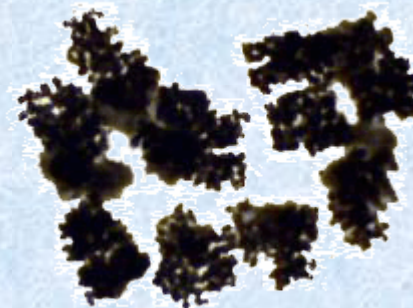
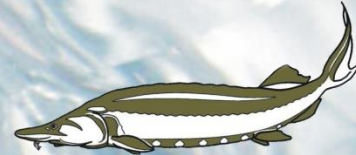


# Sinice – Cyanobacteria (Cyanophyta, Cyanoprokaryota)



# Sinice – celková charakteristika



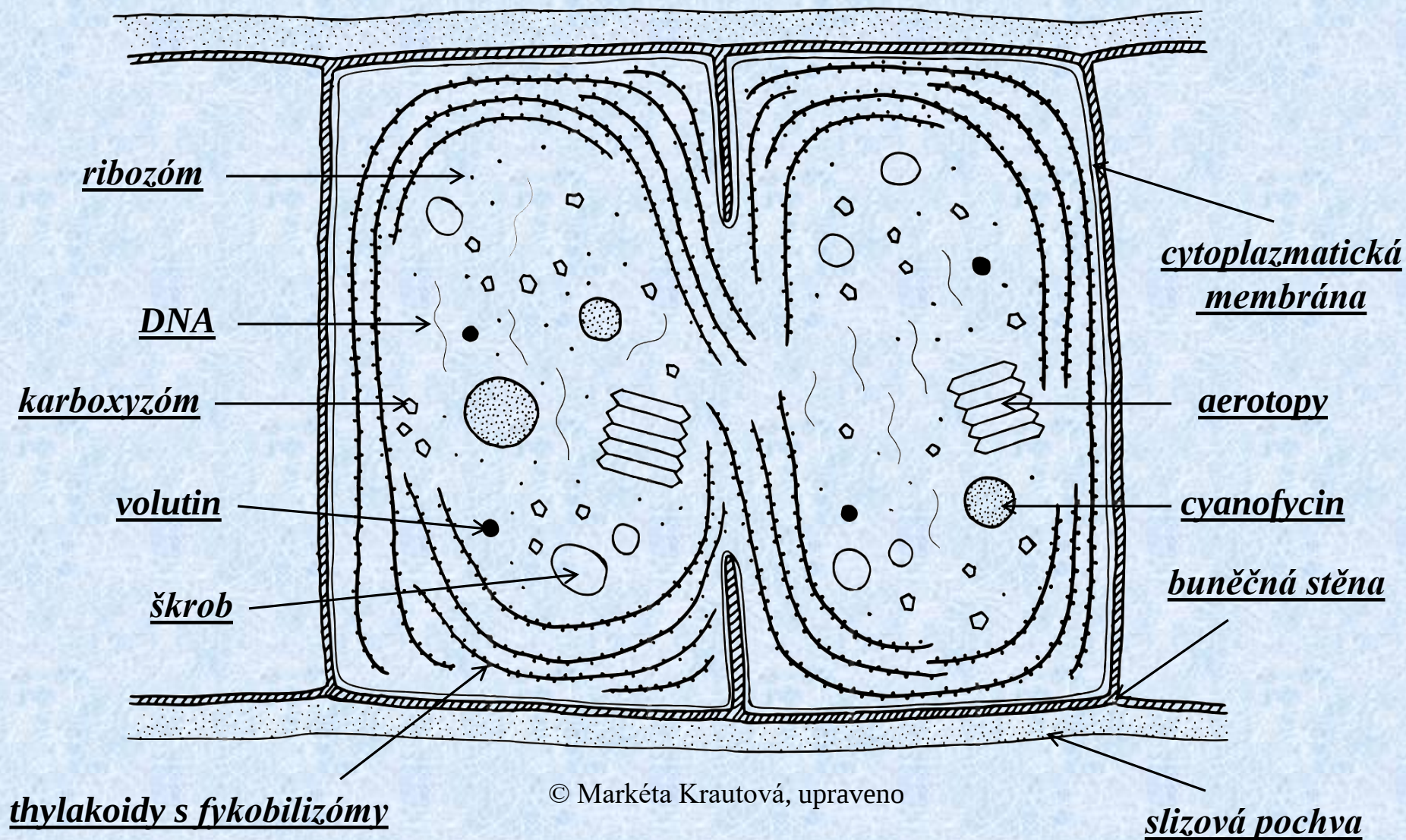
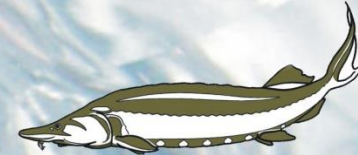
Sinice jsou velmi drobné a velmi jednoduché autotrofní prokaryotické organizmy. Jsou evolučně nesmírně staré a jsou schopné žít téměř ve všech biotopech na zeměkouli.

Podle fosilních nálezů se sinice objevily v prekambriu, tj. před 3,5 - 2,5 miliardou let. Za možné předky sinic jsou pokládány chlorobakterie a purpurové bakterie.

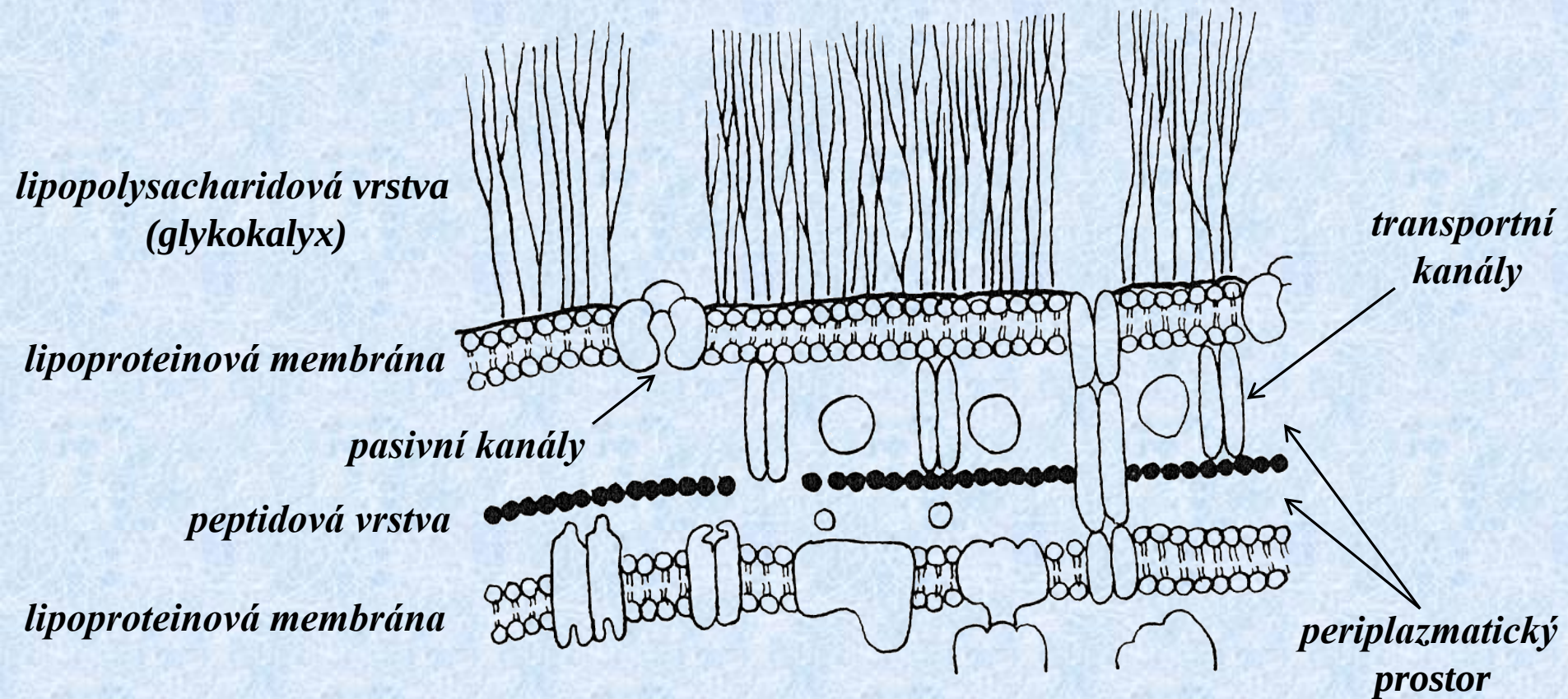
Jejich taxonomie je velmi složitá (např. neexistuje dosud rozumná definice druhu). Navíc chybí důkladnější floristický průzkum tropických oblastí, a proto neexistují jednotné odhady četnosti jejich taxonů, ale pohybují se v řádu minimálně 200 rodů a několik tisíc druhů.

