

Od sinice k první kytce...

Po stopách evoluce primárních producentů

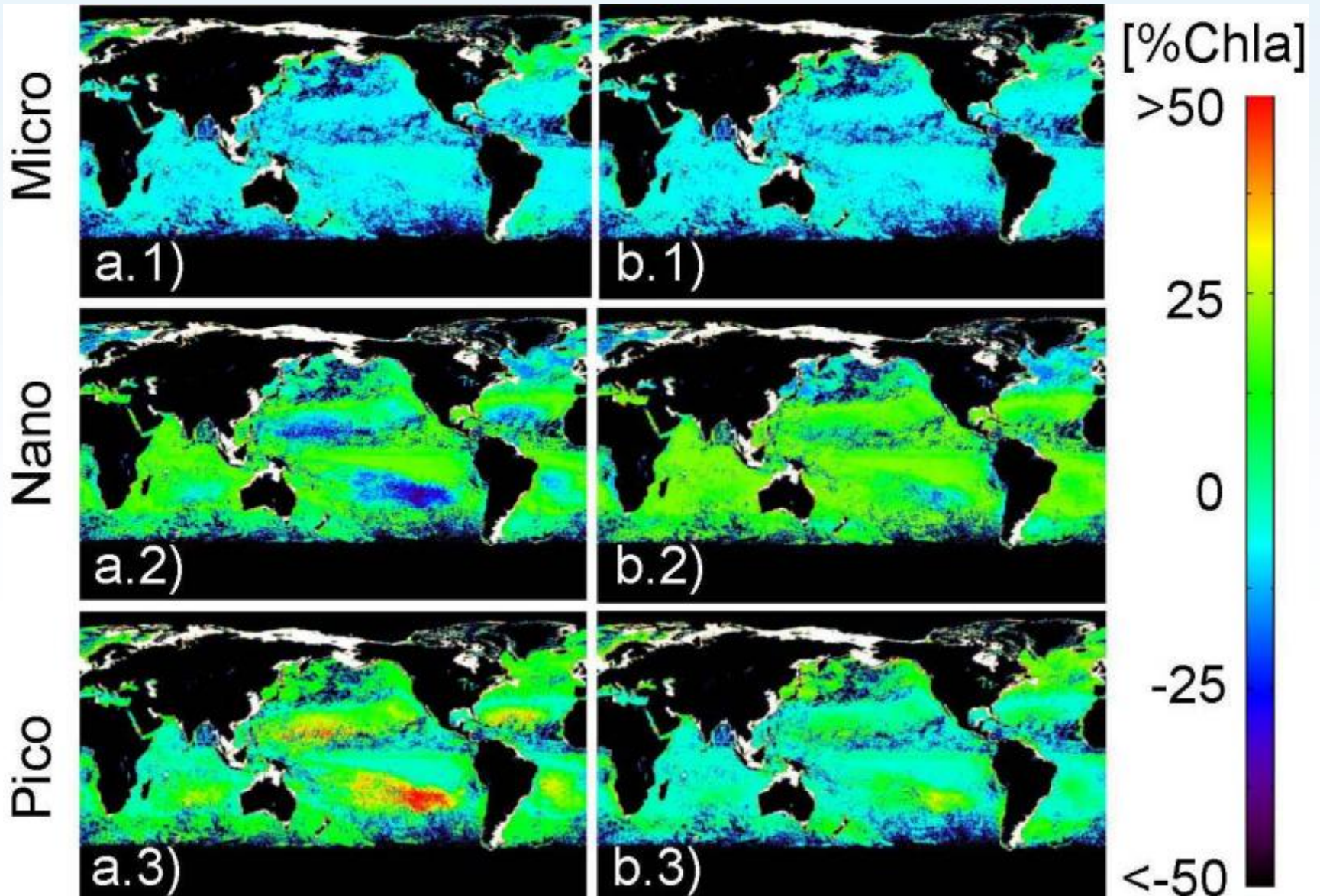


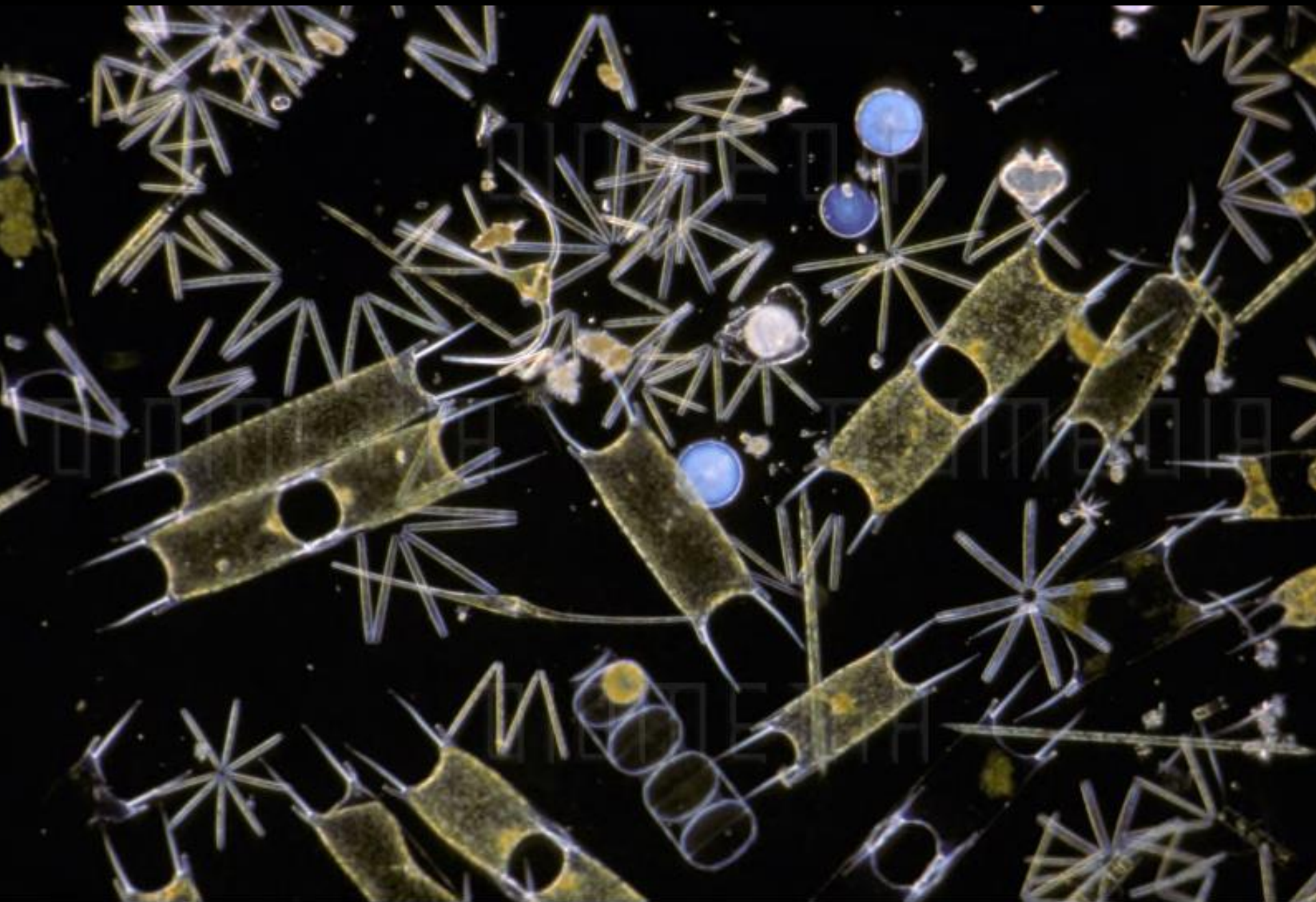
Pavel Škaloud
katedra botaniky PŘF UK



Primární produkce

- Více jak polovinu primární produkce mají na svědomí řasy





