kapcsolódtak közvetlenül az adott fejezetek tudományos tartalmához, emiatt nem láttam indokoltnak, hogy szövegközi hivatkozások használják rájuk.

5. *Hány almintát vettek?*

Válaszom: A kísérlet kezdetén három független almintát vettünk. Ezek alapján határoztuk meg az RNR számításához szükséges kiindulási M_0 - és k_0 -értékeket.

6. *Összesen 26 algafajt sikerült izolálnunk, melyek tenyészeit Rippka (1988) szerint tisztítottuk. Az így nyert axénikus algafajokat Allen-tápoldaton neveltük tovább a tápoldatok beoltásához.” Miért pont az Allen-tápoldatot választotta? Mindegyik algacsoport fenntartására más-más speciális tápoldat alkalmazása javasolt. Az Allen tápoldatot elsősorban cianobaktériumok és zöldalgák esetén alkalmazzák. A 26 izolált fajban nem volt kovaalga vagy Euglena vagy más csoport?*

Válaszom: Az algafajok izolálása során célom a békalencsés mezokozmoszban élő domináns algafajok (döntően egysejtű vagy kolóniás zöldalgák és cianobaktériumok) izolálása. Egyetértek a bírálóval abban, hogy az egyes algacsoportok izolálásához további speciális tápoldatok is hasznosak lettek volna. Ennek ellenére a zöldalgákon és cianobaktériumokon kívül négy kovamoszat fajt is sikerült izolálnunk és éveken keresztül fenntartanunk. További indokom az Allen-tápoldat kizárólagos használata mellett, hogy amikor az egyes algafajok izolációját végeztem (1992-1996), csak az Allen-féle tápoldat receptúrájáról volt tudomásom. Euglenophyta fajokat nem sikerült izoláltunk, részben azért, mert azok a vizsgált mezokozmoszok algaközösségének nem voltak domináns tagjai.

7. *Az alga- és Lemna-kultúrák inkubálását $54 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ fényintenzitáson, 16 óra világos/8 óra sötét fotoperióduson, $25 \pm 1,5$ °C hőmérsékleten végeztük.”*

Miért pont ezen a hőmérsékleten történt az inkubálás?

Válaszom: A $25 \pm 1,5$ °C-os inkubációs hőmérséklet jól közelíti a sekély állóvizek nyári hőmérsékleti viszonyait, így ökológiai szempontból valós kísérleti körülményeket biztosított. Másrészt a békalencsefajok növekedési optimuma is ebbe a hőmérsékleti tartományba esik, ezért a vizsgált kölcsönhatások tanulmányozására alkalmasnak bizonyult. A vizsgálatok időpontjában (mintegy 30 évvel ezelőtt) rendelkezésre álló, fénycsővel felszerelt klímakamra ezt a megvilágítást és hőmérsékletet biztosította.

8. *„Minden lombikba 12 steril L. gibba szártagot helyeztünk, majd a következő algafajok szuszpenziójával (0.1 mL) oltottuk be háromszoros ismétlésben.”*

Hogy történt az algaszuszenzió elkészítése? Mindegyik fajból ugyanannyi (darabszámra, biomasszára?) volt?

Válaszom: Köszönöm a bíráló jogos felvetését. Az algaszuszpenziókat az Allen-tápoldatra áttöltött törzstenyészetekből, 10 napos inkubációt követően készítettük. Minden kezelés esetében azonos térfogatú (0,1 mL) algaszuszpenziót alkalmaztunk. A különböző algafajok eltérő sejtmérete és morfológiai sajátosságai miatt nem volt lehetőség az inokulumok sejtszám vagy biomassa szerinti standardizálására. A vizsgálat célja elsősorban az egyes algafajok békalencsére gyakorolt hatásának összehasonlítása volt, egységes inokulációs térfogat alkalmazása mellett. Megfigyeléseink szerint az inokulációt követő negyedik napra valamennyi algatorzs elérte a tápoldatban maximális biomasszáját, így a kezdeti különbségek a kísérlet későbbi szakaszában nem befolyásolták lényegesen az eredmények értelmezését.

