

**Az OTKA/NKFI Hivatal által támogatott, 141834 azonosító számú
„Makrofita és alga közösségek kölcsönhatásának vizsgálata”
című kutatás szakmai zárójelentése**

Vezető kutató:

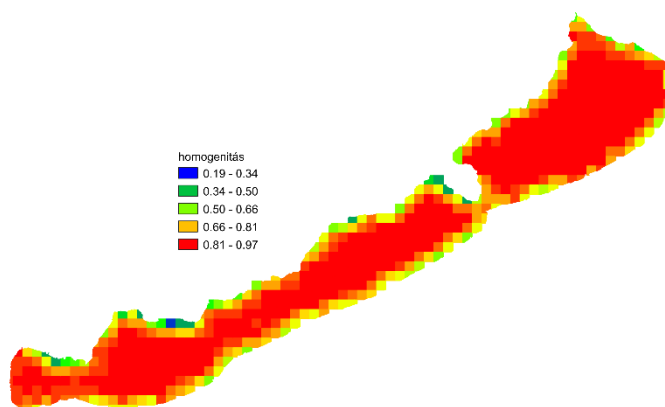
Tóth Viktor
(Ökológiai Kutatóközpont, Tihany,
illetve
Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, Tihany)

Kutatási eredmények

A KH OTKA pályázatot egy kimagasló idézettségű közleményre alapozva pályáztam, az extrém körülmények miatt (koronavírus, intézeti átállás) három évig futott. A pályázatban a vízinövények és az algaközösségek közötti kölcsönhatások vizsgáltam, amit több helyszínen és több szempont szerint végeztem.

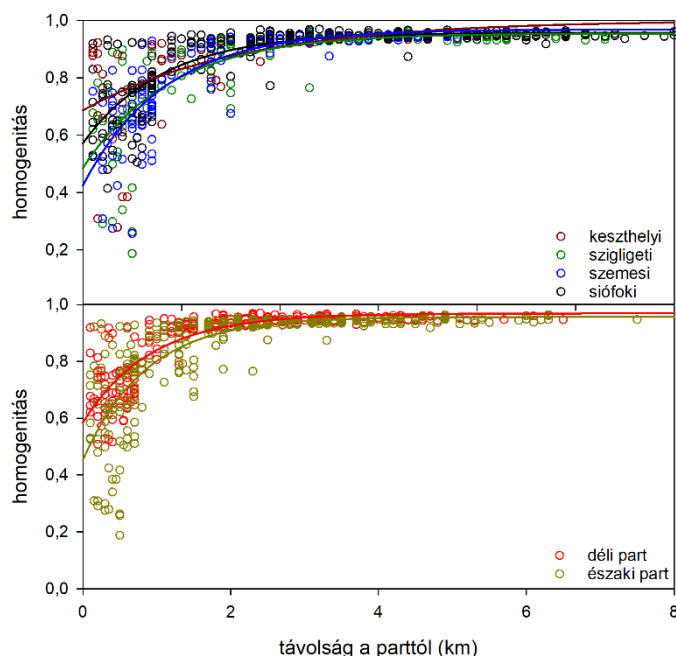
Makrofita növények hatása az algaközösségekre - 1

A víz hosszú távú klorofill-a-tartalmának meghatározásához az 1999 júniusa és 2019 júliusa között rögzített Landsat 7 ETM+ adatokat használtam. A Landsat 7 ETM+ felvételeket a [Google Earth Engine](#) segítségével feldolgoztam a szisztematikus geometriai és radiometriai torzulások eltüntetése végett. Az adatbázis létrehozásához a Balatonra vonatkozó, egymást követő, felhőtlen (felhőborítottság <5%) Landsat-felvételeket céloztam meg az adott időintervallumban és végül 340-602 Landsat-felvételt sikerült előkészítenem. A víz klorofill tartalmának meghatározásához Gitelson-féle (Gitelson et al., 1996), robosztus klorofill indexet választottam (ETM+1 és ETM+3 sávok közötti arány). Az egyszerűsítés kedvéért, a pixelenként kapott klorofill indexeket 1000 x 1000 m-es cellán belül átlagoltam. Az elvégzett műveleteknek több célja volt, azonban a jelentésbe vonatkozó résznél meg akartam határozni a Balaton vizének homogenitását, vagy is, hogy egy 1000 x 1000 m-es cellán belüli klorofil-a érték változása hogyan korrelál a szomszédos cellák klorofill értékek szekvenciájával. Ennek megfelelően, a Balaton minden egyes cellájából származó klorofillindex idősorokat korreláltattam a szomszédos cellák klorofill index idősoraival (1. ábra).