Český název sinice pochází z termínu “sinný” = modrý. To je v podstatě překlad “latinského” názvu, z řeckého cyanos = modrý.

# Sinice – stavba buňky



# Model stavby buněčné stěny sinic



Ganntová a Bryant 1994, upraveno

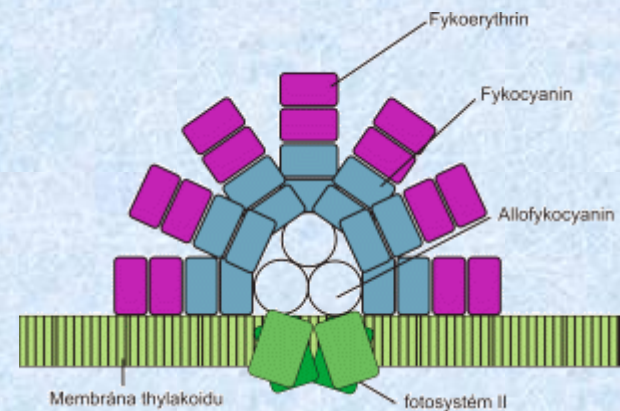
# Thylakoidy a fykobilizómy



V membráně thylakoidu jsou obsaženy fotosyntetické pigmenty **chlorofyl-a**,  $\alpha$ - i  $\beta$ -**karoten** a **xanthofyly** (echinenon, myxoxantofyl, zeaxantin).

Ve **fykobilizómech** se nachází fykobiliproteiny (specifická barviva), modrý **c-fykocyanin**, červený **c-fykoerythrin** a modrý **allofykocyanin**. Tyto pigmenty plní funkci světlosběrné antény. Značná citlivost tohoto typu světlosběrné antény umožňuje fotosyntézu sinic při velmi nízké hladině osvětlení.

Poměr červeného a modrého pigmentu určuje výslednou barvu sinicové buňky. Barevný odstín je pro jednotlivé druhy příznačný, ale mění se i podle složení světla a vlivem výživy. Tato vlastnost se jmenuje **chromatická adaptace**.



Struktura fykobilizómu  
Pankratz a Bowen 1963

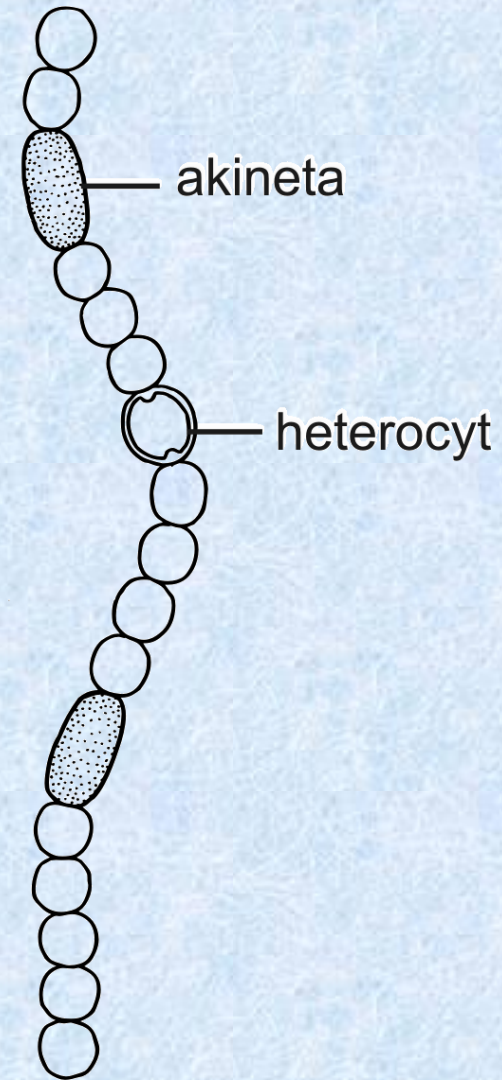
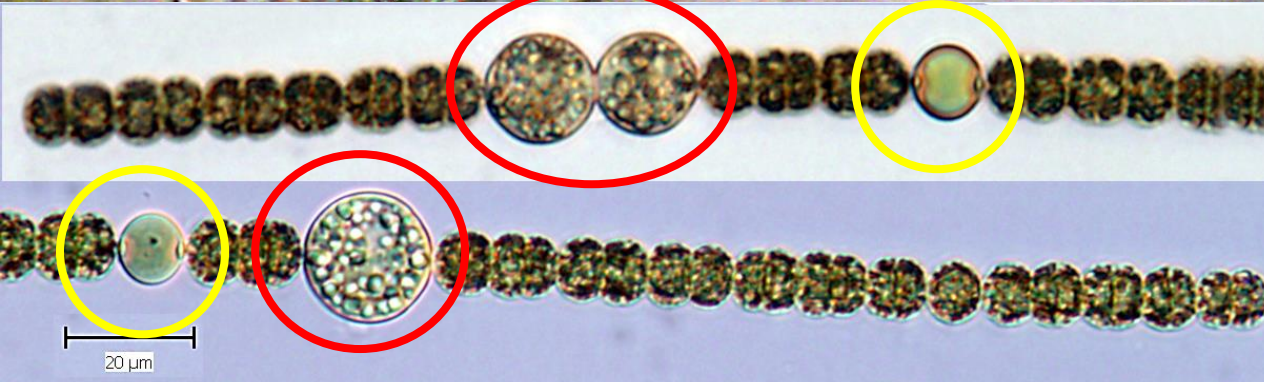
# Thylakoidy a fykobilizómy



**Srovnání tří kmenů *Limnothrix redekei* s odlišným poměrem fykoeritrinu a fykocyaninu.**



# Sinice – heterocyty a akinety



Cyanobacteria - specializované buňky.  
© Markéta Krautová

# Aerotopy



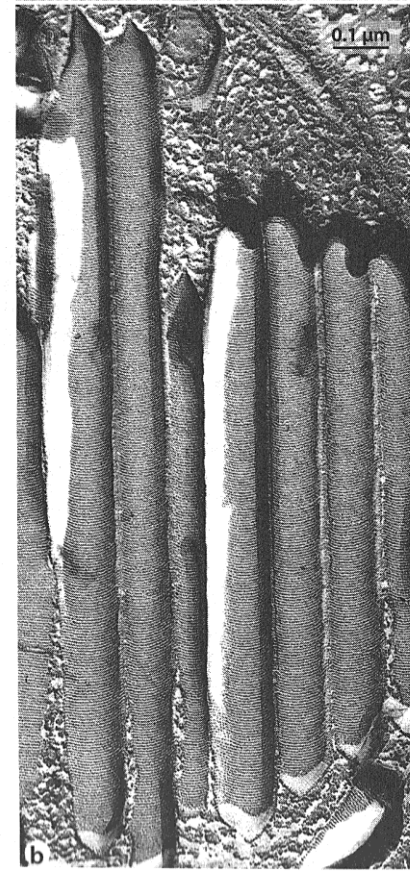
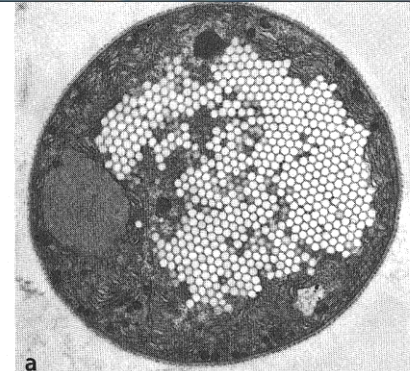
**Aerotopy** (dříve nazývané gasvezikuly, plynové vakuoly, plynové měchýřky) – jsou speciální válcovité struktury ve tvaru mnohostěnu.

V buňce je jich větší počet (i několik tisíc), na příčném průřezu připomínají včelí plást. Jejich stěna je složená z glykoproteinů a je propustná pro všechny plyny rozpustné ve vodě.

Sinice si je mohou tvořit a dezorganizovat v závislosti na abiotických faktorech prostředí a tím regulovat svoji polohu ve vodním sloupci.

