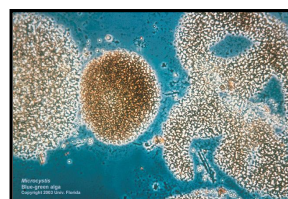
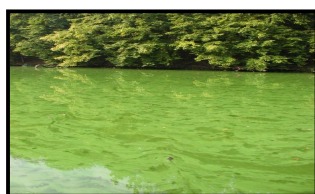
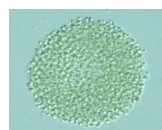
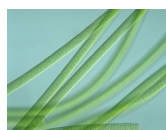
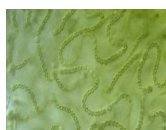
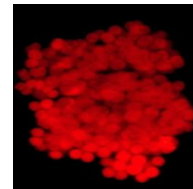
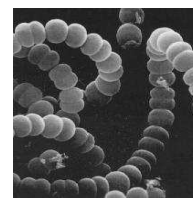


MASOVÉ ROZVOJE SINIC

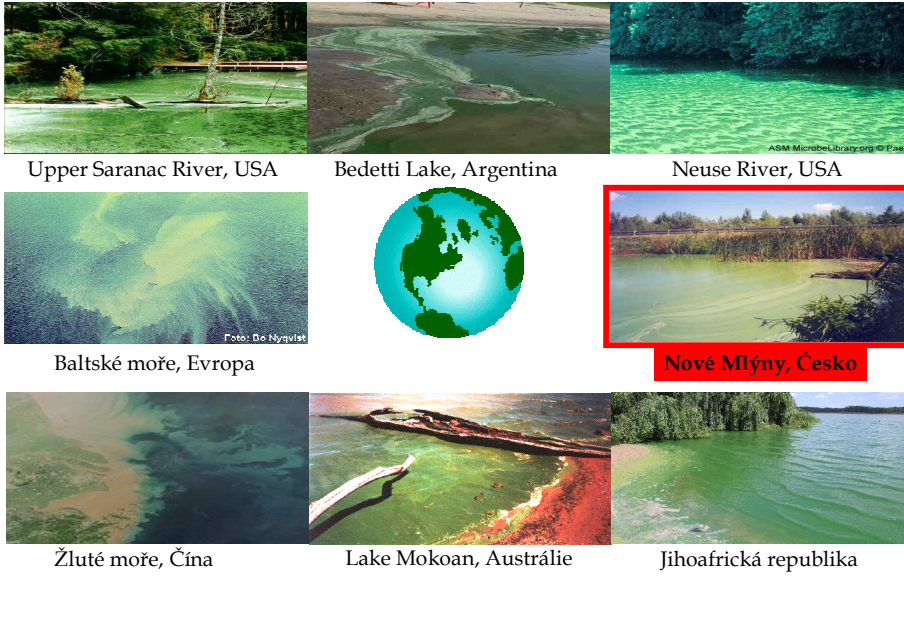


SINICE (=CYANOBAKTERIE)

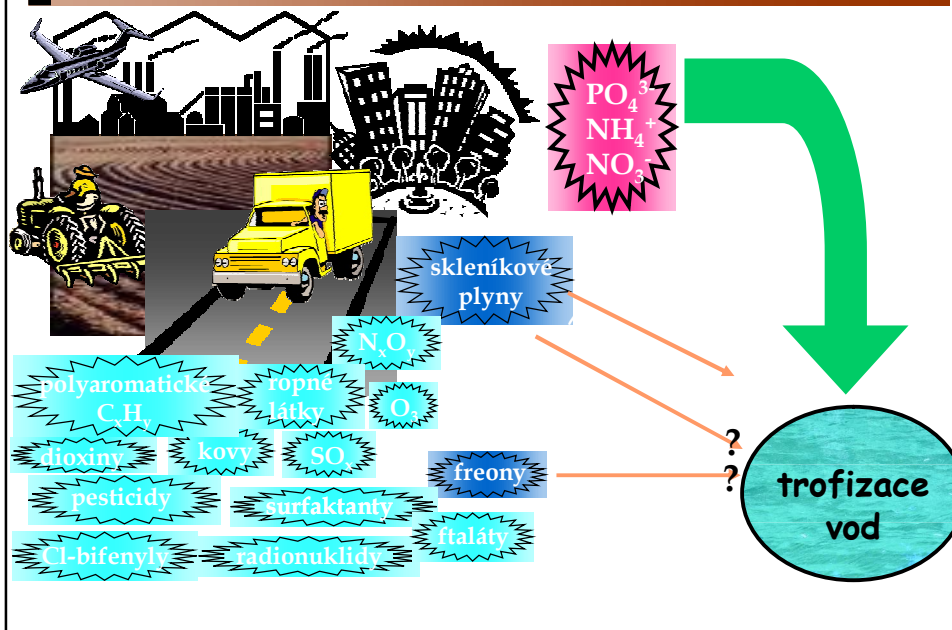
- fotosyntetizující prokaryota
- osidlují **rozmanité biotopy** (sladké i slané vody, vlhká půda, ledovce, kůra dřevin, fykobioti v lišejnících...)
- většina druhů se vyskytuje ve **vodních ekosystémech**
- produkce **biologicky aktivních látek**
 - cca 3.5 mld let staré
 - vytvoření kyslíkové atmosféry Země



