
Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar

Környezettudományi Doktori Iskola

Környezetbiológiai Program

Csitári Bianka

AZ OLDOTT ANYAGOK EREDETE ÉS HATÁSA SZIKES TAVAINKBAN

-doktori értekezés tézisei-

Témavezető:

Dr. Felföldi Tamás

egyetemi docens

Külső konzulens:

Dr. Székely Anna J.

egyetemi docens

Doktori Iskola vezető:

Dr. Turányi Tamás

egyetemi tanár

Programvezető:

Dr. Tóth Erika

egyetemi docens



ELTE TTK BIOLÓGIAI INTÉZET MIKROBIOLÓGIAI TANSZÉK

BUDAPEST

2022

1. Bevezetés

A szélsőséges környezeti feltételek egyedi ökoszisztémát hoznak létre, amelyekhez a mikroorganizmusok változatos stratégiákkal alkalmazkodnak (Shu és mtsai, 2022). A szikes tavak magas pH értéke és sókoncentrációja, változó vízmélysége, valamint időszakos kiszáradása kiváló lehetőséget nyújt a mikroorganizmus közösségek számos szélsőséges és változó körülményhez való alkalmazkodásának, és az általuk katalizált tápanyagciklusoknak a tanulmányozására.

Európán belül szikes tavakkal, vagyis magas pH-jú, nátrium- és karbonátionokban gazdag vizes élőhelyekkel a Kárpát-medencében (Magyarország, Ausztria, Szerbia) találkozhatunk. Sótartalmuk az évszak és a vízszint függvényében a hipo- és a mezozalin tartományok között változik (Felföldi és mtsai, 2009; Boros és mtsai, 2014). A régióon belül a szikes tavak fő sókomponense a nátrium-hidrogén-karbonát, nátrium-klorid és a nátrium-szulfát (Boros és mtsai, 2014; Felföldi és mtsai, 2016).

A szikes tavak haloalkalofil prokarióta közösségeknek adnak otthont, amelyek kulcsszerepet játszanak számos olyan az élet szempontjából meghatározó elemkörforgalomnak, mint a szén és a nitrogén ciklus (Sorokin és mtsai, 2015). A sekély tavak átlagos oldott szerves szén (DOC) koncentrációja 6,6 mg/L, ami kétszer olyan magas, mint a mély tavaké (Chen és mtsai, 2015). Ehhez képest a szikes tavak 90 mg/L átlagos DOC-koncentrációval rendelkeznek, ami még a tipikusan magas eutróf tavakhoz, mocsarakhoz vagy lápokhoz hasonlítva is extrémnek számít (Boros és mtsai, 2020). Az oldott szerves anyag (DOM) mennyiségileg a legjelentősebb szerves szénkészlet a vízi rendszerekben (Williamson és mtsai, 1999). A mai napig számos kérdés tisztázatlan a szikes tavak nitrogén körforgalmát illetően. Korábbi kutatások eredményei alapján elmondható, hogy a magas sótartalom hatással van a nitrogén körforgalom oxidatív részére a nitrifikáció gátlásával (Sorokin és mtsai, 2005). Továbbá nem csupán a nitrifikáció, de a nitrogén-fixáció is limitált (Sorokin és mtsai, 2015). A szikes tavak anyagforgalmának ismerete a világ néhány kutatócsoportjának eredményeire korlátozódik.

A kiskunsági szikes tavak számos kutatást inspiráltak korábban, azonban ezek a kutatási kérdések elsősorban (a teljesség igénye nélkül) az ott élő szervezetek és a közösségösszetétel megismerésére és a tápanyagok eredetére irányultak (Szabó és mtsai, 2017; Felföldi, 2020). A meglévő ismereteink alapján számos kérdés merül fel a tavakkal kapcsolatban. Hogyan adaptálódtak a magas sókoncentrációhoz a mikrobák? A só típusa meghatározó szereppel bír-e? Minek köszönhető a magas oldott szerves anyag koncentráció? Az elemek anyagforgalmára

milyen hatással vannak a különleges körülmények? Ezek megválaszolása az alaptudás bővítését szolgálják, illetve a gyakorlati hasznosíthatóságuk sem elhanyagolható.

