

Válasz Dr. Bácsi István bírálatára

Szeretnék köszönetet mondani opponensemnek, Dr. Bácsi Istvánnak a benyújtott disszertáció részletes bírálatáért, az előbírálat során tett kritikai észrevételekért, illetve építő javaslataiért, amelyek segítettek az értekezés szakmai színvonalának emelésében, és amelyeket kutatómunkám során a jövőben figyelembe fogok venni.

Dr. Bácsi István kérdéseire a válaszaim a következők:

1. A dolgozatban bemutatott fotoszintetikus paraméterek kiszámítása az oxigén-tartalom mérésén alapszik. Milyen lehetőségeink lehetnek nem oxigéntermelő fotoszintetizáló szervezetek esetén a fotoszintetikus aktivitás becslésére?

Az oxigéntermelő fotoszintézis esetében a vizsgált szervezetek fotoszintetikus aktivitását a fotoszintézis alapegyenletének megfelelően, a fotoszintézis folyamatában résztvevő kiindulási anyagok, vagy végtermékek koncentrációjában bekövetkező változások nyomon követésével tudjuk legegyszerűbben vizsgálni (pl.: oldott oxigénkoncentráció (DO) mérés, Winkler-féle módszer, jelölt szénizotóp felvételének mérése), ezen kívül széleskörben elterjedtek fluorimetriás módszerek is. A nem oxigéntermelő fotoszintézis nyomon követése, hasonlóan a DO méréshez, lehetséges egy szubsztrát, vagy egy termék mennyiségében bekövetkező változás mérésével (pl.: szulfid oxidáció nyomon követése (Cohen és mtsi. 1986)). Az oxigén termelő és a nem oxigéntermelő fotoszintézis mérésére egyaránt alkalmas módszer a „pulzus amplitúdó moduláció” (PAM = pulse amplitude modulation) (Cohen és mtsi. 1986, Chandaravithoon és mtsi. 2020). A PAM mérés a fotoszintetikus elektron transzport mértékét a klorofill-*a* fluoreszcenciájában, kék vagy piros fénnel történő megvilágítás hatására bekövetkező változáson keresztül követi nyomon. A nem oxigéntermelő fotoszintetizáló baktériumok nem vizet használnak elektrondonorként, inkább ftoheterotrofikusak, sem mint fotoautrofikusak, így a $^{14}\text{CO}_2$ nem alkalmazható esetükben (Chandaravithoon és mtsi. 2020). A bakterioklorofill a klorofill-*a*-hoz hasonlóan abszorbeálja a kék fényt, de fluoreszcens tulajdonságaik némileg eltérnek. A kék fény indukálta PAM alkalmazható a bíorbaktériumok fotoszintetikus elektrontranszportjának vizsgálatára. A (fotoszintézis mérésre kialakított) fluoriméterek alapvetően nem képesek az oxigéntermelő és a nem oxigéntermelő fotoszintézis elkülönítésére, mert általában a 695-750 nm hullámhossz tartományra korlátozódik a mérési tartományuk, e tartomány kiszélesítésével viszont (>830 nm-en történő vizsgálattal) lehetőség nyílik a bakterioklorofill fluoreszcenciájának vizsgálatára, így az oxigéntermelő és a nem

oxigéntermelő fotoszintézis vizsgálatára, illetve elkülönítésére (Chandaravithoon és mtsi. 2020).

2. A dolgozatban bemutatott eredmények alapján kijelenthető-e, hogy általánosságban a cianobaktériumok nagyobb fotoszintetikus plaszticitással rendelkeznek más fitoplankton csoportokhoz képest, ami további kompetíciós előnyt biztosít számukra fitoplankton közösségekben?

