

**Doktori (PhD) értekezéstézisei**

**Fitoplankton közösségek mintázatának és  
működésének elemzése**

Belovics-Görgényi Judit

Témavezetők:

Dr. Tóthmérész Béla

Dr. Borics Gábor



DEBRECENI EGYETEM

Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola

Debrecen, 2023

## 1. Bevezetés

A fitoplankton fajok kulcsszerepet játszanak az édesvízi ökoszisztémákban. Ezek a szervezetek képezik a vízi táplálékhálózat alapját, részt vesznek az oxigéntermelésben, valamint az édesvizek természetes tisztulási folyamataiban is (Naselli-Flores & Padisák 2022). Kiemelkedő ökológiai szerepük miatt a fitoplankton élőlénycsoport több monitorozó program kiemelt célpontja lett (Batten et al. 2019). E vízminőség-értékelési vizsgálatok többnyire a nagy víztestekre (tavakra, folyókra) irányulnak. Mikroalgák azonban bárhol előfordulhatnak ahol a víz, fény és megfelelő tápanyagok rendelkezésükre állnak, így akár barlangokban, forrásokban és telmákban is. A kisméretű víztestek környezeti paramétereikben szélsőségesen eltérhetnek (Zawal et al. 2013) a nagyméretű víztestektől, és akár nagy diverzitású, unikális fajokkal jellemezhető közösségeket is képesek fenntartani (Kuczyńska-Kippen 2020). Jelenleg kevés adat áll rendelkezésre az édesvízi algák elterjedéséről és még kevesebbet tudunk e csoport ritka fajairól.

Az élőlényközösségekben előforduló fajok gyakorisága és ritkasága visszatérő téma az ökológiában (Rochelle & Martins 2009). A fajok ritkasága számos tényezőtől függ. A testméret a fajok egyik kulcsfontosságú tulajdonsága, amely többnyire pozitív kapcsolatban áll az élőhely méretével és korrelál a ritkasággal, valamint a kihalás valószínűségével (Kattan 1992). Az élőhelyek jól ismert degradációján kívül bizonyos fajok ritkasága nem csupán ökológia folyamatokra vezethető vissza; befolyásolhatja azt pl. a filogenetikai hátterük is.

Ismert, hogy az édesvizek limnológiai, hidromorfológiai tulajdonságai egyértelműen meghatározzák egy adott víztestben kialakuló élőhelytípusokat, valamint az előforduló élőlényegyüttesek összetételét, ezért várható, hogy a hasonló fizikai tulajdonságokkal rendelkező vizek biológiai tulajdonságaikban is hasonlóak (Kofoid 1903). E hasonlóság a közösségek funkcionális sajátosságai tekintetében relevánsan jelentkezik. A fitoplankton esetén ezt a fajta megközelítést szintén a nagyméretű vizekre dolgozták ki, a koncepció alkalmazhatóságát a kisméretű, unikális élőhelyekre eddig még nem vizsgálták.

Az említett célok mentén az alábbi hipotézisek fogalmazódtak meg:

1. A core-satellite hipotézis szerint, a különböző élőhelyeket alkotó közösségek nagyszámú core (gyakori) és satellite (ritka) fajokból állnak, ami a fajok bimodális eloszlási mintázatát prediktálja. Feltételezzük, hogy a mikroalgák, összhangban a core-satellite hipotézissel, bimodális élőhelypreferenciát mutatnak a Pannon ökorégióban.

2. Feltételezzük, hogy a ritka és gyakori fajok regionális, és egyetlen víztéren belüli lokális eloszlásmintázata hasonlóságot mutat.

3. Hasonlóan a makroszkopikus élőlényekhez, a mikroalgák testmérete is összefüggésben van az elfoglalt élőhelyek számával. Feltételezzük, hogy a kisméretű algák gyakoriak, számos habitatban előfordulhatnak, míg a nagyobb méretű fajok ritkábbak, kevesebb habitatban fordulnak elő.

4. A mikroalgák ritkasága függ a filogenetikai rokonságtól. Feltételezzük, hogy bizonyos fajok előfordulási gyakoriságát lényegesen befolyásolja a faj evolúciós története.

5. Feltételezzük, hogy a különböző víztípusok között jelentős fajgazdagságbeli különbségek vannak, ezáltal eltérő számú ritka algataxont tartalmaznak, és eltérő természetvédelmi értékekkel bírnak.

6. Feltételezzük, hogy a mikroalgák, reflektálva az élőhelyek limnológiai sajátosságaira, funkcionálisan eltérő klasztereket képeznek, ezáltal a különböző élőhelyek sajátos funkcionális közösséggel jellemezhetők.

7. Végül feltételezzük, hogy a mikroalgák által létrehozott biológiai víztipológia („bottom-up” tipológia) eltérő csoportokat képez a hidromorfológiai víztipológia mechanikusan létrehozott típus csoportjaitól („top-down” tipológia).

A fenti hipotézisek vizsgálatához elsődleges célom egy olyan átfogó adatbázis létrehozása volt, mely tartalmazza a hazai mikroalga fajok előfordulási adatait. További célom volt, hogy az adatbázis elemzésével összevethessem az élőhelyek hidromorfológiai típusait a mikroalgák funkcionális sajátosságai alapján képezhető csoportokkal, továbbá ritkasági mérőszámot dolgozzak ki, és vizsgáljam, hogy a fajok ritkasága miként illeszkedik azokhoz a modellekhez és keretrendszerekhez, melyekkel a makroszkopikus élőlényegyüttesek közösségeinek szerveződését, biogeográfiai sajátosságait jellemzik.

## **2. Anyag- és módszer**

### *2.1. A hazai mikroalga flóra adatbázisának elkészítése*

A magyarországi fajleltár összeállítása során az adatbázis gerincét azok a hazai algahatározó könyvek képezték, melyek a fajleírások mellett a vizsgált régióra vonatkozó faj-előfordulási adatokat is tartalmazták (Felföldy 1972, 1981, 1985, Németh 1997, Grigorszky és mtsai. 1999, Schmidt & Fehér 1998, 1999, 2001). Ezt bővítettem a fenti irodalmak megjelenését követően publikált irodalmakból származó adatokkal (florisztikai tanulmányok, szürke irodalom), illetve a Vízügyi Főigazgatóság monitoring adataival. A bentikus kovaalgák nem képezték az adatbázisunk részét.

A fajok dokumentált előfordulási helyeit különböző típusleíró változók mentén (víztest kategória, tengerszint feletti magasság, kémiai összetétel, eredet, vízforgalom, méret, mélység) csoportosítottuk, összesen 24 habitat típust elkülönítve.

### *2.2. A fajok osztályozása*

A fajok osztályozása során funkcionális jelleg alapú és funkcionális csoport alapú megközelítést alkalmaztunk.

Funkcionális jelleg alapú besorolás (továbbiakban FJ): a fitoplankton fajokat 12 FJ-be soroltuk (Litchman & Klausmeier 2008): ostoros algák, fonalas algák, egysejtű algák,

koloniális algák, nagy ostoros algák, 40  $\mu\text{m}$ -nél nagyobb méretű algák, nitrogénkötő algák, mixotróf módon táplálkozó algák, heterotróf módon táplálkozó algák, vakuolizált algák, kovavázias algák és pennales rendbe tartozó kovaalgák; mindezeket bináris tulajdonságként határoztuk meg (0 = hiányzik; 1 = rendelkezik a tulajdonsággal).

Funkcionális csoport alapú besorolás (a továbbiakban FCS): a fitoplankton fajokat 31 FCS-ba soroltuk Reynolds és munkatársai (2002) valamint Padisák és munkatársai (2009) kritériumai alapján úgy, hogy minden faj csak egy FCS-ba kerülhetett; minden csoportot betűkóddal láttunk el.

### 2.3. Adatfeldolgozási módszerek

A core-satellite hipotézis teszteléséhez kétféle görbét alkalmaztunk. Vizsgáltuk a fajok eloszlási gyakorisági görbéjének (OFD) és rangsorolt előfordulási (RSOC) görbéjének alakját.

Azon kérdés megválaszolására, hogy milyen mintázatot mutat a ritka és gyakori fajok egyetlen víztéren belüli eloszlása, a Tiszadobi Malom-Tisza 2007-évi nagy térbeli felbontású vizsgálata során nyert adatokat, valamint a 2004-2010 közötti időszak vegetációperiódusában gyűjtött mintegy 25 minta feldolgozásából származó adatokat használtuk.

Kvantilis regressziót alkalmaztunk az alfafajok testmérete (sejt, -kolónia, -fonáltérfogat) és az elfoglalt élőhelyek (és víztípusok) száma közötti összefüggések tesztelésére. Az elemzéseket az 50%-os, 75%-os, 90%-os és 95%-os kvantilisekre végeztük el. A kvantilis regressziókat R-ben végeztük a „quantreg” csomag segítségével (Koenker 2017).

A fajok ritkaságának jellemzésére két mérőszámot vezettünk be, a gyakorisági-értéket és a ritkasági-értéket, amelyek egyaránt reprezentálják a populáció denzitását, valamint fajok élőhely-specifitását.