2. Célkitűzések

1. A sós és szikes tavakban élő baktériumok sós környezethez való adaptációjának vizsgálata, azzal a céllal, hogy meghatározzuk a tavakban előforduló három leggyakoribb fő anion (úgy mint $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$, Cl^- és SO_4^{2-}) hatását. Ennek érdekében szikes és sós tavakból izolált baktériumtörzsekkel sótolerancia tesztek végeztünk különböző sókoncentrációjú és ionösszetételű táplevesekkel.
 - Befolyásolja-e az anion típusa a sós élőhelyeken előforduló baktériumközösségek összetételét, illetve az adaptációt?
2. A szikes tavak extrém magas szerves anyag tartalommal rendelkeznek, azonban ezek forrása kevésbé ismert. Ezért kutatásunk során a szikes tavak DOC és CDOM értékeinek változását és eredetét vizsgáltuk egy zavaros és egy színes szikes tó szezonális monitorozásával, két külön évben. Azt feltételeztük, hogy a szikes tavak CDOM-koncentrációját pozitívan befolyásolja a lokális talajvíz allochton CDOM-koncentrációja és a makrofita borítás mértéke.
 - Mi lehet a szikes tavak magas DOC és CDOM koncentrációjának forrása?
3. A szikes tavak rendkívül magas szerves anyag koncentrációja ismert, viszont a nitrogénformák mennyisége, átalakulási folyamatai, a nitrogén ciklusa és az ebben résztvevő funkciógének mennyisége, továbbá ezek befolyásoló tényezői nem.
 - Milyen mértékben vannak jelen nitrogén-fixációs és ammónia-oxidációs folyamatok a kiskunsági szikes tavakban?

3. Alkalmazott módszerek

3.1 Baktériumtörzsek anionpreferenciája

- Mintavétel különböző ionösszetételű kárpát-medencei sós és szikes tavakból
- A környezeti változók meghatározása (vízmélység, Secchi-mélység, hőmérséklet, pH és szalinitás) helyszíni és laboratóriumi mérésekkel
- Saját tervezésű táptalajok készítése és baktériumtörzsek izolálása

- DNS-kivonás a baktériumtörzsekből, PCR-rel a 16S rRNS gén amplifikálása és a törzsek azonosítása Sanger-szekvenálással (LGC Genomics, Németország)
- Taxonómiai azonosítás az EzBiocloud online szolgáltatás segítségével
- A baktériumtörzsek sótolerancia vizsgálata három különböző sótypust tartalmazó és különböző koncentrációjú táplevesekkel, OD értékek meghatározása abszorbancia méréssel
- Az eredmények értékelése és statisztikai elemzés R program használatával

3.2 A DOM eredete és típusa szikes tavainkban

- Két szikes tó szezonális mintavétele kétheti rendszerességgel nyolc hónapon át
- A minták fizikokémiai paramétereinek (pH, fajlagos elektromos vezetőképesség, vízmélység) szezonális monitorázását helyszíni és laboratóriumi mérésekkel végeztük
- DOC és CDOM koncentráció mérése és az összes szuszpendált szerves anyag (TSS) mennyiségének meghatározása
- A tavak szerves anyag profiljának meghatározása fluoreszcencia gerjesztés-emissziós mátrix spektroszkópia módszerrel
- Adatelemzés MATLAB szoftverrel és R programmal

3.3 A nitrogén különböző formáinak átalakulási folyamatai

- Három szikes tó szezonális mintavétele kétheti rendszerességgel nyolc hónapon át
- Fizikokémiai paraméterek meghatározása (vízmélység, Secchi-átlátszóság, hőmérséklet, pH, oldott oxigéntartalom és fajlagos elektromos vezetőképesség) helyszínen és laboratóriumban
- DOC, TN és ammónia koncentráció mérése laboratóriumi körülmények között
- A vízminták szűrése, DNS-kivonás és a 16S rRNS gén felszaporítása PCR-rel
- A minták baktériumközösségének azonosítása amplicon szekvenálással Illumina Miseq platformon (SciLifeLab, Uppsala)
- Az *amoA* és *nifH* funkciógének relatív kópiaszámának meghatározása qPCR-rel
- Szekvenciaelemzés Mothur szoftverrel
- Adatelemzés és statisztikai elemzés az R program segítségével

