



BALATONI
LIMNOLÓGIAI
KUTATÓINTÉZET

Mennyi foszfor kell az algáknak a Balatonban?

Vörös Lajos, G.-Tóth László és
Somogyi Boglárka

Tihany 2021 szeptember 21

A BLKI Balaton monitoringja

Fizikai és kémiai környezet:	Növényi tápelemformák:	Planktonszervezetek:
- vízhőmérséklet*	- összes foszfor**	- fitoplankton
- oldott oxigén*	- összes oldott foszfor**	- zooplankton
- pH	- oldott reaktív foszfor**	- bakterioplankton
- vezetőképesség	- összes nitrogén**	
- Secchi-átlátszóság	- összes oldott nitrogén**	
- vízalatti fényintenzitás	- nitrát-nitrogén**	
- zavarosság (turbiditás)	- ammónia-nitrogén**	
- platina-szín (CDOM)		
- üledékfelszín redoxpotenciál		

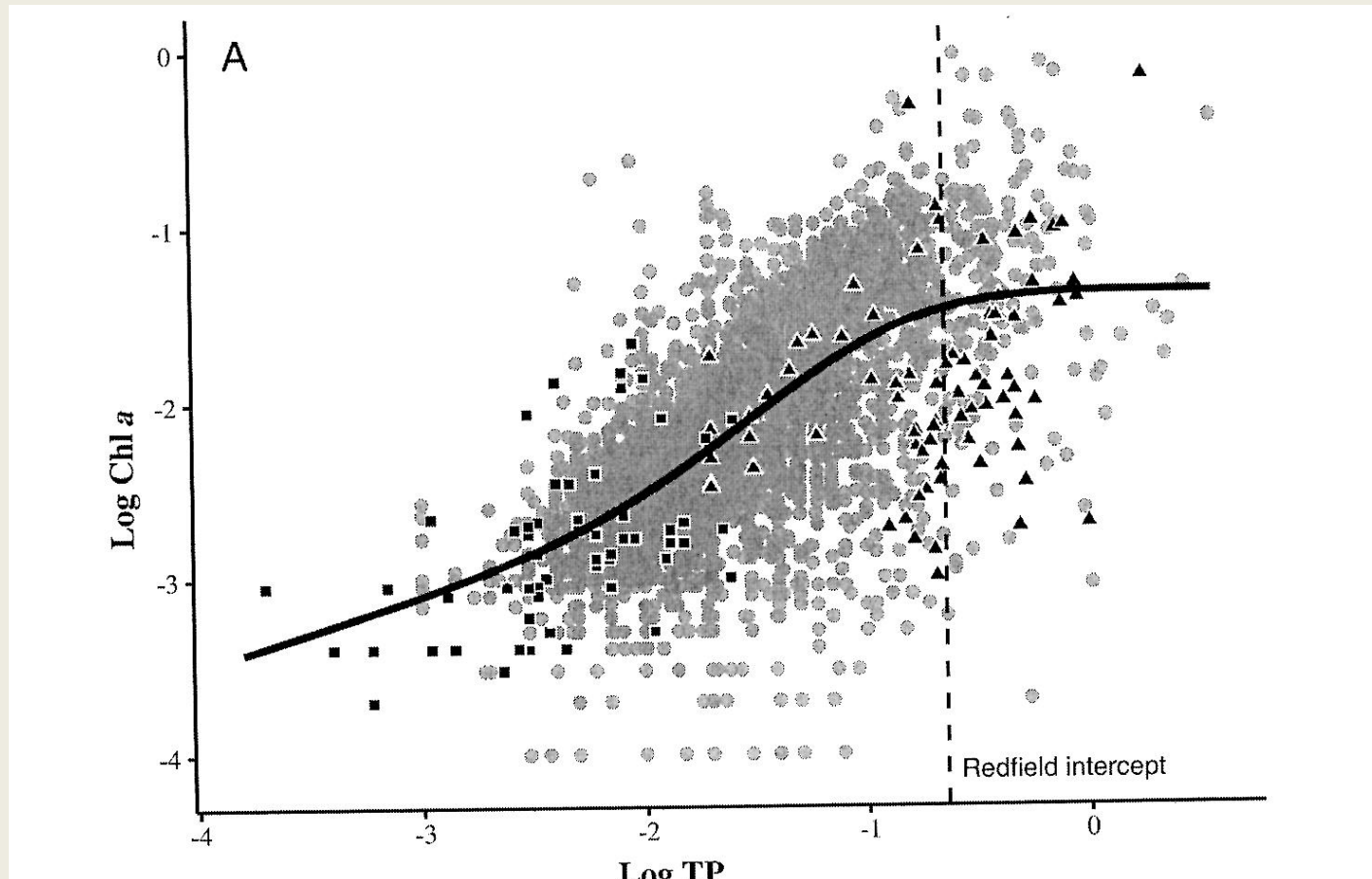
*rétegzettség idején vertikális mérések

**vízben és az üledékben egyaránt

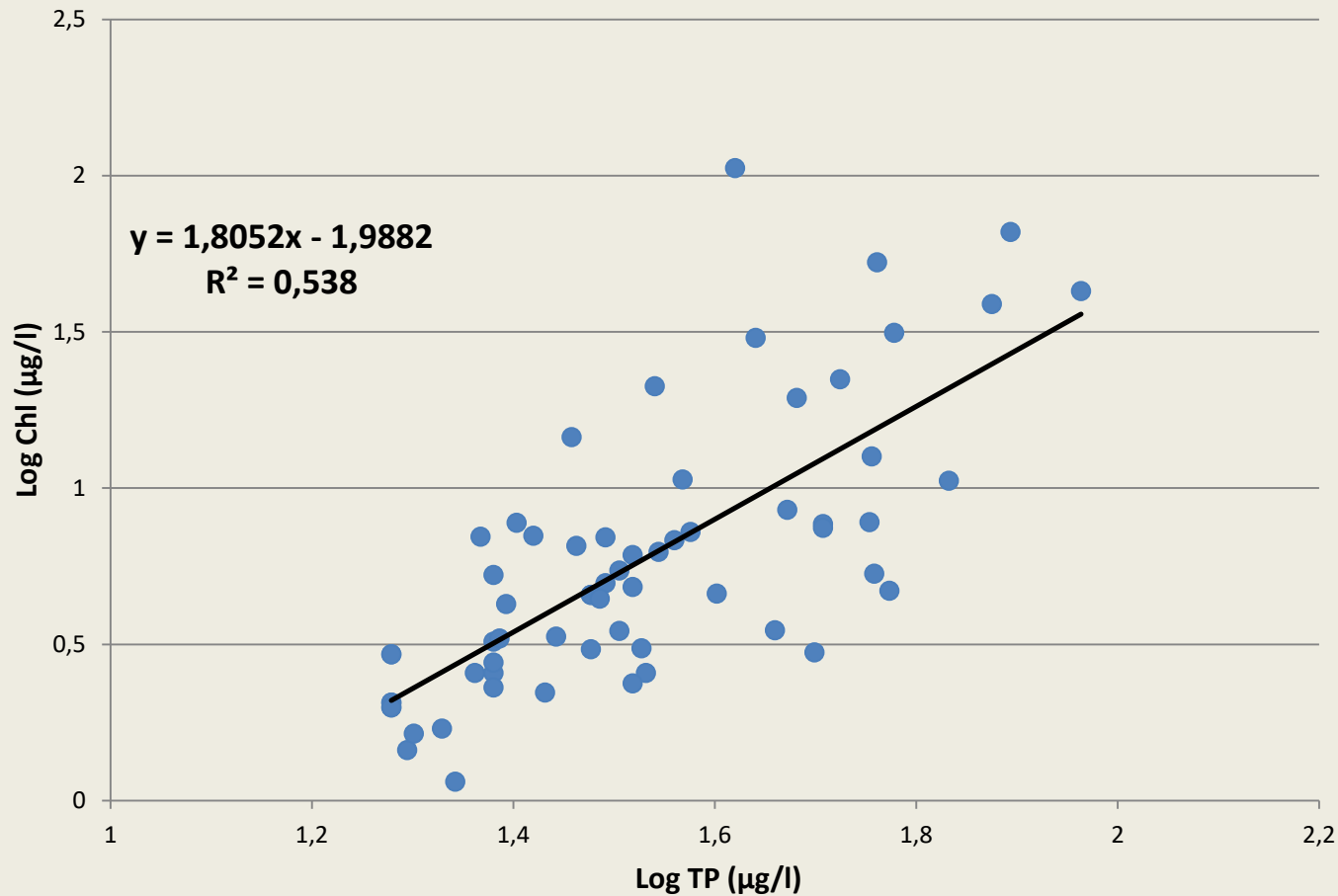
A kérdés megválaszolásához felhasznált vizsgálati eredmények

- Kémiai elemzés (P)
- A-klorofill (fitoplankton biomassa) mérés
- Fitoplankton (piko-, nano- és mikroplankton) biomassa és összetétel (fordított mikroszkóp és *fluoreszcens mikroszkópi vizsgálat*)
- Bakterioplankton biomassa (*fluoreszcens mikroszkópi vizsgálat*)
- Zooplankton biomassa (mikroszkópi vizsgálat)