A filogenetikai rokonság és a fajok élőhely-specifitása közötti kapcsolat értékelésére filogenetikai fát készítettünk. Első lépésben minden fajhoz hozzárendeltük a ritkasági-értékét. A filogenetikai fa felépítéséhez elvégeztük a fajok taxonómiai besorolását (Algaebase): Birodalom/Ország/Törzs/Altörzs/Osztály/Rend/Család/Nemzetség/Faj, mely alapján a filogenetikai fát az „as.phylo” függvény segítségével építettük fel. A fajritkasági-értékekben megfigyelhető filogenetikai jel értékeléséhez először kiszámoltuk az ághosszakokat, majd következő lépésként a „phylosig” függvényt alkalmaztuk (Revell 2012). Az így kiszámított Pagel-féle  $\lambda$  érték (Pagel 1999) jelzi az adatokban mérhető filogenetikai függőség fokát, értéke 0 és 1 közé esik (0=nincs, 1= nagyon erős filogenetikai kapcsolat).

Annak megállapítására, hogy a különböző víztípusok milyen számú ritka algataxont tartalmaznak, és ezáltal milyen természetvédelmi értékkel bírnak, összehasonlítottuk a víztípusonként előforduló fajok ritkasági-értékeit a 24 víztípus között. Az összehasonlításhoz Kruskal-Wallis tesztet, illetve Wilcoxon-féle előjeles rangtesztet ( $P > 0.05$  szignifikancia szinten) alkalmaztunk. A p-értékekben Holm-Bonferroni ( $P < 2.2e-16$  szignifikancia szinten) korrekciót végeztünk (Holm 1979).

A különböző víztípusok FJ és FCS szinten történő összehasonlítására kvalitatív mátrixokat készítettünk, amelyekben 1-gyel jelöltük, ha a FJ/FCS előfordult és 0-val jelöltük, ha a FJ/FCS hiányzott az élőhelytípusból. Annak meghatározására, hogy a különböző FJ/FCS csoportok milyen gyakorisággal fordultak elő a különböző víztípusokban, kvantitatív mátrixot

készítettük, melyben megadtuk minden egyes FJ/FCS gyakorisági értékét az összes víztípusra vonatkozóan.

Az élőhelytípusok és a mikroflóra közötti hasonlóságok tanulmányozására agglomeratív hierarchikus klaszterezési módszereket alkalmaztunk. Mind a kvalitatív, mind a kvantitatív adatokon ezzel a módszerrel végeztük az adatelemzést. A kvantitatív adatokhoz a Jaccard hasonlósági indexet (Jaccard 1901), míg a kvantitatív adatokhoz a Bray-Curtis disszimilaritást (Bray & Curtis 1957) használtuk a hasonlóságok megállapítására. A hierarchikus klaszterezés a Ward's algoritmuson alapult.

### 3. Eredmények és értékelésük

#### 3.1. Az adatbázis leírása

Összesen 2489 faj és 1145 lokalitás került be az adatbázisba. A víztestek mérete a kicsi patakoktól a nagy folyókig (Duna) valamint a telmáktól a tavakig (Fertő-tó, Balaton) terjedő mérettartományt ölelte föl. Az adatbázisban a magyarországi édesvizekre jellemző valamennyi nagyobb fitoplankton csoport képviselője szerepelt: Euglenozoa, Cyanobacteria, Miozoa, Bigyra, Charophyta, Chlorophyta, Cryptophyta, Haptophyta, Ochrophyta és planktikus kovaalga fajok.

#### 3.2. A mikroalga közösség eloszlásának eredményei regionális skálán

A gyakoriság eloszlási görbék (RSOC és OFD) mintázata mind a lokalitások mind a habitat típusok szintjén végzett elemzések során unimodális jelleget mutatott, mégpedig a ritka „satellite” fajok dominanciájával. A fajok nagy része kevés lokalitáson és kevés élőhelytípusban fordul elő. A fajok jelentős része (927) kizárólag egy élőhelytípusból, 787 faj pedig kizárólag egy lokalitásról került elő. Ezek mind „satellite”, azaz ritka fajoknak tekinthetők.

A görbe alapján csupán néhány taxon tekinthető „core”, azaz gyakori fajnak. A legtöbb lokalitáson (összesen 409 lokalitás) a *Monoraphidium contortum* (Cs. in Bréb.) Komárk.-Legn. képviseltette magát, így lokalitások szintjén ez a faj tekinthető „core” fajnak. Habitat típusok szintjén is egyetlen faj, az *Actinastrum hantzschii* Lagerheim (Chlorophyta, Trebouxiophyceae) tekinthető „core” fajnak (összesen 23 víztípusban fordult elő a 24 víztípusból).

Hipotézisünkkel ellentétben, eredményeink unimodális eloszlást mutattak, jelezve, hogy regionális léptékben a fitoplankton közösség kevés gyakori és rendkívül sok ritka fajból áll. Ennek magyarázata, hogy a „core-satellite” hipotézis a fajok eloszlását egymással összefüggő, alapvető környezeti jellemzőikben azonos élőhelyek között vizsgálja (Hanski 1982), ezzel szemben a legtöbb, általunk vizsgált víztípus jelentősen eltérő környezeti tulajdonságokkal bír, hiszen a vizsgált térbeli skála növekedésével a víztestek konnektivitása csökkent. A konnektivitás hiánya jelentősen redukálhatja a gyakori fajok számát még a nagy diszperziós képességgel rendelkező algák esetében is.

### 3.3. A mikroalga fajok eloszlásának eredményei lokális skálán

A három mintavételi elrendezés (térbeli skála: hossz-szelvény, kereszt-szelvény; időbeli skála: 2004-2010) eredményei alapján megállapítható, hogy a gyakori fajok százalékos előfordulásában jelentős különbségek voltak. Ritka fajok tekintetében azonban jóval nagyobb volt a hasonlóság mértéke, ugyanis mindhárom mintavételi elrendezés esetén a fajok döntő része nagyon alacsony előfordulási gyakorisággal volt jellemezhető (a fajok hozzávetőleg 40%-a, a mintáknak kevesebb, mint 5%-ában volt jelen).

Eredményeink igazolták azt a feltételezésünket is, mely szerint a ritka és gyakori fajok regionális, és egyetlen víztéren belüli lokális eloszlásmintázata hasonlóságot mutat. A fajlisták döntő részében meghatározóak a ritka (satellite) fajok, amelyek a lokalitások szintjén mind regionálisan, mind lokálisan a flóra meghatározó részét képezik. Ugyan ez igaz az időbeli mintákra is. Ez az eredmény arra enged következtetni, hogy akár egy lokalitáson belül is lehetnek olyan stabil térbeli izolácók (vertikális (T-Kraszanai et al., 2023, vagy horizontális (Borics et al., 2011), amelyek lehetővé teszik eltérő fizikai, kémiai és biológiai környezet kialakulását, és ennek megfelelően a mikroflóra eltéréseit is.

### 3.4. Ritkaság-testméret összefüggés

A kvantilis regresszió eredményei szignifikáns, csökkenő tendenciát mutattak az elfoglalt víztípusok/lokalitások száma és a mikroalgák testmérete (sejt, -kolónia, -fonáltérfogat) között valamennyi vizsgált kvantilis esetében (25% - 95% kvantilis). Ezek az eredmények azt sugallják, hogy a kisméretű mikroalgák a terület méretétől függetlenül szinte bárhol megtalálhatóak, míg a nagyobb méretű taxonok kevesebb habitat típust képesek elfoglalni.

Eredményeink igazolták azt a feltételezésünket is, mely szerint hasonlóan a makroszkopikus élőlényekhez, a mikroalgák testmérete és az elfoglalt élőhelyek száma között is negatív kapcsolat áll fenn. Ennek oka, hogy a kisméretű mikroalgák, a nagyszámú élőhelyspecialista faj mellett számos szubkozmozopolita, r-stratégista fajt tartalmaznak. Ezzel szemben, a nagyméretű mikroalgáknál a toleráns, szubkozmozopolita fajok aránya lényegesen kisebb, többnyire K-stratégista, élőhely-preferenciával rendelkező fajok alkotják e csoportot.

### 3.5. Filogenetikai ritkaság

A „phylosig” teszt erős filogenetikai jelet eredményezett, amely szignifikánsan különbözött a nullától ( $\lambda = 0,207583$ ;  $\log L(\lambda) = 4266,56$ ;  $LR(\lambda=0) = 19,7843$ ;  $p < 0,00001$ ). Ez egyértelműen jelzi, hogy a fajok ritkaságának értékelésekor érdemes figyelembe venni az evolúciós hátteret is.

Eredményeink igazolták azt a feltevést, hogy bár a fajok ritkasága alapvetően ökológia folyamatokra vezethető vissza, bizonyos csoportok ritkaságát egyértelműen jelzi a filogenetikai hátterük. A ritka fajok többsége a Desmidiales és a Miozoa törzsbe tartozik. E csoport nagyszámú élőhely-specialista fajt tartalmaz, illetve taxonjaik erős, vastagfalú kitartóképletekkel rendelkeznek, segítve őket olyan új és speciális élőhelyek kolonizálásában, amelyek a többi csoport taxonjai számára elérhetetlenek (Matsuoka & Fukuyo 2003).

### 3.6. A gyakorisági-értékek habitat típusonkénti eloszlása

Szignifikáns különbségeket figyeltünk meg a víztípusok között ritkasági-értékeik tekintetében. Magas ritkasági-értékekkel voltak jellemezhetőek ( $>0,9975$ ) a következő élőhelytípusok: patakok, erek, folyók, csatornák, holtágak, tározók, szikes tavak, halastavak, bányatavak és a tavak. Alacsony ritkasági-értéket ( $<0,9950$ ) kizárólag a kriobiotópok mutattak.