Struktura aerotopů  
sinice rodu *Nostoc*

Graham et al. 2009



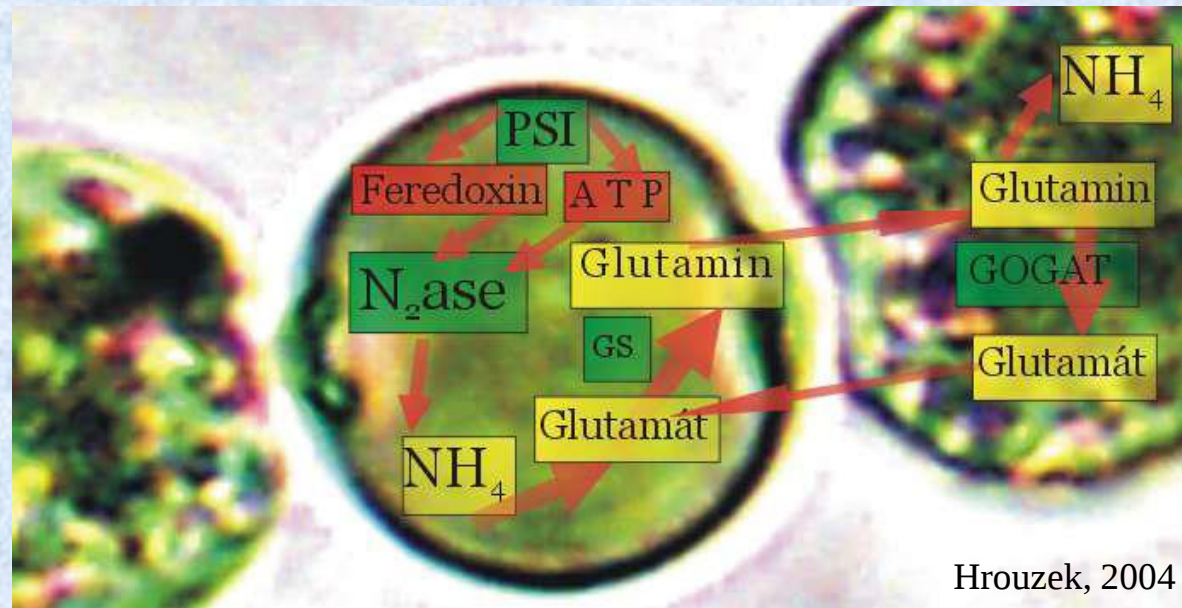
# Sinice – heterocyty



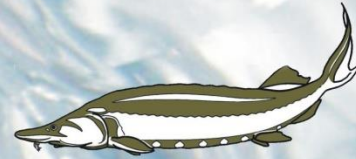
**Heterocyty** (dříve nazývané heterocysty) – jsou tlustostěnné buňky, větší nebo stejné jako buňky vegetativní. V optickém mikroskopu se jejich obsah jeví jako prázdný, ale fotosystém I (tj. ten, co nedělá kyslík) v nich funguje. Vznikají z vegetativních buněk.

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.

Fixace vzdušného dusíku  
v heterocytech



# Zásobní látky

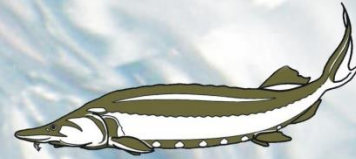


Hlavním asimilačním produktem je **sinicový škrob** ( $\alpha$ -1,4-glukan). Svými vlastnostmi je shodný s glykogenem některých bakterií.

Jako další zásobní energetické zdroje slouží **cyanofycinová zrnka**, které představují dusíkatou zásobní látku. Jsou tvořena aminokyselinami argininem a asparaginem.

V buňkách se nacházejí také **polyfosfátové granule (volutin)**, které obsahují orthofosforečnany. Volutin se v buňkách hromadí v době přebytku fosforečnanů.

# Karboxyzómy, ribozomy a DNA



V buňce jsou přítomny **karboxyzómy**, což jsou drobná tělíška ve tvaru mnohostěnu, pozorovatelná v transmisním elektronovém mikroskopu.

Obsahují enzym RUBISCO

Karboxyzómy jsou analogií pyrenoidů vyskytujících se u eukaryot.

**Ribozomy** sinic jsou menší než u eukaryotních buněk. Sestávají z malé a velké subjednotky, z nichž malá subjednotka obsahuje 16S RNA, zatímco velká subjednotka obsahuje 23S RNA.

Jaderná hmota není rozptýlena po celé buňce, ale je soustředěna do středové části buňky zvané **centroplazma** (nukleoplazmatická oblast). Zde se nachází jediná kruhová molekula **DNA**, uspořádaná v četných smyčkách, připevněných k cytoplazmatické membráně pomocí RNA a bílkovin.

# Sinice – typy stélek

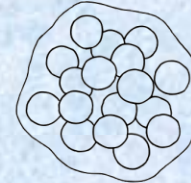


Sinice tvoří několik typů stélek. Nejjednodušší stélky sinic jsou jednobuněčné. Ty jsou často obaleny slizem a sdružují se do pravidelných nebo nepravidelných kolonií.

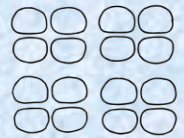
Vláknité typy mohou být buď nevětvené, nepravě větvené (to znamená, že vlákna jsou spolu spojena jen slizovou pochvou a ne fyziologicky) nebo pravě větvené.



kokální  
(*Synechocystis*)



nepravidelné  
kolonie  
(*Apahanocapsa*)



pravidelné  
kolonie  
(*Merismopedia*)



jednoduché  
vlákno  
(*Phormidium*)



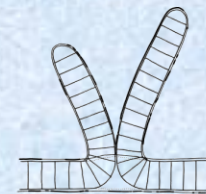
izopolární  
vlákno  
(*Anabaena*)



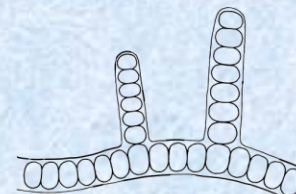
heteropolární  
vlákno  
(*Rivularia*)



přisedlá  
(*Chamaesiphon*)

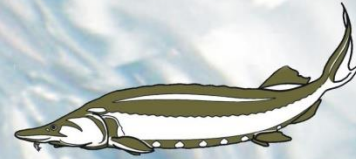


nepravě větvené  
vlákno  
(*Scytonema*)



pravě větvené  
vlákno  
(*Stigonema*)

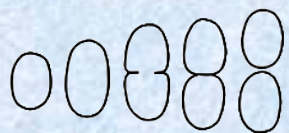
# Sinice – rozmnožování



Rozmnožování sinic je pouze **nepohlavní**, uskutečňuje se pouhým zaškrcováním membrány, nebo fragmentací stélky či tvorbou nepohlavních výtrusů (akinet).

U rodu *Chamaesiphon* se tvoří **exocyty** nebo u rodu *Cyanocystis* **baeocyty** uvolňující se po roztržení buněčné stěny.

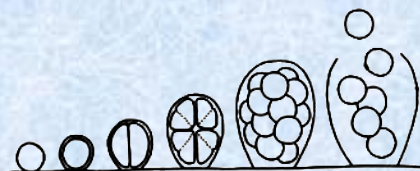
Některé vláknité sinice se množí **hormogoniemi**, což jsou několikabuněčné části vlákna, oddělované z vlákna mateřského. Hormogonie se pohybují pomalým klouzavým pohybem.



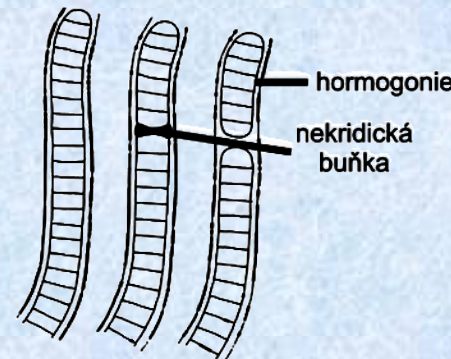
prosté dělení  
(*Synechocystis*)



exocyty  
(*Chamaesiphon*)

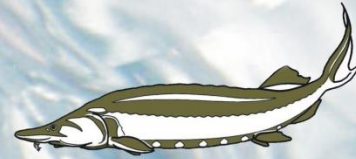


baeocyty  
(*Cyanocystis*)



nekrické buňky a hormogonie  
(*Oscillatoria*)

# Sinice – ekologie



Žijí téměř všude – ve sladkovodním i mořském planktonu, v nárostech, v půdě, na smáčených stěnách, uvnitř kamenů, ve sněhu a ledu aj.

Sinice jsou známy i z horkých pramenů, v nichž teplota vody dosahuje 72 - 73 °C. V Karlových Varech žije druh *Mastigocladus laminosus* při teplotě až 62 °C.

Pro planktonní druhy je typická schopnost vytvářet při nadbytku živin tzv. **vodní květ**. Toto obrovské množství biomasy sinic produkuje řadu metabolitů a způsobuje značné vodohospodářské problémy.

Nejproblematičtější skupinou sinicemi produkováných látek jsou látky toxické povahy (**cyanotoxiny**).

Pozoruhodnou skupinu tvoří symbiotické sinice. Nejznámější jsou symbionti s lišejníky. V lišejníkové stélce zastupují autotrofní složku, označovanou jako **fykobiont**.

# Toxiny sinic



Po chemické stránce se jedná o peptidy, alkaloidy (heterocyklické látky) a lipopolysacharidy.