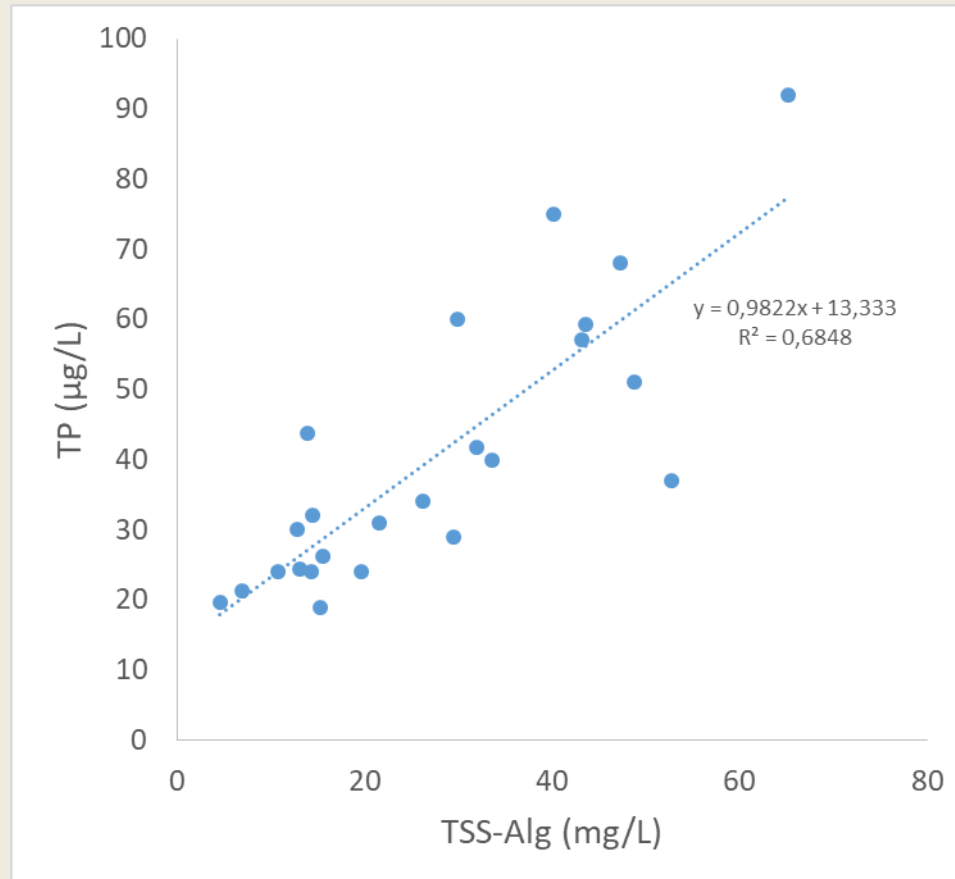
Összefüggés a víz összes P- és a-klorofill koncentrációja között 3874 tó adatai alapján (Quinlan et al. 2020).



Összefüggés a víz összes P- és a-klorofill koncentrációja között a Balatonban (2019)

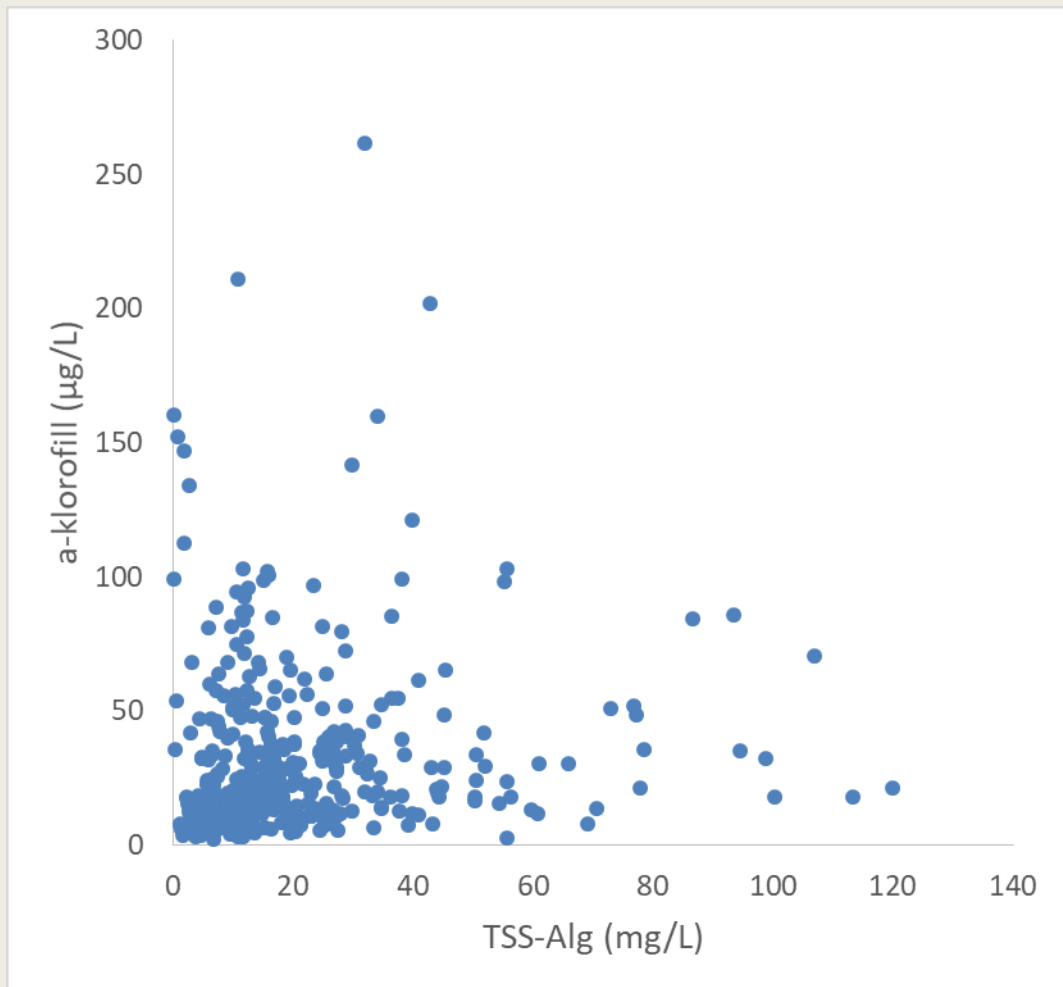


Az összes foszfor koncentráció a Balatonban nagymértékben függ az algamentes lebegőanyag mennyiségétől



A P jelentős része ásványi anyagokhoz kötött, az algák számára nem hozzáférhető!

Az algacsúcs kialakulásához szélcsendes idő kell



100 µg/L feletti klorofill értékek csak alacsony lebegőanyag koncentráció mellett fordulnak elő



A víz P- készletének megoszlása

Kínálat (összes P)

- Oldott (ortofoszfát ion, polifoszfátok)
- Formált foszfor (detritusz, üledékszemcsék), ennek jelentős része biológiailag nem hozzáférhető

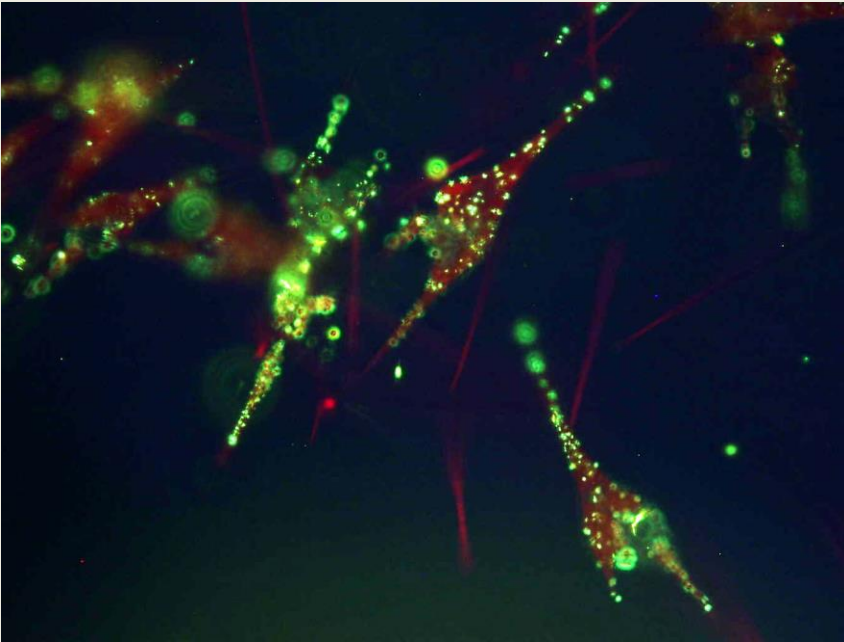
Kereslet (plankton)