9. „vegyes algás inokuláció esetében a fő kiválasztási kritérium az volt, hogy a faj domináns legyen a szennyvízes minitavakban élő planktonalgák között, továbbá jelentős gátló hatást fejtsen ki a Lemna-kultúrákra.” Honnan lehetett azt előre tudni, hogy ezek negatív hatást fognak kifejteni a Lemna kultúrákra? Irodalomból? Ha igen, miért nincs erre való hivatkozás?

Válaszom: A vegyes algás inokuláció esetén a jelentős gátló hatás meglétét az „Algafajok egyenkénti hatása” című algamonokultúrás kísérlet eredményeiből nyertük (1. ábra).

10. „A kultúrákat tíz napon át neveltük. Az 1., 2., 4., 6., 8. és 10. napon véletlenszerűen kiválasztottunk három lombikot minden csoportból, és a tartalmukat (Lemna-szártagok, víz, üledék és algabiomassa) elemeztük.” Miért 10 nap?

Válaszom: A tíznapos inkubációs időtartamot a kontroll (axénikus) békalencsekultúrák növekedési üteme alapján választottuk meg. Tapasztalataink szerint a kontrollkultúrák a tizedik napra a tenyészedény vízfelszínének mintegy 90%-át benőtték. Ezt követően a békalencsék növekedése az önárnyékolás következtében lelassult volna. Emiatt a kontrollkultúrában az intraspecifikus kompetíció gátlása felerősödne. Így az algák tényleges gátló hatása a valós gátlásnál jóval gyengébbnek mutatkozna. Ezért fejeztük be a kísérletet a tizedik napon.

11. „Az algakezelt lombikokban az algák sejtszámát fénymikroszkóppal meghatároztuk.” Milyen módszerrel?

Válaszom: Az algák sejtszámának meghatározásához Bürker-számlálókamrát használtunk. Minden tenyészedényből mintát vettünk, majd a Bürker-kamra 10, véletlenszerűen kiválasztott számlálómezejében határoztuk meg az algák sejtszámát. Az egyes minták sejtszámát a tíz számlálás átlagértékeként adtuk meg.

12. 4. AZ ALGÁK ÉS A BÉKALENCSEK KÖZÖTTI KOMPETÍCIÓ KÍSÉRLETI ELEMZÉSE

„Ezt úgy értük el, hogy a békalencsét maximális fényintenzitáson tartottuk, míg a tartócsövön kívüli vízfelszínt különböző lyukbőségű zöld műanyag hálóra leárnyékoltuk.”

A zöld műanyag hálóra való árnyékolás során a bejutó fény intenzitása biztosan csökken, de a hullámhossz-összetétel is módosul. A zöld háló ugyanis nem neutrális szűrőként működik, hanem szelektíven nyeli el és veri vissza a különböző hullámhosszakokat. Így pont azok a hullámhosszak kerültek nagyrészt kiszűrésre, amelyeket az algák és vízinövények a leginkább hasznosítani tudnak. Hogyan látja ennek a fényében, az elvégzett kísérlet valóban alkalmas volt annak bizonyítására, hogy önmagában a fényintenzitás-csökkenés okozta a megfigyelt változásokat?

Válaszom: Köszönöm a bíráló fontos észrevételét. A különböző fényáteresztő képességű árnyékolóhálók alkalmazásával a növekvő békalencseborítás árnyékoló hatását kívántuk

modellezni. A természetes békalencsetakaróhoz hasonlóan a zöld műanyagháló sem csupán a bejutó fény intenzitását csökkenti, hanem annak spektrális összetételét is módosítja. Az akvárium kísérletben a háló alkalmazásával próbáltuk a természetes árnyékolási viszonyokat megközelíteni. Kísérleteinkben az algabiomassza az árnyékolási szint növekedésével szignifikánsan csökkent ($P < 0,001$; 6. ábra). Ugyanakkor egyetértünk a bírálóval abban, hogy mivel az alkalmazott árnyékolóhálók által kialakított fényspektrumot nem hasonlítottuk össze a békalencsetakaró alatti fény spektrális összetételével, a megfigyelt hatások nem tulajdoníthatók kizárólag a fényintenzitás csökkenésének. A fény spektrális összetételének változása is hozzájárulhatott az algák növekedésében tapasztalt különbségekhez.

