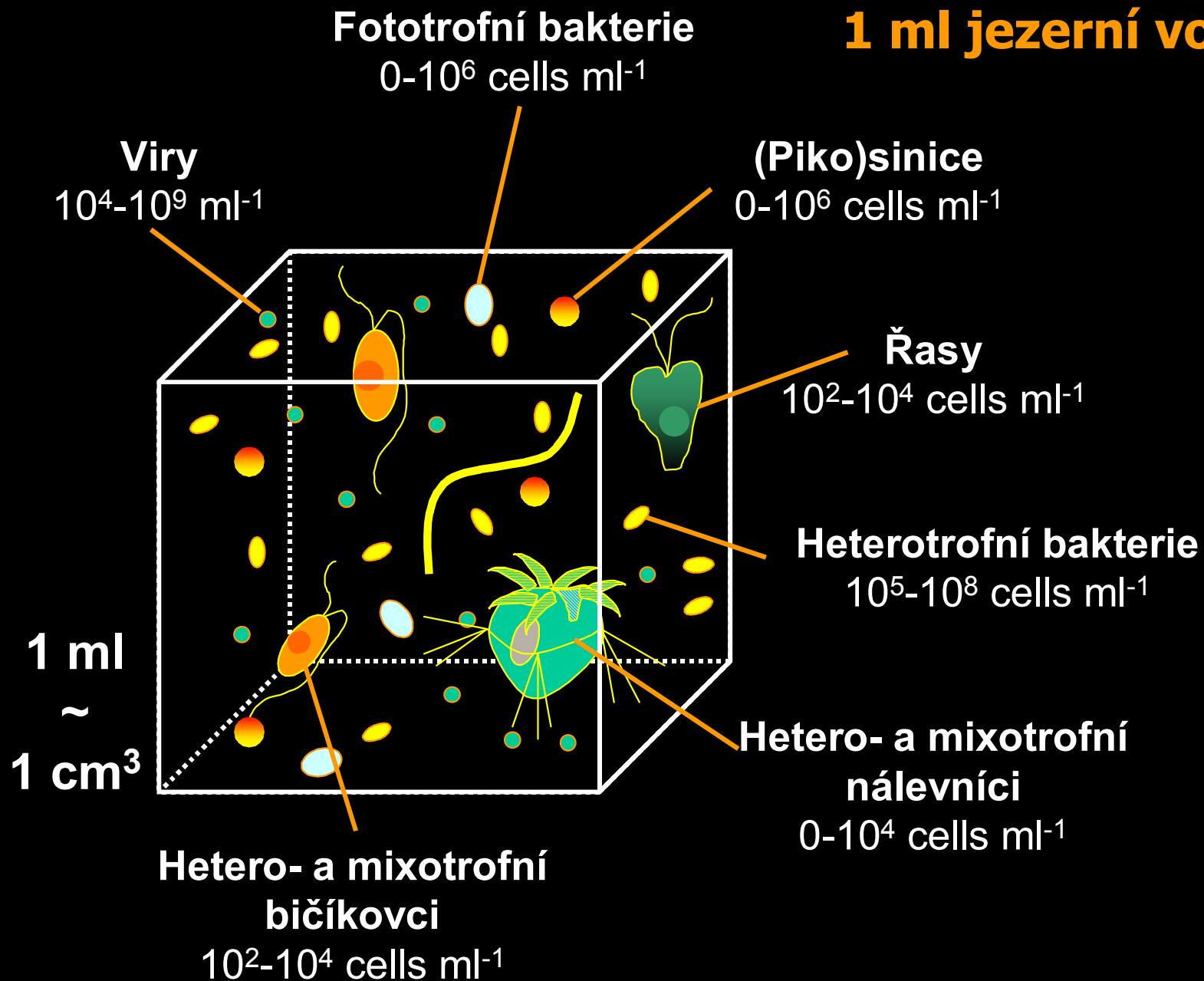


## Pelagické potravní sítě – odlišné postavení a význam mikrobiálních interakcí v různých typech vodních ekosystémů

- 1. Pojem mikrobiální smyčka, mikrobiální potravní řetězce** (různá pojetí, současný náhled, významné interakce)
- 2. Jezera s vysokým obsahem huminových látek v porovnání s tzv. „clear-water lakes“** – rozdílnost ve významu zdrojů organického uhlíku
- 3. Acidifikovaná jezera** (např. šumavská jezera)
- 4. Extrémně kyselé nádrže** (např. jámy po důlní těžbě)
- 5. Systémy s vysokou turbiditou, tropická a subtropická jezera s vysokým přísunem suspendovaných částic z povodí** - role těchto částic – sorpce organických látek na povrchy

# Skupiny mikroorganismů mikrobiální smyčky v 1 ml jezerní vody



# Do konce 80-tých let neexistoval ucelený koncept role mikroorganismů ve vodních ekosystémech

- Zásadní a primární role přisuzována toku uhlíku od primárních producentů (řasy a sinice) k zooplanktonu a dále do ryb
- Scházela kvantifikace role mikrobiálních procesů v globálním měřítku . . . **tedy i možnost odpovědět na otázku jaký je jejich podíl na transformaci / koloběhu látek a limitujících nutrientů ??**
- Obecně mikroorganismům, tj. bakteriím a prvokům, byla přisuzována pouze okrajová role ve fungování ekosystémů

# Koncept "MIKROBIÁLNÍ SMYČKY"

→ Především na základě studia mořských systémů (Azam a kol. 1983)

**Nepřímé důkazy:** 60-90% celkové respirace a regenerace nutrientů

→ **činnost organismů < 10 μm !!!**

**Přímé důkazy:** Epifluorescenční mikroskopie a rozvoj metodik fixace vzorků s prvky

→ V planktonu početně dominují **heterotrofní bičíkovci (2-8 μm)**, lze je snadno rozlišit od autotrofních bičíkovců

→ Mezi nálevníky početně dominují druhy **< 20 μm**

→ Rychlá kvantifikace **hetero- (bakterie) a autotrofního pikoplanktonu**

**Bakterie**

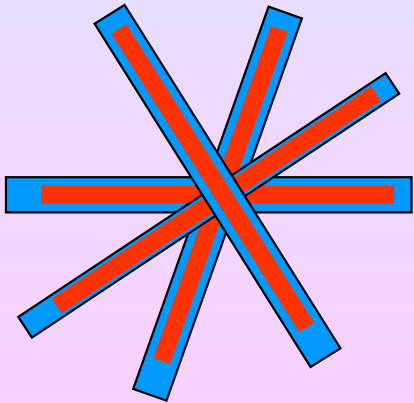
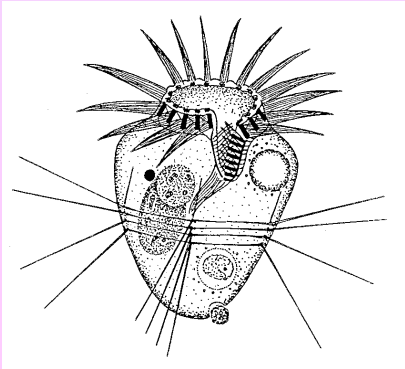
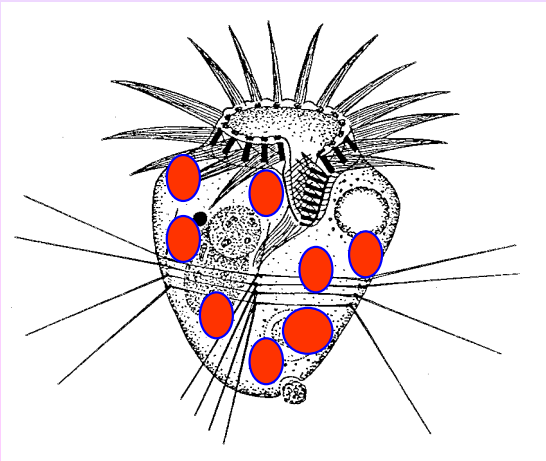
**Heterotrofní bičíkovci**

**“Pikosinice”**

**Zelení bičíkovci**

**DAPI**

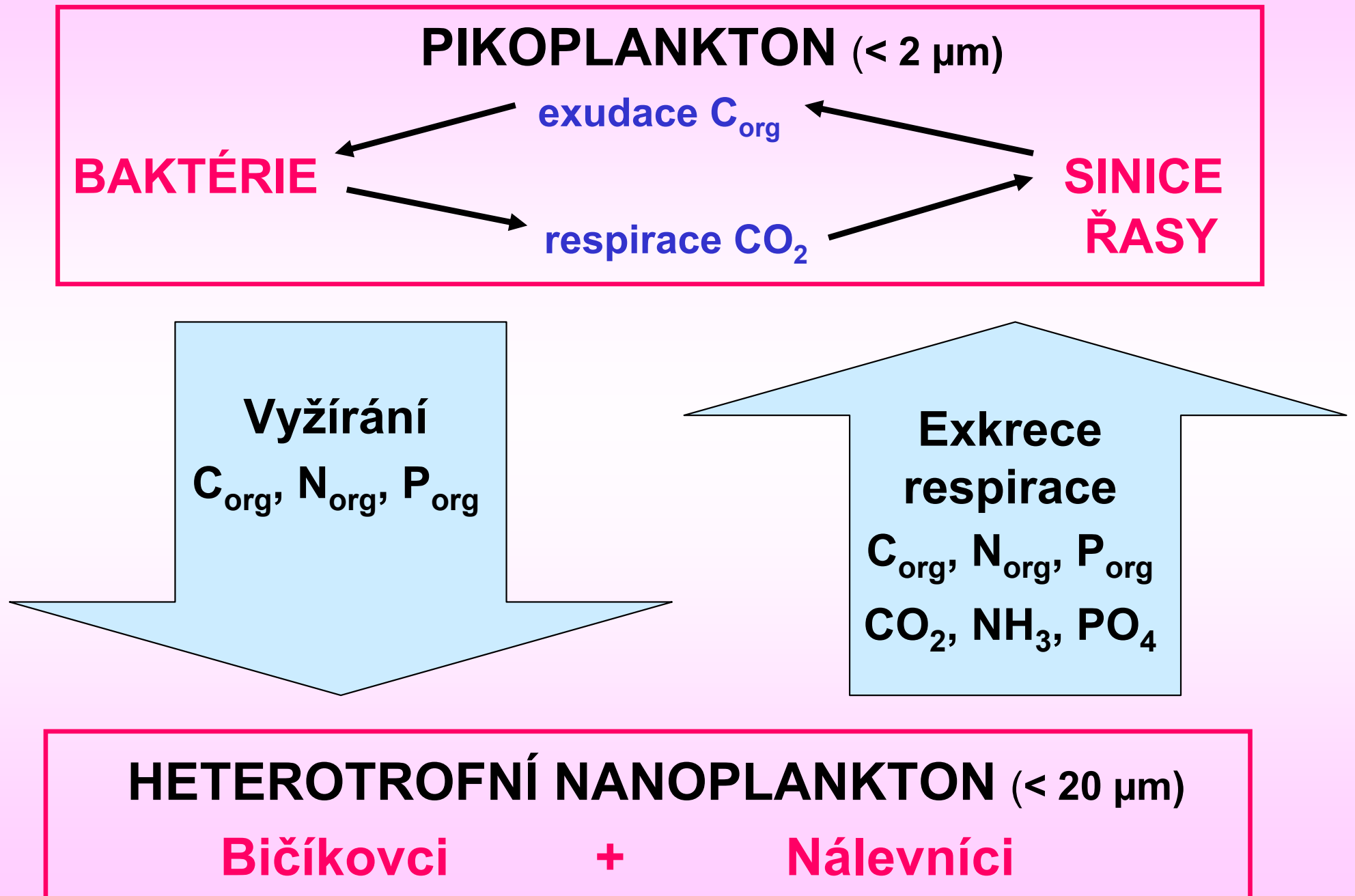
**Zelené řasy a sinice**

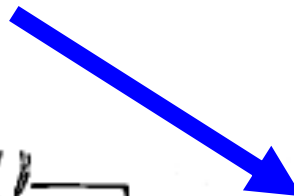
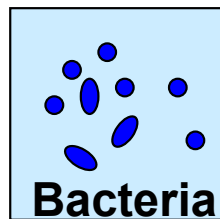
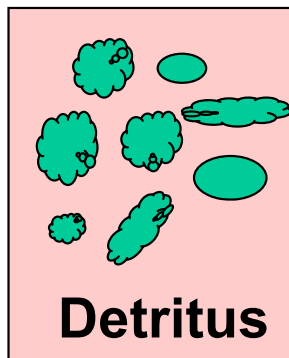