- Baktériumok
- Fitoplankton

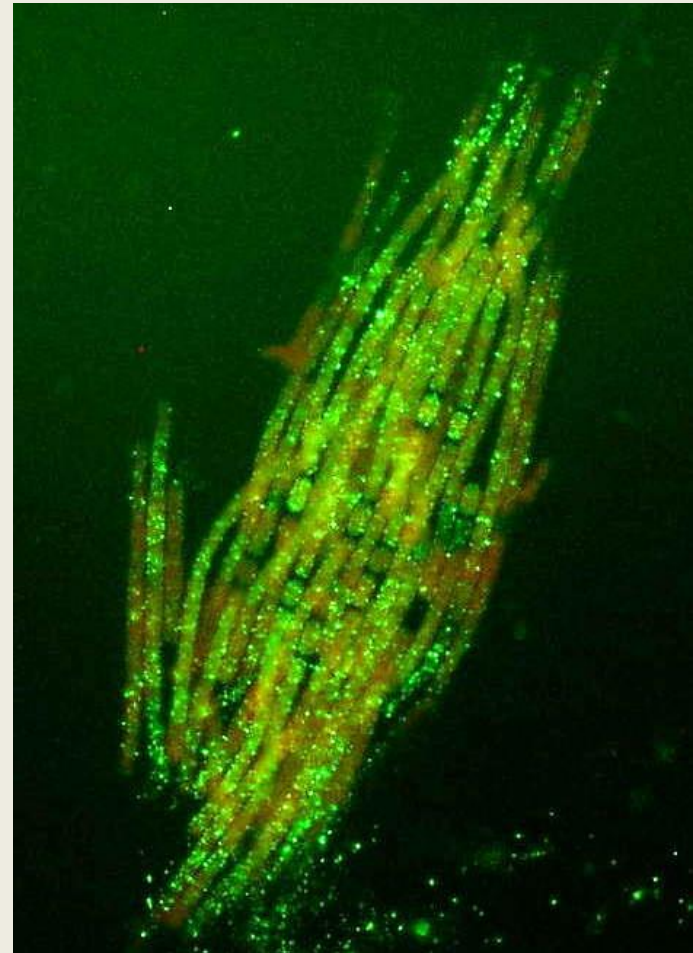


- Csillós és ostoros egysejtűek
- Mezozooplankton

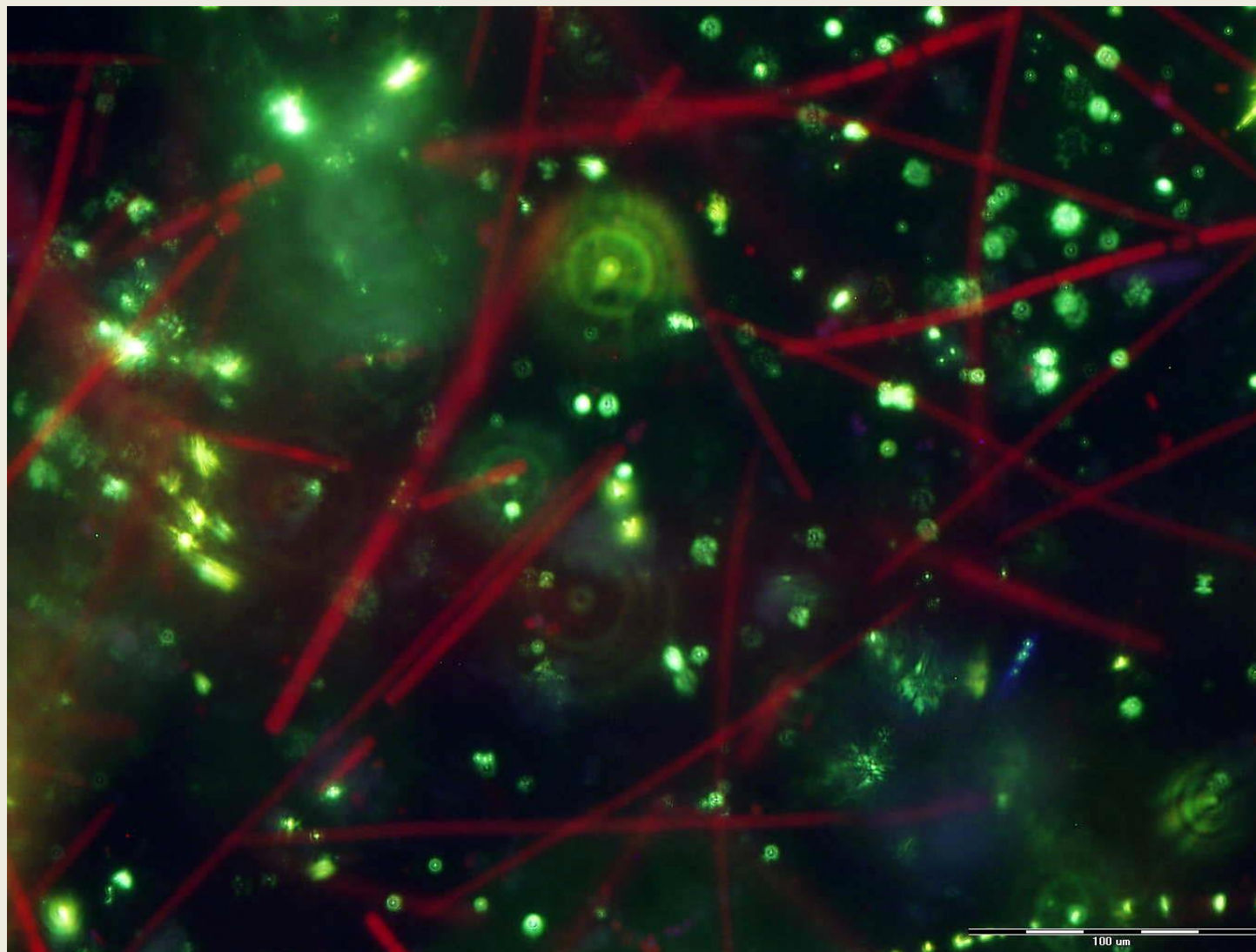
Az algák az ortofoszfát-ion mellett képesek a polifoszfátokat is hasznosítani, alkalikus foszfatáz enzim termelése révén



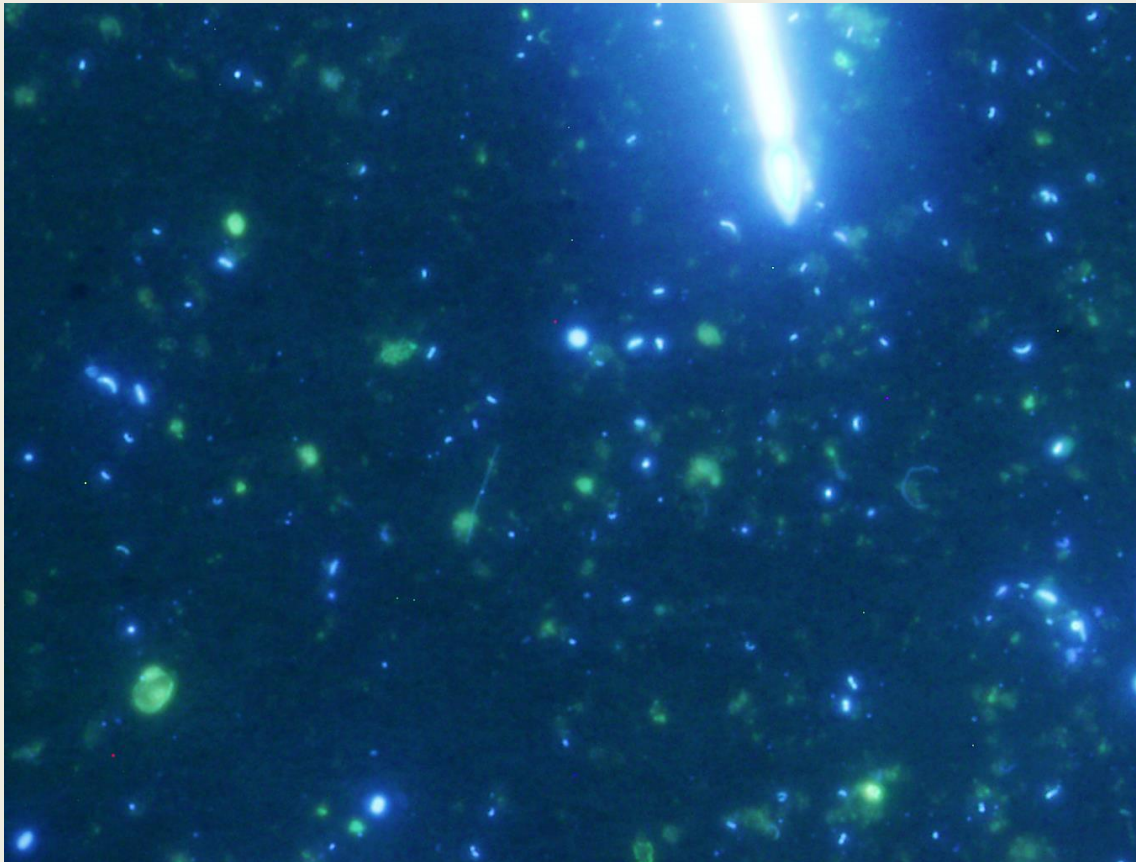
Zölden világító pöttyök jelzik a foszfatáz enzim működését a fluoreszcens mikroszkópban. (Balaton 2021)