Masový rozvoj sinic – globální problém

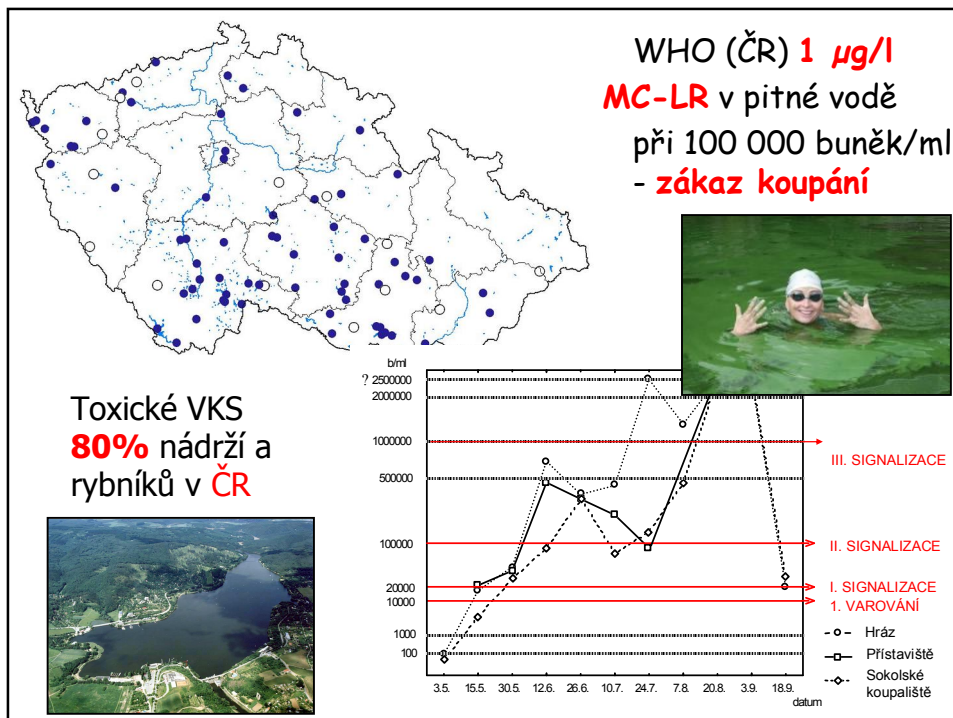
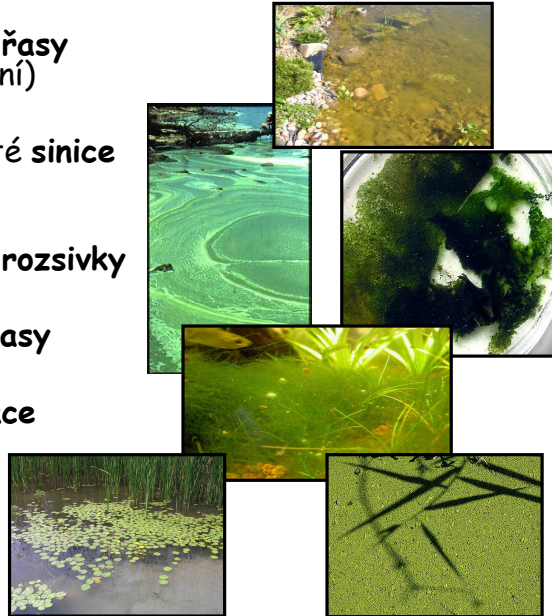


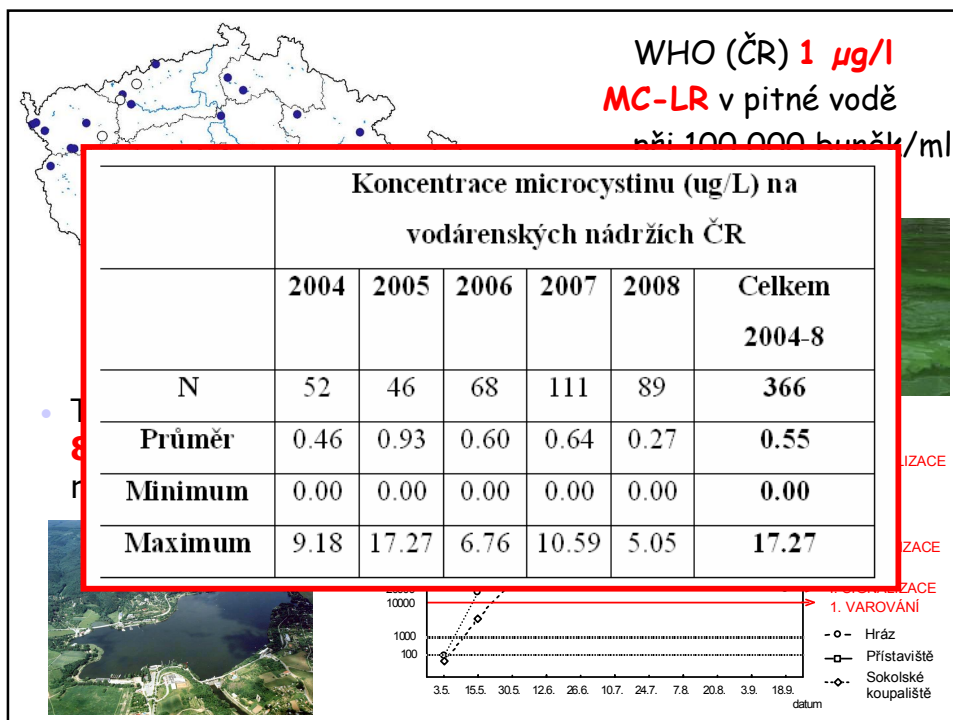
TROFIZACE VOD – antropogenní příčiny



Dominanty trofizovaných vod

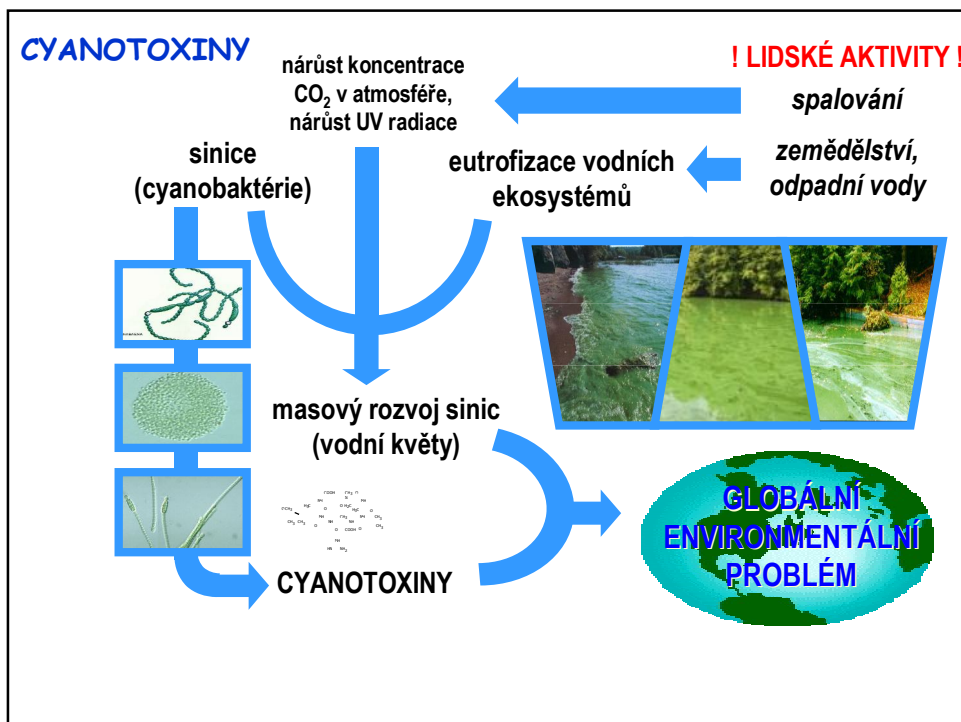
1. drobné planktonní řasy (vegetační zbarvení)
2. koloniální a vláknité sinice (tzv. vodní květ)
3. bentické sinice a rozsivky
4. litorální vláknité řasy
5. vyšší vodní vegetace - rostliny





