

Válasz Stenger-Kovács Csilla egyetemi tanár az MTA doktora bírálatára

Tisztelettel köszönöm Stenger-Kovács Csilla Bírálómnak az értekezésem és téziseim alapos áttanulmányozását, elismerő véleményét, kritikai észrevételeit és konstruktív kérdéseit.

Bírálóm a téma aktualitását és fontosságát tekintve elismeri, hogy az tudományos és természetvédelmi szempontból nemzetközi szinten is rendkívül fontos. Az értekezés felépítésére vonatkozóan megállapítja, hogy a szerkezet segítette ugyan az eredmények bemutatását, de sok esetben ismétléseket eredményezett, a sokszor átfedő, vagy nagyon szorosan kapcsolódó témák miatt. A kritikai észrevételt elfogadom, valóban igen nehéz szerkesztési feladat volt az átfedő fejezeteket jól elhatárolni. Az összegzésre vonatkozóan megemlíti az előző fejezetek sokszor szó szerinti ismétlését, valamint lehetséges kutatásokra és feladatokra vonatkozó kitekintés rövidegét, mely észrevételt szintén elfogadom. A kritikai észrevételekre, tisztázó kérdésekre és megjegyzésekre az alábbiakban válaszolok.

3. oldal

„A sós és szikes vizeknek jelentős ökoszisztéma-szolgáltatásai vannak, mint például ellátó, kulturális, szabályozó, támogató szolgáltatások (Shadrin és mtsai., 2023; Williams, 2002).”

Az édesvizeknek nincsenek ilyen szolgáltatásai? Van-e különbség az édes és sós vizek ökoszisztéma-szolgáltatásai között?

Válasz

Természetesen az édesvizeknek is vannak ellátó, kulturális, szabályozó, támogató ökoszisztéma-szolgáltatásai. Nyilvánvalóan a kétféle víztípus nyújtotta szolgáltatások között is vannak jelentős különbségek elsősorban az eltérő sótartalom miatt, például sokan helytelenül azt gondolják, hogy a kontinentális sós vizek kevesebb ökoszisztéma-szolgáltatást nyújtanak, mint az édesvizek, pedig a sós tavak sótartalmuktól függetlenül is számos kulturálisan és gazdaságilag fontos ökoszisztéma-szolgáltatást támogatnak, melyeket a következő kérdéshez kapcsolódóan részletezek.

„Ugyanakkor világszerte riasztó ütemben zsugorodnak, és ebben a folyamatban a vízszabályozásnak vagy -felhasználásnak nagyobb szerepet tulajdonítanak (Wurtsbaugh és mtsai., 2017).”

Mire tudják elsősorban felhasználni a szikes vagy sós vizeket?

Válasz

Humán szempontból az egyik leglényegesebb különbség az, hogy a sós vizek nem alkalmasak ivóvíz, vagy annak megfelelő célú felhasználásra. Ugyanakkor a magas sótartalom más előnyöket nyújt például az ipari és gyógyászati felhasználás terén. A szóda (Na_2CO_3) és szódabikarbóna (NaHCO_3) tradicionális háztartási alapanyag, melyek szabadtéri gyűjtését már

felváltotta az ipari előállítás. Ugyanakkor a szikes környezet extrém lúgos közegéhez adaptálódott alkalofil bakteriális közösségekből izolált lúgosságtűrő enzimek (például alkalikus proteázok) jelentették az áttörést a bioaktív mosóporok fejlesztésében. Emellett a természetes sós és szikes vizek, illetve iszapok balneológiai, gyógyászati és kozmetikai felhasználására nemzetközi és hazai szinten is jelentős, különösen mivel a legtöbb magyarországi termálvíz szikes összetételű. Ugyan a termálvizek mélységi vizek, de a felszínen megjelenő szikesek is felszín alatti vizektől függő ökoszisztémák, így a hidrogeológiai háttér tekintetében rokon eredetűek. A sós és szikes vizeknek igen jelentős globális szerepe van a filogenetikai és funkcionális diverzitás fenntartásában is, melyre a következő kérdésre adott válaszban térek ki.

„Az afrikai szikes tavak a világ legproduktívabb és biodiverzitásban igen gazdag vízi rendszerei között vannak nyilvántartva (Harper és mtsai., 2016; Oduor és Schagerl, 2007)”.

Ez nem mond ellen a bekezdés első mondatának, miszerint „Jól ismert általános jelenség, hogy a fajok száma és a biodiverzitás jelentősen csökken a sótartalom növekedésével?”