A baktériumok a foszforért versengenek az algákkal, szintén képesek foszfatáz enzim termelésre (heterotróf baktériumok foszfatáz aktivitását jelzik a zöld pöttyök)



A bakterioplankton a fitoplankton függvénye (ha nem éri a vizet külső terhelés)

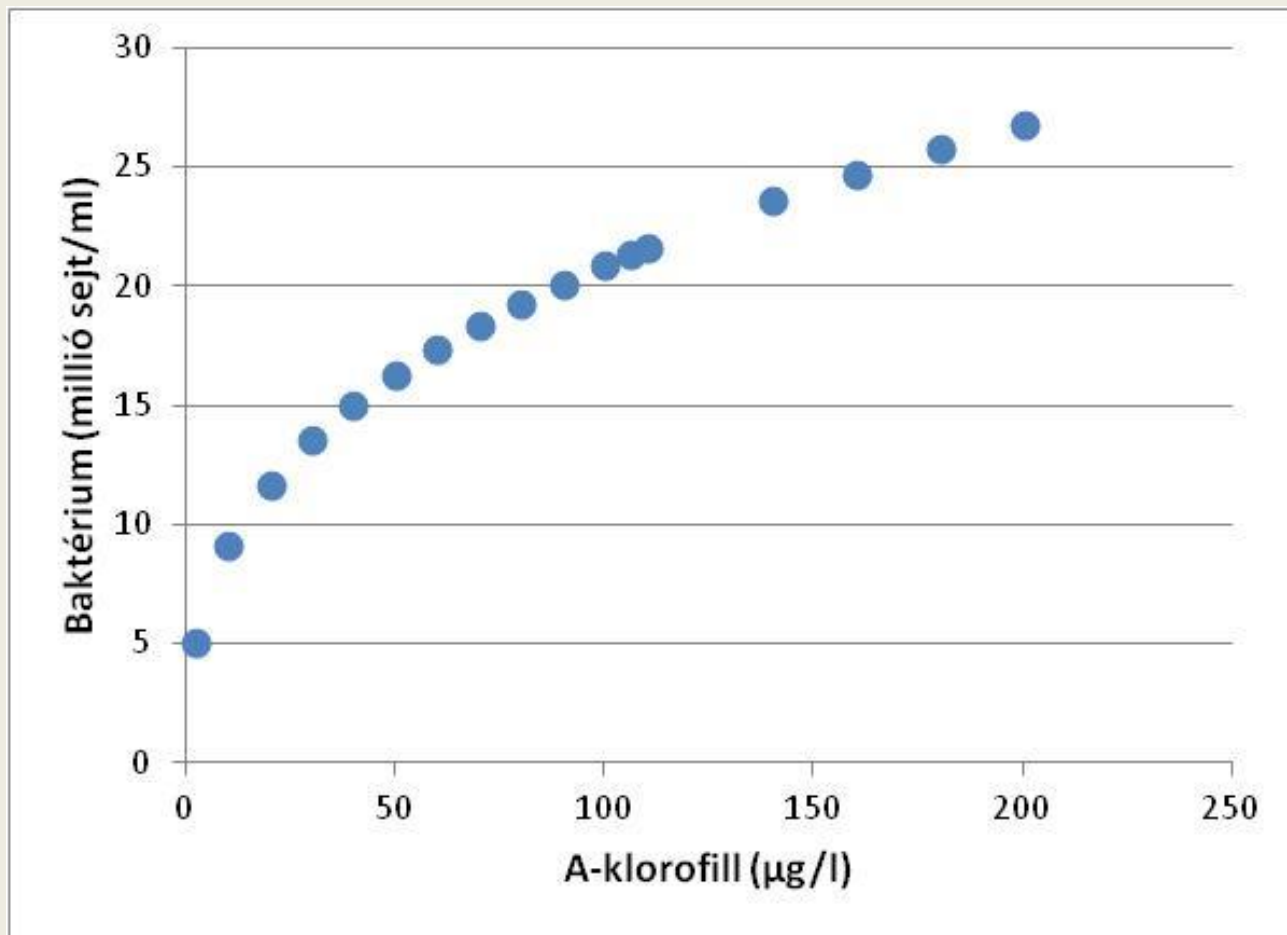


Keszthelyi-medence vize fluoreszcens mikroszkópban (DAPI festés).

A baktériumok kék színnel fényesen világítanak, abundanciájuk és biomasszájuk szoftver segítségével becsülhető.

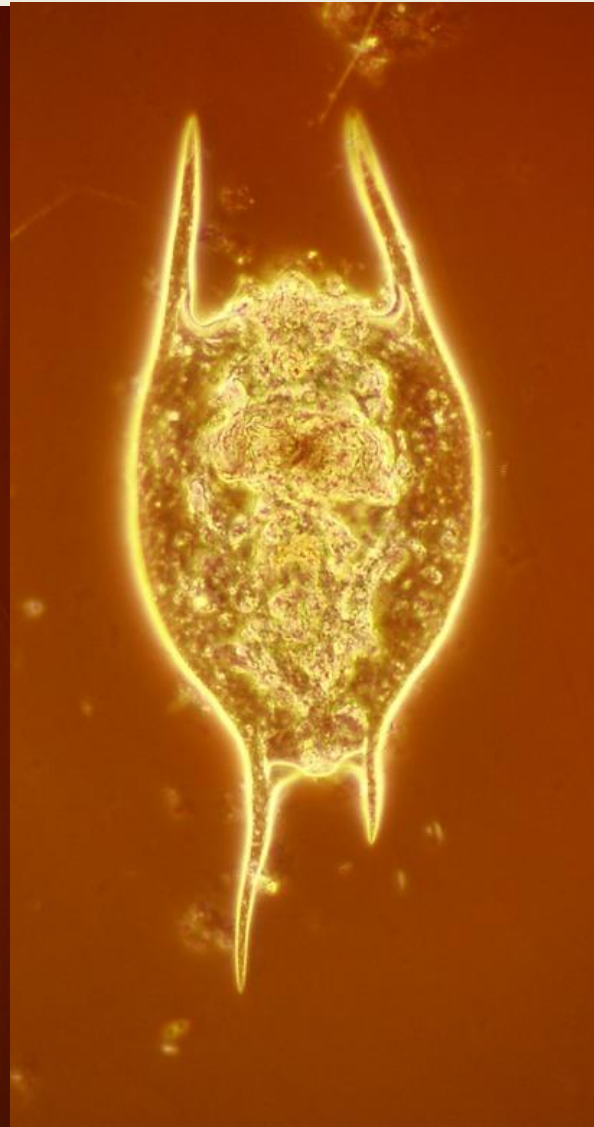
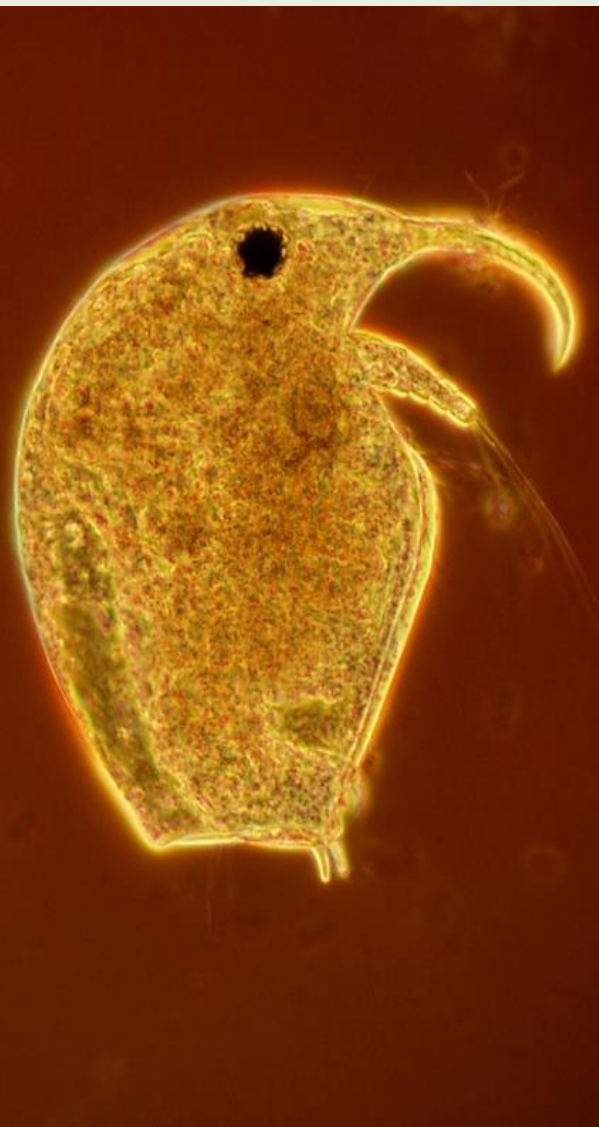
Algacsúcs idején 1 cm^3 balatonvízben 15-20 millió baktérium sejt található.

