

BÍRÁLAT

Dr. Szabó Sándor

„Vízínövények és algák közötti kölcsönhatások változó környezetben”
című MTA doktora cím elnyerésére beadott értekezéséről

A téma aktualitása és fontossága

Az értekezés napjaink egyik kiemelt jelentőségű ökológiai problémakörével foglalkozik. A felszíni vizek által nyújtott ökoszisztéma-szolgáltatásokat az eutrofizáció és a klímaváltozás együttes hatása világszerte fokozottan veszélyezteti. A növekvő hőmérséklet és a fokozódó tápanyagterhelés kedvez az algák tömeges elszaporodásának, miközben az alámerült makrofiton-állományok visszaszorulását idézi elő. Eltűnésük az egész ökoszisztéma működését veszélyezteti, hiszen elvesznek a más vízi élőlények számára nyújtott élőhelyek, csökken a biodiverzitás, nincs, ami stabilizálja az üledéket és javítsa a vízminőséget. Ezzel párhuzamosan a fitoplankton vagy a felszínen úszó növények dominanciája a víz alatti fényviszonyok romlásához, az oldottoxigén-koncentrációk kedvezőtlen változásához és algavirágzások kialakulásához vezethet, jelentős ökológiai, gazdasági és társadalmi következményekkel. Így napjainkban a felszíni vizek jó ökológiai állapotának elérése és megőrzése a természetvédelem és a vízgazdálkodás egyik alapvető kihívásává vált.

Az értekezés általános értékelése

A doktori mű központi kérdése annak feltárása, hogy az eutrofizáció és a klímaváltozás miként alakítja a sekély vízi ökoszisztémák stabil állapotait, növényzeti viszonyait és vízminőségét a makrofitonok és algák közötti kölcsönhatásokon keresztül. Az értekezés 10 publikáción alapul, amelyek időben mintegy 26 évet ölelnek át, ugyanakkor a közlemények fele a 2020-as években született. A jelölt kilenc publikációnak kiemelt szerzője. A közlemények tudománymetriai megoszlása kedvező: 5d D1-es, 3 db Q1-es és 2 db Q2-es nemzetközi folyóiratban megjelent publikáció. Az értekezés szerkezete jól felépített. Az előszó, célkitűzések és az általánosan alkalmazott módszerek ismertetését követően a jelölt kilenc tematikus egységben tárgyalja a vizsgált kérdéseket. Az egyes fejezetek logikus szerkezetben épülnek fel: a témabevezetést a speciális módszerek, az eredmények, valamint azok értékelése követi. A dolgozatot átfogó konklúzió és szintézis zárja. Az értekezés gondolatmenete világos, a témák egymásra épülése jól követhető. Az értekezés központi eleme az alternatív stabil állapotok koncepciója, amit jó

lett volna már az értekezés elején részletesen bemutatni. Kiemelendő, hogy a dolgozat alapvetően kísérletes megközelítésre épül, ugyanakkor a szerző az eredményeket jelentős adatbázisok, kiterjedt terepi adatsorainak felhasználásával validálta. A laboratóriumi/mezokozmosz kísérletek ellenőrzött körülmények között fel tudják tárni az ok-okozati összefüggéseket, a természetes rendszerek összetettségét azonban csak a terepi adatok segítségével lehet teljes mértékben megragadni. A laboratóriumi és a terepi megközelítések integrálása jelentősen növeli a megállapítások ökológiai relevanciáját, megbízhatóságát és általánosíthatóságát.

Kritikai észrevételek, tisztázó kérdések és megjegyzések

1. ELŐSZÓ

„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?

„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 csatornáknak ...”

Mit ért sekélyebb árkok alatt? A lentikus víztest helyett az állóvizek / tavak és tározók szavak használata magyarosabb lett volna, ha ezekre gondolt.

1.1 CÉLKITŰZÉSEK

A célkitűzésben nem szerepel az epifitikus algák szerepének feltárása.

A kiemelt alcímekben többször ugyanaz a helyírási hiba szerepel (pl. Algák és úszó növények közöti 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, szövegek közötti hivatkozással.

2. ÁLTALÁNOSAN HASZNÁLT MÓDSZEREK

„Az RNR meghatározásához almintákat vettünk a kísérlet kezdetén, hogy megmérjük az M0- és k0-értékeket.”

Hány almintát vettek?

3. AZ ELEMÉK MOZGÁSA AZ ALGÁK ÉS A BÉKALENCSEK KÖZÖTTI KOMPETÍCIÓBAN

„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?

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

Miért pont ezen a hőmérsékleten történt az inkubálás?

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

Hogy történt az algaszuszpenzió elkészítése? Mindegyik fajból ugyanannyi (darabszáma, biomasszára?) volt?

„vegyes algás inokuláció esetében a fő kiválasztási kritérium az volt, hogy a faj domináns legyen a szennyvizes 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?

„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 algabiomassza) elemeztük.”

Miért 10 nap?

„Az algakezelt lombikokban az algák sejtszámát fénymikroszkóppal meghatároztuk.”

Milyen módszerrel?

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 műanyaghálóra 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?

5. AZ ALGÁK BÉKALENCSEKRE GYAKOROLT LIMITÁLÓ TÉNYEZŐI

„Minden akváriumot 30 mL zöldalga-szuszpenzióval inokuláltunk.”

Mit jelent a zöldalga szuszpenzió? Milyen fajokból állt vagy monokultúra volt? Milyen sűrűségű, biomasszájú stb?

