

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**A környezeti szélsőségek, a természetvédelmi oltalom és a
területhasznosítás szerepe a kovaalga jellegek közösségszintű
változásában**

Kókai Zsuzsanna

Témavezetők:

Dr. Török Péter

Dr. Bácsiné Dr. Béres Viktória



DEBRECENI EGYETEM

Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola

Debrecen, 2021

1. Bevezetés

„Kevés gyönyörűbb dolog van a kovamoszatok parányi kovahéjainál – vajon azért teremtették volna ezeket is, hogy a mikroszkóp erős nagyításában megvizsgáljuk és csodáljuk őket?” - teszi fel a kérdést Charles Darwin (1859), amikor *A fajok eredete* c. művében a szépség hasznáról elmélkedik. Ezek a mikroszervezetek valóban lenyűgöző morfológiai változatossággal bíró alacsony csoportot alkotnak, és a kovavázak különleges, egyedi felszíni mintázatának tanulmányozása segít minket hozzá a fajok pontos azonosításához. Alaki sokféleségük emellett kiterjed a vázak formavilágára és a méretbeli változatosságra egyaránt. A legapróbbaktól (*Minidiscus comicus* 1,9 µm; Jewson et al. 2016) az egészen nagyméretű taxonokig (*Ethmodiscus rex* 0,69-1,9 mm; Rivera et al. 1989) benépesítik a kontinentális vizeket és a Világóceánt egyaránt.

Az alapvető életforma típusok, mint például az egy- vagy többsejtűség, a fonalas felépítés, vagy a láncképzés mindkét nagy csoportban, azaz a lebegő (planktonikus) és bevonatalkotó (bentikus) kovaalgák körében is megjelenik, csak eltérő arányban (Rimet & Bouchez 2012). A bentikus taxonokat mindezek mellett további életformabeli sokszínűség jellemzi, amely az aljzathoz való tapadás erősségét, valamint a biofilmben betöltött helyét jelöli ki a fajoknak.

A különböző morfológiai sajátosságokkal rendelkező taxonok különböző niche-t töltenek be az adott ökoszisztémában. Ennek azért van kiemelt jelentősége, mert minél változatosabb egy közösség trait-összetétele, annál nagyobb funkcionális diverzitással jellemezhető. Ez a trait-szintű változatosság pedig alapvető fontosságú az ökoszisztéma funkciók megfelelő működése, így például a produktivitás szempontjából, valamint az inváziókkal szembeni ellenállóképesség tekintetében egyaránt (Mason et al. 2005).

Napjainkban a negatív környezeti hatások közül az egyik legnagyobb fenyegetést a klímaváltozás jelenti, melynek frekvenciája az utóbbi években erősödött fel igazán a Kárpát-medencében, különösen a vizeinket érintő szélsőséges vízhozam változások kapcsán. A nemcsak kisméretű vízfolyásokon, hanem a nagy folyóinkon is mind gyakrabban tapasztalható villámáradás mellett az egyre forróbb és szárazabb nyarak hatására régióinkban is megfigyelhető a vízfolyások vízhozamának drasztikus csökkenése, szélsőséges esetben a víztestek kiszáradása. Így hosszú távon azzal a veszéllyel kell számolnunk, hogy vizeink tipológiája megváltozik, és a száraz, mediterrán területekhez hasonlóan az időszakos vízfolyások jelenléte hazánkban is természetessé válik (B-Béres et al. 2019). Ennek következményeként pedig várhatóan a mi közösségeink is a mediterrán régiókat jellemző közösségek mintájára fognak átalakulni, a pionír, és/vagy kiszáradást indikáló fajok dominanciájával (B-Béres et al. 2019, Várbíró et al. 2020).

A fitobenton taxonómiai és funkcionális összetételét jelentősen befolyásoló, ill. átalakító klimatikus jelenségek (éghajlati zónák eltolódása, éves átlaghőmérséklet növekedése, csapadékeloszlás jelentős változása) additív hatása révén pedig a bevonatalkotó közösségekben lejátszódó folyamatok a teljes ökoszisztémára hosszútávú hatást gyakorolhatnak (Vörösmarty et al. 2010).

1.1. Vizsgálataink és hipotézisek

Munkánk során azt vizsgáltuk, hogy a különböző jellegek illetve jellegkombinációk milyen környezeti feltételekkel mutatnak összefüggést, vagyis hogy milyen lesz a közösségen belül a trait-eloszlás különböző, akár szélsőséges körülmények között.

1. A Passy által 2007-ben létrehozott kovaalga guildek és a szélsőséges vízhozam-változás kapcsolatát a Sebes-Körösön vizsgáltuk (B-Béres et al. 2014).

2. A Berthon és munkatársai által 2011-ben létrehozott kovaalga méretkategóriák, valamint a halofil taxonok közösségen belüli eloszlása és a szélsőséges időjárási körülmények (nyári aszály) közötti kapcsolatot alföldi vízfolyásokon vizsgáltuk (Kókai et al. 2015).

3. A Passy (2007) guild-felosztását átdolgozó Rimet & Bouchez (2012) –rendszer és az imént említett méretkategóriákat ötvözve kutatócsoportunk kombinált öko-morfológiai csoportosítási rendszert dolgozott ki (B-Béres et al. 2016), melynek környezeti függését validáltuk 85 vízfolyásból gyűjtött, összesen 865 mintát tartalmazó adatbázison (B-Béres et al. 2017).

4. Ezt követően pedig azt vizsgáltuk, hogy milyen trait-eloszlás jellemzi a Tisza-tó különböző szintű védettséggel és hasznosítással bíró medencéinek bentikus kovaalga közösségét (Kókai et al. 2019).

Az alábbi konkrét hipotéziseket fogalmaztuk meg az egyes vizsgálatok kapcsán:

1. A kovaalga guildek és a szélsőséges vízhozam közötti összefüggésekkel kapcsolatban a következőket feltételeztük:

(i) A kovaalga guildek közösségen belüli eloszlását a vízhozam jelentősen befolyásolni fogja; az alacsony profilú guild tagjai az áradással kapcsolatos környezeti tényezőkkel, míg a magas profilú guild tagjai az alacsony vízállással kapcsolatos tényezőkkel mutatnak majd szoros összefüggést;

(ii) A szárazság miatt a mederben képződött, jól elkülöníthető állóvízi szegmensek (medencék) kovaalga közösségének guild összetétele jelentősen el fog térni a vízfolyás áramló szakaszának közösségétől. Míg az állóvízi szegmenseket a magas profilú, kismértékű áramlást preferáló guild fogja jellemezni, addig az áramló szakaszt az alacsony profilú és mozgékony guild.

2. A fitobenton közösségek összetételének és diverzitásának jelentős mértékű változását feltételeztük a vízszint jelentős csökkenésének, ill. a tápanyag és/vagy vezetőképesség növekedésének hatására:

(i) a sejtméret szerinti összetétel a szélsőséges jellegek (kicsi, ill. nagy sejtméret) irányába fog változni, a diverzitás pedig csökkenni fog;

(ii) a halofil fajok aránya és taxonszáma növekedni fog.

3. A szakirodalomban hivatkozott háromféle guild felosztást alapul véve, a kombinált öko-morfológiai csoportosítási rendszer validálása során azt vártuk, hogy

(i) a gyakori és/vagy nagy arányban előforduló planktonikus fajok jelentősen befolyásolják majd a kombinált kategóriák és a környezeti háttérváltozók közti kapcsolatot;

(ii) az ökológiai szempontból megalapozott módosítások (átsorolások) az egyes kategóriák és a környezeti változók közti korrelációt befolyásolni fogják, az átsorolt taxonok közösségen belüli gyakoriságától függően.

4. Feltételeztük, hogy a Tisza-tó medencéinek különböző szintű védettsége és egymástól eltérő jellegű, ill. intenzitású hasznosítása jelentős hatással van a perifiton közösségek mind faji, mind jelleg alapú összetételére. Ez alapján azt vártuk, hogy

(i) a medencék kovaalga közösségének taxonómiai és trait-összetétele különbözik egymástól;

(ii) a legkisebb taxonómiai és funkcionális diverzitást a legzavartabb Abádszalóki-öbölben fogjuk tapasztalni, a legdiverzebb közösségeket pedig a közepes intenzitású hasznosítással jellemezhető medencékben találjuk majd.

2. Anyag és módszer

2.1. Mintavétel és feldolgozás

Első vizsgálatunkban a bevonat- és vízmintákat a Sebes-Körösből (típus 7L) gyűjtöttük Körösszakálnál 2012. április-november között havi gyakorisággal. 2012-ben a nyár és az őszi extrém száraz volt hazánkban (web 1), ezért számos alföldi vízfolyásunk, köztük a Sebes-Körös vízhozama is drasztikusan lecsökkent. A nagyon alacsony vízhozam következtében különböző áramlási viszonyokkal jellemezhető szegmensek alakultak ki őszi a folyómederben. A még folyamatos „vízszál” (áramló szegmens) és a part közötti területen rendkívül lassú folyású, kvázi állóvízi szegmensek alakultak ki, melyek egymással összeköttetésben álltak. Az őszi időszakban ezekből az állóvízi szegmensekből is gyűjtöttünk bevonatmintákat.

A 2012-es év nyári-őszi csapadékhiányos időszakában jellemző drasztikus vízhozam csökkenés más alföldi vízfolyások esetében is megfigyelhető volt. Második vizsgálatunk során 15 különböző méretű (6S, 6M, 7L) síkvidéki víztestből gyűjtöttünk bevonat- és vízmintát tavasszal és őszi.