A Wilcoxon féle előjeles rangteszt statisztikailag szignifikáns különbségeket ( $p < 0,00001$ ) mutatott több élőhelytípus között is a ritka fajok tekintetében. A legtöbb ritka fajt a láptavak, holtágak és a szikes tavak tartalmazzák.

A víztípusok között tapasztalt jelentős fajgazdagságbeli különbségek alátámasztották hipotézisünket. A vízfolyások nagy fajgazdagsága evidens, mert vízgyűjtőjük valamennyi vízének befogadói, meglepő azonban a kisméretű víztestek (holtmedrek, láptavak) nagy fajgazdagsága. Ezek a víztípusok kiterjedt litorális zónájuk és nagy habitat-diverzitásuk miatt esetenként nagyobb mikroalga-diverzitást mutatnak, mint a nagy tavak (Várbíró et al. 2017), ezáltal a kisméretű víztestek is jelentős természetvédelmi értékkel bírnak.

### 3.7. A különböző élőhelytípusokra jellemző funkcionális tulajdonságok és funkcionális csoportok

Számos FJ (ostoros, egysejtű algák,  $>40 \mu\text{m}$  algák, koloniális algák, mixotróf módon táplálkozó algák) minden élőhelytípusban nagy gyakorisággal ( $>20\%$ ) fordult elő, kivéve a kriobiotópokat, melyben a többi élőhelytípustól eltérő FJ-ek domináltak. Különböző gyakorisággal, de minden FJ minden víztípusban jelen volt, kivéve a nagyon kisméretű, speciális élőhelyeket (pl. kubik gödrök, telmák), mely víztípusokban kevés FJ fordult elő.

FCS-ok tekintetében a víztípusok jól elkülönültek egymástól. Bár voltak olyan csoportok melyek (különösen F, J) csaknem minden típusban nagy gyakorisággal ( $>20\%$ ) fordultak elő, a különböző víztípusok eltérő gyakoriságban tartalmazták a legtöbb funkcionális csoport fajait. A legsajátosabb közösségekkel a kisméretű, speciális élőhelyek rendelkeztek, melyekben több FCS (pl. A, B, H2, M, S1, S2, YPh, Z) csak nagyon alacsony gyakorisággal fordult elő, vagy akár teljes mértékben hiányoztak ezekből a víztípusokból.

Alátámasztva hipotézisünket, a különböző élőhelytípusok eltérő funkcionális tulajdonságokkal bíró csoportokkal jellemezhetőek. Főként a kisméretű, speciális környezeti paraméterekkel jellemezhető élőhelyek rendelkeznek teljesen eltérő FT és FCS összetétellel, hiszen ezek a víztípusok az algák nagyon szűk halmaza számára biztosítanak megfelelő életfeltételeket (Kol 1968).

### 3.8. Az élőhelytípusok és a mikroflóra közötti hasonlóságok tanulmányozásának eredményei

A kvalitatív adatokon alapuló vizsgálat során kevés olyan élőhelyklasztert találtunk, amelyek limnológiai/hidromorfológiai jellemzőiben közeli hasonlóságot mutattak. Ennek oka, hogy a Jaccard index az élőhelyek csoportosítását csupán a közös FJ-ek és FCS-ok száma alapján végzi (Verma & Aggarwa 2020). A kvantitatív adatokon alapuló vizsgálatokban azonban FJ és FCS szinten is számos, jól elkülönülő élőhelyklasztert találtunk, melyek hasonló limnológiai és hidromorfológiai jellemzőkkel rendelkeznek. A Bray-Curtis disszimilitás

részletesebb élőhelycsoportosítást tett lehetővé, ezáltal a biológiai alapú csoportok könnyen összeegyeztethetővé váltak a hidromorfológiai tulajdonságokon alapuló csoportokkal.

Az FJ és FCS-alapú megközelítéssel végzett élőhelycsoportosítás eredményei is eltéréseket mutattak, melyek közül a FCS-alapú megközelítés tűnt a legmegbízhatóbbnak. FCS alapján 5 klasztert tudtunk elkülöníteni: (1) kisméretű akvatikus és szemiakvatikus élőhelyek, (2) sekély, közepes méretű, makrofita dominálta állóvizek, (3) közepes méretű tavak, amelyekben nem, vagy csak elhanyagolható a makrofita jelenléte, (4) folyók és a folyók által táplált élőhelyek, valamint (5) kriobiotópok. A klasztereken belül az ágvégeken több, jól elkülöníthető, hidromorfológiailag és limnológiailag hasonló csoport volt megfigyelhető. Az, hogy az élőhelytípusok csoportosításában FJ és FCS szinten is különbségek mutatkoztak, az alkalmazott funkcionális megközelítések szerveződési szintjei (egyed, ill. közösség) és inherens összetevői (morfológiai jelleg, ill. válasz csoport) közötti különbségekre vezethető vissza (Violle et al. 2007).

Eredményeink alátámasztották azt a feltételezésünket, miszerint a hidromorfológiai/limnológiai szempontból hasonló víztípusok többnyire hasonló mikroflórával rendelkeznek. A FCS-alapú megközelítést tavakra és folyókra fejlesztették ki, azonban úgy tűnik ez a megközelítés jól alkalmazható extrém élőhelyek, mint pl. kriobiotópok, barlangvizek, láptavak vagy telmák esetében is. Néhány nehezen értelmezhető csoportot is eredményezett a klaszterezés, jelezve, hogy a hidromorfológiailag/limnológiailag eltérő élőhelyeknek is lehetnek olyan közös, de általunk kevésbé ismert jellemzői, melyek lehetővé teszik funkcionálisan hasonló algaegyüttesek kialakulását.

#### **4. Új tudományos eredmények**

##### *A mikroalgák élőhelypreferenciája a Pannon ökorégióban*

Kimutattuk, hogy a mikroalgák gyakoriság eloszlása unimodális mintázatot követ a Pannon ökorégióban, nagyszámú satellite, azaz ritka alga taxon dominanciával.

##### *A mikroalgák lokális és regionális eloszlása*

Kimutattuk, hogy a ritka és gyakori fajok regionális, és egyetlen víztéren belüli lokális eloszlásmintázata hasonlóságot mutat. A ritka (satellite) fajok mind regionálisan, mind lokálisan a flóra meghatározó részét képezik.

##### *Ritkaság-testméret összefüggés*

Eredményeink rávilágítottak, hogy a mikroalgák testmérete és az elfoglalt lokalitások/víztípusok száma közti jól ismert negatív összefüggés a mikroalgákra is érvényes.

##### *A ritkaság filogenetikai meghatározottsága*

Szoros összefüggést mutattunk ki a mikroalgák ritkasága és filogenetikai rokonsága között. A taxonok ritkaság-értékeiben kimutatható volt a filogenetikai kapcsolat, ami arra utal, hogy

ritkaság tekintetében a közeli rokon fajok (Desmidiáles, Dinophyta, Euglenofita) jelentős hasonlóságot mutatnak.

#### *A különböző víztípusok természetvédelmi értékei*

Kimutattuk, hogy a különböző élőhelytípusok eltérő számú ritka algataxont tartalmaznak. Eredményeink rávilágítottak arra is, hogy a kis- és közepes méretű élőhelyek (láptavak, patakok, holtmedrek) adnak otthont a legtöbb ritka fajnak. Ezek az eredmények fölhívják a figyelmet a kis élőhelyek megőrzésének fontosságára a mikrobiális sokféleség megőrzésében.

#### *A különböző élőhelytípusok funkcionális jellemzői*

Eredményeink egyértelműen rávilágítottak arra, hogy a különböző víztípusok eltérő FJ-el és eltérő FCS-al rendelkeznek. Kimutattuk, hogy a kisméretű, speciális környezeti paraméterekkel jellemezhető élőhelyek kis funkcionális diverzitású közösségekkel rendelkeznek, ugyanakkor sajátos FJ-el és FCS-al jellemezhetők.

#### *A Pannon ökorégióban előforduló vizes élőhelyek mikroalgaflórájának funkcionális tulajdonságaiban mutatkozó hasonlóságok*

Kimutattuk, hogy a hasonló hidromorfológiai/limnológiai jellemzőkkel bíró habitatok többsége funkcionálisan hasonló mikroflórával rendelkezik. Mind a FJ alapú, mind a FCS alapú élőhelyosztályozás a hidromorfológiai alapú tipológiától eltérő csoportokat eredményezett. Kimutattuk továbbá, hogy a FCS alapú megközelítés nem csupán tavakra és folyókra, de kisméretű, extrém élőhelyekre is jól alkalmazható.



