

ZÁRÓJELENTÉS

Compositional and functional biodiversity of aquatic assemblages along spatial and temporal gradients - vulnerability, resilience, implications for applied issues

NKFIH-K120595

1 Bevezető megjegyzések

A pályázati dokumentumban jelzett kutatások alapvető célja az volt, hogy néhány vízi közösség (alapvetően: fitoplankton, rögzült diatómák) idő- s főképp térbeli változásainak dimenzióit feltárjuk a tudományterületen felmerülő ún. „emerging issues”-ra koncentrálnak. Ezek közül a legfontosabb a környezeti DNS hangsúlyos megjelenése a célzott tudományterületen belül. Ez utóbbi beillesztésére a kutatásba engedélyt kértünk és kaptunk.

A pályázati koncepció eleve magában rejtette azt, hogy néhány, a pályázatban megfogalmazott specifikus kérdést ne (vagy még ne) válaszoljunk meg, de adaptáljuk a kutatásokat azon pontokra, melyek időközben merültek fel. A tervezett kutatást a külső körülmények is befolyásolták, mint pl. A fiatal kutatók, PhD és MSc hallgatók fluktuációja, vagy a gyermekvállalás miatti időszakos kiesés.

2 Mintavételi terv s annak teljesítése, laborvizsgálatok

A pályázati tervben szereplő terep- és laboratóriumi munkát elvégeztük, sőt kiegészítő mintavételek történtek.

- 2017 nyarán 78 kis tó mintavétel elszórva, az ország egész területén;
- devecseri, a vörösiszap katasztrófa után létesített 3 dísztó (a pionír szukcesszió vizsgálatára) 336 minta;
- Kab-hegy, barna vízű tavak mintegy 105 minta (ezek időszakos tavak, s akkor lehet mintát venni, ha van bennük víz egyáltalán);
- Erdély tavai: 22 minta;
- Rába-Marcál vízrendszer: 130 minta;
- az 2021. december 1-től támogatott NKFIH -FK137979 projekt (Az eurázsiai hódgátépítő tevékenysége révén létrejövő folyó diszkontinuumok hatása a funkcionális diverzitásra a planktonikus és bentikus közösségek alapján) pilot jellegű, tájékoztató vizsgálati: 38 minta;
- Összegezve tehát: 709 vízminta.

A fenti mintavételi pontokon az összes terepi adatot felvettük (pH, vezetőképesség, hőmérséklet, oxigéntartalom, oxigéntelítettség, turbiditás) valamint az összes ezekhez tartozó vízkémiai analízist elvégeztük (nitrát, nitrit, ammónium, oldott reaktív foszfor, összes foszfor, oldott reaktív szilícium, kémiai oxigénigény, szulfát, klorid, p- és m lúgosság, karbonát, hidrogénkarbonát). Mind a fitoplankton, mind a diatóma minták feldolgozása naprakész. eDNS mintákat csak a Rába-Marcál vízgyűjtőn vettünk.

Az e kutatásból származó adatok egy részét feldolgoztuk, közzöltük, a többit analizáljuk, s pályázat zárását követően publikáljuk.