Harmadik vizsgálatunkhoz 85 síkvidéki vízfolyásból (4L, 5M, 6S, 6M, 7L, 8N) összesen 865 kovaalga és vízmintát gyűjtöttünk összesen 137 mintavételi helyen 2007-2015 között, áprilistól október végéig, minimum kétszer egy évben (tavasszal és őszi).

Negyedik vizsgálatunk helyszíne a különösen gazdag élővilágnak otthont adó Tisza-tó (Kiskörei-tározó) volt, amit négy, különböző módon hasznosított medence alkot: a nagymértékben védett Tiszavalki-medence, a közepesen védett Poroszlói- és Sarudi-medence, és az alacsony védelmi szinttel, ill. nagy rekreációs aktivitással jellemezhető Abádszalóki-öböl. Epifitikus kovaalga mintát kétszer gyűjtöttünk egy évben, júniusban és augusztusban, négy éves periódusban (2014-2017), a tározó mind a négy medencéjéből.

A mintavételek helyszínén, mind a négy vizsgálat során mértünk víz hőmérsékletet, oldott oxigént, pH-t és vezetőképességet hordozható mérőműszer segítségével (Multi 350i-WTW, Germany). A további – vizsgálatonként meghatározott – környezeti háttérváltozók méréséhez gyűjtött vízmintákat hűtőtáskában (4°C-on) szállítottuk laboratóriumba.

A fitobenton minták gyűjtése és tartósítása az MSZ EN 13946:2003 szabványnak megfelelően történt, mintavételként 5db aljzatról. A bevonatmintákat a mintavétel helyszínén nátrium-acetát mentes Lugol-oldattal tartósítottuk. A tisztított mintákat megfelelő

koncentrációra hígítva (10-15 valva/látómező 1000×-es nagyításon), és Naphrax gyantába ágyazva tartós preparátumokat készítettünk belőlük. A minták határozása Leica DMRB kutatómikroszkóppal, Leica PL Fluotar objektívvel történt 1000-1600×-os nagyításon, legalább 400 valva azonosításáig (MSZ EN 14407:2004).

2.2. Az adatok feldolgozása és elemzése

Első vizsgálatunkban a kovaalga fajok guildekbe történő besorolása Passy (2007) alapján történt, kiegészítve ezt a hármas felosztást a planktonikus kategóriával. Vagyis a taxonokat összesen négy kategóriába (alacsony profilú, magas profilú, motilis és planktonikus) soroltuk. A környezeti háttérváltozók és a bentikus közösség fajösszetétele közötti összefüggések tanulmányozásához főkomponens analízist (PCA), kanonikus korrespondancia analízist (CCA), illetve részleges kanonikus korrespondancia analízist (DCA) végeztünk.

Második vizsgálatunk során a taxonokat sejttérfogat szerint különítettük el, és öt kategóriába soroltuk be őket (Berthon et al. 2011). Az egyes taxonok sejttérfogat értékeinek megadásához Rimet & Bouchez (2012) munkáját használtuk. A taxonokat van Dam et al. (1994) alapján soroltuk halofil és nem-halofil kategóriákba. A környezeti háttérváltozók validációjához PCA, a kovaalga közösség összetétele és a validált környezeti faktorok közötti összefüggések tanulmányozásához DCA analízist végeztünk. A teljes fajlistára vonatkozó prezencia-abszencia adatok bevonásával nem metrikus többdimenziós skálázást (NMDS) futtattunk le. A közösségek diverzitásának tanulmányozásához egyenletességet számoltunk.

A harmadik vizsgálatban a kombinált öko-morfológiai funkcionális csoportokkal dolgoztunk. A kombinált csoportosítási rendszer alapja, hogy a kovaalga guild kategóriákhoz sejttérfogat kategóriákat rendelünk (B-Béres et al. 2016). Mindhárom szakirodalomban hivatkozott rendszerre elvégeztük a kombinált öko-morfológiai csoportosítást. A környezeti faktorok és a 3 féle csoportosítási rendszer közötti korrelációt CCA-val vizsgáltuk. Emellett Monte-Carlo permutációs tesztet végeztünk annak meghatározására, hogy a kapott mintázat szignifikánsan eltér-e a randomtól.

A negyedik vizsgálatban hét jellemző kovaalga trait-et vontunk be az elemzésbe, melyek a következők voltak: a valva hossz/szélesség aránya (L/W; Stenger-Kovács et al. 2018), a sejttérfogat (S1-S2; Berthon et al. 2011), a mozgás (nem mozgó, lassan mozgó, gyorsan mozgó; Rimet & Bouchez 2012), a pionír jelleg (Rimet & Bouchez 2012); a tapadás erőssége (gyengén, közepesen vagy erősen tapadó; Rimet & Bouchez 2012), a sejtszerveződés (egysejtű, fonalas, kolóniális; Rimet & Bouchez 2012), és a guildek (alacsony profilú, magas profilú, motilis, planktonikus; Passy 2007, Rimet & Bouchez 2012). A közösség összetétele és a környezeti paraméterek közti kapcsolat tanulmányozásához redundancia analízist (RDA) végeztünk. Monte-Carlo permutációs tesztet végeztünk annak eldöntésére, hogy a kapott mintázat szignifikánsan eltér-e a randomtól. A vizsgált kovaalga traitek szezonális és térbeli eloszlását főkomponens analízis (PCA) segítségével vizsgáltuk. A diverzitás tér- és időbeli karakterisztikájának illetve a medencék ökológiai állapotának összehasonlításához egyutas ANOVA-t használtunk. A leggyakoribb taxonok arányának kifejezéséhez Berger-Parker diverzitást számoltunk, a medencék funkcionális diverzitását pedig Rao-indexszel fejeztük ki.

Az EU VKI előírásainak megfelelően (2000/60/EK) a vizsgálatba vont vízfolyások esetében IPSITI kovaalga indexet, a Tisza-tó esetében MIL kovaalga indexet számoltunk az ökológiai állapotértékelés során.

3. Eredmények és értékelésük

3.1. Kovaalga guild – szélsőséges vízhozam

A kovaalga guildok arányainak szezonális dinamikáját a Sebes-Körösön követtük nyomon. A folyó vízhozamában bekövetkező szélsőséges változások alapvetően megváltoztatták a közösségszerkezetet a vizsgálat ideje alatt, alátámasztva hipotézisünket. Vizsgálatunkban a zavarástűrő alacsony profilú guild érzékenyen, pozitívan reagált a fizikai (áradás) ill. biotikus zavarás (legelés) által generált szélsőséges viszonyokra, ezekben az időszakokban egyedszám-növekedést tapasztaltunk a guilden belül, igazolva a szakirodalomban leírt (Passy 2007) guild-preferenciákat.

Ellenben a változások irányára vonatkozó előfeltevéseinket, vagyis azt, hogy az egyes guildok arányát hogyan fogja befolyásolni a vízhozam-változás, csak részben támasztották alá eredményeink. Ez alapján pedig arra a következtetésre jutottunk, hogy bizonyos alacsony profilú fajok megjelenése és gyakorisága nem a tápanyagtartalommal áll szoros összefüggésben, hanem leginkább a zavarással. Így a tápanyaggal kapcsolatos gyenge összefüggés számos esetben jellemzően nem magának a tápanyagtartalomnak köszönhető, hanem annak, hogy azok a vizek, amelyekben a fizikai zavarás magas, jellemzően alacsony tápanyagtartalommal bírnak (pl. hegyi patakok – Dong et al. 2016, Jamoneau et al. 2017; áradásos időszakok – Ruwer et al. 2018). A mi eredményeink is ezt látszanak alátámasztani.

A magas profilú guildbe tartozó fajokat a fizikai zavarással szembeni érzékenység és magas tápanyagigény jellemzi (Passy 2007, Rimet & Bouchez 2012). Ezzel összhangban mi azt feltételeztük, hogy az erős fizikai zavarást jelentő áradás idején a guild aránya alacsony lesz, a vízhozam csökkenésével és a tápanyagtartalom növekedésével azonban a magas profilú fajok gyakorisága emelkedni fog. Eredményeink igazolták ezt a feltevést, ugyanis a magas profilú guild aránya jellemzően alacsonyabb vízhozam és magasabb tápanyagtartalom mellett volt kiemelkedő.

Az egyes fajok, ill. funkcionális csoportok adott víztérben való megjelenését, ill. arányát az áramlási viszonyok nagyban befolyásolják (Ács et al. 2003), ezért jelentős különbséget feltételeztünk a különböző áramlási viszonyokkal jellemezhető szegmensek kovaalga közösségének összetételében, miszerint a zavartabb áramló szegmensekben az alacsony profilú, a zavarás által kevésbé érintett állóvízi szegmensekben pedig a magas profilú és motilis fajok lesznek jelen nagyobb arányban. Eredményeink ezt a feltételezést csak részben támasztották alá, ráirányítva a figyelmet a guild-konceptió finomításának szükségességére. Ugyanis azt tapasztaltuk, hogy az egyes guildok és a környezeti változók közötti összefüggéseket, melyek az eredeti leírásban (Passy 2007) szerepelnek, guildenként más-más súllyal határozza meg a tápanyag-preferencia és a fizikai zavarás. Egyrészt fontos figyelembe venni, hogy a két tényező (zavarás és tápanyag) milyen kapcsolatban van egymással, másrészt azt is, hogy ezek együttesen hogyan hatnak az adott guild közösségen belüli arányára.

