



Anabaena sp.

Sinice

Preslia 86: 295–335, 2014

295

Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach

Taxonomické hodnocení cyanoprokaryot (cyanobakteriální rody) v roce 2014 podle polyfázického přístupu

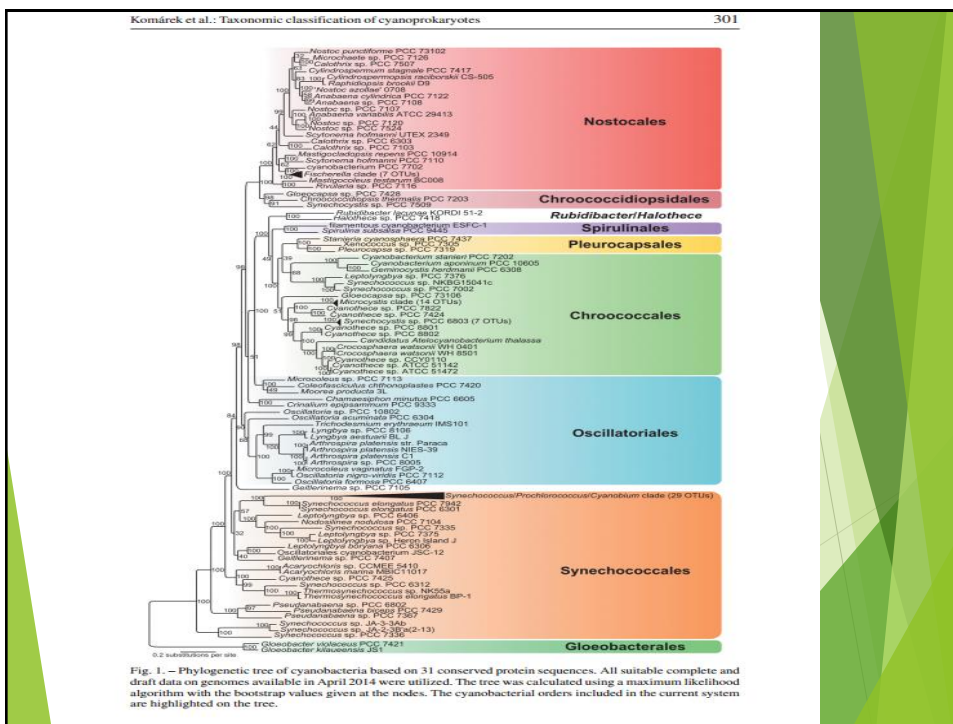
Jiří Komárek^{1,2}, Jan Kaštovský², Jan Mareš^{1,2} & Jeffrey R. Johansen^{2,3}

¹*Institute of Botany, Academy of Sciences of the Czech Republic, Dukelská 135, CZ-37982 Třeboň, Czech Republic, e-mail: jiri.komarek@ibot.cas.cz;* ²*Department of Botany, Faculty of Science, University of South Bohemia, Branišovská 31, CZ-370 05 České Budějovice, Czech Republic;* ³*Department of Biology, John Carroll University, University Heights, Cleveland, OH 44118, USA*

Komárek J., Kaštovský J., Mareš J. & Johansen J. R. (2014): Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach. – *Preslia* 86: 295–335.

The whole classification of cyanobacteria (species, genera, families, orders) has undergone extensive restructuring and revision in recent years with the advent of phylogenetic analyses based on molecular sequence data. Several recent revisionary and monographic works initiated a revision and it is anticipated there will be further changes in the future. However, with the completion of the monographic series on the *Cyanobacteria* in Süßwasserflora von Mitteleuropa, and the recent flurry of taxonomic papers describing new genera, it seems expedient that a summary of the modern taxonomic system for cyanobacteria should be published. In this review, we present the status of all currently used families of cyanobacteria, review the results of molecular taxonomic studies, descriptions and characteristics of new orders and new families and the elevation of a few subfamilies to family level. All recently defined cyanobacterial genera (some still invalid) are listed in the family to which they are likely to belong and an indication is given of their taxonomic validity and level of polyphasic characterization of each genus.

Key words: concept of genera, cyanobacteria, molecular methods, taxonomic classification, polyphasic approach



Kmen

CYANOBACTERIA (CYANOPHYTA) - SINICE

- ▶ z řeckého cyanos - modrý
- ▶ patří mezi oxygenní fototrofní gramnegativní bakterie
- ▶ autotrofní prokaryotické organizmy s jednobuněčnou nebo vláknitou stélkou
- ▶ sdružováním buněk mohou vznikat kolonie

Třída: *Cyanophyceae*

- ▶ Řády:
 - [Gloeobacteriales](#)
 - [Chroococcales](#)
 - [Pleurocapsales](#)
 - [Oscillatoriales](#)
 - [Nostocales](#)
 - [Stigonematales](#)

Sinice

- ▶ nejstarší fotosyntetizující organizmy (3,5 miliardy let - prekambrium)
- ▶ **hrály rozhodující úlohu ve vytváření kyslíkaté atmosféry na Zemi**
- ▶ vzhledem ke své jednoduché stavbě mají obrovskou schopnost přežívat nepříznivé podmínky
- ▶ téměř všech biotopech na Zemi, včetně extrémních stanovišť (horké prameny, pouště, polární oblasti atd.)