A cianobaktériumok térnyerését több tényező is segíti, ezek közül kiemelhető az eutrofizáció (különösen jelentős a humán tevékenységhez köthető) (Sukénik és mtsi. 2015). Ezen kívül a globális felmelegedés is segítheti a cianobaktériumok térhódítását a sarki régiók kivételével, ahol a melegedés nem ilyen egyértelműen a cianobaktériumok térnyerésének kedvez (Sukénik és mtsi. 2015). A víz fizikai- kémiai paraméterei közül kiemelhető a hőmérséklet, mint egyik legfontosabb, a vízi életközösséget meghatározó tényező. A hőmérséklet közvetlenül és közvetve is hatással van a vízi szervezetekre. Közvetett hatása alatt az élettani folyamatok direkt befolyásolása értendő, míg közvetett hatása pl.: a víztest rétegzettségének stabilitásán keresztül is megjelenik.

Ahogy azt az ún. „Kék-alga paradoxon” kimondja: a cianobaktériumok mint rendszertani csoport a környezeti változók széles skáláját fedik le, de egy-egy fajt jóval szűkebb tűréshatárok jellemez(het)nek egy adott környezeti változóval szemben (Paerl, 1988). Ennek némileg ellentmondanak a disszertációban találtak, mivel a legnagyobb plaszticitás és a legnagyobb fotoszintetikus aktivitás is cianobaktérium fajok esetében került meghatározásra, azaz egy környezeti változó (a hőmérséklet) széles skáláját lefedve mutatott nagy fotoszintetikus aktivitást. Ugyanakkor a vizsgált fajok (alacsony) száma miatt az eredmények nem alkalmasak törzsszintű általánosításra. Szembetűnő ugyanakkor, hogy a legnagyobb plaszticitást illetve legnagyobb fotoszintetikus aktivitást mutató fajok között szerepelnek a vizsgált cianobaktériumok. Hasonló nagyságrendű fotoszintetikus aktivitás az (szintén) algavirágzásokból begyűjtött „zöldalgák” (*Cosmarium majae*, *Mucidosphaerium pulchellum*) esetében volt megfigyelhető. A *Limnospira fusiformis* a vizsgált fajok közül messze kiemelkedik rendkívüli fotoszintetikus aktivitásával, mely ökológiai szempontból rendkívül fontos, ugyanakkor ez nem általánosítható az egész törzsre. A disszertáció eredményei alapján egyes fajokról kijelenthető, hogy a hőmérséklet hatását vizsgálva plaszticitásuk nagyobb (és ezek fajok többsége cianobaktérium), mint más vizsgált fajoké, de magasabb rendszertani csoportokra ezek a következtetések nem, vagy csak kevésbé alkalmazhatóak.

3. Kijelenthető-e, hogy a globális klímaváltozás mikroszervezetek populációira gyakorolt hatásai jelentős változásokat okozhatnak akár a tájléptékű ökoszisztémában is?

Minden élőszervezetre, így a (fotoszintetizáló) mikroorganizmusokra is hatással van a környezetük, a környezeti változók hatása azonban eltérhet az egyes fajok/csoportok között. A környezetben bekövetkező változások hatását számos környezeti tanulmány vizsgálja, terepi minták segítségével nyomon követve a közösségekben bekövetkező változásokat (Paerl és Huisman 2008, Adrian és mtsi. 2009, Krienitz és Kotut 2010, Winder és Sommer 2012, Winder és mtsi. 2012, Huisman és mtsi. 2018, Yan és mtsi. 2020).

Az emelkedő hőmérséklet a cianobaktériumok számára kedvezőbb, mivel a magasabb hőmérséklet fokozottabban hat a növekedésükre, mint más fitoplankton fajokéra, így a hőmérséklet emelkedése kompetíciós előnyt jelent a cianobaktériumok számára. A melegedés a vízoszlop vertikális keveredésére negatívan hat, valamint a globális felmelegedés a tavaszi stabil rétegzettség kialakulását felgyorsítja, a rétegzettség őszi megszűnését pedig késlelteti, így meghosszabbítva a fitoplankton növekedésének optimális időszakot. Sok cianobaktérium a lebegésreguláció segítségével a stabil rétegzettség kialakulása után is képes vándorolni a vízoszlopon belül, így tápanyag- és fényigényüket is kielégíteni. Így képesek jelentős felszíni vízvirágzásokat okozni, melyek a lebegésregulációra nem képes fajokat beárnyékolva tovább erősítik a cianobaktériumok dominanciáját (Paerl és Huisman, 2008). A világszerte tapasztalt cianobaktérium vízvirágzások hatásai mind ökológiai, mind humán szempontból (a potenciális toxikusságuk miatt) jelentős.