Összefüggés a bakterioplankton abundancia és a fitoplankton biomassa (a-klorofill) között

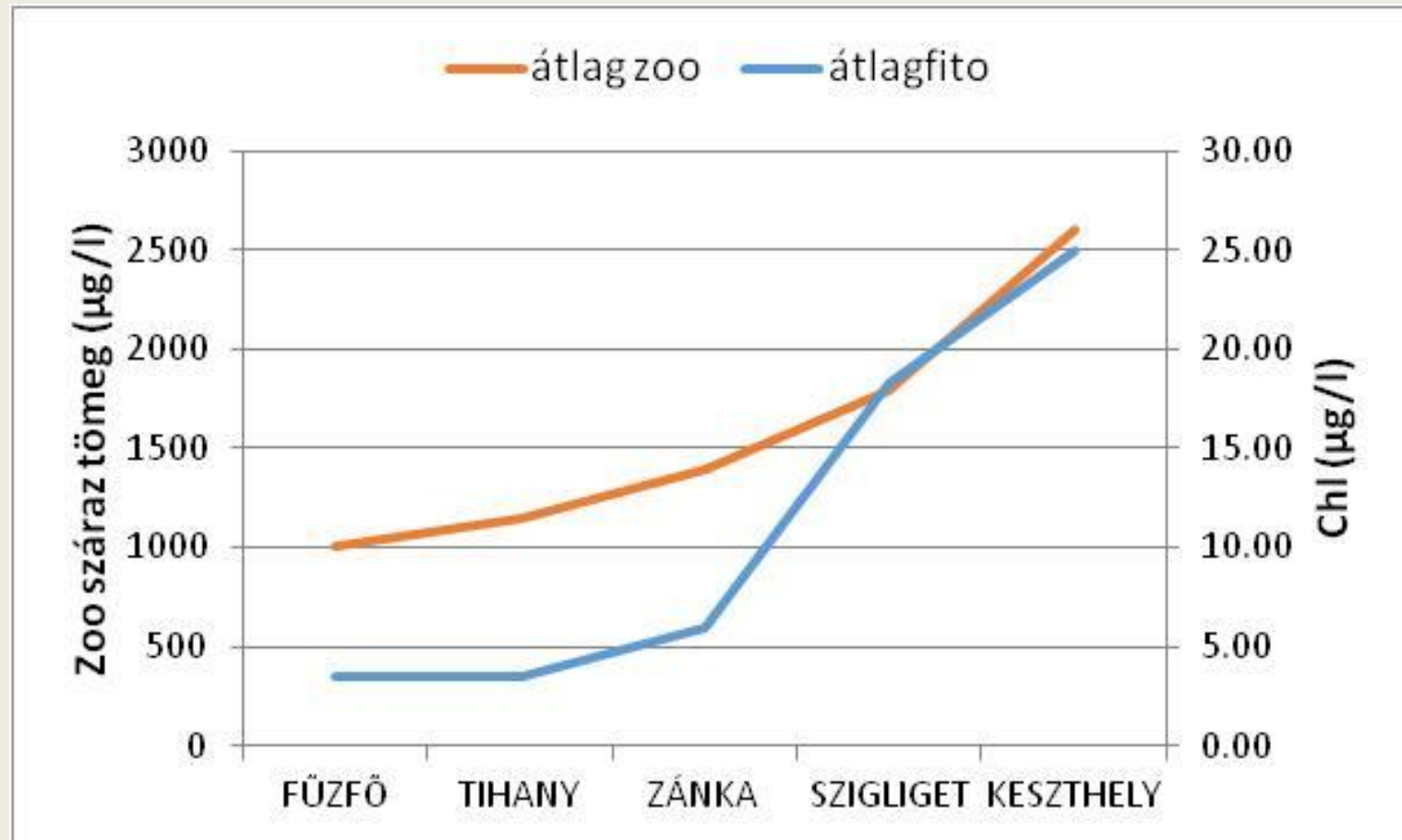


Balaton, Kis-Balaton, Fertő, víztározók

A mezozooplankton (Cladocera, Copepoda, Rotatoria)
legelése kontrollálja az algák mennyiségét



A zooplankton a fitoplankton függvénye, a fitoplankton a zooplankton tápláléka (Balaton 2019)



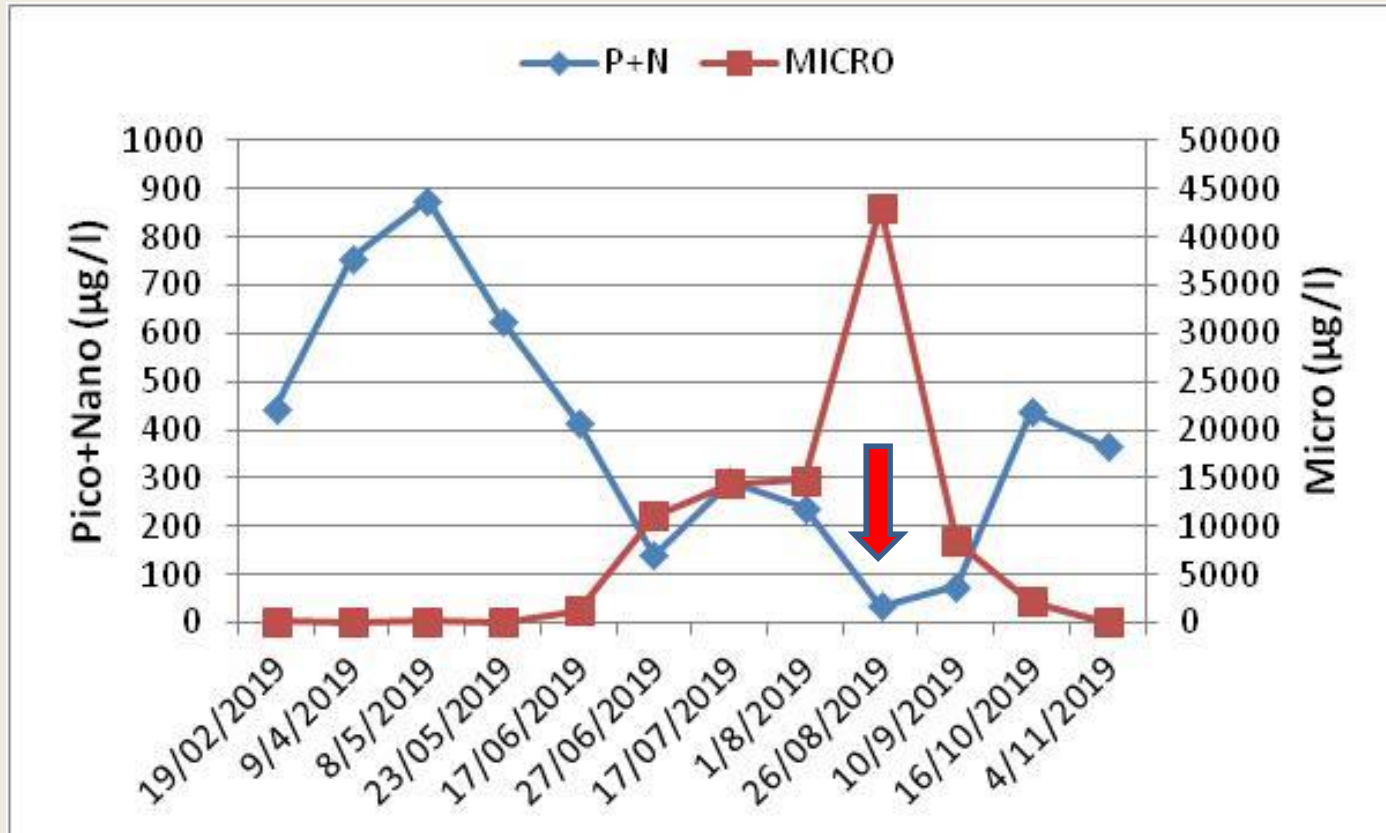
Az átlagos zooplankton biomassza korrelál az átlagos fitoplanton biomasszával.

Markáns eltérés az átlagtól az algacsúcs idején



A fitoplankton a zooplankton tápláléka, **de az algacsúcs idején megszűnik a kapcsolat a fito- és zooplankton között**, sem a fonalas cianobaktériumok, sem a fecskemoszatok nem táplálékok a zooplankton számára. Megszűnik a zooplankton kontroll a fitoplankton felett.

