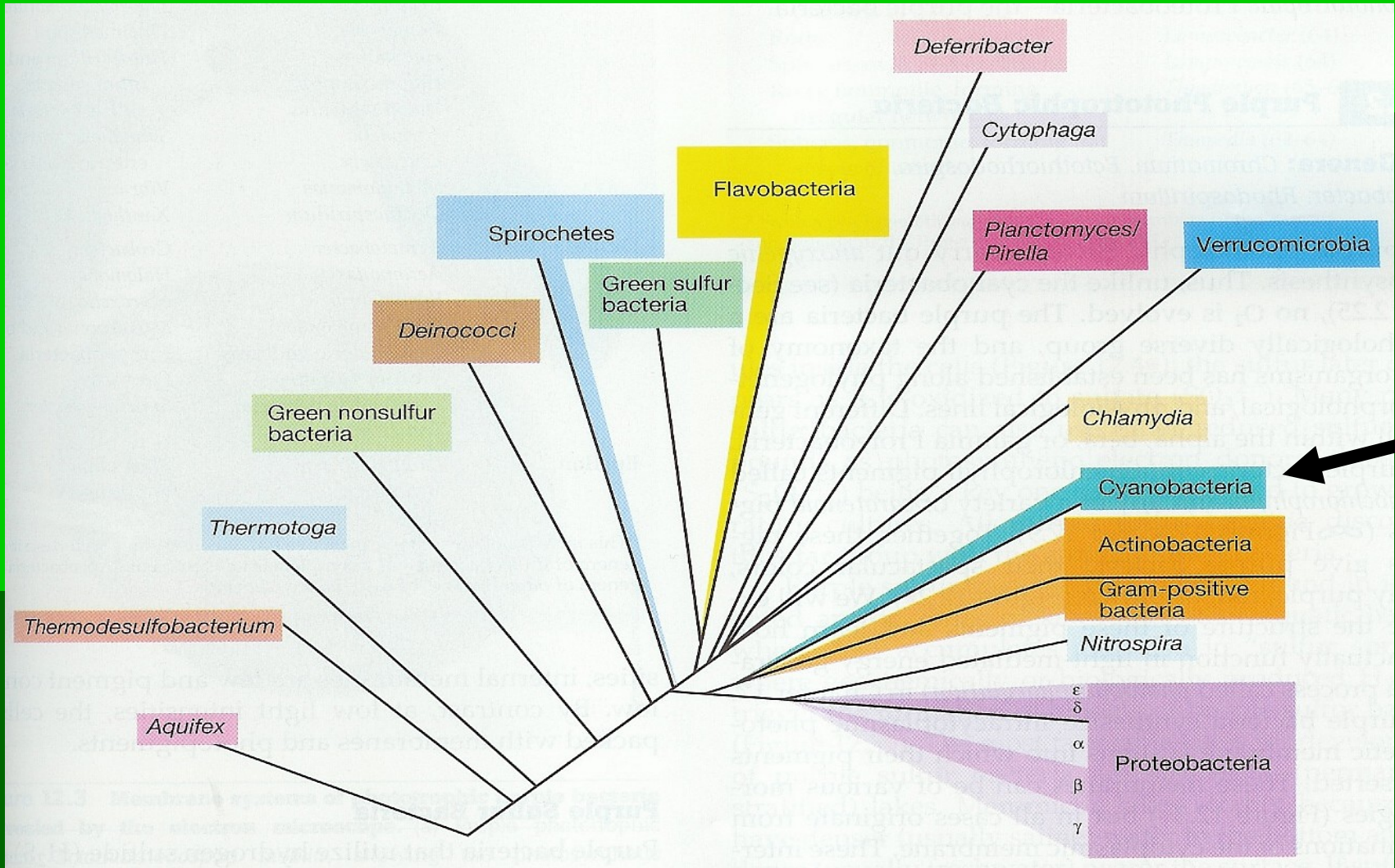


**Sinice**

# Fylogenetický strom - BACTERIA



Strom je odvozen na základě sekvenční 16S ribozomální RNA (<http://rdp.cme.msu.edu>)

# Kmen

## ***CYANOBACTERIA*** ***(CYANOPHYTA) - SINICE***

- patří de facto mezi gramnegativní bakterie
- autotrofní prokaryotické organismy s jednobuněčnou nebo vláknitou stélkou
- sdružováním buněk mohou vznikat kolonie

# Sinice

- jsou to nejstarší fotosyntetizující organismy (3.5 miliardy let – prekambrium)
- patrně hrály rozhodující úlohu ve vytváření kyslíkaté atmosféry na Zemi
- vzhledem ke své jednoduché stavbě mají obrovskou schopnost přežívat nepříznivé podmínky
- proto se vyskytují v téměř všech biotopech na Zemi, včetně extrémních stanovišť (horké prameny, pouště, polární oblasti atd.)

# Sinice

- nejstarší nálezy zkamenělin, které jsou pravděpodobně sinice, pochází z Apex Basalt ze západní Austrálie a jsou staré 3,5 miliardy let
- zkameněliny připomínající sinice a vykazující i chemické známky oxygenní fotosyntézy jsou považovány za důkaz nejstarší fotosyntézy – 2,7 miliardy let
- nejstarší sinice, kterou bylo možno na základě morfologických znaků popsat jako regulérní druh, je *Euenthophysalis belcherensis*, a je stará 2 miliardy let (Kanada)
- nejstarší známé akinety staré 1-1,6 miliardy let
- první baeocyty jsou staré 700 miliónů let

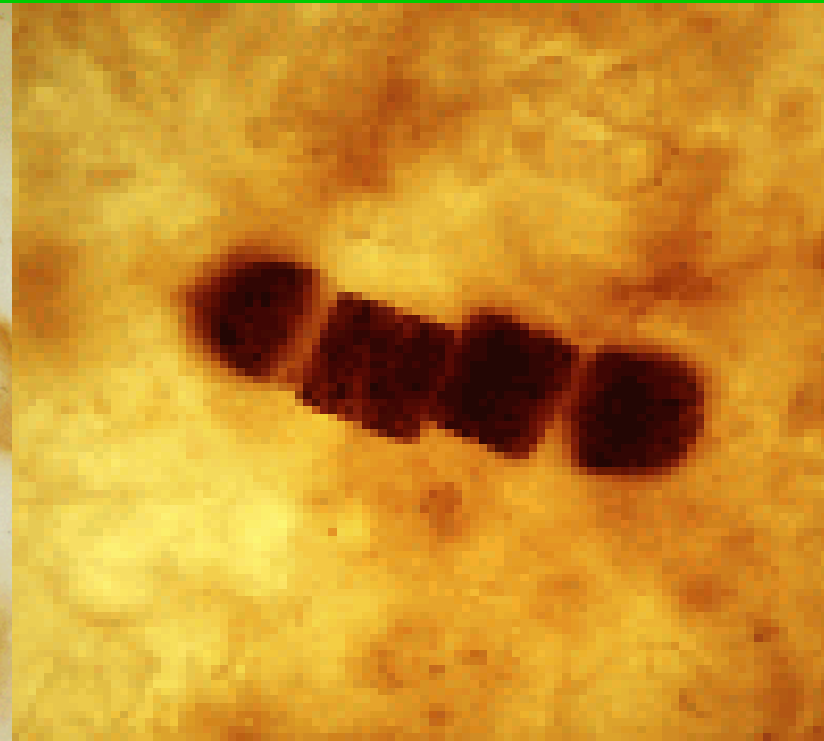
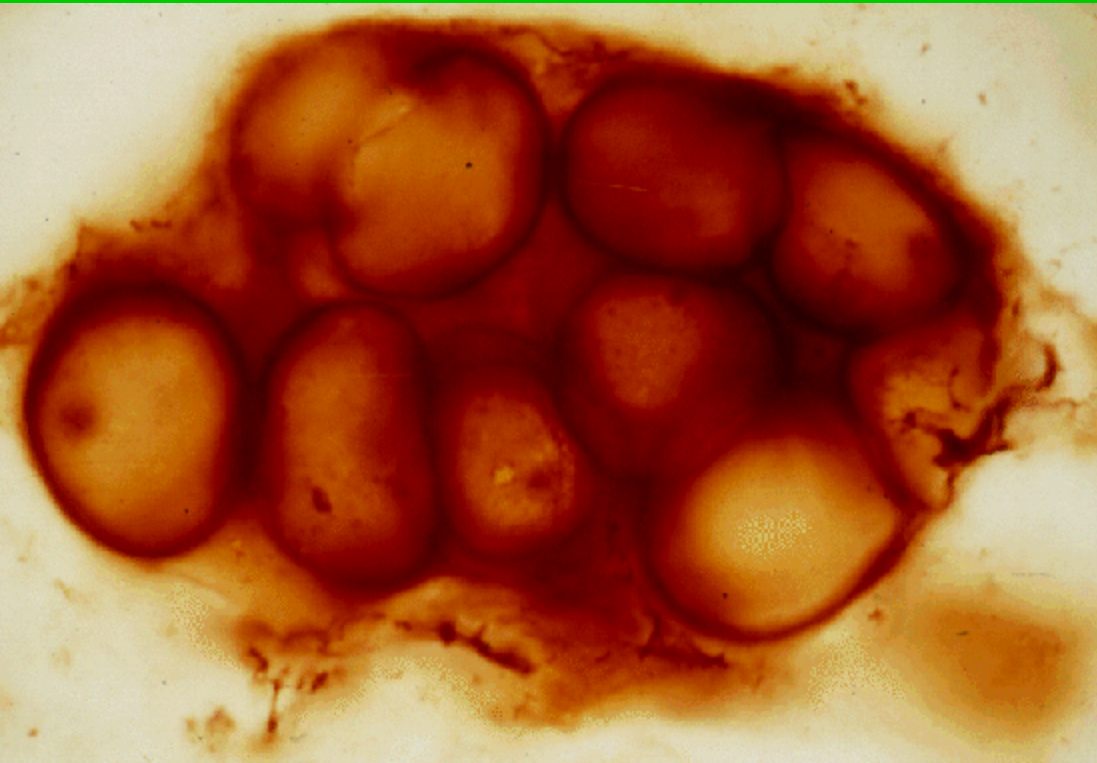


kolonie *Nostoc pruniforme*.



Oncolites; Guilmette Formation (Late Devonian) near Hancock Summit, Pahrnagat Range, Nevada.

# Sinice

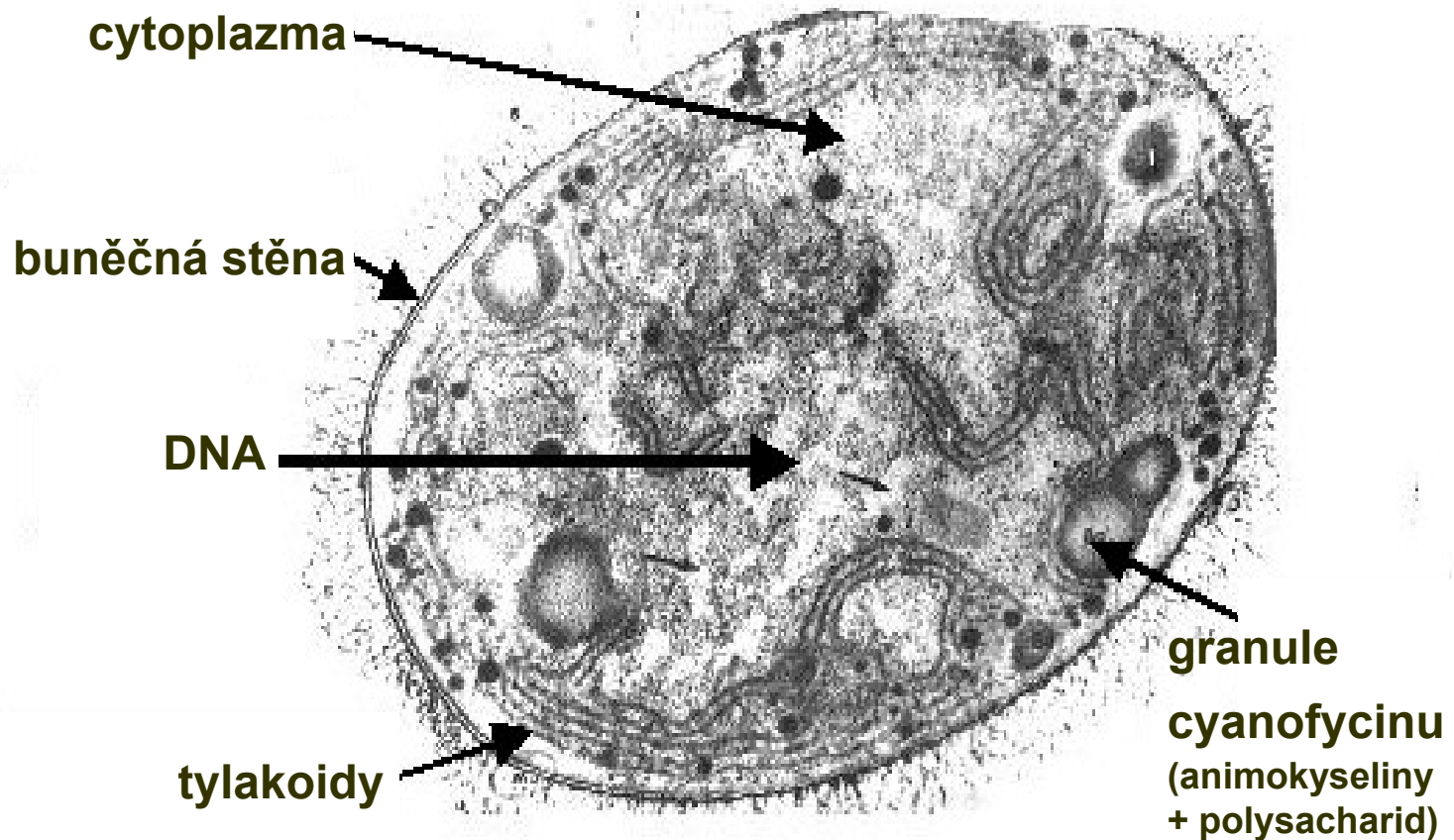


Fosilní sinice r. *Palaeolyngbya* z Bitter Spring v Austrálii, 850 milionů let stará.