Primární producenti

AQUATIC ORGANISMS (10900)/Algae Color Plates

10-169

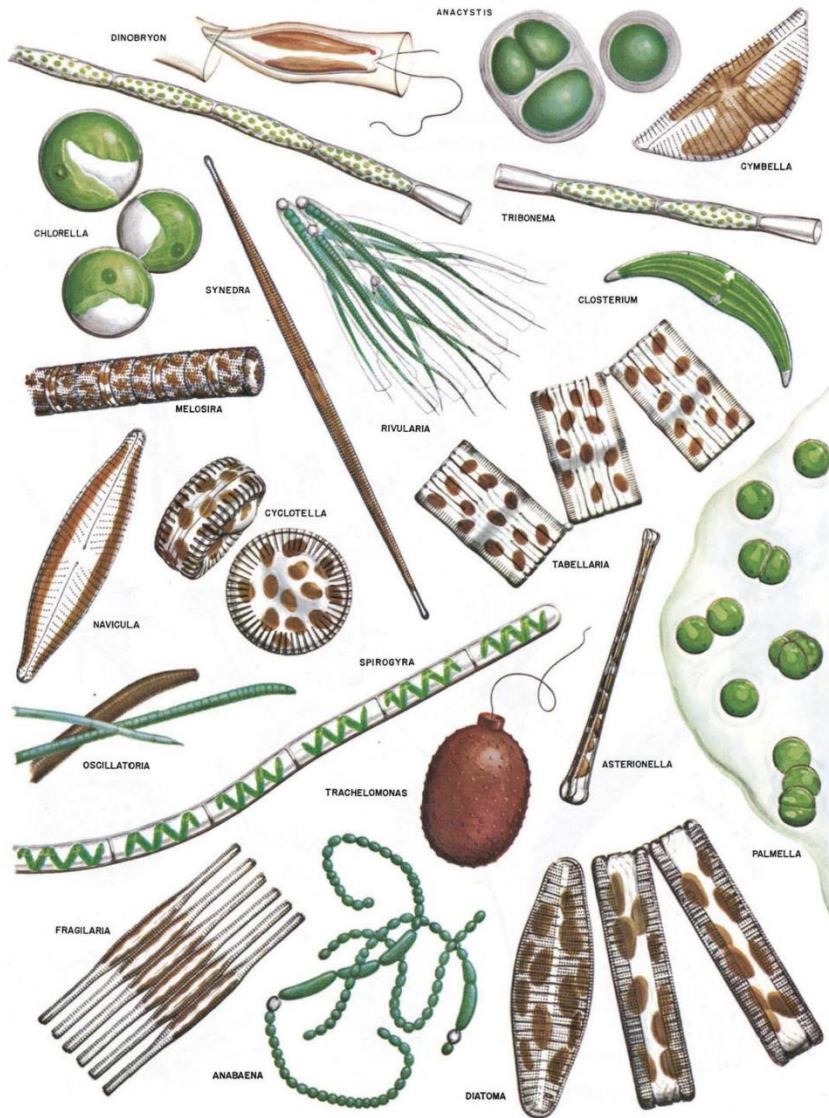


Plate 29. Filter- and screen-clogging algae.

AQUATIC ORGANISMS (10900)/Algae Color Plates

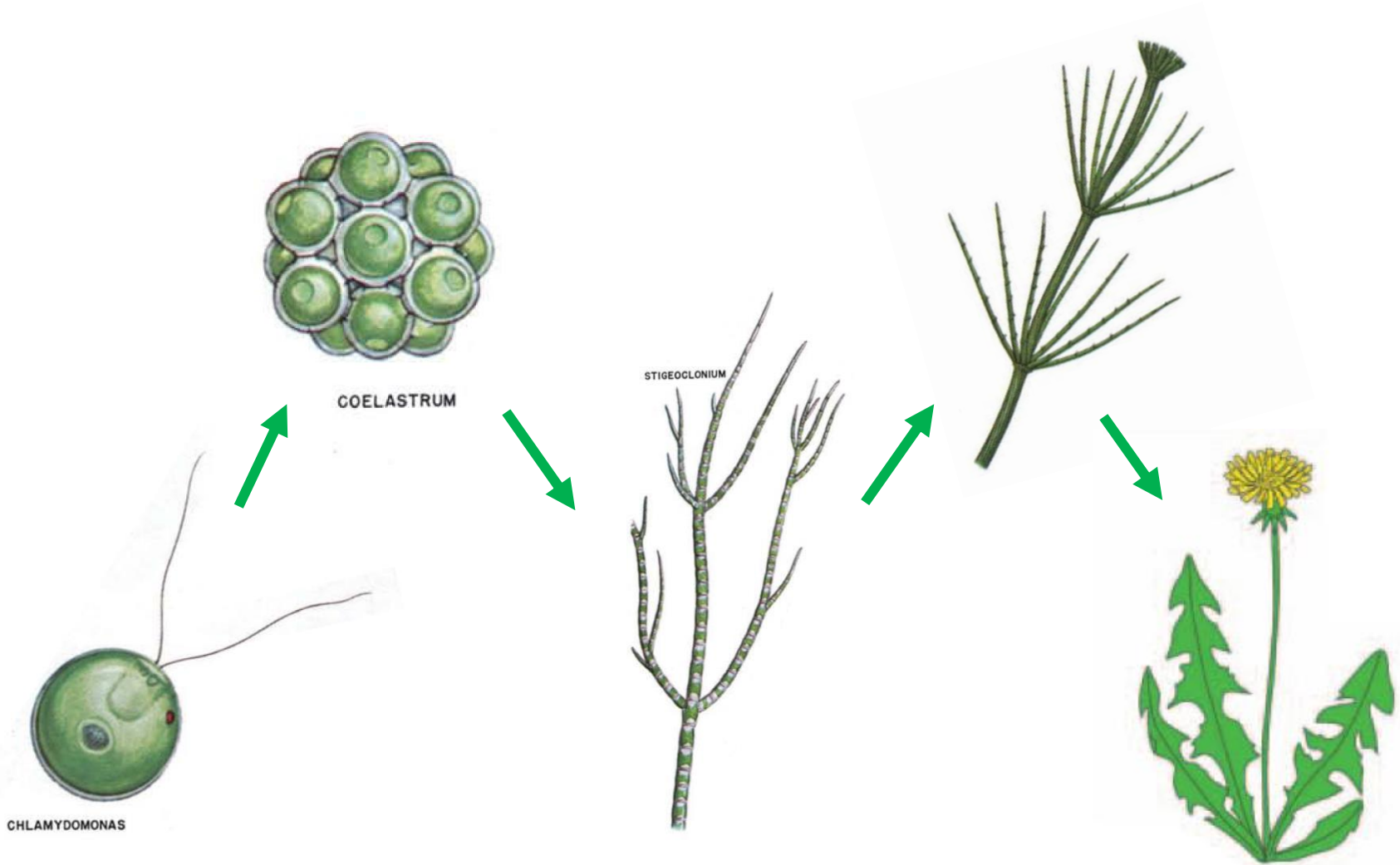
10-171



Plate 31. Clean-water algae.