3 Elvégzett kutatások

3.1 Sokelemű rendszerek, ökológiai memória, időbeli elemzések, reziliencia

E kutatást elsősorban a németországi Stechlin-tó jelenleg is folyó, immár szinte egyedülállóan koherens 27 éves adatsorára alapoztuk. A tó az adott időszak alatt mind a belső foszforterhelés miatti eutrofizálódásnak, mind a klímaváltozás graduális és „extrém időjárási eseményekkel” kapcsolatos változásainak is kitett volt. A világ jelenleg létező legnagyobb mezokozmosz rendszerében kimutattuk, hogy a termoklin kísérletes mélyítése kihat a fitoplankton közösség azonnali változásaira, mindemellett a rendszer meglehetősen **reziliens**, s az eredeti állapot visszaáll¹. Még nem publikált, **diszturbancia** kísérleteinkben is ezt tapasztaltuk. Ugyanakkor a hosszútávú adatok elemzése azt mutatta, hogy a rendszer igen érzékeny az időjárási anomáliákra (legyen az hosszantartó, hideg tél vagy nyári, mérsékeltövi ciklon), de a tápanyagterhelés hatása (az üledékben történő biológiailag aktív foszforfelhalmozódás miatt) késik, melynek manifesztációját azonban éppen az extrém időjárási jelenségek triggerelik. E kutatás rámutat a tényleges ökoszisztéma (maga a tó) és a mezokozmosz rendszerekben végzett kutatások ellentmondására: mezokozmoszban könnyű kimutatni a tápanyagterhelés vagy a táplálékhálózat modifikálásának hatását, de a fizikai jellegű változásokat (termoklin mélységének változtatása, diszturbancia) nem, miközben a tó maga éppen fordítva reagál. E kutatásban a Rényi Intézet matematikusaival kooperálva egy olyan statisztikai módszert (**kauszitációs analízis**) alkalmaztunk, melyet az ökológiai adatelemzésekben eddig tudomásunk szerint senki nem, s melyet alapvetően a gazdasági összefüggések ok-okozati összefüggéseinek, s időbeli késésének detektálására csak 2012-ben írtak le. E módszer alkalmazásával kimutattuk, hogy a mesterváltozó (relatív vízszlop stabilitás) klimatikus jellegű, s leírtuk, hogy ez milyen biogeokémiai folyamatokon át vezet az üledékből történő foszforfelszabaduláshoz az extrém időjárási eseményekhez kötötten. Egyúttal e ódszerrel is igazoltuk a **zooplankton központi mediátor** szerepét is a vízi táplálékhálózatokban². E kutatás alapadatai azt mutatják, hogy mégha egy-egy faj szinte mondodominanciát mutat is egyes években, a fajkészlet lassan, s kevésbé változik, a tó őrzi **ökológiai memóriáját**.

Nem pontosan tartozik e témakörhöz, de az algaközösségek alapvetően fizikai meghatározottságát (ellentétben a sokáig uralkodó „foszforparadigmával”) megalapozó kutatásokat is végeztünk e pályázat keretein belül. Kimutattuk, hogy az 1-60 napos tartományban a napi besugárzás jelentősen befolyásolja a fitoplankton mennyiségét – s másképp a felső- és alsó szakaszjellegű folyószegmensekben. Ezt a klímaváltozással kapcsolatos modellek parametrálásánál lehet hasznosítani³. Leírtuk különféle típusú hazai szikes tavak **hidrológiai ciklusát**, mely az algaközösségek szerkezeti- és funkcionális jellegének megértése szempontjából kulcsváltozó⁴.

¹ Selmeczy GB; Krienitz L; Casper P; Padisák J (2018) Phytoplankton response to experimental thermocline deepening: a mesocosm experiment. HYDROBIOLOGIA 805:259–271.

² Selmeczy GB, Abonyi A, Krienitz L, Kasprzak P, Casper P, Telcs A, Somogyvári Z, Padisák J (2019) Old sins have long shadows: climate change weakens efficiency of trophic coupling of phyto-and zooplankton in a deep oligo-mesotrophic lowland lake (Stechlin, Germany)—a causality analysis. HYDROBIOLOGIA 831: 101-117.

³ Várbiro G; Padisák J; Nagy László Zs; Abonyi A; Stanković I; Gligora Udovič M; B-Béres V; Borics G (2018) How length of light exposure shapes the development of riverine algal biomass in temperate rivers. HYDROBIOLOGIA 809: 53-63.

⁴ Lengyel E; Pálmai T; Padisák J; Stenger-Kovács C (2019) Annual hydrological cycle of environmental variables in astatic soda pans (Hungary) JOURNAL OF HYDROLOGY 575: 1188-1199.

3.2 A mikroszkópikus közösségek térbeli elterjedésének meghatározó tényezői, metaközösségek, faj-área összefüggés, tájhasználat