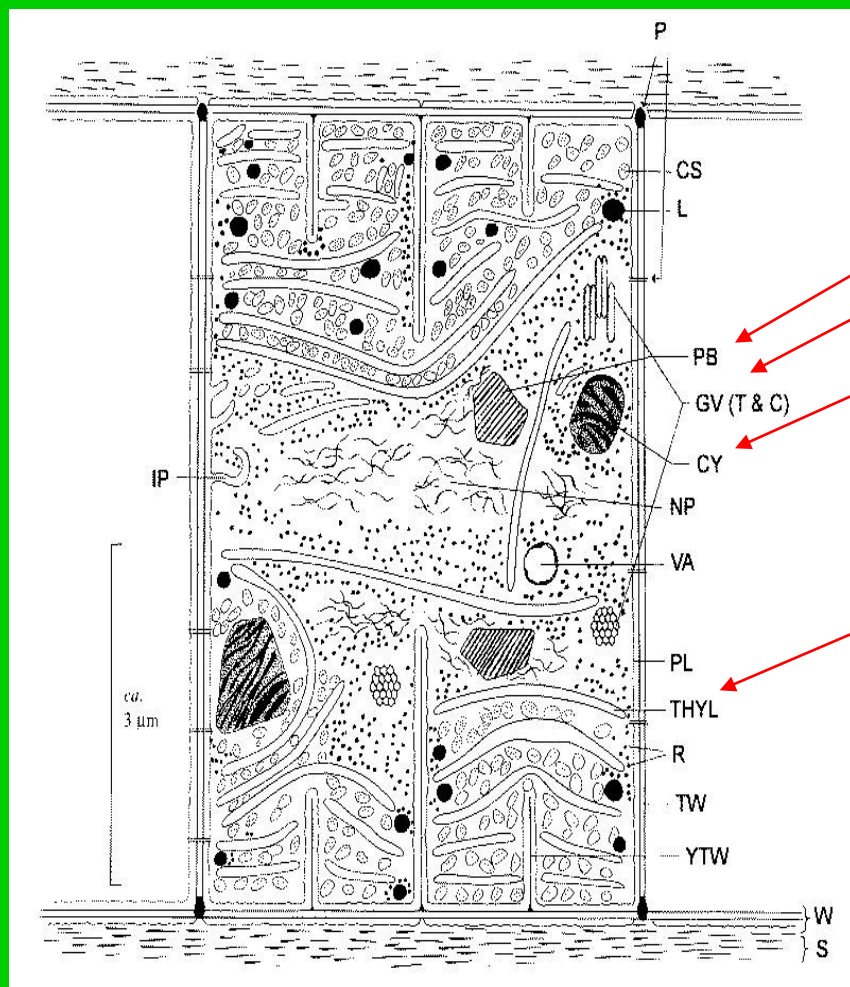
On the left is a colonial chroococcalean form, probably *Myxococcoides minor*, on the right is the filamentous *Palaeolyngbya*.



# Sinice – stavba buňky



# Sinice – stavba buňky



- P...póry
- CS...granule sinicového škrobu
- L...lipidové kapénky
- PB...karboxyzómy
- GV ... aerotopy (gasvesiculy), příčný a podélný řez
- CY...granule cyanofycinu
- NP...nukleoplazma
- VA...útvár analogický vakuolám, který ale není obklopen tonoplastem
- PL...plasmalema
- THYL..thylakoid
- R..ribozomy
- TW..buněčná přepážka mezi sousedními buňkami ve vlákně
- YTW...tvořící se buněčná přepážka
- W...buněčná stěna
- S...slizová pochva
- IP...vchlípenina plazmalemy.

Podélný řez buňkou *r. Pseudanabaena*

# Struktura buňky - buněčná stěna

- je složena ze dvou různých vrstev  
vnější vrstva je lipoproteinová  
vnitřní tvoří peptidoglykan
- mezi nimi byla u některých sinic nalezena vrstva klouzavých  
mikrofibril, umožňujících drkání
- Na povrchu stěny bývá vrstva slizu  
často vrstevnatého  
a je občas intenzívně zbarven (hlavně to bývá karotenoid  
scytonemin, ale i jiné karotenoidy)

# Struktura buňky –

## cytoplazmatická membrána

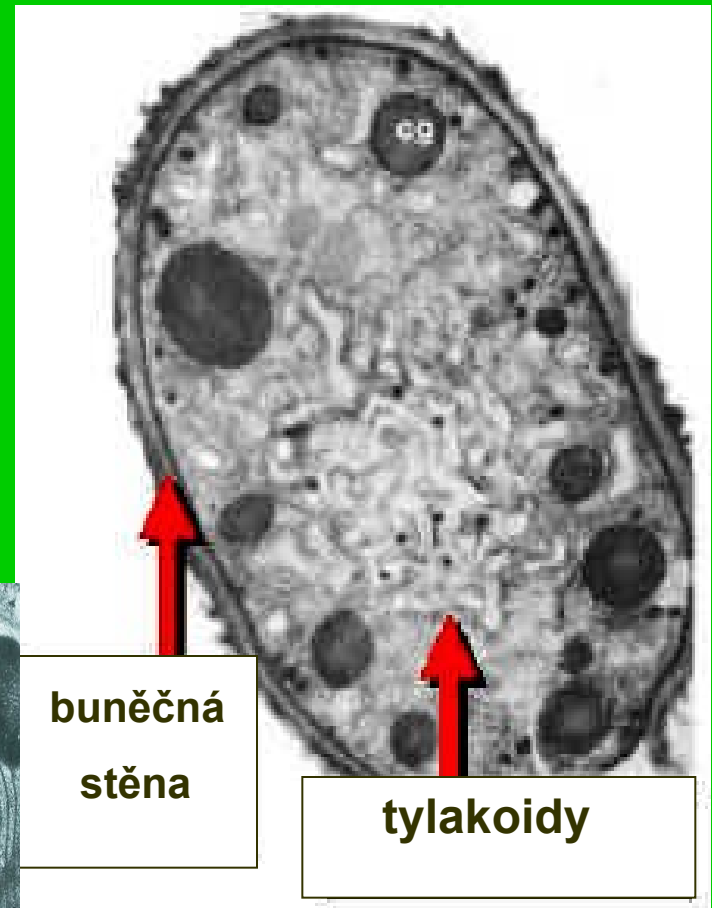
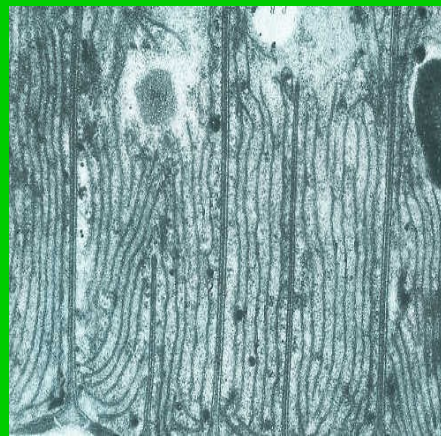
- plazmatická membrána slouží k aktivnímu transportu iontů a exkreci látek
- zahajuje oddělování dceřiných protoplastů při dělení
- je sídlem dýchacích enzymů a patrně z ní se odškrcojí thylakoidy (to není jisté, ale u *Gloeobacter violaceus* , která nemá thylakoidy, byly fotosyntetické pigmenty a složky fotosystému nalezeny právě v plazmatické membráně)

# Struktura buňky - nukleoid

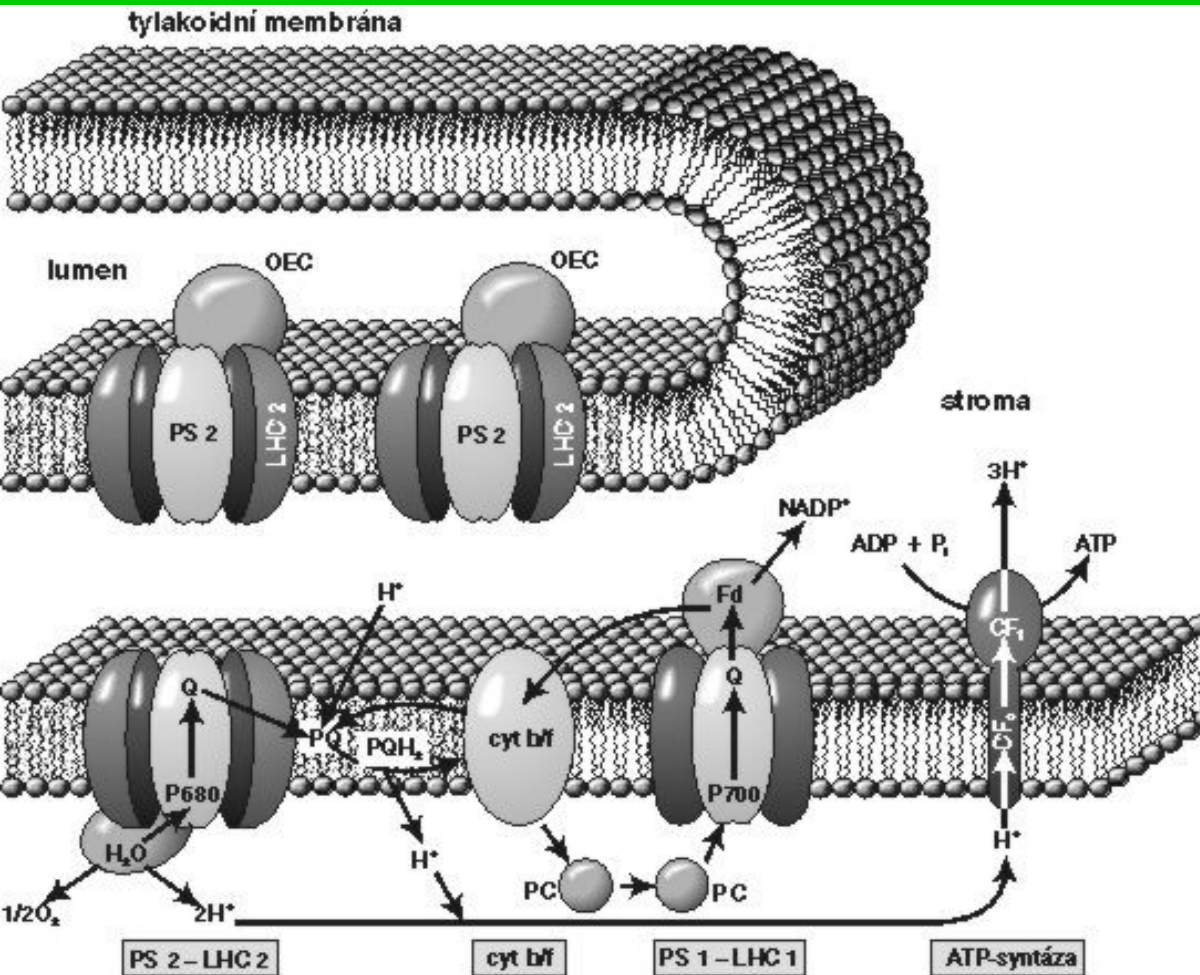
- DNA je uložena v nukleoplazmatické oblasti (centroplazma), kde tvoří uzavřený kruh; nejsou přítomny histoproteiny
- nukleoid je uložený volně v plazmě a připojený pomocí RNA a bílkovin k plazmatické membráně => zajištění “rovnoměrného rozdělení nukleoidu“ při dělení buňky

# Struktura buňky - tylakoid

- je nejnápadnějším útvarem uvnitř buňky
- jsou to ploché váčky s fotosyntetickým aparátem.
- uspořádány jsou několika základními způsoby, což je patrně fylogeneticky významné
- v membráně thylakoidu jsou obsaženy chlorofyl a,  $\alpha$ - i  $\beta$ - karoten a xanthofyly (echinenon, myxoxanthofyl, zeaxanthin)



# Bílkovinné komplexy tylakoidních membrán



## PS -chlorofylbílkovinné komplexy

Pro procesy fotosyntetického transportu elektronů a fotosyntetické fosforylace (fotofosforylace) jsou tedy nezbytné čtyři bílkovinné komplexy tylakoidních membrán PS1, cyt. b/f, PS2 a CF.