Sinice

- ▶ nejstarší nálezy zkamenělin sinic pochází z Apex Basalt ze západní Austrálie (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 *Euenthophysalis belcherensis* (2 miliardy let, Kanada)
- ▶ nejstarší známé akinety staré 1-1,6 miliardy let
- ▶ první baeocyty jsou staré 700 miliónů let

Cyanobacteria

- Většina druhů jsou **obligátně fototrofní**
- Mnohé sinice produkují neurotoxiny (**mikrocystin, anatoxin A**)
- Jsou široce rozšířené v půdním prostředí, ve sladké i mořské vodě
 - Často tvoří krusty na povrchu pouštních půd

Cyanofycin

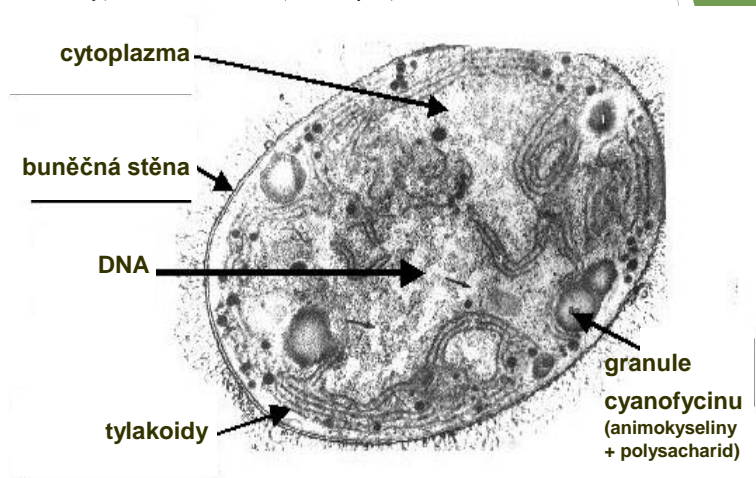
- granula obsahující cyanofycin jsou pozorovatelná elektronovým mikroskopem
- kopolymer kyseliny asparagové a argininu
- tvoří až 10 % biomasy buněk
- Představuje **zásobárnu dusíku a zásobní zdroj energie**:
 $\text{Arginin} + \text{ADP} + \text{P}_i + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ornitin} + 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{ATP}$

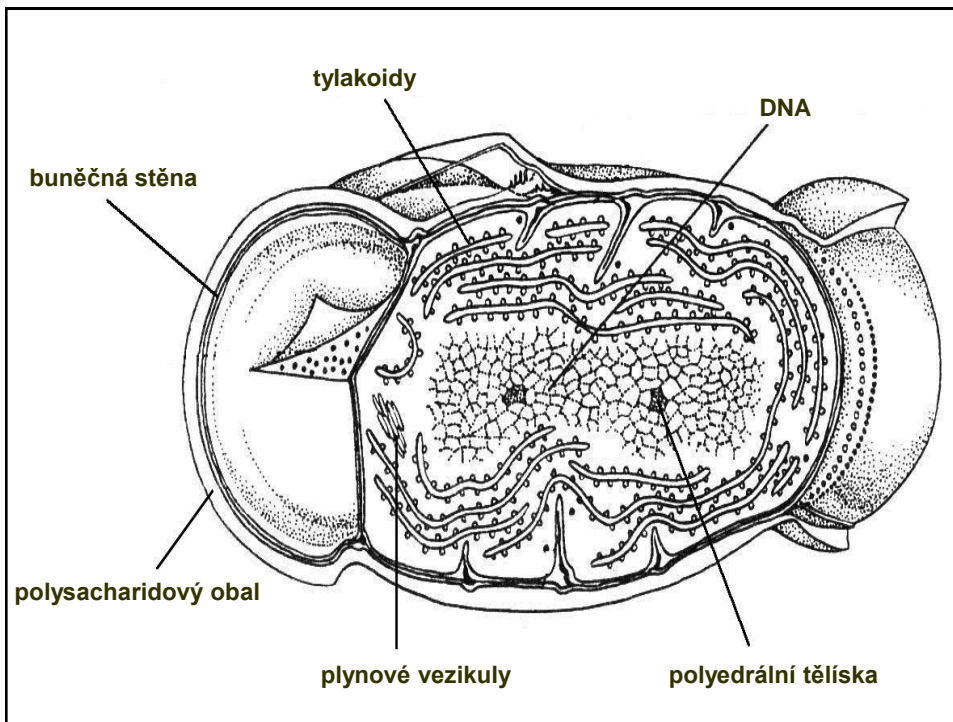
Reakci katalyzuje *arginin dihydroláza*

ATP je využívána zejména v období nedostatku světla

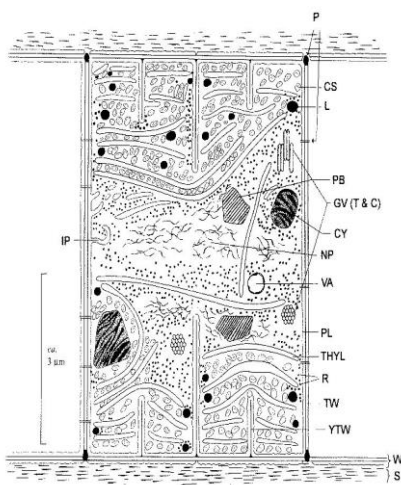
Sinice - stavba buňky

Buňka se podobá ostatním bakteriím tvarem (kokovitý, oválný, protáhlý, vláknitý), ale i velikostí (1 - 10 μm)