Primární producenti

- tradiční představy o evoluci
 - od bičíkovců ke složitějším formám

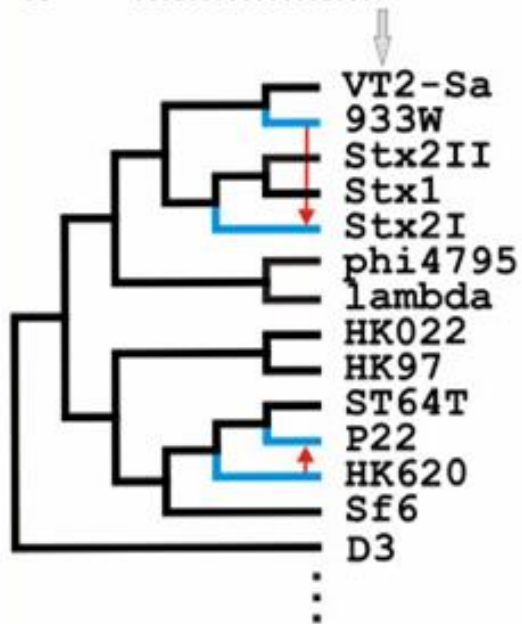


Molekulární revoluce

```

...
Hk620 0000000101111111...
Sf6   0000000100110010...
P22   0000000101011011...
ST64T 0000000101110011...
lambda 0100000000110110...
Stx2II 1000000010111010...
VT2-Sa 1000000010111011...
Stx1   1000000010111011...
Stx2I  1000000010111010...
933W   1000000010111010...
phi4795 111111010101010...
Hk022  0001000001100010...
Hk97   0001111001101110...
D3     0001000000000010...

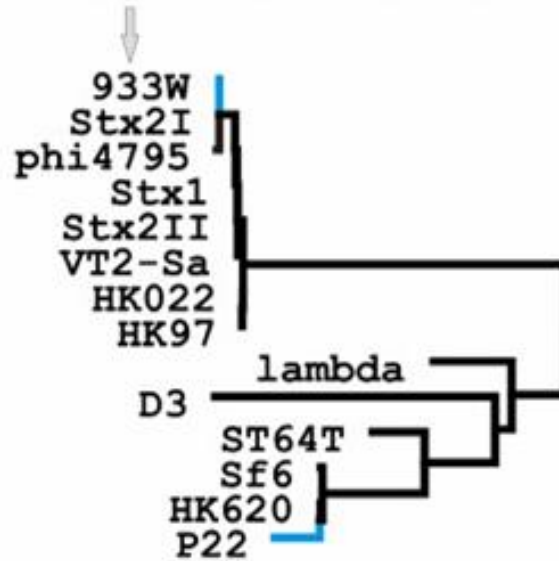
```



```

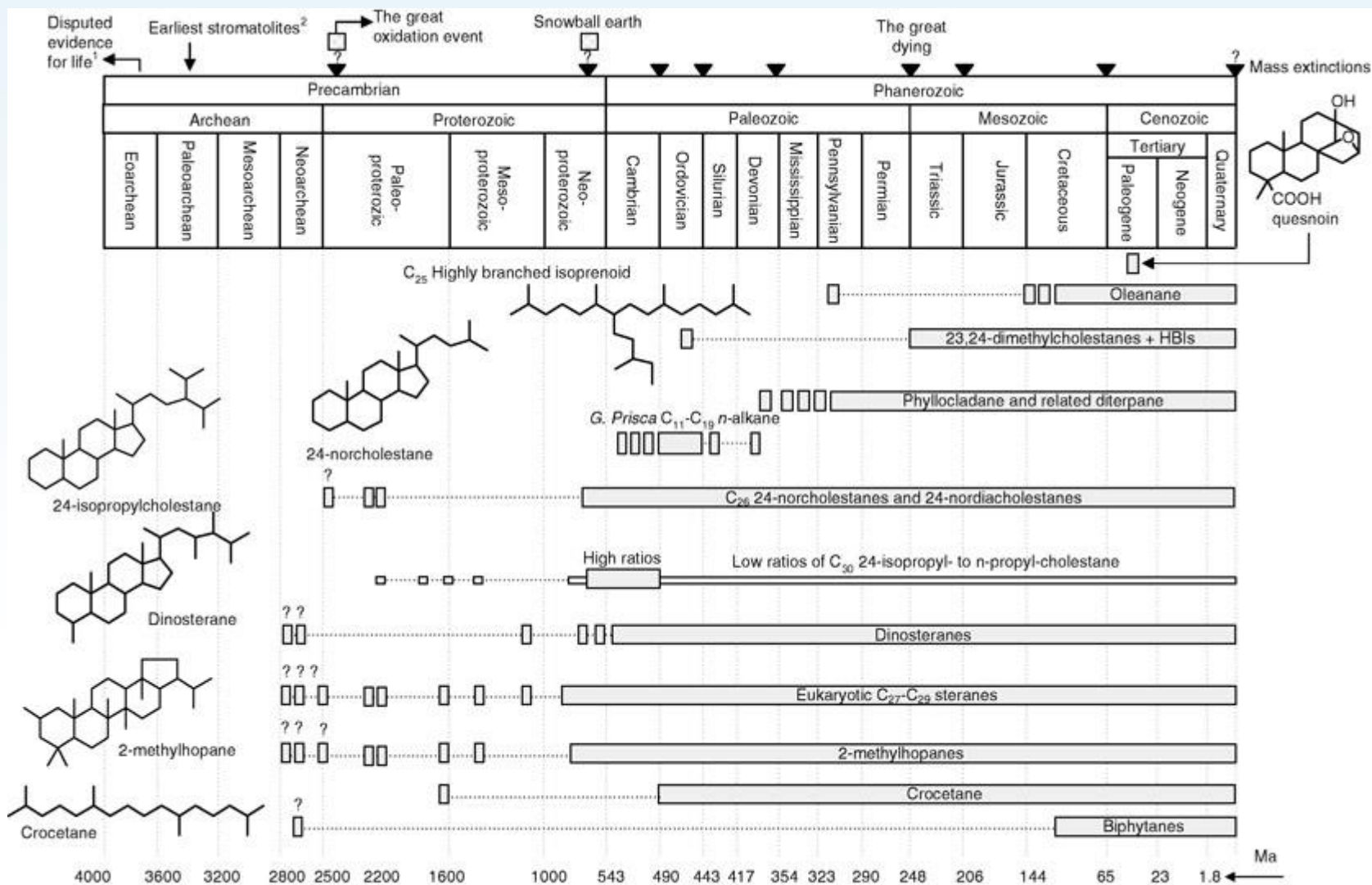
HK620 -QLSTR---KKANAITSNILNRIAVRGQRKVADALGINESQISR--WK
Sf6   -QLSTR---KKANAITSNILNRIAVRGQRKVADALGVNESQISR--WK
P22   -ELSTR---KKANAITSILNRIAIRGQRKVADALGINESQISR--WK
ST64T -NVVATKS--KKAARIESLLNKLAMMGQKTFKAMGVPEYQVSR--WK
lambda --VRANKR--NEALRIESALLNKIAMLGTEKTAEAVGVDKSQISR--WK
Stx2II EQTSYSKLSQREIDRAETDLLINLSTLQRLAKMIGCHESKISRDTWR
VT2-Sa EQTSYSKLSQREIDRAETDLLINLSTLQRLAKMIGCHESKISRDTWR
Stx1   EQTSYSKLSQREIDRAETDLLINLSTLQRLAKMIGCHESKISRDTWR
Stx2I  EQTSYSKLSQREIDRAETDLLINLSTLQRLAKMIGCHESKISRDTWR
933W   EQTSYSKLSQREIDRAETDLLINLSTLQRLAKMIGCHESKISRDTWR
phi4795 EQTSYSKLSQREIDRAETDLLINLSTLQRLAKMIGCHESKISRDTWR
HK022  TQTSYSKPTQREIDRAETDLLINLSTLQRLAKMIGCHESKISRDTWR
HK97   TQASYSKPTQREIDRAETDLLINLSTLQRLAKMIGCHESKISRDTWR
D3     TABQLNPEQEARARKNYSLIVQRLAEVGNAPVAHAVGCEKSTISR--MK