13. Minden akváriumot 30 mL zöldalga-szuszpénzióval inokuláltunk.” Mit jelent a zöldalga szuszpenzió? Milyen fajokból állt vagy monokultúra volt? Milyen sűrűségű, biomasszájú stb?

Válaszom: A zöldalga-szuszpénzió nem monokultúra volt, hanem a 10-20%-os borítású *Lemna*-kultúrákról gyűjtött planktonikus és epifitikus algaközösségből származott. Az algákat 10 napon keresztül Huttner-tápoldaton, az ismertett megvilágítási körülmények között tenyésztettük, majd ezekből készítettük az inokulumot. Az algaközösséget egy *Scenedesmus* faj dominanciája jellemezte. Az algaszuszpenzió biomasszáját és sejtsűrűségét nem határoztuk meg, ugyanakkor minden akváriumba azonos térfogatú (30 mL) inokulum került. Megfigyeléseink szerint teljes megvilágítás mellett az inokulációt követő negyedik napra az algák nagy biomasszákat értek el, így a kezdeti inokulum-mennyiség különbségeinek szerepe várhatóan mérséklődött.

14.

7. AZ ALÁMERÜLT GYÖKÉRTELEN MAKROFITONOK HATÁSA A SZABADON ÚSZÓ NÖVÉNYEKRE

*„A laboratóriumi kísérletekben a közeg nitrogénkoncentrációja, a *Ceratophyllum* denzitása és ezek kölcsönhatásai szignifikáns ($P = 0,006 - <0,001$, ANOVA) hatásúak voltak a *Lemna* növekedésére (RNR), klorofillkoncentrációjára és szárazanyag-tartalmára”*

$P = 0,006 - <0,001$, ez mit jelent? mi volt pontosan az ANOVA elemzés eredménye?

Válaszom: Köszönöm a bíráló észrevételét. A szövegben szereplő „ $P = 0,006 - <0,001$ ” jelölés azt kívánta jelezni, hogy az adott bekezdésben összefoglalt eredmények több különálló ANOVA-elemzésből származnak, ezért a szignifikanciaszinteket tömörítve adtam meg.

Az egyes ANOVA-elemzések részletes eredményeit az értekezés 12. táblázata tartalmazza. A vizsgált főhatások és kölcsönhatások döntő többsége (14 eset) $P < 0,001$ vagy $P = 0,001$ szignifikanciaszintű volt. Egyetlen kivételt a *Ceratophyllum* denzitása és a nitrogénkoncentráció kölcsönhatásának a békalencse szárazanyag-tartalmára gyakorolt hatása jelentett az időszakosan frissített tápoldatos kezelésben, ahol a szignifikanciaszint $P = 0,006$ volt.

15. 8. DENZITÁSFÜGGŐ FACILITÁCIÓ ÉS GÁTLÁS AZ ALÁMERÜLT ÉS A SZABADON ÚSZÓ NÖVÉNYEK KÖZÖTT

„gyűjtést követően a növényeket csapvízzel öblítettük le, hogy eltávolítsuk róluk az epifitikus algákat és a törmelékét.” Hogyan lehet ezt tökéletesen megtenni, hogy valóban ne maradjon rajtuk alga? Ceratophyllum esetén ezt nagyon nehezen tudom elképzelni.

Válaszom: Egyetértek azzal, hogy a vízinövények esetében az epifitikus algák teljes eltávolítása csapvizet öblítéssel nem valósítható meg. Az öblítés célja nem az epifiton maradéktalan eltávolítása, hanem annak mennyiségi csökkentése, valamint a növényi felületen lévő laza törmelék eltávolítása volt.

16. *„Az alámerült makrofita- dominancia más vegetációtípusokhoz képest rendelkezik a legtöbb ökoszisztéma-szolgáltatással (Janssen et al. 2021)”. Mi az oka ennek?*