Sinice - stavba buňky



Podélný řez buňkou *r. Pseudanabaena*

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

Struktura buňky - buněčná stěna

- ▶ dvě vrstvy:
 - vnější vrstva obsahuje lipoproteiny a lipopolysacharidy
 - vnitřní tvoří peptidoglykan
- ▶ Rozdílná šířka BS sinic: jednobuněčné 10 nm, vláknité 15 - 35 nm, výjimečně i 700 nm!
(G- bakterie 2 - 6 nm)
- ▶ mezi nimi byla u některých sinic nalezena vrstva klouzavých mikrofibril umožňujících drkání (*Oscillatoria*)
- ▶ na povrchu stěny bývá vrstva slizu často vrstevnatého je občas intenzivně zbarven (převážně karotenoid scytonemin)

Struktura buňky - cytoplazmatická membrána

- ▶ cytoplazmatická membrána slouží k aktivnímu transportu iontů a exkreci látek
- ▶ zahajuje oddělování dceřiných protoplastů při dělení
- ▶ je sídlem enzymů nutných pro respiraci buňky
- ▶ sídlem systémů pro tvorbu ATP
- ▶ patrně z ní se odškrcejí **tylakoidy**

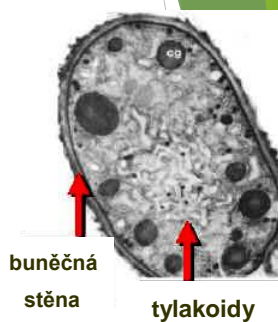
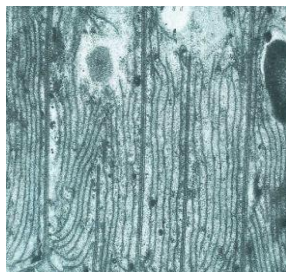
*(to není jisté, ale u *Gloeobacter violaceus*, která nemá tylakoidy, byly fotosyntetické pigmenty a složky fotosystému nalezeny právě v cytoplazmatické membráně)*

Struktura buňky - nukleoid

- ▶ DNA v nukleoplazmatické oblasti (**centroplazma**)
- ▶ Tvoří uzavřený **kruh** (nejsou přítomny histoproteiny)
- ▶ Nukleoid je uložený **volně v cytoplazmě**, není od základní cytoplazmy oddělen membránou
- ▶ Je připojený pomocí RNA a bílkovin k cytoplazmatické membráně => zajištění "rovnoměrného rozdělení nukleoidu" při dělení buňky

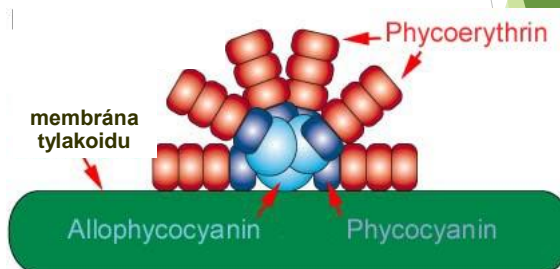
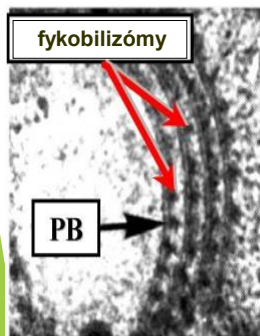
Struktura buňky - tylakoid

- ▶ nejnápadnějším útvarem uvnitř buňky
- ▶ jsou to **ploché váčky** s fotosyntetickým aparátem -**fotosyntéza**
- ▶ uspořádány jsou několika základními způsoby - patrně fylogeneticky významné
- ▶ v membráně tylakoidu jsou obsaženy **chlorofyl a**, α - i β - **karoten** a **xanthofyly** (echinenon, myxoxanthofyl, zeaxanthin)



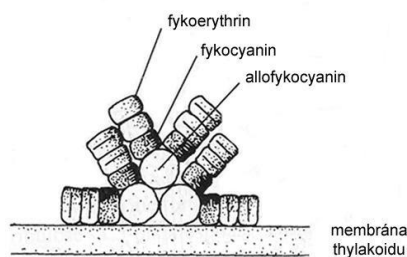
Struktura buňky - tylakoid

- ▶ na povrchu tylakoidálního váčku se nachází tzv. **fykobilizómy** - drobné útvary obsahující specifická barviva-fykobiliny (fykobiliproteiny)
- ▶ Probíhá zde **fixace světla** na tylakoidní membráně



Struktura buňky - fykobiliny

- ▶ fykobilizomy sinic obsahují proteiny s barvivý
- ▶ **fykobiliny** jsou 3:
 - dva jsou **modré pigmenty** (c-fykocyanin a allofykocyanin) 625 nm
 - jeden je **červený** (c-fykoerytrin) 550 nm
- ▶ 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 fykoerytrinu 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.