**Mixotrofní nálevníci**

**Heterotrofní nálevníci**

# Klasické schéma MIKROBIÁLNÍ SMYČKY stojatých vod

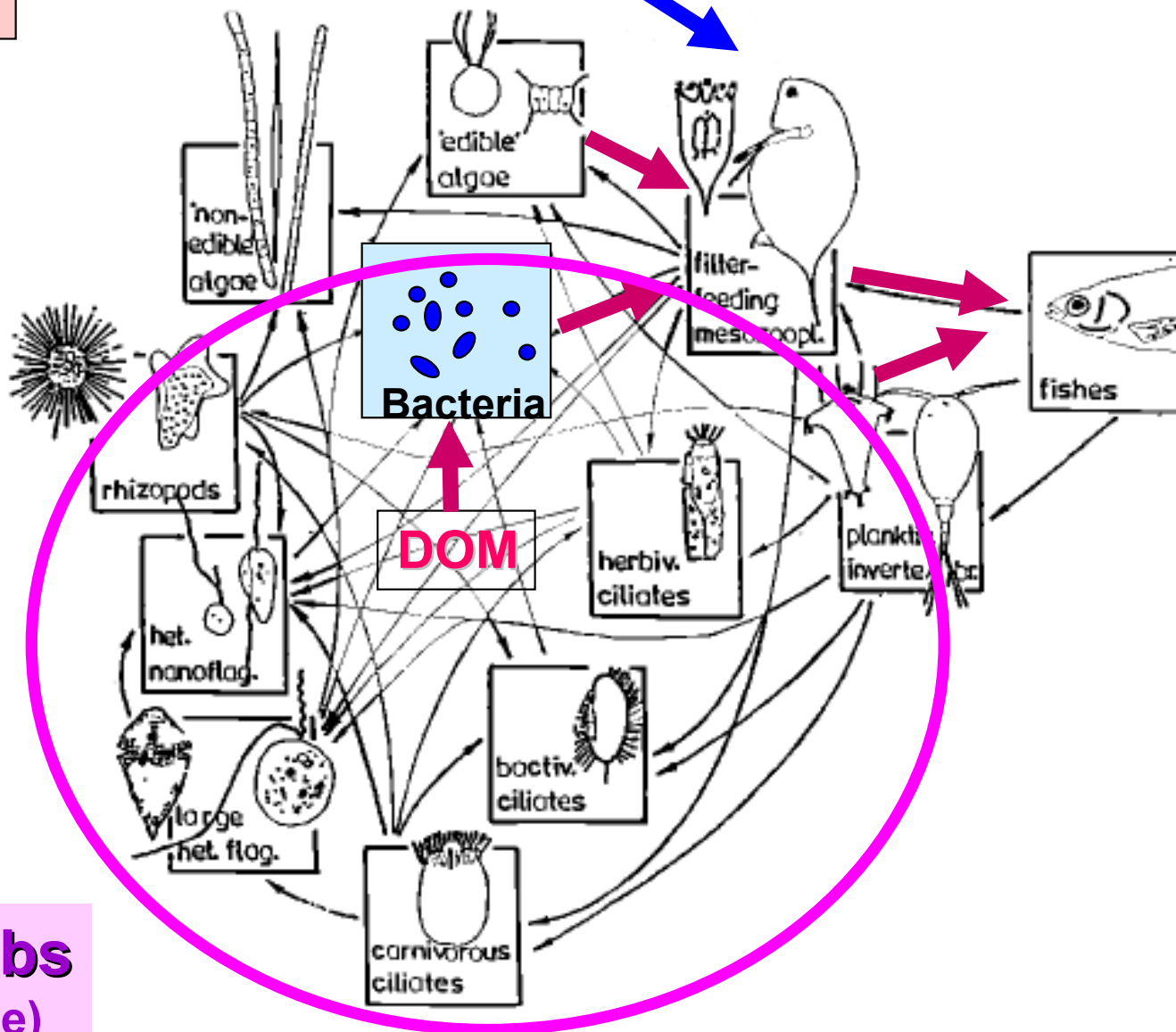




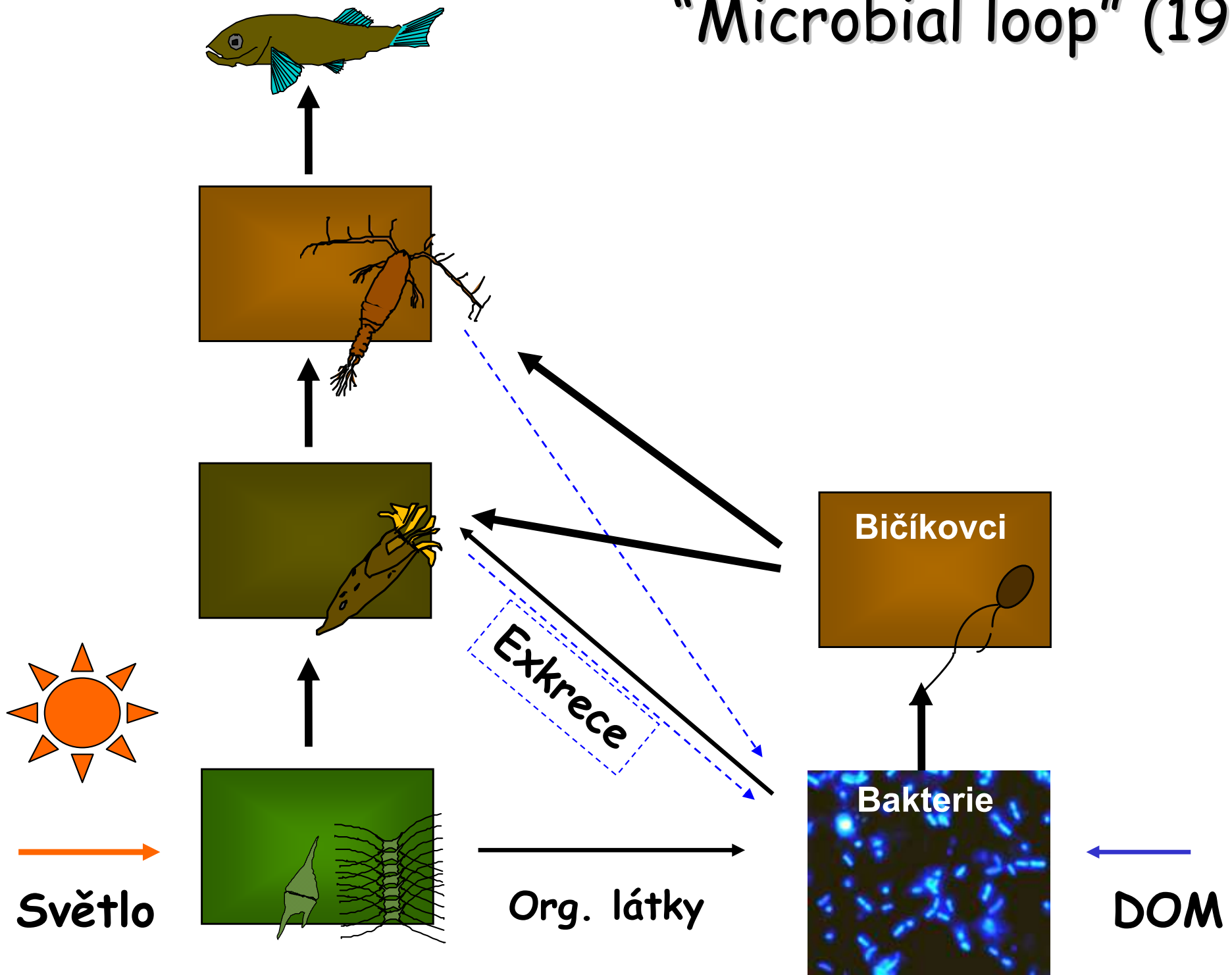
**Microbial loop**  
(Mikrobiální smyčka)



**Microbial food webs**  
(Mikrob. potravní řetězce)

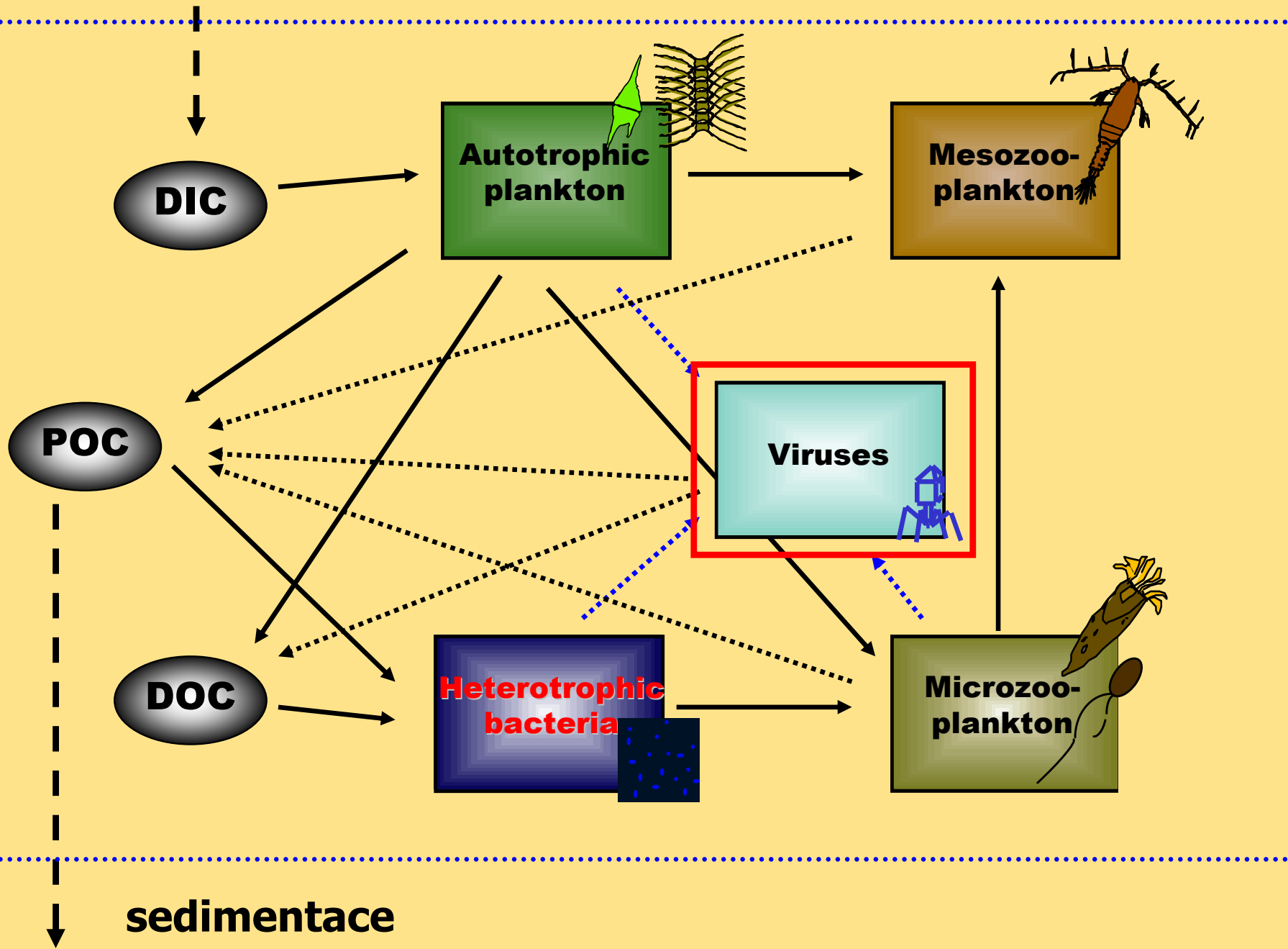


# "Microbial loop" (1983)





↑ export atmosféra



↓ sedimentace

**Viry – recentně zařazeny do schémat mikrobiální smyčky. Důvody ????**

- 1. Hostitelsky specifictí „parazité“ nebo „predátoři“ bakterií, prvoků a řas (ovlivňují složení společenstev, eliminují ca. 20% bakteriální produkce)**
- 2. Na replikaci svého genomu potřebují dostatek fosforu, ten je jednou ze základních stavebních jednotek nukleových kyselin**
- 3. Virová lyze způsobuje uvolňování velkého množství organických látek a fragmentů buněk do prostředí, významně přispívá ke koloběhu C a P (P -většinou limituje produkci sladkovodních systémů)**

# **Role mikrobiální smyčky (mikrob. potravních řetězců)**

## **Roviny:**

- A. Trofické struktury – „kaskádový efekt“** – početnost a složení rybí obsádky
- B. Časová** – sezónní změny typické pro daný typ nádrže
- C. Prostorová** – např. stratifikace, změny na podél. profilu nádrže
- D. Trofie systému** – změny podél trofického gradientu od oligotrofie k hypertrofii