Hlavní toxický účinek bývá nejčastěji **hepatotoxický**, **neurotoxický** nebo **dermatologický**, prokázány byly i další efekty (imunomodulační, embryotoxické, nádorově promoční).

Jednotlivé toxiny vykazují často smíšenou aktivitu.

Nejrozšířenější, v sinicích sladkých a brakických vod nejčastěji nalézanou a tedy i nejvíce studovanou skupinou cyanotoxinů představují hepatotoxické cyklické heptapeptidy – **microcystiny**.

Microcystin-LR je uveden v legislativě ČR (vyhláška č. 252/2004 Sb.) jako jeden ze sledovaných ukazatelů pro pitnou vodu a microcystiny jsou uvedeny i v zákoně č. 281/2002 Sb. o opatřeních souvisejících se zákazem biologických a toxinových zbraní.

# Sinice – ekologie



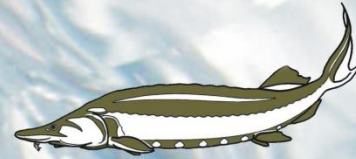
Sinice jsou i výrazný geologický činitel. V silně mineralizovaných vodách způsobují srážení solí (vápenatých a železitých) do různých minerálů, např. **travertinu**.

Sinice v těchto minerálních vodách svojí fotosyntézou ve vodě sníží koncentraci  $\text{CO}_2$  a způsobí tak vysrážení těchto solí. Tato činnost sinic, ale i jiných řas se nazývá **biomineralizace**.

Jedny z nejstarších geologických útvarů na Zemi - **stromatolity** mají na svědomí sinice. Jedná se o víceméně hříbovité útvary, které vznikají usazováním především uhličitanu vápenatého v pochvách sinic.

Dnes jsou to celkem ojedinělé útvary (nejvíc "živých" je v Shark Bay v Austrálii a v přílivovém kanálu na Exuma Island na Bahamách), ale v prekambrických horninách se vyskytují velice často.

# Sinice – využití



Sinice jsou perspektivní skupinou organismů.

Jako vazači plynného dusíku se uplatňují při zúrodnování rýžových polí.

Sinice se využívají při kultivaci neúrodných stepních půd.

Sinice se podílejí na zrání léčivých bahen a stále častěji se využívají v **biotechnologii** (*Spirulina*, *Arthrospira*).

Produkce mastných kyselin (n-3). Některé sinice mají i vysoký obsah EPA (20:5 n-3) a DHA (22:6 n-3).

Přídavek do krmiv pro hospodářská zvířata.

Sinice (převážně *Spirulina*) jsou zdrojem fykobiliproteinů, zejména modrého fykocyaninu.

Používá se jako netoxické barvivo a jeho přirozený fluorochróm při sledování metabolických procesů. Může nahrazovat radionuklidy.

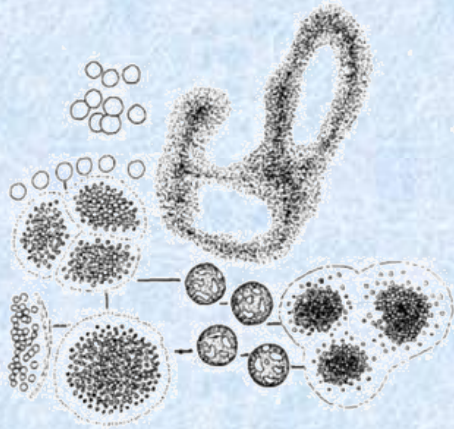
Farmaceutické využití metabolitů sinic (selektivní cytostatika, virocidní látky).

# Sinice – klasifikace

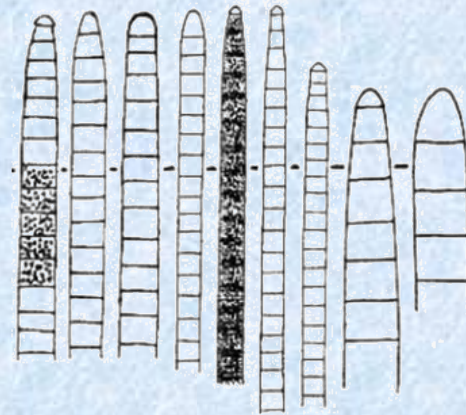


Třída: Cyanobacteria (Cyanophyceae)

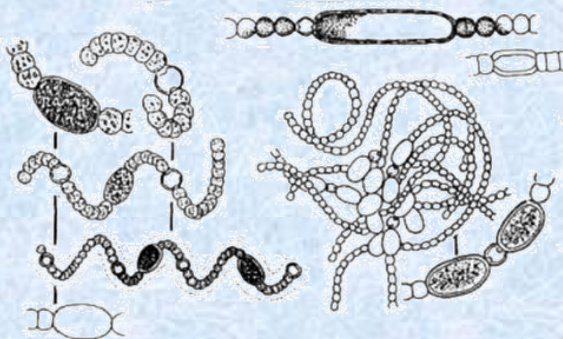
Řád: Chroococcales



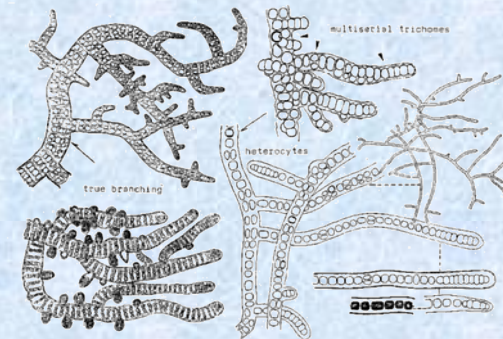
Řád: Oscillatoriales



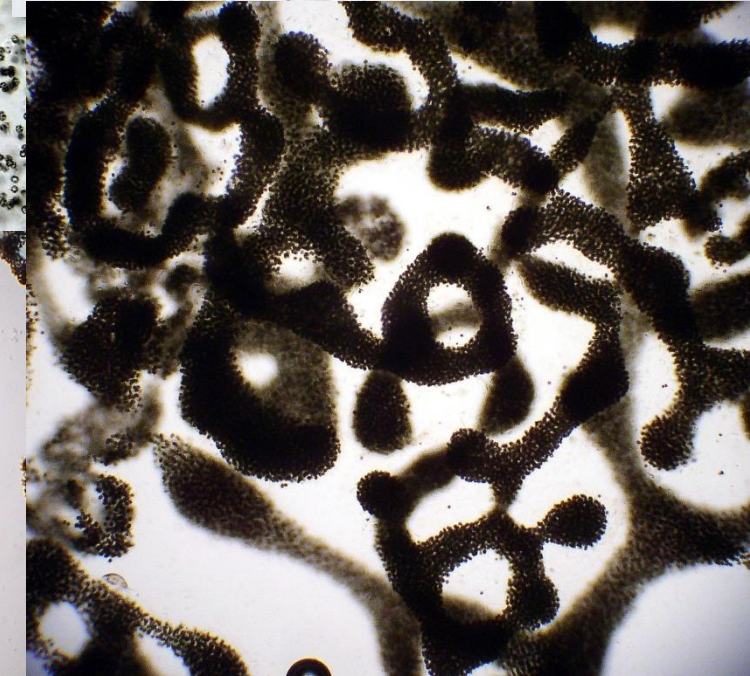
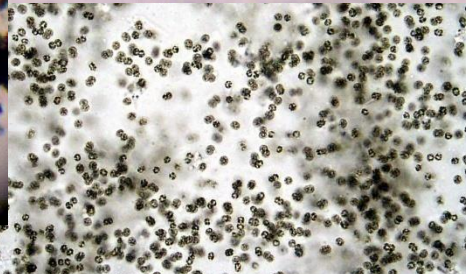
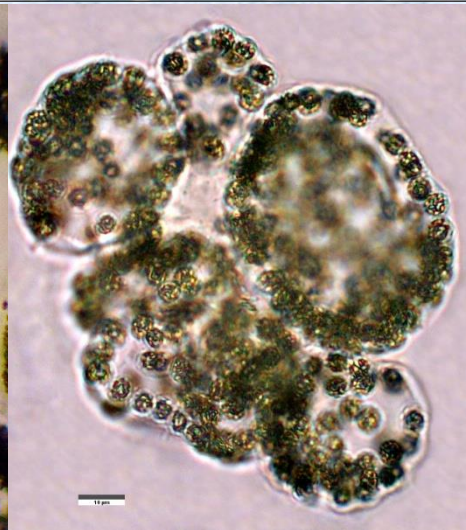
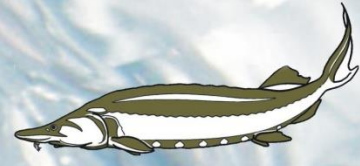
Řád: Nostocales