E kutatás alapindítatása az, hogy míg a mikroszkópikus biota időbeli változásainak akár kísérletes, akár terepi vizsgálata gyors generációidejük miatt könnyű, addig a **térbeli elterjedést** vizsgálni nehéz elsősorban amiatt, hogy konvencionálisan gyors terjedésük miatt kozmopolitáknak tekinti őket a tudomány. Hazai, csak szikes tavakon⁵ valamint „átlagos sajátságú” kis tavakon⁶ kimutattuk, hogy a diatóma közösségek összetételét a térbeli távolság és a helyi habitatjellemzők határozzák meg együttesen, valamint, hogy az ökológiai szempontból egyedinek tekinthető élőhelyek fajszáma relatíve alacsony. Emiatt hasonló kutatásokban mind a bináris, mind a mennyiségi adatokat is kell elemezni, tekintve, hogy információtartalmuk eltérő. Jóval nagyobb, 1000 kilométeres léptékben vizsgáltuk három kínai tóterület tavainak fitoplankton **metaközösségeit**. E kutatás alapvető eredménye, hogy regionális metaközösségen belül a környezeti változók meghatározóak, de nagy léptékben a **térbeli determinánsok** szerepe nő. E jelenséget a jelleg-alapú vizsgálatok elfedik, de faji szintű elemzésekkel kimutathatók⁷.

A faj-área összefüggés vizsgálata az ökológia minden területén nem csökkenő jelentőségű témakör. Ezt hazai, 10^{-2} - 10^8 méretű tavak fitoplanktonján teszteltük⁸. Fajszám a 10^6 tófelületnél telítődött, aztán csökkent, mert fellépett az ún. „nagy tó” hatás – azaz, a kifejezetten nagy tavakban a fizikai jellegű driverek (pl. szél általi homogenizálódás) a legkompetitívebb faj kiválasztódásához vezet, ezért homogenizál, ami a fajszámot csökkenti. Ugyanakkor funkcionális csoportok alapján a 10^6 méret után stabilizálódik (telítésbe fut) a rendszer, csökkenést nem mutat. Emiatt megállapítottuk, hogy **a funkcionális redundancia módosítja a faj-área összefüggést**.

Kutatásainkban vizsgáltuk a **tájhasználat** szerepét kis tavak illetve patakok algaközösségeire többféle **geoinformatikai** megközelítést alkalmazva. Az eddigi kutatások erre a változóra nem koncentráltak, s ez világszerte felfutó téma. Fitoplankton esetén azt találtuk, hogy a „landuse” sajátságok igen kevésbé hatnak egy-egy tó algaközösségének kialakulására, azt elsősorban a lokális, víztesten belüli habitatjellemzők határozzák meg⁹. Rögzült diatóma közösségek más eredményhez vezettek¹⁰. Ugyan mind a fajgazdagságot, mind a jelleg alapú összesítést tekintve a helyi lokális viszonyok voltak meghatározóak, a funkcionális diverzitást főképp a tájhasználati jellemzők írták le világos különbséget mutatva

⁵ Szabó B; Lengyel E; Padisák J; Vass M; Stenger-Kovács C (2018) Structuring forces and β -diversity of benthic diatom metacommunities in soda pans of the Carpathian Basin. EUROPEAN JOURNAL OF PHYCOLOGY 53: 219-229.

⁶ Szabó B; Lengyel E; Padisák J; Stenger-Kovács C (2019) Benthic diatom metacommunity across small freshwater lakes: driving mechanisms, β -diversity and ecological uniqueness. HYDROBIOLOGIA 828: 183-196.

⁷ Xiao LJ; Zhu Y; Yang Y; Lin Q; Han BP Padisák J (2018) Species-based classification reveals spatial processes of phytoplankton meta-communities better than functional group approaches: a case study from three freshwater lake regions in China. HYDROBIOLOGIA 811: 313-324.

⁸ Várbíró G; Görgényi J; Tóthmérész B; Padisák J; Hajnal É; Borics G (2017) Functional redundancy modifies species-area relationship for freshwater phytoplankton. ECOLOGY & EVOLUTION 7: 9905-9913.

⁹ Selmečzy GB, Tapolczai K, Padisák J (under revision): The complexity of catchment land use drivers are weak predictors of lakes' phytoplankton community structure at functional group level. HYDROBIOLOGIA

¹⁰ Stenger-Kovács C; Lengyel E; Sebestyén V; Szabó B (2020): Effects of land use on streams: traditional and functional analyses of benthic diatoms, HYDROBIOLOGIA 847:2933–2946.

a **mezőgazdasági és erdőszült** patakszakaszok diatóma közösségei között. Az **urbanizáltságot**, mint tájhasználati változót e közösségek alapján nem tudták a vizsgálatok kimutatni.