4. Eredmények és értékelésük

4.1 Baktériumtörzsek anionpreferenciája

A legtöbb természetes sós tóban a nátriumion a domináns kation (Hammer, 1986), ezért mi csak a különböző oldott anionok hatását vizsgáltuk. Eredményeink alapján a karbonátióknak ($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$) volt a legjelentősebb hatása a növekedésre, mivel a törzsek átlagosan szignifikánsan gyengébb növekedést mutattak ezt az iont tartalmazó tápközegekben, mint a kloridos vagy szulfátosban. Érdekes módon egyik törzs sem a legmagasabb karbonátkoncentrációjú tápközegben szaporodott a legnagyobb mértékben, hanem a közepes koncentrációkon, ami arra utal, hogy a magas karbonátkoncentráció még a karbonáthoz alkalmazkodott mikroorganizmusok számára is kihívást jelent. Az erdélyi tavakból izolált törzsek szignifikánsan jobb növekedést mutattak kloridos tápközegben, mint a karbonátban gazdag tavakból izolált törzsek. Mindeközben a törzsek összességében a szulfátos tápközegben nőttek a legjobban. A legtöbb tesztelt törzs intenzív növekedése nagy szulfát koncentrációban azt sugallja, hogy ehhez az anionhoz való alkalmazkodás gyakori az evolúció során.

Az általunk izolált baktériumtörzsek a sóadaptáció széles skáláját mutatták. Például a szikes tavak régiójából származó törzsek mindhárom vizsgált só különböző koncentrációiban növekedtek, míg az erdélyi törzsek, bár többnyire gyengén nőttek karbonátos közegben, klorid és szulfát tekintetében széles optimumtartományt mutattak. Ez tükrözi a törzsek származási helyeinek sótartalmának térbeli és időbeli változékonyságát. Az egyes élőhelyek törzseinek széles és változatos sótoleranciája azt sugallja, hogy a helyi mikrobiális közösségek jól alkalmazkodnak és ellenállóak az élőhelyükön tapasztalható környezeti változásokkal szemben. Meg kell említeni, hogy összefüggés volt a sóútérésben megfigyelt különbségek és a törzsek taxonómiai hovatartozása között is. Ez nem meglepő, mivel a sótartalom köztudottan az egyik legfontosabb környezeti tényező, amely a mikrobiális közösségek összetételét meghatározza filogenetikailag a sótartalom-preferencia révén (Székely és Langenheder, 2014).

Összefoglalva, eredményeink alátámasztják azt az elképzelést, hogy a sótartalom erős szelekciós tényező és az anion típusának meghatározó szerepe van, azonban azt is kimutattuk, hogy a baktériumok sótoleranciája filogenetikailag nem konzerválódott mélyen és még ugyanazon a baktériumfajon vagy nemzetségen belül is változhat. Továbbá a baktériumok többségének növekedését a magasabb szulfátkoncentráció fokozta.

4.2 A DOM eredete és típusa szikes tavainkban

A két tó szezonális összehasonlítása alapján mindkét tó esetén nagyon magas volt a CDOM és a DOC koncentrációja, Sós-ér esetében ezek a koncentrációk rendkívül magasak voltak. A két tó különbözött a DOM minőségében. A Sós-ér magas HIX index értékkel rendelkezett, ami növényi eredetű DOM-ot jelez, míg a Zab-szék magas FRESH indexe a frissen képződött DOM magas arányára utal.

A Sós-ér CDOM és DOC koncentrációi egyaránt negatívan korreláltak a vízmélységgel a vizsgálati időszak során, ami a tó betöményedésével magyarázható. Ezt támasztja alá a CDOM és a DOC pozitív korrelációja a vezetőképességgel és a pH-val, mivel mindkettő várhatóan növekedni fog a vízszint csökkenésével a szerves ionok növekvő koncentrációja miatt. A zavarosság pozitívan korrelált a DOC-cal, ami ugyancsak a betöményedéssel magyarázható. Másrészt a zavaros Zab-szék esetén a mélység, a CDOM és a DOC közötti összefüggés pozitív volt, ami arra utal, hogy valószínűleg maga a talajvíz volt a CDOM és a DOC elsődleges forrása.