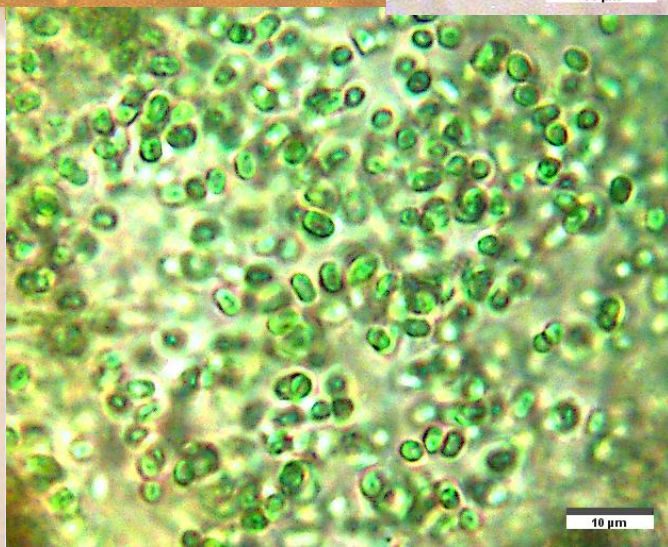
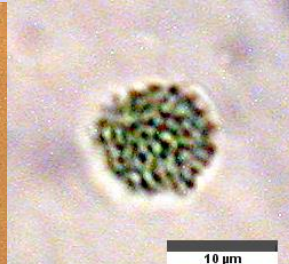
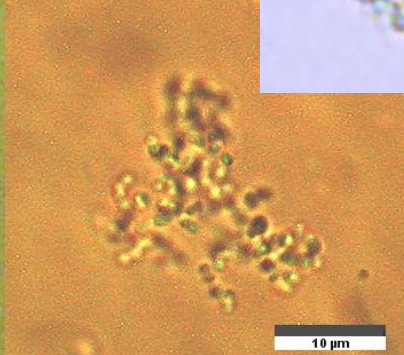
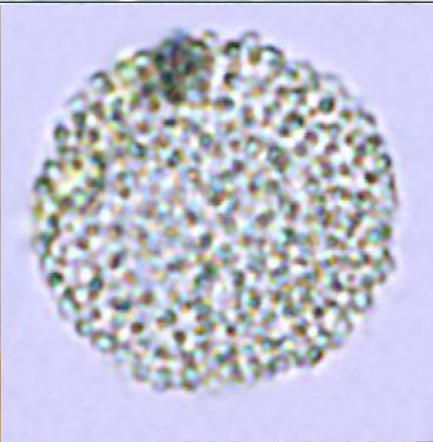
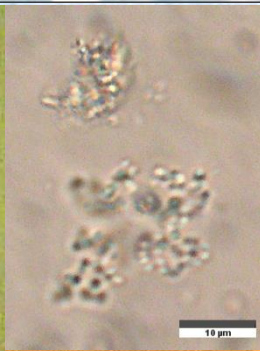
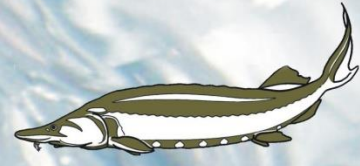
Řád: Stigonematales