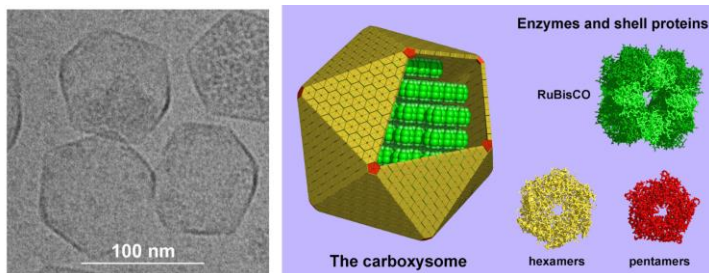
Sinice - fotosyntéza

- ▶ **fotosyntéza** je rostlinného typu - vstupní látky CO_2 a H_2O , při reakci je uvolňován kyslík
- ▶ některé sinice jsou fakultativně anaerobně fototrofní - v anaerobních podmínkách jsou schopny využívat jako zdroj elektronů H_2S namísto H_2O => v jejich buňkách se pak ukládá síra
- ▶ sinice jsou jediné prokaryotické organizmy **uvolňující** při fotosyntéze **kyslík** do prostředí - v prahorách měly rozhodující zásluhu na přeměně původní bezkyslíkaté atmosféry (převažovaly CH_4 , NH_3 ...)

Soo, R.M., Hemp, J., Parks, D.H., Fischer, W.W., Hubenholtz, P. (2017)
 On the origins of oxygenic photosynthesis and aerobic respiration in
Cyanobacteria
Science 31 Mar 2017:
 Vol. 355, Issue 6332, pp. 1436-1440
 DOI: 10.1126/science.aal3794

Struktura buňky - karboxyzómy

- ▶ drobná tělíska ve tvaru mnohostěnu (80 - 140 nm)
- ▶ obsahují enzym **RUBISCO** (ribulóza-1,6-difosfát karboxyláza), který je zodpovědný za **fixaci CO₂** v Calvinově cyklu
- ▶ karboxyzómy jsou analogií pyrenoidů vyskytujících se u eukaryot



vlevo: Courtesy of Mark J. Yeager and Kelly A. Dryden, University of Virginia; vpravo: Todd O. Yeates

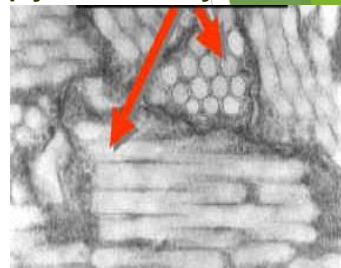
Struktura buňky - inkluze

- ▶ škrobová zrna (tzv. sinicový škrob - α -1,4 glukán)
- ▶ polyfosfátová granula (volutin) - zdroj fosforu
- ▶ cyanofycinová zrnka (polymerovaný arginin s kyselinou asparagovou + polysacharid)
- ▶ zásobní látkou je sinicový škrob

Struktura buňky - aerotopy

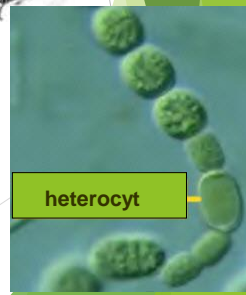
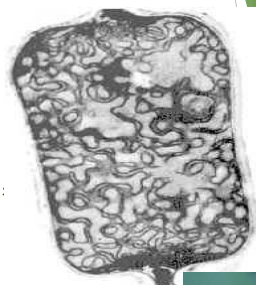
- ▶ neboli **gas vezikuly, plynové „vakuoly“**
- ▶ Válcovitá struktura ve tvaru mnohostěnu
- ▶ V buňce je jich většinou přítomno mnoho
- ▶ Na příčném řezu připomínají včelí plást
- ▶ Jejich stěna je složená z **glykoproteinů**
- ▶ Je propustná pro všechny plyny rozpuštěné ve vodě
- ▶ Směs plynů uvnitř aerotopů pak sinice nadlehčuje a umožňuje jim snadno splývat ve vodním sloupci
- ▶ Aerotopy jsou jedinou strukturou v živých buňkách, která je naplněná plynem
- ▶ Sinice si je mohou tvořit a organizovat v závislosti na abiotických faktorech prostředí a tím regulovat svoji polohu ve vodním sloupci
- ▶ Vyskytují se u druhů žijících ve vodním prostředí

plynové vakuoly



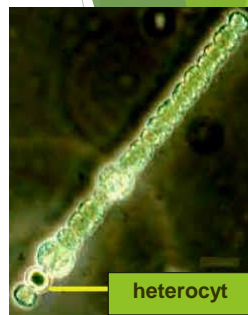
Struktura buňky - heterocyty

- ▶ Jsou to tlustostěnné buňky (větší než buňky vegetativní)
- ▶ V optickém mikroskopu se jejich obsah jeví jako prázdný, ale fotosystém I (ten, co netvoří kyslík) v nich funguje
- ▶ Vznikají z vegetativních buněk
- ▶ Za účasti nitrogenázy se v nich **fixuje vzdušný dusík**, vzniká amoniak, ten je vázáný jako glutamin a v této formě je transportován do sousedních buněk