Az IPSITI kovaalga index értéke szoros összefüggést mutatott a vízhozam változásával. Az alacsony tápanyagtartalommal jellemezhető áradás során magasabb index értékeket

tapasztaltunk, mint azt követően az alacsony vízhozammal és magas tápanyagtartalommal bíró időszakban. Az álló- és folyóvízi szegmensek index értékei jelentős eltérést nem mutattak, ugyanakkor a folyóvízi minták az állóvízieknél rendre magasabb IPSITI-t értek el néhány jó ökológiai állapotot indikáló faj dominanciájának köszönhetően.

3.2. Sejtméret és sótűrés – nyári aszály

A sejtméret kategóriákon alapuló vizsgálatunkat jelentős vízszint csökkenéssel érintett alföldi vízfolyások fitobenton közösségén végeztük el.

Munkánk során feltételeztük, hogy az aszály miatt a vezetőképességben bekövetkező változás, pontosabban annak az emelkedése a halofil fajok arányának és taxonszámának növekedéséhez fog vezetni. Eredményeink alátámasztották ezt a feltételezésünket, ugyanis a halofil fajok száma a tavaszihoz képest közel duplájára emelkedett ősze, illetve a mintákban talált 31 halofil fajból 15 csak az őszi mintákban volt jelen.

Az eredmények alátámasztották azt a feltételezésünket is, miszerint a nyári aszályval összefüggő őszi vízszintcsökkenés jelentős mértékben meg fogja változtatni a közösség sejtméret szerinti összetételét, mégpedig a szélsőséges jellegek, jelen esetben a kis és nagy méretkategóriák irányába. A vízszint csökkenésének hatására a vizsgált víztestekben növekedett a tápanyagtartalom és a vezetőképesség, ami kedvező körülményeket teremtett a mozgékony, nagy tápanyagigényű, ruderális fajoknak – melyek közül számos kisméretű fajjal találkoztunk az őszi mintavételi időszakban – és a nagyméretű, mozgékony, halofil taxonoknak egyaránt (Padisák 2001, Passy 2007, Ziemann et al. 2001, Zalat 2002). Ugyanakkor a kisméretű, alacsony profilú taxonok megjelenésének is kedveztek ezek a körülmények. Ezen fajok megjelenését nem elsősorban a tápanyag mennyisége határozza meg, hanem egyéb olyan körülmények, mint például a fizikai zavarás vagy a fényellátottság. Esetünkben a fizikai zavarást feltehetően a növényevő, legelő makroszkopikus vízi gerinctelenek „predációs” nyomása keltette (Jørgensen & de Bernardi 1998, Jørgensen 2009, Rimet et al. 2015, Kókai et al. 2019). Az alacsony profilú fajok fényigényéről az utóbbi időben azt tartják, hogy jól alkalmazkodnak a szélsőségekhez, vagyis az alacsony és a magas fényellátottsághoz is (Liess et al. 2009, Stenger-Kovács et al. 2013, Leira et al. 2015, Tapolczai et al. 2016, Kókai et al. 2019). Ebben az esetben a vizsgált alföldi kisvízfolyásokban ősze kifejlődött jelentős szubmerz és lebegő makrofita vegetáció árnyékoló hatása is meghatározó szerepet játszhatott abban, hogy ezek a kisméretű, alacsony profilú taxonok viszonylag nagy számban voltak jelen az őszi mintákban.

A közösség szerkezetének változása, valamint az új taxonok megjelenése az őszi időszakban a közösség diverzitásának változását is eredményezte egyben. A fajsám majdnem minden ponton növekedett, a közösségben pedig megjelentek olyan, főleg halofil fajok, melyek tavasszal még nem voltak kimutathatóak a mintákban. Ezzel szemben az egyenletesség csökkent tavaszról ősze, mivel csökkent azon fajok gyakorisága a közösségben, melyek érzékenyek a magas vezetőképességre vagy tápanyag tartalomra.

Az IPSITI kovaalga index által kifejezett vízminőség nem mutatott szignifikáns eltérést a tavaszi és az őszi minták között. Tehát az ősszel tapasztalt jelentős vízszint csökkenés és az ezt kísérő tápanyagtartalom és/vagy vezetőképesség növekedés a legtöbb vízfolyás esetében nem okozott minőségbeli romlást.

3.3. Kombinált öko-morfológiai csoportosítási rendszer validálása

A szakirodalomban hivatkozott három féle guild-felosztás és a sejtterfogát kategóriák kombinálásával képzett öko-morfológiai funkcionális csoportok érzékenységét vízfolyások nagyobb adatbázisán teszteltük.

Az eredeti guild-felosztáson (Passy 2007) alapuló csoportosítási rendszer (CEMFG-O) planktonikus kategóriákat nem tartalmaz. Azaz annak ellenére, hogy a planktonikus fajok nem állandó tagjai a bentikus közösségeknek, még nem külön kategóriába soroltak, hanem elsősorban az alacsony vagy a magas profilú guildekbe. Vizsgálatunk során azt vártuk, hogy a gyakori és/vagy nagy arányban előforduló planktonikus fajok jelentősen befolyásolják majd a funkcionális csoportok és a környezeti háttérváltozók közötti kapcsolatot. A planktonikus kategóriákat bevonva az elemzésekbe (CEMFG-P) ez a feltevésünk igazolást nyert. A vizsgált vizek esetében ugyanis számos alkalommal tapasztaltuk, hogy a planktonikus fajok nagy gyakorisággal voltak jelen mind tavasszal, áradás után, mind pedig ősszel, a csökkent áramlással és magasabb sókoncentrációval jellemezhető időszakban. A jelentős bemosódás eredményeként megnövekedett klorid-tartalommal ($>100 \text{ mg L}^{-1}$) bíró vízfolyásokban (pl. az alföldi mezőgazdasági művelés alatt álló területek mentén) a *Cyclotella meneghiniana* nagy arányban fordult elő, ami az eredeti csoportosítási rendszerben az LS4 kategóriába van besorolva. Ez a taxon halofil (van Dam et al. 1994), ami magyarázatot ad az LS4 kategóriának a kloriddal való pozitív korrelációjára. Ugyanis az LS4 alapvetően nem feltétlenül ezt a mintázatot mutatná, mivel jellemzően nem halofil fajok tartoznak bele. A planktonikus kategóriákat magában foglaló csoportosítási rendszerben a PS4 kivételével a többi planktonikus kategória pozitívan korrelált a pH-val, a vízhőmérséklettel és az oldott oxigénnel. A PS4 kategória – ahol a *C. meneghiniana* található – azonban elsősorban a kloriddal és az összes oldott anyag tartalommal mutatott pozitív kapcsolatot.

Rimet & Bouchez (2012) amellett, hogy létrehozták a planktonikus guildet, bizonyos ökológiai alapú faj-átcsoportosításokat is eszközöltek az egyes guildek között. Mi azt feltételeztük, hogy a kombinált kategóriák és a környezeti faktorok közti korrelációk csak abban az esetben és azoknál a kategóriáknál fognak változni, ahol olyan átcsoportosított fajok is találhatóak, melyek nagy előfordulási gyakorisággal és/vagy nagy mennyiségben vannak jelen. Eredményeink igazolták ezt a feltevést.

Összehasonlítva a CEMFG-P és CEMFG-RB csoportosítási rendszereket, a legszembetűnőbb különbség az LS4 és HS4 kategóriák mátrixon belüli elhelyezkedésében volt. Ennek oka alapvetően abban keresendő, hogy a csöképző fajok (pl. *Encyonema mesianum*, *Encyonema silesiacum*) átkerültek az alacsony profilú guildből a magas profilúba (Rimet & Bouchez 2012). Az a kategória, amelyik ezen fajokat aktuálisan magában foglalja, negatív korrelációt mutat a szerves tápanyagokkal. Ugyanis ezek a csöképző fajok gyakoriak voltak az általunk vizsgált vizekben, és a motilis fajokhoz hasonlóan extracelluláris enzimermelő képességgel rendelkeznek (Tapolczai et al. 2016). Ez a képesség pedig előnyt jelent számukra a szerves tápanyagban szegény környezetben, ugyanis inorganikus nitrogén-és foszfor hiányában más formákat is tudnak mobilizálni.

3.4. Kovaalga traitek – vízhasznosítás

A Tisza-tó négy, egymástól eltérő hasznosítással és védelemmel jellemezhető medencéjének fitobenton közösségét hét kovaalga trait bevonásával vizsgáltuk.

Eredményeink csak részben támasztották alá első, a tározó térbeli heterogenitására vonatkozó hipotézisünket: bár a medencék kovaalga közösségének taxonómiai összetételében egyértelmű szezonális mintázatot figyeltünk meg, térbeli elkülönülést azonban nem tapasztaltunk. A tározó medrét az ősz folyamán leengedik, majd a rá következő tavasszal Tisza vízzel újra feltöltik. A tározótér kora tavaszi feltöltése pedig olyan teljes térbeli homogenizációt okoz, aminek következtében a Tisza-tó teljes terjedelmében közel azonos fajkészlettel rendelkezik, a medencék közötti átfolyás révén és az öblítő csatornáknak köszönhetően pedig fajkicserélődés is történik. Emiatt mutat nagy hasonlóságot szezonálisan a medencék fitobenton közösségének taxonómiai összetétele.