A Rába és a Marcal vízgyűjtőjén környezeti DNS újgenerációs szekvenálásán alapuló diatóma közösségmeghatározást (metabarcoding) végeztünk, a szekvencia variánsok különböző bioinformatikai feldolgozásával. A kapott adatsorokon vizsgáltuk folyóvizek diatóma közösségének szerkezeti választ kifejezetten a mezőgazdasági terület hatására a kimutatott szekvencia-gyakoriság alapján¹¹. E kutatásban a taxonómiai hozzárendelés nélkül kezelt pontos szekvenciavariánsok pontosabban mutatták a tájhasználati változót, de a hagyományos taxonómiai vizsgálatok az értelmezéshez szükségesek voltak. További következtetések e záróbeszámoló későbbi fejezetében találhatóak.

3.3 Jelleg-alapú (trait, funkcionális csoport) módszerek kidolgozása és alkalmazása rögzült algaközösségekre és fitoplanktonra, eDNA

A fitoplanktonra a 2000-es évek elejétől több funkcionális csoport megközelítést dolgoztak ki, melyek alkalmazása azóta mind az alap- mind az alkalmazott kutatásokban széleskörűen elterjedt. Ezzel együtt az egyes funkcionális csoportok habitat-kötődésének, másképp szólva niche-karakterisztikáinak leírása, pontosítása kutatási feladat. A Reynolds-féle funkcionális csoportok **niche-karakterisztikáit** (pozíció, szélesség) vizsgáltuk hazai nagy folyók fitoplankton adatait alkalmazva, s feltételezve, hogy a trofitásgradiensén centrális helyzetű csoportok széles niche tartományt foglalnak el, a marginálisak pedig szűket, melyet a kapott eredmények nem igazoltak. Néhány funkcionális csoport esetén a niche karakterisztika mást mutatott mint az eredetileg leírt élőhelyi templát¹². Bármily alkalmasak azonban a fitoplankton funkcionális csoportokba rendezése mind alap-, mind alkalmazott kutatási célokra, akár gyakorlati monitorozásra is, nem minden esetre jelentenek megoldást. Ilyenek az extrém élőhelyek (magas sótartalom, alacsony pH... stb). Az ilyen tavakat olyan fajok népesítik be, melyek az adott **stressztényezőre** vonatkozóan fiziológiai adaptáltsággal rendelkeznek. Az ilyen tavak fitoplankton közösségei jellemzően kevés fajjal rendelkeznek, több esetben a monodominancia jellemző, mely független attól, hogy e fajok mely funkcionális csoportba tartoznak. Ugyanakkor a **táplálékhálózat** nem kevésbé „bonyolult”, mint az átlagos sajtáságú tavaikéi, de kevésbé kutatott, s elsősorban a mikrobiális hurok mind alaposabb megértésével közelíthető¹³.

Egy tanulmányban e projekt keretében mutattuk ki, hogy az un. „morphology based phytoplankton groups” módszer alkalmas a **trofitásbecslésre** Brazília szemiárid régiójának sekély tározói esetén¹⁴.

Rögzült algaközösségek, s köztük is a legelterjedtebb csoport, a diatómák ilyen jelleg-alapú vizsgálatai késtek, ám jelenleg az alapkutatások (s az egyidejű alkalmazási

¹¹ Tapolczai K; Selmeczy GB; Szabó B; B-Béres V; Keck F; Bouchez A; Rimet F; Padisák J (2021) The potential of exact sequence variants (ESVs) to interpret and assess the impact of agricultural pressures on stream diatom assemblages revealed by DNA metabarcoding. ECOLOGICAL INDICATORS 122: 107322.

¹² Nagy-László Z; Padisák J; Borics G; Abonyi A; B-Béres V; Várbíró G (2020) Elementary analysis of phytoplankton functional niches in fluvial ecosystems. JOURNAL OF PLANKTON RESEARCH 42/3: 355-367.

¹³ Padisák J; Naselli-Flores J (2021) Phytoplankton in extreme environments: importance and consequences of habitat permanency. HYDROBIOLOGIA 848: 157-176.