Nyilvántartási szám: DEENK/428/2023.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Belovics-Görgényi Judit  
Doktori Iskola: Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola  
MTMT azonosító: 10040036

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

1. **Belovics-Görgényi, J.**, Krasznai, E., Ács, É., Kiss, K. T., Botta-Dukát, Z., Végvári, Z., Lukács, Á., Várbíró, G., B-Béres, V., Kókai, Z., Tóthmérész, B., Borics, G.: Rarity of microalgae in macro, meso, and microhabitats.  
*Inland Waters. Epub*, 1-16, 2023. ISSN: 2044-2041.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/20442041.2022.2152247>  
IF: 3.1 (2022)
2. **Belovics-Görgényi, J.**, Tóthmérész, B., Várbíró, G., Abonyi, A., Krasznai, E., B-Béres, V., Borics, G.: Contribution of phytoplankton functional groups to the diversity of a eutrophic oxbow lake.  
*Hydrobiologia. 830 (1)*, 287-301, 2019. ISSN: 0018-8158.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-018-3878-3>  
IF: 2.385

### További közlemények

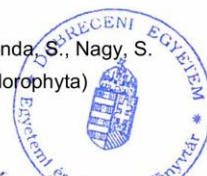
#### Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (12)

3. **Belovics-Görgényi, J.**, Várbíró, G., Krasznai, E., Abonyi, A., Tóthmérész, B., Borics, G.: A fitoplankton funkcionális csoportjainak hatása a fajtelitődési görbék alakjára egy eutróf állóvíz esetén = Effect of phytoplankton functional group on the shape of the species accumulation curves in a shallow eutrophic oxbow (Hungary).  
*Hidrol. Közl. 96*, 32-36, 2016. ISSN: 0018-1323.
4. **Belovics-Görgényi, J.**, Abonyi, A., Krasznai, E., Pozderka, V., Bolgovics, Á., Várbíró, G., Borics, G.: A habitat diverzitás hatása az aktuális fitoplankton fajsámra egy sekély eutróf állóvíz esetén.  
*Hidrol. Közl. 94 (5-6)*, 38-39, 2014. ISSN: 0018-1323.





5. Krasznai, E., Abonyi, A., **Belovics-Görgényi, J.**, Török, P.: A Malom-Tisza holtág epi- és metalimnetikus fitoplanktonjának vertikális mintázata (2007-2009).  
*Hidrol. Közl.* 94 (5-6), 90-92, 2014. ISSN: 0018-1323.
6. Bolgovics, Á., **Belovics-Görgényi, J.**, Pozderka, V., Várбірó, G., Borics, G.: Hazai állóvíz típusok biológiai validációja fitoplankton alapján.  
*Hidrol. Közl.* 94 (5-6), 23-25, 2014. ISSN: 0018-1323.
7. Abonyi, A., Borics, G., Várбірó, G., Krasznai, E., **Belovics-Görgényi, J.**, Selmeczy, G., Padisák, J.: Magyarországi holtágak morfológiája I.: a természetes, a mesterséges, az ártéri és a mentett oldali = Morphology classes of Hungarian oxbow lakes I. : The natural, the artificially separated, the flooded and the isolated.  
*Hidrol. Közl.* 94 (5-6), 10-11, 2014. ISSN: 0018-1323.
8. Abonyi, A., Borics, G., Várбірó, G., Krasznai, E., **Belovics-Görgényi, J.**, Selmeczy, G., Padisák, J.: Magyarországi holtágak morfológiája II.: a medermorfológia és a keletkezés természetvédelmi vonatkozásai = Morphology classes of Hungarian oxbow lakes II. : The influence of lake origin and morphology on the natural conservation value.  
*Hidrol. Közl.* 94 (5-6), 12-13, 2014. ISSN: 0018-1323.
9. Pozderka, V., Bolgovics, Á., Borics, G., **Belovics-Görgényi, J.**: Milyen kapcsolat van a vízfolyások felső szakaszának fitoplanktonja és bentikus algaközösségei között?  
*Hidrol. Közl.* 94 (5-6), 77-78, 2014. ISSN: 0018-1323.
10. Krasznai, E., Abonyi, A., **Belovics-Görgényi, J.**: A Malom-Tisza holtág nyári rétegződési stabilitása és oxigénviszonyai 2007-2010-ben [Characteristics of the summer thermal stratification and the oxygen profile in the Malom-Tisza oxbow (2007-2010)].  
*Hidrol. Közl.* 93 (5-6), 81-83, 2013. ISSN: 0018-1323.
11. Kókai, Z., Vári, Á., Boros, G., Tóth, V., Tátrai, I., **Belovics-Görgényi, J.**, B-Béres, V.: Fitobenton közösségek összetételének változása a mesterséges aljzat minősége, az idő és a mélység függvényében.  
*Hidrol. Közl.* 93 (5-6), 49-52, 2013. ISSN: 0018-1323.
12. **Belovics-Görgényi, J.**, Bolgovics, Á., Borics, G.: Miként befolyásolja az élőhely mérete a fitoplankton aktuális diverzitását?  
*Hidrol. Közl.* 93 (5-6), 30-32, 2013. ISSN: 0018-1323.
13. Szabó Gabriella., B-Béres, V., **Belovics-Görgényi, J.**, Vitál, Z., Kassai, S., Gonda, S., Nagy, S., A., Tóthmérész, B., Bácsi, I.: A cink hatása a *Monoraphidium pusillum* (Chlorophyta) növekedésére és morfológiájára.  
*Hidrol. Közl.* 91 (6), 82-85, 2011. ISSN: 0018-1323.
14. B-Béres, V., Kassai, S., Vitál, Z., Szabó Gabriella., **Belovics-Görgényi, J.**, Gonda, S., Nagy, S., A., Tóthmérész, B., Bácsi, I.: A *Monoraphidium pusillum* (Chlorophyta) lipidtermelésének vizsgálata különböző nitrogén-ellátottságú tenyészetekben.  
*Hidrol. Közl.* 91 (6), 18-21, 2011. ISSN: 0018-1323.





Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (15)

15. Borics, G., Várbíró, G., Falucskai, J., Végvári, Z., Krasznai, E., **Belovics-Görgényi, J.**, B-Béres, V., Lurf, V.: A two-dimensional morphospace for cyanobacteria and microalgae: Morphological diversity, evolutionary relatedness, and size constraints.  
*Freshw. Biol.* 68 (1), 115-126, 2023. ISSN: 0046-5070.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/fwb.14013>  
IF: 2.7 (2022)
16. Lukács, Á., Szabó, S., Krasznai, E., **Belovics-Görgényi, J.**, Kókai, Z., B-Béres, V., Borics, G.: Metaphyton contributes to open water phytoplankton diversity.  
*Hydrobiologia. Epub.* 1-18, 2023. ISSN: 0018-8158.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-023-05314-3>  
IF: 2.6 (2022)
17. Krasznai, E., Török, P., Borics, G., Lukács, Á., Kókai, Z., Lurf, V., **Belovics-Görgényi, J.**, B-Béres, V.: Functional dynamics of phytoplankton assemblages in hypertrophic lakes: Functional- and species diversity is highly resistant to cyanobacterial blooms.  
*Ecol. Indic.* 145, 1-10, 2022. ISSN: 1470-160X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109583>  
IF: 6.9
18. Krasznai, E., Lurf, V., Tóth, I., Kisantal, T., Várbíró, G., Vasas, G., B-Béres, V., **Belovics-Görgényi, J.**, Lukács, Á., Kókai, Z., Borics, G.: Uncertainties of cell number estimation in cyanobacterial colonies and the potential use of sphere packing.  
*Harmful Algae.* 117, 1-9, 2022. ISSN: 1568-9883.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hal.2022.102290>  
IF: 6.6
19. Bolgovics, Á., Ács, É., Várbíró, G., **Belovics-Görgényi, J.**, Kiss, K. T., Földi, A., Nagy-László, Z., Trábert, Z., Borics, G.: Benthic diatom-based lake types in Hungary.  
*Fundam. Appl. Limnol.* 189 (2), 105-116, 2017. ISSN: 1863-9135.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/fal/2016/0942>  
IF: 1.361
20. Várbíró, G., **Belovics-Görgényi, J.**, Tóthmérész, B., Padisák, J., Hajnal, É., Borics, G.: Functional redundancy modifies species-area relationship for freshwater phytoplankton.  
*Ecol. Evol.* 7 (23), 9905-9913, 2017. ISSN: 2045-7758.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.3512>  
IF: 2.34





21. Mozsár, A., Specziár, A., Battonyai, I., Borics, G., **Belovics-Görgényi, J.**, Horváth, H., Présing, M., G.-Tóth, L., Vitál, Z., Boros, G.: Influence of environmental factors and individual traits on the diet of non-native hybrid bigheaded carp (*Hypophthalmichthys molitrix* x *H. nobilis*) in Lake Balaton, Hungary.  
*Hydrobiologia*. 794 (1), 317-332, 2017. ISSN: 0018-8158.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-017-3137-z>  
IF: 2.165
22. Bolgovics, Á., Várbíró, G., Ács, É., Trábert, Z., Kiss, K. T., Pozderka, V., **Belovics-Görgényi, J.**, Boda, P., Lukács, B. A., Nagy-László, Z., Abonyi, A., Borics, G.: Phytoplankton of rhithral rivers: its origin, diversity and possible use for quality-assessment.  
*Ecol. Indic.* 81, 587-596, 2017. ISSN: 1470-160X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.04.052>  
IF: 3.983
23. Borics, G., Tóthmérész, B., Várbíró, G., Grigorszky, I., Czébely, A., **Belovics-Görgényi, J.**: Functional phytoplankton distribution in hypertrophic systems across water body size.  
*Hydrobiologia*. 764 (1), 81-90, 2016. ISSN: 0018-8158.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-015-2268-3>  
IF: 2.056
24. Bolgovics, Á., Ács, É., Várbíró, G., **Belovics-Görgényi, J.**, Borics, G.: Species area relationship (SAR) for benthic diatoms: a study on aquatic islands.  
*Hydrobiologia*. 764 (1), 91-102, 2016. ISSN: 0018-8158.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-015-2278-1>  
IF: 2.056
25. **Belovics-Görgényi, J.**, Boros, G., Vitál, Z., Mozsár, A., Várbíró, G., Vasas, G., Borics, G.: The role of filter-feeding Asian carps in algal dispersion.  
*Hydrobiologia*. 764 (1), 115-126, 2016. ISSN: 0018-8158.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-015-2285-2>  
IF: 2.056
26. Vitál, Z., Specziár, A., Mozsár, A., Takács, P., Borics, G., **Belovics-Görgényi, J.**, G.-Tóth, L., Nagy, S. A., Boros, G.: Applicability of gill raker filtrates and foregut contents in the diet assessment of filter-feeding Asian carps.  
*Fundam. Appl. Limnol.* 187 (1), 79-86, 2015. ISSN: 1863-9135.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/fal/2015/0698>  
IF: 0.786
27. Battonyai, I., Specziár, A., Vitál, Z., Mozsár, A., **Belovics-Görgényi, J.**, Borics, G., G.-Tóth, L., Boros, G.: Relationship between gill raker morphology and feeding habits of hybrid bigheaded carps (*Hypophthalmichthys* spp.).  
*Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.* 416, 36-1-36-11, 2015. ISSN: 1961-9502.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/kmae/2015031>  
IF: 0.978