```



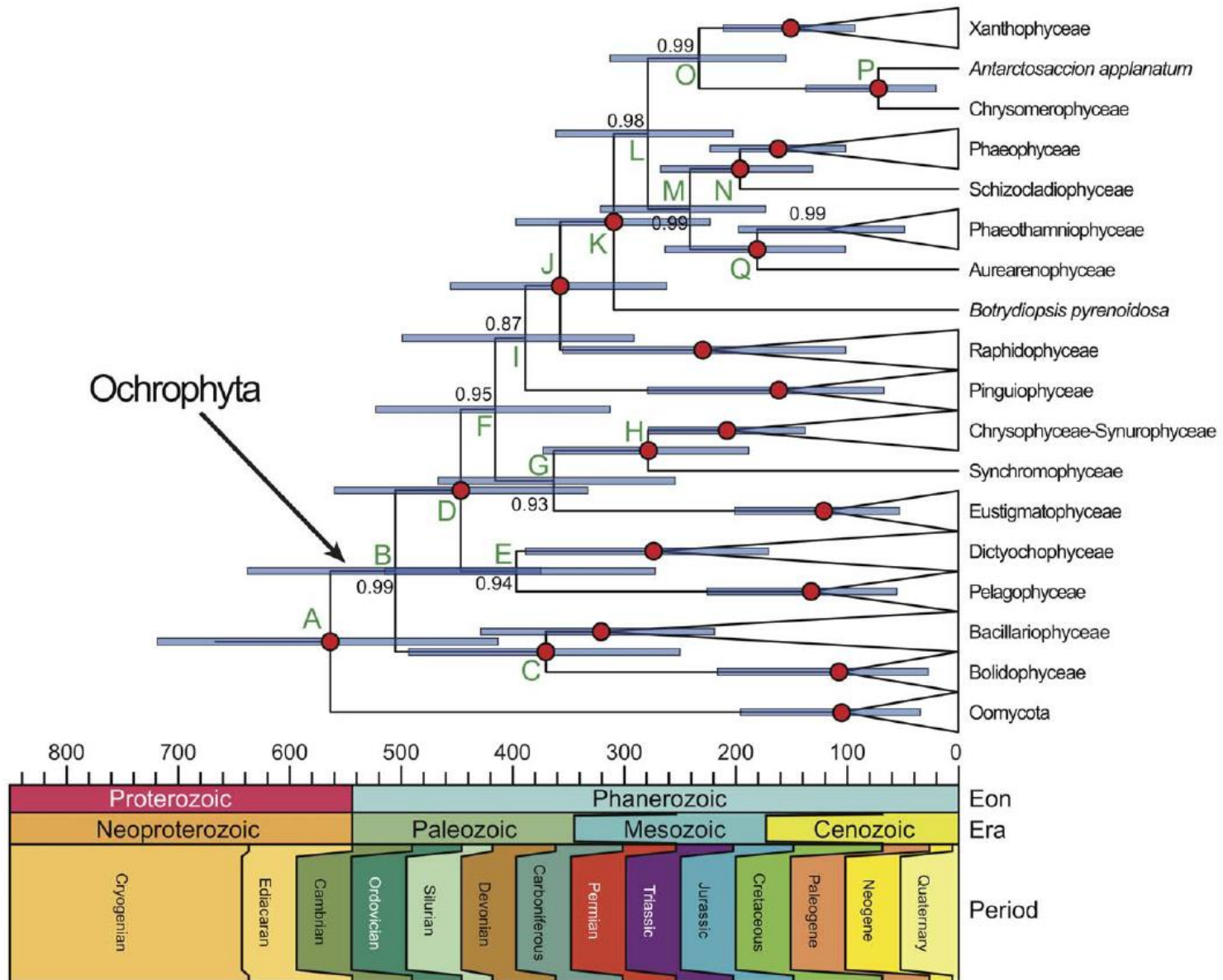
Molekulární revoluce

- časová kalibrace stromů – biogeochemické markery

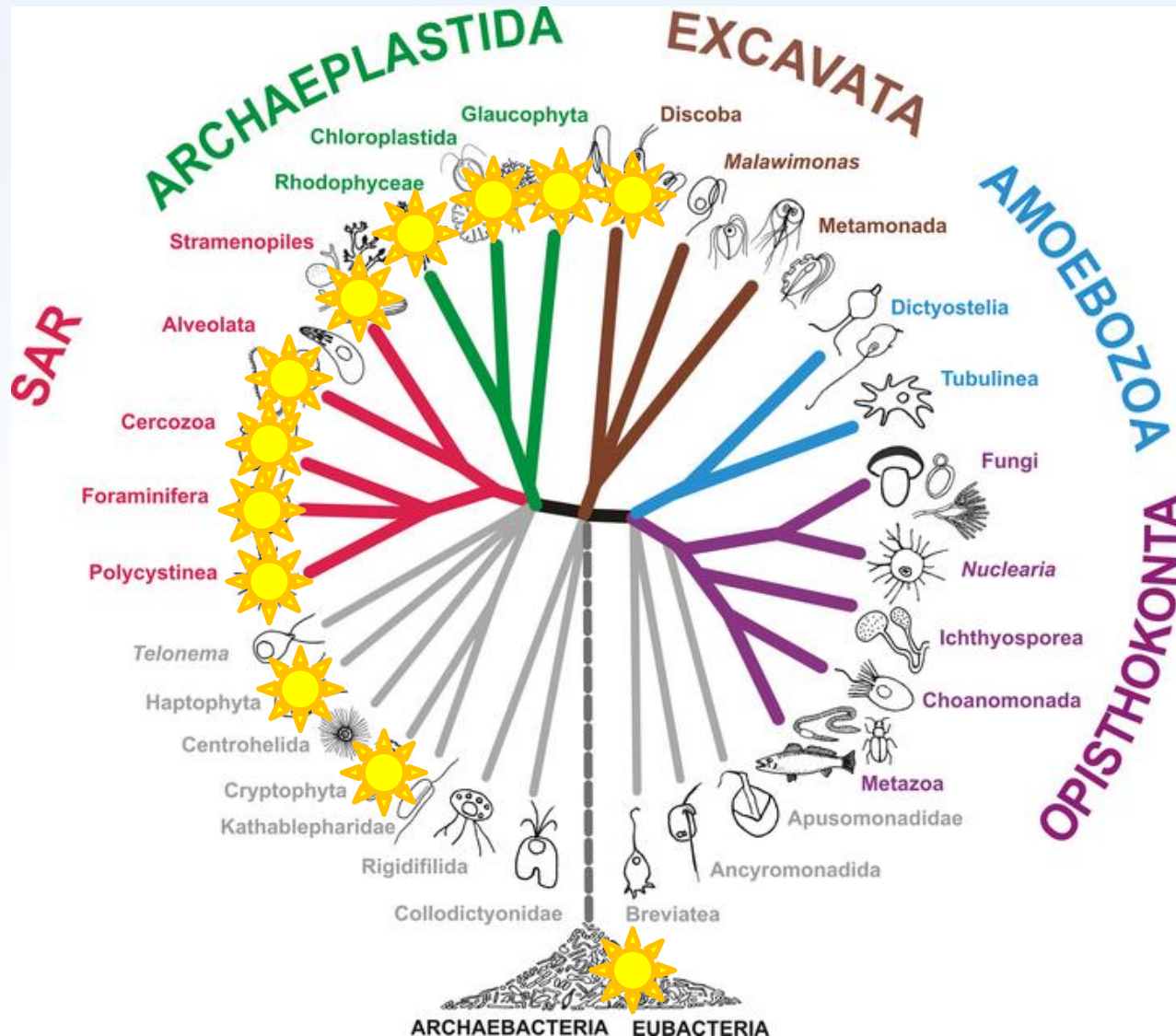


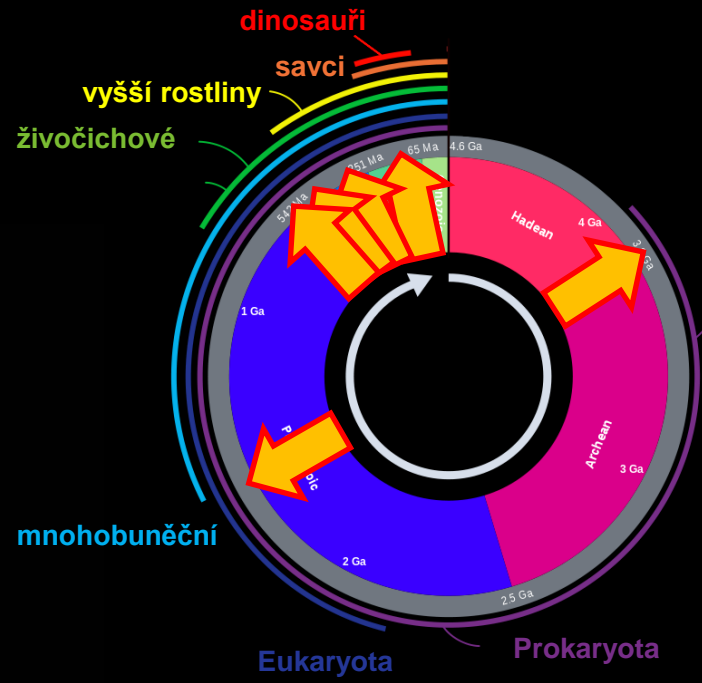