Érdekes módon a CDOM és a DOC eltérően korrelált a pH-val és a vezetőképességgel. A CDOM esetében a korrelációk negatívak voltak. Eközben a DOC esetében az összefüggések pozitívak voltak. Mivel a DOC mind a biológiailag könnyen hozzáférhető és nehezen lebomló szerves szén mérője, addig a CDOM inkább a renitens szerves szén tükrözi. A magasabb vezetőképesség mellett mért nagyobb DOC-tartalom lehetséges magyarázata az lehet, hogy a DOM biológiai lebomlását a tó só tartalma gátolja, ugyanis a só erős mikrobiális inhibitor lehet (Székely és mtsai, 2013). Azonban az is lehetséges, hogy a magasabb DOC, de alacsonyabb CDOM koncentrációk magas vezetőképesség mellett a frissen termelt DOM-ot tükrözik, ami a makrofita borítással együtt a fitoplankton és a mikrobiális közösségek DOM-ra gyakorolt hatására utal. Ezt a magyarázatot erősíti a két tó különböző mikrobaközössége (Szabó és mtsai, 2017), valamint a Zab-szék FI-index csúcsai, amelyek a fitoplankton és a mikrobiális virágzás potenciális indikátorai.

Összességében eredményeink azt mutatják, hogy a talajvíz fontos szerves szénforrás lehet, amelyet figyelembe kell venni a szén-dioxid-háztartás számításánál. Megfigyeltük azt is, hogy a makrofiták nélkülözhetetlen forrásai a szerves szénnek, továbbá a fitoplankton és a mikrobiális közösség DOM-ra gyakorolt hatása számottevő lehet. Végül bebizonyítottuk, hogy a Kárpát-medence szikes tavaiban mért rekordmagas DOC értékek a tavak különleges jellemzőinek kombinációjából ered, mint például a makrofita borításból vagy a tartósan alacsony vízállásból, ami az időjárási anomáliák következménye.

4.3 A nitrogén különböző formáinak átalakulási folyamatai

A kiskunsági szikes tavak az extrém környezeti paramétereknek és a speciális metabolikus folyamatoknak köszönhetően taxonómiailag és funkcionálisan is eltérnek a világ szikes tavaitól (Sorokin és mtsai, 2014; Szabó és mtsai, 2017). Ebben a térségben két típusú szikes tó található, a színes és a zavaros szikesek. Ezen karakterek meghatározzák a tavak prokarióta közösségének összetételét is (Felföldi, 2020). Továbbá kimutattuk, hogy a szikesek környezeti paramétereinek szezonális változás és a baktériumközösség összetételének szezonális változása között is egyértelmű összefüggés található. Hasonló szezonális mintázatot figyeltünk meg mindhárom tó mikrobiális közösségének szerkezetében. Ez az eredmény alátámasztja Szabó és mtsai (2020) ugyanazon tavaknál végzett korábbi vizsgálati eredményeit.

Annak ellenére, hogy számos tápanyag koncentrációja magas egész évben (pl. a korábban tárgyalt oldott szerves széné) a N/P arány alacsony, feltételezhetően ez részben az ammónia lúgos környezetben történő elillanásából adódik (Boros és mtsai, 2008). Az általunk kapott szignifikáns összefüggést a pH és NH₃ koncentráció között korábbi kutatások is igazolták (Brennan, 2011).