1. ábra. A Balaton viztereinek heterogenitása (a szomszédos cellák klorofill-a sorozataihoz Spearman-féle korrelációs együtthatóinak átlaga) 1999-2019 között.

Az adatok nagy eltérést mutattak a Balaton pelágikus és litorális részei között (1. ábra). A litorális zónában a homogenitás ($0,72 \pm 0,17$) szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a tó pelágikus részén ($0,87 \pm 0,13$) (Mann-Whitney Rank Sum Test $U=37414$, $P \leq 0,001$, 1. ábra). Sőt, az északi és a déli partok litorális zónái között is nagy volt az eltérés: az északi parton $0,68 \pm 0,18$ homogenitás átlag alacsonyabb volt a Balaton déli partja mentén mért $0,75 \pm 0,11$ homogenitásnál (Mann-Whitney Rank Sum Test $U=8231$, $P=0,017$) (1. ábra).



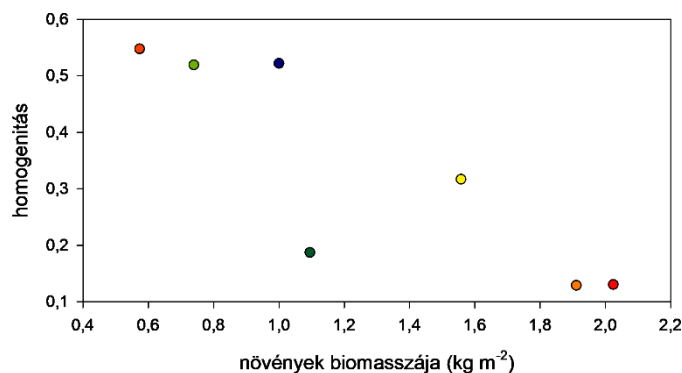
2. ábra. A trofikus események szinkronicitása (víztér homogenitása) a Balaton nagyobb medencéinél (A) és a déli és északi partjánál (B) a partoktól való távolság függvényében.

A víztér homogenitásának értékei egyértelműen összefüggtek a parttól való távolsággal (2. ábra). A homogenitás a part közelében volt a legalacsonyabb ($0,65 \pm 0,17$), míg a parttól legtávolabb eső részeknél ez az érték elérte a $0,95 \pm 0,01$ -t. A medencék között nem volt kimutatható eltérés (2A. ábra), azonban a déli és az északi part között jelentős eltérés volt megfigyelhető ($0,59 \pm 0,19$ szemben a déli part $0,69 \pm 0,11$ értékeivel, Welch's t-test $t = 3,104$ $P=0,00283$; 2B. ábra). A görbeillesztésekből továbbá kiderül, hogy 656 méterre a parttól a homogenitás eléri a medián értékét ($0,753$). Ez a távolság nagyjából egybeesik a Balaton litorális zónájának méretével (500-800 m).

Tudomásom szerint, a homogenitás ilyen eloszlását egy tóban még nem mutatta ki senki, így a folyamatok háttéréről spekulatív jelleggel a következőket feltételeztem: a litorális zóna erősen eltérő viselkedése vagy a) a bentikus algaközösségek hatásával vagy, b) a hínár populációk eltérő fenológiai ciklusával, növekedési változásaival hozható összefüggésbe. Az utóbbi hipotézis tesztelésére 2019 és 2020-ban felméréseket végeztem 7 erősen eltérő területen a Balaton északi partja mentén. A területek mind a 4 medencében helyezkedtek el. A felmérés során áprilistól októberig gyűjtöttem makrofita biomassza adatokat a kijelölt helyeken 1,5 méteres mélységben $3 \times 0,5 \times 0,5$ méteres területeken. A mintákat laboratóriumba szállítás után megmostam, 65°C -on kemencében súlyegyenlőségig szárítottam és tömegüket megmértem.

A szezon csúcspontján (júliusban vagy augusztusban, a helyszíntől függően) a gyűjtött biomassza $0,6$ és $2,1 \text{ kg m}^{-2}$ között változott, ami a Balatonon belüli nagyfokú változékonyságot mutatja. Általánosságban elmondható, hogy a nyugati mintavételi pontokon a makrofita

biomassza magasabb volt ($1,6 \pm 0,7 \text{ kg m}^{-2}$), mint a keleti mintavételi pontokon ($1,2 \pm 0,5 \text{ kg m}^{-2}$). A két csoport átlagértékei közötti különbség nagyobb volt, mint ami véletlenszerűen várható lenne (Welch t-próba: $t=3,85$, $P \leq 0,001$).