¹Fedo et al. (2006) ²Allwood et al. (2006)

Molekulární revoluce



Evoluce primárních producentů



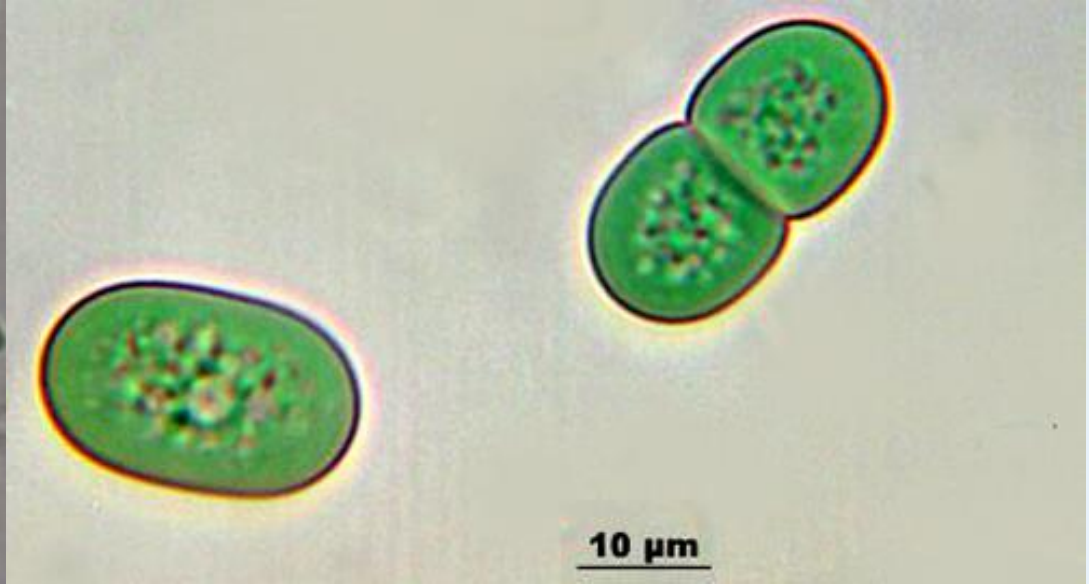
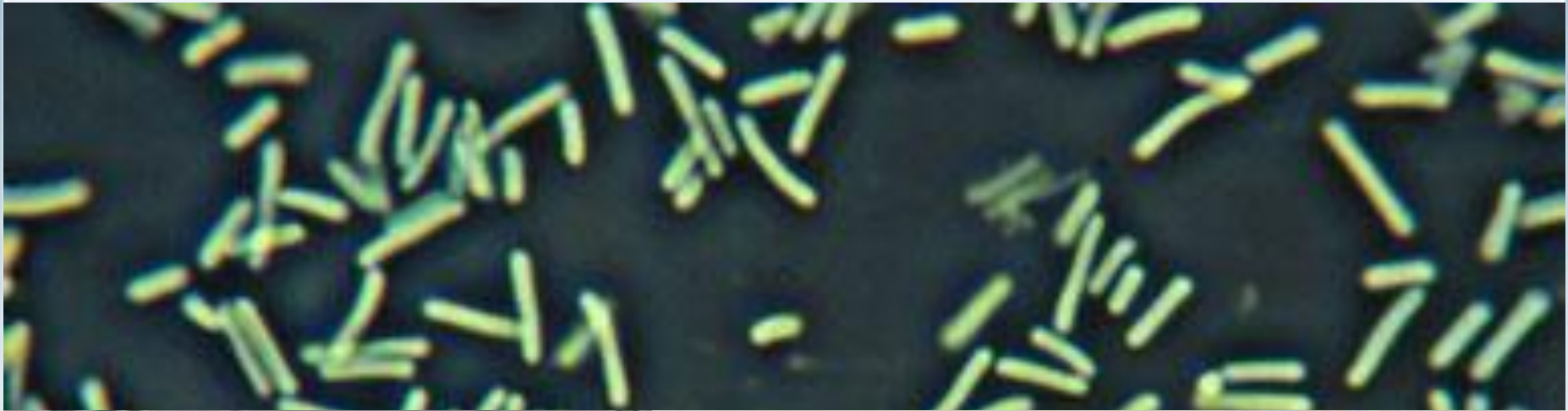