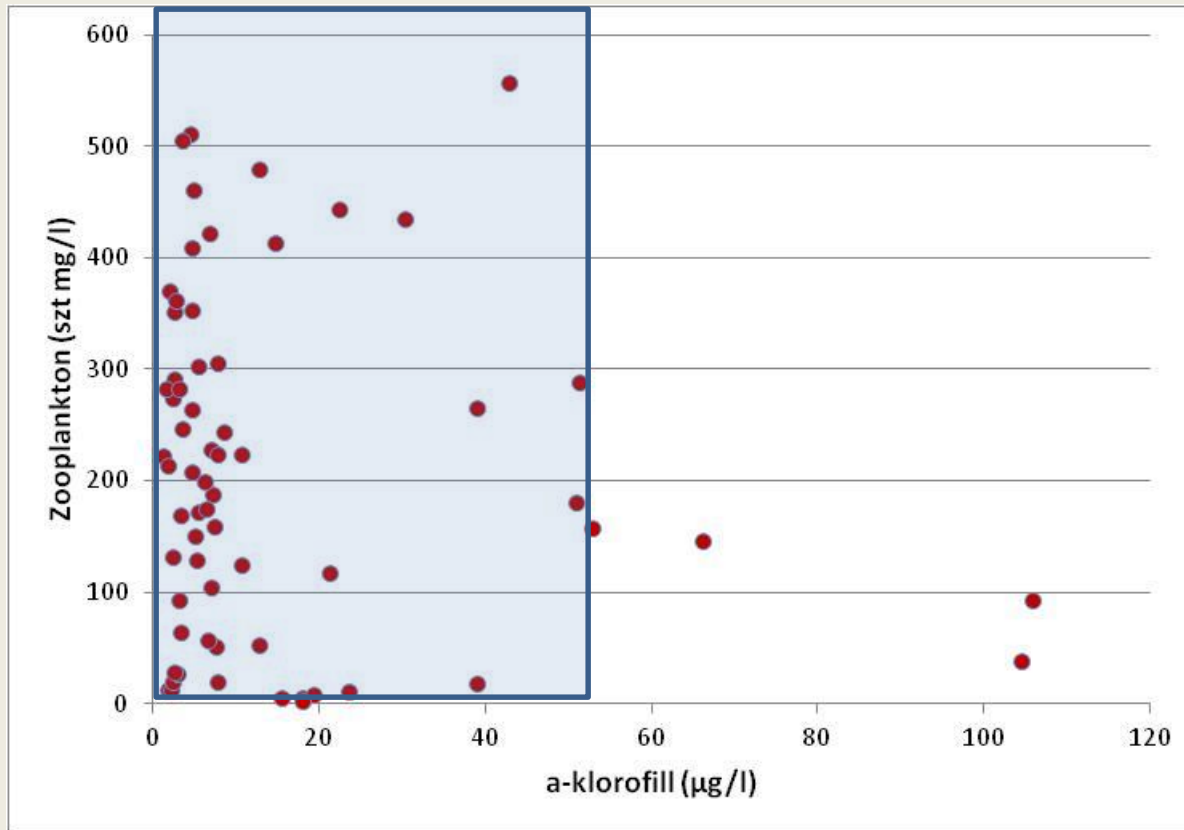
A kisméretű algákat (pico- és nanoplankton; $<25\ \mu\text{m}$) a zooplankton elfogyasztja, ami versenyelőnyt teremt a nagyobbak (microplankton; $>25\ \mu\text{m}$) számára



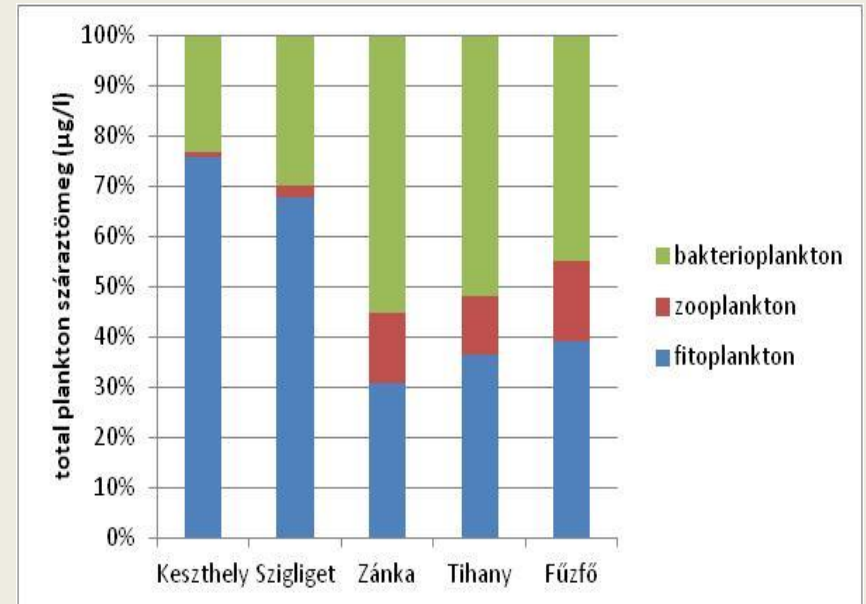
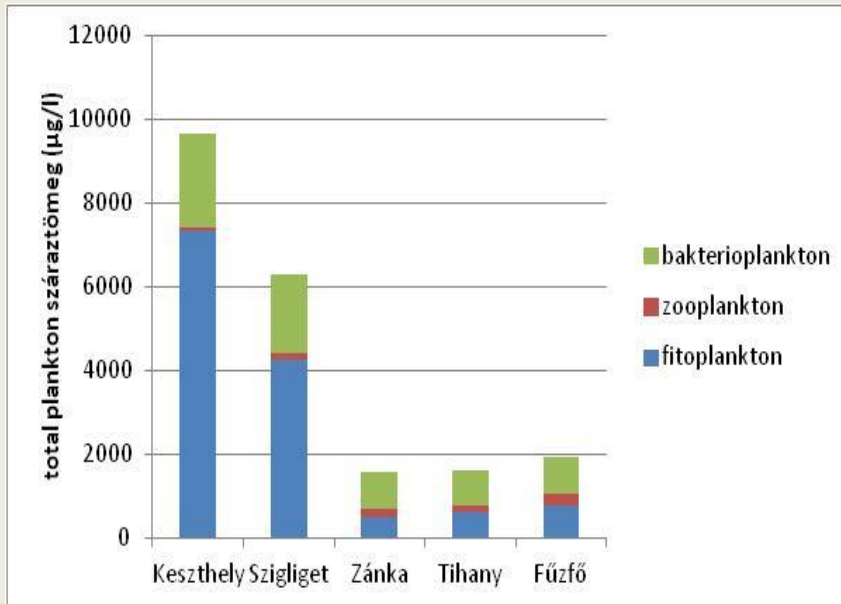
Keszthelyi-medence 2019

Az algacsúcs idején a cianobaktériumoknak és a fecskemoszatoknak nem kell versenyezni a kisebb algákkal a tápanyagokért.

A fitoplankton „top down” kontrollja **50 $\mu\text{g/l}$** klorofill koncentráció felett meredeken csökken (Balaton 2019), az algacsúcs idején teljesen megszűnik



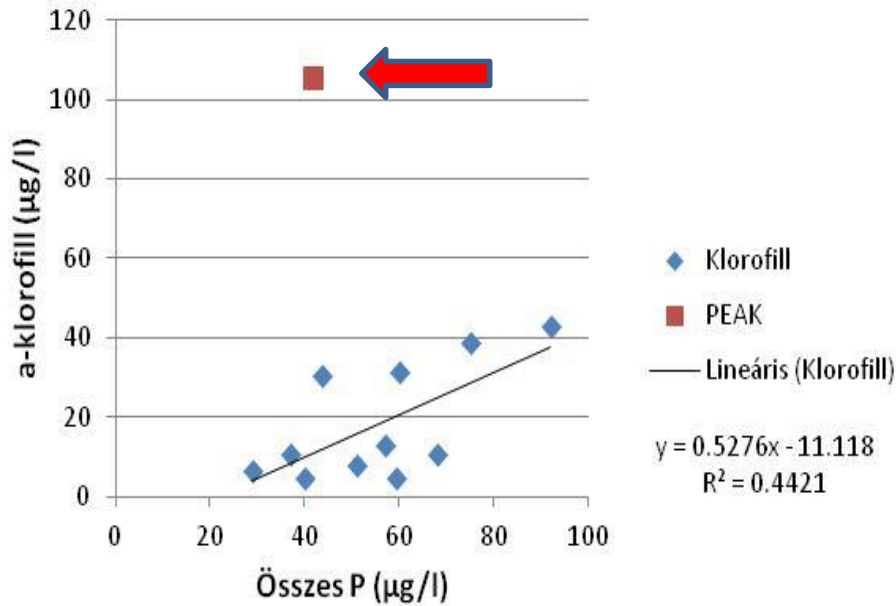
A balatoni plankton összetétele 2019 augusztus 26-án



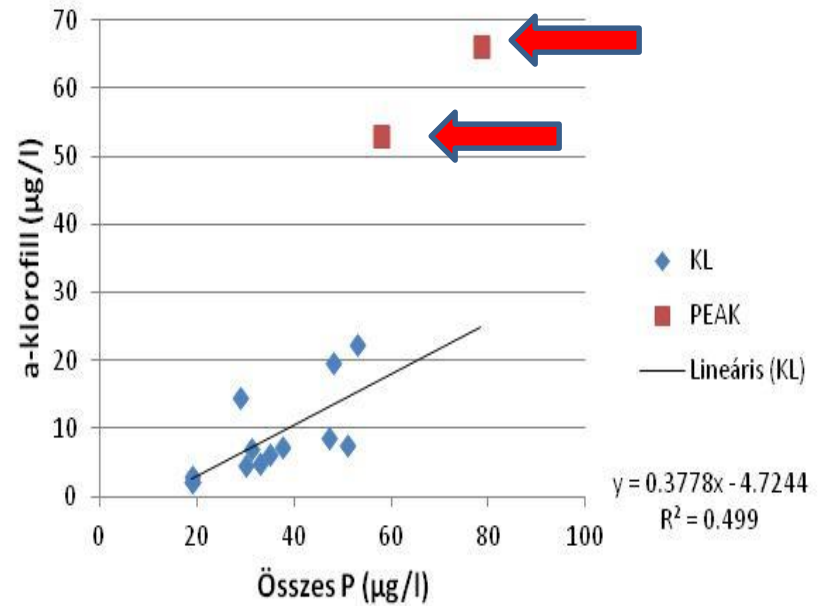
A heterotróf összetevők részaránya még az algacsúcs idején is 25-30%. Az egyes frakciók között a P hasonlóan oszlik meg, bár valószínű, hogy a baktériumok P részesedése nagyobb, mint részesedésük a biomasszában (DAPI modell)

Az algacsúcsok idején a P és a klorofill koncentráció közötti korreláció megszűnik! A mikrobiális táplálékhálózat összeomlik a zooplankton kiesése miatt.