¹⁴ Vanderley RF, Becker V, Panosso R, Ger KA, Padisák J (SUBMITTED) Morphology-based functional approach as a tool to assess trophic state in tropical shallow lakes. ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT

lehetőségek) a kutatások frontvonalát képezik. Klasszikus, mikroszkópos vizsgálatokon alapuló módszerekkel kimutattuk, az extrém élőhelyként jellemezhető hazai szikes tavakat kevés **jelleg-alapú csoport (trait)** népesíti be, mely egyúttal alacsony **funkcionális diverzitást** képvisel de emellett az antropogén hatások e megközelítéssel ötszörösen hatékonyabban mutathatók ki, mint a tradicionális diatóma indexekkel¹⁵, tekintettel arra, hogy ezen tavak esetén a mesterváltozó nem a trofitás, hanem a sótartalom (vezetőképeség).

Kifejlesztettünk egy olyan ökológiai állapotmérő indexet (DISP: **Diatom Index for Soda Pans**), mely képest a tényleges **mesterváltozó** leírására, trait-alapú, s emiatt mentes a félrehatározásoktól (a fajok hasonlósága miatt a mikroszkópos elkülönítés sok esetben szinte, vagy teljes mértékben lehetetlen). A módszer általános, s a Kárpát-medencén kívüli hasonló jellegű tavak ökológiai állapotminősítésére is alkalmas¹⁶.

A trait-alapú módszerek alkalmazásának különös jelentősége lehet olyan területeken vagy ökorégiókban, melyek esetén a hagyományos módszerek alkalmazásának nincsenek meg a személyi feltételei (pl. nincs megfelelően képzett taxonómus). Emiatt fejlesztettünk **trait-alapú állapotminősítő indexet** a trópusi Mayotte szigetének (francia felségterület, a Víz keretirányelv alkalmazása kötelező, de egyetlen európai ökorégióba sem sorolható be a sziget) patakjaira¹⁷.

Ahogy fitoplanton közösségek esetén¹², úgy a rögzült diatómáknál is szükséges a funkcionális **niche-karakterisztika** vizsgálata, mely kutatásaink szerint a diatóma trait-ek alkalmazását erősíti, s jobban megfelel az általános alaphipotézisnek, mint amit a nagy folyók fitoplanktonja esetén találtunk¹⁸. A klasszikus taxonómiai vizsgálatok mellett az utóbbi néhány évben egyre inkább előtérbe kerül a „taxonómia-mentes”, a **környezeti DNS-re (eDNA)** alapuló módszerek kifejlesztése, mely jelenleg módszerfejlesztési szakaszban van, s az eredmények igen biztatóak. Az e módszerrel kapott szekvencia változatok csoportokba sorolása faji megfeleltetést tesz lehetővé, de – főleg a referencia adatbázisok hiányos volta miatt - nem minden szekvencia feleltethető meg hagyományos fajoknak. Emiatt előklaszterezés nélkül, a **pontos szekvencia variánsok** (exact sequence variants = ESV) felhasználásával teszteltük a Rába és a Marcal vízgyűjtőjén azt, hogy a diatómák miképpen reagálnak a tájhasználat egy domináns formájára, a mezőgazdasági terhelésre. E kutatásnak több fontos eredménye is volt: 1. Az **ESV alapon kifejlesztett állapotindex** pontosabban jelezte a **tájhasználatot**, ezzel együtt az eredmények interpretációja miatt a **taxonómiai megfeleltetés nem mellőzhető**. A taxonoknak nem megfeleltethető szekvenciákat is fel kell használni, mert ez pontosabb eredményekhez vezet, valamint felfedi az un. rejtett diverzitást (**cryptic diversity**)¹⁹. A szekvencia variánsok ilyenén való felhasználása nagy

¹⁵ Stenger-Kovács C; Lengyel E; Buczkó K; Padisák J; Korponai J (2020) Trait-based diatom functional diversity as an appropriate tool for understanding the effects of environmental changes in soda pans *ECOLOGY AND EVOLUTION* 10/1: 320-335.

¹⁶ Stenger-Kovács C; Körmendi K; Lengyel E; Hajnal É; Abonyi A; 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.

¹⁷ Tapolczai K; Bouchez A; Stenger-Kovács C; Padisák J; Rimet F (2017): Taxonomy- or trait-based ecological assessment for tropical rivers? Case study on benthic diatoms in Mayotte island (France, Indian Ocean) *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT* 607-608: 1293-1303.