OEC - komplex uvolňující kyslík

PS - fotosystém (photosystem; reakční centrum, dřevňový komplex)

LHC - světlosběrný komplex (light harvesting complex; u LHC2 vyznačena jeho periferní - mobilní a vnitřní - imobilní část)

Cyt b/f - komplex cytochromů

CF0/CF1 - ATP syntéza (coupling factor)

P680, P700 - pigment centra fotosystému (s udáním maximem absorpce)

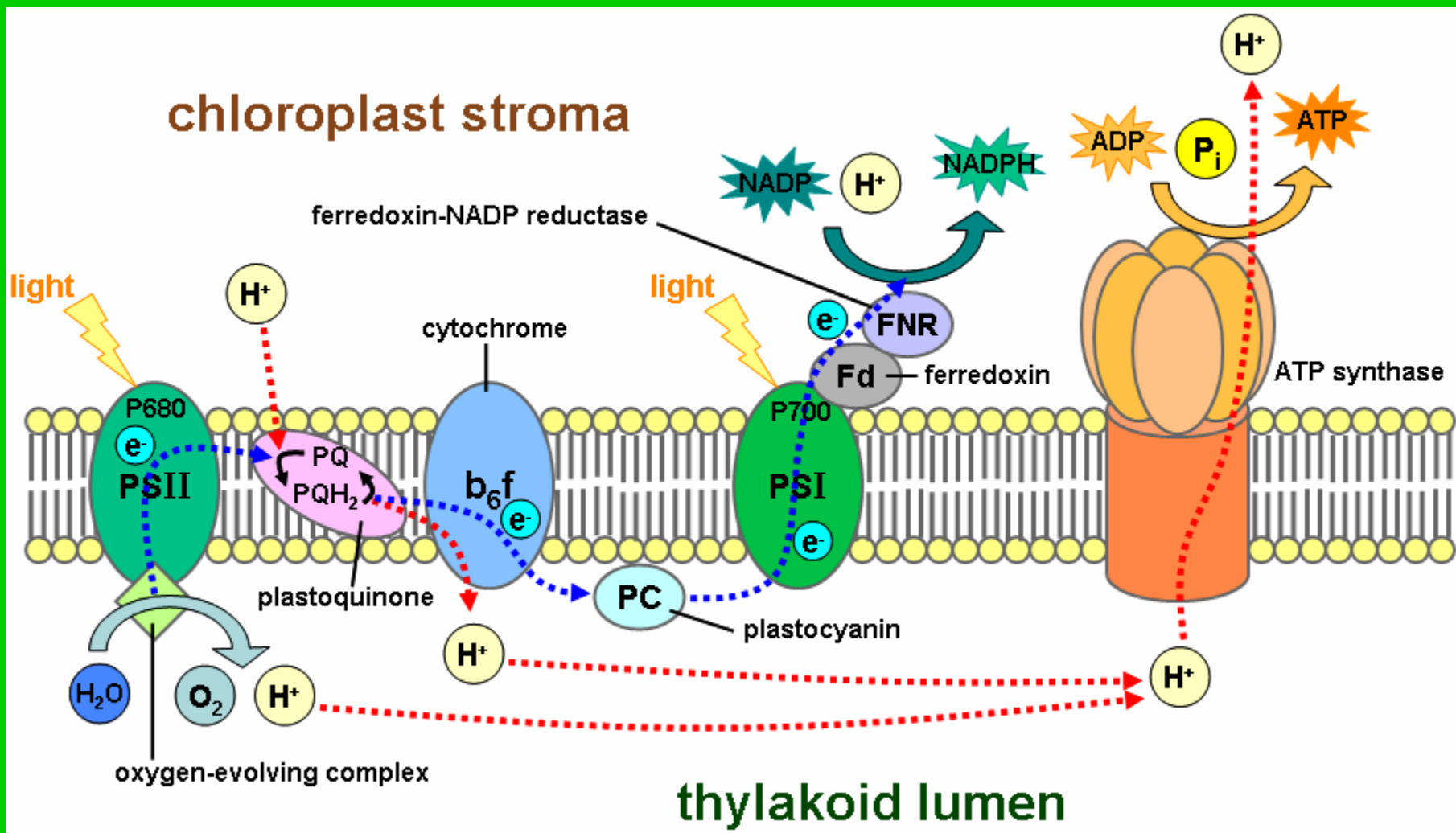
PQ - plastochinon (plastoquinone)

Q - chinon (quinone),

PC - plastocyanin,

Fd - ferredoxin

# Bílkovinné komplexy tylakoidních membrán





# Bílkovinné komplexy tylakoidních membrán

V části přenosu, na plastochinonu, jsou spolu s elektrony přenášeny také protony. Tento mechanismus přispívá k hromadění protonů uvnitř (v luminech – od „lumen“, světlost) tylakoidů.

Gradient koncentrace vodíkových iontů je rušen tak, že se protony vracejí do stromatu kanálem chloroplastové ATP-syntázy, která katalyzuje syntézu ATP na úkor nahromaděné potenciální energie protonů.

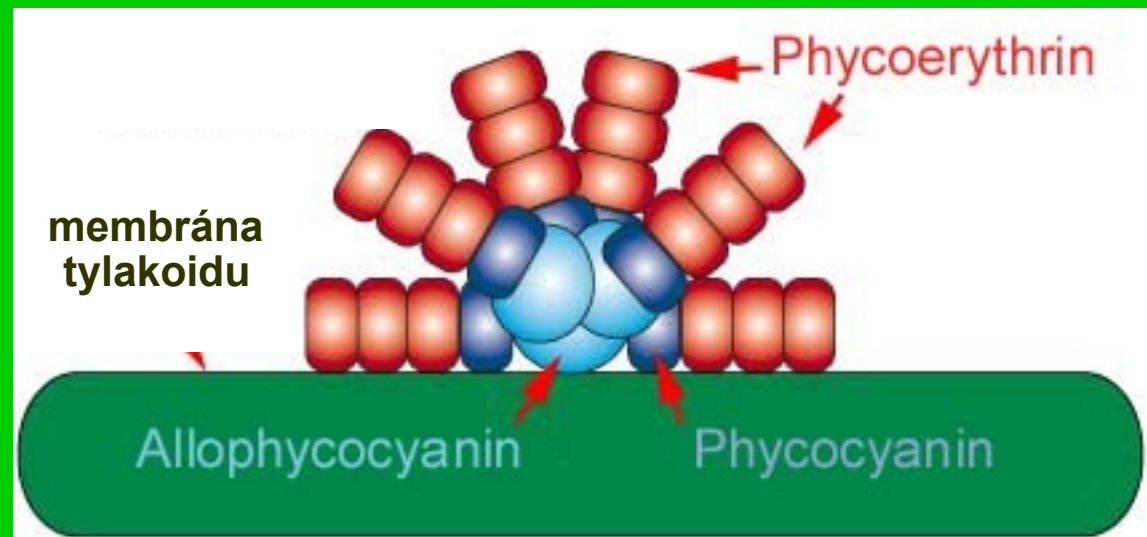
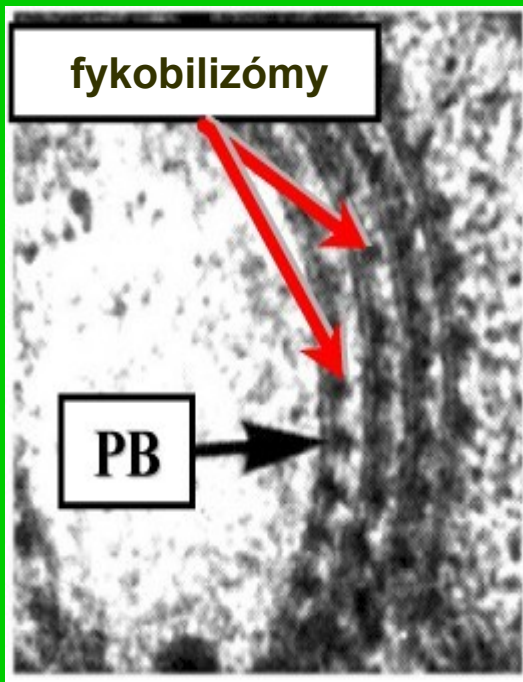
Chloroplastová ATP-syntáza bývá také nazývána spojovací nebo spřahovací faktor (coupling factor, CF, CF<sub>o</sub> /CF<sub>1</sub>), protože spojuje fotosyntetický přenos elektronů a protonů s tvorbou ATP fotosyntetickou fosforylací.

Komplexy CF jsou patrné elektronmikroskopicky jako částice na povrchu tylakoidních membrán.

Vedle popsaného acyklického přenosu elektronů od vody k NADP může probíhat také cyklický přenos, spojený pouze s PS 1 a produkující pouze ATP, nikoliv NADPH. Na obr. je naznačeno, že tylakoidy neleží ve stromatu vždy jednotlivě, ale mohou být k sobě přitisknuty (vytečkováno).

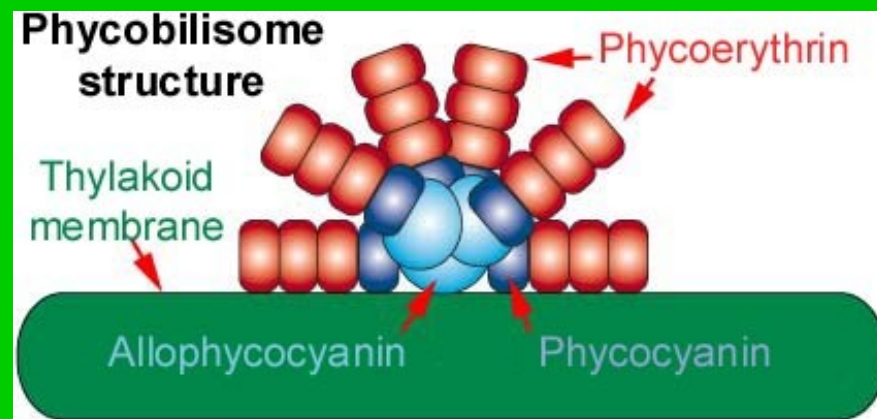
# Struktura buňky - thylakoid

- na povrchu thylakoidálního váčku se nachází tzv. **fykobilizómy** - drobné útvary obsahující specifická barviva- fykobiliny (fykobiliproteiny).



# Struktura buňky - fykobiliny

- fykobiliny jsou 3
  - dva jsou modré pigmenty (c-fykocyanin a allofykocyanin)
  - jeden je červený (c-fykoerythrin)
- pigmenty plní funkci světlosběrné antény
- značná citlivost tohoto typu světlosběrné antény umožňuje m.j. fotosyntézu sinic při velmi nízké hladině osvětlení – hluboko pod hladinou vody, v půdě, v jeskyních atd.



# Struktura buňky - **fykobiliny**

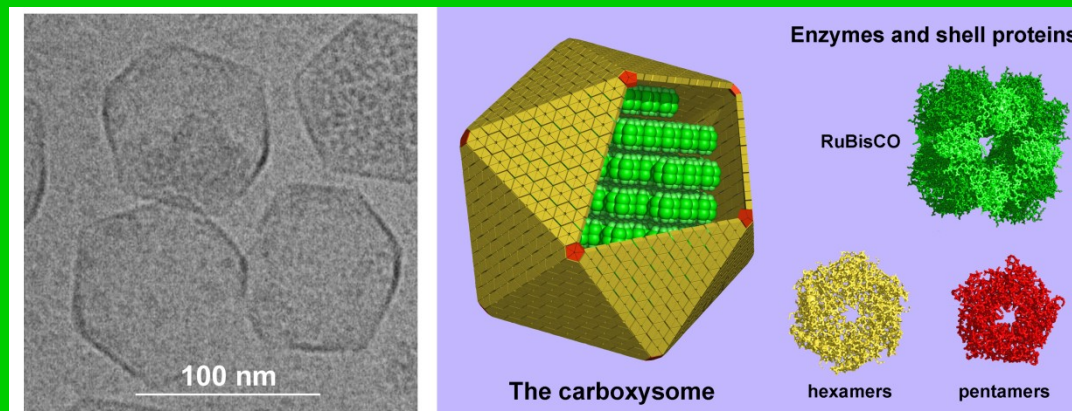
- poměr fykoerythrinu a fykocyaninu určuje vlastní barvu sinicové buňky
- jejich poměr však nemusí být stabilní a často se mění podle momentálních okolních podmínek
- tento jev se nazývá **chromatická adaptace**
- adaptace umožňuje sinicím žít při světelných poměrech, které by nepřežil jiný fotosyntetizující organismus – přezáření, nedostatek světla a jejich časté změny – např. na smáčených stěnách atd.