Válasz

Általános értelemben igaz, hogy az édesvizekhez több faj kötődik, ugyanakkor a sós vizeket benépesítő sótüdő, ill. sókedvelő fajok az édesvizekben nem, vagy csak korlátozottan fordulnak elő, valamint a sós és szikes vizek gyakran extrém fizikai és kémiai tulajdonságai elősegítik különösen a mikrobiális funkcionális anyagcsere-diverzitás növekedését. Ezért ezeket a vizeket benépesítő életközösségek tanulmányozása evolúcióbíológiai szempontból is fontos. A biodiverzitás és a produktivitás eltérése között nincs ellentmondás, mert a sós vizek produktivitása meghaladhatja az édesvizeké is azáltal, hogy egy bizonyos mértékű szalinitás fölött kompetíció hiányában a sótüdő fajok tömeges elszaporodása következik be, vagyis a sokféleség helyett a mennyiség uralkodik. Ezzel a kérdéssel a jelentősége okán az értekezés és a tézisek fito- és zooplankton sajátosságaira vonatkozó fejezetében foglalkozom. Összességében tehát a szárazföldi sós és édesvizek bioszférában betöltött globális szerepe nem sorolható egymás fölé, vagy alá, amellett hogy a globális mennyiségi volumenük is hasonló.

4. oldal

„A felmérés során 77 db 1 hektárnál nagyobb nyílt szikes vízteret sikerült lehatárolni.”

Mi volt az oka, hogy csak az 1 hektárnál nagyobb vizeket határolták le? Az ennél kisebbeknek nincs jelentőségük?

Válasz

A kérdés jogos, az 1 hektáros területi limitnek gyakorlati oka volt, melyet rögzítettünk a felmérésre vonatkozó módszertani részben, mert sem technikailag sem anyagilag nem tudtuk volna kivitelezni az adott projektben az 1 hektárnál kisebb szikes „pocsolyák” országos felmérését.

„A gyógyhatásban a szikso és a lúgos kémhatás mellett a különféle szerves és biológiailag aktív anyagok is szerepet játszanak”.

Mik ezek a biológiailag aktív anyagok?

Válasz

Ezek a biológiailag aktív anyagok a különféle oldott és lebegő szerves vegyületek, jellemzően ilyenek a makrofitonok lebomlásából nagy mennyiségben keletkező humin- és fulvosavak, melyek a szikesek barna illetve fekete vizét adják (lásd 4.2. tétel). Továbbá ilyenek még a mikrobaközösségek, algák és gerinctelenek által termelt különféle karotinoidok és pigmentek, a poliszacharidok, enzimek és vitaminok, valamint az illékony szerves vegyületek.

„Magyarországnak még jelentős kihasználatlan tartalékai vannak a gyógyászat és a balneológia terén a szikesek vonatkozásában.”

Mely szikes vizekben lehetne ezt Magyarországon megvalósítani? Hogyan fér össze ez a törekvés a védettségükkel?

Válasz

A gyógyászati hasznosítás és kontra természetvédelem egy jogos kérdés. Ugyanakkor ez gyakorlatilag a mindennapjainkban tömeges szinten megvalósul például a gyógy- és termálfürdőinkben, ugyanis a mélységi termálvizeink döntő hányada szikes, vagy szikes-sós összetételű. Ezeket a gyógyvizeket a fürdőzés mellett ivókúrára is lehet hasznosítani, és palackozva is lehet a kereskedelmi forgalomban kapni szikes összetételű magyar gyógyvizet (pl. a Bükk-széki Salvus gyógyvíz). Mindemellett a balneológiai hasznosításból hazánkban teljesen hiányzik a szikes gyógyiszapok alkalmazása. Van erre példa Szerbiában (Bánát), a Ruszanda Gyógyfürdő Fizioterápiás és Rehabilitációs Szakkórház, ahol 130 éves múltra visszatekintően szikes iszapot használnak balneológiai célra, ami a gyógyászati célra kitermelt iszap volumenét tekintve, valamint a használt iszap visszajuttatása miatt nem veszélyeztette a Ruszanda-tó ökológiai állapotát. Mindemellett természetesen a hazai szikesek „ex lege” és egyéb nemzetközi szintű védelme okán bármilyen hasznosítási mód részletes hatásvizsgálatot és az adott terület állapotához mérten egyedi mérlegelést igényel.

5. oldal

„A sós és szikes vizek ökológiai sajátosságai, valamint ökológiai funkciói és szolgáltatásai”

Mik a sós és szikes vizek ökológiai funkciói?

Válasz

Az ökoszisztéma-szolgáltatások kaszkád modellje szerint az ökológiai illetve ökoszisztéma-funkció általánosan elfogadott definíciója (Haines-Young és Potschin, 2010) hidat képez az

ökológia és a közgazdaságtan/társadalomtudomány között: Az ökoszisztéma azon belső működése, amely alkalmas egy szolgáltatás nyújtására. Az ökoszisztéma belső működése alapvetően az energiaáramlást és az anyagkörforgást jelenti amely ahhoz szükséges, hogy egy ökoszisztéma-szolgáltatást (például tiszta vizet vagy élelmet) nyújtson nekünk. Ennek megfelelően a funkció nagyon sokféle lehet, például a mikrobiális közösség nitrogénmegkötő képessége, a biomassa-produkció, a biodiverzitás, stb., melyek a szolgáltató képesség szempontjából értékelhetők.