A trait-elemzés ezzel szemben egyértelműen rávilágított a medencék egymáshoz viszonyított térbeli karakterisztikájára, azaz feltárta az egyes medencék hasznosításából eredő térbeli sajátosságait. Emellett megfigyeltük, hogy néhány trait szezonálisan is elkülönült, ill. egyes medencéket kifejezetten jellemezett. Ilyen volt a planktonikus, a fonalas és az erősen tapadó trait, valamint az alacsony profilú-kisméretű-pionír ill. a kolonialis-magas profilú jellegcsoport.

A köztes zavarás hipotézisnek megfelelően a legmagasabb diverzitást a közepes intenzitású hasznosításnak kitett medencékben vártuk, és azt feltételeztük, hogy a legzavartabb medence kovaalga közössége lesz a legkevésbé diverz. Eredményeink ezt a hipotézisünket is csak részben támasztották alá, csak a taxonómiai diverzitás alapján és csak a kora nyári időszakra vonatkozóan. Ekkor az Abádszalóki-öbölben a taxon diverzitás szignifikánsan alacsonyabb volt a többi medencéhez képest. Az Abádszalóki-öbölben folytatják a legintenzívebb sport tevékenységeket, ami erős zavarást jelent a kovaalga közösségre nézve. Az ilyen nagyfokú fizikai zavarás pedig alapvetően felelőssé tehető a diverzitás csökkenéséért (Stenger-Kovács et al. 2013, B-Béres et al. 2014). Késő nyáron azonban nem volt szignifikáns különbség a medencék fajdiverzitása között, ami arra utal, hogy a közösséget alkotó fajok aránya kiegyenlítettebbé vált erre az időszakra.

Ellentétben a taxonómiai diverzitás által feltárt összefüggésekkel, a funkcionális diverzitás térben és időben sem különbözött egymástól a tározó egyes medencéiben. Ez arra utal, hogy a közösség tagjai által elfoglalt niche-k számában nem volt jelentős eltérés, azaz jellemzően ugyanazon niche-k voltak betöltve a medencékben az egyes időszakokban. Ez azt jelenti, hogy nem volt trait-vesztés, és ezáltal funkcióvesztés sem történt.

Egy esetben sem tapasztaltunk azonban szignifikánsan magasabb diverzitást a köztes zavarással jellemezhető, azaz a közepes mértékben hasznosított Poroszlói- és Sarudi-medencében.

A MIL kovaalga index és a rekreációs tevékenységek intenzitása között pozitív, az index értékek a védelem mértéke között viszont negatív összefüggést tapasztaltunk. Ez azt jelenti, hogy a legkevésbé zavart és egyben legvédettebb Tiszavalki-medence ökológiai állapota volt a leggyengébb mindkét mintavételi időszakban. Ez júniusban feltehetően a planktonikus algák okozta erős biotikus nyomásnak volt köszönhető, augusztusban pedig annak, hogy olyan halofil, eutróf fajok voltak itt dominánsak, melyek gyengébb ökológiai állapotot indikálnak.

4. Új tudományos eredmények

Kovaalga guild – szélsőséges vízhozam

Rávilágítottunk a guild-konceptió finomításának szükségességére, különösen az alacsony és magas profilú guildek esetében. Kimutattuk, hogy az alacsony profilú guild elsődlegesen a fizikai zavarásra reflektál és csak másodsorban a tápanyagra. A magas profilú guild pedig jellemzően a stabil környezetre reagál pozitívan, ugyanakkor a tápanyag-kompetíciós előnyei is meghatározzák, hogy mikor milyen arányban fordul elő. Kimutattuk, hogy az eredeti guild-felosztásból elkülönített planktonikus guild egy alföldi nagy vízfolyás esetében az áradásra reagál egymással ellentétes irányultságú, szélsőséges vízjárású hónapokban.

Sejttérfogat és sótűrés – nyári aszály

Kimutattuk, hogy a szélsőséges trait-ek, azaz a kicsi és a nagy sejttérfogat kategóriák pozitívan reagáltak a vízszintcsökkenésre. A halofil fajok száma és aránya egyértelműen indikálta a szárazodást. Míg a sótűrő taxonok jellemzően a nagyobb méretkategóriákból kerültek ki, addig a kisméretűek nem-halofil, mozgékony, vagy ruderális taxonok voltak. A jelentős vízszint csökkenés, azaz a szárazodás folyamata nem gyakorolt negatív hatást az alapvetően terhelt alföldi vízfolyások kovaalga alapú vízminőségére.

Kombinált öko-morfológiai csoportosítási rendszer validálása

Szoros összefüggést mutattunk ki a környezeti változók és a CEMFGs kategóriák között nagy adatbázison, azaz validáltuk a kombinált kategóriák használhatóságát. Továbbá validáltuk a Rimet és Bouchez (2012) által bevezetett planktonikus guildet. Kimutattuk, hogy a szakirodalomban használt guild felosztások közül Rimet és Bouchez (2012) rendszere magyarázza legjobban a CEMFGs kategóriák és a környezeti változók közti összefüggéseket.

Kovaalga traitek – vízhasznosítás

Eredményeink egyértelműen rávilágítottak arra, hogy a Tisza-tó medrének éves szintű feltöltése a tározó taxonómiai összetételét alapvetően meghatározza, jól kifejezett szezonális hasonlóságot eredményezve a medencék fajösszetételében. A védelemnek, ill. hasznosításnak a bentikus kovaalga közösségre gyakorolt hatása ellenben a medencék trait-összetételének sajátágaiban nyilvánult meg. A medencék biodiverzitásával összefüggésben kimutattuk, hogy a tározóban a kovaalga közösség taxonómiai diverzitásának alakításában a szezonális volt nagyobb szerepe. Ezzel szemben a funkcionális diverzitást sem a szezonális, sem az eltérő hasznosítás nem befolyásolta szignifikánsan, vagyis az eltérő vízkezelés nem okozott funkcióvesztést a tározóban. Kimutattuk, hogy az intenzív rekreációs tevékenység keltette zavarás esetünkben pozitív hatást gyakorolt a kovaalga alapú vízminőségre. Eredményeink ezáltal ráirányítják a figyelmet arra, hogy a nagyobb védettség és a csökkentett zavarás a tározó esetében nem eredményez jobb vízminőséget. Mi több, az érintett Tiszavalki-medence esetében a tározó évenkénti friss vízzel való újbóli feltöltése akadályozza meg a további eutrofizációt és az ökológiai állapotbeli romlást.



Nyilvántartási szám: DEENK/390/2021.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Kókai Zsuzsanna
Doktori Iskola: Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10060877

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

1. **Kókai, Z.**, Török, P., Bácsi, I., Krasznai, E., B-Béres, V.: Az extrém száraz időjárás hatása az Achnanthydium minutissimum és Achnanthydium eutrophilum egyedszámára (Sebes-Körös, Körösszakál).
Hidrol. Közöny. 94 (5-6), 46-49, 2014. ISSN: 0018-1323.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (4)

2. **Kókai, Z.**, Borics, G., Bácsi, I., Lukács, Á., Tóthmérész, B., Csépes, E., Török, P., B-Béres, V.:
Water usage and seasonality as primary drivers of benthic diatom assemblages in a lowland reservoir.
Ecol. Indic. 106, 1-10, 2019. ISSN: 1470-160X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105443>
IF: 4.229
3. B-Béres, V., Török, P., **Kókai, Z.**, Lukács, Á., Krasznai, E., Tóthmérész, B., Bácsi, I.: Ecological background of diatom functional groups: Comparability of classification systems.
Ecol. Indic. 82, 183-188, 2017. ISSN: 1470-160X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.007>
IF: 3.983
4. **Kókai, Z.**, Bácsi, I., Török, P., Buczkó, K., Krasznai, E., Balogh, C., Tóthmérész, B., B-Béres, V.:
Halophilic diatom taxa are sensitive indicators of even short term changes in lowland lotic systems.
Acta Bot. Croat. 74 (2), 287-302, 2015. ISSN: 0365-0588.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/botcro-2015-0025>
IF: 0.734
5. B-Béres, V., Török, P., **Kókai, Z.**, Krasznai, E., Tóthmérész, B., Bácsi, I.: Ecological diatom guilds are useful but not sensitive enough as indicators of extremely changing water regimes.
Hydrobiologia. 738 (1), 191-204, 2014. ISSN: 0018-8158.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-014-1929-y>
IF: 2.275





További közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (5)

6. Szeles, J., Tamás, M., Krakomperger, M., Bozóki, T., Krasznai, E., Gyulai, I., **Kókai, Z.**, Várbíró, G.: Vízi makrogerinctelen taxonok megjelenése Ipoly menti időszakos vízterekben.
Hidrol. Közlöny. 98 (Kisz.), 71-77, 2018. ISSN: 0018-1323.
7. Krasznai, E., B-Béres, V., **Kókai, Z.**, Török, P., Abonyi, A.: Atelomixis hatása a fitoplankton napszakos eloszlására egy eutróf holtág esetében.
Hidrol. Közlöny. 95 (5-6), 86-89, 2015. ISSN: 0018-1323.
8. Krasznai, E., B-Béres, V., **Kókai, Z.**, Buczkó, K., Balogh, C., Török, P.: Adatok kilenc adventív, vagy invazív alga hazai előfordulásához.
Kitaibelia. 19, 11-21, 2014. ISSN: 1219-9672.
9. **Kókai, Z.**, Vári, Á., Boros, G., Tóth, V., Tátrai, I., Görgényi, J., B-Béres, V.: Fitobenton közösségek összetételének változása a mesterséges aljzat minősége, az idő és a mélység függvényében.
Hidrol. Közlöny. 93 (5-6), 49-52, 2013. ISSN: 0018-1323.
10. B-Béres, V., Krasznai, E., **Kókai, Z.**, Deák, C., Balogh, C., Török, P.: Határvizek fitoplankton, bentikus kovaalga és makrogerinctelen közösségek összetételén alapuló minősítése: esettanulmány nyolc hazai vízfolyáson.
Hidrol. Közlöny. 93 (5-6), 5-8, 2013. ISSN: 0018-1323.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