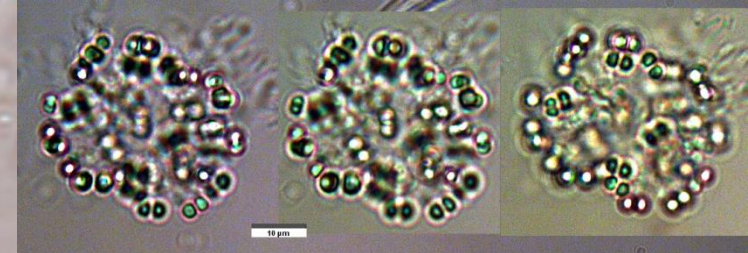
# Microcystis



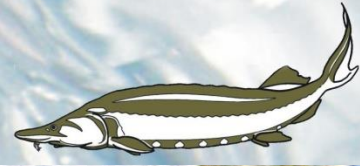
# Pikoplanktonní sinice



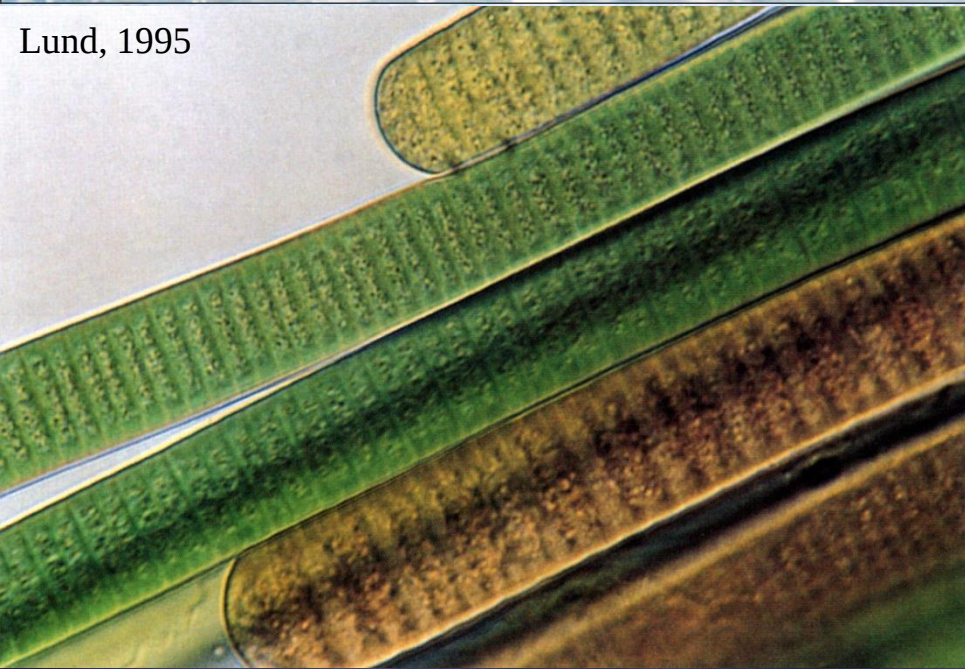
# Chroococcus, Snowella, Woronichinia



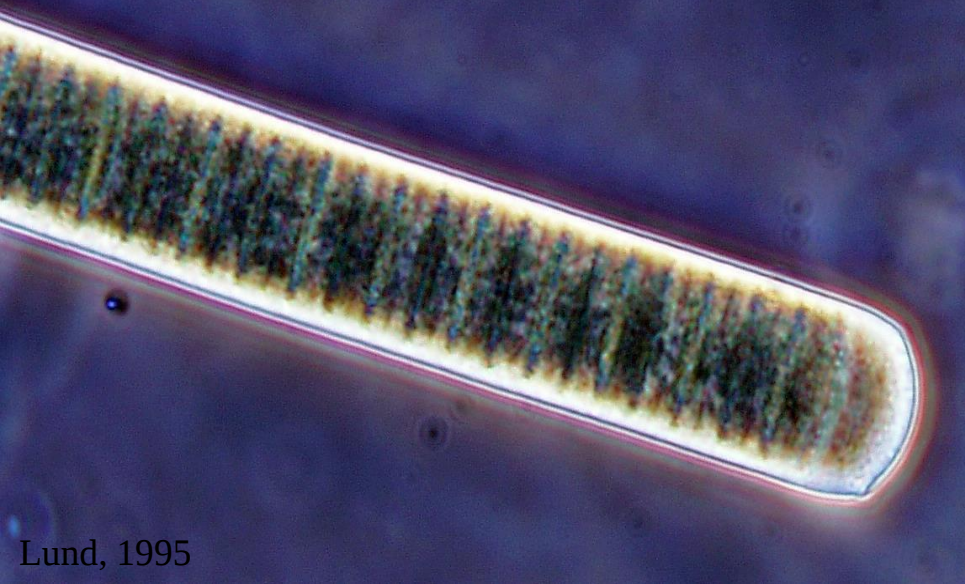
# Oscillatoria, Phormidium



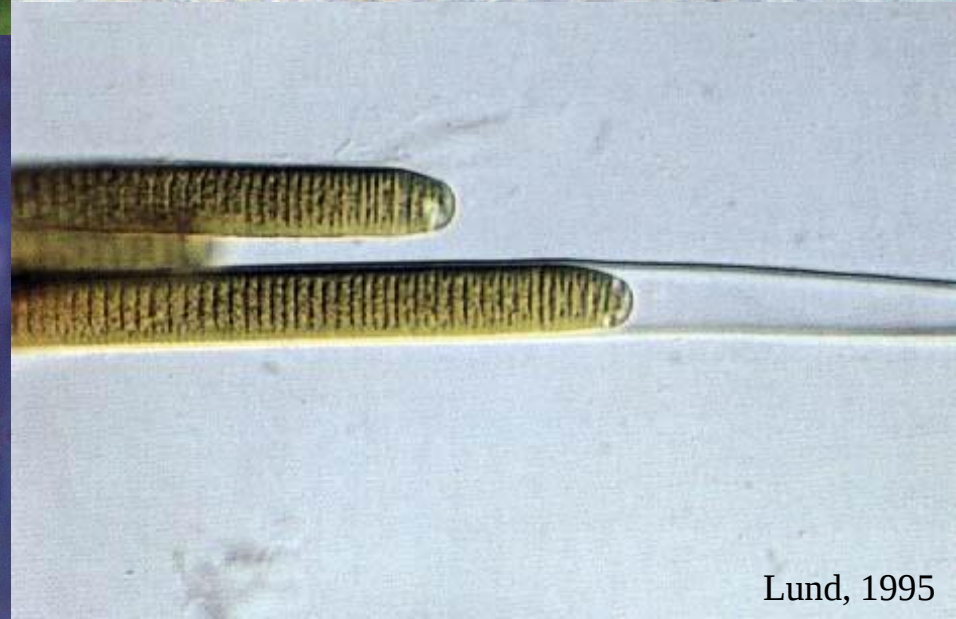
Lund, 1995



Lund, 1995

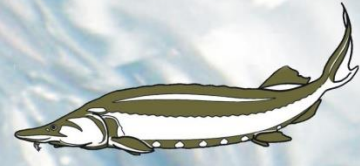


Lund, 1995



Lund, 1995

# Trichodesmium, Spirulina (Arthrospira)



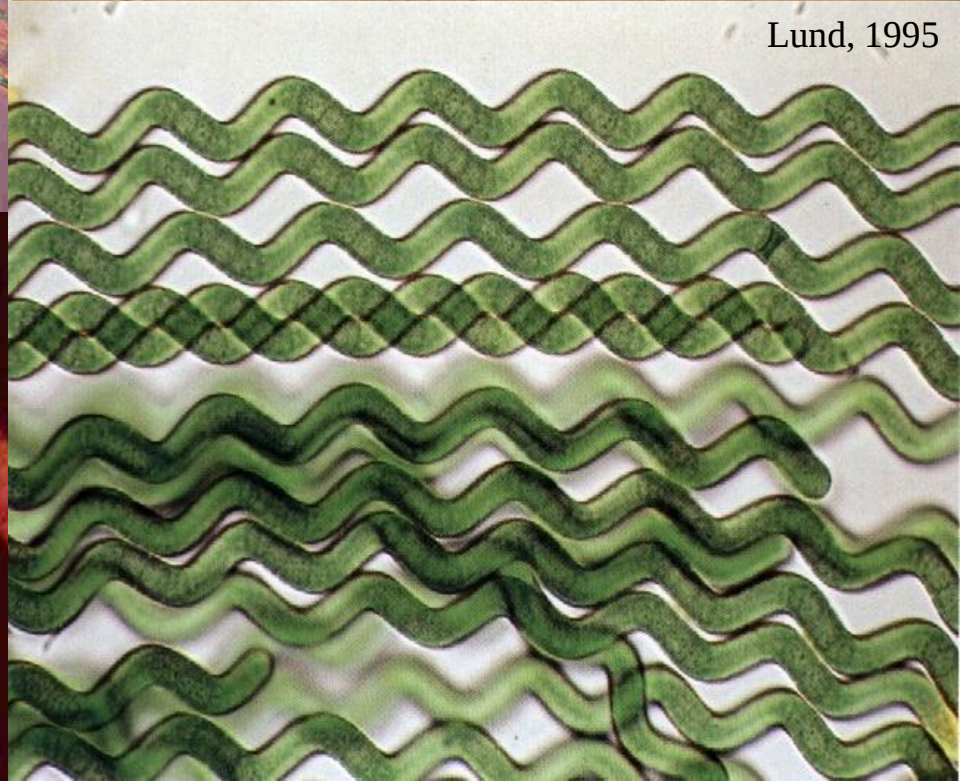
Lund, 1995



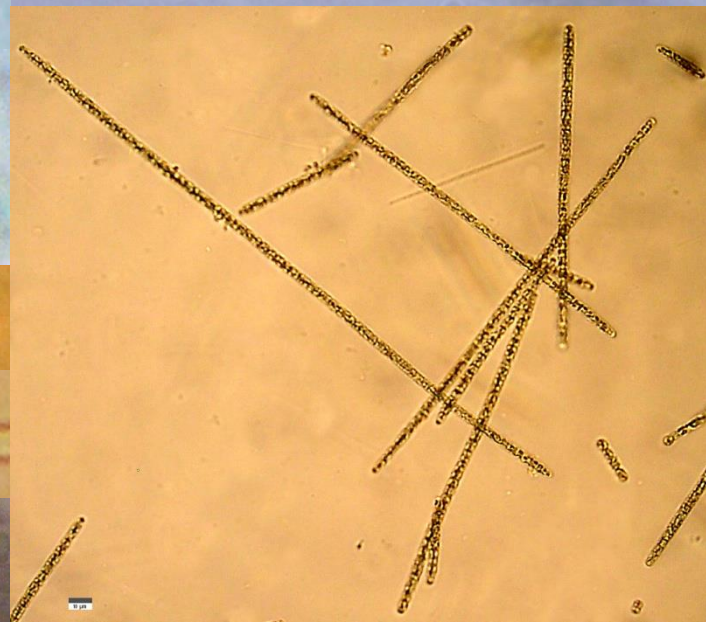
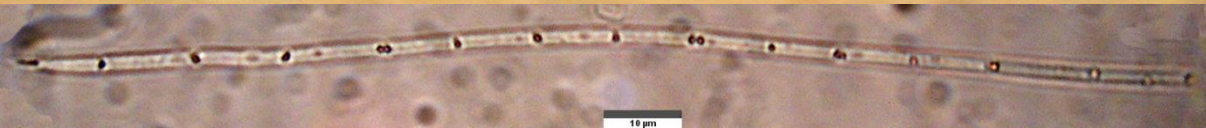
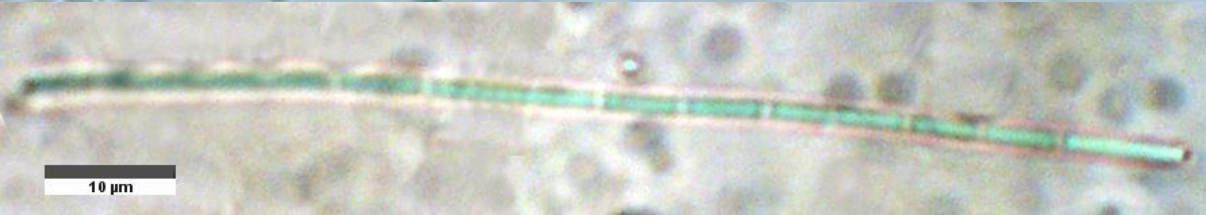
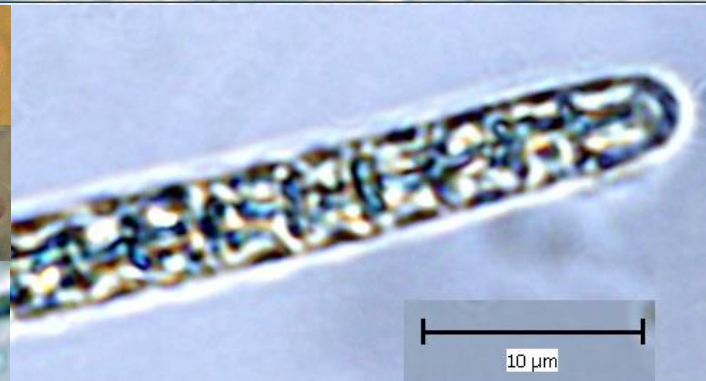
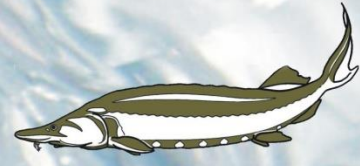
Lund, 1995