Důsledky masového rozvoje sinic

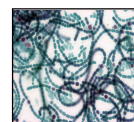
- snížení biodiverzity
- narušení kyslíkového režimu (ranní anoxické zóny; rozklad biomasy)
- snížení kvality vod (produkce pachů a pachutí)
- hospodářský dopad (rekreace, rybářství)
- **produkce cyanotoxinů**
- **nejznámější producenti:**



SINICE

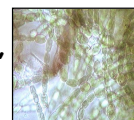
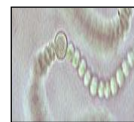
produkují stovky sekundárních metabolitů

- rozmanité struktury:
 - peptidy a depsipeptidy (lineární, cyklické)
 - heterocyklické sloučeniny
 - lipidické látky



BIOTOXINY - vysoká akutní toxicita pro savce
- dle specifických účinků:

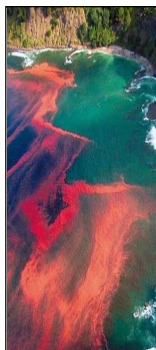
neurotoxiny, hepatotoxiny, dermatotoxiny, genotoxiny, imunotoxiny a embryotoxiny



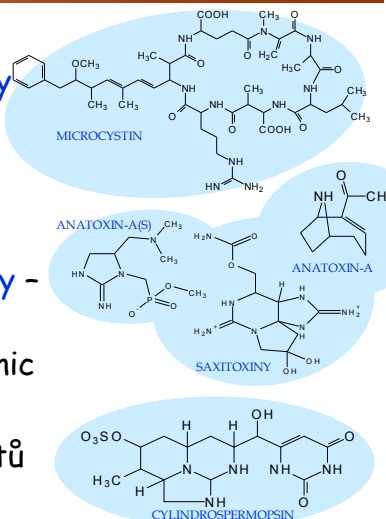
CYTOTOXINY - biologická aktivita, nízká akutní toxicita (př. protirakovinné metabolity-cryptophyciny)



Masový rozvoj sinic – CYANOTOXINY



- nejvýznamnější jsou:
microcystiny a nodulariny
anatoxiny a saxitoxiny
cylindrospermopsin



- toxicitu vykazují také
sinicové lipopolysacharidy -
součást
buněčných stěn všech sinic

- desítky dalších metabolitů
s biologickou aktivitou

(př. herbicidní, fungicidní,
protirakovinnou, virocidní,
chelatační, aniticyanobakteriální)

Specifické účinky cyanotoxinů

- **Neurotoxiny** - narušení nervového systému
 - Anatoxin-a
 - Anatoxin-a(s)
 - Saxitoxin
 - Neosaxitoxin
- **Hepatotoxiny** - poškození jater
 - Microcystiny
 - Nodulariny
 - Cylindrospermopsin
- **Dermatotoxiny** - poškození kůže
 - Lyngbyatoxin
 - Aplysiatoxin
- **Promotory nádorů** - podporují nádorové bujení
 - Microcystiny, lyngbyatoxin, aplysiatoxin



Lipopolysacharidy - narušení gastrointestinálního traktu,
kožní iritant



TOXIN	STRUCTURE	STRUCTURE VARIATION	LD50* (µg.kg ⁻¹)	TOXICITY
Microcystin	cyclic heptapeptide	>60	50-1200	hepatotoxicity, tumor promotion, induction of oxidative stress
Nodularin	cyclic pentapeptide	7	50-2000	hepatotoxicity, tumor promotion
Anatoxin	alkaloide	2	200-250	neurotoxicity
Anatoxin-a(S)	methylphospho-ester N-hydroxy-guanine	1	20	neurotoxicity
Saxitoxin	carbamat alkaloid	19	10	neurotoxicity
Cylindrospermopsin	guanidin alkaloid	2	200**	cytotoxicity, target organs: liver and kidney
Aplysiatoxin		2		dermatotoxicity, tumor promotion
Lyngbyatoxin	modified cyclic dipeptide	1		dermatotoxicity, tumor promotion
Lipopolysaccharide				irritate effect

CYANOTOXINY

Nejvýznamnější rody produkující cyanotoxiny (dosud identifikováno cca 50 druhů produkujících tyto látky):

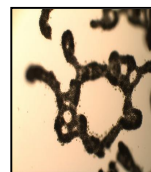
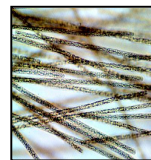
Anabaena (microcystiny, anatoxiny, anatoxin-a(S), saxitoxiny, cylindrospermopsin)

Aphanizomenon (anatoxiny, saxitoxiny, cylindrospermopsin)

Microcystis, Nodularia (microcystiny a nodulariny)

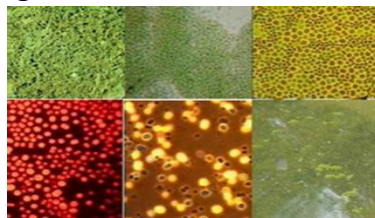
Planktothrix/Oscillatoria (microcystiny, anatoxiny, saxitoxiny)

Cylindrospermopsis (cylindrospermopsin, saxitoxiny)