6. oldal

„Ebben a kötetben összefoglalásra kerültek a kiskunsági szikes vizek vízkémiai sajátosságai (Schmidt, 2003), a pikoplankton (Vörös és V.-Balogh, 2003) és az algaflóra összetétele (Fehér, 2003; Fehér és Schmidt, 2003).”

Ezek a tanulmányok planktonikus vagy bentikus algákat vizsgáltak?

Válasz

Az idézett mondatnak megfelelően a pikoplankton mellett az általános algaflóra megjelölés egy átfogó vizsgálatra utal, mely a fitoplankton mellett a bevonatot alkotó flóra és a metafiton vizsgálatára is kiterjedt.

8. oldal

„Eurázsiaiában összesen nyolc országot (Ausztria, Kazahsztán, Kína, Magyarország, Mongólia, Oroszország, Szerbia és Törökország) érintenek jelentős számban (N = 220).”

N= 220, a mintavételi helyek számát vagy a minták számát jelenti?

Válasz

A megjelölt N=220 a mintavételi helyek számát jelöli, melyen belül általában három ismételtsben végeztük a mintavételeket.

9. oldal

„nagyobb kiterjedésű (> 1500 km²) nemzetközi jelentőségű vizek (ramsari területek), mint például az Alaköl, a Tengiz-tó, a Balkas-tó és a Kis-Aral-tó (Aladin és Plotnikov, 1993; Burlibaeva és mtsai., 2007a; 2007b; Romanova, 2008a; 2008b), de számos közepes (100–1500 km²) és kisebb kiterjedésű (1–100 km²) víztestet (Bragina és Bragin, 2002) is vizsgáltunk, tehát az eredmények térbeli léptékben is reprezentatívnak tekinthetők.”

Milyen számban voltak a különböző méretkategóriájú tavak és területileg hogyan jelentek meg? Ugyanis ez mutatná, hogy valóban reprezentatív mind a mintavétel mind az eredmény.

Válasz

A vizsgált vizek mérettartománya valóban pontosításra szorul. A hiányolt adat az alapul szolgáló közlemény függelékében megtalálható (Boros és mtsai., 2023), mely szerint a Kazahsztán területén a Kaszpi-tenger kivételével – a vizsgált nagyobb és közepes kiterjedésű ($> 100 \text{ km}^2$) vízterekből összesen 20 db, míg a kisebbekből a jelentős számuk okán 42 db került be a vizsgált vízterek közé. Ez összesen hozzávetőlegesen 93 ezer km^2 -nyi vízterületet érintett valamilyen mértékben, de természetesen ekkora kiterjedésű vízfelületen a teljeskörű reprezentativitás biztosítása messze meghaladta a projektjeink kereteit, ezért a nagy térléptékű reprezentativitás itt elsősorban azt jelenti, hogy különböző méretű, a néhány négyzetkilométertől a több ezer négyzetkilométer kiterjedésű vízfelületekig szerepeltek a vizsgálatokban egy kb. kétezer kilométer átmérőjű régióban.

„Elsősorban a drasztikus vízszabályozás (az Amu-darja folyó elterelése) hatására a tó maradék vizének szalinitása jelentősen megnövekedett, másrészt összetétele a konyhasós (NaCl) irányba tolódott el (Zavialov és mtsai., 2009), ami a klímaváltozás hatását tekintve a többi állóvízben is hasonló változásokat okozhat, súlyos gazdasági és társadalmi következményekkel társulva (Boros és mtsai., 2017b; Ibatullin és mtsai., 2009; Lioubimtseva és mtsai., 2005).”

Mik ezek a súlyos gazdasági és társadalmi következmények?

Válasz

Az Aral-tó tragédiája a modern kor egyik legnagyobb ökológiai katasztrófája, amely tökéletesen szemlélteti mi történik, ha egy sós/szikes tó vízmérlege felborul. A hivatkozott szerzők által említett súlyos gazdasági és társadalmi következmények röviden: 1) A biodiverzitás, az ökológiai funkciók és szolgáltatások jelentős sérülése, a helyi halászat, a mezőgazdaság és az élelmiszeripar összeomlása; 2) Mikroklimatikus változások, elsivatagosodás: az Aral-tóból Aral-Kum (sivatag); 3) Egészségügyi válság és mérgezés (só és porviharok); 4) Tömeges elvándorlás.

12. oldal

„Ezzel szemben a Kárpát-medencei eredmények alapján az 1 g/L sókoncentráció tekinthető a szikes vizek alsó szalinitási határértékének.”

Ezek milyen vezetőképességnek felelnek meg, hiszen egy rutin monitorozásban vezetőképességeket mérünk és nem határozzuk meg a pontos sókoncentrációkat?