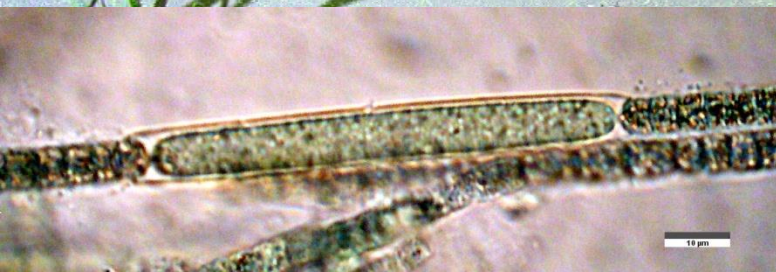
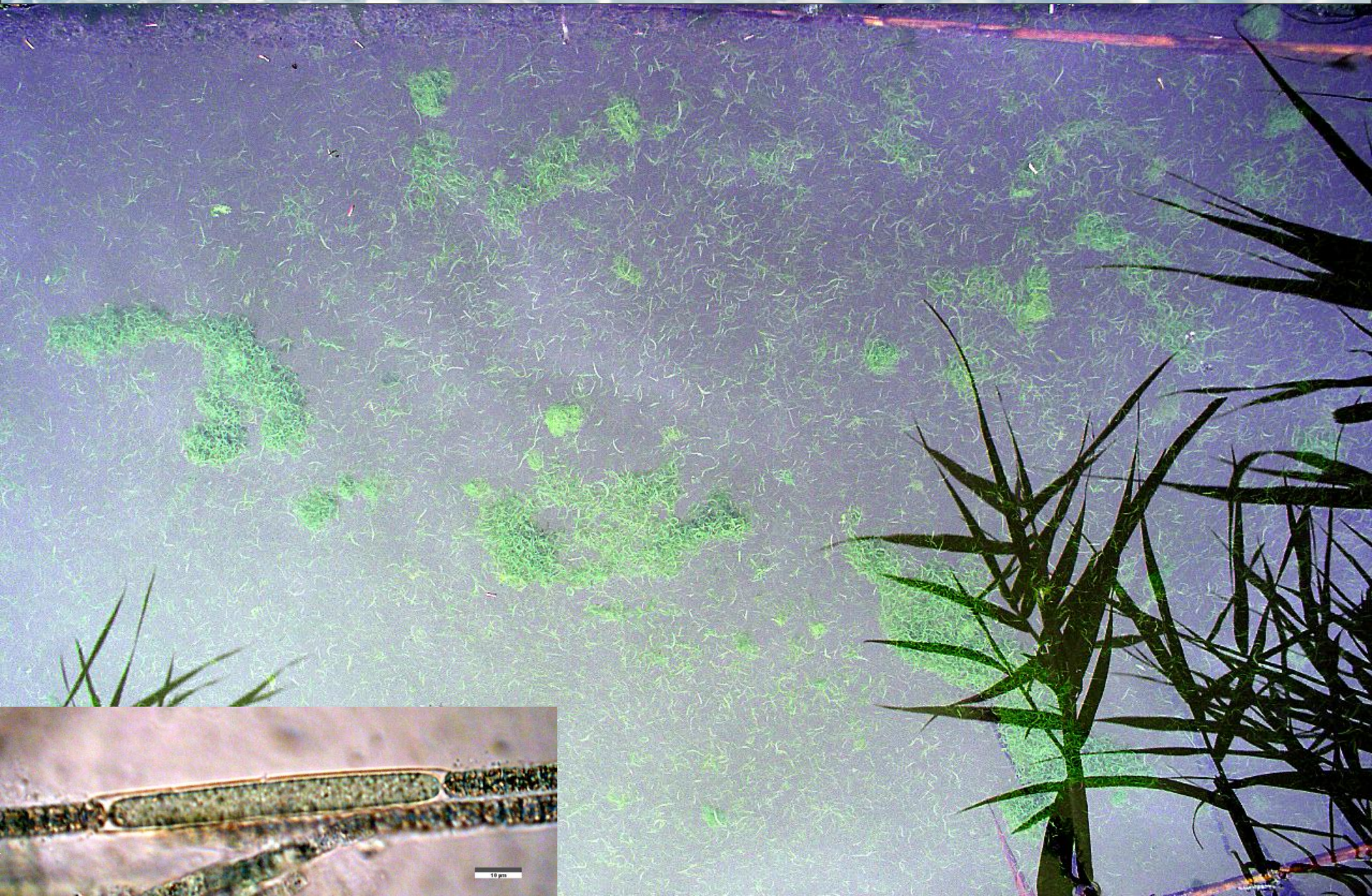
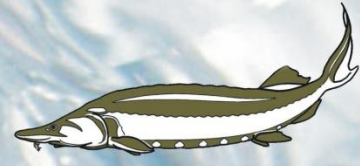
Lund, 1995



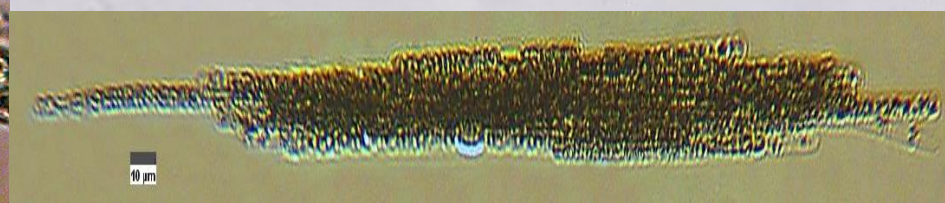
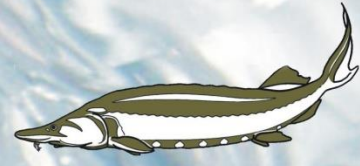
# Planktothrix, Limnothrix, Pseudanabaena



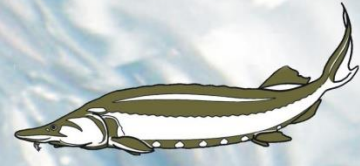
# Aphanizomenon



# Aphanizomenon



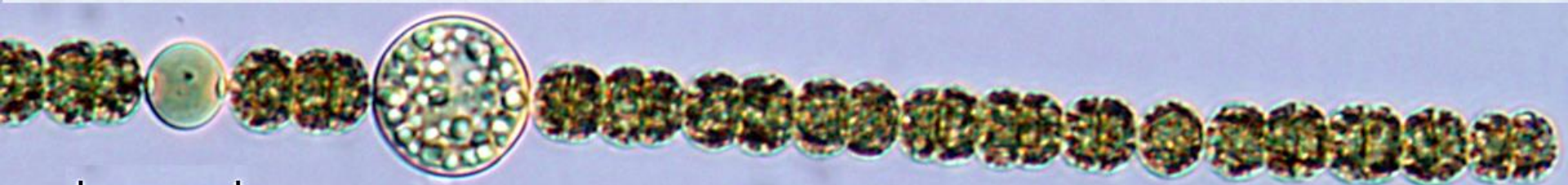
# Dolichospermum (Anabaena)



10  $\mu\text{m}$

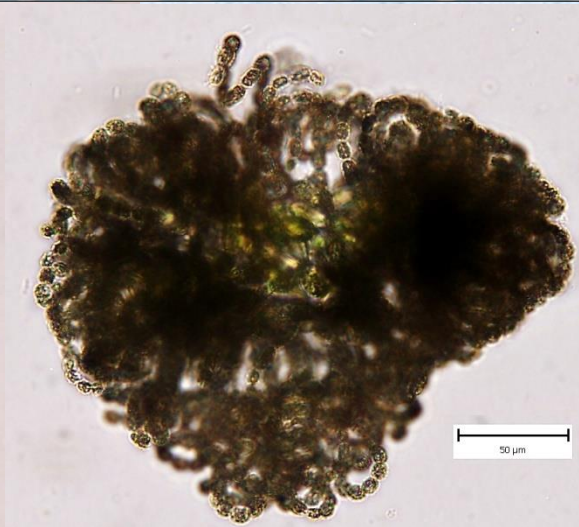


10  $\mu\text{m}$

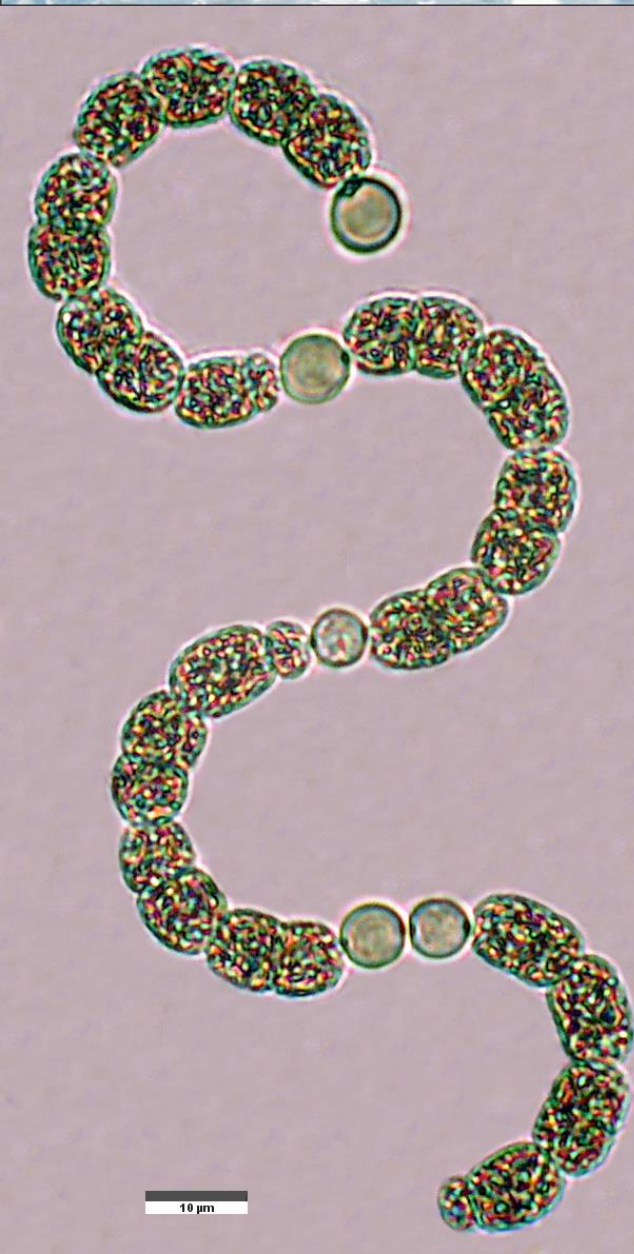
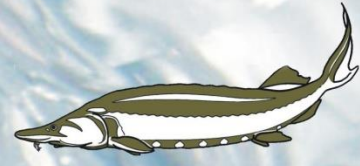