# Sinice - fotosyntéza

- **fotosyntéza** je rostlinného typu - vstupní látky  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$ , při reakci je uvolňován kyslík
- některé sinice jsou fakultativně anaerobně fototrofní - v anaerobních podmínkách jsou schopny využívat jako zdroj elektronů  $\text{H}_2\text{S}$  namísto  $\text{H}_2\text{O}$  => v jejich buňkách se pak ukládá síra
- sinice jsou jediné prokaryotické organismy **uvolňující** při fotosyntéze **kyslík** do prostředí - v prahorách měly rozhodující zásluhu na přeměně původní bezkyslíkaté atmosféry (převažovaly  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ )

# Struktura buňky - karboxyzómy

- jsou drobná tělíčka ve tvaru mnohostěnu
- obsahují enzym **RUBISCO**, který je zodpovědný za fixaci  $\text{CO}_2$  v Calvinově cyklu
- karboxyzómy jsou analogií pyrenoidů vyskytujících se u eukaryot

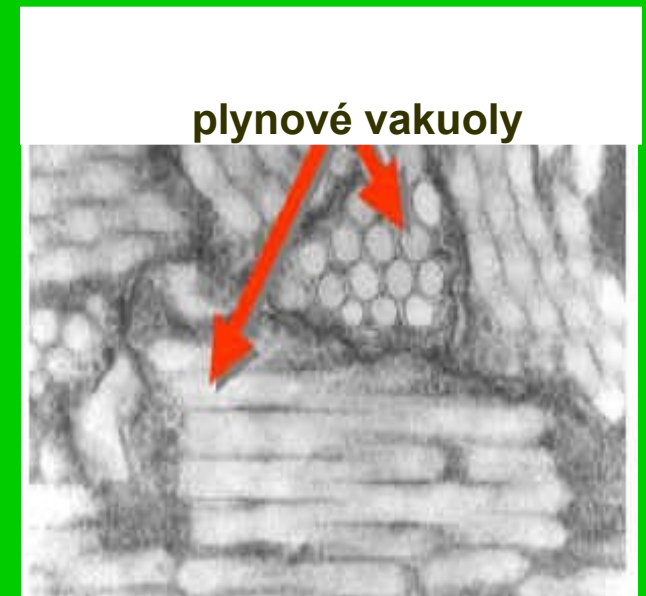


# Struktura buňky - **inkluze**

- škrobová zrna - zásobní látka  
(tzv. sinicový škrob -  $\alpha$  1,4 glukán)
- polyfosfátová granula
- cyanofycinová zrnka (polymerovaný arginin s kys. asparagovou + polysacharid)

# Struktura buňky - aerotopy

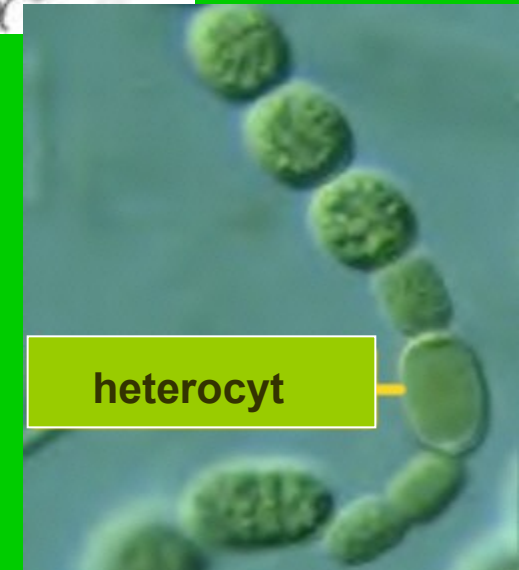
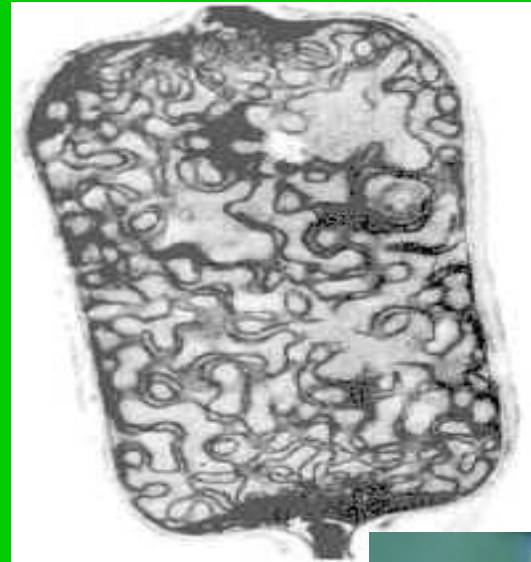
- neboli **gasvezikuly**. Mají válcovitou strukturu ve tvaru mnohostěnu
- v buňce je jich většinou přítomno mnoho
- na příčném průřezu připomínají včelí plást
- jejich stěna je složená z **glykoproteinů**
- je propustná pro všechny plyny rozpuštěné ve vodě
- směs plynů uvnitř aerotopů pak sinice nadlehčuje a umožňuje jim snadno splývat ve vodním sloupci
- tyto orgány jsou jedinou strukturou v živých buňkách, která je naplněná plynem
- sinice si je mohou tvořit a dezorganizovat v závislosti na abiotických faktorech prostředí a tím regulovat svoji polohu ve vodním sloupci





# Struktura buňky - heterocyty

- jsou to tlustostěnné buňky( větší než jsou buňky vegetativní)
- v optickém mikroskopu se jejich obsah jeví jako prázdný, ale fotosystém I (ten,co “nedělá“ kyslík) v nich funguje
- vznikají z vegetativních buněk
- za účasti nitrogenázy se v nich fixuje vzdušný dusík, vzniká amoniak, ten je vázaný jako glutamin a v této formě je transportován do sousedních buněk



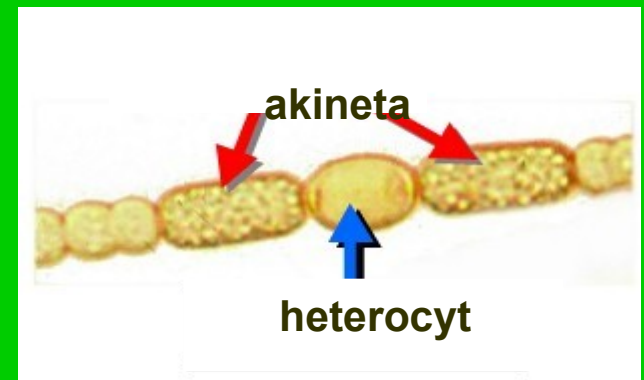
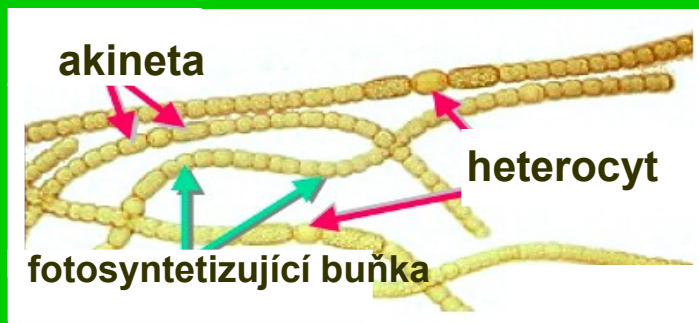
# Struktura buňky - heterocyty

- v případě dusíkového hladovění (nedostatek dusičnanů a amoniakálních solí v prostředí) dochází k přeměně vegetativních buněk na heterocyty (a naopak)
- heterocyty **nemají** dlouhou životnost => posléze vakuolizace a rozpad buňky (=> u vláknitých sinic může dojít k přerušení vlákna)
- **schopnost fixace dusíku i u sinic netvořících heterocyty**: v běžných vegetativních buňkách funguje nitrogenáza v době, kdy neprobíhá fotosyntéza (typicky temná část dne; na světle je uvolňovaným kyslíkem inaktivována a s nástupem tmy resyntetizována)



# Struktura buňky - arthrospory

- **arthrospory (akinety)** - trvalé, odpočívající, tlustostěnné buňky vznikající z jedné nebo více vegetativních buněk v případě nedostatku živin, nízkých hodnot teploty či osvětlení nebo ve stárnoucí populaci
- jejich metabolická aktivita je omezena asi na 10% aktivity vegetativní buňky
- v cytoplasmě akinety je vysoký obsah zásobních látek
- je známo, že akinety r. *Nostoc* přežily usušené v herbáři 86 let



# Struktura buňky - stélka

- sinice tvoří několik typů stélek
- nejjednodušším typem stélky sinic jsou jednobuněčné typy. Ty jsou často obaleny slizem a sdružují se do kolonií, pravidelných nebo nepravidelných



kolonie *Nostoc*



kolonie *Gleotricha*



# Struktura buňky - stélka

- vláknité typy můžou být buď
  - nevětvené (*Leptolyngbya, Phormidium*)
  - nepravě větvené (vlákna jsou spolu spojena jen slizovou pochvou a ne fyziologicky - *Scytonema*)
  - pravě větvené (*Stigonema, Fischerella*)
- všechny typy vláken mohou být buďto bez slizové pochvy – pak se označují obvykle jako **trichom** nebo obalené slizem – tzv. **filament**



# Sinice – tvorba stromatolitů

- jedná se o víceméně hřibovité útvary, které vznikají usazováním především uhličitanu vápenatého v pochvách sinic



# Sinice – tvorba stromatolitů



Řez stromatolitem



Stromatolity v Hamelin Pond, Shark Bay, Australie

# Rozmnožování sinic

- jedině nepohlavní
- dělení buněk probíhá zaškrcováním plazmatické membrány
- některé sinice (*Chamaesiphon*) se dělí asymetricky – na konci stélky se vytvoří větší počet **baeocytů** (exospor)
- vláknité sinice se rozmnožují **hormogoniemi**



# Přehled systému sinic

\* současný systém je založen především na typu stélky

## Kmen *Cyanobacteria*

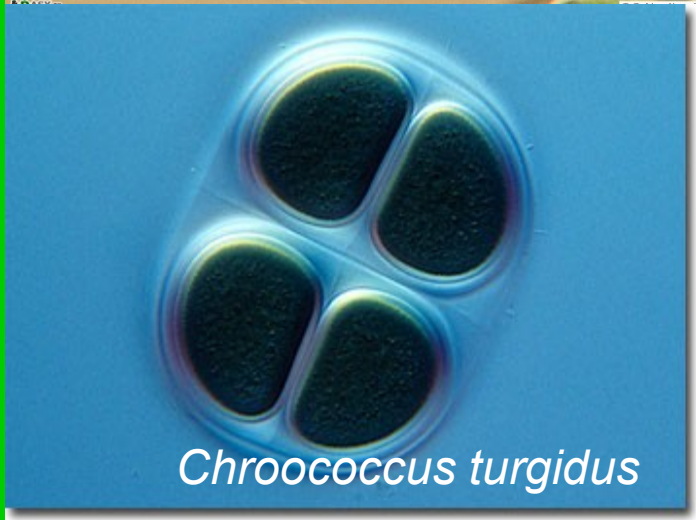
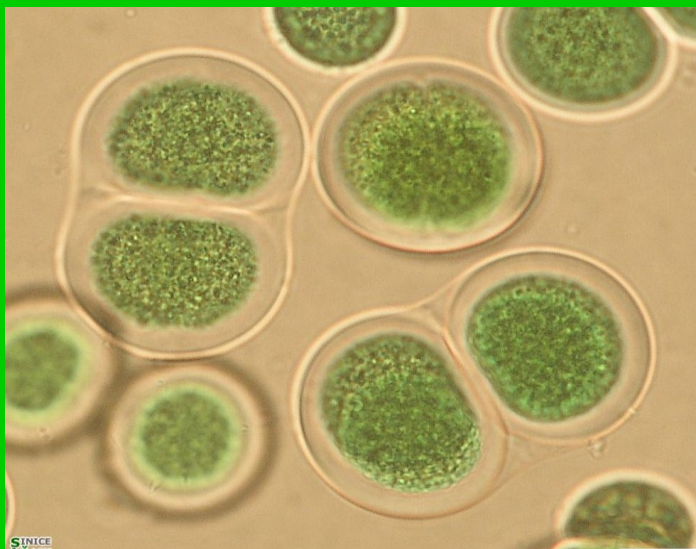
Oxigenní fotosyntetická prokaryota zahrnující jednu taxonomickou a fylogenetickou skupinu v doméně *Bacteria*, někdy nazývané též jako **klouzavé modrozelené bakterie**. Základní vlastností, která vymezuje všechny tyto mikroorganismy, je přítomnost dvou fotosystémů (**PSII a PSI**)

## Třída *Cyanobacteria*

### Pododdělení I (*Chroococcales*) -

reprodukcují se binárním dělením nebo pučením. Buňky jsou sférické, elipsoidní nebo tyčkovitého tvaru a rozmanité velikosti, vyskytují se jednotlivě nebo ve shlucích

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



*Chroococcus turgidus*

Kmen *Cyanobacteria*  
Třída *Cyanobacteria*  
Pododdělení I. *Chroococcales*  
Rod *Chroococcus*

## *Chroococcus*

je rod nápadný přilehlými těsnými pochvami, které uzavírají dvě nebo více generací dceřinných buněk. Jeho druhy rostou v rašelinných tůních, na vřesovištích, v planktonu, na vlhkých skalách a jsou běžná součást vodního květu.