Válaszom: Az alámerült növényzet a vízmozgások fékezésével meggátolja egyrészt az üledék felkeveredését, továbbá fokozza a fitoplankton és a lebegőanyagok kiülepedését. Speciális háromdimenziós finomszerkezete miatt búvóhelyül szolgál a mikroalgákat fogyasztó zooplankton számára. A növényzet gyors tápanyagfelvétele ugyancsak gátolja a fitoplankton elszaporodását. Ennek eredő hatása révén a tiszta víz-állapot fenntartásában jelentős szerepet játszik. Az alámerült hínárnövények strukturális komplexitása több mikroélőhelyet teremt, mint a fitoplankton által uralt pelágium. Ez nemcsak a mikroalgák diverzitásának fenntartásában játszik szerepet, hanem nagyobb hal- és vízimadár-diverzitást is eredményez, ami közvetlen rekreációs értéket képvisel. Az alámerült növényzetben alacsonyabb a nettó CO₂-egyenértékű kibocsátás és jobb a szénmegkötés a fitoplankton által uralt víztestekhez képest.

17. *„A Ceratophyllum-ot tartalmazó kezelések pH-ja a második napon meghaladta a 9,60-ot, és a 10. napon pedig elérte a 10,02-t.” Van jelentősége és értelme a pH esetén a második tizedesjegynek?*

Válaszom: Egyetértek azzal, hogy a pH-értékek értelmezése szempontjából a második tizedesjegynek nincs érdemi jelentősége. Az értékeket a pH-mérő műszer kijelzett felbontásának megfelelően adtam meg.

18. *„magyar felszíni vizek adatbázisa (n = 245) alapján az oldott inorganikus nitrogén (OIN) és*

A szép magyar nyelv használata érdekében inkább a „szervetlen nitrogén” kifejezést használnám.

Válaszom: Egyetértek azzal, hogy a „szervetlen nitrogén” kifejezés magyarosabb megfogalmazás. Ugyanakkor a dolgozatban az „oldott inorganikus nitrogén” elnevezést alkalmaztam, mivel annak rövidítése (OIN) egyértelműen megkülönböztethető a szerves nitrogéntől. A „szervetlen nitrogén” rövidítése (SZN) könnyen összetéveszthető a szerves nitrogén azonos rövidítésével, ezért terminológiai szempontból az OIN rövidítést egyértelműbbnek tartottam.

19. 10. A PH SZEREPE AZ ALÁMERÜLT ÉS A SZABADON ÚSZÓ MAKROFITONOK KÖZÖTTI KOMPETÍCIÓBAN

„felvételének hatékonysága, mivel ezek felvétele 9,5 pH felett blokkolódik (Loeppert et al. 1977, Ullrich-Eberius et al. 1981), és/vagy 3) alacsonyabb a felvételi hatékonyságuk a magas pH-n kicsapódó mangánra, vasra vagy foszfátra (Otsuki és Wetzel 1972, Stumm és Morgan 1996, Szabó et al. 2022b). Már korábban feltételezték, hogy egy békalencsefaj (Lemna perpusilla) alacsonyabb növekedési sebessége a fésűs békaszőlő (Stuckenia pectinata) állományaiban az intenzív fotoszintézis miatt kialakuló magasabb pH-nak tulajdonítható (McLay 1974). Az egyik leggyakoribb európai alámerült

növény az érdes tócsagaz (Ceratophyllum demersum) esetében a magas pH-t és a nitrogénhiányt találtuk a legerősebb limitáló tényezőnek” Nagyon régi irodalmak, érdemes lett volna frissíteni őket.

Válaszom: Egyetértek abban, hogy az idézett cikkek többsége több évtizeddel ezelőtt jelent meg. Ugyanakkor ezek ma is érvényes alapvető élettani hidrobiológiai és vízkémiai összefüggéseket írnak le. Az irodalom áttekintése során nem találtam olyan újabb közleményeket, amelyek ezeket az eredményeket módosították volna, ezért hivatkozásukat továbbra is indokoltnak tartottam.

20. majd az edényeket 200 liter kútvízzel töltöttük fel.” Miért alkalmaztak kútvizet? A kútvíz több fontos fizikai-kémiai paraméterben is jelentősen eltérhet a természetes felszíni vizektől.

Válaszom: A mezokozmoszok helyszínén nem volt arra lehetőségünk, hogy természetes felszíni vízből származó 800 liter mennyiségű vizet a helyszínre szállítsunk, emiatt azt a megoldást választottuk, hogy a vizet a közelben elérhető kútból biztosítjuk a 4 db tartály feltöltéséhez.