Számos példa mellett jól mutatja a jelenséget az értekezés 5. fejezetében vizsgált témakör is: Kelet-Afrika sósvízű tavai számtalan madárfajnak szolgálnak otthonául, a madarak között legnagyobb populációkat a kis flamingók alkotják. A kis flamingók megjelenése szoros összefüggésben van a fő (és szinte kizárólagos) táplálékául szolgáló cianobaktérium, a *Limnospira fusiformis* biomasszájával. Abiotikus tényezők, közvetve vagy közvetlenül komoly hatással lehetnek a cianobaktérium populációjára amint azt az értekezés 5. fejezete is bemutatja. Egy adott tóban a cianobaktérium populációjának összeomlását több százezres madárpopulációk eltűnése követi, a madarak a Kelet-Afriai Nagy-Hasadékvölgy szikes tavai között. Az abiotikus tényezők változása pedig szorosan összefügg az adott terület klímájával, illetve az abban bekövetkező változásokkal.

Még egyszer köszönöm Dr. Bácsi Istvánnak a disszertáció alapos kritikai elemzését, és kérem válaszaim elfogadását.

Felhasznált irodalom:

- Adrian, R., O'Reilly, C.M., Zagarese, H., Baines, S.B., Hessen, D.O., Keller, W., Livingstone, D.M. et al. 2009. Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and oceanography*. 54:2283–97.
- Chandaravithoon, P., Ritchie, R.J. & Runcie, J.W. 2020. Measuring photosynthesis of both oxygenic and anoxygenic photosynthetic organisms using pulse amplitude modulation (PAM) fluorometry in wastewater ponds. *Journal of Applied Phycology*. 32:2615–29.
- Cohen, Y., Jørgensen, B.B., Revsbech, N.P. & Poplawski, R. 1986. Adaptation to Hydrogen Sulfide of Oxygenic and Anoxygenic Photosynthesis among Cyanobacteria. *Applied and Environmental Microbiology*. 51:398–407.
- Huisman, J., Codd, G.A., Paerl, H.W., Ibelings, B.W., Verspagen, J.M.H. & Visser, P.M. 2018. Cyanobacterial blooms. *Nature Reviews Microbiology*. 16:471–83.
- Krienitz, L. & Kotut, K. 2010. Fluctuating algal food populations and the occurrence of Lesser Flamingos (*Phoeniconaias minor*) in three Kenyan Rift Valley Lakes. *Journal of Phycology*. 46:1088–96.
- Paerl, H.W. 1988. Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae (Cyanobacteria). In Sandgren, C. G. [Ed.] *Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton*. Cambridge Univ. Press, Cambridge., pp. 261–315.
- Paerl, H.W. & Huisman, J. 2008. Blooms like it hot. *Science* (New York, N.Y.). 320:57–8.
- Sukenik, A., Quesada, A. & Salmaso, N. 2015. Global expansion of toxic and non-toxic cyanobacteria: effect on ecosystem functioning. *Biodiversity and Conservation*. 24:889–908.
- Winder, M., Berger, S.A., Lewandowska, A., Aberle, N., Lengfellner, K., Sommer, U. & Diehl, S. 2012. Spring phenological responses of marine and freshwater plankton to changing temperature and light conditions. *Marine Biology*. 159:2491–501.
- Winder, M. & Sommer, U. 2012. Phytoplankton response to a changing climate. *Hydrobiologia*. 698:5–16.
- Yan, D., Xu, H., Lan, J., Yang, M., Wang, F., Hou, W., Zhou, K. et al. 2020. Warming favors subtropical lake cyanobacterial biomass increasing. *Science of The Total Environment*. 726:138606.

Martonvásár, 2021. 01. 07.


Pálmai Tamás