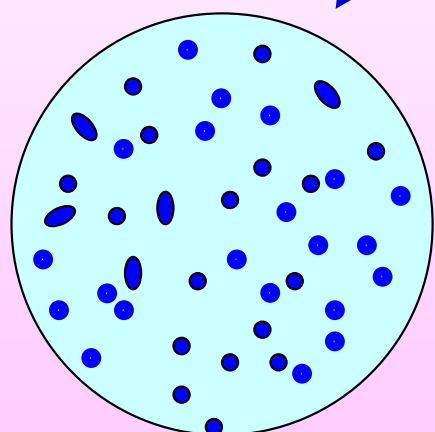
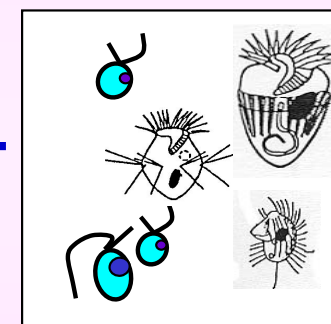
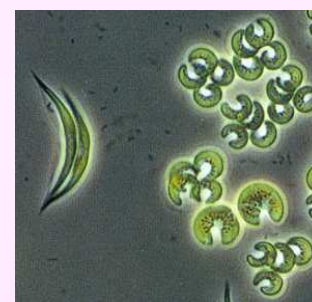
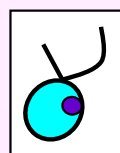
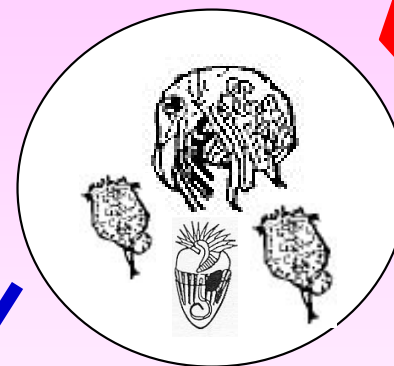
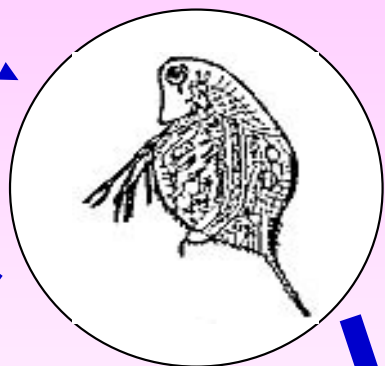
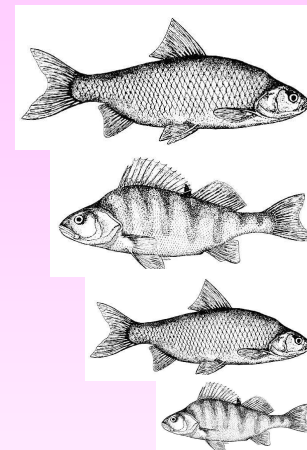
## **Systemy se specifickou rolí mikrobiální smyčky:**

- 1. Huminová jezera**
- 2. Silně acidifikovaná jezera**
- 3. Jezera s vysokým obsahem jílových a detritových částic**

**NÍZKÁ**

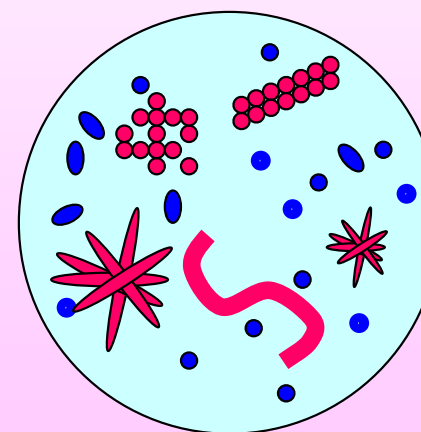
**RYBÍ OBSÁDKA**

**VYSOKÁ**

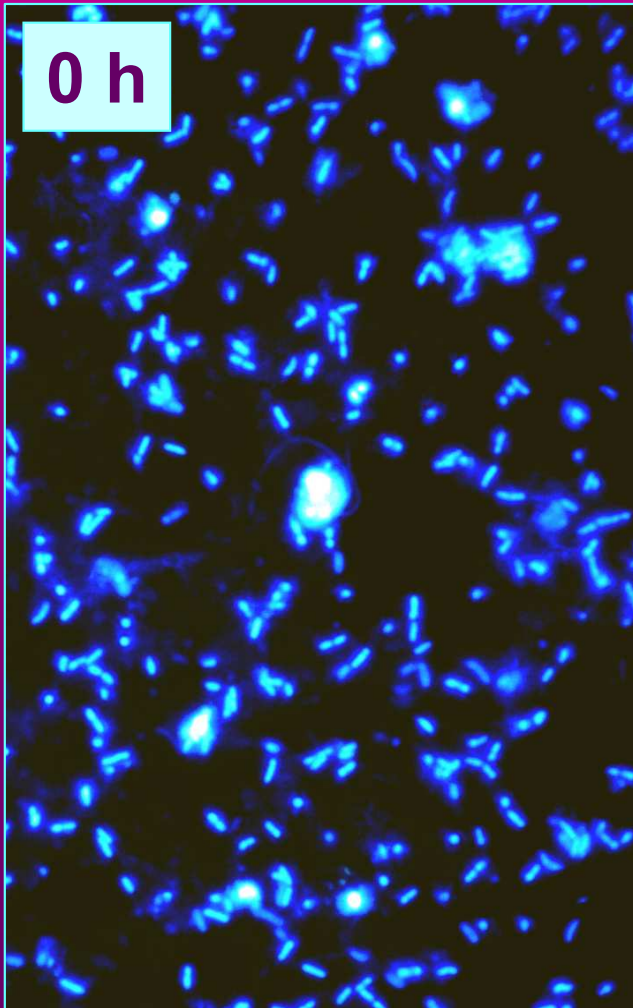


**Bakterie**

**VIRY ?**

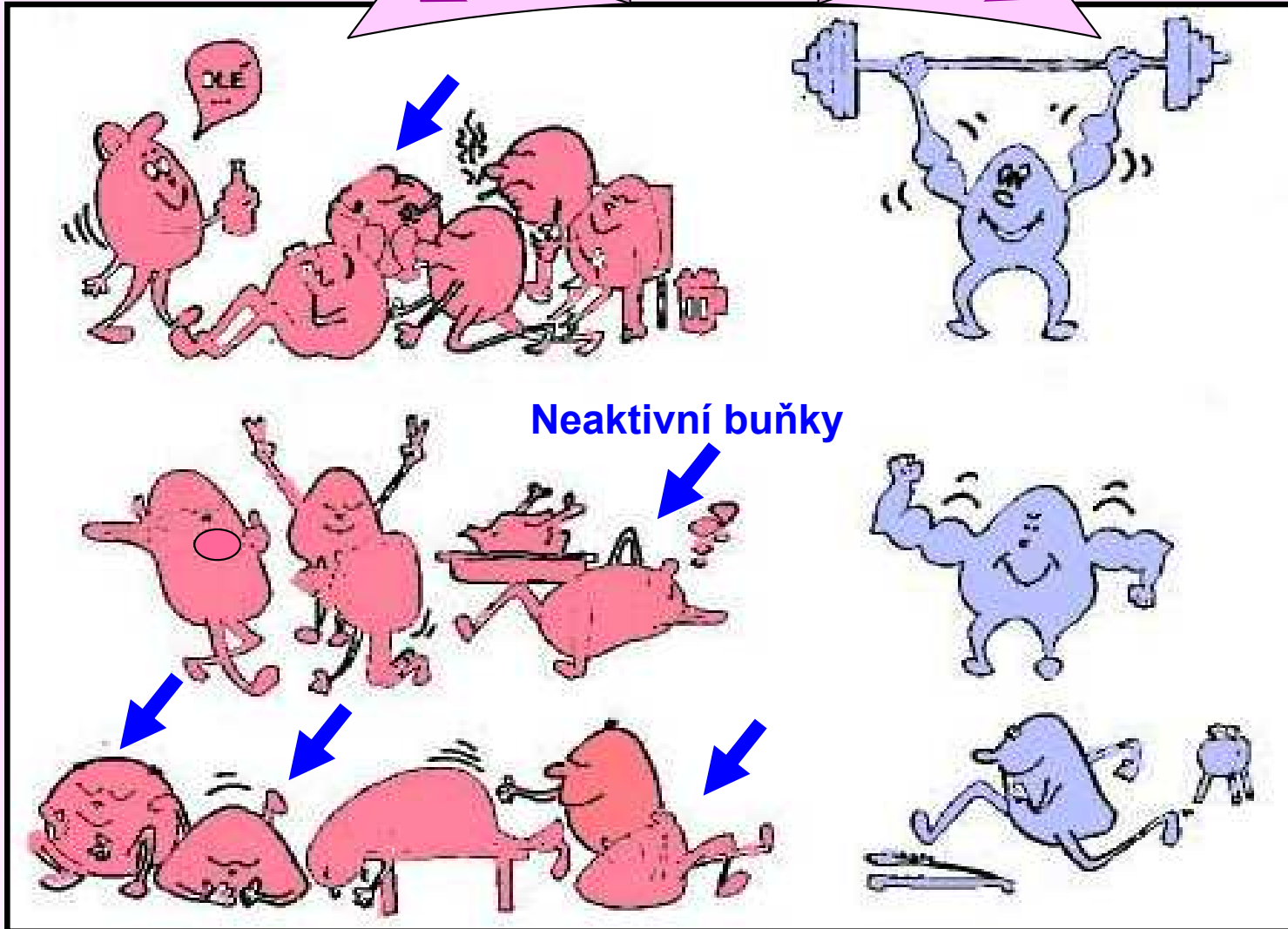
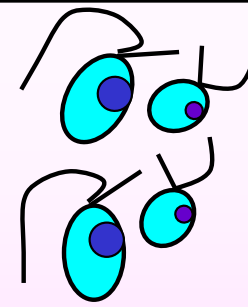


# Vývoj vůči predaci odolných forem - vlákna, vločky < 5 $\mu\text{m}$ varianta



**Pouze fenotypová  
plasticita ???**

**Substrát**



**Vliv predace**

**Selekce, posun ve složení  
bakteriálního společenstva**

**Velká biomasa  
Nízká aktivita !**

**Malá biomasa  
Vysoká aktivita !**



# **Rozdílnost zdrojů organického C pro mikrobiální smyčku – humínová vs „clear water lakes“**

**Rozdílný podíl autochtonních a alochtonních zdrojů  
organického C v metabolismu mikrobiální smyčky**

**Rozdílný charakter a rozložitelnost autochtonních a  
alochtonních organických látek – vliv na růstovou  
rychlost a biomasu bakterioplanktonu**