11. Málnás, K., B-Béres, V., **Kókai, Z.**, Simon, E.: Investigation of the diet of Palingenia longicauda (Olivier, 1791) larvae based on Diatoms.
Acta Biol. Debr., Suppl. Oecol. Hung. 32, 85-94, 2014. ISSN: 0236-8684.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (5)

12. Lukács, Á., Bácsi, I., **Kókai, Z.**, Borics, G., Várbíró, G., Krasznai, E., B-Béres, V.: Strong influence of climatic extremes on diversity of benthic algae and cyanobacteria in a lowland intermittent stream.
Ecohydrology. 14 (4), 1-13, 2021. ISSN: 1936-0584.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/eco.2286>
IF: 2.843 (2020)
13. Lukács, Á., **Kókai, Z.**, Török, P., Bácsi, I., Borics, G., Várbíró, G., Krasznai, E., Tothmérész, B., B-Béres, V.: Colonisation processes in benthic algal communities are well reflected by functional groups.
Hydrobiologia. 823 (1), 231-245, 2018. ISSN: 0018-8158.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-018-3711-z>
IF: 2.325





14. B-Béres, V., Lukács, Á., Török, P., **Kókai, Z.**, Novák, Z., Krasznai, E., Tóthmérész, B., Bácsi, I.:
Combined eco-morphological functional groups are reliable indicators of colonisation
processes of benthic diatom assemblages in a lowland stream.
Ecol. Indic. 64 (1), 31-38, 2016. ISSN: 1470-160X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.031>
IF: 3.898
15. Bácsi, I., B-Béres, V., **Kókai, Z.**, Gonda, S., Novák, Z., Nagy, S. A., Vasas, G.: Effects of non-steroidal anti-inflammatory drugs on cyanobacteria and algae in laboratory strains and in natural algal assemblages.
Environ. Pollut. 212, 508-518, 2016. ISSN: 0269-7491.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.02.031>
IF: 5.099
16. B-Béres, V., Bácsi, I., Krasznai, E., **Kókai, Z.**, Buczkó, K.: First report of *Navicula jakovljevicii* Hustedt (Bacillariophyta) from Hungary: distribution, comparative morphology and a related species.
Acta Bot. Croat. 74 (2), 253-264, 2015. ISSN: 0365-0588.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/botcro-2015-0027>
IF: 0.734

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 26,12

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapján szolgáló közleményekre):
11,221**

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2021.07.20.



Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

**Influence of environmental extremes, protection and water usage
on trait composition of benthic diatoms**

by Zsuzsanna Kókai

Supervisors:
Péter Török DSc
Viktória Bácsiné Béres PhD



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Juhász-Nagy Pál Doctoral School

Debrecen, 2021

1. Introduction

„Few objects are more beautiful than the minute siliceous cases of the diatomaceae: were these created that they might be examined and admired under the high powers of the microscope?” - asks Charles Darwin, pondering the benefits of beauty in his scientific opus *The Origins of Species* (1859). These microorganisms have an impressive morphological diversity even in terms of their unique skeleton pattern or the enormous variety of sizes. From the smallest taxa (*Minidiscus comicus* 1.9 µm; Jewson et al. 2016) to the largest ones (*Ethmodiscus rex* 0.69-1.9 mm; Rivera et al. 1989), they populate both continental waters and oceans.

Independently the life-forms of diatom taxa, i.e. unicellular, colonial or filamentous, they can be found in both planktic and benthic habitats, but in different proportions (Rimet & Bouchez 2012). At the same time, certain traits help these algae to float in open water while others are essential for attachment. However, it is important to emphasize that a more diverse diatom trait composition is evolved in benthic habitats than in planktic ones. Since in biofilm, the strength of attachment to the substrate and the mobility or the lack of that are key characteristics, which determine the location of diatoms.

Taxa with different morphological traits occupy different niches in an ecosystem. Basically, the more diverse the trait composition of a community, the greater its functional diversity. Since, trait-diversity points out the healthy functioning of ecosystems, such as productivity and resilience to invasions (Mason et al. 2005).

Nowadays, one of the most threatening environmental impacts is climate change, whose frequency significantly increased in recent years in the Carpathian Basin. Beside of the increasing threat of development of devastating flash floods both on small streams and large rivers, summer is becoming hotter and drier leading to a drastic decrease in water discharge and even to drying up of small, shallow waterbodies in our region. Thus, there is a very serious risk that the typology of lot of watercourses will be changed in the continental region, meaning that the presence of intermittent watercourses becoming more and more natural here (B-Béres et al. 2019). As a result, the benthic algal assemblages are expected to be changed too similarly to the communities characterising the Mediterranean regions and will be dominated mostly by pioneer and/or drought-tolerant species (B-Béres et al. 2019, Várbió et al. 2020).

The additive effect of recent climatic phenomena i.e. shifting of climatic zones, increase of average annual temperature, significant change in distribution of precipitation, significantly influence the taxonomic and functional composition of phytobenthon evolving long-term impact on the whole ecosystem (Vörösmarty et al. 2010).

1.1. Our studies and hypotheses

Here, we studied diatom traits - environmental variables relations even under extreme conditions.

1. The relationship between diatom guilds (Passy 2007) and extreme changes in water discharge was studied on Sebes-Körös (B-Béres et al. 2014).

2. The relationship between diatom cell size categories (Berthon et al. 2011), halophile characteristics of taxa and extreme weather conditions (summer drought) was studied on lowland watercourses (Kókai et al. 2015).

3. Our research team developed combined eco-morphological functional groups (B-Béres et al. 2016) by combining guilds and cell size categories. Sensibility and usability of these combined categories were validated on a database of 865 samples collected from 85 watercourses (B-Béres et al. 2017).

4. Then, we studied the trait composition of benthic diatom assemblages of Kisköre Reservoir (Lake Tisza) whose basins are characterised by different protection level and utilization (Kókai et al. 2019).

We set up specific hypotheses for each study:

1. In relation to the diatom guilds and extreme water regime we assumed that

(i) The distribution of diatom guilds within the assemblages will be significantly influenced by water discharge: while low profile guild taxa will be dominant during the flood, members of high profile guild will be strongly related to factors characterized by the low water level period;

(ii) Due to drought, diatom composition of standing water segments formed in the riverbed will differ significantly from the assemblages of running water segments. While the standing water segments will be characterized by high profile guild, the running water segments will be characterized by low profile and motile species.

2. Significant compositional changes in phytobenthon were assumed caused by significantly decreasing water level and increasing nutrient and/or conductivity:

(i) the cell size composition will shift to trait-extremes (small or large cell size) and diversity will decrease;

(ii) the proportion and taxa number of halophile species will increase within the assemblages.

3. During validation procedure of combined eco-morphological grouping system, based on the three guild divisions referred in the literature, it was expected that

(i) frequent and/or abundant planktic species will have a significant impact on combined categories - environmental variables relationship;

(ii) ecologically relevant modifications (reclassification of certain taxa) will affect the correlation between combined categories and environment variables depending on the frequency of reclassified taxa.

4. It was assumed that the different protection level and different type and intensity of recreation activities affecting the basins of Kisköre Reservoir (Lake Tisza) have significant impact on both taxonomical and trait composition of periphyton. Therefore, we expected that

(i) taxonomic and trait composition of diatom assemblages of the basins differs from each other;

(ii) the lowest taxonomical and functional diversity will be found in the most disturbed Abadszálók basin, and the most diverse assemblages will be found in basins with medium intensity of utilisation.

2. Materials and methods

2.1. Sampling setup and measurements

In our first study, benthic diatom samples were collected from Sebes-Körös (type 7L) at Körösszakál from April to November in 2012. This year, summer and autumn were extremely dry in Hungary (web 1), therefore many lowland watercourses, including Sebes-Körös, had drastically reduced water discharge. Due to very low water discharge, segments with different flow conditions were formed in the riverbed in autumn. In the area between the continuous "running water segment" and the coast, extremely slow-flowing standing water segments were formed. During the autumn period, we collected benthic diatom samples from these standing water segments too.

Drastically decreased water level was also observed in other lowland watercourses in 2012. In our second study, we collected diatom samples from 15 lowland streams (6S, 6M, 7L) in spring and autumn that year.

Performing our third study, we collected a total of 865 benthic diatom samples from 85 lowland watercourses (4L, 5M, 6S, 6M, 7L, 8N) at a total of 137 sampling locations between 2007 and 2015, from April to October, at least twice a year (spring and autumn).

Sampling site of our fourth study was Kisköre Reservoir (Lake Tisza) which has four differently managed basins: the highly protected Tiszavalk basin, the moderately protected Poroszló and Sarud basins, and Abadszalók basin characterized by low protection level and high recreational activity. Epiphytic samples were collected twice a year (June and August), over a four-year period (2014-2017), from all of the four basins.