Vyskytuje se především v čistých vodách, ale je možné jej najít i ve vodách s vyšší salinitou. Jeho taxonomické zařazení je značně obtížné (chyby v popise).

*Chroococcus* je významným ekologickým faktorem především pro svůj mohutný metabolismus (poutá kvanta CO<sub>2</sub>).

0.4 to 40μm

*Chroococcus giganteus* - 60μm

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



*Microcystis wesenbergii*



*Microcystis viridis*



Kmen *Cyanobacteri*

Třída *Cyanobacteria*

Pododdělení I. *Chroococcales*

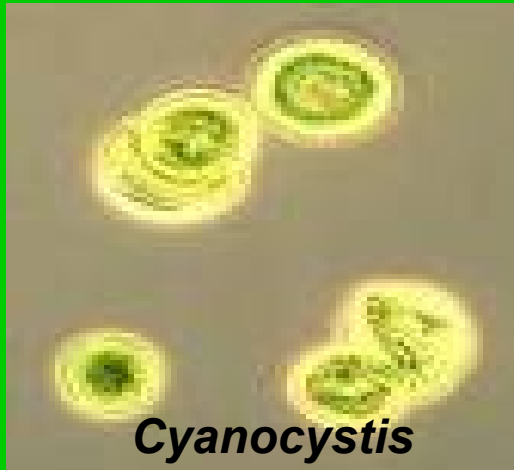
Rod *Microcystis*

se přirozeně vyskytuje v nízkých koncentracích v čistých vodách (jezerech a potocích), méně často v zasolených vodách, prakticky na všech kontinentech.

Za optimálních podmínek (hodně světla, klidné vody, v létě) obvykle tvoří “květ“ nebo agregáty buněk na hladině ve formě hustého “porostu“, který připomíná rozlitou zelenou barvu na hladině. Agregáty významně ovlivňují kvalitu vody. Jejich rozkladem se snižuje obsah rozpuštěného kyslíku (hypoxie-málo O<sub>2</sub> nebo anoxie-bez O<sub>2</sub>), což může vést k odumírání ryb.

Většina zástupců produkuje toxiny – mikrocytiny – označované jako hepatotoxiny a jsou známé i jako promotory některých tumorů. Při pití vody s obsahem mikrocytinů jsou časté symptomy – zvedání žaludku, pocity dávení a akutní příhody na játrech. Podobnými příznaky mohou trpět i domácí zvířata.

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Kmen *Cyanobacteria*

Třída *Cyanobacteria*

Pododdělení I. *Chroococcales*

Rod *Cyanocystis*

Buňky jsou sférické, jednotlivě nebo ve shlucích, připojené jedním koncem k substrátu. Kolem buněk je tenká pevná pochva.

Zbarvení buněk je modrozelené až olivově zelené nebo narůžovělé až červené.

Buňky jsou **bez aerotopů**.

Reprodukce je velmi rychlá se simultánním dělením buněk (mnohanásobné dělení), kdy vznikají malé buňky – **nanocyty**. Ty po připojení k podložce dorůstají na počáteční velikost a připravují se na další dělení. Bazální nanocyt zůstává obvykle spojen s nepravým myceliem.

Všechny druhy se vyskytují pouze ve vodném prostředí, připojené k substrátu nebo rostlinám.



# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

## Kmen Cyanobacteria

### Třída Cyanobacteria

#### Pododdělení II *Pleurocapsales*

Cyanobakterie zařazené do tohoto pododdělení se reprodukuje výhradně tvorbou malých kulatých buněk – **baeocyty**. Počet baeocytů kolísá od 4 do 1000.

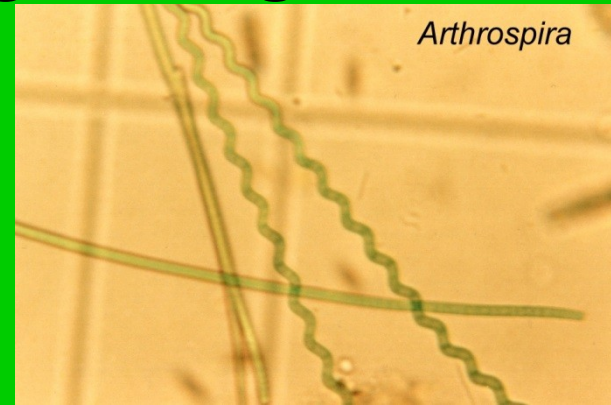
Vnější **buněčná stěna** těchto bakterií je složena **ze tří vrstev** (vláknitá struktura) na rozdíl od dvouvrstevné stěny typických G- bakterií.

**Vegetativní buňky** jsou nepohyblivé, v přírodě rostou na pevných anorganických i organických substrátech. Většinou se jedná o vodní prostředí (sladkovodní i mořské).

**Mohou růst** jako epifyty na řasách i na schránkách mořských bezobratlých.

Jiné jsou suchozemské a osídlují chladné i horké pouště.

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Kmen Cyanobacteria

Třída Cyanobacteria

Pododdělení III *Oscillatoriales*

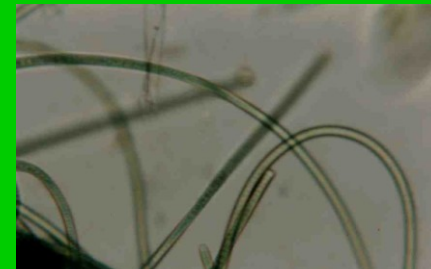
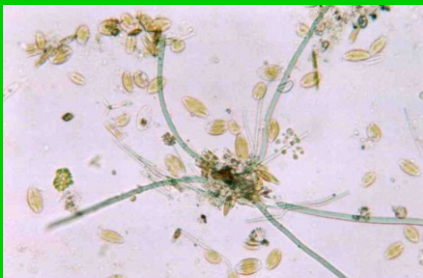
Skupina není fylogeneticky jednotná. Sdružuje vláknitá cyanobakteria, která prodělávají **binární dělení** jen v jedné rovině.

Produkují pouze vegetativní buňky a vyvolávají transcelulární trichomovou fragmentaci.

Když se krátké fragmenty několika buněk oddělí od zbytku trichomu vznikají hormogonie, které mohou oddělit, prodloužit se buněčným dělením a vytvořit pochvy. Hormogonia nejsou strukturálně odlišné od vegetativních trichomů.

Někteří zástupci se pohybují **klouzáním**.

Výskyt - sladká i mořská voda, plankton, bentická masa.



# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Kmen *Cyanobacteria*

Třída *Cyanobacteria*

Pododdělení III. *Oscillatoriales*

Rod *Oscillatoria*

*Oscillatoria* - drkalka

Kosmopolitní rod žijící na nejrůznějších stanovištích ve sladké i mořské vodě.

Má přímá nebo lehce zahnutá vlákna.

Netvoří heterocyty ani trvalé spory - akinety.

Pohybuje se zvláštním drkavým způsobem (oscilace), odtud český název (11  $\mu\text{m}/\text{sec}$ ).

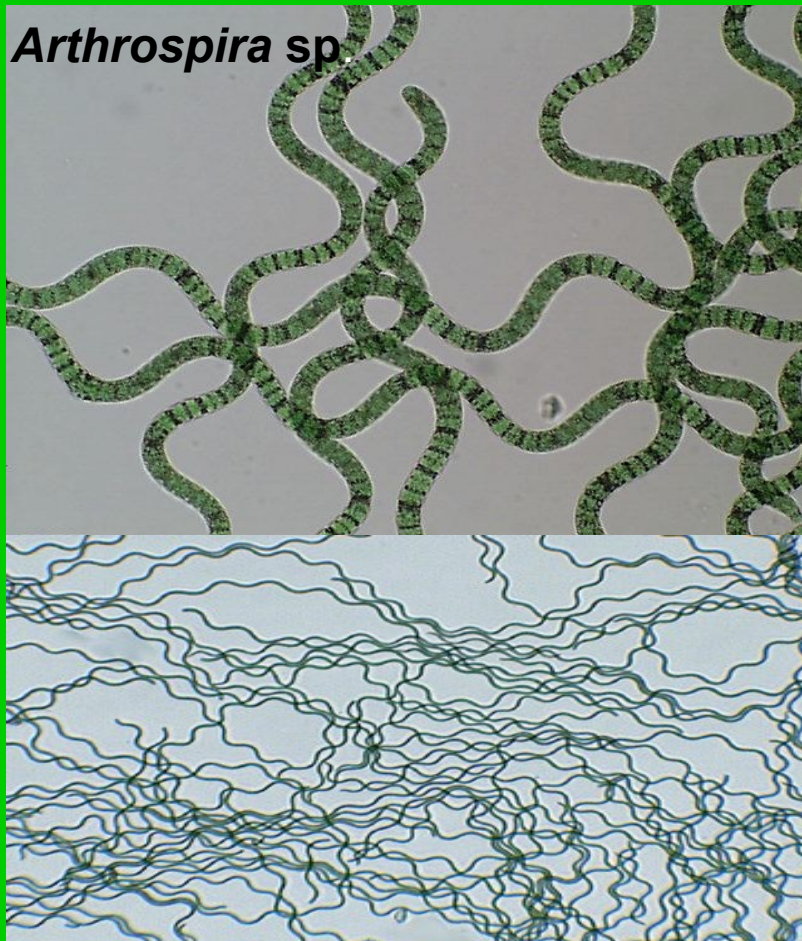


*Oscillatoria limosa* patří mezi naše všeobecně rozšířené drkalky.



**Oscillatoria**

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Kmen *Cyanobacteria*

Třída *Cyanobacteria*

Pododdělení III. *Oscillatoriales*

Rod *Arthrospira*

*Arthrospira* vytváří dlouhá spirálovitě stočená vlákna bez mukózní pochvy. Vlákna mohou být jednotlivě nebo jsou v slizovitých shlucích zbarvených modrozeleně, olivově zeleně nebo červeno-hnědě.

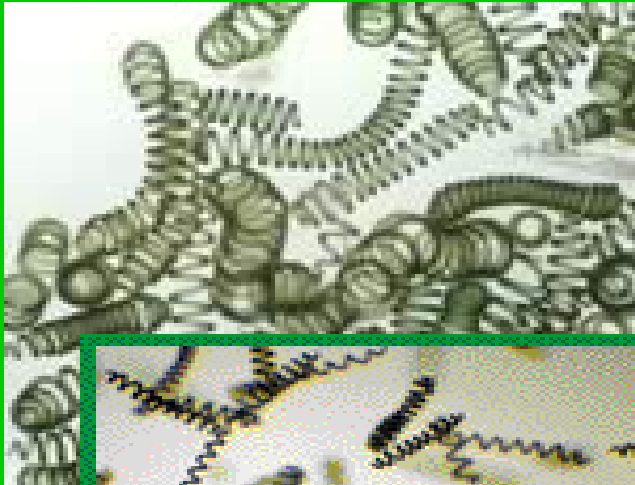
*Arthrospira* je obvykle nepohyblivá. Některé druhy se mohou pohybovat krouživým pohybem. Apikální nebo koncové buňky jsou kulaté nebo cylindrické se ztlustělou buněčnou stěnou. Tylakoidy jsou umístěné obvykle radiálně. Některé druhy mají plynové vakuoly.

*A. maxima* se vyskytuje v subtropických a tropických slaných jezerech

*Arthrospira platensis* a *Arthrospira maxima* – potravinové doplňky



# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



*Spirulina* sp.



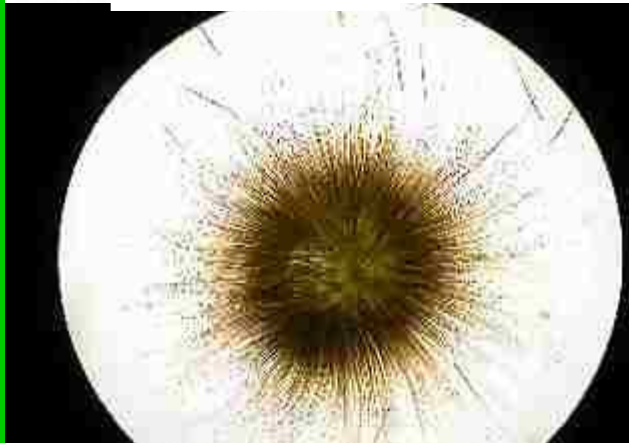
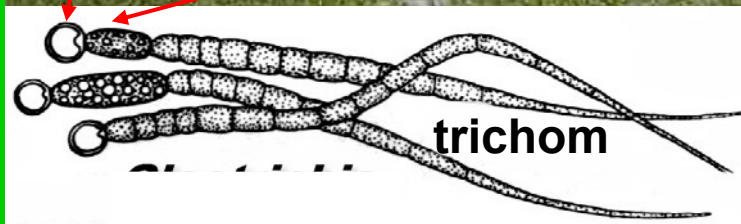
Kmen *Cyanobacteria*  
Třída *Cyanobacteria*  
Pododdělení III. *Oscillatoriales*  
Rod *Spirulina* (dnes spíš *Arthrospira*)

Je značně rozšířena ve sladké i mořské vodě. Buňky jsou stočené do poměrně dlouhých spirál.