Válasz

Az értekezés „A Kárpát-medence sós és szikes vizeinek ionösszetétele és szalinitása” című fejezetében a 2. számú egyenlet mutatja be a Kárpát-medencében vizsgált 80 szikes víztér példáján a fajlagos elektromos vezetőképesség és a szalinitás közötti regionális tapasztalati összefüggést, mely szerint a vezetőképességet mS/cm egységben mérve 0,85-ös korrekciós

szorzóval kapjuk meg a szalinitást g/L koncentráció egységben. Ennek megfelelően 1,176 mS/cm vezetőképesség 1 g/L-es szalinitásnak felel meg (ugyanazt lásd később a 20. oldalra vonatkozó kérdésnél is).

15. oldal

„A szalinitás növekedésével a mikroelemek koncentrációja is növekszik, például a sós vizekben a lítium, míg a szikesekben az uránium halmozódhat fel.”

Van erre vonatkozó adat a Kárpát-medencében?

Válasz

Én nem ismerek ilyen adatokat a Kárpát-medencére vonatkozóan, de az idézett mondatnál hivatkozott nemzetközi publikációkban fellelhetők ilyen adatok.

16. oldal

„Szikes vagy sós karakterfajok és közösségek jelenléte...” Mely élőlénycsoport/okra vonatkozik? Elég-e egy élőlénycsoportot vizsgálni ahhoz, hogy a szikes vagy sós jelleg eldönthető legyen?

Válasz

A 16. oldalon a Kárpát-medencére vonatkozó általános regionális meghatározás elsősorban gyakorlati felhasználóknak készült, melyet a szikes vizek ökológiáját és kezelését összefoglaló kézikönyvünkől emeltem ki (Boros et al., 2013), ahol részletesen áttekintjük a sziki karakterfajokat és közösségeket valamennyi jellemző élőlénycsoportot érintve a baktériumoktól a gerincesekig. Ennek megfelelően a meghatározás bármelyik élőlénycsoportra vonatkozhat, mégis a gyakorlatban ha nincs mód csoportspecifikus szakértők bevonására, akkor elsősorban a könnyebben határozható makrofitonok, a makrogerinctelenek és a gerincesek képezik a vizsgálat tárgyát.

20. oldal

„Szalinitás (g/L) = 0.85 × fajlagos elektromos vezetőképesség (mS/cm)”

Milyen szikes víz típusokra, mely régióban, és milyen feltételek mellett (pl. hőmérséklet) igaz ez az egyenlet? Vagy lehet azt mondani, hogy bárhol bármikor használhatjuk egy szikes vízben?

Válasz

A meghatározott empirikus összefüggés megfelel a széles körben elterjedt gyakorlatnak, amelynek alapja a fajlagos elektromos vezetőképesség, és az összes ion koncentráció közötti korreláció, ami ionösszetétel függő. Mivel a közölt vezetőképesség értékek minden esetben 20 °C-ra korrigáltak, a hőmérséklet függés ki van küszöbölve, így a szokásos tavasztól ősziig terjedő időszakban mért adatok jól összevethetők. Ennek megfelelően a közölt összefüggés a

hazai szikesekre vonatkozóan egy bárhol bármikor használható gyors és egyszerű szalinitás becslési módszernek tekinthető, ami kielégíti a kezelési gyakorlatban szükséges pontosságot.

31. oldal

„A vizsgált szikes vizek nagyon sekélyek (Z medián = 25 cm) és zavarosak, mivel a Secchi-átlátszóság csak néhány centiméter (Z_s medián = 25 cm), a minimum pedig 0,5 cm volt.”

Hol és hogyan történik a vízmélység meghatározása? Hogyan lehet ezt standardizálni a különböző méretű vizek esetén? A megadott medián érték alapján a Secchi átlátszóság nem néhány cm!

Válasz

A vízmélység mérése centiméter beosztású mérőszalaggal, vagy rúddal mindig a vízmintavétel helyén történt, melyet rendszerint gyalogosan közelítettem meg, tekintettel a vizsgált vizek igen sekély voltára. A különböző méretű víztestek esetén a standardizálásnak többféle módja lehet. Mivel a vizsgálatainkban a mintavételek alapvetően gyalogosan történtek, ezért transzekt jellegű standardizálásról beszélhetünk, ami a gyakorlatban úgy zajlik, hogy a mintavételi helyet egy jellemző, lehetőleg nyílt partszakasz kiválasztásával közelítjük meg. Addig gyalogolunk befelé a nyílt vízben, amíg úgy látjuk, hogy az már nem mélyül tovább és jellegében (pl. zavarossága, színe) megfelel a vizsgált nyílt víztest jellemző állapotának. Valóban félrevezető az általános érvényű megfogalmazás, hogy az átlátszóság csak néhány centiméter. Ehelyett úgy lehet pontosabban fogalmazni, hogy a Secchi-átlátszóság gyakran csak néhány centiméter, ami a karakterisztikus zavaros típusú szikesek esetében különösen jellemző.