# Zdroje C pro mikrob. smyčku – huminová vs „clear water lakes“

## „Klasická jezera“

Autochtonní

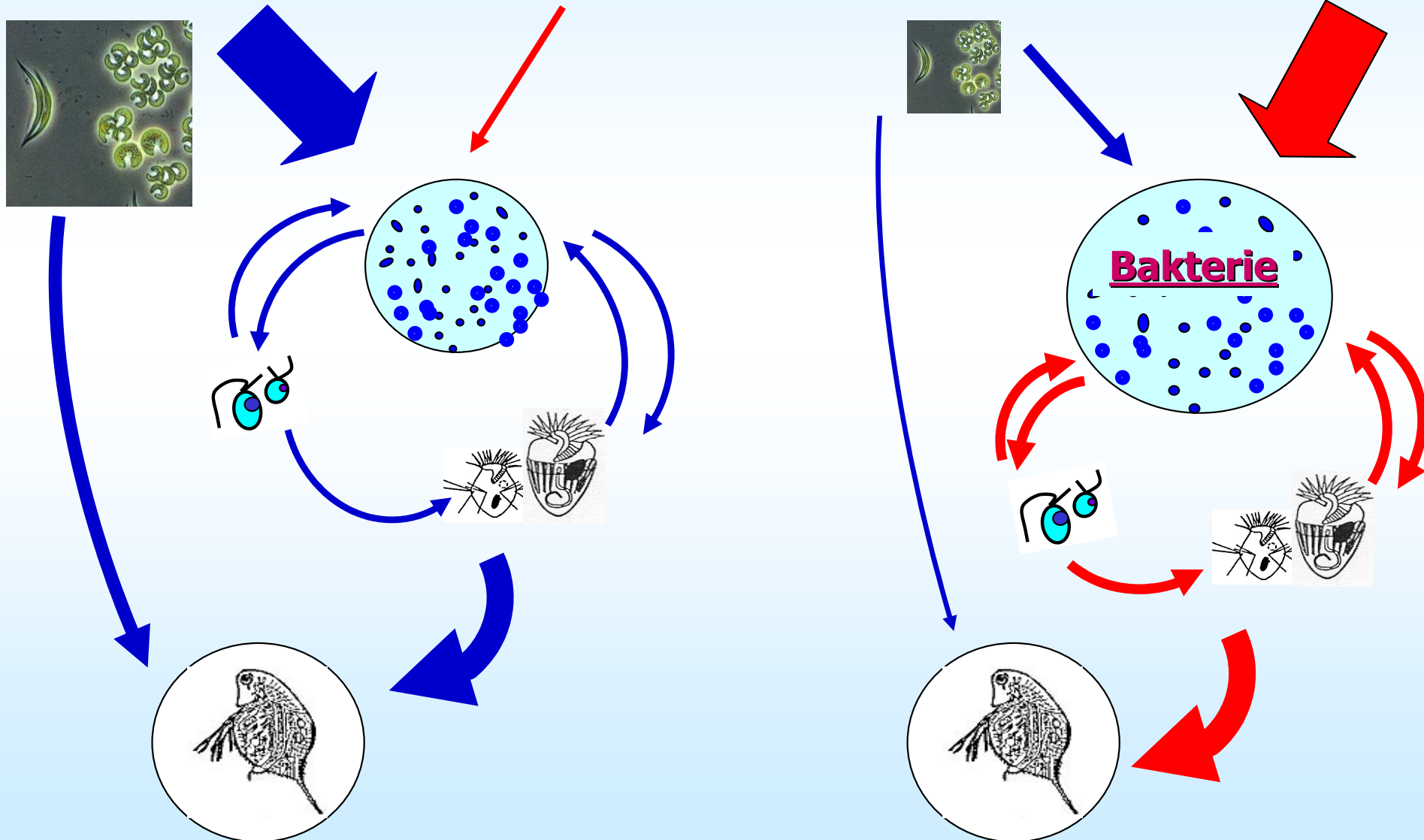
Alochtonní

Org. C

## Huminová jezera

Autochtonní

Alochtonní





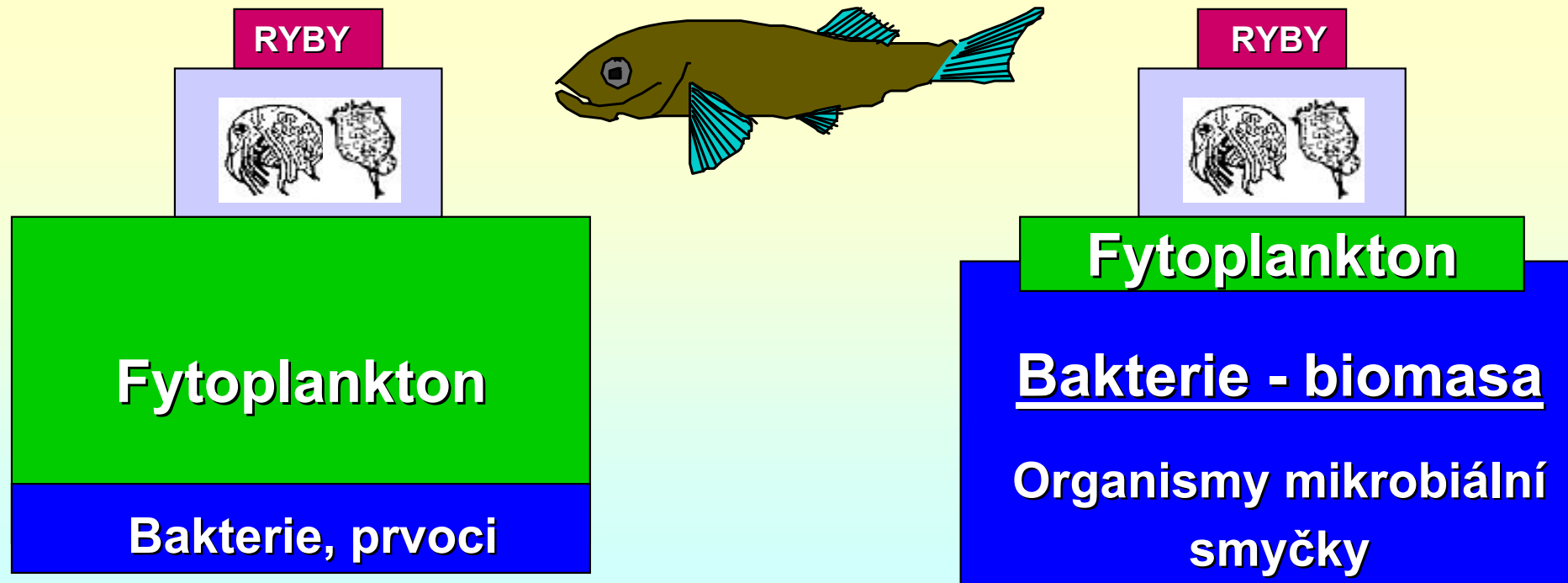
# Huminová jezera – specifické rysy

## Clear water lake:

- snadno rozložitelné organické látky
- rychle rostoucí menší biomasa bak.

## Huminové jezero:

- organické látky těžko rozložitelné
- vysoký obsah org. látek (huminů)
- pomalu rostoucí, velká biomasa bakt.



# **Acidifikovaná jezera – příklad šumavských jezer**

**Historický vývoj dopadu acidifikace na biocenózu  
šumavských jezer**

**Specifická role mikrobiálních potravních řetězců v  
acidifikovaných jezerech**

**Specifická role mixotrofních řas a prvoků v  
oligotrofních acidifikovaných jezerech**

A fluorescence micrograph showing a dense population of small, glowing blue bacterial cells against a dark background. The cells are scattered throughout the field of view, with some appearing as bright spots and others as faint, elongated shapes. The overall appearance is that of a natural, unperturbed bacterial community.

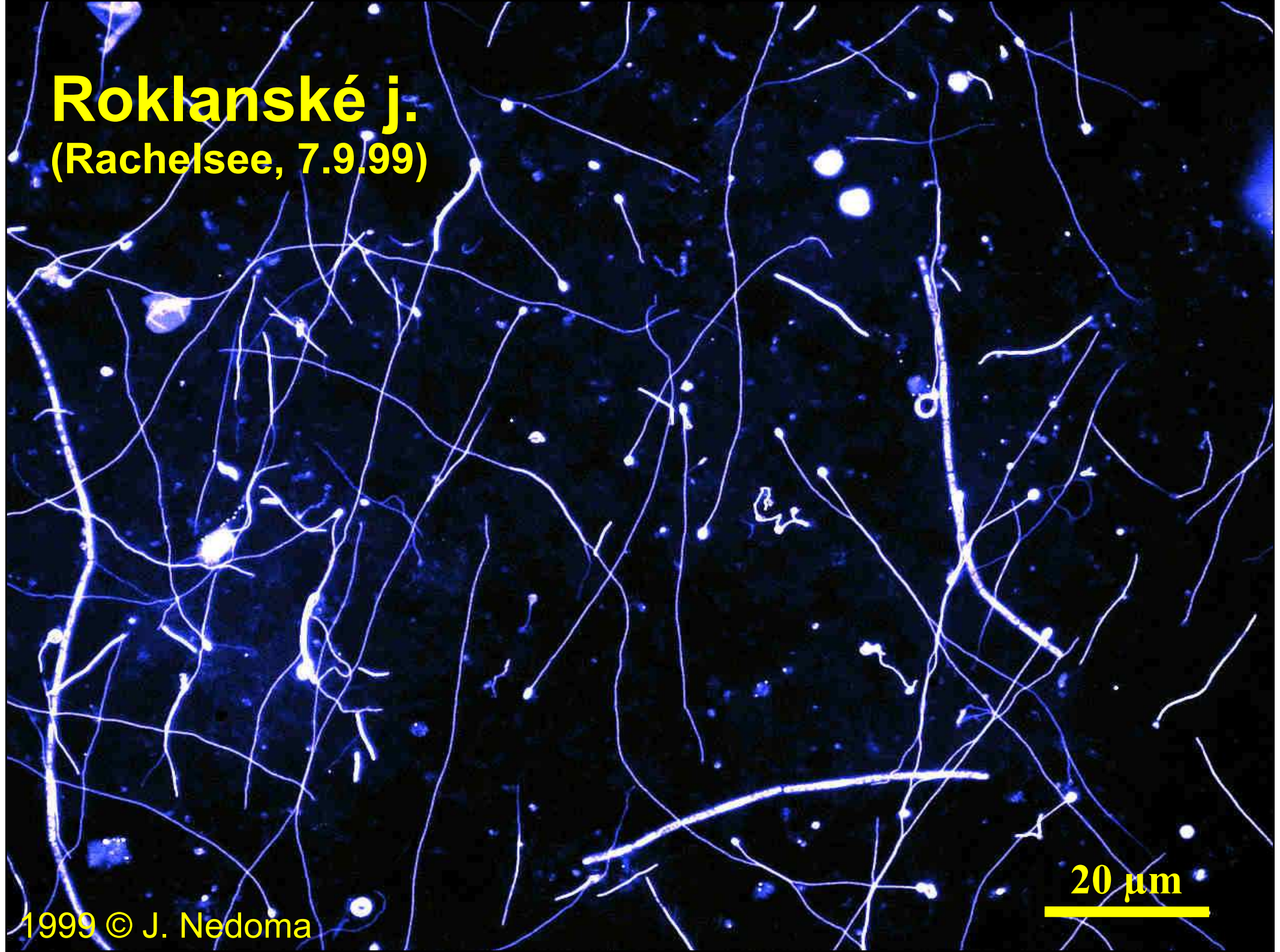
**„normální“ bakterioplankton  
(Římov)**

**10  $\mu\text{m}$**

---



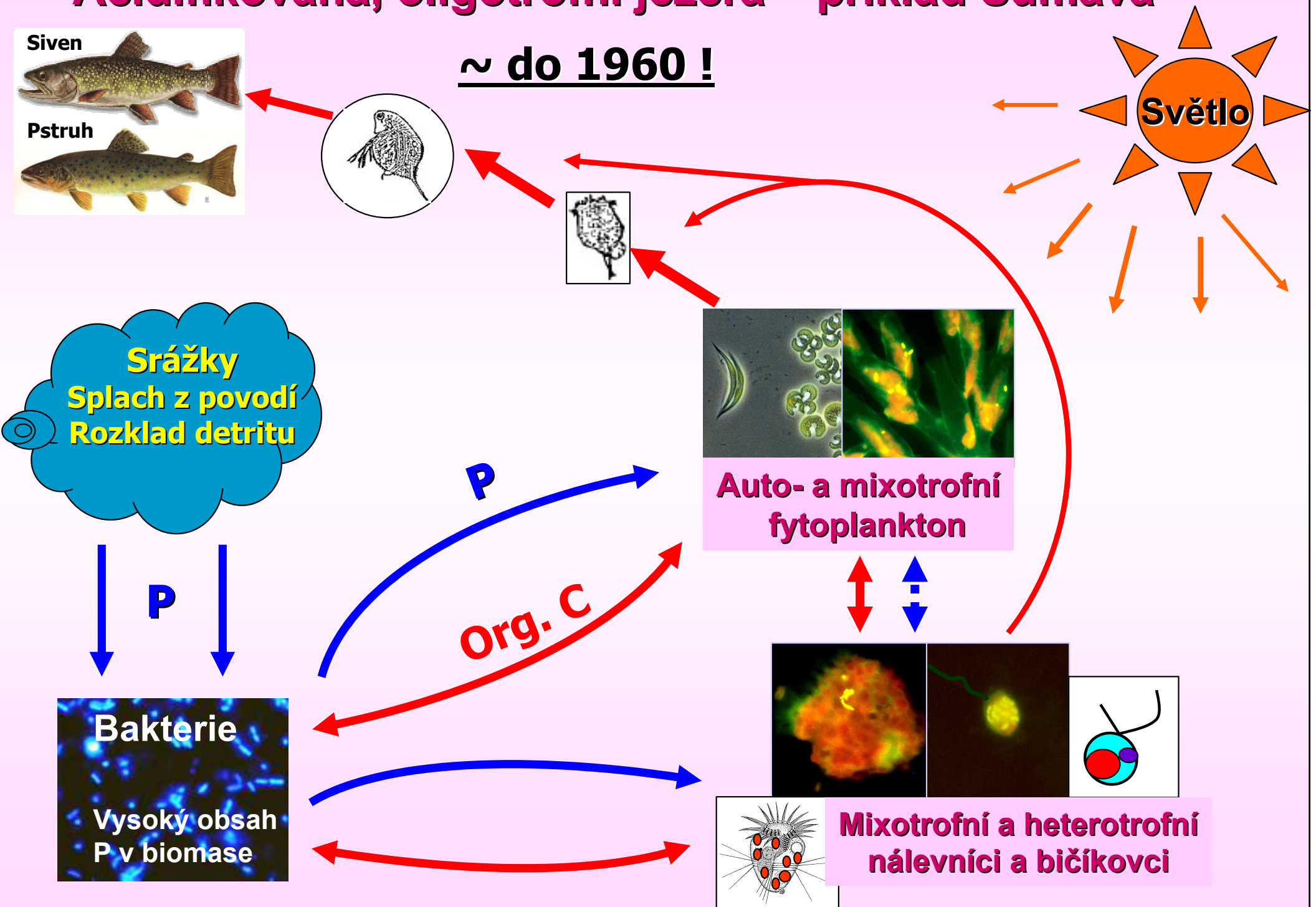
**Roklanské j.**  
**(Rachelsee, 7.9.99)**



**20  $\mu\text{m}$**

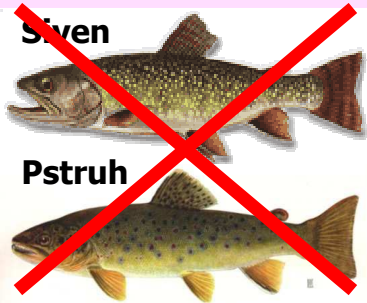
1999 © J. Nedoma

# Acidifikovaná, oligotrofní jezera – příklad Šumava

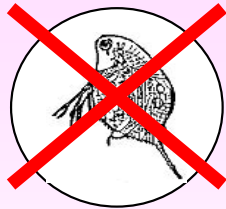




# Acidifikovaná, oligotrofní jezera – příklad Šumava



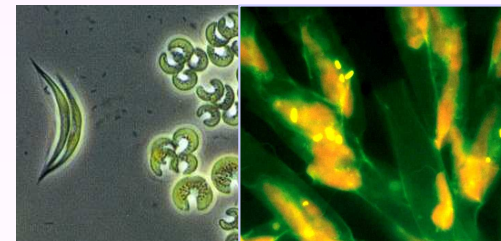
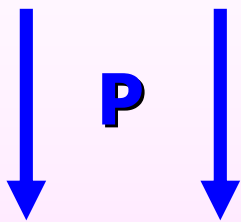
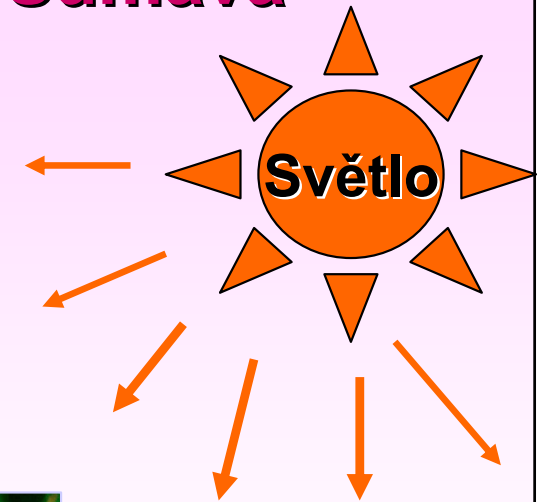
~ do 1960 !