V některých zemích střední Afriky je spirulina využívána jako převažující doplněk stravy (Čad – 9.st; Aztékové). “Sklízí“ se ze dna mělkých vod a suší na rohožích na slunci. Upravené kostky se nazývají Dihe. Dihe je velice bohatá na bílkoviny (62-68% bílkoviny v sušině). Pěstována byla i ve Francii - výtěžek 10 t bílkoviny/akr/vegetační období, pšenice 0,16 t/akr, hovězí 0,016 t/akr; akr=4047m<sup>2</sup>).

V poslední době je nabízena jako farmakologický přípravek – doplněk ke zdravé výživě .

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Kmen *Cyanobacteria*  
Třída *Cyanobacteria*  
Pododdělení III. *Oscillatoriales*  
Rod *Gleotrichia*

*Gleotrichia* přežívá zimu ve formě spor v sedimentu. V časném jaře spory vyklíčí a vytvářejí se kolonie, které se neustále zvětšují (2mm). Jejich název je odvozen z řečtiny – želatinové vlasy. Většina těchto “vlasů”, trichomů, vychází z jednoho bodu. Po dosažení určité velikosti se ze sedimentu kolonie uvolňuje jako bělavý sférický útvar a na hladině vytváří charakteristické uskupení ve tvaru “smetanových zrn”. Vytvořený květ má jen krátkou dobu trvání – uprostřed léta většina buněk odumírá a spory klesají ke dnu.

*Gleotrichia* v jezerech není indikátorem špatné kvality vody. Může se vyskytovat i v prostředí s velmi dobrou kvalitou vody. Předpokládá se, že se podílí na “přenosu” fosforu ze sedimentu do vody.

Některé druhy mohou produkovat hepatotoxin. Lipopolysacharidy buněčné stěny jsou považovány za cytotoxiny. Ale nejsou vysoce letální pro živočichy, ale mohou podráždění pokožky nebo potíže zažívacího traktu.

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

## Kmen Cyanobacteria

### Třída Cyanobacteria

#### Pododdělení IV *Nostocales*

Zástupci tohoto pododdělení se reprodukují výhradně **binárním dělením** v jedné rovině kolmo k dlouhé ose trichomu.

Při nedostatku zdrojů dusíku (amoniak nebo nitrát) se vegetativní buňky přeměňují do **heterocyt**.

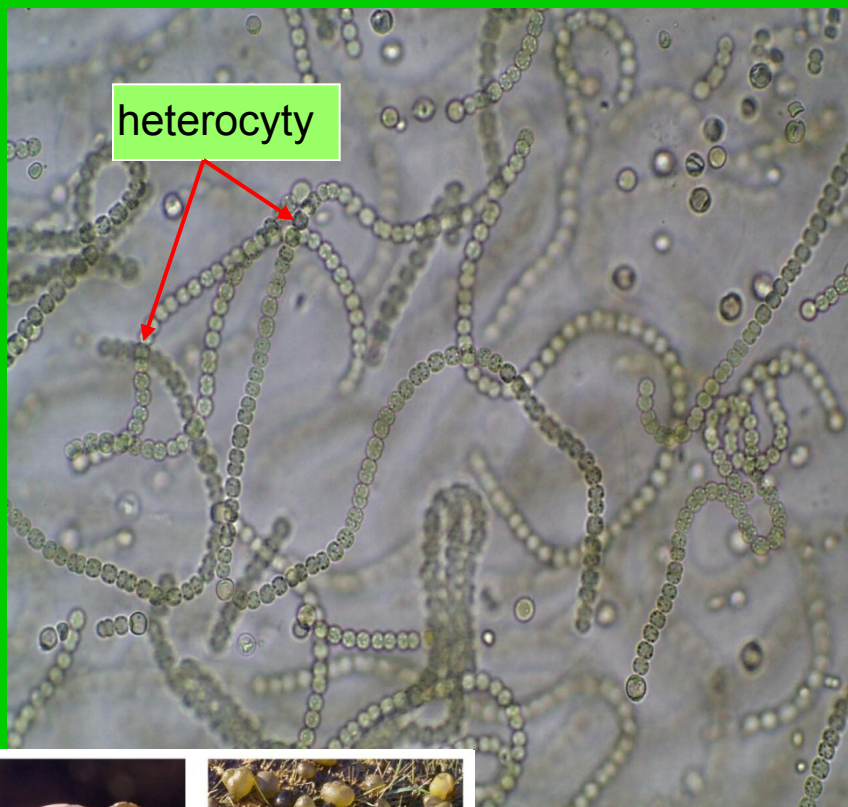
Někteří zástupci produkují **akinety** (silnostěnné klidové buňky nebo spóry vytvářející se z vegetativní buňky). Akinety jsou umístěny buď v sousedství nebo odděleně od heterocyt.

Tvoří **hormogonia** různého tvaru, pohyblivé klouzáním a mohou obsahovat plynové vakuoly.

Některé druhy jsou planktonní a jsou hlavní složkou vodního květu i v tropických sladkovodních jezerech a nádržích, dále ve slaných jezerech („kvetoucích“) a brakických vodách.

Řada druhů přežívá při nízkých teplotách a někteří jsou **endosymbionti** nebo **exosymbionti** (poskytují hostiteli hlavně dusík fixací  $N_2$ ) hostitelů jako jsou askomycety – lišejníky, jaterníky, růžkatce, kapradiny, cykasovité a jiné nahosemenné rostliny.

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Kmen *Cyanobacteria*  
Třída *Cyanobacteria*  
Pododdělení IV. *Nostocales*  
Rod *Nostoc*

## *Nostoc* - jednořadka

Nevětvené vláknité sinice, které tvoří nápadné kolonie z tuhého, rosolovitého slizu, tvaru kulovitého, laločnatého, listovitého nebo nepravidelného, u běžných druhů makroskopické. Ve vlákních jsou drobné heterocyty (specifická buňka pro fixaci molekulového dusíku). Častá složka lišejníků.

*Nostoc commune* roste na trávnicích, cestách, půdě a písku v podobě listovitých, zřasených, olivově zelených slizových ložisek, která mají za sucha podobu zčernalé drobné hmoty

Některé druhy produkují neurotoxiny.  
Proteiny, vitamín C – potravina v Asii  
*Nostoc- Azolla*



*Nostoc pruniforme*



# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

*Anabaena doliformis*

akineta



heterocyt

Kmen *Cyanobacteria*  
Třída *Cyanobacteria*  
Pododdělení IV. *Nostocales*  
Rod *Anabaena*

Hojná v planktonu rybníků a tůní, na pobřeží vod i v půdě. Spirálně vinutá vlákna buďto jednotlivá, nebo tvoří chomáčkovitá slizová ložiska. Na konci doby růstu se některé buňky změny v trvalé buňky - akinety. Heterocyty vznikají uprostřed vláken rovněž z vegetativních buněk.

Produkce toxinů – hepatotoxiny, paralytické toxiny, dermatotoxické.

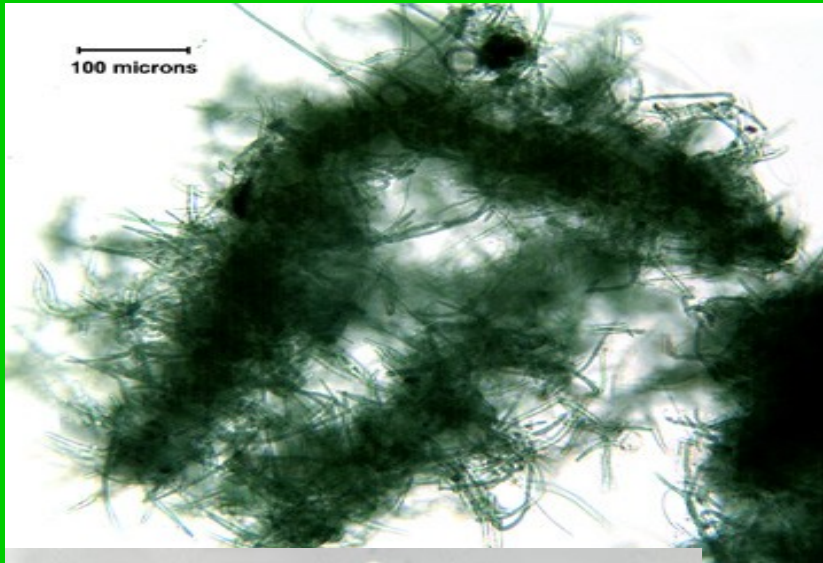


*Anabaena compacta*

*Anabaena azollae* fern



# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Kmen *Cyanobacteria*  
Třída *Cyanobacteria*  
Pododdělení IV. *Nostocales*  
Rod *Calothrix*

*Calothrix* vytváří dlouhá vlákna u dna s dlouhými, zašpičatělými apikálními konci. Vegetativní buňky mají obvykle barelovitý, cylindrický nebo protáhlý tvar, ale mohou být někdy rozšířené.

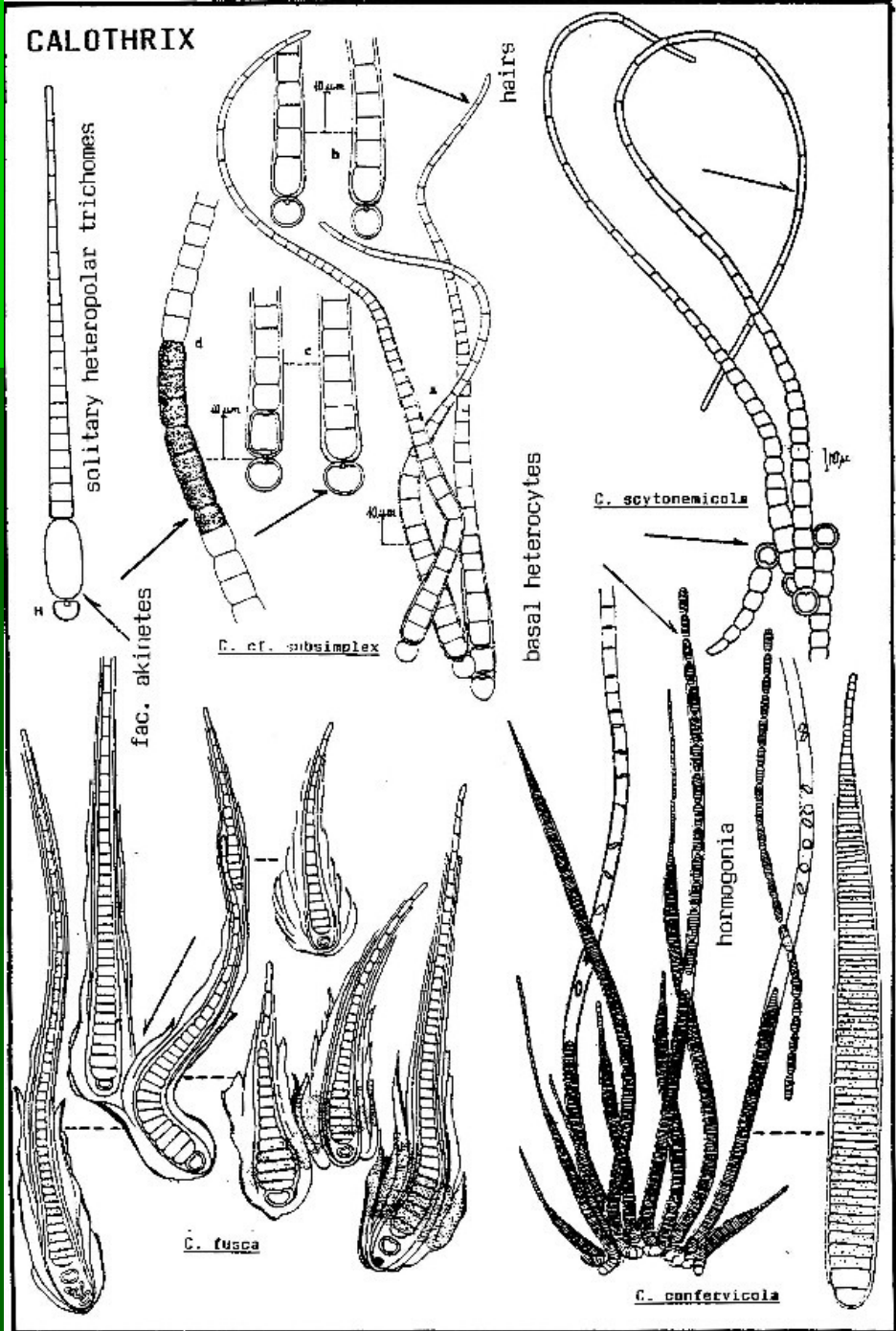
Vždy je přítomna pevná mukózní pochva, která je zbarvena žluté nebo hnědě. Někdy se vyskytuje nepravé větvení.

Vytvářené heterocyty mají elipsoidní nebo sférický tvar a lokalizovány jsou na bázi vlákna nebo v blízkosti bodu nepravého větvení.