20  $\mu\text{m}$

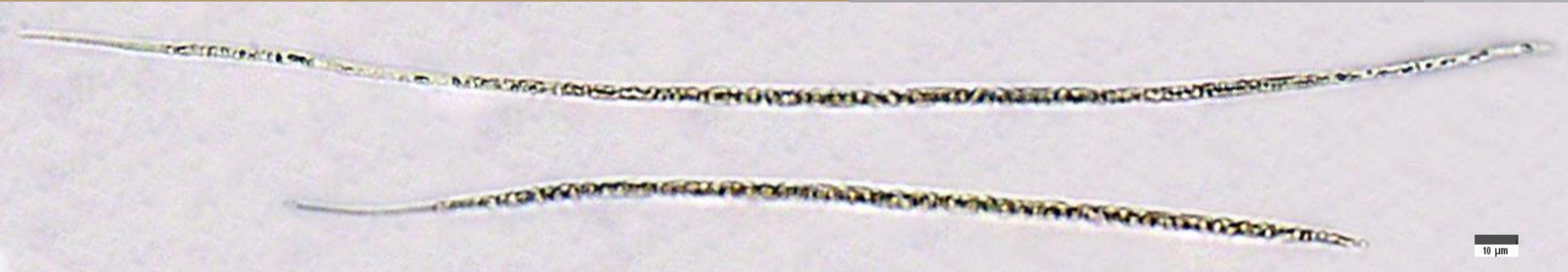
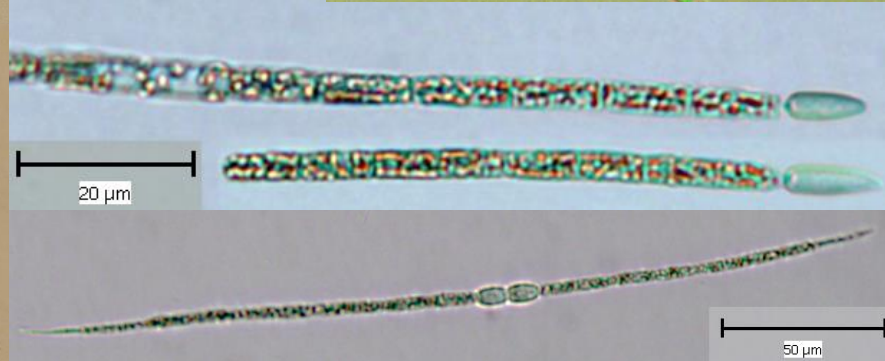
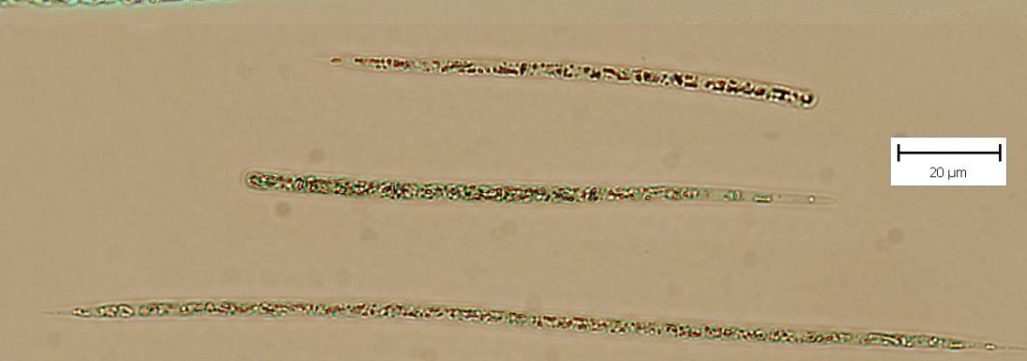
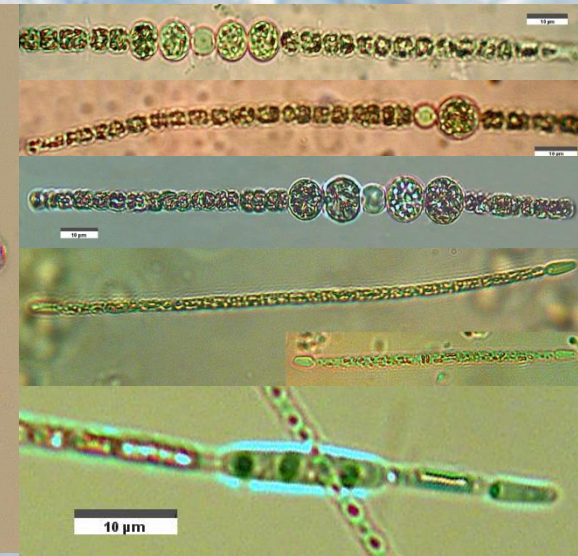
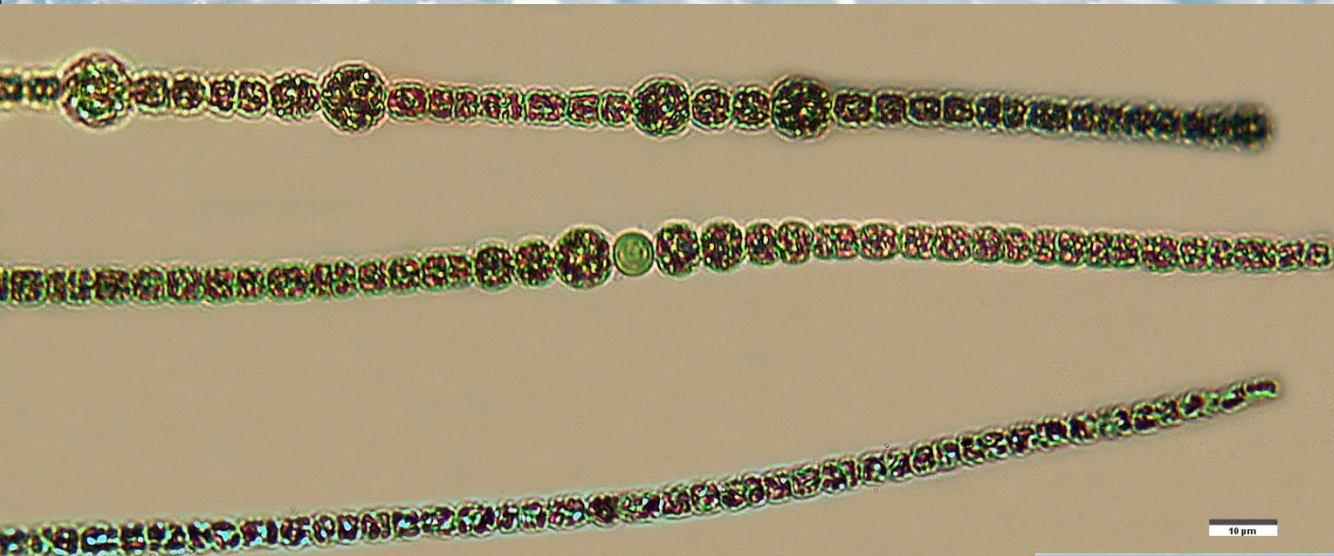
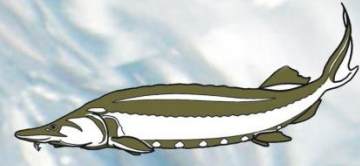
# Dolichospermum (Anabaena)



# Anabaenopsis



# Cuspidothrix, Cylandropermopsis, Sphaerospermopsis



# Hapalosiphon, Mastigocladus, Stigonema