3. ábra. A Balaton északi litorális zónájában a szezoncsúcson mért átlagos makrofita biomassza és a szomszédos cellák trofikus korrelációja közötti korrelációelemzés az 1999-2019 közötti időszakban az összes rendelkezésre álló adat (összes adat) és csak a nyári

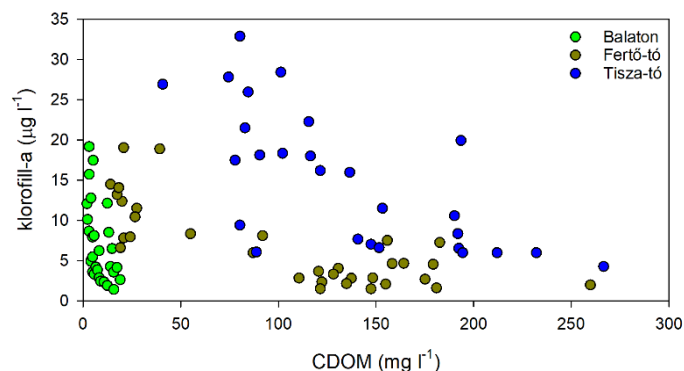
A makrofita mintavételi helyek vízterének a homogenitás értékeit korreláltattam (Pearson) a 2019 és 2020 szezonális makrofita biomassza csúcsok átlagával (3. ábra). A korreláció kiemeli a makrofita biomassza negatív hatását az adott víztér homogenitására ($R=-0,86$; $P=0,013$) és erős bizonyossággal megállapítható, hogy egy tó trofikus állapotát a makrofita növényzet jelentős mértékben befolyásolhatja (3. ábra).

Az itt bemutatott eredmények egy cikk formában lettek benyújtva a [Water Resources Research](#) folyóirathoz. A bírálók javaslatára a cikk vissza lett vonva és két (talán három) részre osztva lesz beadva ugyan oda.

Makrofita növények hatása az algaközösségekre - 2

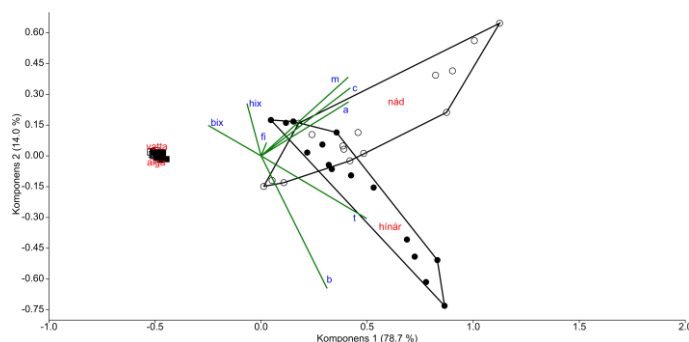
A makrofita jelenléte a víztérben kihathat az algaközösségekre közvetve is. A színes oldott szervesanyag (CDOM) egy optikailag aktív vegyületcsoport, amely fontos szerepet játszik a vízi ökoszisztémákban és többnyire a vízi növények lebomlásából származik. Az adott víztest CDOM az ott található makrofita biomassza és közelségének indikátoraként is használható.

A nagy balatoni, fertő-tavi és tiszta-tavi hínár mezők közelében (20-50 m), de az adott tavak befolyóitól távol vizsgáltam a víz CDOM és a fitoplanton mennyiségének összefüggését 2019-ben és 2020-ban oszlopmintavevő felhasználásával (4. ábra). Az eredményekből kiolvasható, hogy a hínár közvetve is hatással van az algaközösségek alakulására, azonban ez a viszony minden egyes tó esetében teljesen egyedi, vagy is egy univerzális törvényszerűség teljesen egyedi megnyilvánulása regisztrálható (4. ábra).



4. ábra. A hínárközösségek környékén mért színes oldott szervesanyag (CDOM mg l^{-1}) és az algák mennyiségének (klorofil-a - $\mu\text{g l}^{-1}$) összefüggése.

A vízi növények mennyiségének, diverzitásának a hatását a víz CDOM tartalmára, bakterioplankton aktivitására vizsgáltam a Fertő-tóban és a Balatonban. A vizsgálataim szerint a tóban található növények biomasszája jelentősen befolyásolja (nem lineáris összefüggés folyamat formájában a CDOM képződésben jelentős szerepet vállaló bakterioplankton mennyiségét, illetve aktivitását (Szabó-Tugyi, N., & Tóth, V. R. (2020). Interaction among bacterioplankton and macrophytes in shallow lakes with high macrophyte cover. *Aquatic Sciences*, 82(4), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s00027-020-00753-9>). A lebontás során képződő CDOM mennyisége és összetétele jelentős mértékben függ a növény típusáról (emergens szemben az alámerült makrofita), a víz hőmérsékletétől, víz eredetétől (melyik tóból származik a víz), illetve a lebomlás hosszától.