~ do 1970 !



~ do 1980 !

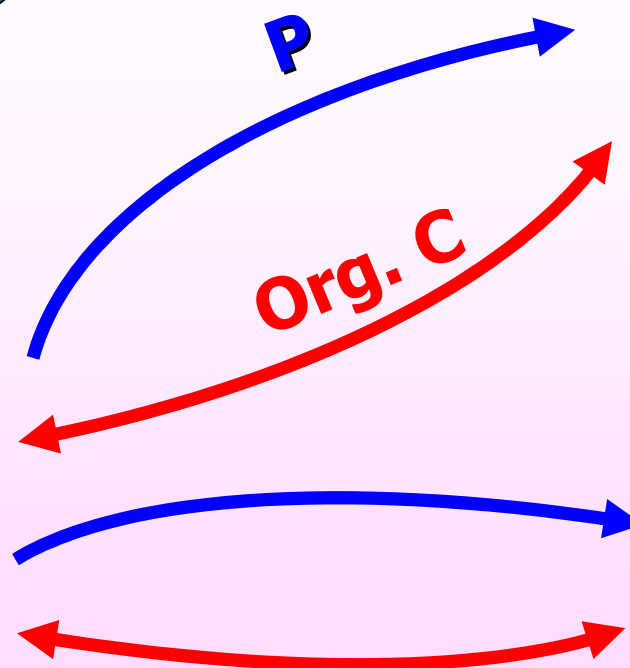


Auto- a mixotrofní  
fytoplankton

**Pouze  
mikrobiální  
smyčka !**

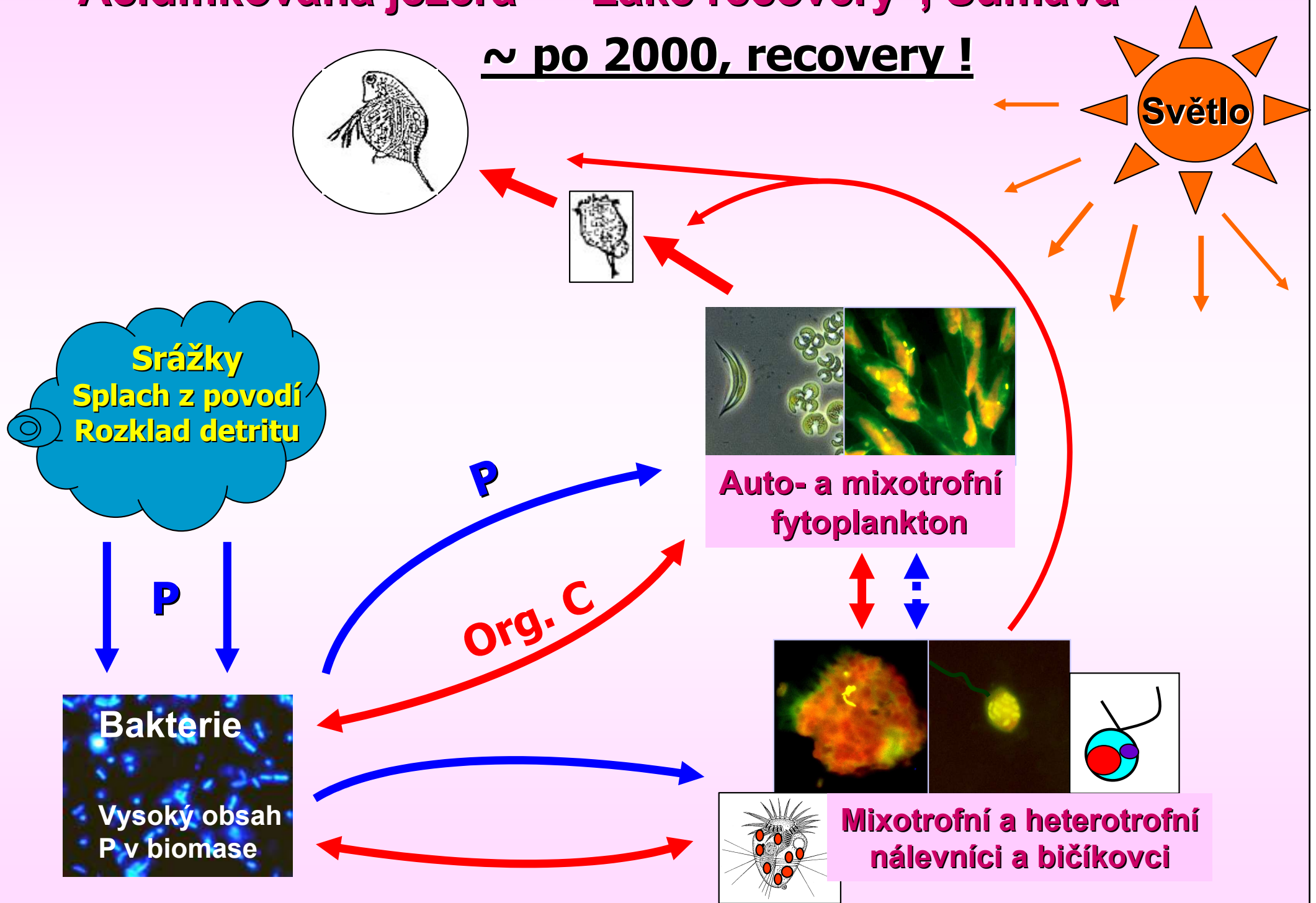


Mixotrofní a heterotrofní  
nálevníci a bičíkovci

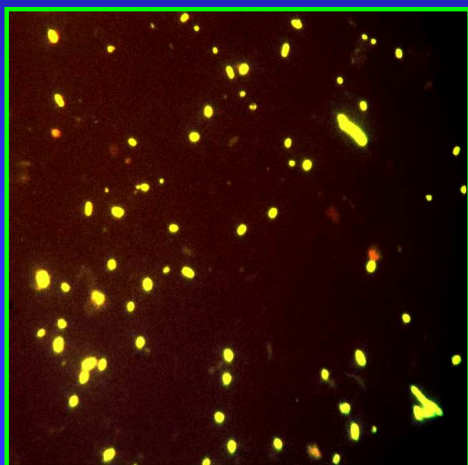


# Acidifikovaná jezera – “Lake recovery”, Šumava

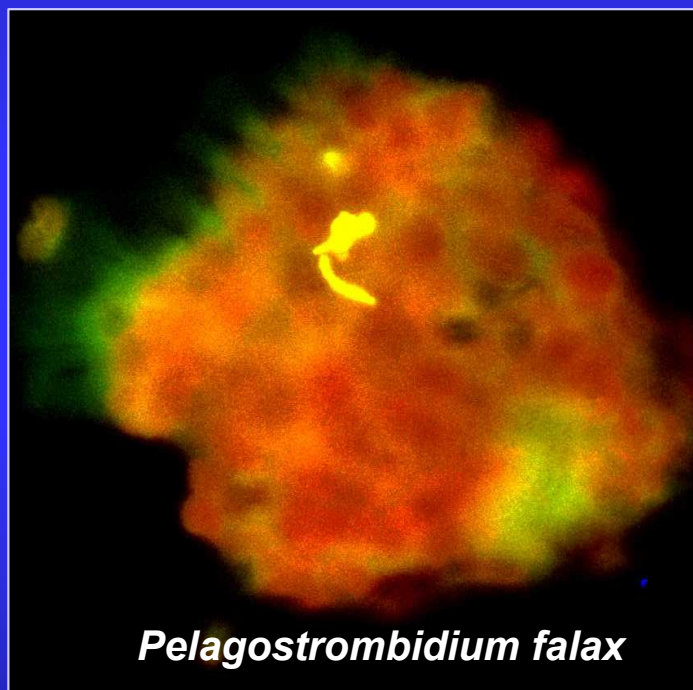
~ po 2000, recovery !



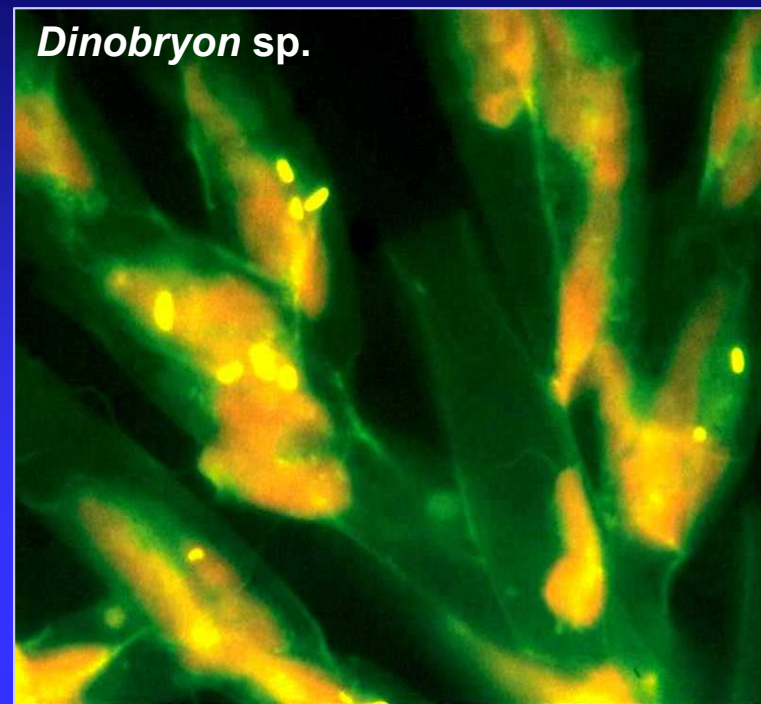
Fluorescenčně  
značené  
bacterie



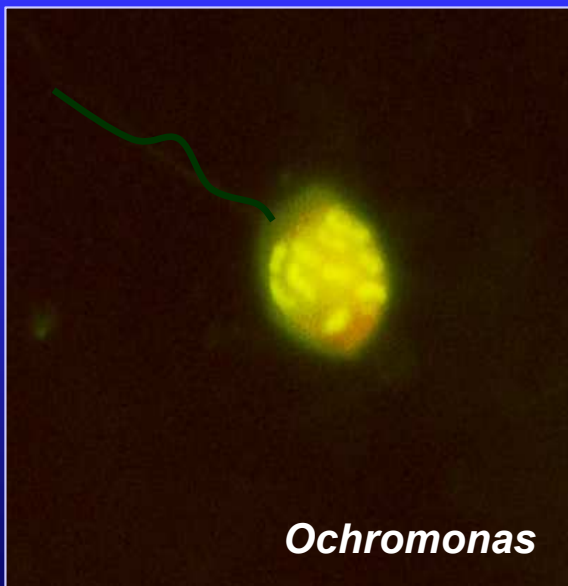
Mixotrofie nálevníků  
a bičíkovců



*Pelagostrombidium falax*

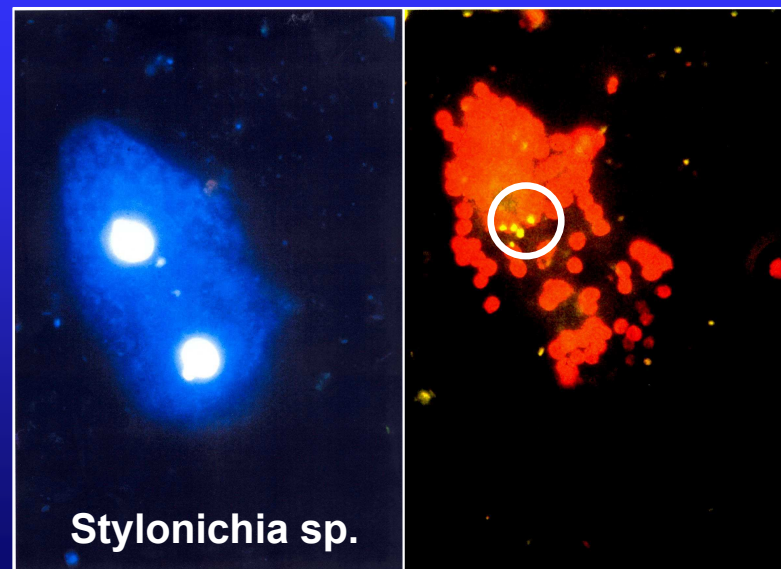


*Dinobryon sp.*



*Ochromonas*

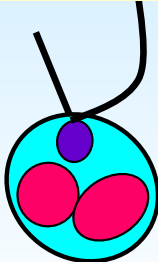
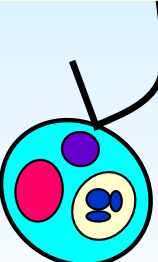

Druhově- specifická  
rychlost příjmu bakt.