21. „mérés során a mintavételi helyszíneken a következő növényfajok domináltak: Ceratophyllum demersum (N=74), Utricularia vulgaris (N=5), Elodea nuttallii (N=16), Potamogeton crispus (N=7), Myriophyllum verticillatum (N=3), és Myriophyllum spicatum (N=8).” Mit jelent az N? A mintavételi helyek számát, ahol domináns volt az adott faj?

Válszom: A zárójelben feltüntetett N-értékek a mintavételi helyek számát jelezték, ahol az adott faj teljes dominanciát mutatott (felületi borítás 100%) a mintavételi helyszínen.

22. „Lemna-szártagok nitrogén-, foszfor- és mangánkoncentrációja (42. ábra.) lineárisan mérséklődött” Javasolom a „lineárisan csökkent” megfogalmazás használatát (a koncentráció nem tud mérséklődni).

Válaszom: Egyetértek a bíráló javaslatával, a “lineárisan csökkent” szerencsésebb kifejezés lett volna.

23. „Ennek alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a magas pH egy fontos mechanizmus lehet az alámerült vízinövények dominanciájának fenntartásában”

A magas pH önmagában környezeti tényezőnek tekinthető, nem pedig mechanizmusnak; célszerűbb lett volna úgy megfogalmazni, hogy a magas pH bizonyos mechanizmusokon keresztül hozzájárulhat az alámerült vízinövények dominanciájának fenntartásához.

Válaszom: Egyetértek a bíráló javaslatával.

24. „Az epifiton legelése csökkentheti a víz pH-ját (Pinowska 2002, Koleszár et al. 2022b), ugyanakkor a fogyasztók, például a compó (Tinca tinca L.), közvetve növelhetik az epifiton biomasszáját, ami magasabb pH-értékekhez vezethet (Brönmark 1994).”

Az epifiton legelése csökkentheti a víz pH-ját (Pinowska 2002, Koleszár et al. 2022b), ugyanakkor a LEGELŐ SZERVEZETEKET fogyasztók, például a compó (Tinca tinca L.), közvetve növelhetik az epifiton biomasszáját, ami magasabb pH-értékekhez vezethet (Brönmark 1994). Szerintem így válik értelmessé a mondat.

Válaszom: Egyetértek a bíráló javaslatával.

25. „A kedvezőbbé váló fényviszonyok mellett a csigák által felszabaduló tápanyagok is serkentik a makrofitonok növekedését.”

A csigák által felszabaduló tápanyagok? Inkább így: A csigák epifiton fogyasztása javítja a makrofitonok fényellátását, miközben az ürülékükkel visszajuttatott tápanyagok hozzájárulnak a növényi produkció növekedéséhez.

Válaszom: Egyetértek a bíráló javaslatával.

26. „Az algák beoltása során 10 ml L⁻¹ algaszuspenziót adtunk a tápoldathoz.”

Mi volt pontosan ez az algaszuspenzió?

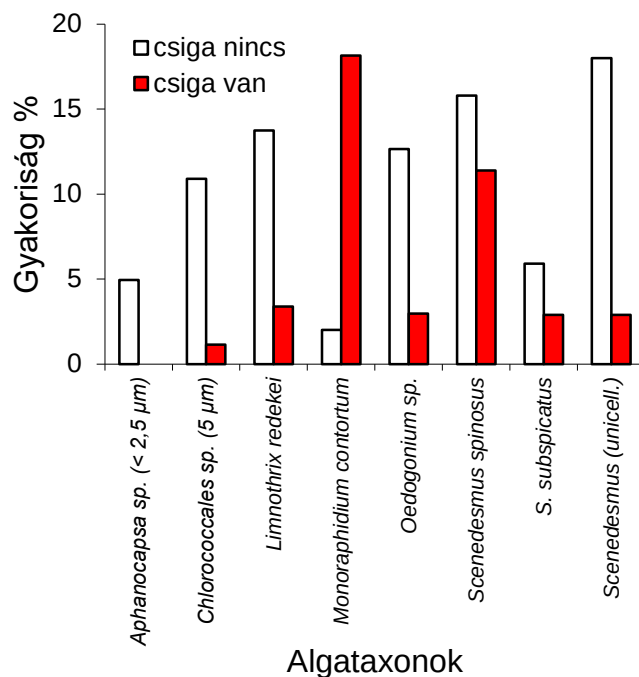
Válaszom: Az algaszuspenzió nem egyetlen algafaj tenyésztete volt, hanem az előinkubált békalencse- és tócsagaz-kultúrákból származó planktonikus és epifitikus algaközösséget tartalmazta. Az algákat a növények felületéről a tápoldatba mostuk, majd a kapott szuszpenziót homogenizáltuk. Az így kapott algaszuspenzióból akváriumonként 10 mL mennyiséget használtunk a kísérleti akváriumok inokulálására.