Elipsoidní nebo cylindrické akinety se vytváří většinou v blízkosti heterocytů.

Vyskytují se ve sladkých i mořských vodách, přisedlá jsou ke kamenům nebo dřevu v tekoucích nebo stojatých vodách stejně tak jako v místech se silným přílivem.

# CALOTHRIX



From: Geitler (1932), Starmach ex Kondrateva (1968), Komárek (1975), Komárek et Anagnostidis (1989).

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

Kmen Cyanobacteria

Třída Cyanobacteria

Pododdělení V. *Stigonematales*

Rody této podskupiny vykazují nejvyšší stupeň **morfologické složitosti** mezi cyanobakteriemi.

Podélné a šikmé podélné dělení buněk se vyskytuje u těchto cyanobakterií jako doplněk příčného dělení a mají většinou pravé větvení.

U všech rodů jsou mnohořadé **trichomy** a jejich větvení je ve tvaru „T“, „V“ a „Y“.

**Heterocyty** jsou buď vmezeřené nebo terminální.

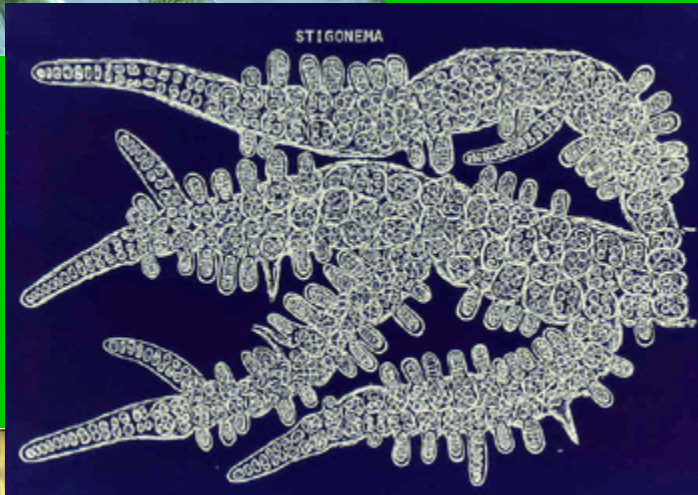
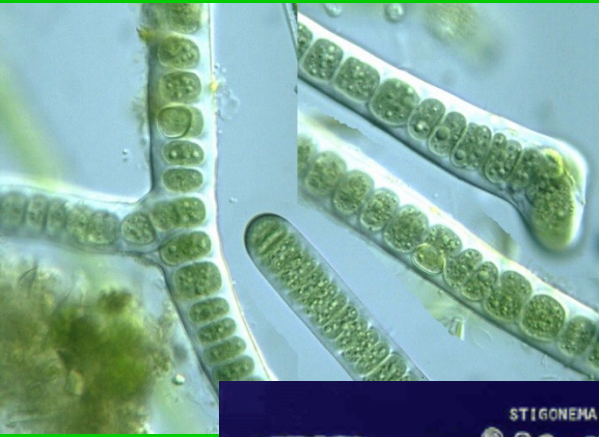
Reprodukce se děje náhodným oddělením trichomu. Mohu se však vytvářet i hormogonia a akinety.

Osídlují tekoucí vody, horké prameny s teplotou 57 až 58°C, mírně kyselá oligotrofní jezera, ale i rychle tekoucí říčky.

Zjištěny ve vlhkých prostředích a vzácně i ve slané vodě.



# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



***Stigonema***

Kmen *Cyanobacteria*  
Třída *Cyanobacteria*  
Pododdělení V. *Stigonematales*  
Rod *Stigonema*

Vlákná jsou “huňatá” nebo s krustou stočená, s pravým větvením a jsou přisedlá k podložce. Větvení není přímo na bazálním vlákně.

Trichomy jsou jedno- nebo víceřadé a někdy velmi tlusté, jejich větvení je ve tvaru T nebo V.

Apikální buňky jsou většinou větší než ostatní.

Pochva je tenká nebo tlustá, zbarvená žlutohnědě.

**Heterocyty** jsou interkalární, soliterní a tvarem se podobají vegetativním buňkám.

**Akinety** nejsou známy. Buňka se dělí ve všech rovinách a u trichomů je obvykle jenom příčné dělení.

**Hormogonie** se uvolňují na koncích trichomů a jsou “jedno nebo více buněčné”.

## ***Stigonema***

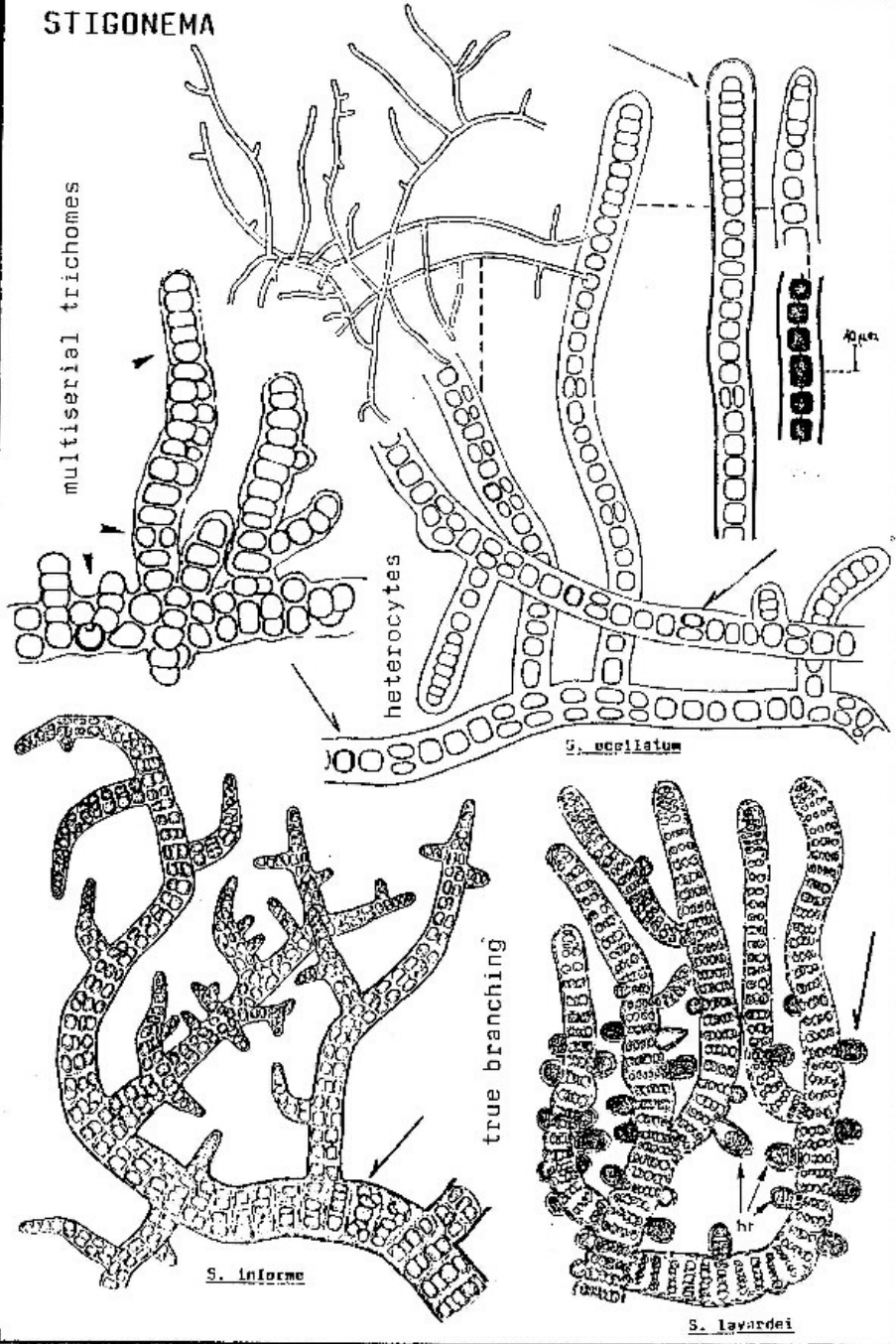
Vyskytuje se v různých biotopech po celém světě.

Obvykle je přisedlá k substrátu nebo v půdě.

Běžný je výskyt na kůře stromů nebo na mokrých kamenech od nížin až po alpskou zónu hor.

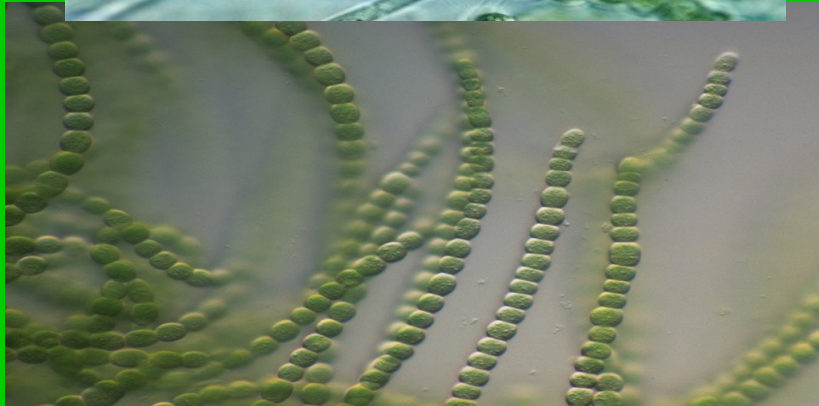
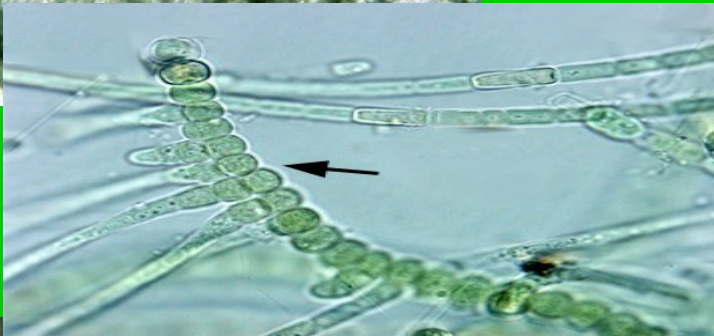
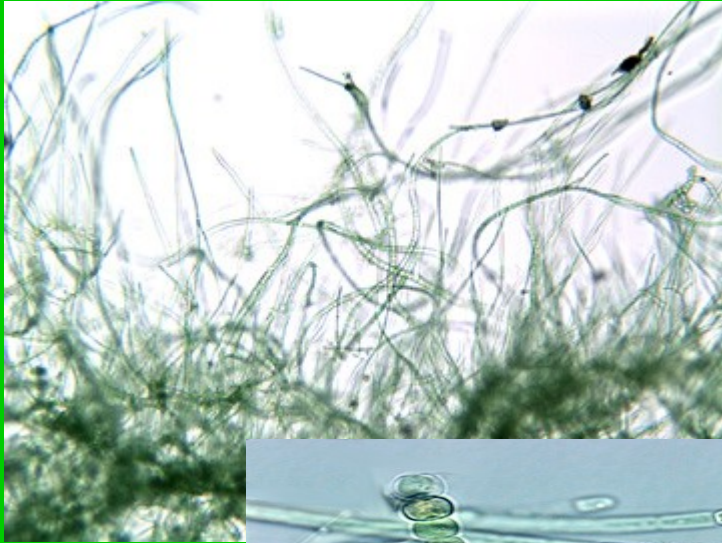
Některé druhy rostou v bazénech, mokřinách nebo vřesovištích. Důležité jsou půdní druhy v tropickém pásmu.

# STIGONEMA



From: Frémy (1930), Komárek ex Fott (1956), Komárek (1975), Anagnostidis et Komárek (1991).

# Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Kmen *Cyanobacteria*  
Třída *Cyanobacteria*  
Pododdělení V. *Stigonematales*  
Rod *Fischerella*

Stélka je obvykle plstnatá, složená z jednoho nebo více vláken morfologicky odlišných a nepravidelně větvených.

Trichomy obvykle připomínají šňůru perel; jsou obaleny tlustou, zvlněnou barevnou želatinózní pochvou.

**Heterocyty** jsou interkalární, subsférické v bazálních trichomech a cylindrické ve větvích.

**Akínety** se vyskytují pouze u několika druhů v bazálních trichomech.

Za deštivého počasí se z konce větví oddělují **hormogonie**.

Dlouhé hormogonie mohou být pohyblivé a někdy obsahují plynové vakuoly.

*Fischerella* roste na mokřích kamenech nebo namotaná mezi jinými řasami. Některé druhy rostou pouze na lišejnících a kůře stromů v tropických pralesích.