46. oldal

„Emellett különböző független környezeti változók fajtelítettségi indexre gyakorolt hatását is vizsgáltuk lineáris kevert modell (LMM) segítségével. Megállapítottuk, hogy a növények fajtelítettségi indexe szignifikáns pozitív kapcsolatban áll a legmelegebb negyedév átlaghőmérsékletével, a termőtalaj homoktartalmával és az agyagfrakció arányával, valamint szignifikáns negatív kapcsolatban a földhőáramlással.”

Az értekezésből hiányzik ez a modell, ha ez eredményként jelenik meg. Ha pedig ez csak az eredményekhez kapcsolható további megállapítás, akkor pedig a hivatkozás hiányzik. Nehéz eldönteni olvasóként.

Válasz

Valóban nem részleteztem a környezeti változók fajtelítettségi indexre gyakorolt hatását leíró lineáris kevert modellt (LMM), ami a módszertani összefoglalóban leírtnak megfelelően az adott eredményre vonatkozó, annak alapjául szolgáló közleményben (Inelova et al., 2024) található meg. Azért döntöttem e megoldás mellett, mert az alkalmazott nagy számú statisztikai

módszer részletes leírása messze meghaladta volna az értekezés kereteit, valamint jelentősen megnehezítette volna az anyag áttekinthetőségét.

51. oldal

*„Az eutróf tavakban például erős a felülről lefelé irányuló hatás a ragadozó és a planktonevő halak körében, amely a planktonfogyasztó halak és a zooplanktonok esetében csökken”
A zooplankton gyűjtőnév, nincs többesszáma.*

Válasz

Valóban a zooplanktonok megfogalmazás helytelen, ami elírás, mindössze egyszer fordul elő, míg a helyes zooplankton kifejezés sok helyen megtalálható a szövegben.

52. oldal

*„Az előzetesen már alkalmazott kvantitatív tápanyagterhelés-becslési módszer szerint.”
Mi ez a módszer pontosan?*

Válasz

Az alkalmazott általam kifejlesztett módszer hivatkozva (Boros, 2021b) megtalálható a szövegben, ami a vízimadarak tápanyagterhelési becslési módszerét jelenti a kontinentális vizekre vonatkozóan.

54. oldal

18. ábra: Mik az egyes kezelések pontosan? Mit jelent a 0, 1, 2 szám az ábrán?

Válasz

A két sorban szereplő és vízszintes vonallal elválasztott számok a kísérleti kezelések különböző mennyiségi kombinációit jelentik, melynek jelentését a tengely alatt szereplő formulával próbáltam szemléltetni, de elfogadom, hogy ez a megoldás nem feltétlenül érthető, és célszerű lett volna ezt szövegesen is kifejteni egy jelmagyarázatban. Bővebben kifejtve a vízszintes tengelyfelíratot: a 0; 2,5; 5; 10 számok a NaHCO_3 (g/L), míg a vízszintes vonal alatt szereplő számok 0; 1; 2 (g/L) a madárürülék koncentrációját jelentik az egyes kezelési egységekben.

56. oldal

*„A bemutatott adatsor szerint a CHL/TP arány átlagos értéke 0,042, míg a tavakban ez átlagosan 0,28–0,29 között változik (Hakanson és Eklund, 2010)”
Milyen tavakra vonatkozik ez a 0,28-0,29 közötti érték?*

Válasz

Håkanson és Eklund 2010-es tanulmánya - mely a Journal of Coastal Research folyóiratban jelent meg - a világ különböző pontjairól származó víztípusokat ölel fel, ezért egy univerzális összefüggésnek tekinthető. A tanulmány lényege, hogy a teljes szalinitási és trofitási gradiens mentén vizsgálja az a-klorofill és a tápelemek (foszfor, nitrogén) kapcsolatát.

67. oldal

„A gild (guild) az egyes környezeti erőforrások formáit hasonló módon hasznosító fajoknak egy funkcionális csoportja (Root, 1967)”

Root eredeti 1967-es definíciója szerint a guild fajok egy csoportja, ahol a csoportot alkotó fajok ugyanazt a környezeti forrást hasonló módon hasznosítják. Ennek értelmében a guildnek semmi köze a funkcionális csoportozathoz, ahol a csoportot alkotó fajok azonos funkciót töltenek be az ökoszisztémában (Blondel, 2003). A két fogalmat gyakran az irodalomban is keverik, tévesen jelenik meg. Blondel, J. 2003: Guilds or functional groups: Does it matter? Oikos 100: 223-231.