27. „az epifitikus algák biomasszáját a pocsolyacsiga (*R. labiata*) mint természetes algafogyasztó alkalmazásával minimalizáltuk”

A csigák szájszerv formájuknak és szájméretüknek megfelelően specializálódhatnak a különböző növekedési formájú algákra, ez a szelektivitás mennyire befolyásolhatta a kísérlet eredményét?

Válaszom: Köszönöm a bíráló fontos észrevételét. Egyetértek azzal, hogy a pocsolyacsiga szelektív legelése befolyásolhatta az epifitikus algaközösség fajösszetételét, és ezen keresztül a kísérlet eredményeit is. Bár ezek az adatok a dolgozatban és a kapcsolódó publikációban – terjedelmi okokból – nem szerepeltek, az algaközösség taxonómiai összetételét meghatároztuk.

Vizsgálataink alapján a csigás kezeléseknél markáns változások voltak megfigyelhetők az algaközösség összetételében, ami a szelektív legelésre utal. A *pocsolyacsiga* jelenlétében a *Limnithrix redekei*, az *Oedogonium* sp. és a *Scenedesmus* sp. egyedszáma jelentősen csökkent, míg a *Monoraphidium contortum* relatív gyakorisága növekedett (1. ábra). Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a csigalegelés nemcsak az epifitikus algák biomasszáját csökkentette, hanem azok fajösszetételét is módosította.



1. ábra. Algataxonok relatív gyakorisága a *Ceratophyllum-Lemna* társ kultúrákban nagy pocsolyacsiga (*Radix labiata*) jelenlétében és hiányában.

28. „A kísérlet végén ecsettel finoman eltávolítottuk az algákat a *Ceratophyllum*-hajtások és az akváriumok oldalfalainak felszínéről.” Hogyan lehet ezt precízen elvégezni, hogy minden algát leszedjünk egy ilyen összetett struktúrájú vízinövényről?

Válaszom: Egyetértek azzal, hogy a *Ceratophyllum demersum* finoman tagolt hajtásairól az epifitikus algák teljes eltávolítása ecsettel nem biztosítható. A módszer célja nem az összes alga maradéktalan eltávolítása volt, hanem az, hogy a növényfelülethez lazábban kötődő epifitikus biomasszát a lehető legteljesebb mértékben összegyűjtsük. Mivel valamennyi kezelésben azonos mintavételi eljárást alkalmaztunk, az esetlegesen a növényen visszamaradó algák mennyisége vélhetően nem befolyásolta érdemben a kezelések közötti összehasonlítást.

Kérdések:

1. Az értekezés az eutrofizáció hatásait vizsgálja és 2013-as, illetve 2016-os szakirodalmi adatokra hivatkozva a tápanyagterhelés további fokozódását valószínűsíti („Egy metaanalízis rámutatott, hogy az édesvízi ökoszisztémák több mint kétharmada magas tápelemterheléstől szenved (Nöges et al. 2016). Az éves N-bejutása a folyókba a 2000-ben mért 64 Tg N év⁻¹-ről 2050-re 84 Tg N év⁻¹-re fog várhatóan növekedni (Bouwman et al. 2013).”). Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy a felszíni vizekbe jutó tápanyagterhelés csökkentésére irányuló, a 20. század végétől egyre hangsúlyosabbá váló globális és regionális erőfeszítések számos esetben az édesvízi rendszerek újbóli oligotrofizációjához vezettek. Ez azonban nem feltétlenül az elsődleges termelés általános csökkenését jelenti, hanem sok esetben a planktonikus algaprodukciónak visszaszorulását és a bentikus elsődleges termelés dominánssá válását. Hogyan értékeli a szerző eredményeinek általánosíthatóságát azon édesvízi rendszerek esetében, ahol napjainkban inkább reoligotrofizációs folyamatok figyelhetők meg?