Water temperature, dissolved oxygen, pH and conductivity were measured in the field with a portable multiparameter digital meter (Multi 350i-WTW, Germany). Water samples were also collected for the measurement of additional environmental background variables.

Benthic diatom sampling and preservation were performed according to the European guideline (MSZ EN 13946:2003). After treating the samples with hot hydrogen-peroxide, Naphrax resin was used for embedding (MSZ EN 13946:2003). At least 400 diatom valves were identified and counted in each samples (MSZ EN 14407:2004) using Leica DMRB microscope with 1000-1600-fold magnification.

2.2. Data processing and analyses

In our first study, classification of diatom species into guilds was carried out according to the description of Passy (2007) with the addition of the planktic category. Thus, taxa were divided into a total of four categories (low profile, high profile, motile and planktic). Principal component analysis (PCA), canonical correspondence analysis (CCA) and detrended correspondence analysis (DCA) were calculated to study the relationship between environmental variables and the composition of benthic diatom assemblages.

In our second study, taxa were divided into five cell size categories (Berthon et al. 2011, Rimet & Bouchez 2012). Taxa were classified in halophile and non-halophile categories according to van Dam et al. (1994). Principal component analysis (PCA) was used to validate the importance of environmental factors. To analyse the relationship between taxonomical composition and validated environmental factors, detrended correspondence analysis (DCA) was used, in which environmental factors were added by weighted averaging. Non-metric

multidimensional scaling (NMDS) was used to visualise the similarity of samples based on species composition. Evenness was counted to study the diversity of communities.

In the third study, we worked with combined eco-morphological functional groups. The combined grouping system is based on assigning cell size categories to the diatom guilds (B-Béres et al. 2016). Formation of combined categories was carried out for all the three systems referred in the literature. To analyse the relationship between CEMFGs-O, -P, -RB and the environmental factors, canonical correspondence analyses (CCA) were performed, where environmental factors were added by weighted averages. In addition, Monte-Carlo permutation test was performed to determine whether the resulting pattern was significantly different from random.

In the fourth study, seven relevant diatom traits were involved in the analysis: length/width ratio (L/W; Stenger-Kovacs et al. 2018), cell size (S1-S2; Berthon et al. 2011), movement (non-moving, slow moving, fast moving; Rimet & Bouchez 2012); pioneer character (Rimet & Bouchez 2012); strength of attachment (weak, medium or strong; Rimet & Bouchez 2012), type of organization (unicellular, filament, colonial; Rimet & Bouchez 2012) and guilds (low profile, high profile, motile, planktic; Passy 2007, Rimet & Bouchez 2012). Monte-Carlo permutation test was carried out to determine what environmental parameters significantly influenced the taxonomic composition of the diatom assemblage. Redundancy analysis (RDA) was performed to study the relationship between taxonomical composition and environmental parameters. A Monte-Carlo permutation test was performed to determine whether the resulting pattern was significantly different from random. The seasonal and spatial distribution of diatom traits was studied using principal correspondence analysis (PCA). We used one-way ANOVA to compare the spatial and seasonal characteristics of diversity with the ecological status of the basins. To express the ratio of the most common taxa, we calculated Berger-Parker diversity, and the functional diversity of basins was expressed by Rao index.

In accordance with the EU Water Framework Directive (2000/60/EC) IPSITI diatom index was calculated in the case of watercourses (study No. 1 and 2), and MIL diatom index for Kisköre reservoir (Lake Tisza; study No. 4) for assessing the ecological status of waters.

3. Results and discussion

3.1. Diatom guilds - extreme water regime

The seasonal dynamic of diatom guilds was studied on Sebes-Körös. Extreme changes in water discharge substantially changed the structure of the benthic algal community during the study period, confirming our hypothesis. Disturbance tolerant low profile guild responded sensitively and positively to the extreme conditions generated by physical (flooding) or biotic disturbance (grazing). During these periods an increase in the number of individuals within the guild was observed in accordance with the guild preferences described in the literature (Passy 2007).

On the other hand, our assumption about the direction of changes of the guilds proportion was partially supported by our results. It could be concluded that the appearance and frequency of certain low profile species were not closely related to nutrient content, but mainly to disturbance. This result is against the general knowledge of this guild, since usually there is strong positive relation between this guild and the low nutrient supply. But our results pointed

out that the relationship of low profile guild with nutrients is not usually due to the amount of nutrient itself, but to the high physical disturbance. However, those watercourses where the disturbance is high, are typically poor in nutrients (e.g. mountain streams – Dong et al. 2016, Jamoneau et al. 2017; flooding periods – Ruwer et al. 2018). But in our study, physically disturbed circumstances were found in period with high nutrient supply.

High profile species are characterized by sensitivity to physical disturbance and high nutrient requirements (Passy 2007, Rimet & Bouchez 2012). In line with this, we assumed that during the period of strong physical disturbance, the proportion of this guild would be low, but as water discharge decrease and nutrient content increase, the frequency of high profile species would increase. Our results confirmed this hypothesis, as the proportion of high profile guild was clearly higher in circumstances with low water discharge and high nutrient content.

The appearance and proportion of any species or functional groups in a given water is greatly influenced by the flow conditions (Ács et al. 2003). Thus, significant difference in the diatom composition of segments with different flow conditions was assumed, meaning that the proportion of low profile guild would be higher in more disturbed running water segments, high profile and motile taxa would be more abundant in standing water segments affected by minor disturbance. Our results supported this assumption partially, highlighting the need of refining guild concept. It seems that the relationship between each guild and the environmental variables is determined by different weights of nutrient preference and physical disturbance of the guilds. It means, it is important to know and evaluate the ratio of these two factors to each other not just simply their values.

The diatom based IPSITI index was closely related to changes in water discharge. During flooding characterised by low nutrient content, we calculated higher index values than subsequent period with low water flow and high nutrient content. The index values of the standing and running water segments did not show any significant differences, but running water samples had higher IPSITI than standing water ones due to the dominance of some species indicating good ecological status.

3.2. Cell size and salt tolerance - summer drought

This study was carried out in such lowland watercourses that were affected by significant decrease of water level.

We assumed that a change in conductivity due to drought would result in an increase in the proportion and taxa number of halophile species. Our results supported this hypothesis, since the number of halophile species nearly doubled in autumn compared to spring, and 15 of the total of 31 identified halophile species were found only in samples collected in autumn.

The results also supported our hypothesis about the change of cell size composition, showing increasing abundance of small and large size categories. Increased nutrient content and conductivity caused by decreasing water level created favourable conditions for small motile and ruderal species with high nutrient requirements, and large, motile, halophilic taxa as well (Padisák 2001, Passy 2007, Ziemann et al. 2001, Zalat 2002). At the same time, these conditions also supported the appearance of small, low profile taxa. Occurrence of these species is not primarily determined by the amount of nutrients, but by other conditions such as physical disturbance or reduced light intensity. In this case, physical disturbance was presumably caused by the "predation" pressure of herbivorous, grazing macroscopic aquatic invertebrates

(Jørgensen & de Bernardi 1998, Jørgensen 2009, Rimet et al. 2015, Kókai et al. 2019). In addition, low profile species are recently considered to be well adapted to extreme light conditions concerning to both low and high intensities (Liess et al. 2009, Stenger-Kovács et al. 2013, Leira et al. 2015, Tapolczai et al. 2016, Kókai et al. 2019). In this case, the shading effect of submerge and floating macrophyte vegetation developed in autumn in the studied lowland watercourses may also play a decisive role in appearance of small, low-profile taxa in autumn samples.

The changes in assemblages structure implied changes in diversity. Number of species increased at almost every sampling sites in autumn due to the appearance of halophile species among others which were not found in the spring samples. In contrast, evenness decreased from spring to autumn in line with the decreasing frequency of species which are sensitive to high conductivity or nutrient content.

The diatom based IPSITI index showed no significant differences between spring and autumn samples. Thus, the significant decrease in water level and the accompanying increase in nutrient content and/or conductivity did not cause any deterioration in ecological status in most of the studied watercourses.

3.3. Validation of combined eco-morphological functional groups (CEMFGs)

The sensitivity of eco-morphological functional groups created by combining the three kind of guild divisions and the cell size categories referred in the literature was tested on a large database of watercourses.

CEMFG-O based on the original guild division (Passy 2007) does not contain planktic categories. So despite the fact, that planktic species are not permanent members of benthic assemblages, in this system they are not classified into a separate guild but located primarily in low- or high profile guilds. In our study, we expected that frequent and/or abundant planktic species would significantly affect the relationship between functional groups and environmental variables. By including a separate planktic guild in the analyses (CEMFG-P), this hypothesis was confirmed by our results.

In the studied watercourses planktic species were present with high frequency both in spring after flood and in autumn during periods of reduced flow and elevated conductivity. As a result, *Cyclotella meneghiniana*, classified into the category LS4 in the original grouping system, occurred with high proportion in watercourses characterised by increased chloride content ($>100 \text{ mg L}^{-1}$) (e.g. along lowland agricultural areas). This taxon is halophile (van Dam et al. 1994), which explains the positive correlation of LS4 with chloride. This category would not necessarily show this pattern, since it does not typically include halophile species. In the combined system, other planktic categories correlated positively with pH, water temperature and dissolved oxygen. However, PS4 which contains *C. meneghiniana*, showed positive relationship mainly with chloride and total dissolved solids.