Válasz

Külön köszönöm Bírálómnak ezt az elméleti terminológiai megjegyzést, amely hozzájárul a vízimadár-gildek és az anyagforgalmi funkcionális csoportok kapcsolatának, valamint az egyes madárfajok ökológiai szerepének pontosabb megértéséhez.

A nemzetközi irodalomban a két fogalom elkülönítése valóban kritikus elméleti kérdés, ugyanakkor elterjedt az a hibrid szemléletmód, amely a két megközelítést integrálja. Az általam alkalmazott anyagforgalmi csoportosítás az Oláh és munkatársai (2006) által kidolgozott rendszerre épül, amely többek között az úgynevezett anyagforgalmi gildek is definiálja. Ez a tipológia a vízimadarakat részben táplálkozásökológiai sajátosságaik (mint a „gild” alapja, azonos környezeti erőforrás és hasznosítás), részben pedig az ökoszisztéma anyagmérlegére gyakorolt hatásuk (mint a „funkció” alapja) irányba (importőr-exportőr) mentén, egyidejűleg csoportosítja.

Ezt a rendszert fejlesztettem tovább a tápanyagforgalmi funkció kvantifikálása tekintetében a nettó importőr, az importőr-exportőr és nettó exportőr kategóriák alkalmazásával, amely részletesen megismerhető az értekezés alapját képező módszertani közleményben (Boros, 2021a). Amellett hogy megalapozott Bírálóm szakmai felvetése, az Oláh-féle nomenklatúrát megtartva véleményem szerint jelen esetben elfogadható a „tápanyag-transzport gild” elnevezés használata. Ez a terminológia ugyanis integrálja a klasszikus táplálkozási gildek és a funkcionális anyagforgalmi csoportokat egy rendszerbe, amelyek megfeleltetését az 1. számú melléklet tartalmazza. Ennek megfelelően az értekezésben a fogalomhasználat gyakran összetett formában jelenik meg, például: növényevő nettó importőr gild.

77. oldal

„A kettős ökoszisztéma-kontroll miatt a vízimadarak a sós és szikes vizek zászlóshajó ökoszisztéma-indikátorainak is nevezhetők.”

A zászlóshajó fajokat, ökoszisztéma mérnök fajokat és indikátor fajokat és azok definícióit is jól ismeri az ember az irodalomból. De mit ért zászlóshajó ökoszisztéma-indikátor alatt? Mit jelent ez pontosan?

Válasz

Köszönöm Bírálómnak az általam alkalmazott összetett fogalom használatára vonatkozó kérdését. Ez a terminológia az általános és az alkalmazott természetvédelmi ökológia különböző megközelítéseinek szintéziséből ered. Klasszikusan a széles körben használt indikátorfaj/-csoport fogalom olyan szenzitív taxonokat takar, amelyek jelenléte, száma vagy éppen hiánya tükrözi az adott ökoszisztéma valamely jellegzetes tulajdonságát (például szikes vizek esetében a szalinitást vagy a vízszint-dinamikát). Ezzel párhuzamosan a zászlóshajó (flagship) fogalom egyfajta figyelemfelkeltő funkciót tölt be; olyan kiemelt fajokat vagy fajcsoportokat jelöl, amelyek alkalmasak a szakmai közönség, a közvélemény és a döntéshozók figyelmének felkeltésére. E megközelítés alkalmazása jelentősen megkönnyíti a monitorozó rendszerek kidolgozását és fenntartható működtetését, ami alapvető célom volt e fogalomhasználatnál. Értelmezésem szerint tehát a zászlóshajó ökoszisztéma-indikátor olyan faj, illetve fajcsoport, amely ismertsége és társadalmi reprezentációs ereje révén képessé teszi a természetvédelmet az egész ökoszisztéma védelmére, miközben specifikus ökológiai igényei révén egzakt tudományos mutatóként (indikátorként) szolgál a rendszer állapotának nyomon követéséhez.

96. oldal

„A módszerek között pedig egyre inkább helyet kell kapjanak a modern távérzékelési megoldások: mind a madarak (GPS jeladók), mind az élőhelyek állapotának (légi és űrfelvételek) nyomon követése céljából.”

A szikesek ökológiai állapotának meghatározásához milyen élőlény csoportokat kellene figyelembe venni? Ez különbözik-e a sós vizekétől?