„Nové“ cyanotoxiny

- Ohromné množství sloučenin (anagnostec.com: 5000 látek)
- Minimum informací:
 - toxikologie ?
 - výskyt a osud v prostředí ?
 - vliv na volně žijící organismy ?
 - účinky složitých směsí ?
 - přirozená funkce těchto látek ?
- Podle mnoha indicií existuje **mnoho dalších dosud neobjevených toxických metabolitů sinic** (sinice jsou často toxické i když neobsahují žádný z dosud identifikovaných cyanotoxinů!!!).
- **Farmakologicky slibné látky**
- **Tříděné látek, nomenklatura..... nejednotné**
- detailní studium - nutnost LC/MS instrumentace



Hypotézy o vzniku/fci cyanotoxinů

1% suché váhy - microcystiny

1. Role v metabolismu živin

- Zásoba dusíku? Skladování železa (chelatace)

2. Vnitrodruhová komunikace a signalizace

- Geny ovlivněny světlem, hustotou kultury
- Spojitost s látkami účastnících se na shlukování buněk (formování / rozpad kolonií) - migrace ve vodním sloupci

Protein pro transport MC z buňky, ale 90% v buňce

Fce MC extracelulární ?

Hypotézy o vzniku/fci cyanotoxinů

Obrana proti predátorům

- Zooplankton (přírodní koncentrace rozpuštěného MCs neúčinné)
- Synergické působení více toxinů
- Produkce zvyšována v prostředí s predátory (nebo látkami, které vylučují)
- **Geny pro syntézu MCs** existovaly už ve **starohorách** - eukaryota později (MC cíl jsou Protein fosfatázy)
- Sinice bez MC odolávají predáční tlakům
- Je to varovný signál ? Organismy jej nejsou schopny rozlišit

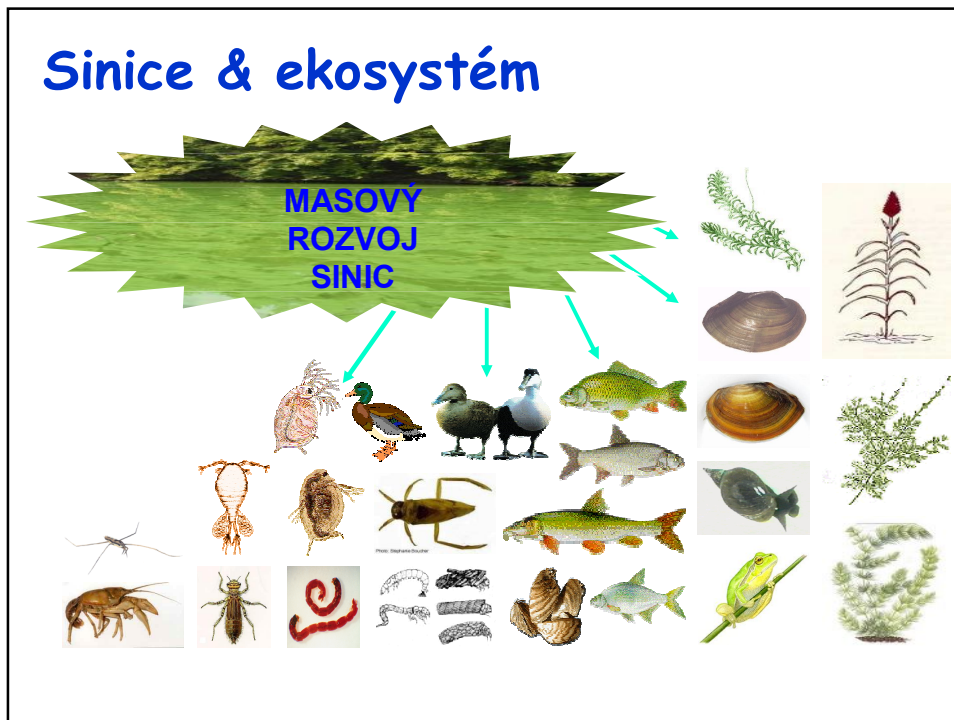
Hypotézy o vzniku/fci cyanotoxinů

4. Alelopatické působení

- Jen některé fotoautotrofní organismy jsou ovlivněny již v přírodních koncentracích MC
- Inhibice růstu, fotosyntézy, ox.stres, inhibice enzymu a buněčných procesů
- Řada z fotoautotrofů ovlivnitelná až při vysokých koncentracích
- Hlavní konkurenti řasy - žádné účinky v přírod. podmínkách
- **Řasy = eukaryota**
- **Většina MCs uvnitř buněk sinic**

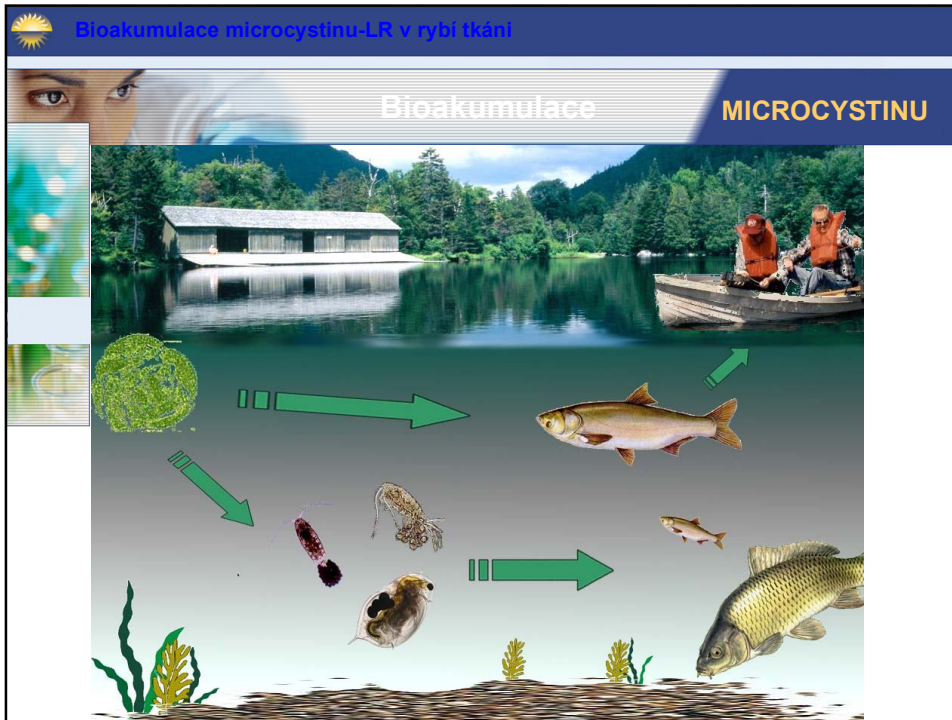


Sinice & ekosystém



Cyanotoxiny - zdravotní a ekologická rizika ?