*Stylonichia sp.*



# MIXOTROFIE – proč v oligotrofních vodách ??

	Autotrof	Mixotrof	Heterotrof
<b>Bakteriální biomasa bohatá na fosfor</b>			
<b>Limitace → fosforem</b>	—	+ +	+ +
<b>Limitace → fosforem → množstvím bakterií</b>	—	+	—
<b>Limitace → množstvím bakterií</b>	+ +	+	—

+ + ... Významná kompetiční výhoda

— Kompetiční znevýhodnění

+ ... Částečné zvýhodnění

## Přírodní a anthropogenní stresory:

Často redukuje taxonomickou a funkční diverzitu společenstev

Nízká druhová diverzita a velmi jednoduchou strukturou potravních řetězců:

v sirných (Gasol et al. 1991)

slaných (Wurtsbaugh 1992)

ledových arktických vod (Laybourn-Parry 1997)

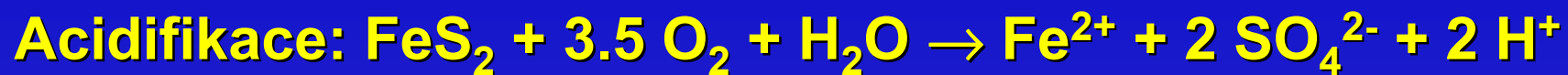
silně kyselých (Kamjunke et al. 2004) jezerech

Příklad antropogenního stresu – kyselé jezero 111 (G) vzniklé po povrchvé důlní těžbě na podloží velmi bohatém na sulfidy železa

# **Kyselá jezera vzniklá po důlní činnosti – příklad Německo**

**Extrémní hodnoty pH a hodně síranů jsou významným  
stresovým faktorem ovlivňující zásadním způsobem  
fungování a trofickou strukturu těchto vodních  
systémů**

# Charakteristiky jezera 111 (východní Německo)



Plocha (km<sup>2</sup>) 0.11

Max. hloubka (m) 10

Průměrné pH 2.6

Barva vody Hnědo-červená

Fe<sub>tot</sub> (mg L<sup>-1</sup>) 120-190

Al<sub>tot</sub> (mg L<sup>-1</sup>) 25-45

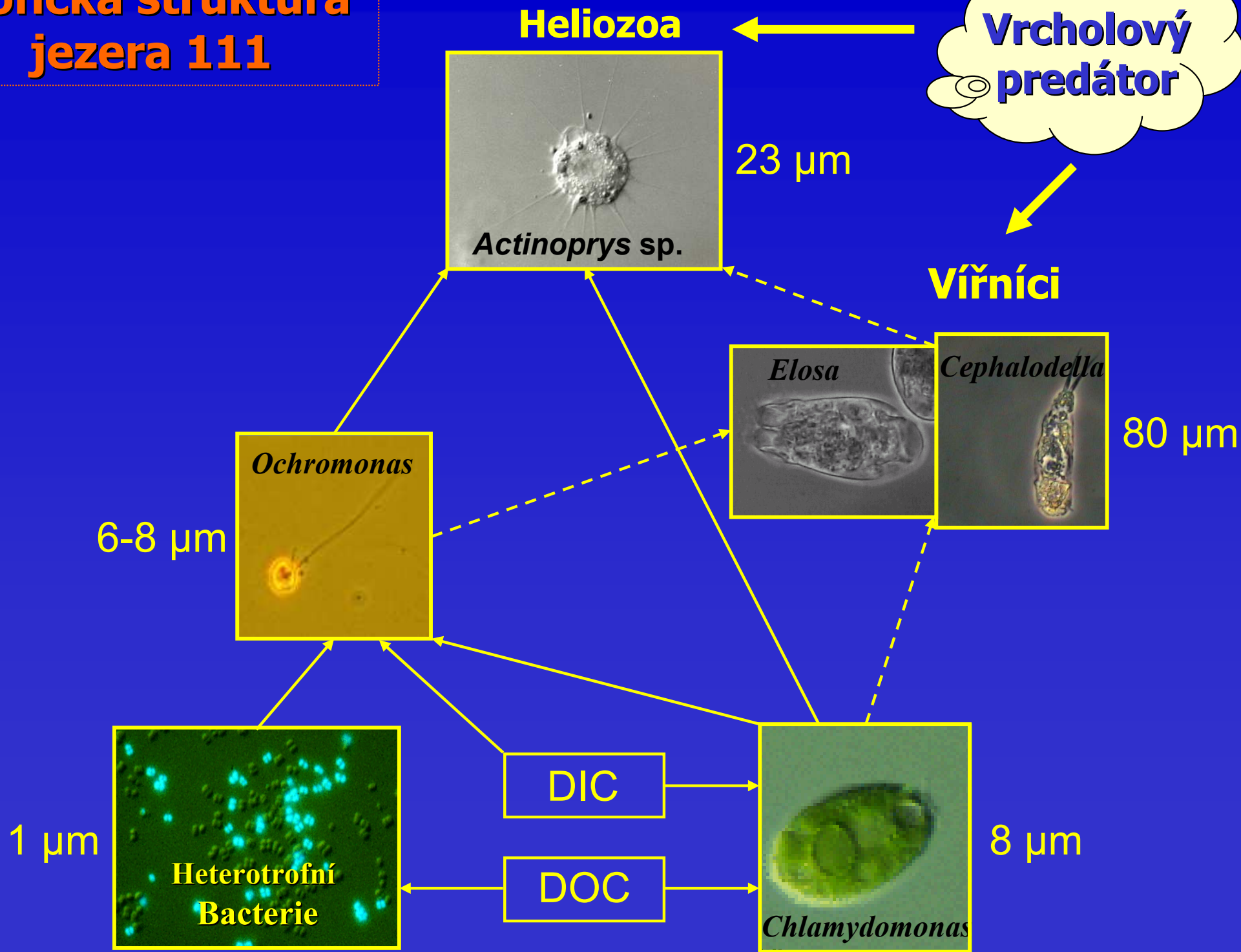
SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg L<sup>-1</sup>) 1050-1600

SRP (μg L<sup>-1</sup>) 5-10

DOC (mg L<sup>-1</sup>) <0.5-2.4

Chl a (μg L<sup>-1</sup>) 0.1-12.4

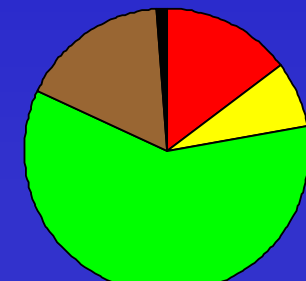
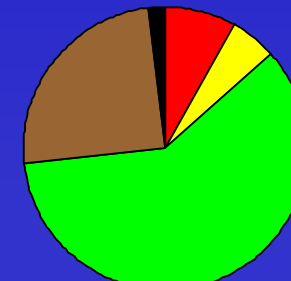
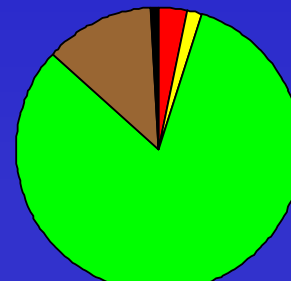
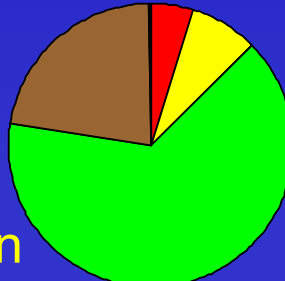
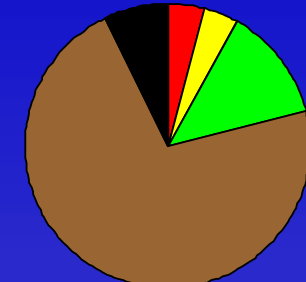
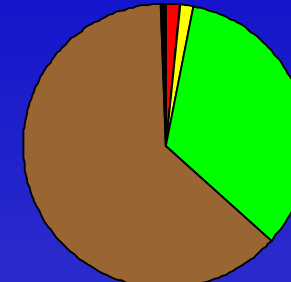
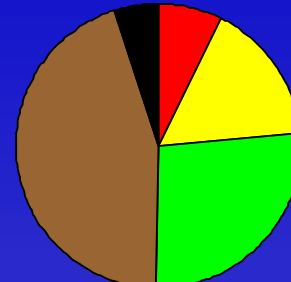
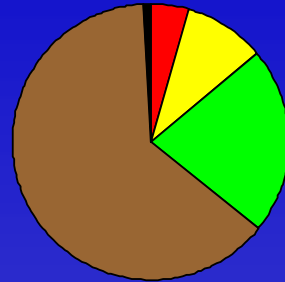
# Trofická struktura jezera 111



# Sezonní dynamika planktonního společenstva v jezeře 111

2001

Epilimnion



Hypolimnion

Jun

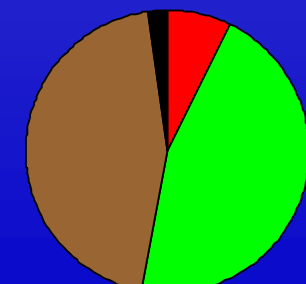
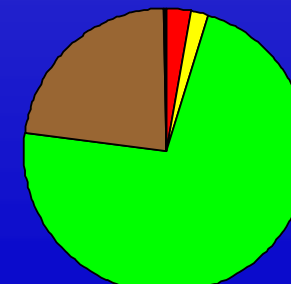
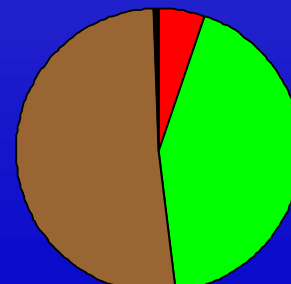
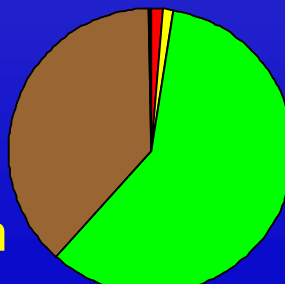
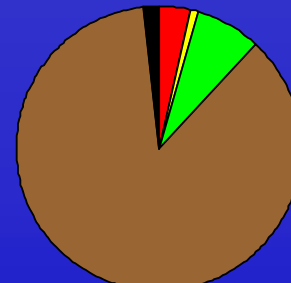
Jul

Aug

Sep

2002

Epilimnion



Hypolimnion

# Characteristiky dvou kyselých jezer po důlní činnosti a dvou přírodních jezer v Německu

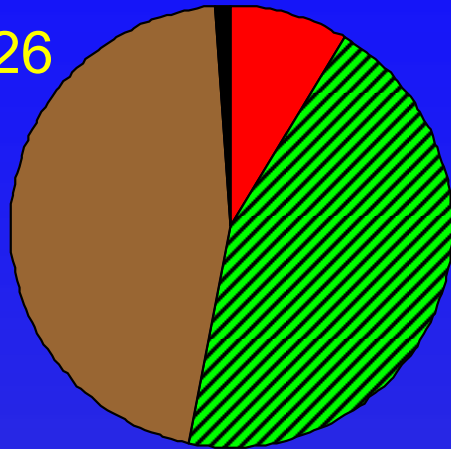
Lake	Area (km <sup>2</sup> )	Mean depth (m)	pH
<u>Lake 111</u>	0.11	4.6	2.6
<u>Lake 117</u>	0.96	7	3.0
Lake Constance	476	101	7.7-8.5
Lake Müggelsee	7.3	4.9	~8

# Složení planktonních společenstev

## Podíl heterotrofní versus autotrofní biomasy (H/A)

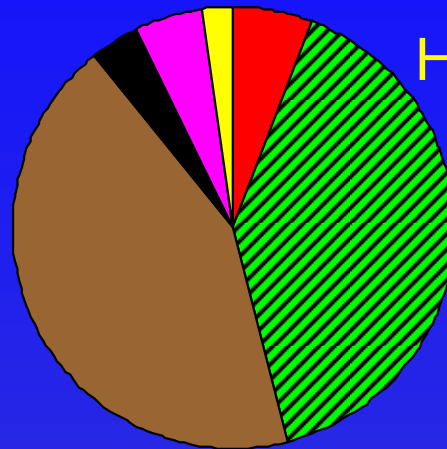
Jezero 111

H/A = 1.26



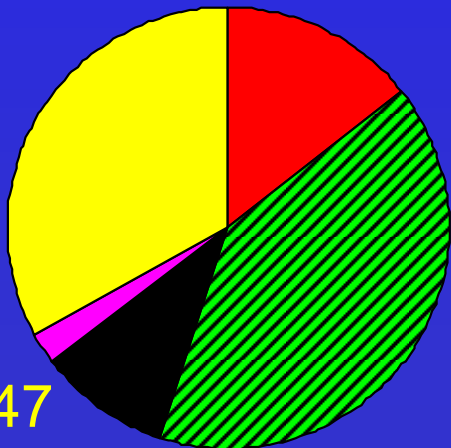
Jezero 117

H/A = 1.49



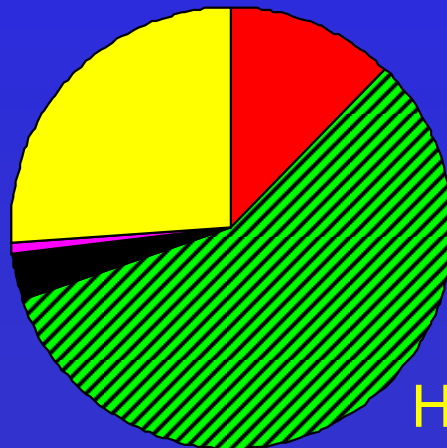
Jezero Constance

H/A = 1.47



Jezero Müggelsee

H/A = 0.75

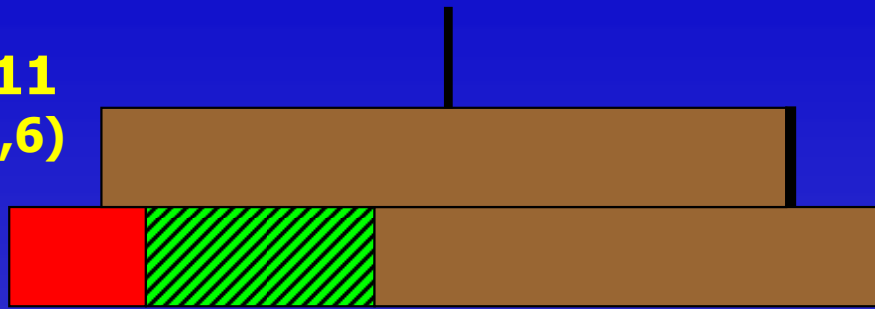


- Bacteria
- Phototrophs
- Heterotr. Mixotrophs
- Protozoa
- Rotifers
- Crustaceans