oxidované horniny = archean (3,8 mld)



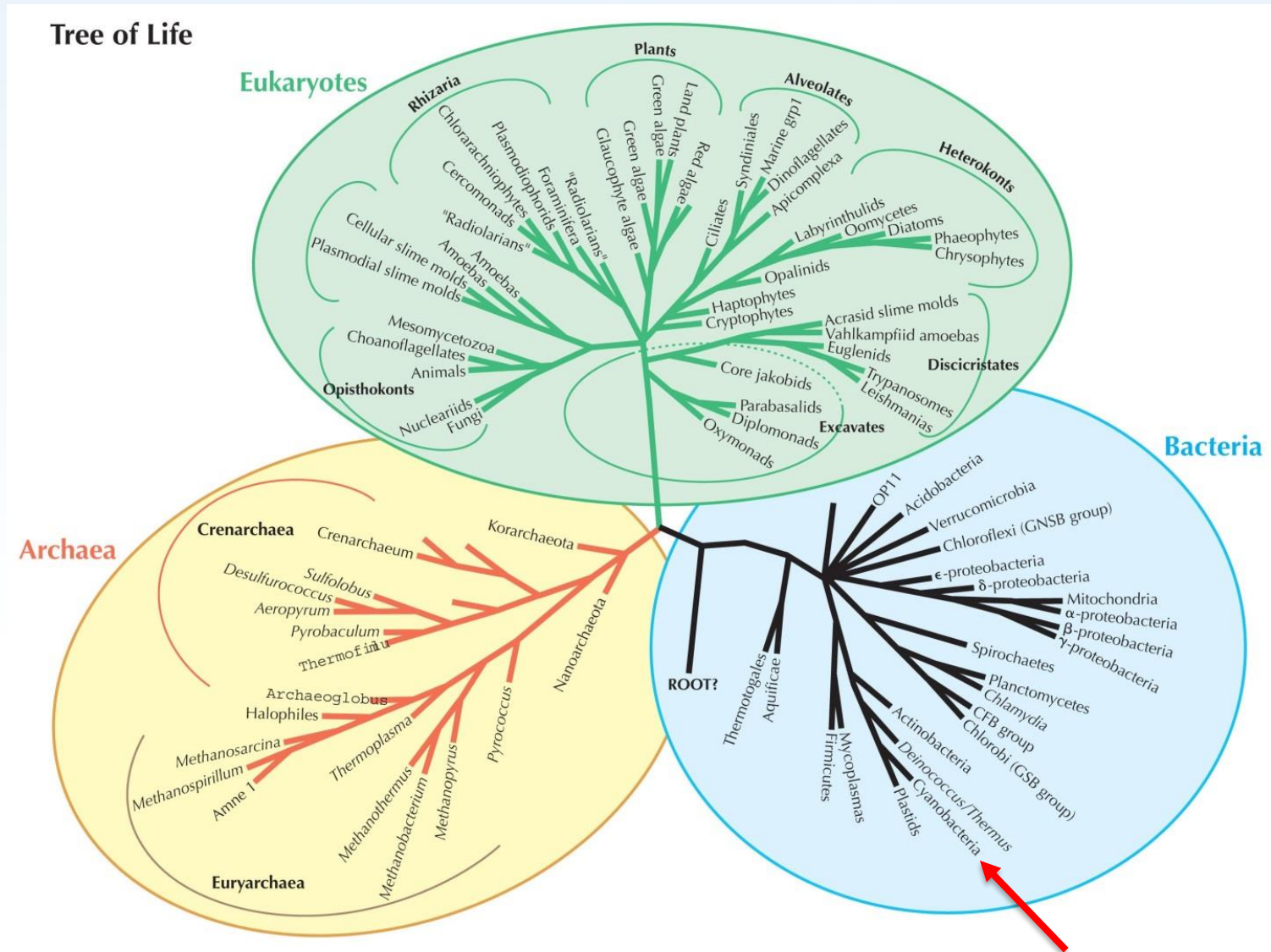
Fotosyntéza

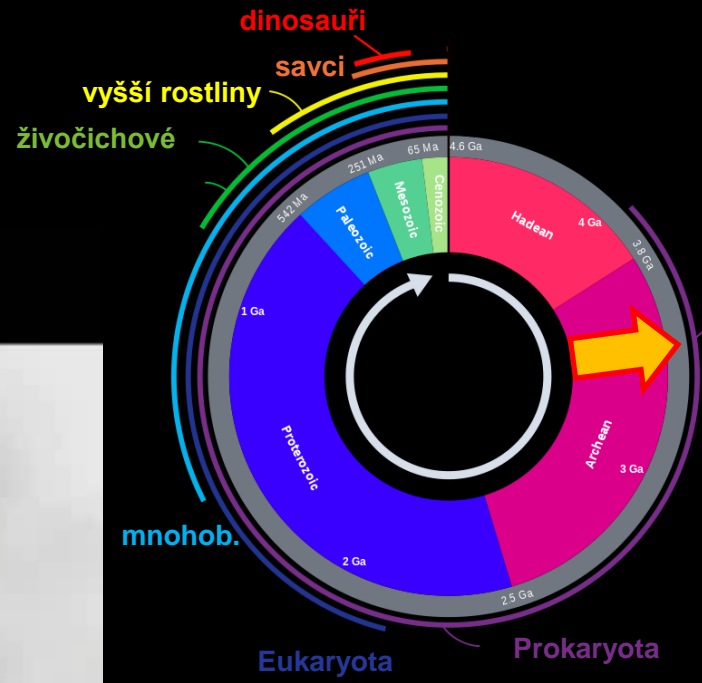
- sinice *Synechococcus*
 - produkce kyslíku



Fotosyntéza

- sinice *Synechococcus*





stromatolity

Subtidal stromatolites in the southern Exumas, Bahamas Islands. This bioherm is made up of "club-shaped" stromatolites in 6 m of water. Maximum measured height was 2 m.