¹⁸ Lengyel E; Szabó B; Stenger-Kovács C (2020) Realized ecological niche-based occupancy–abundance patterns of benthic diatom traits. *HYDROBIOLOGIA* 847: 3115-3127.

¹⁹ Tapolczai K; Selmečy G; Szabó B; B-Béres V; Keck F; Bouchez A; Rimet F; Padisák J (2021): The potential of exact sequence variants (ESVs) to interpret and assess the impact of agricultural

taxonómiai felbontást tesz lehetővé, mely olyan ökológiai információkat hordoz, amely a hagyományos módszerrel rejtve maradna.

A Fennoskandináv terület patakjainak és tavainak diatóma adatait is felhasználva **hasonlítottuk össze a klasszikus taxonómiai, a trait-alapú és az eDNA** (amplikon szekvencia variánsok = ASVs)²⁰ **alapú állapotminősítés** pontosságát trofitási állapot jelzésére. Az ASV alapú megközelítés korrelált leginkább az összes foszfor tartalommal, a traitek esetén további kutatások szükségesek ahhoz, hogy sikerrel alkalmazhatók legyenek. Az ASV és a taxonómiai alapú egységek optimumai tavak és folyóvizek esetén kis eltérést mutattak, de egymással szignifikánsan korreláltak. Ez lehetőséget ad arra, hogy tavakra és folyóvizekre közös indexet lehessen kidolgozni, de összes foszfor tekintetében különböző határértékeket kell alkalmazni²¹. Mindezek mellett le kell szögezni azt, hogy sok esetben a kutatások csak az alapfeltárásnál (florisztikai vizsgálatok) tartanak, melyek nélkül pl. az inváziós jelenségek nem felismerhetők s követhetők²².

3.4. Ökofiziológiai vizsgálatok, klímaváltozás

E zárójelentés korábbi fejezeteiből is kiderül, hogy bármely módszert (hagyományos taxonómiai, trait-alapú, eDNS) is alkalmazunk alap- vagy alkalmazott kutatási célokra, az egyes egységek ökológiai válaszainak, niche-karakterisztikáinak és/vagy optimumainak meghatározása az eredmények interpretálása szempontjából nélkülözhetetlen. Ezt különösen a természetvédelmi, „bajkeverő”, invazív, vagy gyakorlati célból fontos fajok esetén leginkább célzott **ökofiziológiai kutatásokkal** lehet a legpontosabban közelíteni.

Az édesvizekben a **vörösalgák** jelenléte nem tipikus, ezért **természetvédelmi jelentőségük** nagy. A Balatonból gyűjtött *Bangia atropurpurea* és a Tapolcai patakban gyűjtött *Batrachospermum gelatinosum* fotoszintézisének maximuma egyaránt 25 °C-on volt közepes és magas fényintenzitás mellett, mely érték az irodalmi értékeknél magasabb. A *Bangia* elsődleges termelése optimum-közelben lényegesen meghaladta a másik fajét²³.

Egy zöld pikoalga, a *Picocystis salinarum* több afrikai tóban is kiszorította törpeflamingók táplálékául szolgáló kékalgát, a *Limnospira platensis*-t, melynek a turizmus visszaesése miatt súlyos gazdasági következményei vannak az éritett térségekben. A *P. salinarum* ökofiziológiai jellemzőit **fotoszintetronban és kemosztát** rendszerben mértük fény, hőmérséklet és sótartalom gradiensek mentén. Maximális **fotoszintetikus aktivitása alacsony**, hőmérsékleti optimuma 32 °C, **árnyékkedvelő**, s magasabb fényintenzitáción fellép a fénygátlás jelensége. A faj **halotoleráns**, de lényegesen magasabb volt fotoszintetikus aktivitása karbonátos (Na₂CO₃ és NaHCO₃), mint NaCl-os gradiensen. A talált ökofiziológiai jellemzők (lassú növekedés és alacsony primer produkció) nem szokványosak egy olyan faj

pressures on stream diatom assemblages revealed by DNA metabarcoding ECOLOGICAL INDICATORS 122: 107322.