A nitrogén körforgalom folyamataiban (nitrogén-fixáció és nitrifikáció) résztvevő funkciógének (*nifH* és *amoA*) alacsony relatív kópiaszáma is arra utal, hogy más tavak általános nitrogén körforgalmától a szikes tavaké eltér. A nitrogénciklus feltehetően részben gátolva van, például a nitrifikáció magas sókoncentrációnál megszűnik (Sorokin és mtsai, 1998), ami magyarázhatja az esetünkben is megfigyelt alacsony *amoA* relatív kópiaszámot. Illetve mivel a nitrogén-fixáció energiaigényes folyamat, ezért valószínűsíthető, hogy a nitrogén más formában kerül a környezetbe, például a vándorló madarak ürüléke által (Boros és mtsai, 2021), amely jellemzően ureában gazdag és hasznosítására kevesebb energiabefektetést igényel a mikrobáktól. Egy másik lehetséges magyarázat, hogy az ezen tavakban általunk is mért oly magas szerves anyag tartalomtól kerül hasznosításra. Ezt az utóbbi elméletet erősíti az a tény is, hogy a szekvenálási eredmények alapján a szerves nitrogént hasznosító *Nitriliruptor* nagy arányban volt jelen. Megfigyeltük ezen túl azt is, hogy a *nifH* gén relatív kópiaszáma és a TN koncentrációja között negatív korreláció van, vagyis a nitrogénkötő szervezetek a nyári időszakban kevésbé játszanak szerepet. Ezt magyarázhatja az, hogy ebben az időszakban más oldott anyagokhoz hasonlóan mind a szerves és szervetlen nitrogénformák betöményednek és az energiaigényes nitrogén-fixáció irrelevánssá válik. Így nem véletlen, hogy nitrogénfixálók helyett a szerves nitrogént hasznosító szervezetek dominálnak a vizsgált szikesek prokarióta közösségeiben.

Összességében elmondható, hogy a szikes tavak baktériumközösségének összetételét a szezonális és ezáltal a környezeti paraméterek megváltozása (pl. pH) nagymértékben befolyásolja. Az alacsony *amoA* és *nifH* gének relatív kópiaszáma a kiskunsági szikes tavak sajátos nitrogén körforgalmára utal, amelyben feltételezhetően a nitrifikációs folyamatok gátoltak és a mikrobák a nitrogénfixálással szemben a szerves nitrogén hasznosítását részesítik előnyben.

5. Az értekezés tézisei

1. Befolyásolja-e az anion típusa a sós élőhelyeken előforduló baktériumközösségek összetételét, illetve az adaptációt?

Az eltérő sóösszetételű sós és szikes tavakból izolált **baktériumtörzsek sótoleranciája nemcsak a közeg sókoncentrációjától, hanem a só anionösszetételétől is függ. Továbbá a törzsek növekedési képessége és anionpreferenciája összefügg a természetes élőhelyük anionösszetételével.** A kloridot tartalmazó tavakból izolált baktériumtörzsek többsége a nagyobb kloridkoncentrációjú tápközeget, míg a jelentős mennyiségű karbonátsót tartalmazó szikes tóból izolált törzsek karbonátot tartalmazó tápközeget részesítették előnyben. Továbbá a legtöbb törzs növekedését a szulfát elősegítette, függetlenül azok eredetétől.

2. Mi lehet a szikes tavak magas DOC és CDOM koncentrációjának forrása?

A Kárpát-medence szikes tavaiban mért rekordmagas DOC értékek (0,5-1 g/L) a tavak különleges jellemzőinek kombinációjából ered, mint például a makrofita borításból vagy a tartósan alacsony vízállásból, ami az időjárási anomáliák következménye. A szikes tavak CDOM variációját nagymértékben befolyásolja a talajvíz és a makrofita borítás, illetve a fitoplankton és a mikrobiális közösség DOM-ra gyakorolt hatása számottevő lehet. Továbbá kimutattuk, hogy a tavak a DOC és CDOM koncentrációinak változása összefügg a pH, a vezetőképesség és a vízmélység változásaival, és feltehetően befolyásolják a hidroperiódusok éves változásai és a tó belső tulajdonságai is, mint például a zavarosság.

3. Milyen mértékben vannak jelen nitrogén-fixációs és ammónia-oxidációs folyamatok a kiskunsági szikes tavakban?

A szikes tavak nitrogén ciklusa eltér a tavak általános nitrogén ciklusától. **A nitrogén-fixációt kódoló *nifH* gén és az ammónia-oxidációért felelős *amoA* gén relatív kópiaszáma alacsony volt, míg a szerves nitrogén hasznosítására képes mikrobák relatív abundanciája magas volt. Továbbá szignifikáns negatív korrelációt figyeltünk meg a nitrogén-fixáció**

funkciógén relatív kópiaszáma és az összes nitrogén koncentrációja között. Így elmondható, hogy a szezonálisnak és a tavak nyári betöményedésének hatása volt a nitrogén körforgalomra.