SEPM



Shark Bay, Australie

stromatolity

heliotropic –
grow toward
sunlight

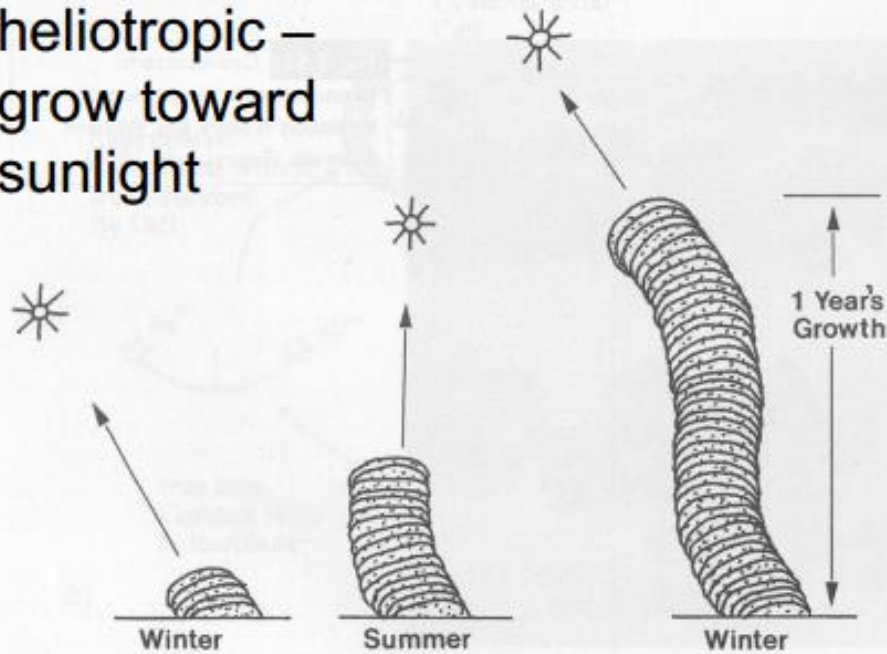
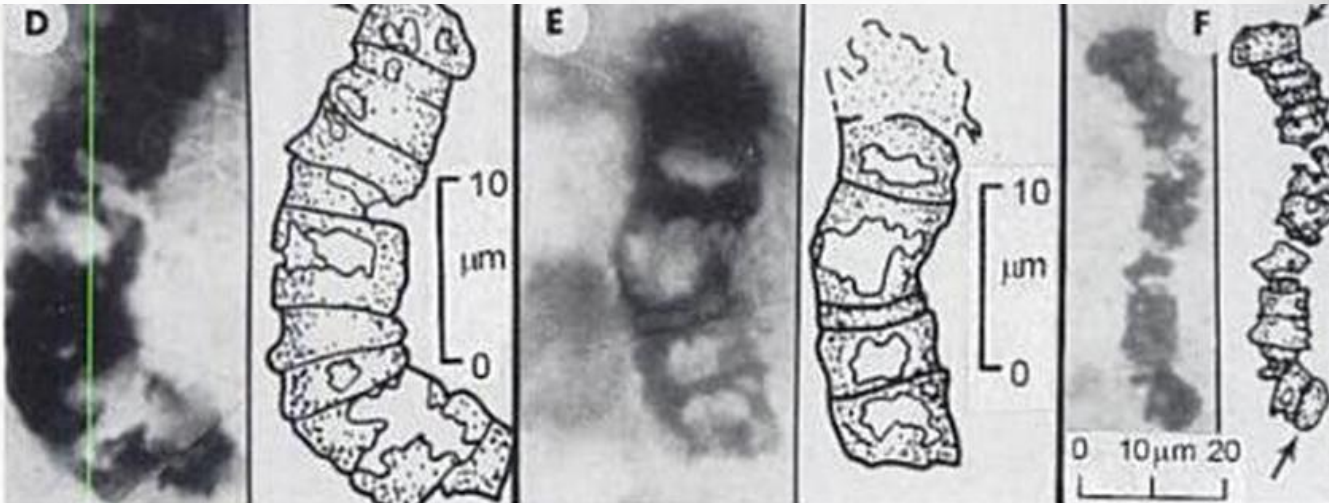


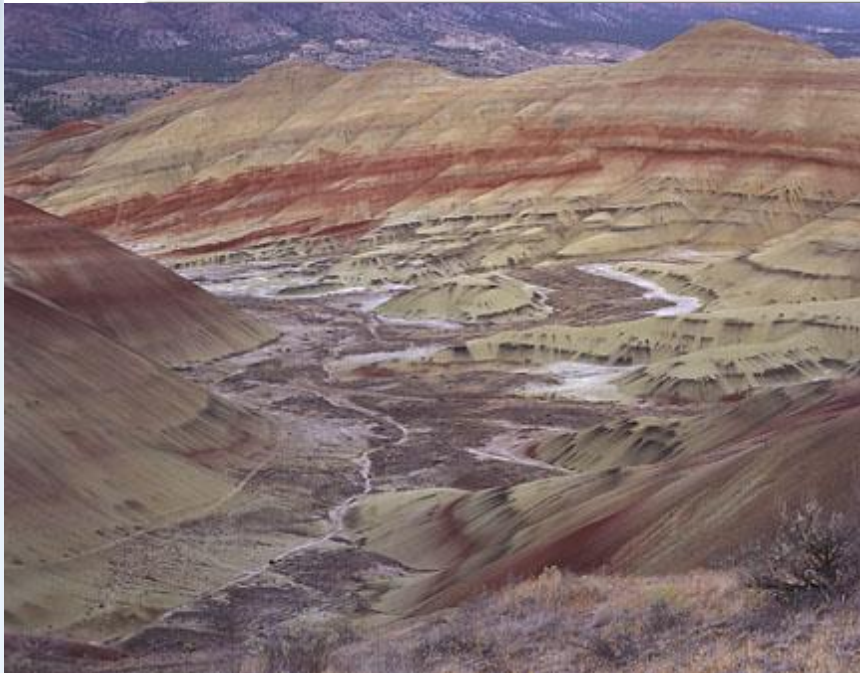
Fig. 2.55 Diagrammatic representation of the growth of a stromatolite over the period of a year. A year's growth is represented by an S-shaped curve.