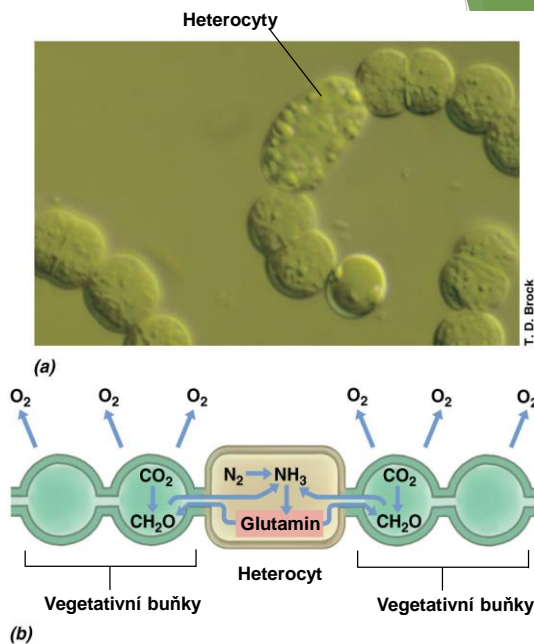


Struktura buňky - heterocyty

- ▶ Dusíkové hladovění (nedostatek dusičnanů a amonných solí v prostředí) - přeměna vegetativních buněk na heterocyty (a naopak)
- ▶ Heterocyty **nemají** dlouhou životnost => 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)*

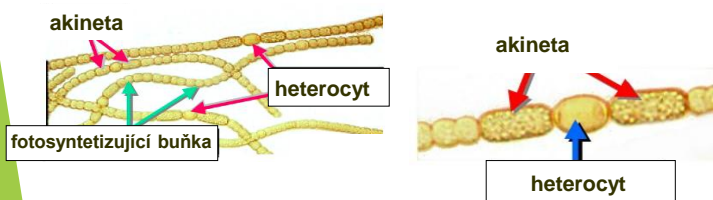


- Heterocyty sinice *Anabaena*, v nich probíhá fixace dusíku
- Model heterocytů: heterocyt ztrácí schopnost produkovat kyslík (Fotosystém II), org. látky produkované vegetativními buňkami slouží k redukci pro fixaci dusíku.



Struktura buňky - artrospory

- ▶ **artrospory (akinety)** - trvalé, odpočívající, tlustostěnné buňky vznikající z jedné nebo více vegetativních buněk v případě nedostatku živin, nízkých teplot či malém 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

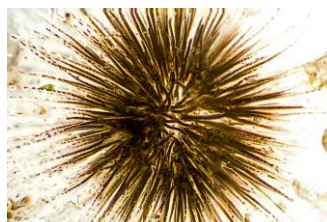


Struktura buňky - stélka

- ▶ 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 *Gleotrichia*

Struktura buňky - stélka

- ▶ vláknité typy mohou být:
 - 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 buď 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
- ▶ Jedny z nejstarších geologických útvarů na světě



- Mají řadu vrstev, které jsou různě zbarvené, síla několika desítek centimetrů
- Vláknité útvary

Sinice - tvorba stromatolitů



Řez stromatolitem



Stromatolity v Hamelin Pool, Shark Bay, Austrálie

Rozmnožování sinic

- jediné nepohlavní
- dělení buněk probíhá zaškrcováním plazmatické membrány binárním dělením
- některé sinice (*Chamaesiphon*) se dělí asymetricky - na konci stélky se vytvoří větší počet **baeocytů** (exospor)
- vláknité sinice se rozmnožují **hormogoniemi** (útvary vzniklými rozpadem vlákna)
 - ▶ obsahují 5 - 15 buněk spojených slizem
 - ▶ do cca 96 hodin dorůstají původní velikosti vegetativního vlákna
 - ▶ hormogonie jsou pohyblivé klouzáním, rychlost až 11 $\mu\text{m/s}$
 - ▶ tvoří se často po vystavení sinic stresu nebo v novém prostředí



Přehled systému sinic

* současný systém je založen především na typu stélky









Kmen *Cyanobacteria*

Oxygenní 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*) - reprodukcí se binárním dělením nebo pučením.

Buňky jsou sférické, elipsoidní nebo tyčkovitého tvaru a rozmanité velikosti, vyskytují se jednotlivě nebo ve shlucích

IV. CHROOCOCCALES	
Microcystaceae - division in three planes - colonial, aerotopes present	
Aphanothecaceae - division in one plane, colonial	
Cyanobacteriaceae - division in one plane, not colonial	
Cyanothrichaceae - division in one plane - pseudo-filaments (sheaths)	
Stichosiphonaceae - asymmetrical binary fission - sedentary, polarized cells - exocyttes	
Chroococcaceae - division in three or more planes - colonial, aerotopes absent	
Gomphosphaeriaceae - division in two planes - spherical colonies - polarized cells	
Entophysalidaceae - division in three or more planes - heteropolar colonies	

Komárek et al., 2014

Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

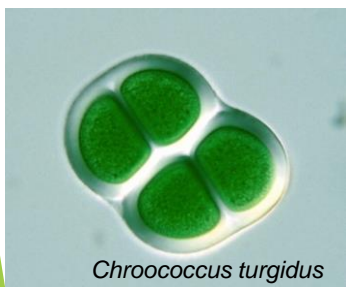


Kmen *Cyanobacteria*
 Třída *Cyanobacteria*
 Pododdělení I. *Chroococcales*
 Rod *Chroococcus*

Chroococcus

je rod nápadný přilehlými těsnými pochvami, které uzavírají dvě nebo více generací dceřiných 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.

Chroococcus je významným ekologickým faktorem především pro svůj mohutný metabolismus.



Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



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

se přirozeně vyskytuje v nízkých koncentracích v čistých vodách, méně často v zasolených vodách, 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 O₂ nebo anoxie-bez O₂), což může vést k úhynu ryb. Většina zástupců produkuje toxiny - **mikrocystiny** - označované jako hepatotoxiny a jsou známy i jako promotory některých tumorů. Při pití vody s obsahem mikrocystinů jsou časté symptomy - zvedání žaludku, pocíty dávení a akutní příhody na játrech. Podobnými příznaky mohou trpět i domácí zvířata.



Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

Kmen	<i>Cyanobacteria</i>
Třída	<i>Cyanobacteria</i>
Pododdělení II	<i>Pleurocapsales</i>

Cyanobakterie zařazené do tohoto pododdělení se reprodukují 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 gramnegativních 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.

V. PLEUROCAPSALES

Hydrococcaceae

- irregular cell division
- pseudo-filamentous or - parenchymatous



Dermocarpellaceae

- division in multiple planes
- baeocytes
- polarized cells



Xenococcaceae

- irregular cell division
- baeocytes
- polarized colonies



Hyellaceae

- division in multiple planes
- baeocytes
- polarized pseudo-filaments



Komárek et al., 2014

Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu



Cyanocystis



Kmen *Cyanobacteria*
Třída *Cyanobacteria*
Pododdělení II. *Pleurocapsales*
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 vodním prostředí, připojené k substrátu nebo rostlinám.

Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

Kmen *Cyanobacteria*

Třída *Cyanobacteria*

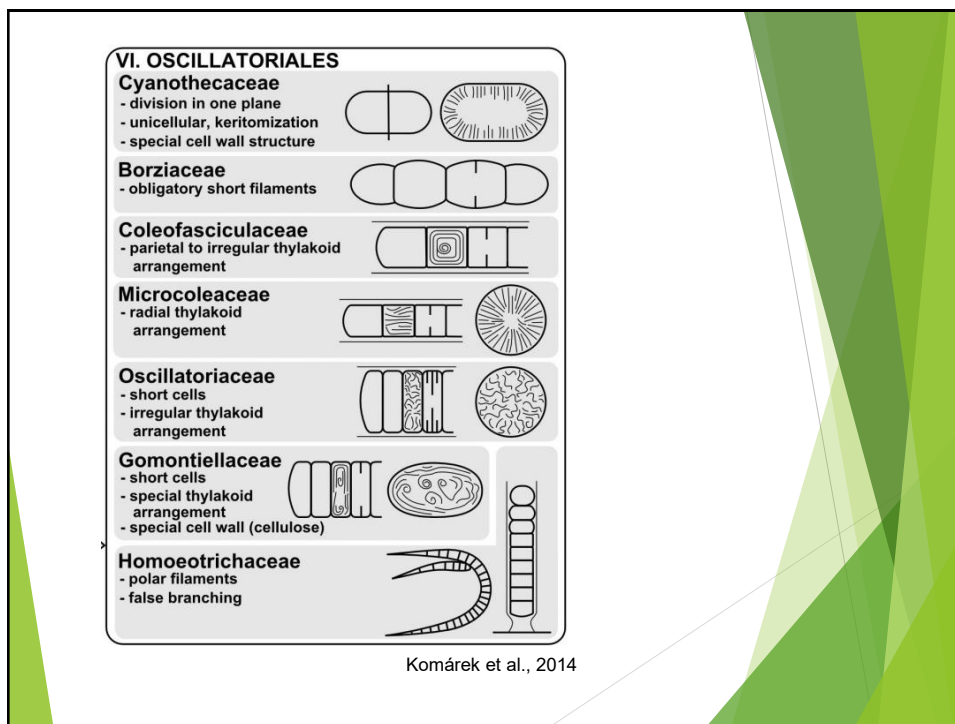
Pododdělení III *Oscillatoriales*

Skupina není fylogeneticky jednotná. Sdružuje vláknitá cyanobakterie, které 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 se mohou oddělit, prodloužit se buněčným dělením a vytvořit pochvy.

Hormogonie 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



Oscillatoria

Oscillatoria - drkalka

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

Má přímá nebo lehce zahnutá vlákna.

Netvoří heterocyty ani trvalé spóry - akinety.

Pohybuje se zvláštním drkavým způsobem, odtud český název.

Oscillatoria limosa patří mezi naše všeobecně rozšířené drkalky.

Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

Kmen *Cyanobacteria*

Třída *Cyanobacteria*

Pododdělení III. *Oscillatoriales*

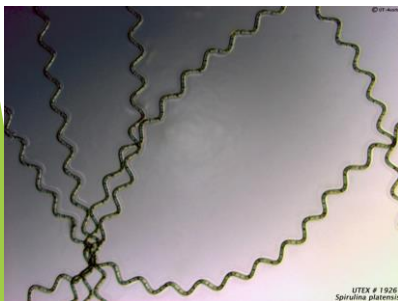
Rod *Arthrospira*



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 umístěny obvykle radiálně. Některé druhy mají plynové vakuoly.

A. maxima se vyskytuje subtropických a tropických slaných jezerech.

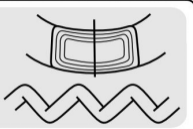


Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

III. SPIRULINALES

Spirulinaceae

- parietal thylakoids
- sheaths absent, coiled filaments



Kmen *Cyanobacteria*
Třída *Cyanobacteria*
Pododdělení III. *Spirulinales*
Rod *Spirulina*

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. "Sklízí" se ze dna mělkých vod a suší na rohových na slunci. Upravené kostky se nazývají Dihe. Dihe je velice bohatá na bílkoviny (62 - 68 % bílkoviny v sušině). Pěstována byla i ve Francii - výtěžek je 10 t bílkoviny/ar/vegetační období, pšenice 0,16 t/ar).