Besides that Rimet & Bouchez (2012) created the planktic guild, also made some ecologically relevant reclassifications. We hypothesized that the refinement of guilds would affect the correlation between CEMFGs and environmental factors only in those categories which contained reassigned taxa with high frequency and/or abundance. Our results confirmed this hypothesis.

Comparing CEMFG-P and CEMFG-RB systems, the most pronounced difference was observed in the position of LS4 and HS4 categories within the matrix. This was primarily due to the fact that tube-forming species were reclassified from low profile to high profile guild (Rimet & Bouchez 2012). The category that currently includes these species shows negative correlation with nutrients. These tube-forming species were common in the studied waters and they have the potential to produce extracellular enzyme similarly to motile species (Tapolczai et al. 2016). This ability provide them advantage in nutrient-poor environment, since they can mobilize other forms of nitrogen and phosphorus than the dissolved ones.

3.4. Diatom traits - water usage

The phytobenthon of four basins of Kisköre Reservoir (Lake Tisza) characterised by different utilisation was studied with the involvement of seven diatom traits.

Our results only partially supported the first hypothesis about spatial heterogeneity of the reservoir: the taxonomic analysis revealed highly pronounced seasonal similarity between the basins and no spatial heterogeneity was observed. The water level of the reservoir is artificially regulated: basins are filled up with water from the Tisza River during spring, and the water is drained off during the late autumn. These circumstances cause complete spatial homogenisation, resulting in large seasonal similarity among the species compositions of basins.

On the other hand, results of trait-based assessment pointed out spatial characteristics determined by utilization. In addition, we observed that some of the studied traits were more pronounced seasonally and characterized certain basins (planktic, filamentous, strong attachment, low-profile-small-pioneer and colonial-high-profile trait groups).

According to the intermediate disturbance hypothesis (IDH), the highest diversity was expected in basins affected by medium intensity of water usage, and we assumed that the most disturbed basin would be the least diverse. This hypothesis was only partially confirmed by our results. Taxonomic diversity of Abadszalók basin characterized by the highest disturbance was significantly lower in early summer compared to the other basins. The most intense recreational activities are linked to Abadszalók basin, and this high level of physical disturbance can be fundamentally responsible for the decrease in diversity (Stenger-Kovács et al. 2013, B-Béres et al. 2014). In late summer, however, there were no significant differences between taxonomical diversity of the basins suggesting that the abundance of species became more consistent during this period.

In contrast to correlations revealed by taxonomic diversity, no significant difference in functional diversity was observed in basins suggesting that similar niches were occupied by taxa both seasonally and spatially suggesting that utilisation of basins caused no reduction of functionality.

There was a positive relationship between the MIL diatom index and the intensity of recreational activities and negative correlation between the index values and the degree of protection. This result means that the least disturbed and most protected Tiszavalk basin had the weakest ecological status in both sampling periods due to the strong biotic pressure caused by planktic algae in June and the dominance of halophilic eutrophic species in August.

4. New scientific results

Diatom guilds - extreme water regime

We highlighted the necessity of refining the guild concept, especially in the case of low- and high profile guilds. We found that low profile guild primarily positively responded on physical disturbance and its negative relation to nutrients was only secondary. The high profile guild typically responded positively to a stable environment, but its occurrence was also determined by its nutrient-competitive character. We showed that the planktic guild, separated from the original guild division, responded strongly to flood in the case of a large lowland watercourse during extreme water regime.

Cell size and salt tolerance - summer drought

We found that trait-extremes, i.e. occurrence and abundance of small and large cell size categories, responded positively to the decrease of water level. The number and proportion of halophile species clearly indicated the drying process. While salt-tolerant taxa typically belonged to the larger size categories, small taxa were typically non-halophile, motile, or ruderal ones. The significant decrease in water level did not have a negative impact on the diatom-based water quality of the studied eutrophic lowland watercourses.

Validation of combined eco-morphological functional groups (CEMFGs)

We showed strong correlation between environmental variables and CEMFG-categories using a large database, namely we validated the usability of the combined categories. We also validated the planktic guild introduced by Rimet & Bouchez (2012). We found that the system of Rimet & Bouchez (2012) explained the relationship between CEMFG-categories and environmental variables in the most reliable way compared to other guild divisions referred in the literature.

Diatom traits - water usage

We found that the annual water level modification of Lake Tisza basically determined the taxonomic composition of the reservoir, resulting in highly pronounced seasonal similarity in species composition of the basins. On the other hand, protection and utilisation formed the trait composition of the basins. We demonstrated that seasonality played more decisive role in shaping taxonomic diversity. In contrast, functional diversity was not significantly affected by seasonality or different utilisation meaning that different water management did not cause any loss of function in the reservoir. We demonstrated that disturbance caused by intensive recreational activity had positive effect on diatom-based water quality in our case. Thus, our results highlighted that higher protection and reduced disturbance did not result in better water quality.

5. Irodalomjegyzék/References

- Ács, É., Szabó, K., Kiss, K.T., Hindák, F., 2003. Benthic algal investigations in the Danube river and some of its main tributaries from Germany to Hungary. *Biologia* 58:545–554.
- Az Európai Parlament és a Tanács 2000/60/EK irányelve (2000. október 23.) a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról. pp. 141.
- B-Béres, V., Török, P., Kókai, Zs., T-Krasznai, E., Tóthmérész, B., Bácsi, I., 2014. Ecological diatom guilds are useful but not enough sensitive indicators of extremely changing water regimes: is it necessary to establish guild subdivisions? *Hydrobiologia* 738:191–204.
- B-Béres, V., Lukács, Á., Török, P., Kókai, Zs., Novák, Z., T-Krasznai, E., Tóthmérész, B., Bácsi, I., 2016. Combined eco-morphological functional groups are reliable indicators of colonisation processes of benthic diatom assemblages in a lowland stream. *Ecological Indicators* 64:31–38.
- B-Béres, V., Török, P., Kókai, Zs., Lukács, Á., T-Krasznai, E., Tóthmérész, B., Bácsi, I., 2017. Ecological background of diatom functional groups: Comparability of classification systems. *Ecological Indicators* 82:183–188.
- B-Béres, V., Tóthmérész, B., Bácsi, I., Borics, G., Abonyi, A., Tapolczai, K., Rimet, F., Bouchez, A., Várbíró, G., Török, P., 2019. Autumn drought drives functional diversity of benthic diatom assemblages of continental intermittent streams. *Advances in Water Resources* 126:129–136.
- Berthon, V., Bouchez, A., Rimet, F., 2011. Using diatom lifeforms and ecological guilds to assess organic pollution and trophic level in rivers: a case study of rivers in south eastern France. *Hydrobiologia* 673:259–271.
- Darwin, C.R., 1859. *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London: John Murray.
- Dong, X., Li, B., He, F., Gu, Y., Sun, M., Zhang, H., Tan, L., Xiao, W., Liu, S., Cai, Q., 2016. Flow directionality, mountain barriers and functional traits determine diatom metacommunity structuring of high mountain streams. *Scientific Reports* 6:24711.
- Jamoneau, A., Passy, S.I., Soininen, J., Lebourcier, T., Tison-Rosebery, J., 2017. Beta diversity of diatom species and ecological guilds: Response to environmental and spatial mechanisms along the stream watercourse. *Freshwater Biology* 63:62–73.
- Jewson, D., Kuwata, A., Cros, L., Fortuño, J.-M., Estrada, M., 2016. Morphological adaptations to small size in the marine diatom *Minidiscus comicus*. *Scientia Marina* 80S1:89–96.
- Jørgensen, S.E., de Bernardi, R., 1998. The use of structural dynamic models to explain successes and failures of biomanipulation. *Hydrobiologia* 379:147–158.
- Jørgensen, S.E., 2009. The Application of Structurally Dynamic Models in Ecology and Ecotoxicology. In: Devillers, J. (Ed.), *Ecotoxicology Modeling. Emerging Topics in Ecotoxicology (Principles, Approaches and Perspectives)*. Springer, Boston MA, p. 377–393.
- Kókai, Zs., Bácsi, I., Török, P., Buczkó, K., T-Krasznai, E., Balogh, Cs., Tóthmérész, B., B-Béres, V., 2015. Halophilic diatom taxa are sensitively indicating even the short term changes in lowland lotic systems. *Acta Botanica Croatica* 74:287–302.
- Kókai, Zs., Borics, G., Bácsi, I., Lukács, Á., Tóthmérész, B., Csépes, E., Török, P., B-Béres, V., 2019. Water usage and seasonality as primary drivers of benthic diatom assemblages in a lowland reservoir. *Ecological Indicators* 106:105443.
- Leira, M., Filippi, M.L., Cantonati, M., 2015. Diatom community response to extreme water-level fluctuations in two Alpine lakes: a core case study. *Journal of Paleolimnology* 53:289–307.
- Liess, A., Lange, K., Schulz, F., Piggott, J.J., Matthaei, C.D., Townsend, C.R., 2009. Light, nutrients and grazing interact to determine diatom species richness via changes to productivity, nutrient state and grazer activity. *Journal of Ecology* 97:326–336.
- Mason, N.W.H., Mouillot, D., Lee, W.G., Wilson, J.B., 2005. Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos* 111:112–118.
- MSZ EN 13946:2003 *Vízminőség. Útmutatás folyók bentikus kovamoszatainak általános mintavételéhez és minta-előkészítéséhez*.
- MSZ EN 14407:2004 *Vízminőség. Útmutató szabvány folyóvizekből vett minták bentikus kovamoszatjainak azonosításához, számlálásához és értékeléséhez*.