28. Borics, G., Lukács, B. A., Grigorszky, I., László-Nagy, Z., G.-Tóth, L., Bolgovics, Á., Szabó, S.,  
**Belovics-Görgényi, J.**, Várbíró, G.: Phytoplankton-based shallow lake types in the  
Carpathian basin: steps towards a bottom-up typology.  
*Fundam. Appl. Limnol.* 184 (1), 23-34, 2014. ISSN: 1863-9135.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/1863-9135/2014/0518>  
IF: 1.077
29. Borics, G., **Belovics-Görgényi, J.**, Grigorszky, I., László-Nagy, Z., Tóthmérész, B., Krasznai, E.,  
Várbíró, G.: The role of phytoplankton diversity metrics in shallow lake and river quality  
assessment.  
*Ecol. Indic.* 45, 28-36, 2014. ISSN: 1470-160X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.03.011>  
IF: 3.444

Magyar nyelvű konferencia közlemények (1)

30. Bolgovics, Á., Borics, G., **Belovics-Görgényi, J.**: A tóméret és a fajszám közötti összefüggés  
bentikus és planktonikus algák esetén.  
In: XXXI. Országos Vándorgyűlés, Gödöllő, 2013.07.03-2013.07.05. /szerk. Szlávik Lajos,  
Kling Zoltán, Szigeti Edit, Magyar Hidrológiai Társaság, Budapest, 1-12, 2013.

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 46,587**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):  
5,485**

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, 2023.09.15.



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

**The functional and pattern analysis of  
phytoplankton communities**

by Judit Belovics-Görgényi

Supervisors:

Dr. Béla Tóthmérész (DSc)

Dr. Gábor Borics (DSc)



UNIVERSITY OF DEBRECEN  
Juhász-Nagy Pál Doctoral School

Debrecen, 2023

## 1. Introduction

Phytoplankton plays a key role in freshwater ecosystems by providing the base of the aquatic food web and taking place in natural purification processes of freshwaters (Naselli-Flores & Padisák 2022). Due to its prominent ecological role, phytoplankton is considered a key target in several monitoring programs (Batten et al. 2019). Most of the water quality assessment investigations focus on large water bodies (lakes, rivers). However, microalgae can occur anywhere, where the conditions (water, light, nutrients) are suitable for them, from the small telmata through the cave waters to the marshlands. The small sized water bodies (area:  $10^4$ - $10^5$  m<sup>2</sup>) are characterized by a considerable amount of variation in terms of their environmental parameters (Zawal et al. 2013). This enables the small water bodies maintaining higher species diversity with several unique species, than the large ones (Kuczyńska-Kippen 2020). However, currently, only a few data are available for the distribution of freshwater algae and even less for rare species of this group.

The commonness and rarity of species in communities are recurrent topics in ecology (Rochelle & Martins 2009). The rarity of species depends on several factors. Body size is a key trait of species, which is often positively associated with habitat size and correlates with rarity and susceptibility to extinction (Kattan 1992). In addition to the well-known degradation of habitats, the rarity of certain species can be accounted for by not only ecological processes; but also it may be influenced by their phylogenetic background.

The hydromorphological properties of freshwaters have pronounced influence on the formation of habitat types at a given area and on the composition of the occurring assemblages, therefore, it is expected, that waters with similar physical properties are also similar in their biological characteristics (Kofoid 1903). This similarity appeared to be relevant in the functional characteristics of the communities. For phytoplankton, this approach has been developed for large water bodies, however, the applicability of the concept to the small sized, unique habitats has not yet been explored.

Along these goals, the following hypotheses were developed:

1. Based on the core-satellite hypothesis, the communities that make up the different habitats are made up of large numbers of core (common) and satellite (rare) species, thereby predicts a bimodal distributional pattern of species. We hypothesize, that in accordance with the core-satellite hypothesis, microalgae concerning the number of occupied habitats display bimodal habitat preference in the Pannonian ecoregion.
2. We assumed, that the regional and local distribution patterns of rare (satellite) and common (core) species within a single water body (Malom-Tisza oxbow) were similar to the pattern received at regional scale.
3. Similarly to the macroscopic organisms, the body size of microalgae is correlated with the number of occupied habitats. We assumed, that small sized microalgae are common and occurs in several habitats, while large sized microalgae are rarer and occurs in less habitats.

4. The rarity of microalgae depends on their phylogenetic relatedness. We hypothesize, that the commonness of certain species is significantly influenced by the evolutionary history of the species.

5. We assumed, that there are significant differences in species richness between the various water types and contain different number of rare taxa, and thereby have different conservation value.

6. We hypothesize, that microalgae reflecting to the limnological characteristics of the habitats, form functionally distinct clusters, thus the various habitats can be characterized by type specific functional assemblages.

7. Finally, we assumed, that biological water types created by microalgae ("bottom-up" typology) differ from the mechanically formed hydromorphological water types ("top-down" typology).

To investigate the above-mentioned hypotheses, my primary aim was to create a comprehensive database containing the occurrence data of the domestic microalgae species. By the analysis of the database, further aim was to compare the hydromorphological types of habitats with groups based on the functional characteristics of microalgae, in addition to develop a rarity metric, and investigate, how species rarity fits into those models and frameworks that are used to characterize the organization and biogeographical features of macroscopic communities.

## **2. Materials and methods**

### *2.1. Compilation of a database of the domestic microalgal flora*

During the compilation of the Hungarian species inventory, the backbone of the database was formed by various algal handbooks in which besides species descriptions, species occurrences for the region are also available (Felföldy 1972, 1981, 1985, Németh 1997, Grigorszky et al. 1999, Schmidt & Fehér 1998, 1999, 2001). We supplemented this database with data obtained from recent literature (floristic studies and grey literature). Finally, we further expanded the database by the inclusion of phytoplankton monitoring data of Water Management Directorates. The species-by-site matrix contains mostly planktic and metaphytic species, benthic diatoms were not recorded in this database.

The documented habitats of species were grouped according to the following type descriptor variables: water categories (surface and subsurface waters; water currents and standing waters), chemical composition (organic, high alkalinity, moderate alkalinity), origin (artificial or natural), water balance (stationary or temporary), size ( $>10\text{km}^2$ ), depth (deep: mean depth  $>4\text{m}$ ). We separated a total of 24 habitat types.

## 2.2. Classification of species

During the functional classification of species, we applied functional trait-based and functional group-based approaches.

Functional trait (hereinafter FT): phytoplankton species were characterized by 12 FT (Litchman & Klausmeier 2008): flagellated, filamentous, single-celled, colonial, large flagellated, larger than 40  $\mu\text{m}$ , nitrogen-fixing, mixotrophic, heterotrophic, vacuolated, silicious and pennate. All these were defined as binary traits (0 = lacking; 1 = having the trait).

Functional group (hereinafter FG): phytoplankton species were assigned to 31 FGs using the criteria of Reynolds et al. (2002) and Padisák et al. (2009). Each group was named by letter codes and each species was classified into one FG.

## 2.3. Data processing methods

Two types of curves were used to test the core-satellite hypothesis. We investigated the shape of species occupancy frequency distribution (OFD) and ranked species occupancy curves (RSOC).

To answer the question of the distribution pattern of rare (satellite) and common (core) species within a single water body, data were obtained from a high-spatial resolution study of the Malom-Tisza oxbow in 2007, and data from the processing of 25 samples collected during the vegetation period in 2004-2010.

We used quantile regression to examine the relationships between the biovolume of algae species and the number of occupied localities (and water types). The analyses were done for the 50%, 75%, 90%, and 95% quantiles. Quantile regressions were done in R using the 'quantreg' package (Koenker 2017).

To characterize the rarity of species, we aimed to create a frequency term and a rarity metric, which represent both habitat specificity and population abundance.

To evaluate the relationship between phylogenetic relatedness and the habitat specificity of species, we constructed a phylogenetic tree. In the first step, we assigned the rarity metric to each species. During the construction for each species, first we retrieved the taxonomic hierarchy levels up to the 'empire' level. Next, we applied the 'as.phylo' function on the: Empire/ Kingdom/ Phylum/ Subphylum/ Class/ Order/ Family/ Genus/ species' nested formula. To evaluate the phylogenetic signal in the species' rarity, first, we computed branch lengths and the following step, we applied the 'phylosig' function (Revell 2012). We calculated Pagel's  $\lambda$  as a measure of the degree of phylogenetic dependence in the data (Pagel 1999). Values of Pagel's  $\lambda$  range from 0 to 1 (0=revealing no, 1= revealing strong phylogenetic signal).