Toxins

Animal Health Effects

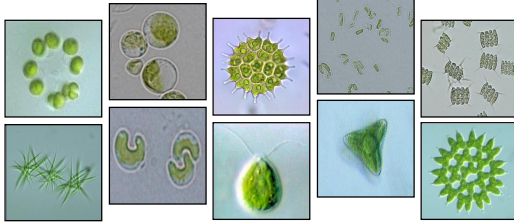
<u>Country</u>	<u>Species Killed</u>
• Argentina	• cattle
• Australia	• cattle, sheep
• Canada	• cattle, waterfowl
• England	• dogs, fish
• USA	• dogs, cattle, human?

In July 2002, a Wisconsin teenager died two days after swimming in a golf-course pond that had a bloom of *Anabaena flos-aquae*. A year later, an autopsy reported the death was due to cyanotoxins in the pond water (Anatoxin-a).

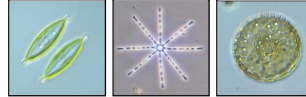
Účinky na fotoautotrofní organismy

- studium alelopatických interakcí
- objasnění možné funkce některých cyanotoxinů

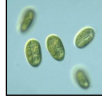
Zelené řasy (*Chlorophyta*)



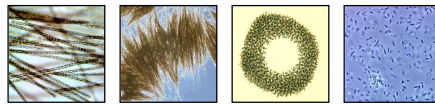
Rozsivky (*Chromophyta*)



Skrytěnky (*Cryptophyta*)

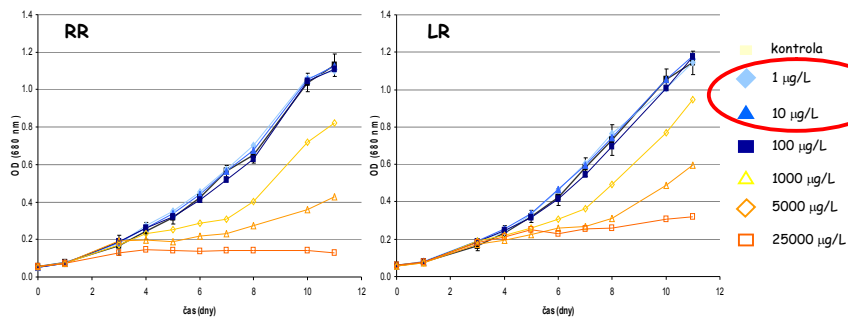


Sinice (*Cyanophyta*)



Sinice, cyanotoxiny a řasy

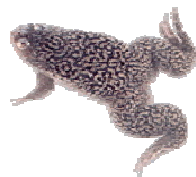
Pseudokirchneriella subcapitata



Účinky na živočichy



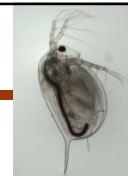
- planktonní korýši (*Daphnia magna*)
- akutní toxicita, chronická a reprodukční toxicita



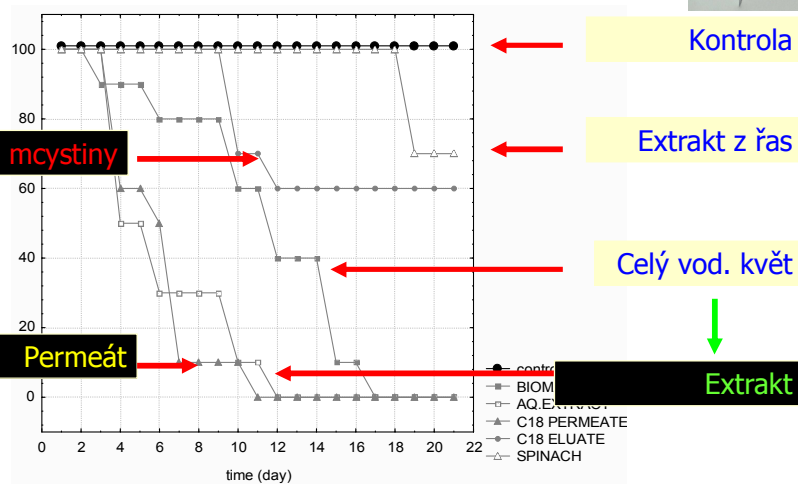
- embrya drápatek (*Xenopus laevis*)
- embryotoxicita, teratogenita



Sinice, cyanotoxiny a zooplankton



Reprodukce

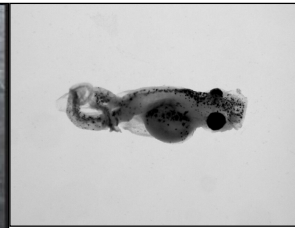
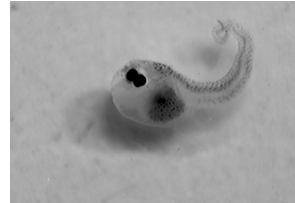
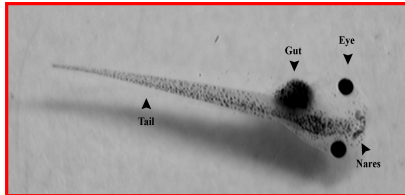