Irodalomjegyzék:

- Boros, E., Nagy, T., Pigniczki, Cs., Kotymán, L., V.-Balogh, K., Vörös, L. (2008). The effect of aquatic birds on the nutrient load and water quality of soda pans in Hungary. *Acta Zool. Acad. Sci. Hung.* 54, 207–224.
- Boros, E., Horváth, Zs., Wolfram, G., Vörös, L. (2014). Salinity and ionic composition of the shallow astatic soda pans in the Carpathian Basin. *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.* 50, 59–69. <https://doi.org/10.1051/limn/2013068>.
- Boros, E., Balogh, K.V., Csitári, B., Vörös, L., Székely, A.J. (2020). Macrophytes and groundwater drive extremely high organic carbon concentration of soda pans. *Freshw. Biol.* 65, 1555–1568. <https://doi.org/10.1111/fwb.13521>.
- Boros, E., Takács, A., Dobosy, P., & Vörös, L. (2021). Extreme guanotrophication by phosphorus in contradiction with the productivity of alkaline soda pan ecosystems. *Science of The Total Environment*, 793, 148300.
- Brennan, R. B. (2011). Chemical Amendment of Dairy Slurry for the Control of Phosphorus in Runoff from Grassland.
- Chen M., Zeng G., Zhang J., Xu P., Chen A. & Lu L. (2015). Global Landscape of Total Organic Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Lake Water. *Scientific Reports* 5, 1–7.
- Felföldi, T., Somogyi, B., Márialigeti, K., & Vörös, L. (2009). Characterization of photoautotrophic picoplankton assemblages in turbid, alkaline lakes of the Carpathian Basin (Central Europe). *Journal of Limnology*, 68(2), 385–395. <https://doi.org/10.3274/JL09-68-2-21>
- Felföldi, T., Ramganes, S., Somogyi, B., Krett, G., Jurecska, L., Szabó, A., Vörös, L., Márialigeti, K., Máthé, I. (2016). Winter planktonic microbial communities in highland aquatic habitats. *Geomicrobiol. J.* 33, 494–504. <https://doi.org/10.1080/01490451.2015.1059523>.
- Felföldi, T., (2020). Microbial communities of soda lakes and pans in the Carpathian Basin: a review. *Biol. Fut.* 71, 393–404. <https://doi.org/10.1007/s42977-020-00034-4>.
- Hammer, U.T. (1986). Saline Lake Ecosystems of the World. Dr W. Junk Publishers, Dordrecht.
- Shu, W. S., & Huang, L. N. (2022). Microbial diversity in extreme environments. *Nature Reviews Microbiology*, 20(4), 219-235.
- Sorokin, D. Y., Muyzer, G., Brinkhoff, T., Kuenen, J. G., Jetten, M. S. M. (1998). Isolation and characterization of a novel facultatively alkaliphilic Nitrobacter species, *N. alkalicus* sp. nov. *Arch Microbiol* 170:345–352
- Sorokin, D. Y., Kuenen, J. G. (2005). Alkaliphilic chemolithotrophs from sodas lakes. *FEMS Microbiol Ecol* 52:287–295
- Sorokin, D. Y., Berben, T., Melton, E. D., Overmars, L., Vavourakis, C. D., Muyzer, G. (2014). Microbial diversity and biogeochemical cycling in soda lakes. *Extremophiles*, 18(5), 791–809. <https://doi.org/10.1007/s00792-014-0670-9>
- Sorokin, D. Y., Banciu, H. L., & Muyzer, G. (2015). Functional microbiology of soda lakes. *Current Opinion in Microbiology*, 25, 88–96. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2015.05.004>
- Szabó, A., Korponai, K., Kerepesi, C., Somogyi, B., Vörös, L., Bartha, D., et al. (2017). Soda pans of the Pannonian steppe harbor unique bacterial communities adapted to multiple extreme conditions. *Extremophiles*, 21, 1–11. <https://doi.org/10.3389/10.1007/s00792-017-0932-4>.
- Szabó, A., Korponai, K., Somogyi, B., Vajna, B., Vörös, L., Horváth, Zs., Boros, E., Szabó-Tugyi, N., Márialigeti, K., Felföldi, T. (2020). Grazing pressure-induced shift in planktonic bacterial communities with the dominance of acIII-A1 actinobacterial lineage in soda pans. *Sci. Rep.* 10, 19871. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76822-8>.
- Székely, A. J., Berga, M., Langenheder, S. (2013). Mechanisms determining the fate of dispersed bacterial communities in new environments. *ISME Journal*, 7(1), 61–71. <https://doi.org/10.1038/ismej.2012.80>
- Székely, A. J., Langenheder, S. (2014). The importance of species sorting differs between habitat generalists and specialists in bacterial communities. *FEMS Microbiol. Ecol.* 87, 102–112. <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12195>.
- Williamson, C. E., Morris, D. P., Pace, M. L., Olson, O. G. (1999). Dissolved organic carbon and nutrients as regulators of lake ecosystems: Resurrection of a more integrated paradigm. *Limnology and Oceanography* 44, 795–803.