To determine the number of rare algae taxa in the various water types, and the nature conservation value of the different habitat types, we compared the rarity metric among the 24 habitat types. We used Kruskal-Wallis test followed by the Wilcoxon signed-rank test for multiple comparisons (at  $P < 0.05$  significance level). Holm-Bonferroni correction was performed (at  $P < 2.2e-16$  significance level) in the p-values (Holm 1979).

In order to compare the different water types at FT and FG levels, we created qualitative matrices, in which we marked with 1, if the FT/FG occurred and we marked with 0, if the FT/FG lacked from the habitat type. To determine the frequency of the different FT/FG groups

in the different water types, we created quantitative matrices, in which we gave the frequency values of all FT/FG for all water types.

In order to study the similarities between the habitat types and the microflora, we used agglomerative hierarchical clustering methods. Data analyses were carried out on both the qualitative and the quantitative data. We used Jaccard dissimilarity (Jaccard 1901) for the binary, and Bray-Curtis dissimilarity (Bray & Curtis 1957) for the quantitative data to express similarity. The hierarchical clustering has been based on Ward's algorithm.

### 3. Results and discussion

#### 3.1. Description of the database

The database contains 2489 taxa in rows and 1145 localities in columns. The size of water bodies ranged from thelmeta to the large rivers (e.g. Danube) and lakes (e.g. Lake Fertő and Balaton) in Hungary. The database included representatives of all major groups characteristic for freshwater habitats: Euglenozoa, Cyanobacteria, Miozoa, Bigyra, Charophyta, Chlorophyta, Cryptophyta, Haptophyta, Ochrophyta and planktic diatom species found in Hungary.

#### 3.2. Results of the distribution of the microalgae community at regional scale

The pattern of the frequency distribution curves (RSOC and OFD) showed unimodal distribution during the analyses both at the level of localities and habitat types with the dominance of the rare (satellite) species. Most of the species occurred in few localities and habitat types. Remarkable number of taxa (927) occurred exclusively in one habitat type and 787 species occurred only in one locality. They are all considered "satellite", i.e. rare species.

Based on the curve, only a few taxa can be considered as "core", i.e. common species. At the level of habitat types, the *Actinastrum hantzschii* (Chlorophyta, Trebouxiophyceae) (occupied in 23 habitat types), while at the level of localities *Monoraphidium contortum* (Chlorophyta, Chlorophyceae) (occupied in 409 localities) can be considered as „core” species in the region.

Contrary to our hypothesis, my results showed unimodal distribution, indicating, that the microalgae flora consists of a few common and an extraordinarily large number of rare species at regional scale. The explanation is, that the core – satellite model investigates the distribution of species among interconnecting habitats that are identical in their environmental characteristics (Hanski 1982). By contrast, most of the examined habitats of my database have significantly different environmental properties, moreover the increasing spatial scale of the investigations coincides with a reduction in connectedness. The lack of connectivity can significantly reduce the number of common species even in the case of algae with high dispersal capabilities.

#### 3.3. Results of the distribution of the microalgae community at local scale

The results of the three sampling designs (spatial scale: longitudinal-section, cross-sectional; temporal scale: 2004-2010) show significant differences in the percentage occurrence of common (core) species. In case of rare species, the degree of similarity was much

higher, the majority of species had very low frequency in of all three sampling designs (approximately 40% of the species occurred in less, than 5% of the samples).

Our results also confirmed our hypothesis that the distribution patterns of rare (satellite) and common (core) species within a single water body (Malom-Tisza oxbow) were similar to the pattern received at regional scale. The majority of the species are dominated by rare species, both at spatial (cross-section, longitudinal-section) and temporal scale (2004-2010). Common species were only detected in the cross-section samples. This result suggests that within a single water body, there may be stable spatial isolations (vertical (T-Kraszanai et al., 2023, or horizontal (Borics et al., 2011) which allow for different physical, chemical and biological environments and accordingly, different microflora.

### *3.4. Rarity-body size relationship*

The results of the quantile regression showed a significant decreasing tendency between the number of occupied water types/localities and the microalgal biomass for all quantiles (25% - 95% quantile). These results suggest that small sized microalgae can be found almost anywhere regardless of size of the sites, while large sized taxa are able occupy fewer habitat types.

Our results also confirmed our hypothesis that, similar to the macroscopic organisms, there is a negative relationship between the body size of microalgae and the number of occupied habitats, too. The reason is, that the group of small-sized microalgae contain a high amount of habitat specialist species, in addition several subcosmopolitan and r-selected taxa. In contrast, for large sized taxa, the ratio of tolerant, subcosmopolitan species is considerably smaller. Most of these taxa are K-selected organisms that have habitat size preferences.

### *3.5. Phylogenetic rarity*

The 'phylosig' test resulted in a strong phylogenetic signal, which significantly differed from zero ( $\lambda = 0.207583$ ;  $\log L(\lambda) = 4266.56$ ;  $LR(\lambda=0) = 19.7843$ ;  $p < 0.00001$ ). This clearly indicates that evolutionary relations should be considered when rarity of species is evaluated.

Our results confirmed the hypothesis that although frequency occurrence of certain species can be traced back to ecological properties of species, this frequency occurrence can be predicted by the evolutionary history of the species. The vast majority of rare taxa belong to the Desmidiaceae and Miozoa phyla. These taxa have high habitat specificity and strong, thick-walled resting forms that help them during the dispersal. This may allow them to colonize some specialized habitats that are difficult to reach for taxa of other groups (Matsuoka & Fukuyo 2003).

### *3.6 Distribution of frequency values by habitat types*

We observed significant differences in rarity metric values among the water types. High rarity metric values ( $>0.9975$ ) characterized the following habitat types: streams, brooks, rivers, canals, oxbows, reservoirs, soda pans, fishponds, pit lakes and lakes. Low rarity metric values ( $<0.9950$ ) were found exclusively in cryobiotopes.

The Wilcoxon signed-rank test denoted statistically significant differences ( $p < 0.00001$ ) between several habitat types with regard to rare species. Bog lakes, oxbows and soda pans contained most of the rare species.

The significant differences in species richness between water types supported our hypothesis. The high species richness of watercourses is evident as they receive all the waters of their catchment, but the high species richness of small sized water bodies (oxbows, marshlands) is surprising. Because of their extended littoral zone and large habitat diversity of these water types occasionally show more microalgal diversity than the large ones (Várbíró et al. 2017). These results highlight the conservation importance of small habitats in preserving microbial diversity.

### *3.7. Functional traits (FT) and functional groups (FG) characteristic for the habitats*

Among the eleven FTs there were several ones (flagellated, single celled,  $>40\mu\text{m}$ , colonial, mixotrophic) that occurred in the majority ( $>20\%$ ) of the sites in each habitat type, excluding cryobiotopes, in which FTs different from the other habitat types dominated. Although in lower frequency, but each trait was present in each habitat type, except for the very small unique habitats (telmata, water-filled pits), where only few FT occurred.

As to the FGs the types showed more conspicuous differences. Although there were many FGs (especially X1, F, J) that occurred in almost every habitat type in high frequency ( $>20\%$ ), the different habitat types contained the most functional groups in different frequencies. Small, unique habitats had the most special functional communities, in which several FGs (e.g. A, B, H2, M, S1, S2, YPh, Z) occurred only in low frequency or were completely absent from these habitats.

Supported our hypothesis, different habitat types were characterized by different functional traits and functional groups. In particular, small and unique habitat types with specific environmental parameters had few but very specific functional trait and functional group composition, as these habitat types provide suitable conditions only for a narrow set of species (Kol 1968).

### *3.8. Results from the study of similarities between habitat types and microflora*

Using qualitative data, we found only a few FT- and FG-based habitat clusters that show close resemblances in their limnological/hydromorphological characteristics. The reason lies in the applied statistical method. The Jaccard index is a simple and intuitive measure of dissimilarity between data samples (Verma & Aggarwa 2020). However, since it uses qualitative data, it is sensitive to the number of common traits between the habitat types. However, in the studies based on quantitative data, we found several, well distinct habitat clusters both at FT and FG levels, which are similar in their limnological and hydromorphological characteristics. Bray-Curtis dissimilarity allowed a more detailed habitat grouping, thereby the biologically based groups were easily reconciled with those based on hydromorphological properties.

Results of habitat grouping using FT-based and FG-based approaches also showed differences, of which the FG-based approach appeared to be the most reliable. Based on the FGs, 5 clusters were identified: (1) very small aquatic and semiaquatic habitats, (2) the shallow,

medium sized, macrophyte dominated standing waters, (3) medium sized lakes with no or negligible presence of macrophytes, (4) rivers and river-fed habitats made a large cluster, moreover (5) cryobiotopes. Within the large clusters, there were several clearly separable groups at the branch ends, which show close resemblance in their limnological and hydromorphological characteristics. Results of habitat grouping using FT-based and FG-based approaches showed some differences that can be traced back to the differences between the organizational levels (individual, or community) and inherent components (morphological properties, or response group) of the two terms (Violle et al. 2007).

Our results supported our hypothesis that hydromorphologically/limnologically similar water types mostly tend to have similar microflora. Although the functional group-based approach was developed for lakes and rivers, this approach seems to be well applied for extreme habitats like cryobiotopes, cave waters, macrophyte dominated bog lakes, small pools and telmata, too. Some distinct groups have also resulted from clustering, implying that several a priori different habitats might have some common but less obvious characteristics that override the basic differences, and enable the development of functionally similar algal assemblages.