Sinice, cyanotoxiny a vodní obratlovci

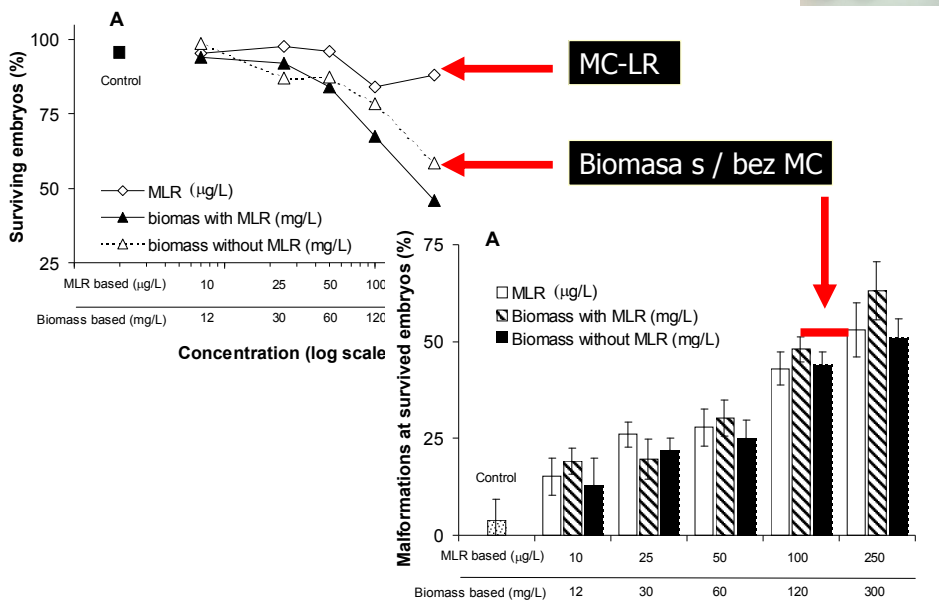
- embryotoxicita, teratogenita



Kontrola



Sinice, cyanotoxiny a vodní obratlovci



Účinky na obratlovce



- Úhyny ryb spojené především se **snížením obsahu kyslíku**



- **Hromadné úhyny ptáků** v různých částech světa spojovány s masovými rozvoji sinic - **nejednanačné důkazy**

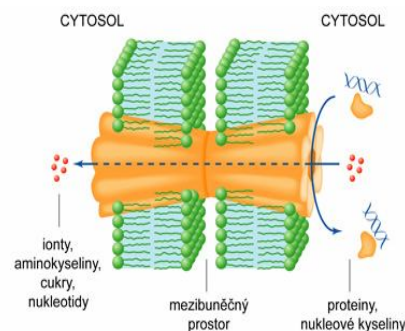
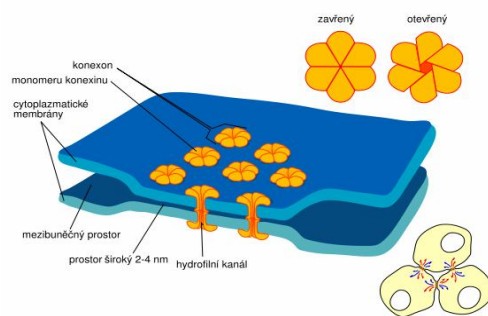
- Většinou **souhrn více faktorů** - paraziti, UV, sinice, patogeny - oslabení populací

Mezibuněčná komunikace mezerovými spoji

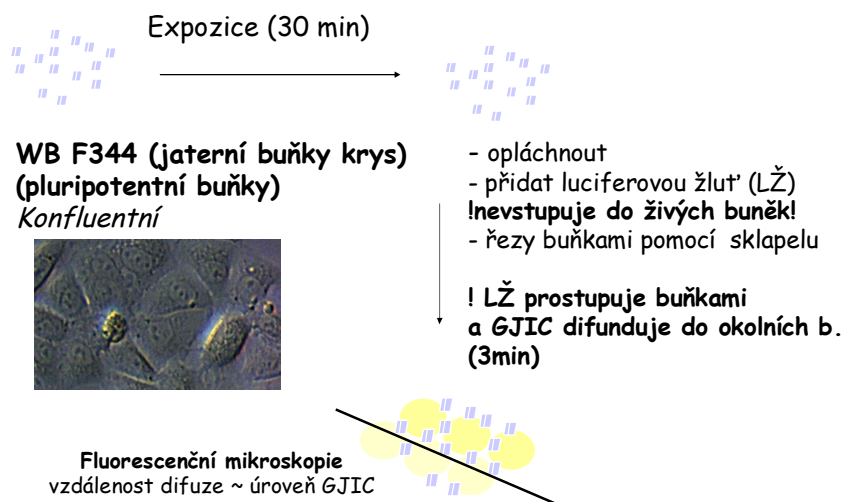
- Mezibuněčná komunikace mezerovými spoji (Gap Junctional Intercellular Communication, GJIC)

zajišťuje nespecifický transport malých molekul a iontů mezi sousedícími buňkami

INHIBICE GJIC - je ukazatelem promoce nádorů

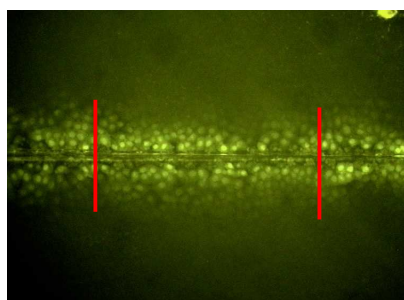


Princip GJIC testu

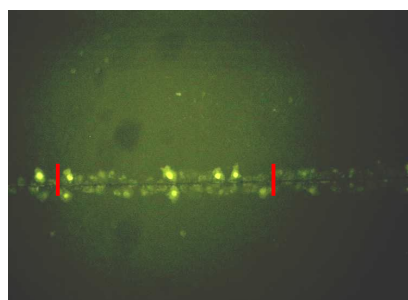


Inhibice GJIC

Fluorescenční mikroskopie ve WB F344 buňkách (30 min expozice)



Buňky komunikují
/ kontrola - MeOH /



Inhibice GJIC
/ biomasa sinic
2 mg/mL MC-LR/

Metody omezení masového rozvoje sinic

- Snížení koncentrace živin v povodí nad nádrží
- Snížení koncentrace živin v nádrži vlastní
- Odstraňování inokula sinic ze sedimentů
- Regulace rybí obsádky
- Rozšiřování makrofyt (vyšší vodní rostliny)
- Algicidní zásahy

Fosfor jako limitující prvek

Element	Symbol	Supply in water (%)	Demand by plants (%)
Oxygen	O	89.0	80.5
Hydrogen	H	11.0	9.7
Carbon	C	0.0012	6.5
Silicon	Si	0.00065	1.3
Nitrogen	N	0.000023	0.7
Calcium	Ca	0.0015	0.4
Potassium	K	0.00023	0.3
Phosphorus	P	0.000001	0.08
Magnesium	Mg	0.0004	0.07
Sulfur	S	0.06	0.06
Sodium	Na	0.0006	0.04
Iron	Fe	0.00007	0.02