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



Spirulina sp.

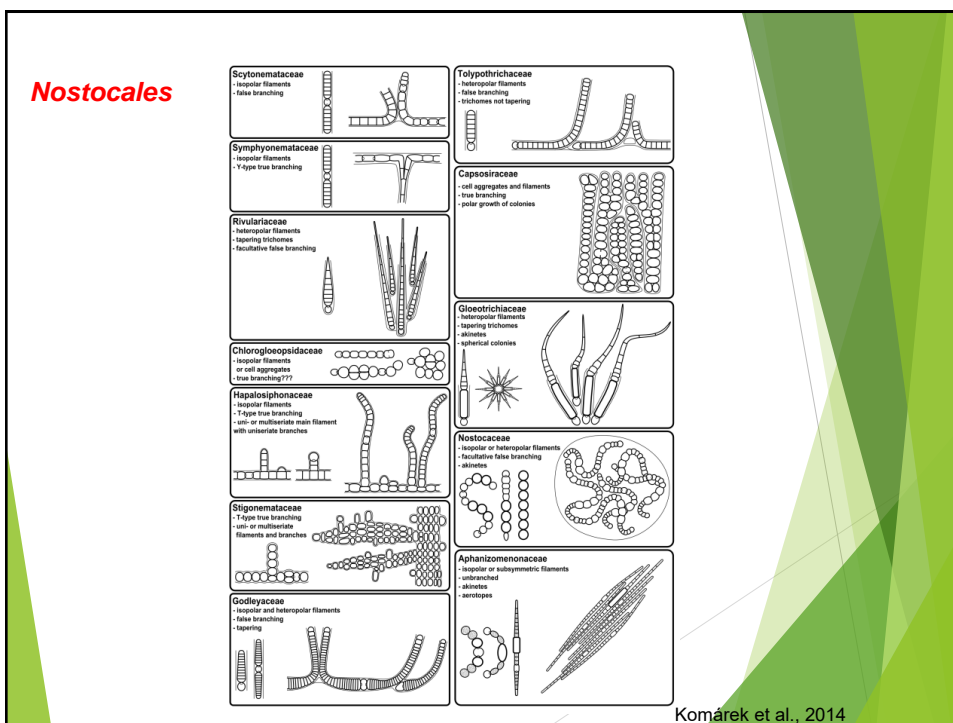
Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

Kmen Cyanobacteria

Třída Cyanobacteria

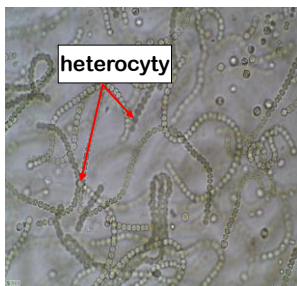
Pododdělení IV *Nostocales*

- ▶ Reprodukce výhradně binárním dělením v jedné rovině kolmo k dlouhé ose trichomu.
- ▶ Při nedostatku zdrojů dusíku (amoniak nebo nitrát) se vegetativní buňky přeměňují do heterocytů.
- ▶ Někteří zástupci produkují akinety. Akinety jsou umístěny buď v sousedství nebo odděleně od heterocytů.
- ▶ Tvoří homogonia 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 lišejníky, jaterníky, růžkatce, kapradiny, cykasovité a jiné nahosemenné rostliny.



Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

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



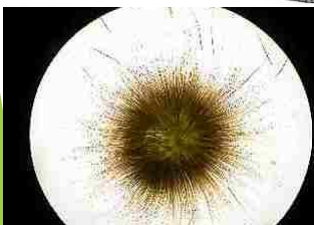
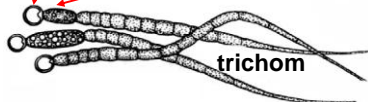
Nostoc - jednořadka

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

Nostoc commune roste na trávnících, cestách, půdě a písku v podobě listovitých, zřasených, olivově zelených slizových ložisek, která mají za sucha podobu zčernalé drobné hmoty. Některé druhy produkují neurotoxiny.

Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

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



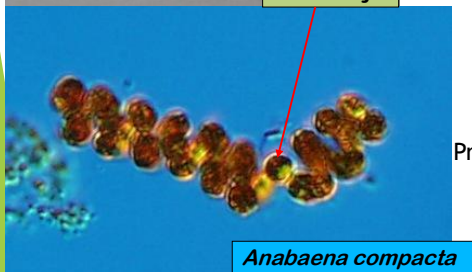
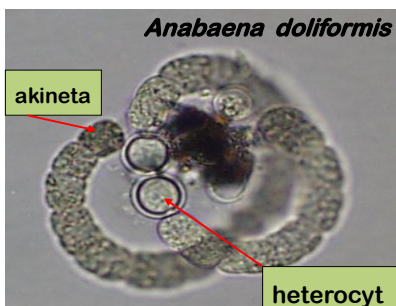
Gleotrichia přečkává zimu ve formě spor v sedimentu. V časném jaře spory vyklíčí a vytvářejí se kolonie, které se neustále zvětšují. Jejich název je odvozen z řečtiny - želatinové vlasy. Většina těchto "vlasů", trichomů, vychází z jednoho bodu. Po dosažení určité velikosti se ze sedimentu kolonie uvolňuje 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. Nejsou vysoce letální pro živočichy, ale mohou vyvolat podráždění pokožky nebo potíže zažívacího traktu.

Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

Kmen *Cyanobacteria*
 Třída *Cyanobacteria*
 Pododdělení IV. *Nostocales*
 Rod *Anabaena*
 (česky šňůrkovlasec)

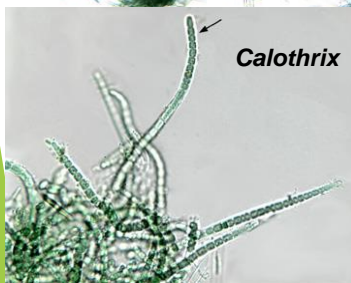
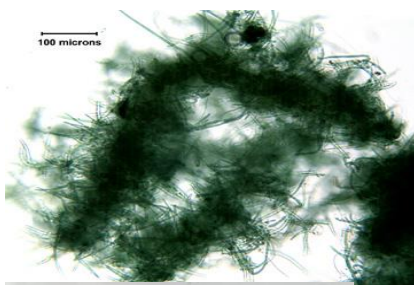


Hojná v planktonu rybníků a tůň, na pobřeží vod i v půdě. Spirálně vinutá vlákna buďto jednotlivá, nebo tvoří chomáčkovitá slizová ložiska. Na konci doby růstu se některé buňky změní v trvalé buňky - akinety. Heterocyty vznikají uprostřed vláken rovněž z vegetativních buněk.

Produkce toxinů - hepatotoxiny, paralytické toxiny, dermatotoxické.

Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

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



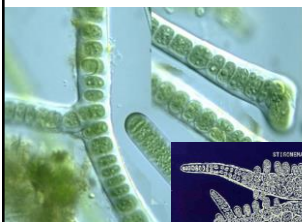
Calothrix vytváří dlouhá vlákna u dna s dlouhými, zašpičatělými apikálními konci. Vegetativní buňky mají obvykle barelovitý, cylindrický nebo protáhlý tvar, ale mohou být někdy rozšířené. Vždy je přítomna pevná mukózní pochva, která je zbarvena žlutě nebo hnědě. Někdy se vyskytuje nepravé větvení.

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.

Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

Pododdělení IV. *Nostocales*
Rod *Stigonema*



Stigonema sp.

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

Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

Stigonema se vyskytuje v různých biotopech po celém světě. Obvykle je přisedlá k substrátu nebo v půdě.

- Běžný je výskyt na kůře stromů nebo na mokřých kamenech od nížin až po alpskou zónu hor.
- Některé druhy rostou v bazénech, mokřinách nebo vřesovištích.
- Významné jsou půdní druhy v tropickém pásmu.

Bakterie s buněčnou stěnou gramnegativního typu

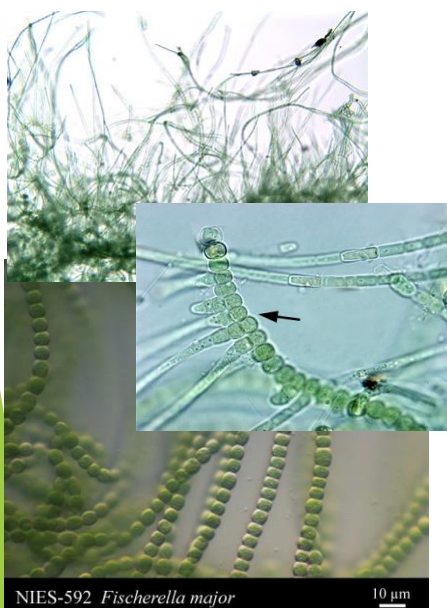
Pododdělení IV. *Nostocales*
Rod **Fischerella**

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.

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.



NIES-592 *Fischerella major*

10 µm

Symbiotické vztahy sinic

► extracelulární symbiózy:

- role fotobionta ve stélkách lišejníků

- - tzv. **cyanely** v tělech mechorostů, kapradorostů a nahosemenných rostlin (v dutinách v listovém pletivu, v hlízkovitých útvarech na kořenech) - dodávají rostlinám dusík v organické formě)

Cyanela je označení pro primitivní plastid (chloroplast) připomínající v mnoha ohledech buňku sinic, z nichž se ve skutečnosti plastidy vyvinuly.

- Cyanely mají na rozdíl od běžných plastidů buněčnou stěnu (z peptidoglykanu) a podobně jako plastidy redukovaný genom



Symbiotické vztahy sinic

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

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)
- ▶ **fykobiliny** - 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 extrémní hodnoty teploty i pH (teplota až 73°C, rozsah pH 5 - 13)

Výskyt sinic

- ▶ termální minerální prameny vysoký obsah CO_2 , ve vodě rozpuštěné vápenaté a železité soli => činností sinic poklesne obsah CO_2 => soli se srážejí a usazují (vznik **travertinu**) proces biomineralizace
- ▶ dobré osmoregulační 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 běžné bakteriální toxiny
- ▶ cyanotoxiny dělíme na:
 - neurotoxiny, hepatotoxiny, cytotoxiny, embryotoxiny, dermatotoxiny, genotoxiny a mutageny, imunotoxiny, imunomodulátory 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 koryšů

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 - ekzantémy, dermatitidy

Cytotoxiny

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

Genotoxiny a mutageny

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

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, dermatotoxický

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 - 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,