Válasz

A vizek ökológiai állapotának meghatározásához használt klasszikus élőlénycsoportok úgy mint a makrofitonok, a fitoplankton és bentosz, a zooplankton, a makroszkopikus vízi gerinctelenek és a madarak, valamint a hagyományos és specifikus módszerek (pl. pikoplankton vizsgálata fluoreszcens mikroszkópi technikával) együttes alkalmazása ezekben a vizekben is alapvető fontosságú bizonyos megkötésekkel. Például a Víz Keretirányelv (VKI) által használt

hagyományos indexek a szikeseken nem alkalmazhatók közvetlenül, hanem egyedi minősítő rendszer kidolgozása szükséges. Emellett az értekezésben részletezett nettó heterotrófia jelentősége okán ezekben a vizekben nagy hangsúlyt kell fektetni a heterotróf mikroszervezetekre is (pro- és eukarióták). A sós és szikes vizek ökológiai sajátosságainak összehasonlítása során megállapítottam, hogy az állandó lúgosságnak jelentős szerepe van például az ökológiai állapot szempontjából meghatározó trofitásban is (pl. hipertróf foszforkínálat), és ezt a különbséget a heterotróf mikroszervezetek szintjén is kimutattuk (Csitári et al., 2022), tehát ezen tényezők tekintetében mindenképpen vannak lehetőségek a kétféle kémiai víztípus élőlény alapú elkülönítésére. Azonban itt is meg kell említeni, hogy a szikesek ökológiai sajátosságai és sokszínűsége miatt a monitorozáshoz szükséges élőlénycsoportok kiválasztásához még további megfontolások illetve vizsgálatok szükségesek, melyhez a disszertációmmal is próbáltam hozzájárulni.

Kérdések

1. „Bírálatomban hiányoltam a valódi kitekintést, ezért az első kérdésem ehhez kapcsolódik: Mik jelenleg a legfontosabb irányvonalak és mik lennének a legsürgetőbb, legfontosabb kutatások, amiket a közeljövőben a szikes/sós tavakban el kellene végezni védelmük, megőrzésük érdekében? A módszerek fejlődése, új módszerek megjelenése (pl. molekuláris módszerek) adhat-e további lendületet ezeknek a kutatásoknak? Ha igen, mely területeken?”

Válasz

Köszönöm Bírálóm észrevételét, a kérdés szervesen kapcsolódik a sós és szikes vizek biológiai tényezők alapján történő elkülönítésének problematikájához. A disszertáció kitekintését az alábbi jövőbeli kutatási irányokkal egészítem ki:

Egyetértek Bírálóm felvetésével, miszerint a jövő ökológiai kutatásainak a modern technológiai lehetőségek és a globális kihívások szintézisére kell épülniük. Védelmük érdekében az egyik legsürgetőbb feladat a szikesek deszalinizációs (édesedési) folyamatainak modellezése a klímaváltozás tükrében. Ez multidiszciplináris megközelítést igényel: a felszín alatti vizek meghatározó szerepe miatt a vízmérleg és a hidrológiai ciklus megértéséhez elengedhetetlen a hidrogeológiai alapfeltárás. Ez még a legjelentősebb szikes vizeink (pl. a Fertő) esetében sem kielégítően ismert, holott a felszín alatti vízutánpótlás minősége és mennyisége alapvetően határozza meg a szikes karaktert adó nátrium-hidrogénkarbonát koncentrációt.

Kulcskérdés továbbá, hogy a mesterséges vízpótlás – mint természetvédelmi beavatkozás – képes-e fenntartani a szikes karaktert, vagy a felhígulás révén hosszú távon az ökoszisztéma gyökeres megváltozását, például a specialista közösségek eltűnését eredményezheti.

A trofikus szintek tekintetében jelenleg a mikrobiális hurok, ezen belül az egysejtű heterotróf plankton összetétele és mennyiségi viszonyai jelentik a legnagyobb fehér foltot. E szervezetek alapvető szerepet játszanak a madarak által bejuttatott szervesanyagok (import funkció) feldolgozásában is, így feltárásuk sürgető feladat az anyagforgalmi modellek pontosításához.

A módszertani fejlődés terén a molekuláris ökológiai eljárások (eDNA, metabarcoding) jelentik a legfontosabb áttörést. Ezen módszerek alkalmazásával lehetővé válhat:

- 1) A szikesek speciális mikrobiális közösségeinek és biogeokémiai folyamatainak (pl. denitrifikáció, metanogenezis) az eddigieknél pontosabb, funkcionális gén-alapú kvantifikálása.
- 2) A trofikus kapcsolatok precíz feltárása: a DNS-alapú ürülékanalízis kiterjesztésével validálható a vízimadarak biomassa-kivonása (export funkció), ami a táplálkozási gildek finomhangolásához elengedhetetlen.
- 3) A „rejtett” biodiverzitás (pl. az üledék tartós pete- és magbankja) kimutatása, ami az időszakos tavak regenerációs képességének (rezilienciájának) záloga, valamint a tartósan kiszáradt területek helyreállításában is jelentős szerepe lehet.
- 4) A vízimadarak anyagforgalmi és biológiai vektor szerepének, valamint a mikrobiális közösséggel való kapcsolatrendszerének jobb megismerése.

Az új technológiák nem váltják ki, hanem új dimenzióba helyezik a klasszikus vízkémiai, florisztikai és faunisztikai módszereket, megalapozva a szikes tavak funkcionális és folyamatorientált megőrzését.