A doktori értekezés témájában megjelent publikációk

- 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(1), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00792-022-01260-5>
- Boros, E., Balogh, K. V., **Csitári, B.**, Vörös, L., Székely, A. J. (2020). Macrophytes and groundwater drive extremely high organic carbon concentration of soda pans. *Freshw Biol* 65:1555–1568. <https://doi.org/10.1111/fwb.13521>
- Csitári, B.**, Szabó, A., Bedics, A., Becker, B., Korponai, K., Boros, E., Vörös, L., Somogyi, B., Felföldi, T. (2018). Adatok a szikes tavaink nitrogénforgalmában feltételezhetően szerepet játszó planktonikus baktériumok megismeréséhez. *Hidrológiai Közöny*. 98: 1 pp. 71-76. , 6 p.

Egyéb publikációk

- Csitári, B.**, Fikó, D. R., Kovács, E., Szabó, A., Jurecska, L., Mentés, A., Tánicsics, A., Máthé, I., Felföldi, T. (2016). Fenolos vegyületek mikrobiológiai lebontásának vizsgálata természetes és mesterséges környezetekben. *Hidrológiai Közöny*, 96: Különszám pp. 26-31., 6 p.
- Dózsa-Farkas, K., **Csitári, B.**, Felföldi, T. (2017). A new Cernosvitoviella species (Clitellata: Enchytraeidae) and its comparison with other Cernosvitoviella species from Sphagnum mires in Hungary. *Zootaxa*. Apr;4254(3):322-338. DOI: 10.11646/zootaxa.4254.3.2. PMID: 28609959
- Mentés, A., Szabó, A., Somogyi, B., Vajna, B., Tugyi, N., **Csitári, B.**, Vörös, L., Felföldi, T., (2018). Differences in planktonic microbial communities associated with three types of macrophyte stands in a shallow lake, *FEMS Microbiology Ecology*, Volume 94, Issue 2, fix164, <https://doi.org/10.1093/femsec/fix164>
- Urrutia-Cordero, P., Langenheder, S., Striebel, M., Eklöv, P., Angeler, D. G., Bertilsson, S., **Csitári, B.**, Hansson, L. A., Kelpsiene, E., Laudon, H., Lundgren, M., Osman, O. A., Parkefelt, L., Hillebrand, H. (2021). Functionally reversible impacts of disturbances on lake food webs linked to spatial and seasonal dependencies. *Ecology* 0–3. <https://doi.org/10.1002/ecy.3283>
- Münzner, K., Langenheder, S., Weyhenmeyer, G. A., **Csitári, B.**, Lindström, E. S. (n.d.) Carbon dioxide reduction by photosynthesis undetectable even during phytoplankton blooms in two lakes (publikálás alatt)
- Márton, Zs., **Csitári, B.**, Horváth, Zs., Boros, E., Felföldi, T., Szabó, A., Székely, A. J. (n.d.) The interplay of the deterministic seasonal changes and stochastic events determine the structure and interactions of soda pan planktonic communities (publikálás alatt)