Zákon minima: limitujícím prvkem pro růst rostlin je ten prvek, který je v prostředí v minimu

Stupně trofie

Trofický stav	Koncentrace celkového fosforu ve vodě ($\mu\text{g/L}$)
Oligotrophic	$< 10 \mu\text{g/L}$
Mesotrophic	$10-30 \mu\text{g/L}$
Eutrophic	$30-100 \mu\text{g/L}$
Hypertrophic	$> 100 \mu\text{g/L}$

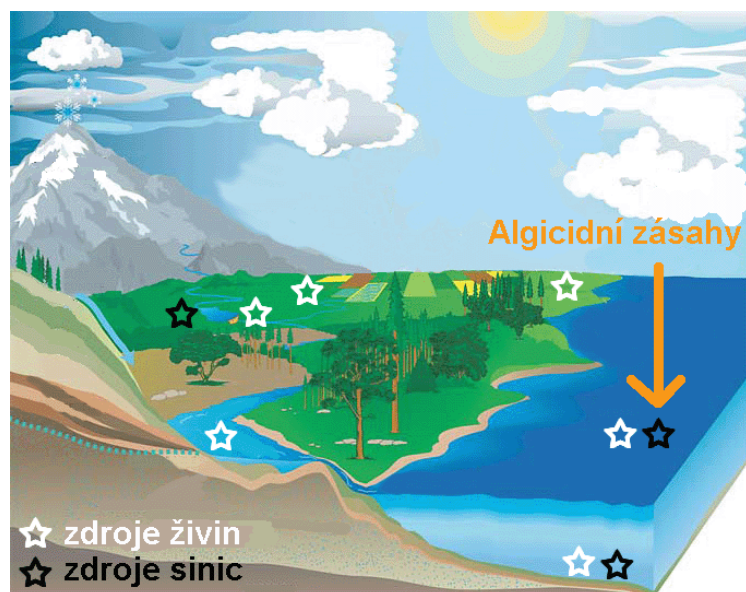
Pro masový rozvoj sinic postačuje koncentrace fosforu cca 20-25 $\mu\text{g/L}$

Brněnská přehrada: 200-300 $\mu\text{g/L}$

Plumlov: 40-50 $\mu\text{g/L}$

Máchovo jezero - 20-30 $\mu\text{g/L}$

Zdroje fosforu a sinic (nejen) v nádržích



Zdroje fosforu v povodí nad nádrží

Bodové zdroje - lidská sídla (města, vesnice)

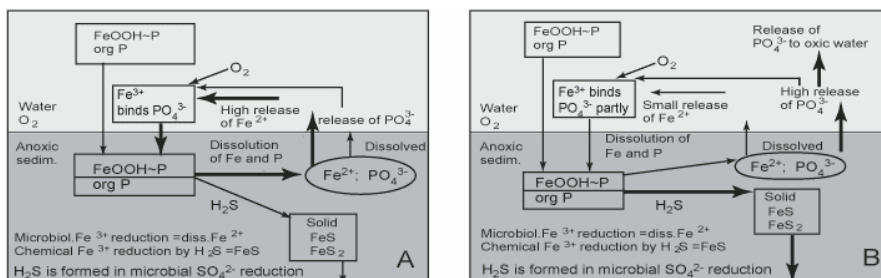
- průmyslové závody
- zemědělské objekty
- čistírny odpadních vod!
- rybníky... atd.

Difuzní zdroje - atmosferický spad

- geologické podloží
- roztroušená sídla
- pole ... atd

Zdroje fosforu v nádrží

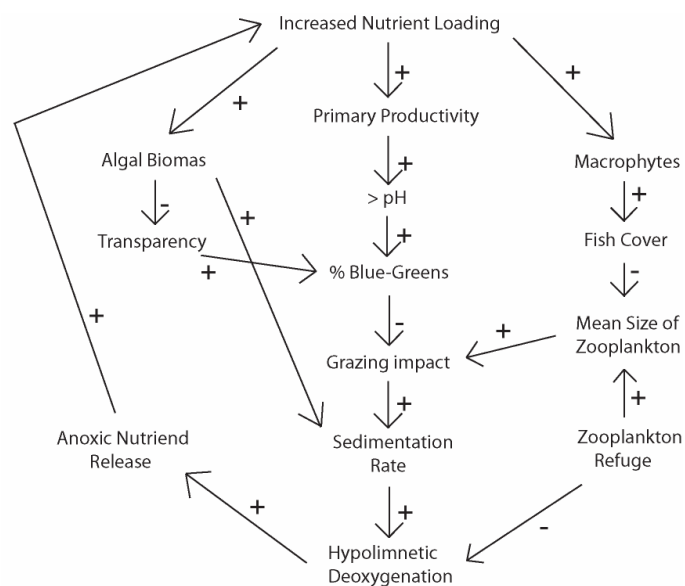
- Biomasa - řasy, rostliny, sinice, zooplankton, ryby ...
- Sediment - zásobárna fosforu nádrží
 - zpětné uvolňování do vodního sloupce za anoxických podmínek (role dusičnanů)