*Fischerella laminosus* je termofilní a nejlépe roste při teplotách nad 45° C

# Symbiotické vztahy sinic

- **extracelulární symbiózy:**
  - role fotobionta ve stélkách lišejníků
  - tzv. **cyanely** v tělech mechorostů, kaprad'orostů a nahosemenných rostlin (v dutinách v listovém pletivu, v hlízkovitých útvarech na kořenech) - dodávají rostlinám dusík v organické formě)

# Průřez lišejníkem



Svrchní korová  
vrstva

Řasová vrstva

Dřeňová vrstva

Spodní korová  
vrstva

Rhiziny

# Symbiotické vztahy sinic

- intracelulární symbiózy:
  - **zoocyanely** v buňkách prvoků,
  - **cyanely** u oddělení *Glaucophyta*
  - u hub jediný známý případ  
endocyanozy – *Geosiphon*

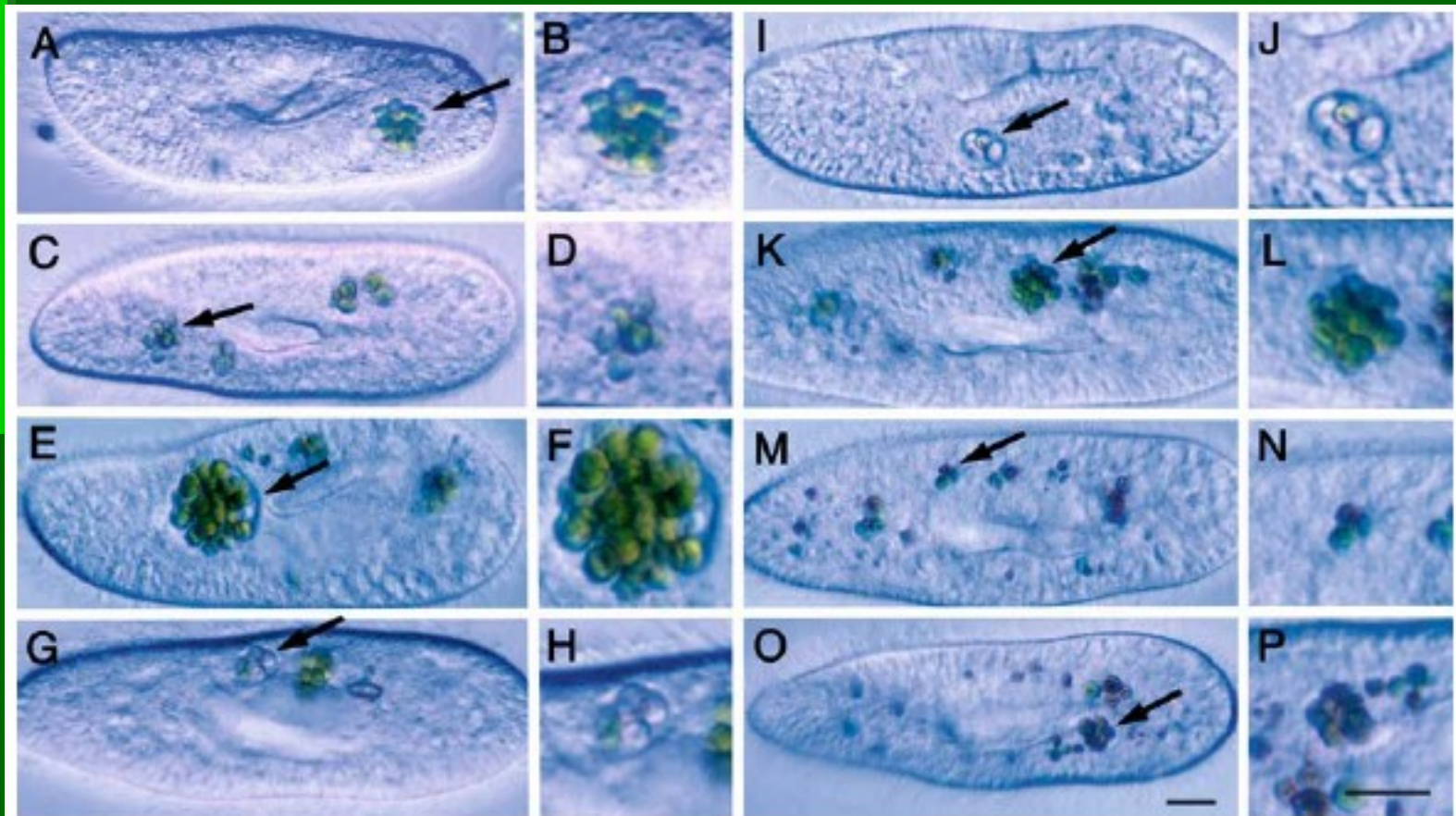
# *Paramecium* může v cytoplasmě hostit více buněk *Chlorella* (50-100) - řasa

Řasa poskytuje organický uhlík a kyslík

Prvok jí poskytuje ochranu, pohyb, CO<sub>2</sub> a možná růstové faktory.

Prvok se může dostat i do anaerobního prostředí, kde je však světlo.

Ve stresové situaci (déle bez světla) může prvok strávit řasu



# Využití sinic

- dodávání organického dusíku využíváno pro zvýšení úrodnosti rýžových polí v Asii
- preparáty ze sinic jako složka potravy ve východní Asii (možné i jako složka diety, obsahují vitamíny, ale i vysoký obsah nukleových kyselin - omezená požitelnost)
- fikobiliny - potravinářská barviva
- využití v biomedicíně (značkování, díky fluorescenci možná náhrada radionuklidů)



# Výskyt sinic

- sladké i slané vody
- povrch vlhké půdy a skal
- v mořích složka planktonu v litorálu a sublitorálu (až do 200 m hloubky)
- ve vodách s dostatkem živin tvoří řada zástupců v průběhu vegetační sezóny "vodní květ" (např. Rudé moře dostalo své jméno podle červeně zbarveného vodního květu)
- dvojí ohrožení ostatního života:
  - přímou kompeticí mohutné biomasy
  - na konci vegetační sezóny jejím hromadným odumíráním (hnilobné procesy => "otrávení vody")
- sinice snášejí docela extrémní hodnoty teploty i pH (teplota až 73°C, rozsah pH 5-13)

# Výskyt sinic

- termální minerální prameny  
vysoký obsah  $\text{CO}_2$  ve vodě rozpuštěné vápenaté a železité soli => činností sinic poklesne obsah  $\text{CO}_2$  => soli se srážejí a usazují (vznik **travertinu**) proces biomineralizace
- dobré osmoregulačních mechanismy umožňují růst i v silně salinním prostředí
- na suchozemských substrátech - růst na holém substrátu, podíl na počátečním stadiu sukcese (ukládání živin, zejména dusíku z jejich těl, udržování vlhkosti a zpevnění půdy)
- vydrží dlouho (i několik let) dehydratovány, po opětovném navlhčení začínají znovu růst

# Toxiny sinic

- cyanotoxiny jsou produkty sekundárního metabolismu, tedy látky, které nejsou využívány organismem pro jeho primární metabolismus
- toxiny sinic jsou toxičtější než toxiny vyšších rostlin a hub, ale méně toxické než bakteriální toxiny

# Toxiny sinic

- cyanotoxiny dělíme na  
neurotoxiny, hepatotoxiny,  
cytotoxiny, embryotoxiny,  
dermatotoxiny, genotoxiny a  
mutageny, imunotoxiny,  
imunomodulatory  
a tzv. Tumor Promoting Factors  
(stimulují 2. a 3. fázi kancerogeneze)

# Alkaloidní neurotoxiny sinic

- **Producenti:** *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Planktothrix*, *Nostoc*
- **Název toxinů:** anatoxin a, anatoxin a(s), anatoxin b , homoanatoxin, saxitoxin, neosaxitoxin, aphantoxin
- **Symptomy intoxikace:** nekoordinované pohyby, vypouklé oči, ztráta kontrolovaného ovládání svalové kontrakce, záchvaty zuřivosti, srdeční zástava, udušení. Efekt během 5 minut. Vliv na srdeční sval i u korýšů

# Alkaloidní hepatotoxiny sinic

- **Producent:** *Trichodesmium*, *Umezakia*, *Cylindrospermopsis*, *Aphanizomenon*
- **Název toxinu:** cylindrospermopsin
- **Příznaky:** poškození tkáně jater a ledvin, nekrózy plic, srdce, sleziny, nadledvinek a brzlíku

# Peptidické hepatotoxiny sinic

- **Producenti:** *Microcystis*, *Anabaena*, *Planktothrix*, *Nostoc*, *Anabaenopsis*.....
- **Typ toxinu:** microcystiny (cyanoginosin), cyklické heptapeptidy, nodularin (cyklický pentapeptid),.....
- **Symptomy intoxikace :** zvýšená hladina jaterních enzymů v krevním séru a další indikátory poškození jater (ALT, AST, GGT, bilirubin, alk. fosfatáza), destrukce parenchymatických buněk jater, histopatogické změny jaterní tkáně , hmotnost jater a ledvin je 2-3x větší, mikroembolie plic a ledvin. Cytoskeleton jaterních buněk se hroutí , na játrech pozorujeme histopatologické projevy - nekrózy, edémy, bytnění

# Paralytické toxiny sinic (PSP)

- **Producent:** *Aphanizomenon*, *Anabaena*  
*Cylindrospermopsis*
- **Název toxinu:** Saxitoxin, neosaxitoxin,  
gonyautoxin, tetrodotoxin
- **Symptomy intoxikace:** PSP jsou rychle absorbovány v zažívacím traktu, vyvolají rychlé příznaky (1-3min) zvracení, extrémně nízký tlak, nevolnosti, vliv na neuromuskulární a kardiovaskulární systém, smrt udušením



# Dermatotoxické alkaloidy sinic

- **Producent:** *Trichodesmium*, *Umezakia*, *Aphanizomenon*, *Schizotrix*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Nostoc* ....
- **Název toxinu:** Aplysiatoxin, lyngbyatoxin a chemicky neidentifikované frakce sinic
- **Symptomy intoxikace:**  
po požití - záněty trávicího traktu  
při kontaktu - ekzantemy, dermatitidy

# Cytotoxiny

- sinice produkují širokou skupinu látek s cytotoxickými a cytostatickými účinky
- často jsou zařazovány mezi organismy biotechnologicky nadějně z pohledu farmaceutických výzkumů
- obecně lze říci, že “čerstvé izoláty“ z přírodních podmínek vykazují vyšší schopnost produkce výše citovaných látek než čisté kmeny, které jsou po mnoho generací pasážovány ve sterilních podmínkách

# Genotoxiny a mutageny

- mutagenní a genotoxická aktivita byla prokázána z frakcí sinic obsahující microcystiny a další neidentifikovatelné biotoxiny
- mutagenní metabolity jsou často potenciálními karcinogeny a mohou být testovány standardními testy iniciace a proliferace I. a II. fáze kancerogeneze

**Genotoxin:** jedovatá substance poškozující DNA.

- Může způsobit mutaci DNA (mutagen),
- Může vyprovokovat nádor (carcinogen),
- Může způsobit defekty při narození (teratogen).

# Další toxické a farmakologicky zajímavé metabolity sinic

- protinádorové - (selektivní cytostatika) cryptophycin - (*Nostoc*)
- lineární peptidy - (inhibitory proteáz) microginin - (*Microcystis*)
- fungicidní, baktericidní - chlorellin
- extrakty z *Microcystis* - antivirální aktivita (Herpes virus, chřipkový virus, pravděpodobně i HIV)
- pigmenty - scytonemin - absorbuje UV-B (u sinic ochrana proti tomuto záření), dermatotoxický

# Brněnská přehrada - hráz

## říjen 1999



*Microcystis flos aquae*

Detail lokality

rozkládající se cyanobakterie jsou žlutavé a na březích vytváří typicky modro-zelené pruhy (zabarvení způsobeno pigmentem fykocyaninem)

# Brněnská přehrada, září 2000



# Brněnská přehrada, září 2001



lod' se otáčí v přístavišti a  
tuny biomasy sinic pěnění

# Brněnská přehrada





# Nádrž Želivka, září 1999



vodní květ sinic

# Vodní dílo Nové Mlýny (Mušovská nádrž)



*Microcystis aeruginosa*



o týden později

# Horní zdrž Nové mlýny (hráz)



# Lipno, ano i Lipno .....



# Hracholusky



# Vířská přehrada, září 2000



# Omezení rozvoje sinic

- **vyplavení biomasy** pomocí vhodného technického zařízení (násoskový odběr)
- **mechanické odstraňování biomasy** v místech, kde dochází k jen dočasnému shromažďování biomasy vodního květu
- **odstranění biomasy sinic pomocí býložravých ryb** - tolstolobik bílý, tolstolobec pestrý
- **asanační opatření** účinná pouze tehdy, když je odstraněn vnější zdroj živin - snížením množství živin přicházejících do nádrže

# Omezení rozvoje sinic

- **těžba sedimentů**
- **chemické ošetření sedimentů** - imobilizace fosforu. Vázání fosforu na trojmocné železo -  $\text{FeCl}_3$  lze nahradit dostupnějším  $(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
- **koagulanty, flokulanty**  
síran měďnatý, Reglone A (diquat, 1,1-ethylene -2,2-dipyridilum dibromide), Simazine (2-chloro-4,6-bis(ethylamino)-triazine), sloučeniny hliníku, hydroxid vápenatý, manganistan draselný, chlor a jeho sloučeniny, chlorid železitý, síran železitý, .....