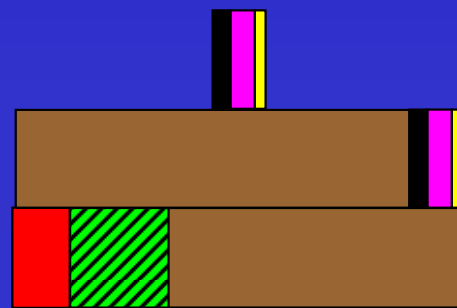
# Trofická struktura („pyramida“ podílu biomass) a potravní řetězce

**Lake 111**  
(pH = 2,6)



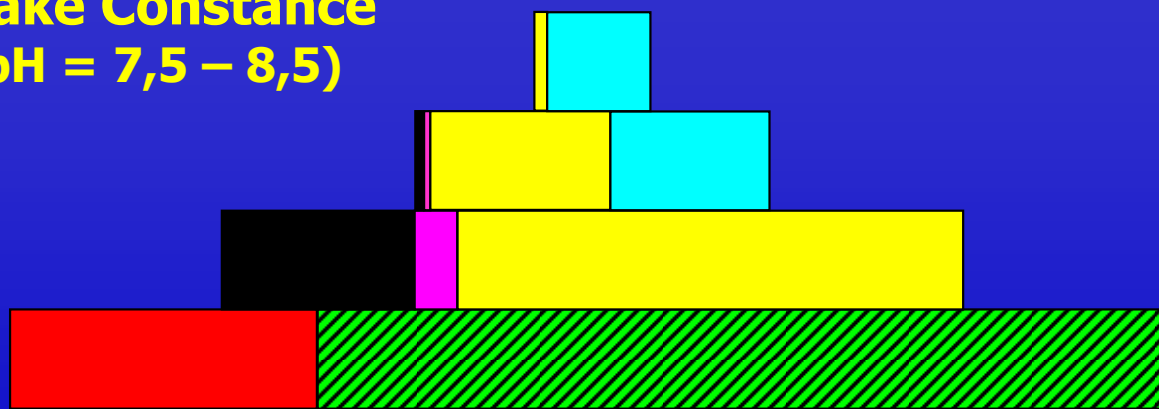
Protozoa  
 Ochromonas  
 Chlamydomonas.  
 Bacteria

**Lake 117**  
(pH = 3)



Crustaceans  
 Rotifers  
 Protozoa  
 Ochromonas  
 Chlamyd. & Gymnod.  
 Bacteria

**Lake Constance**  
(pH = 7,5 – 8,5)



Fish  
 Crustaceans  
 Rotifers  
 Protozoa  
 Phototrophs  
 Bacteria

0 20 40 60 80 100 120 140 160 180  
 $\mu\text{g C L}^{-1}$

# Souhrn

Podobný podíl heterotrofní a autotrofní biomasy (H/A) v kyselých a pH-neutrálních jezerech o srovnatelné produktivitě

Trofická struktura kyselých jezer je většinou omezena pouze na dvě trofické úrovně v porovnání se čtyřmi úrovněmi typickými pro pH-neutrální jezera  
*(většinou schází zooplankton a vždy schází ryby)*

**Productivita kyselých jezer:** 20-40 mg C m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>. Srovnání: *Lake Stechlin (Německo) podobná produktivita, ale 4 úplné trofické úrovně (Casper 1985)*

Omezení délky potravního řetězce je dáno především nepřítomností účinných sekundárních konzumentů než produktivitou či velikostí systému

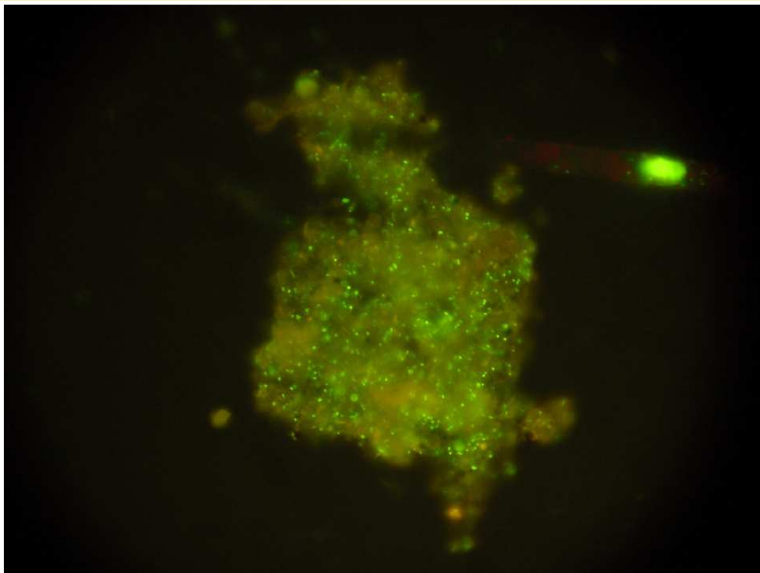
**Nedostatek vyšších sekundárních konzumentů je dán extrémně nepříznivými podmínkami prostředí**

**Vysoce turbidní, tropická a subtropická jezera  
s velkým přísunem alochtonních organických  
látek a suspendovaných částic z povodí**

**Specifická role suspendovaných částic – sorpce  
rozpuštěných organických látek na povrch částic a  
jejich kolonizace bakteriemi**

**Částice s navázanou organikou a přisedlými bakteriemi  
jako dominantní zdroj organických látek pro  
planktonní potravního řetězce**

**Vysoce turbidní, tropická a subtropická jezera s velkým přísunem alochtonních organických látek a suspendovaných částic z povodí - specifická role těchto částic - sorpce org. látek**

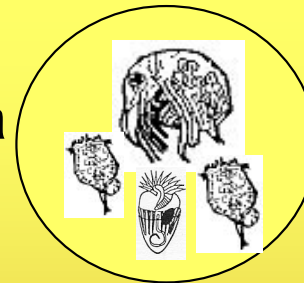


- nízká průhlednost vody



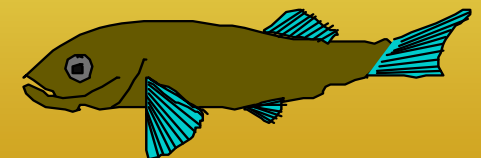
- malá primární produkce

Potrava



zooplanktonu ???

**PRODUKCE  
RYB ??**





# Jezero Chapala

- mělké jezero tektonického původu

Šířka / délka - 82 / 19 km  
(plocha kolem 1000 km<sup>2</sup>)

Max. hloubka – 10,5 m

Prům. Hloubka – 4,5 m

Povodí – 52500 km<sup>2</sup>  
(pro srovnání: ČR – 76000 km<sup>2</sup>)

Prům. tepl. vody – 21°C

- 81% povodí je zemědělsky využíváné, prům. srážky 900 mm za rok. Ohromný přísun nutrientů, alochtonních látek a částic jílovitého charakteru do jezera