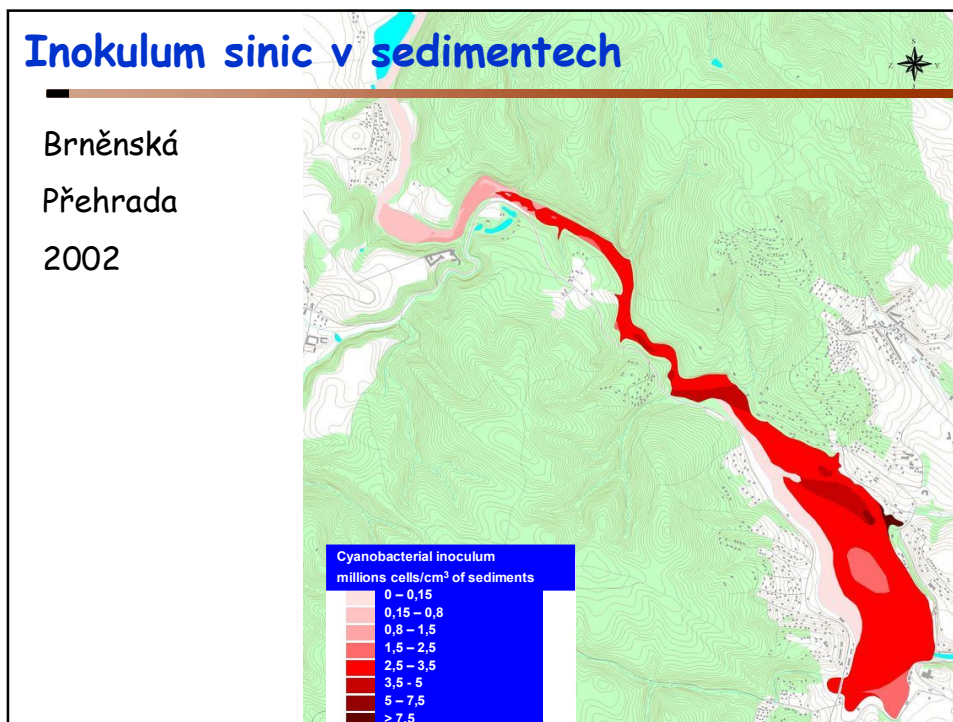


Zdroje sinic

- Sinice jsou přirozenou součástí nádrží, avšak bez „pomoci“ člověka by se nikdy **znovu** nestaly dominantní skupinou autotrofů
- Povodí nad nádrží - rybníky, přehrady s masovým rozvojem sinic
- Sedimenty v nádržích s masovým rozvojem sinic

Vliv živin na potravní řetězec nádrže





Snižování koncentrace fosforu v povodí

- Výstavba ČOV s terciálním stupněm čištění
- Zákaz používání fosfátových prášků a mycích prostředků
- Technická protierozní opatření
- Vrstevnicové hospodaření
- Ochranné travní pásy
- Zajištění úniků živin z farem
- Terasy a meze
- Decentralizované čištění odpadních vod
- Nevegetační stabilizace půdy
- Protipovodňová opatření v citlivých oblastech

Snižování koncentrace fosforu v nádrži

- Aplikace železa/hliníku
- Aplikace vápna
- Využití jílu
- Hypolimnické upouštění



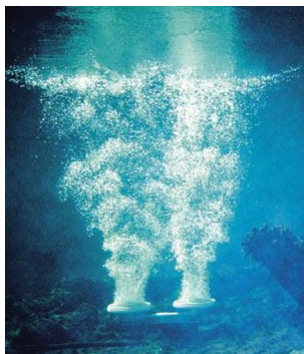
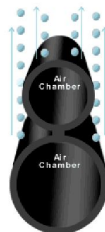
Snižování koncentrace fosforu v nádrži



Ošetření sedimentů

- Překrývání sedimentů - aktivní bariéry
- pasivní bariéry
- Odstraňování sedimentů - sací bagry (Vajgar)
- Oxidace sedimentů - Riplox
- provzdušňování
- Aplikace bakterií

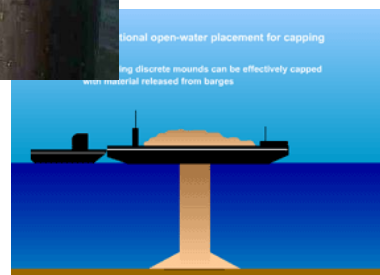
Ošetření sedimentů



Ošetření sedimentů



Application of Composite Aggregate Capping Material Using a Helicopter

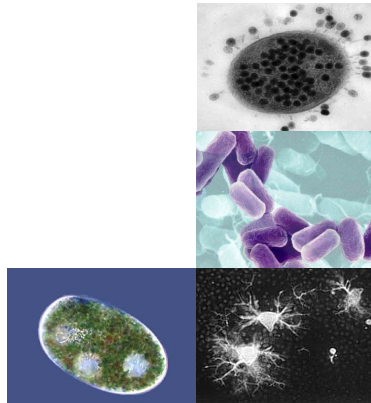


Ošetření sedimentů



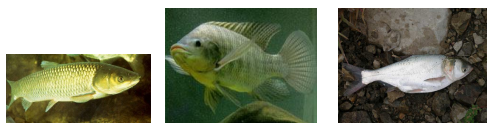
Regulace struktury biotický vztahů

- Využití mikroorganismů pro omezení masového rozvoje sinic
- Viry
- Bakterie
- Řasy
- Prvoci
- Houby a houbové organismy



Regulace struktury biotický vztahů

- Využití rybí obsádky
- Přímá predace planktofágních ryb - ichtyoeutrofizace (Tilapie?)
- Redukce bentofágních ryb (kapr, candát, cejn)
- Podpora dravých ryb (okoun, štika...) = podpora růstu vyšších rostlin



Regulace struktury biotický vztahů

- Využití makrovegetace
- Podpora rozvoje litorální vegetace → redukce živin (N, P), stabilizace ekosystému
- Odstranění nežádoucích látek (kumulace těžkých kovů, pesticidů aj.)
- Produkce alelopatických látek inhibujících růst sinic (*Myriophyllum* sp.)



Aplikace algicidních přípravků

Zásahy (pomocí algicidních přípravků) proti autotrofním organismům v eutrofních vodách je finančně náročný a nevede k dlouhodobým efektům pokud nejsou odstraněny živiny v povodí nad nádrž! Ale...

Proč se tedy provádí algicidní zásahy?

- Máchovo jezero
- Založeno Karlem IV 1366
- Rozloha 284 ha
- 1928 otevřena první pláž
- Denně návštěva až 30.000 lidí za účelem rekreace



Algicidní zásahy

Výhody

- Rychlý účinek
- Relativně levné
- Snadná manipulace
- Dostupnost

Nevýhody (Rizika)

- Toxicita pro necílové organismy
- Akumulace v životním prostředí
- Vznik rezistence
- Kyslíkový deficit na dně nádrže
- Uvolňování toxinů

Algicidní látky

- Přírodní látky - ječná sláma, Myriophyllum, výluhy rostlin (listový opad)
- Algicidy první generace - skalice modrá, dusičnan stříbrný, manganistan draselný
- Algicidy druhé generace - většinou komerční přípravky biologicky rozložitelné, selektivní vůči řasám/sinícím, nezanechávají rezidua v ekosystému
- Koagulanty - síran hlinitý, polyaluminium chlorid, síran železitý (snižují obsah živin ve sloupci, schopny i odstraňovat buňky sinic)