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?

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 törmeléket.”

Hogyan lehet ezt tökéletesen megtenni, hogy valóban ne maradjon rajtuk alga? Ceratophyllum esetén ezt nagyon nehezen tudom elképzelni.

9. AZ ALÁMERÜLT MAKROFITONOK DOMINANCIAJÁT BIZTOSÍTÓ GÁTLÓ MECHANIZMUSOK

„Az alámerült makrofita- dominancia más vegetációtípusokhoz képest rendelkezik a legtöbb ökoszisztéma-szolgáltatással (Janssen et al. 2021)”

Mi az oka ennek?

„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?

„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.

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) állományában 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.

„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.

„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?

„Lemna-szártagok nitrogén-, foszfor- és mangánkoncentrációja (42. ábra.) lineárisan mérséklődött”

Javaslom a „lineárisan csökkent” megfogalmazás használatát (a koncentráció nem tud mérséklődni).

„Ennek alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a magas pH egy fontos mechanizmus lehet az alámerült vízínövények 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 vízínövények dominanciájának fenntartásához.

„Az epifiton legelése csökkentheti a víz pH-ját (Pinowska 2002, Koleszár et al. 2022b), ugyanakkor a fogyasztóik, 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.

11. EPIFITIKUS ALGÁK SZEREPE AZ ÚSZÓ ÉS ALÁMERÜLT HÍNARAK KÖZÖTTI KÖLCÖNHATÁSOKBAN

„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.

„Az algák beoltása során 10 ml L^{-1} algaszuszpenziót adtunk a tápoldathoz.”

Mi volt pontosan ez az algaszuszpenzió?

„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?

„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?

A jelölt legfontosabb új eredményei:

1. Kimutatta, hogy alacsony békalencse-borítottság mellett az izolált algafajok többsége (18 faj) gátolta a púpos békalencse (*Lemna gibba*) kultúrák növekedését, és az egysejtű zöldalgák mutatták a legerősebb gátló hatást.
2. Feltárta, hogy alacsony békalencse-borítottság mellett az alga–békalencse kompetíció során a békalencsék versenyhátrányba kerülnek, mivel az algák intenzívebb tápelemfelvételt mutattak. A tápoldat elemösszetételének változását elsősorban az algák határozták meg.
3. Egyszerű módszert dolgozott ki békalencse-kultúrák nevelésére, amely lehetővé teszi az algák gátló hatásának és a békalencsék önárnyékolásának mérséklését.
4. Bizonyította, hogy az algák alacsony nitrogénkoncentráció mellett ($<1\text{ mg N L}^{-1}$) a békalencsék növekedését jelentős mértékben (72–80%-kal) gátolhatják.
5. Kimutatta, hogy a fitoplankton és a békalencsék közötti tápelemkompetíció során a békalencsék növekedésgátlását elsősorban az algák intenzív tápelemfelvétele (az ebből kialakuló nitrogénhiány), valamint a pH növekedése okozta.
6. Kimutatta, hogy alacsonyabb tápelem-koncentráció mellett ($<2\text{ mg N L}^{-1}$) az alámerült növények (*Elodea nuttallii*, *Ceratophyllum demersum*) jelentősen visszaszorították a *Lemna* növekedését, míg magasabb nitrogénkoncentráción ($5\text{--}10\text{ mg N L}^{-1}$) a *Lemna gibba* egyre nagyobb eséllyel szorította ki az alámerült növényeket.
7. Kimutatta, hogy a szabadon úszó növények alámerült makrofitonokra gyakorolt hatása faj- és denzitásfüggő, mivel az alacsony és közepes *Lemna*-borítás serkentette a *Ceratophyllum*, ugyanakkor gátolta az *Elodea* növekedését.
8. Kimutatta, hogy a gyökér nélküli *Ceratophyllum demersum* dominanciájának fenntartásában és a *Lemna gibba* növekedésének korlátozásában a magas pH, valamint a nitrogén-, foszfor- és vashiány meghatározó szerepet játszik.

9. Bizonyította, hogy a *Ceratophyllum demersum* sűrű állományai által kialakított magas pH önmagában is hatékonyan gátolja a *Lemna gibba* növekedését, és ez a hatás nyári körülmények között tartósan fennmaradhat.
10. Kimutatta, hogy hipertróf körülmények között az epifiton és az epifitont fogyasztó csigák jelentősen befolyásolják a szabadon úszó és alámerült makrofitonok közötti kompetíciót azáltal, hogy módosítják a víz tápanyagviszonyait és pH-ját.

Összefoglaló vélemény és nyilatkozat

Összefoglalva megállapítom, hogy a benyújtott MTA doktori értekezés hiteles adatokon alapul, jelentős számú és magas színvonalú új tudományos eredményt tartalmaz, amelyek érdemben hozzájárulnak a vizsgált tudományterület fejlődéséhez. Az értekezés rangos nemzetközi folyóiratokban publikált eredményekre épül, tudományos megalapozottsága és szakmai színvonala alapján pedig megfelelőnek tartom az MTA doktori cím megszerzéséhez. Mindezek alapján **javaslom az értekezés nyilvános vitára bocsátását, valamint a sikeres védést követő elfogadását.**

Kérdéseim:

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

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?

Veszprém, 2026. május 11.



.....

Dr. Stenger-Kovács Csilla
MTA doktora, egyetemi tanár