#### **4. New scientific results**

##### *Habitat preferences of microalgae in the Pannonian ecoregion*

We have shown that the frequency distribution of microalgae follows unimodal pattern in the Pannonian ecoregion, with the dominance of the rare (satellite) species.

##### *Local and regional distribution of microalgae*

We showed that the regional and local distribution patterns of rare and common species are similar. The rare (satellite) species are a dominant part of the flora both locally and regionally.

##### *Rarity-body size relationship*

Our results revealed that the well-known negative relationship between the body size and the number of occupied habitat types/localities is also valid for microalgae.

##### *Phylogenetic rarity*

We showed close relationship between the rarity and phylogenetic relatedness of microalgae. Closely related species (Desmidiaceae, Dinophyta, Euglenophyta) show a significant similarity in terms of rarity.

### *Conservation values of different water types*

We found that certain habitat types showed significant differences in the number of rare microalgae taxa. Our results also highlighted that small- and medium sized habitats (bog lakes, streams, oxbows) hosted the vast majority of rare species. These results highlight the conservation importance of small habitats in preserving microbial diversity.

### *Functional characteristics of the different habitat types*

Our results have clearly shown that different habitat types were characterized by different functional traits and functional groups. The small habitats with specific environmental parameters are the least diverse functionally. These small, extreme habitats had few but very specific functional trait and functional group composition.

### *Similarities in the functional properties of the microalgae flora of aquatic habitats in the Pannonian ecoregion*

We demonstrated that most of the habitats with similar hydromorphological/limnological characteristics have functionally similar microflora. Both FT-based and FG-based habitat classification modified the hydromorphology-based typology. We also demonstrated that FG-based approach is well applied not only for lakes and rivers, but also for small sized, special habitats.

## **5. Irodalomjegyzék/References**

- Naselli-Flores, L., Padisák, J., 2022. Ecosystem services provided by marine and freshwater phytoplankton. *Hydrobiologia*: 1–16.
- Batten, S.D., Abu-Alhaija, R., Chiba, S., Edwards, M., Graham, G., Jyothibabu, R., Kitchene, J.A., Koubbi, P., McQuatters-Gollop, A., Muxagata, E., Ostle, C., Richardson, A.J., Robinson, K.V., Takahashi, K.T., Verheye, H.M., Wilson, W., 2019. A global plankton diversity monitoring program. *Frontiers in Marine Science* 6: 321.
- Zawal, A., Klosowska, M., Pitsch, T., Karlowski, U., Bankowska, A., 2013. Water mites (Hydrachnidia) of kettle holes in Rostock surroundings (Northern Germany). *Acta Biologica* 20: 83–103.
- Kuczyńska-Kippen, N., 2020. Biodiversity of zooplankton in polish small water bodies. *Polish River Basins and Lakes–Part II: Biological Status and Water Management*: 55–76.
- Rochelle, A.L.C., Martins, F.R., 2009. Space and time in Brazilian savannas: 14 years of spatio-temporal dynamics. *Ecologia de Campo* IV. p. 1–10.
- Kattan, G.H., 1992. Rarity and vulnerability: the birds of the Cordillera Central of Colombia. *Conservation Biology* 6 (1): 64–70.
- Kofoed, C.A., 1903. The plankton of the Illinois River, 1894–1899, with introductory notes upon the hydrography of the Illinois River and its basin. *Bulletin of the Illinois State Laboratory of Natural History* 6: 95–629.
- Felföldy, L., 1972. A kéalgák (Cyanophyta) kishatározója. Budapest (Hungary): VIZDOK.

- Felföldy, L., 1981. A zöldalgák Desmidiáles rendjének kishatározója. Budapest (Hungary): VGI.
- Felföldy, L., 1985. A zöldalgák Phytomonadina csoportjának kishatározója. Budapest (Hungary): VIZDOK.
- Grigorszky, I., Vasas, F., Borics, G., 1999. A páncélos-ostoros algák (Dinophyta) kishatározója. Budapest (Hungary): KGI.
- Németh, J., 1997. Az ostoros algák kishatározója 1 (Euglenophyta). Budapest (Hungary): KGI.
- Schmidt, A., Fehér, G., 1998. A zöldalgák Chlorococcales rendjének kishatározója 1. Budapest (Hungary): KGI.
- Schmidt, A., Fehér, G., 1999. A zöldalgák Chlorococcales rendjének kishatározója 2. Budapest (Hungary): KGI.
- Schmidt, A., Fehér, G., 2001. A sárgászöld algák (Xanthophyceae) kishatározója. Budapest (Hungary): KGI.
- Litchman, E., Klausmeier, C.A., 2008. Trait-based community ecology of phytoplankton. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*: 615–639.
- Reynolds, C.S., Huszár, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., Melo, S., 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of plankton research* 24(5): 417–428.
- Padisák, J., Crossetti, L.O., Naselli-Flores, L., 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia* 621: 1–19.
- Koenker, R., 2017. Quantile regression: 40 years on. *Annual review of economics* 9: 155–176.
- Revell, L.J., 2012. Phytools: an R package for phylogenetic comparative biology (and other things). *Methods in ecology and evolution* 3(2): 217–223.
- Pagel, M., 1999. Inferring the historical patterns of biological evolution. *Nature* 401(6756): 877–884.
- Jaccard, P., 1901. Distribution de la flore alpine dans le bassin des Dranses et dans quelques régions voisines. *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles* 37: 241–272.
- Bray, J.R., Curtis, J.T., 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological monographs* 27(4): 326–349.
- Hanski, I., 1982. Dynamics of regional distribution: the core and satellite species hypothesis. *Oikos* 38: 210–221.
- Várbíró, G., Görgényi, J., Tóthmérész, B., Padisák, J., Hajnal, É., Borics, G., 2017. Functional redundancy modifies species–area relationship for freshwater phytoplankton. *Ecology and Evolution* 7(23): 9905–9913.
- Verma, V., Aggarwal, R.K., 2020. A comparative analysis of similarity measures akin to the Jaccard index in collaborative recommendations: empirical and theoretical perspective. *Social Network Analysis and Mining* 10(1): 1–16.
- Matsuoka, K., Fukuyo, Y., 2003. Taxonomy of cysts. *Manual on harmful marine microalgae*. Paris (France): UNESCO. p. 563–592.
- Kol, E., 1968. *Kryobiologie. Biologie und limnologie des Schnees und Eises. I. Kryovegetation*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, DE.
- Holm, S., 1979. A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian journal of statistics*: 65–70.



Registry number: DEENK/428/2023.PL  
Subject: PhD Publication List

Candidate: Judit Belovics-Görgényi  
Doctoral School: Pál Juhász-Nagy Doctoral School of Biology and Environmental Sciences  
MTMT ID: 10040036

### List of publications related to the dissertation

#### Foreign language scientific articles in international journals (2)

1. **Belovics-Görgényi, J.**, Krasznai, E., Ács, É., Kiss, K. T., Botta-Dukát, Z., Végvári, Z., Lukács, Á., Várbíró, G., B-Béres, V., Kókai, Z., Tóthmérész, B., Borics, G.: Rarity of microalgae in macro, meso, and microhabitats.  
*Inland Waters. Epub*, 1-16, 2023. ISSN: 2044-2041.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/20442041.2022.2152247>  
IF: 3.1 (2022)
2. **Belovics-Görgényi, J.**, Tóthmérész, B., Várbíró, G., Abonyi, A., Krasznai, E., B-Béres, V., Borics, G.: Contribution of phytoplankton functional groups to the diversity of a eutrophic oxbow lake.  
*Hydrobiologia*. 830 (1), 287-301, 2019. ISSN: 0018-8158.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-018-3878-3>  
IF: 2.385

### List of other publications

#### Hungarian scientific articles in Hungarian journals (12)

3. **Belovics-Görgényi, J.**, Várbíró, G., Krasznai, E., Abonyi, A., Tóthmérész, B., Borics, G.: A fitoplankton funkcionális csoportjainak hatása a fajtelitődési görbék alakjára egy eutróf állóvíz esetén = Effect of phytoplankton functional group on the shape of the species accumulation curves in a shallow eutrophic oxbow (Hungary).  
*Hidrol. Közl.* 96, 32-36, 2016. ISSN: 0018-1323.
4. **Belovics-Görgényi, J.**, Abonyi, A., Krasznai, E., Pozderka, V., Bolgovics, Á., Várbíró, G., Borics, G.: A habitat diverzitás hatása az aktuális fitoplankton fajsámra egy sekély eutróf állóvíz esetén.  
*Hidrol. Közl.* 94 (5-6), 38-39, 2014. ISSN: 0018-1323.