²⁰ A szakirodalomban az ESV és az ASV terminológia is használatos, de valójában ugyanazt jelentik. Az ESV jobban kifejezi, hogy az már egy, bioinformatikailag „megtisztított”, PCR vagy szekvenálási műtermékeket nem tartalmazó, szinte biztosan az adott mintában valóban jelenlevő PONTOS szekvencia variáns.

²¹ Kahlert M, Baillet B, Chonova T, Karjalainen S, Schneider S, Tapolczai K (2021). Same same, but different: The response of diatoms to environmental gradients in Fennoscandian streams and lakes – barcodes, traits and microscope data compared. ECOLOGICAL INDICATORS 130: 108088.

²² Király E; Korponai J; Padisák J; Selmeczy GB (2019) Előzetes adatok a Retyezát-hegység néhány magashegységi tavának fitoplankton vizsgálatáról HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY 99/3: 51-54.

²³ Pálmai T; Szabó B; Hubai KE; Padisák J (2018) Photosynthetic performance and plasticity of two freshwater red algal species, ACTA BOTANICA CROATIA 77:135-140.

esetén, mely lényegesen nagyobb produktivitását (*Limnospira platensis*) szorított ki, s ennek kulcsfaktora a faj halotoleranciája lehet²⁴.

A **Picochlorum** nemzetségbe tartozó zöld pikoalgák az óceánokban meghatározó fotoszintetikus komponensek. Az Adriai-tenger déli részén izoláltak egy, e nemzetségbe tartozó fajt, mely 280 m-es mélységben is élő egyedekkel rendelkezett s jelentős volt lipidtartalma (trigliceridek). Fotoszintézisének maximuma 30°C-on volt, de annak legmeredekebb növekedését a 15–20°C-os tartományban tapasztaltuk. **Hőmérsékleti toleranciáját** mutatja, hogy 40°C alatti hőmérsékleteken **nem lép fel a fénygátlás** jelensége. **Árnyéktűrése kimagasló**, a tenyészetek egy hónapig is túlélnek teljes fényhiányban²⁵. Mindkét zöld pikoalga faj jelentős lehet **bioüzemanyag** termelés vonatkozásában, melyre már eddig is történtek kísérletek.

A **Klebsormidium** alga-nemzetség képviselői fontos szerepet játszanak a biológiai talajkéreg kialakításában s magas brasszinoszteroid tartalmuk miatt potenciális **biotechnológiai** alkalmazásokkal is kecsegtetnek. Egy Magyarországon izolált *Klebsormidium* fotoszintetikus karakterisztikáját vizsgálva megállapítottuk, hogy az nettó fotoszintézist folytat a 3-40°C közötti hőmérséklet-tartományban, ami **mezőgazdasági felhasználás** szempontjából előnyös tulajdonság, mivel így ez a törzs akár nyári forróságban is képes lehet kolóniaképzésre a talaj felszínén²⁶.

Korábbi, az OTKA által támogatott kutatásainkban három, hazai szikes vizekből izolált három *Nitzschia* (***Nitzschia aurariae*, *N. reskovii*, *N. supralitorea***) faj **fotoszintetikus karakterisztikáit** mértük fel laboratóriumi tenyészetekben fény, hőmérséklet, vezetőképesség, szulfát és klorid gradiensek mentén. A talált maximális fotoszintetikus rátákat három **klímaperiódusra** (1970–2000, (2005–2015, 2041–2060) vetítve azt találtuk, hogy jövőben tenészsídejük akár 2 hónappal is kitolódhat, s **kompetitív képességük** egyéb fajokkal szemben a jövőben is meghatározó marad²⁷.

A klímaváltozással kapcsolatos kutatásaink centrumában a **vektor jelentőségű csipő- és lepkeszúnyog** fajok álltak tekintettel arra, hogy számos humán- vagy állategészségügyi kórokozó köztes gazdáit, s a délebbi fajok északra húzódása már most kimutatható. Kimutattuk, hogy a neogén-negyedkori időszak klímajellemzői máig hatóak **nyolc mediterrán elterjedésű lepkeszúnyog faj** esetén²⁸. A hazánkban már megjelent, egyebek mellett a kutyák szívférgességének vektor szerepét képező lepkeszúnyog faj, a ***Phlebotomus neglectus*** esetén kimutattuk, hogy hazai megjelenésének **kulcsfaktora a besugárzás** mértéke, tekintettel arra, hogy a gyűjtött egyedek nagy része árnyékolt, kiegyenlített

²⁴ Pálmai T; Szabó B; Kotut K; Krienitz L; Padisák J (2020). Ecophysiology of a successful phytoplankton competitor in the African flamingo lakes: the green alga *Picocystis salinarum* (Picocystophyceae) JOURNAL OF APPLIED PHYCOLOGY 32: 1813-1825.