2. Jelenleg a védettség alatt álló felszíni vizek védelme és kezelése elsősorban a makroszkopikus szervezetek (vízimadár, hal, makrofita) védelmére és élőhelyeik fenntartására irányul. Véleménye szerint, mennyiben szolgálja ez valóban a vízterek érdekét, védelmét? Valóban elég csak a makroszkopikus élőlényekkel foglalkozni?

Válasz

Bírálóm kérdése a modern természetvédelem egyik legkritikusabb pontjára tapint rá. A jelenlegi, elsősorban makroszkopikus szervezetekre fókuszáló védelmi gyakorlat szükséges, de

nem elégséges feltétele a víztestek hosszú távú megőrzésének. A makroszkopikus élőlények (pl. vízimadarak) védelme stratégiaiilag fontos, mivel ezek ernyőfajként működnek, melyek közvetett módon védik a teljes életközösséget. Ezzel a társadalmi és politikai támogatottság (finanszírozás) sokkal könnyebben mozgósítható például egy ismert karizmatikus madárfaj, mint egy ismeretlen baktériumtörzs érdekében. A szikeseknél különösen nem elegendő a kizárólagos makroszkopikus szemlélet. Például a nádasok túlzott védelme kedvezhet bizonyos madárfajoknak, de közben a feltöltődési folyamatok felgyorsulásával végzetesen megváltoztathatja a szikes vízterek kémiai karakterét, ami a különleges és védendő közösség ellen hat.

Az ökoszisztémák megfelelő működésének alapja a funkcionális integritás. Ha a természetvédelmi kezelés során kizárólag a makroszkopikus szintekre fókuszálunk, figyelmen kívül hagyhatjuk azokat a korai figyelmeztető jeleket, amelyek az ökoszisztéma kedvezőtlen átalakulásához (pl. deszalinizáció vagy eutrofizáció) vezetnek. Köztudott ugyanis, hogy az energiaáramlás és a tápanyag-transzformáció jelentős része a mikroszkopikus élőlények (pro- és eukarióták) szintjén zajlik. Ezért a jövőben az életközösségek stabilitását fenntartó biogeokémiai folyamatokra alapozott természetvédelmi kezelési terveket kell készíteni, amelyek a taxonómiai biodiverzitás mellett az ökoszisztéma-funkciók hosszú távú megőrzését is szolgálják. Valódi védelmet csak akkor érhetünk el, ha a „látható” biodiverzitást a „láthatatlan” anyagforgalmi folyamatokkal (mikrobiális közösségek) együtt, rendszerszinten kezeljük. Ezen ismeretek bővítéséhez és a folyamatok megértéséhez próbáltam tevőlegesen hozzájárulni a disszertációmban bemutatott eredményekkel is.

Idézett irodalom

Boros, E., 2021a. Classification method for quantification of waterbird nutrient cycling guilds. *MethodsX* 8, 101597. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101597>.

Boros, E., 2021b. Generalized estimation of nutrient loading of waterbirds on inland aquatic ecosystems. *MethodsX* 8, 101465. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101465>.

Boros, E., Ecsedi, Z., Oláh, J. (eds.), 2013. Ecology and Management of Soda Pans in the Carpathian Basin. Hortobágy Environmental Association, Balmazújváros, Hungary.

Boros, E., Inelova, Z., Lánosz, Z., Végvári, Z., 2023. Waterbird guilds predict environmental attributes of inland saline aquatic ecosystems on multi-spatial scales. *Science of the Total Environment* 855, 158845. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158845>.

Csitári, B., Bedics, A., Felföldi, T., Boros, E., Nagy, H., Máthé, I., Székely, A.J., 2022. Anion-type modulates the effect of salt stress on saline lake bacteria. *Extremophiles* 26, 12. <https://doi.org/10.1007/s00792-022-01260-5>.

Haines-Young, R., & Potschin, M. (2010). The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In: Raffaelli, D. G. & Frid, C. L. J. (eds): *Ecosystem Ecology: A New Synthesis*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 110-139.

Inelova, Z., Zapparina, Ye., Mile, O., Boros, E., 2024. Large-scale assessment of characteristic plant species on Eurasian saline and alkaline soda ecosystems. *Ecological Indicators* 166, 112431. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112431>.

Oláh, J., Lakatos, Gy., Kovács, G., Andrikovics, S., Oláh, J., 2006. Waterbird guilds in Hungarian wetlands. Canadian Wildlife Service, Technical Report Series 474, 92–102.

Végezetül tisztelettel újra köszönöm Stenger-Kovács Csilla Bírálómnak a körültekintő opponensi munkáját, elismerő véleményét, a doktori értekezés nyilvános vitára bocsátására tett javaslatát, valamint ezúton kérem a kérdéseire adott válaszaim elfogadását.

Budapest, 2026. február 10.

Tisztelettel:



Boros Emil