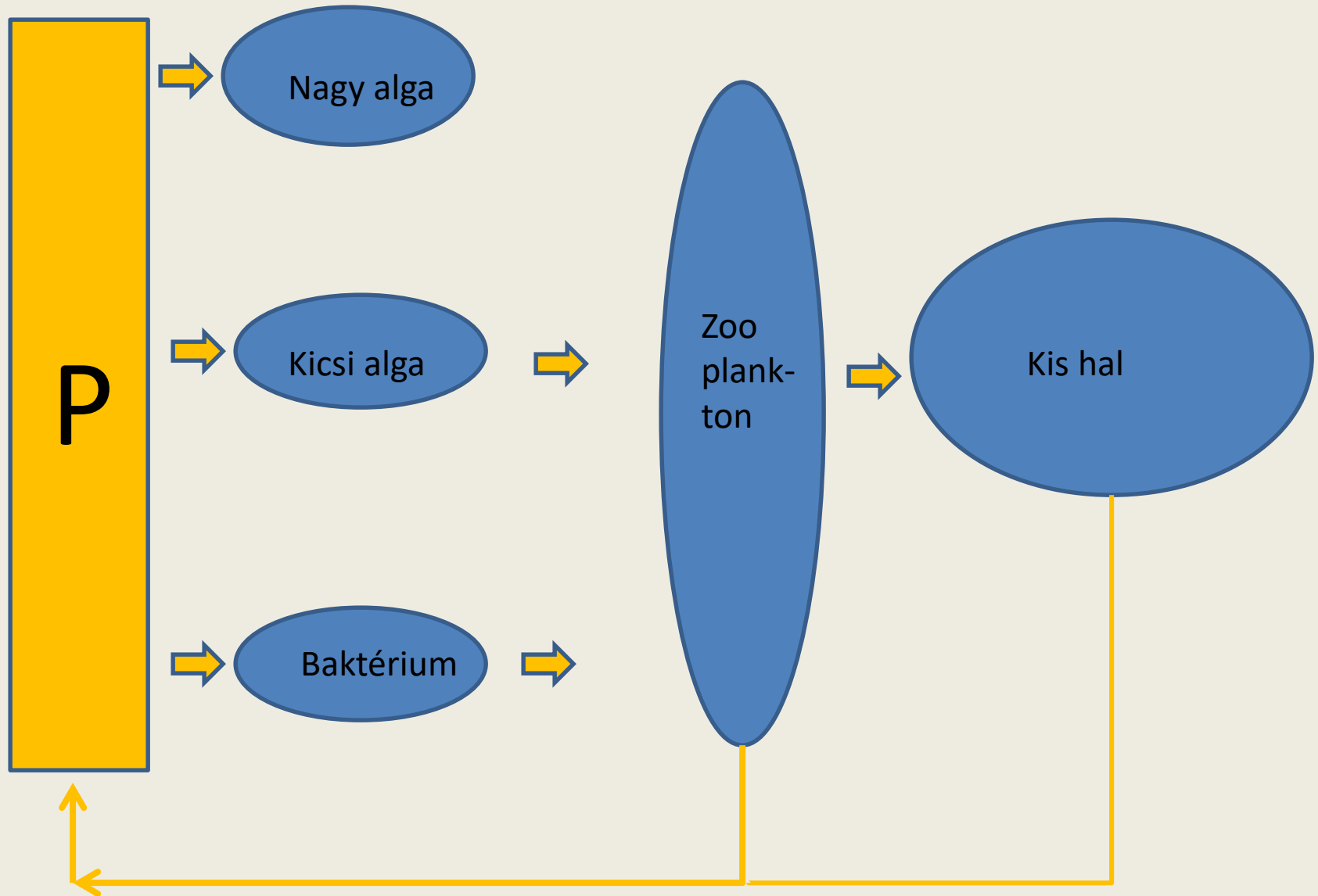
Keszthelyi-medence 2019



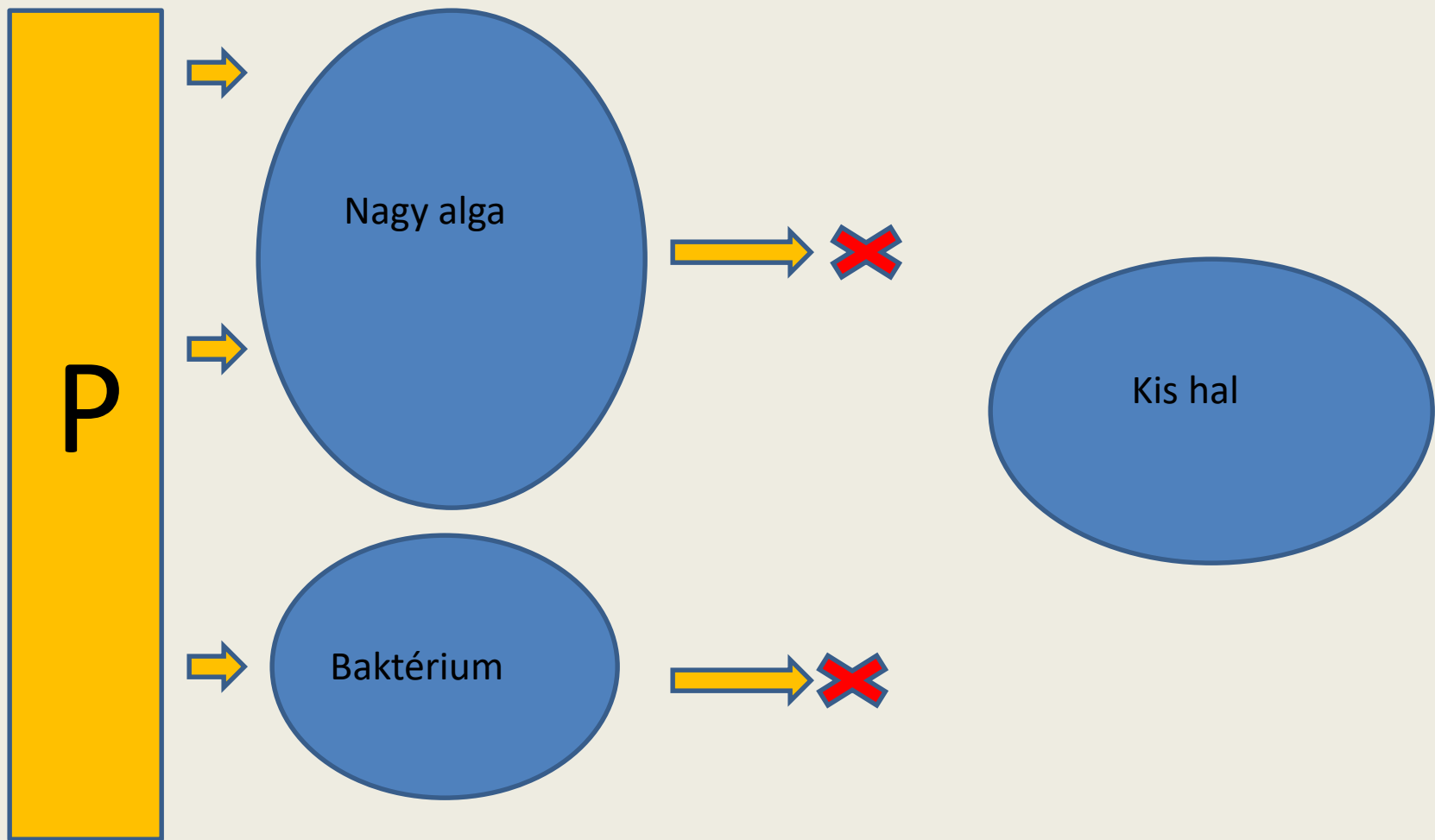
Szigligeti-medence 2019



Planktonikus táplálékhálózat

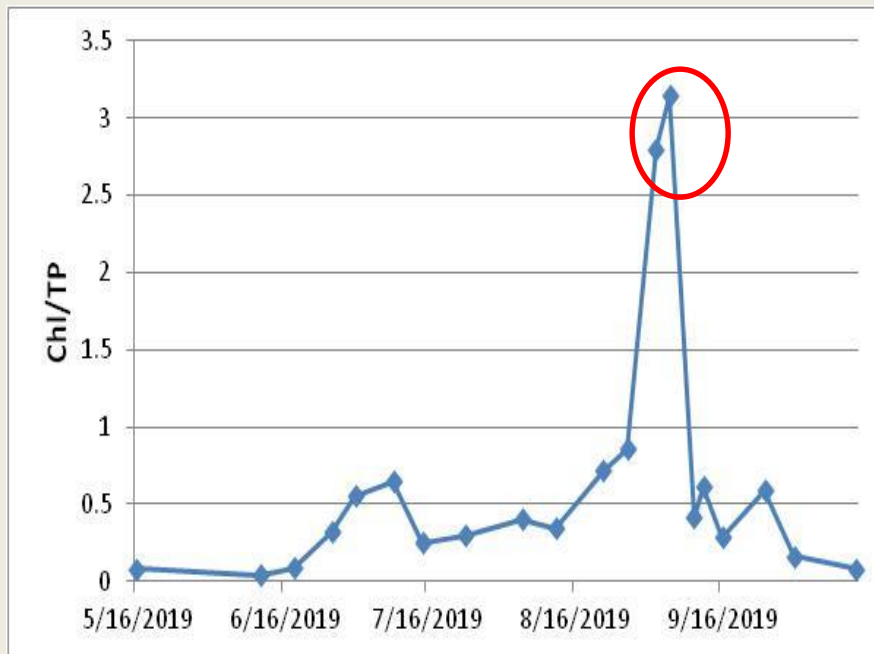


Az algacsúcs idején a plankton trofikus (anyagforgalmi) rendszere összeomlik. Ökológiai katasztrófa jön létre a kulcsszereplő zooplankton kiesésével

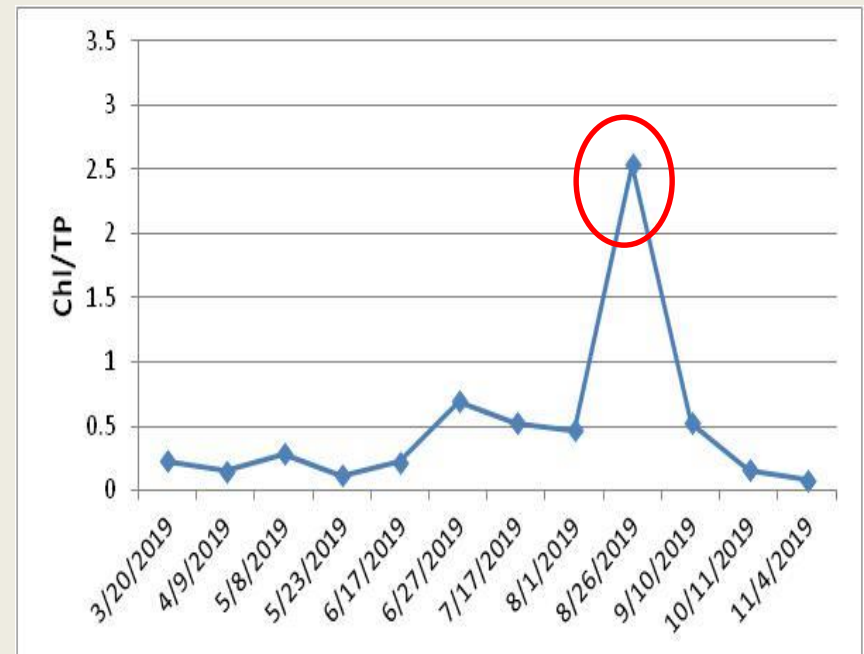


A biomassza csúcs egy anomália, a klorofill/összes P hányados értéke többszörösére nő (Keszthelyi-medence 2019)

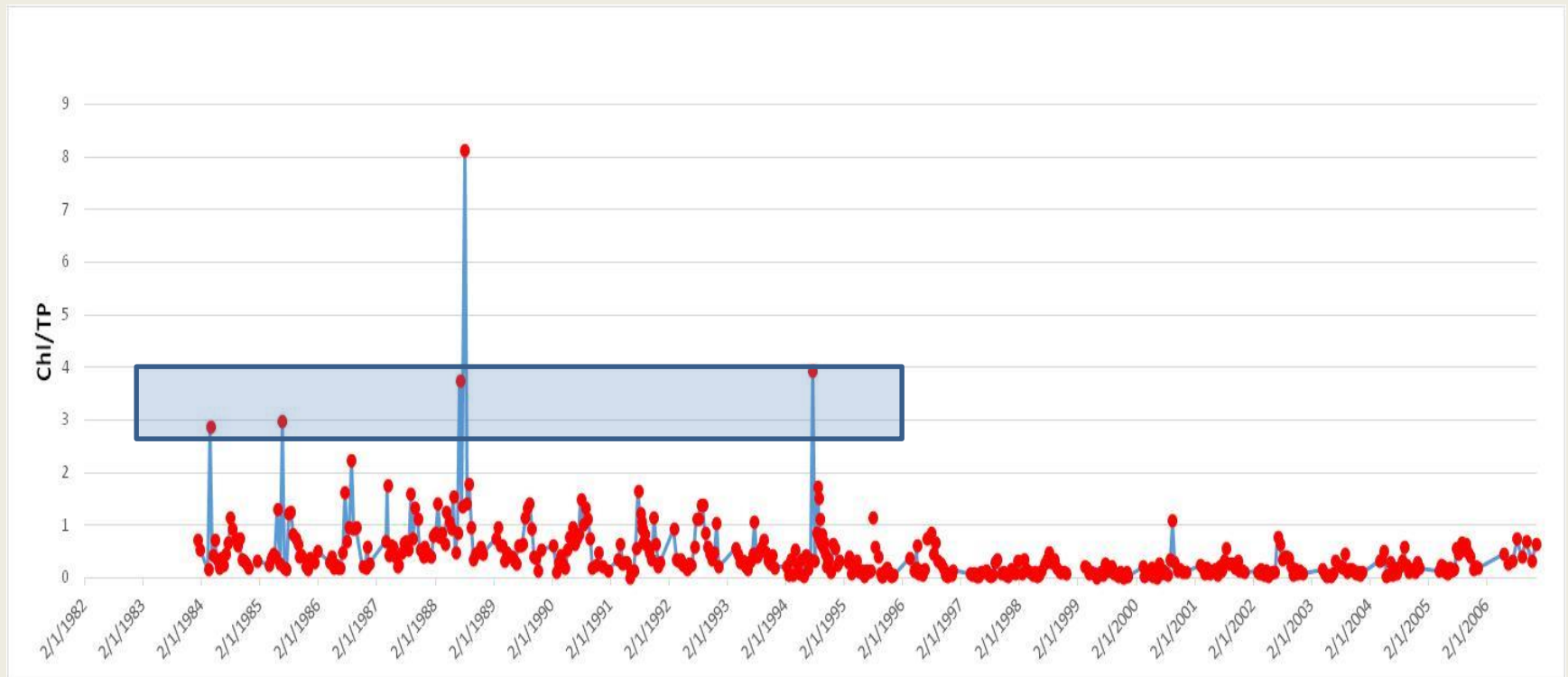
KDT VIZIG



BLKI



Klorofill/összes P Keszthelyi-medence (1984-2006). A hányados értéke az algacsúcsok idején 3-4 közötti volt



KDT VIZIG adatai

A végeredmény

a-klorofill	oldott P	formált P	alga P	baktérium P
µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
106	11	31	23	8
140	10	40	30	10
314	10	90	68	22

A *Raphidiopsis raciborskii* minimális P tartalma 5 µg P / mg C (Istvánovics et al., 2000). Ez alapján 100 µg/L-es klorofill koncentráció mellett az alga-P **18 µg/L**.