²⁵ Mucko M; Padisák J; Gligora Udovič M; Pálmai T; Novak T; Medić N; Gašparović B; Petra Štefanić P; Orlić S; Ljubešić Z (2020) Characterization of a lipid-producing and thermotolerant marine photosynthetic pico-alga from genus *Picochlorum* (Trebouxiophyceae) EUROPEAN JOURNAL OF PHYCOLOGY 55: 384.399.

²⁶ Futó P; Kutasi J; Lengyel E; Bernát G (submitted) *Klebsormidium* sp. BEA_IDA_0061B fonalas zöldalga fény és hőmérsékleti optimumának megállapítása. HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY

²⁷ Lengyel E; Lázár D; Trájer A; Stenger-Kovács C (2020) Climate change projections for Carpathian soda pans on the basis of photosynthesis evidence from typical diatom species. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT 710: 136341.

²⁸ Trájer AJ; Hammer T; Padisák J (2018) Reflection of the Neogene-Quaternary phylogeography in the recent distribution limiting climatic factors of eight Mediterranean *Phlebotomus* (Diptera: Psychodidae) species JOURNAL OF NATURAL HISTORY 52: 27-28.

mikroklímájú helyekről származott²⁹. A kiegyenlített klímának csípőszúnyogok (Culicidae) esetén is kiemelt jelentősége van. 19 Bakonyi barlangi gyűjtésekből származó anyag alapján megállapítottuk, hogy a **barlangok az áttelelés fontos élőhelyei**, elsősorban nőstény egyedek vonatkozásában különös tekintettel a nyugat-nílusi láz vektorának tekinthető *Culex pipiens pipiens* esetén, de emellett a barlangok egyéb humán és állategészségügyi szempontból fontos szúnyogfajok áttelelő helyei is³⁰. Az ázsiai tigrisszúnyog (*Aedes albopictus*) terjedési sebességét elemeztünk az Appenin-félszigetről valamint Floridából származó adatokon megállapítva, hogy abban a **passzív terjedésnek** volt meghatározó szerepe³¹. Európa vonatkozásában 100 **Culicidae taxon** elterjedése alapján négy faunatípust különítettünk el s ezek elterjedési mintázata azt mutatta, hogy a hazánkban is jelentős ***Aedes, Culex és Anophles*** fajok mutatnak részleges összefüggése a humán arbovírus fertőzöttségi adatokkal³².

²⁹ Trájer A; Tánczos B; Hammer T; Padisák J (2018) Solar radiation and temperature conditions as the determinants of occurrence of *Phlebotomus neglectus* Tonnoir (Diptera: Psychodidae). JOURNAL OF THE ENTOMOLOGICAL RESEARCH SOCIETY 20/2: 13-27.

³⁰ Tájer A; Padisák J; Schoffhauser J (2018) Diversity, seasonal abundance and vector status of the cave-dwelling mosquito (Diptera: Culicidae) fauna of the Bakony-Balaton Region. ACTA ZOOLOGICA BULGARICA 70/2: 247-258.

³¹ Trájer A; Hammer T; Kacsala I; Tánczos B; Bagi N; Padisák J (2017) Decoupling of active and passive reasons for the invasion dynamics of *Aedes albopictus* Skuse (Diptera: Culicidae): Comparisons of dispersal history in the Apennine and Florida peninsulas. JOURNAL OF VECTOR ECOLOGY 42/2: 233-242.

³² Trájer A; Padisák J (2019) Exploration of the main types of biome-scale culicid entomofauna (Diptera: Culicidae) in Europe and its relationship to the occurrence of mosquito-borne arboviruses. ACTA ZOOLOGICA ACADEMIAE SCIENTIARUM HUNGARICAE 65: 299-322.