# Jezero Chapala

- během 15 let zmenšení  
plochy o 18 %

Zvyšování odnosu org.  
látek a půdních částic

Urychlení eutrofizace



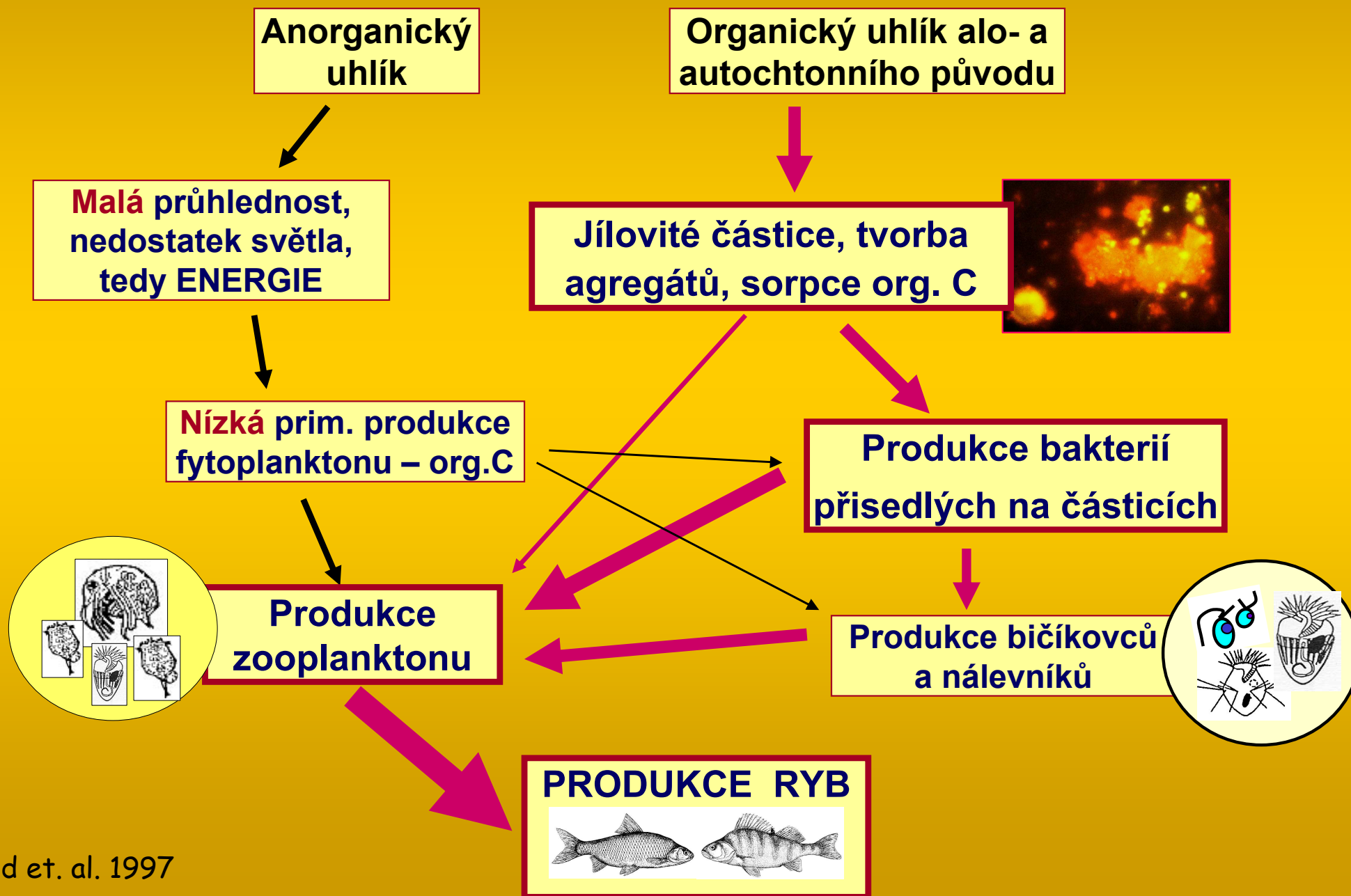
March 29, 2001



March 28, 1986

# Tok organických látek v povodí a v planktonu jezera Chapala

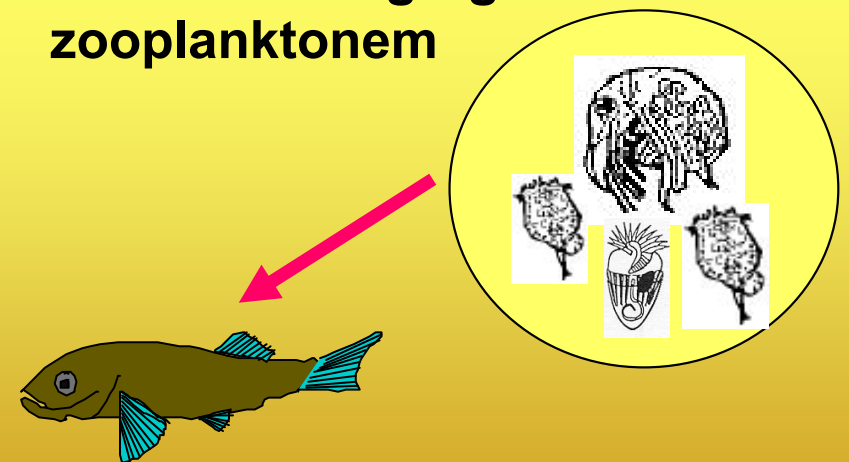
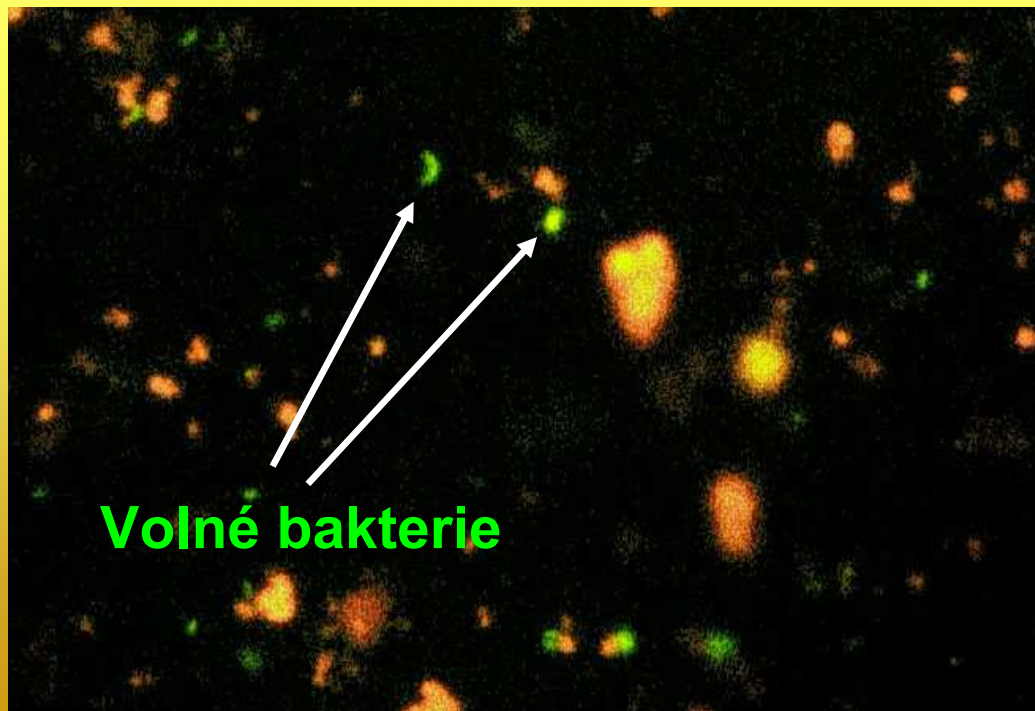
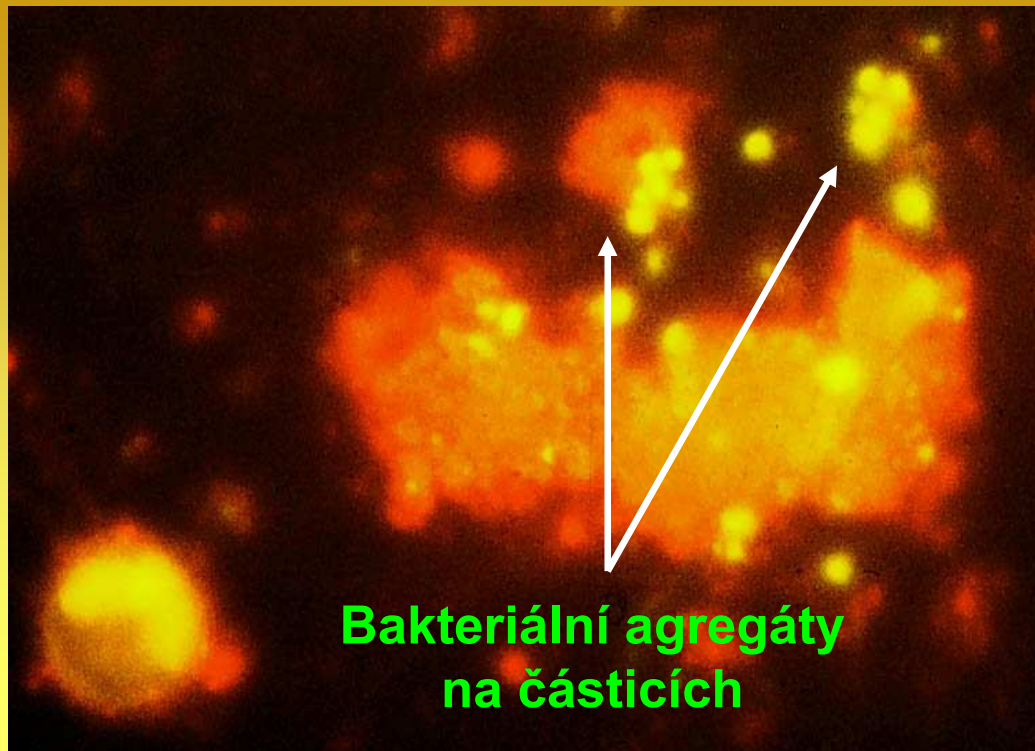
(Vysoká produkce ryb zcela neúměrná nízké primární produkci ???)





# Jílové částice

- vazba rozpuštěných organických substrátů na povrch částic
- přisedání bakterií na povrch částic bohatých na org. látky
- tvorba vloček a agregátů bakterií bohatých na biomasu bakterií a organické látky
- odfiltrování agregátů bakterií zooplanktonem

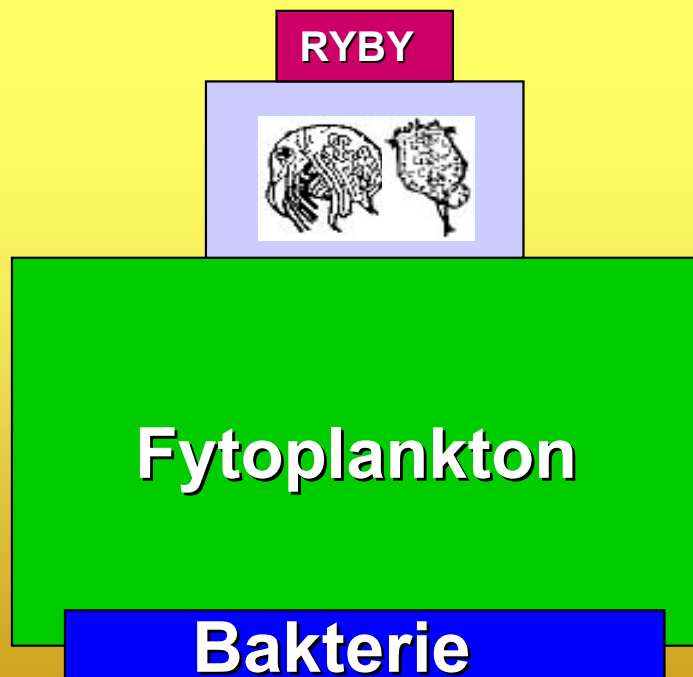


- Malá role primární produkce!

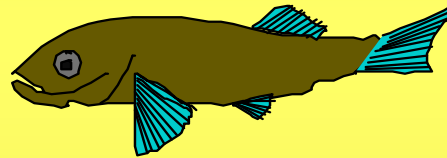


Vysoce turbidní, tropická a subtropická jezera s velkým  
přísunem alochtonních organických látek a suspendovaných  
částic z povodí - specifická role těchto částic - sorpce org. látek

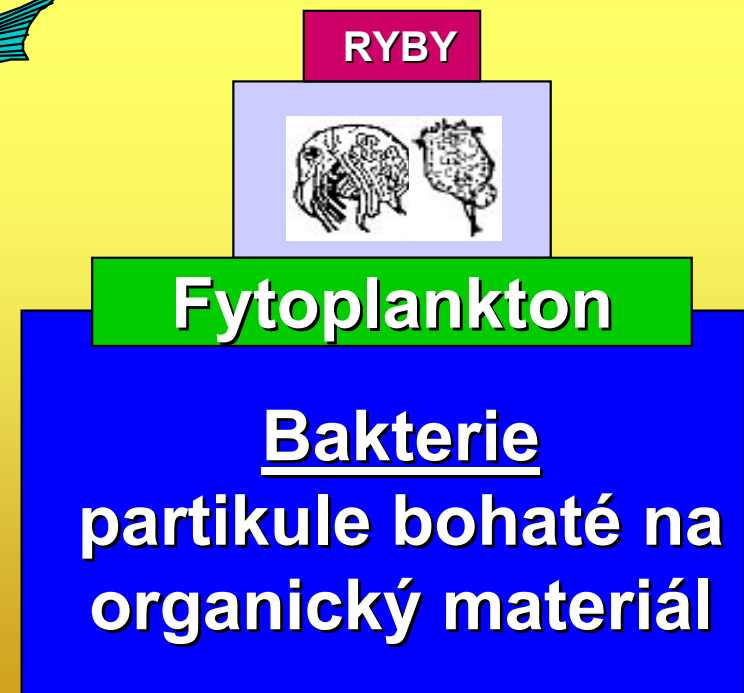
**Klasický potravní  
řetězec**



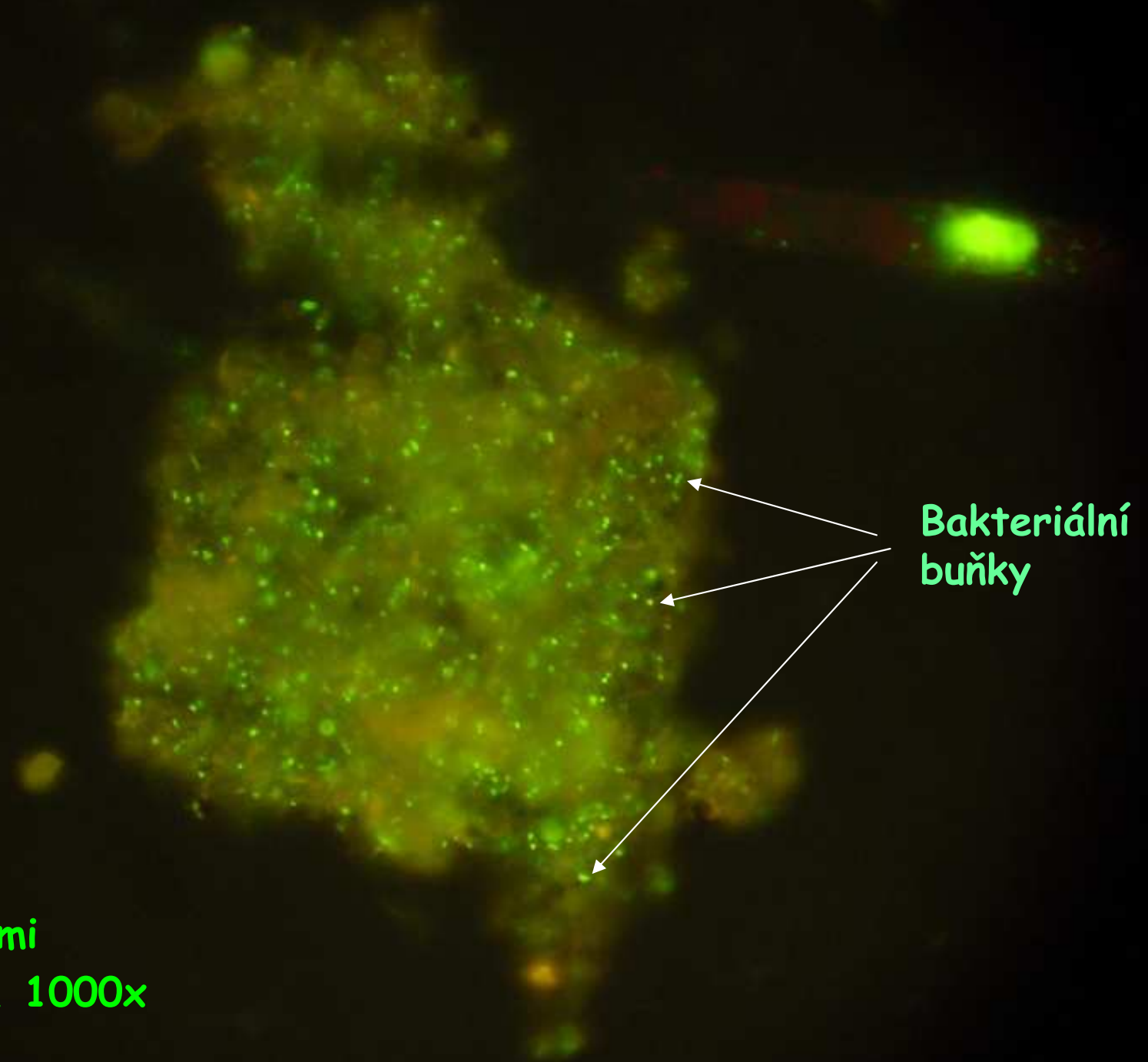
PRODUKCE  
RYB ??



**Potravní řetězec - org.  
agregáty s bakteriemi**



# Vysoký obsah bakteriální biomasy a organických látek



Bakteriální  
buňky

H.-P. Grossart

Agregat s bakteriemi

Sybr-Gold-barvení, 1000x