Válaszom:

Megítélésem szerint az értekezésben feltárt ökológiai kölcsönhatások – például a makrofitonok, az algák és a tápanyag-ellátottság közötti összefüggések – alapvető mechanizmusai reoligotrofizálódó rendszerekben is érvényesek lehetnek. Ugyanakkor e kölcsönhatások erőssége a trofitási állapottól függően módosulhat, ezért az eredmények számszerű általánosítása csak kellő körültekintéssel tehető meg. Az alacsony tápelem-ellátottság mellett eltérő fajösszetételű makrofiton-közösségek alakulnak ki, ezért más fajok közötti kölcsönhatások válnak meghatározóvá. Ezeknek a fajspecifikus kölcsönhatásoknak az erősségéről jelenleg még kevés kísérleti eredmény áll rendelkezésre. A reoligotrofizációval csökken mind a planktonalgák, mind pedig az epifitikus algák és a szabadon úszó növények dominanciája. Emiatt mezotróf körülmények között a közepes denzitású ($200\text{--}500\text{ g m}^{-2}$) úszónövény-állomány árnyékoló hatása várhatóan már nem stimulálja kimutatható mértékben az alámerült növényzetet a hipertróf állapotához képest (30. ábra A, C). A reoligotrofizáció előrehaladtával az epifitont legelő csigák alámerült és úszó makrofitonokra gyakorolt stimuláló hatása is várhatóan mérséklődik (48., 49. ábra). Értekezésem éppen ezeknek a makrofiton–alga kölcsönhatásoknak a szabályozó mechanizmusait vizsgálja, ezért az eredmények ilyen rendszerek értelmezéséhez is hozzájárulhatnak.

2. A dolgozatban bemutatott mechanizmusok közül melyeket tartja a szerző leginkább skálafüggetlennek, vagyis laboratóriumi, mezokozmosz- és természetes rendszerekben egyaránt meghatározónak?

Válaszom: Tapasztalatom szerint a dolgozatban bemutatott mechanizmusok közül a leginkább skálafüggetlennek a tápanyag-túlkínálat hatására kialakuló úszónövény-dominancia és az ebből következő árnyékolási folyamatok tekinthetők. Az úszónövény-borítás növekedése csökkenti a víztest fényellátottságát, ami az epifitikus algák biomasszájának csökkenéséhez vezet, majd nagyobb növény-sűrűség esetén az alámerült makrofitonok pusztulását is előidézhetheti. Ezeket a kölcsönhatásokat nemcsak laboratóriumi, hanem természetes rendszerekben is megfigyeltük, ezért a mechanizmust alapvetően skálafüggetlennek tartom.

3. A szerző szerint a klímaváltozás várható hatásai közül a szélsőséges hidrológiai viszonyok (fokozódó vízszint-ingadozások és aszályos periódusok) hogyan módosíthatják az értekezésben feltárt kompetíciós és vízkémiai mechanizmusokat?

Válaszom: A klímaváltozás hatására egyes térségek víztestjeiben az aszályos időszakok következtében koncentrálnak az oldott sók és tápanyagok. A vízhiány előre haladtával egyes víztestek időszakosan kiszáradnak. Ezek a hatások teljesen felülírják mind a kompetíciós folyamatok, mind pedig az azok által kiváltott vízkémiai mechanizmusok hatásait. Más szóval az általam vizsgált biotikus gátló mechanizmusok másodlagossá válnak, és helyüket az abiotikus stressz által kiváltott gátlás (növekvő szalinitás és a vízhiány) veszi át. A szalinizáció általában csökkenti a magok csírázását az üledékben, így a sóérzékeny fajok visszaszorulnak, vagy eltűnnek (*Nuphar lutea*, *Potamogeton trichoides*, *M. spicatum*) a *Stuckenia pectinata*, az eutróf édesvizekben pedig az *Elodea nuttallii* térnyerése valószínűsíthető, de összességében csökken a makrofitonok fajdiverzitása.

Nyíregyháza, 2026. augusztus 04.

Dr. Szabó Sándor