5. Krasznai, E., Abonyi, A., **Belovics-Görgényi, J.**, Török, P.: A Malom-Tisza holtág epi- és metalimnetikus fitoplanktonjának vertikális mintázata (2007-2009).  
*Hidrol. Közl.* 94 (5-6), 90-92, 2014. ISSN: 0018-1323.
6. Bolgovics, Á., **Belovics-Görgényi, J.**, Pozderka, V., Várbíró, G., Borics, G.: Hazai állóvíz típusok biológiai validációja fitoplankton alapján.  
*Hidrol. Közl.* 94 (5-6), 23-25, 2014. ISSN: 0018-1323.
7. Abonyi, A., Borics, G., Várbíró, G., Krasznai, E., **Belovics-Görgényi, J.**, Selmeczy, G., Padisák, J.: Magyarországi holtágak morfológiája I.: a természetes, a mesterséges, az ártéri és a mentett oldali = Morphology classes of Hungarian oxbow lakes I. : The natural, the artificially separated, the flooded and the isolated.  
*Hidrol. Közl.* 94 (5-6), 10-11, 2014. ISSN: 0018-1323.
8. Abonyi, A., Borics, G., Várbíró, G., Krasznai, E., **Belovics-Görgényi, J.**, Selmeczy, G., Padisák, J.: Magyarországi holtágak morfológiája II.: a medermorfológia és a keletkezés természetvédelmi vonatkozásai = Morphology classes of Hungarian oxbow lakes II. : The influence of lake origin and morphology on the natural conservation value.  
*Hidrol. Közl.* 94 (5-6), 12-13, 2014. ISSN: 0018-1323.
9. Pozderka, V., Bolgovics, Á., Borics, G., **Belovics-Görgényi, J.**: Milyen kapcsolat van a vízfolyások felső szakaszának fitoplanktonja és bentikus algaközösségei között?  
*Hidrol. Közl.* 94 (5-6), 77-78, 2014. ISSN: 0018-1323.
10. Krasznai, E., Abonyi, A., **Belovics-Görgényi, J.**: A Malom-Tisza holtág nyári rétegződési stabilitása és oxigénviszonyai 2007-2010-ben [Characteristics of the summer thermal stratification and the oxygen profile in the Malom-Tisza oxbow (2007-2010)].  
*Hidrol. Közl.* 93 (5-6), 81-83, 2013. ISSN: 0018-1323.
11. Kókai, Z., Vári, Á., Boros, G., Tóth, V., Tátrai, I., **Belovics-Görgényi, J.**, B-Béres, V.: Fitobenton közösségek összetételének változása a mesterséges aljzat minősége, az idő és a mélység függvényében.  
*Hidrol. Közl.* 93 (5-6), 49-52, 2013. ISSN: 0018-1323.
12. **Belovics-Görgényi, J.**, Bolgovics, Á., Borics, G.: Miként befolyásolja az élőhely mérete a fitoplankton aktuális diverzitását?  
*Hidrol. Közl.* 93 (5-6), 30-32, 2013. ISSN: 0018-1323.
13. Szabó Gabriella, B-Béres, V., **Belovics-Görgényi, J.**, Vitál, Z., Kassai, S., Gonda, S., Nagy, S. A., Tóthmérész, B., Bácsi, I.: A cink hatása a *Monoraphidium pusillum* (Chlorophyta) növekedésére és morfológiájára.  
*Hidrol. Közl.* 91 (6), 82-85, 2011. ISSN: 0018-1323.
14. B-Béres, V., Kassai, S., Vitál, Z., Szabó Gabriella, **Belovics-Görgényi, J.**, Gonda, S., Nagy, S. A., Tóthmérész, B., Bácsi, I.: A *Monoraphidium pusillum* (Chlorophyta) lipidtermelésének vizsgálata különböző nitrogén-ellátottságú tenyészetekben.  
*Hidrol. Közl.* 91 (6), 18-21, 2011. ISSN: 0018-1323.





Foreign language scientific articles in international journals (15)

15. Borics, G., Várbíró, G., Falucskai, J., Végvári, Z., Krasznai, E., **Belovics-Görgényi, J.**, B-Béres, V., Lurf, V.: A two-dimensional morphospace for cyanobacteria and microalgae: Morphological diversity, evolutionary relatedness, and size constraints.  
*Freshw. Biol.* 68 (1), 115-126, 2023. ISSN: 0046-5070.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/fwb.14013>  
IF: 2.7 (2022)
16. Lukács, Á., Szabó, S., Krasznai, E., **Belovics-Görgényi, J.**, Kókai, Z., B-Béres, V., Borics, G.: Metaphyton contributes to open water phytoplankton diversity.  
*Hydrobiologia. Epub.* 1-18, 2023. ISSN: 0018-8158.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-023-05314-3>  
IF: 2.6 (2022)
17. Krasznai, E., Török, P., Borics, G., Lukács, Á., Kókai, Z., Lurf, V., **Belovics-Görgényi, J.**, B-Béres, V.: Functional dynamics of phytoplankton assemblages in hypertrophic lakes: Functional- and species diversity is highly resistant to cyanobacterial blooms.  
*Ecol. Indic.* 145, 1-10, 2022. ISSN: 1470-160X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109583>  
IF: 6.9
18. Krasznai, E., Lurf, V., Tóth, I., Kisantal, T., Várbíró, G., Vasas, G., B-Béres, V., **Belovics-Görgényi, J.**, Lukács, Á., Kókai, Z., Borics, G.: Uncertainties of cell number estimation in cyanobacterial colonies and the potential use of sphere packing.  
*Harmful Algae.* 117, 1-9, 2022. ISSN: 1568-9883.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hal.2022.102290>  
IF: 6.6
19. Bolgovics, Á., Ács, É., Várbíró, G., **Belovics-Görgényi, J.**, Kiss, K. T., Földi, A., Nagy-László, Z., Trábert, Z., Borics, G.: Benthic diatom-based lake types in Hungary.  
*Fundam. Appl. Limnol.* 189 (2), 105-116, 2017. ISSN: 1863-9135.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/fal/2016/0942>  
IF: 1.361
20. Várbíró, G., **Belovics-Görgényi, J.**, Tóthmérész, B., Padisák, J., Hajnal, É., Borics, G.: Functional redundancy modifies species-area relationship for freshwater phytoplankton.  
*Ecol. Evol.* 7 (23), 9905-9913, 2017. ISSN: 2045-7758.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.3512>  
IF: 2.34





Foreign language scientific articles in international journals (15)

15. Borics, G., Várbíró, G., Falucskai, J., Végvári, Z., Krasznai, E., **Belovics-Görgényi, J.**, B-Béres, V., Lurf, V.: A two-dimensional morphospace for cyanobacteria and microalgae: Morphological diversity, evolutionary relatedness, and size constraints.  
*Freshw. Biol.* 68 (1), 115-126, 2023. ISSN: 0046-5070.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/fwb.14013>  
IF: 2.7 (2022)
16. Lukács, Á., Szabó, S., Krasznai, E., **Belovics-Görgényi, J.**, Kókai, Z., B-Béres, V., Borics, G.:  
Metaphyton contributes to open water phytoplankton diversity.  
*Hydrobiologia. Epub.* 1-18, 2023. ISSN: 0018-8158.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-023-05314-3>  
IF: 2.6 (2022)
17. Krasznai, E., Török, P., Borics, G., Lukács, Á., Kókai, Z., Lurf, V., **Belovics-Görgényi, J.**, B-Béres, V.: Functional dynamics of phytoplankton assemblages in hypertrophic lakes: Functional- and species diversity is highly resistant to cyanobacterial blooms.  
*Ecol. Indic.* 145, 1-10, 2022. ISSN: 1470-160X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109583>  
IF: 6.9
18. Krasznai, E., Lurf, V., Tóth, I., Kisantal, T., Várbíró, G., Vasas, G., B-Béres, V., **Belovics-Görgényi, J.**, Lukács, Á., Kókai, Z., Borics, G.: Uncertainties of cell number estimation in cyanobacterial colonies and the potential use of sphere packing.  
*Harmful Algae.* 117, 1-9, 2022. ISSN: 1568-9883.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hal.2022.102290>  
IF: 6.6
19. Bolgovics, Á., Ács, É., Várbíró, G., **Belovics-Görgényi, J.**, Kiss, K. T., Földi, A., Nagy-László, Z., Trábert, Z., Borics, G.: Benthic diatom-based lake types in Hungary.  
*Fundam. Appl. Limnol.* 189 (2), 105-116, 2017. ISSN: 1863-9135.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/fal/2016/0942>  
IF: 1.361
20. Várbíró, G., **Belovics-Görgényi, J.**, Tóthmérész, B., Padisák, J., Hajnal, É., Borics, G.:  
Functional redundancy modifies species-area relationship for freshwater phytoplankton.  
*Ecol. Evol.* 7 (23), 9905-9913, 2017. ISSN: 2045-7758.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.3512>  
IF: 2.34





28. Borics, G., Lukács, B. A., Grigorszky, I., László-Nagy, Z., G.-Tóth, L., Bolgovics, Á., Szabó, S., **Belovics-Görgényi, J.**, Várbíró, G.: Phytoplankton-based shallow lake types in the Carpathian basin: steps towards a bottom-up typology.  
*Fundam. Appl. Limnol.* 184 (1), 23-34, 2014. ISSN: 1863-9135.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/1863-9135/2014/0518>  
IF: 1.077
29. Borics, G., **Belovics-Görgényi, J.**, Grigorszky, I., László-Nagy, Z., Tóthmérész, B., Krasznai, E., Várbíró, G.: The role of phytoplankton diversity metrics in shallow lake and river quality assessment.  
*Ecol. Indic.* 45, 28-36, 2014. ISSN: 1470-160X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.03.011>  
IF: 3.444

Hungarian conference proceedings (1)

30. Bolgovics, Á., Borics, G., **Belovics-Görgényi, J.**: A tó méret és a fajszám közötti összefüggés bentikus és planktonikus algák esetén.  
In: XXXI. Országos Vándorgyűlés, Gödöllő, 2013.07.03-2013.07.05. /szerk. Szlávik Lajos, Kling Zoltán, Szigeti Edit, Magyar Hidrológiai Társaság, Budapest, 1-12, 2013.

**Total IF of journals (all publications): 46,587**

**Total IF of journals (publications related to the dissertation): 5,485**

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.

15 September, 2023