5. ábra. Az eltérő forrású (alga – szárított, GF-5 üvegszál aszúrópapírra szűrt $400 \mu\text{g l}^{-1}$, vatta – steril műtővatta, hínár – 10 g szárított *Myriophyllum spicatum*, nád – 10 g avas *Phragmites australis*) víz CDOM fluoreszcens indexeinek főkomponens-analízise. Az analízis a CDOM típusai (a – humin-szerű, b – tirozín-szerű, c – c-humin-szerű, m – tengeri-humin, t – triptofán-szerű) és indexei (bix – biológiai index, fi – fluoreszcencia index, hix – humifikációs index) alapján történt.

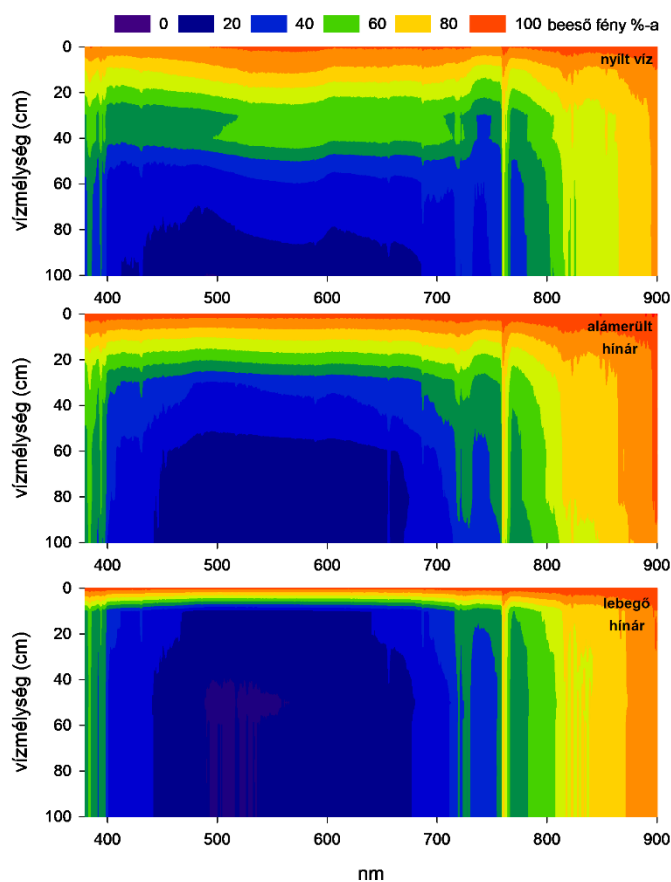
A kapott adatok további elemzéséből további publikáció várható az elkövetkező 1-1,5 évben.

Makrofita növények hatása az algaközösségekre - 3

A makrofita növények közvetlenül befolyásolják a parti zóna optikai környezetét. A befolyásolás mértékére és következményeire a következő kísérletsorozatott végeztem. Vizsgáltam a hínár növények hatását a víz optikai tulajdonságaira. Ehhez egyrészt a Balaton mezotróf részén három (Bozsai-, Kerekedi-, Palóznaki-öblök) vizsgálati területet választottam ki, ahol viszonylag nagy ($30\text{-}50 \text{ m}^2$), monospecifikus *Potamogeton perfoliatus* foltokat választottam a vizsgálathoz, másrészt a lebegő hínár hatásának vizsgálatához a Hídvégi-tó és a

Tisza-tó 2-2 sulymosaiban (*Trapa natans*) végeztem méréseket. A 25-25 mért a makrofita állományok közepén (vagy a szélétől 5 méterre), illetve a közeli nyílt vízben végeztem. A méréseket 256 csatornán 320-950 nm között spektrométerrel (TRIOS RAMSES, Németország) végeztem. Ezt követően meghatároztam a hínár növényzet biomasszáját, illetve a mérési pontokon a főbb limnológiai paramétereket (hőmérséklet, pH, vezetőképesség, O₂ tartalom, redox, klorofill-a tartalom).

Az általános fénykioltás mellett hullámhossz-specifikus fénykioltást is regisztráltam (6. ábra). A hínáros területeken belül minimális ($1,64 \pm 0,17$ a békaszőlőben, $0,55 \pm 0,04 \mu\text{g l}^{-1}$ a sulymosban) klorofill-a tartalmat mértem, így a hínároson belüli spektrális eredményeimet a Balaton nyílt vizének ($4,82 \pm 1,42 \mu\text{g l}^{-1}$ klorofill-a tartalom) állítom szemben (Hídvégi-tó - 105 ± 10 , Tisza-tó $57 \pm 3 \mu\text{g l}^{-1}$ klorofill-a tartalom).