A terepi biomassza méréseink alapján *Aphanizomenon* + *Ceratium* esetén ezt **23 µg/L-nek becsültük**, a fennmaradó mintegy 8 µg/L formált P pedig főleg baktériumokban volt (a szélcsend miatt eltekintettünk a lebegő ásványi anyagok zavaró hatásától).

Ez a Keszthelyi-medence estén azt jelenti, hogy kb. **3,5 t biológiailag hozzáférhető foszforra** volt szükség a 100 µg/L-es klorofill koncentráció eléréséhez 2019-ben. Ez a Zalán érkező évi összes P terhelés **(19 t) 20%-a**.

Konklúzió

A vízoszlop mikroszkópikus élőlényegyütteseinek egy komplett anyagforgalmi rendszert működtetnek. Ennek megismerése a kulcsszereplők (algák, baktériumok, zooplankton) és környezetük sokoldalú és összehangolt vizsgálata révén lehetséges.

Az algacsúcs idején ($>50 \mu\text{g/l}$) a plankton trofikus rendszere összeomlik. Ökológiai katasztrófa következik be a mikrobiális táplálékhálózatban a kulcsszereplő zooplankton kiesésével.

$106 \mu\text{g/l}$ klorofill koncentráció létrejöttéhez literenként $31 \mu\text{g}$ foszforra van szükség, amiből $23 \mu\text{g}$ az algákban és $8 \mu\text{g}$ baktériumokban található.

Az ok-okozati kapcsolatok teljeskörű megismerésére és a folyamatok kvantifikálására lenne szükség, ehhez azonban nagyobb anyagi ráfordítás szükséges.

Köszönöm a figyelmet!