- Padisák, J., 2001. Phytoplankton, In: O'Sullivan, P. E., Reynolds, C. S. (eds.), The lakes handbook, limnology and limnetic ecology, Blackwell Publishing, USA, p. 251–308.
- Passy, S.I., 2007. Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany* 86:171–178.
- Rimet, F., Bouchez, A., 2012. Life-forms, cell-sizes and ecological guilds of diatoms in European rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 406:01.
- Rimet, F., Bouchez, A., Montuelle, B., 2015. Benthic diatoms and phytoplankton to assess nutrients in a large lake: complementarity of their use in Lake Geneva (France–Switzerland). *Ecological Indicators* 53:231–239.
- Rivera, P., Avaria, S., Barrales, H., 1989. *Ethmodiscus rex* (Wallich) Hendey (Bacillariophyceae) collected by net sampling off the coast of northern Chile. *Diatom Research* 4(1):131–142.
- Ruwer, D.T., Bernardes, M.C., Rodrigues, L., 2018. Diatom responses to environmental changes in the Upper Paraná River floodplain (Brazil) during the last ~ 1000 years. *Journal of Paleolimnology* 60:543–551.
- Stenger-Kovács, Cs., Lengyel, E., Crossetti, L.O., Üveges, V., Padisák, J., 2013. Diatom ecological guilds as indicators of temporally changing stressors and disturbances in the small Torna-stream, Hungary. *Ecological Indicators* 24:138–147.
- Stenger-Kovács, Cs., Körmendi, K., Lengyel, E., Abonyi, A., Hajnal, É., Szabó, B., Buczkó, K., Padisák, J., 2018. Expanding the trait-based concept of benthic diatoms: Development of trait- and species-based indices for conductivity as the master variable of ecological status in continental saline lakes. *Ecological Indicators* 95:63–74.
- Tapolczai, K., Bouchez, A., Stenger-Kovács, Cs., Padisák, J., Rimet, F., 2016. Trait-based ecological classifications for benthic algae: review and perspectives. *Hydrobiologia* 776:1–17.
- Van Dam, H., Mertens, A., Sinkeldam, J., 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28:117–133.
- Várbíró, G., Borics, G., Novais, M.H., Morais, M.M., Rimet, F., Bouchez, A., Tapolczai, K., Bácsi, I., Usseglio-Polatera, P., B-Béres, V., 2020. Environmental filtering and limiting similarity as main forces driving diatom community structure in Mediterranean and continental temporary and perennial streams. *Science of the Total Environment* 741:140459.
- Vörösmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S.E., Sullivan, C.A., Liermann, C.R., Davies, P.M., 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467:555–561.
- Zalat, A.A., 2002. Distribution and origin of diatoms in the bottom sediments of the Suez canal lakes and adjacent areas, Egypt. *Diatom Research* 17:243–266.
- Ziemann, H., Kies, L., Schulz, C., 2001. Desalinization of running waters III. Changes in the structure of diatom assemblages caused by a decreasing salt load and changing ion spectra in the River Wipper (Thuringia, Germany). *Limnologica* 31:257–280.

web 1 <https://www.met.hu/downloads.php?fn=/metadmin/doc/2013/04/idojarasi-beszamolo-2012.pdf>



Registry number: DEENK/390/2021.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Zsuzsanna Kókai

Doctoral School: Pál Juhász-Nagy Doctoral School of Biology and Environmental Sciences

MTMT ID: 10060877

List of publications related to the dissertation

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (1)

1. **Kókai, Z.**, Török, P., Bácsi, I., Krasznai, E., B-Béres, V.: Az extrém száraz időjárás hatása az Achnantheidium minutissimum és Achnantheidium eutrophilum egyedszámára (Sebes-Körös, Körösszakál).
Hidrol. Közöny. 94 (5-6), 46-49, 2014. ISSN: 0018-1323.

Foreign language scientific articles in international journals (4)

2. **Kókai, Z.**, Borics, G., Bácsi, I., Lukács, Á., Tóthmérész, B., Csépes, E., Török, P., B-Béres, V.:
Water usage and seasonality as primary drivers of benthic diatom assemblages in a lowland reservoir.
Ecol. Indic. 106, 1-10, 2019. ISSN: 1470-160X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105443>
IF: 4.229
3. B-Béres, V., Török, P., **Kókai, Z.**, Lukács, Á., Krasznai, E., Tóthmérész, B., Bácsi, I.: Ecological background of diatom functional groups: Comparability of classification systems.
Ecol. Indic. 82, 183-188, 2017. ISSN: 1470-160X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.007>
IF: 3.983
4. **Kókai, Z.**, Bácsi, I., Török, P., Buczkó, K., Krasznai, E., Balogh, C., Tóthmérész, B., B-Béres, V.:
Halophilic diatom taxa are sensitive indicators of even short term changes in lowland lotic systems.
Acta Bot. Croat. 74 (2), 287-302, 2015. ISSN: 0365-0588.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/botcro-2015-0025>
IF: 0.734
5. B-Béres, V., Török, P., **Kókai, Z.**, Krasznai, E., Tóthmérész, B., Bácsi, I.: Ecological diatom guilds are useful but not sensitive enough as indicators of extremely changing water regimes.
Hydrobiologia. 738 (1), 191-204, 2014. ISSN: 0018-8158.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-014-1929-y>
IF: 2.275





List of other publications

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (5)

6. Szeles, J., Tamás, M., Krakomperger, M., Bozóki, T., Krasznai, E., Gyulai, I., **Kókai, Z.**, Várбірó, G.: Vízi makrogerinctelen taxonok megjelenése Ipoly menti időszakos vízterekben.
Hidrol. Közöny. 98 (Klsz.), 71-77, 2018. ISSN: 0018-1323.
7. Krasznai, E., B-Béres, V., **Kókai, Z.**, Török, P., Abonyi, A.: Atelomixis hatása a fitoplankton napszakos eloszlására egy eutróf holtág esetében.
Hidrol. Közöny. 95 (5-6), 86-89, 2015. ISSN: 0018-1323.
8. Krasznai, E., B-Béres, V., **Kókai, Z.**, Buczkó, K., Balogh, C., Török, P.: Adatok kilenc adventív, vagy invazív alga hazai előfordulásához.
Kitaibelia. 19, 11-21, 2014. ISSN: 1219-9672.
9. **Kókai, Z.**, Vári, Á., Boros, G., Tóth, V., Tátrai, I., Görgényi, J., B-Béres, V.: Fitobenton közösségek összetételének változása a mesterséges aljzat minősége, az idő és a mélység függvényében.
Hidrol. Közöny. 93 (5-6), 49-52, 2013. ISSN: 0018-1323.
10. B-Béres, V., Krasznai, E., **Kókai, Z.**, Deák, C., Balogh, C., Török, P.: Határvizek fitoplankton, bentikus kovaalga és makrogerinctelen közösségek összetételén alapuló minősítése: esettanulmány nyolc hazai vízfolyáson.
Hidrol. Közöny. 93 (5-6), 5-8, 2013. ISSN: 0018-1323.

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (1)

11. Málnás, K., B-Béres, V., **Kókai, Z.**, Simon, E.: Investigation of the diet of *Palingenia longicauda* (Olivier, 1791) larvae based on Diatoms.
Acta Biol. Debr., Suppl. Oecol. Hung. 32, 85-94, 2014. ISSN: 0236-8684.

Foreign language scientific articles in international journals (5)

12. Lukács, Á., Bácsi, I., **Kókai, Z.**, Borics, G., Várбірó, G., Krasznai, E., B-Béres, V.: Strong influence of climatic extremes on diversity of benthic algae and cyanobacteria in a lowland intermittent stream.
Ecohydrology. 14 (4), 1-13, 2021. ISSN: 1936-0584.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/eco.2286>
IF: 2.843 (2020)
13. Lukács, Á., **Kókai, Z.**, Török, P., Bácsi, I., Borics, G., Várбірó, G., Krasznai, E., Tóthmérés, B., B-Béres, V.: Colonisation processes in benthic algal communities are well reflected by functional groups.
Hydrobiologia. 823 (1), 231-245, 2018. ISSN: 0018-8158.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-018-3711-z>
IF: 2.325





14. B-Béres, V., Lukács, Á., Török, P., **Kókai, Z.**, Novák, Z., Krasznai, E., Tóthmérész, B., Bácsi, I.:
Combined eco-morphological functional groups are reliable indicators of colonisation
processes of benthic diatom assemblages in a lowland stream.
Ecol. Indic. 64 (1), 31-38, 2016. ISSN: 1470-160X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.031>
IF: 3.898
15. Bácsi, I., B-Béres, V., **Kókai, Z.**, Gonda, S., Novák, Z., Nagy, S. A., Vasas, G.: Effects of non-
steroidal anti-inflammatory drugs on cyanobacteria and algae in laboratory strains and in
natural algal assemblages.
Environ. Pollut. 212, 508-518, 2016. ISSN: 0269-7491.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.02.031>
IF: 5.099
16. B-Béres, V., Bácsi, I., Krasznai, E., **Kókai, Z.**, Buczkó, K.: First report of *Navicula jakovljevicii*
Hustedt (Bacillariophyta) from Hungary: distribution, comparative morphology and a related
species.
Acta Bot. Croat. 74 (2), 253-264, 2015. ISSN: 0365-0588.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/botcro-2015-0027>
IF: 0.734

Total IF of journals (all publications): 26,12

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 11,221

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on
the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

20 July, 2021