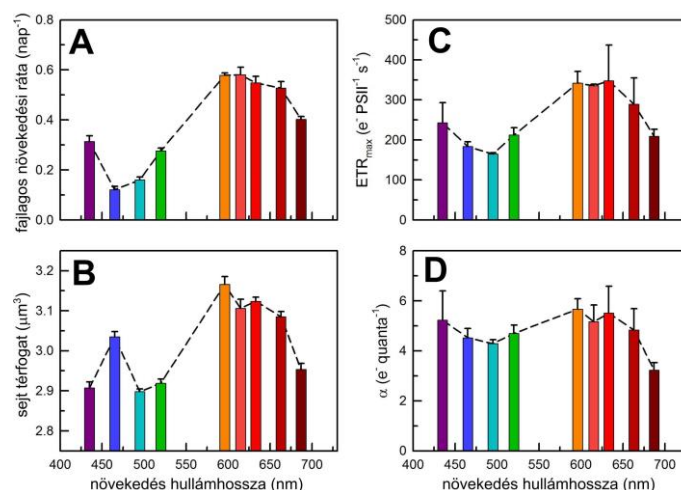


6. ábra. Spektrális kioltás a nyílt vízben, monospecifikus közepes sűrűségű ($6-800 \text{ g szá m}^{-2}$) *Potamogeton perfoliatus* és *Trapa natans* állományokban.

A Balaton mezotróf vizében a fény spektrális és mélységi eloszlásából kiderül számunkra, hogy a fény nagyjából egyenletesen nyelődik el 400 és 750 nm-es tartományban. Ezzel szemben a hínárosokban a erős spektrális elnyelés figyelhető meg 450 és 670 nm között (6. ábra). Vagy is az általános fénykioltáson túl, a narancs és vörös tartományok a hínárosokban belül x4-5 nagyobb intenzitással lettek elnyelve (5. ábra). Megállapítható, hogy a hínár növényzet jelentős mértékben befolyásolja a víz optikai tulajdonságait.

Ezt követően vizsgáltuk az egyes hullámhosszak hatását az algák növekedésére. Ebben a munkában vizsgáltuk a *Cyanobium gracile* cianobaktérium hullámhossz-specifikus akklimatizációs stratégiákat, fotomorfogenezist és fotoélettanát a teljes látható

fénytartományban (Bernát, G., Zavřel, T., Kotabová, E., Kovács, L., Steinbach, G., Vörös, L., ... & Tóth, V. R. (2021). Photomorphogenesis in the Picocyanobacterium *Cyanobium gracile* Includes Increased Phycobilisome Abundance Under Blue Light, Phycobilisome Decoupling Under Near Far-Red Light, and Wavelength-Specific Photoprotective Strategies. *Frontiers in plant science*, 12, 352. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.612302>). A *C. gracile* természetes az olyan zavaros, optikailag összetett környezetű édesvízi sekély tavakban, mint a Balaton.



7. ábra. A *Cyanobium gracile* növekedési sebessége (A), a sejt térfogata (B) és a fotoélettani paramétere (maximális elektrontranszport mértéke - ETR_{max} és a fotoszintézis görbe kezdeti meredeksége - α, C-D) a monokromatikus fényben történő tenyésztés során.

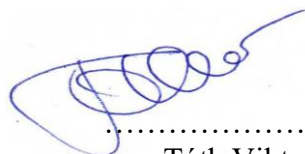
A *C. gracile* teljesen egyedi növekedési, morfológiai és fotoélettani mintákat mutatott különböző hullámhosszok mellett (7. ábra). Jól kivehető volt, hogy a narancs és piros szín mellett (550-680 nm között) az alga növekedési és élettani folyamatai voltak a legnagyobbak, vagy is ezen hullámhosszak elvonása szubotimális feltételeket teremt az algák számára.

A vízi növények hatásáról a víz optikai tulajdonságaira anyagból szeretnék publikációt készíteni. A kéziratnak a piszkozata már elkészült.

További publikációk

A pályázat ideje alatt számos tudományos cikk szerzője, társszerzője voltam, amelyek részben kapcsolódnak a pályázat témájához. A zárójelentésben szereplő adatok publikációja az elkövetkező egy-másfél évben várható.

Tihany, 2021. november 28.



.....
Tóth Viktor