3,5 mld let staré fosílie (Austrálie)

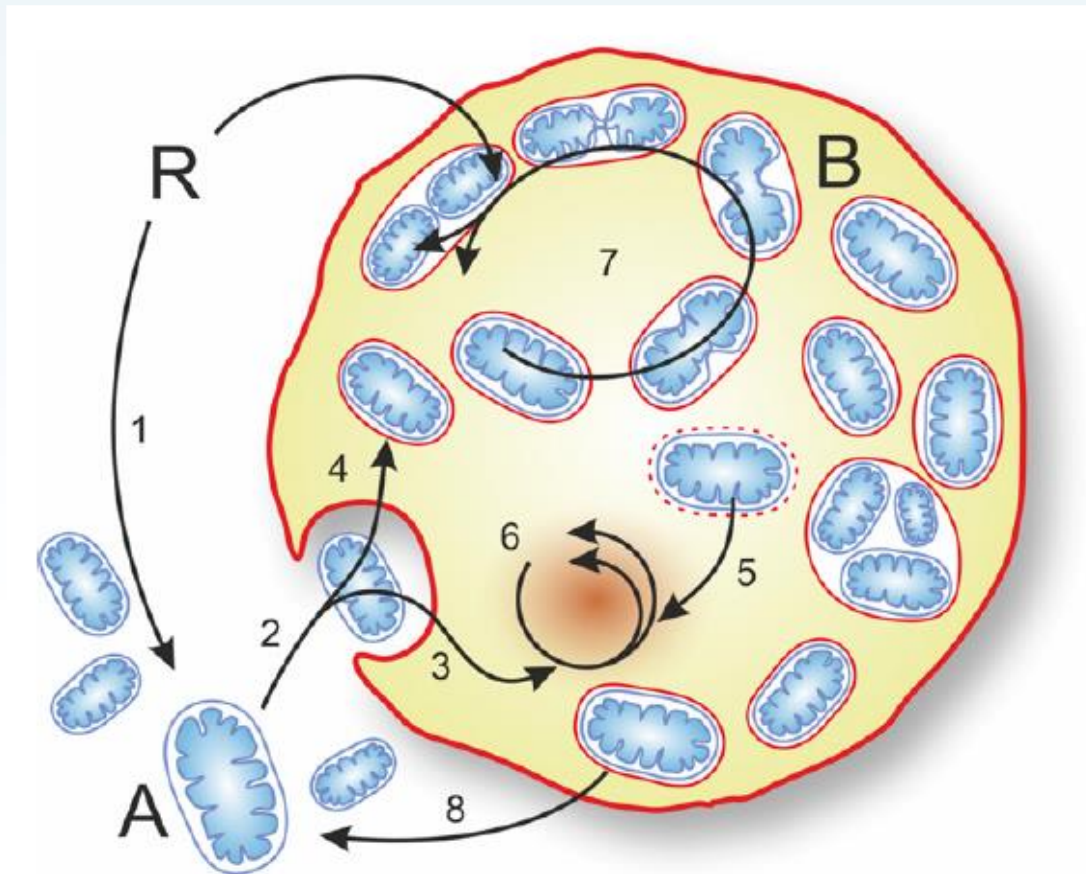
Sinice

- kyslíková katastrofa (great oxidation event) – 2,3 mld
 - náhlé zvýšení kyslíku v atmosféře
 - nutnost organismů přizpůsobit se toxickému kyslíku: velká diverzifikace heterotrofních prokaryot (schovat se či mutovat)
 - mitochondriální endosymbióza
 - oxidace veškerého Fe(II) na Fe(III)?

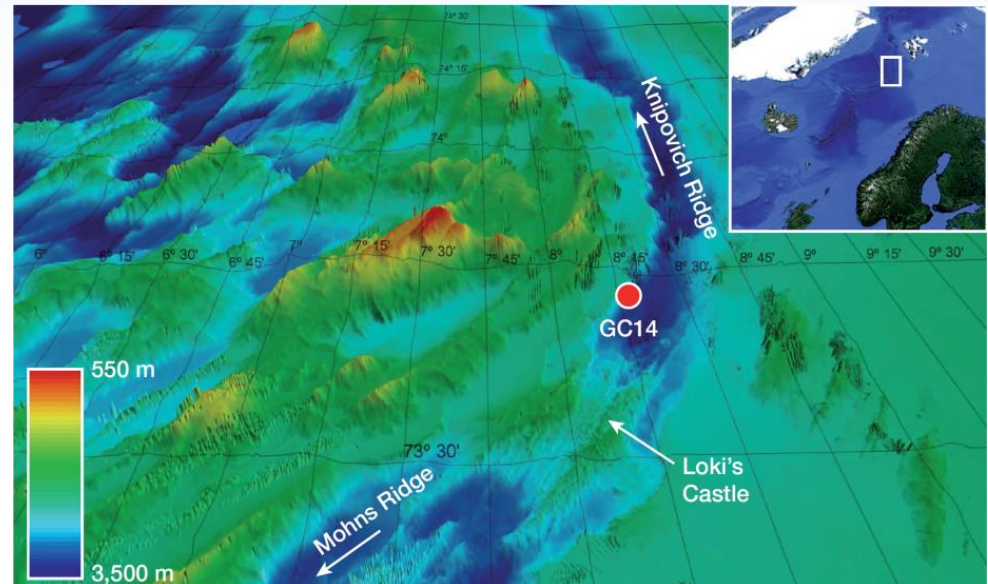
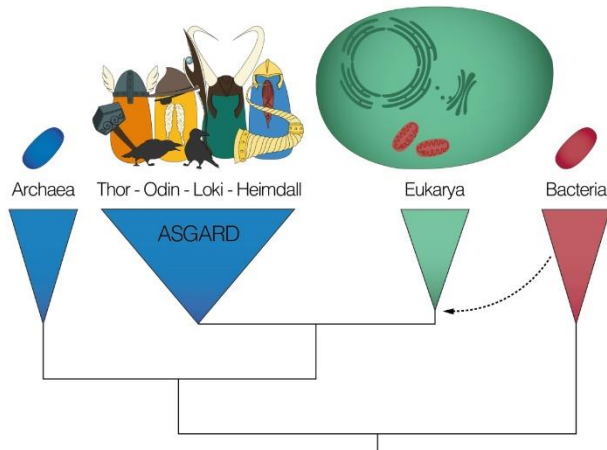
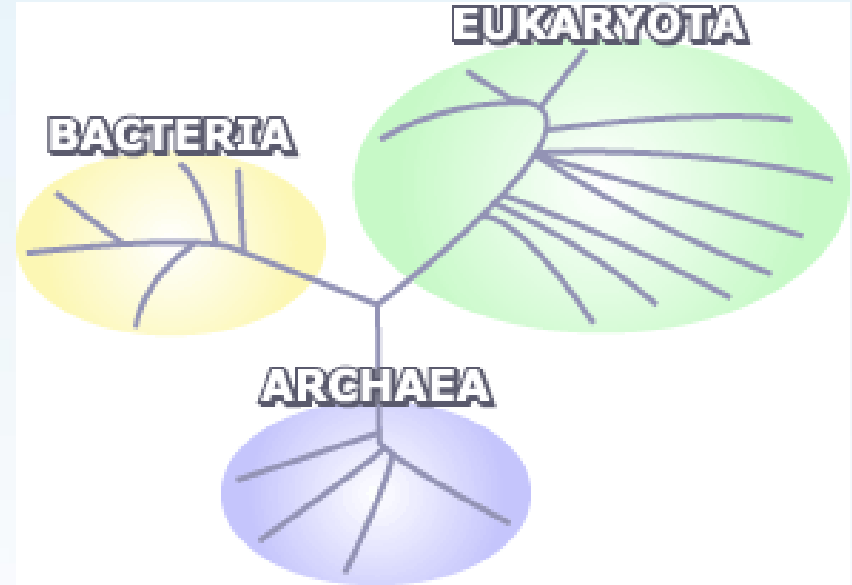
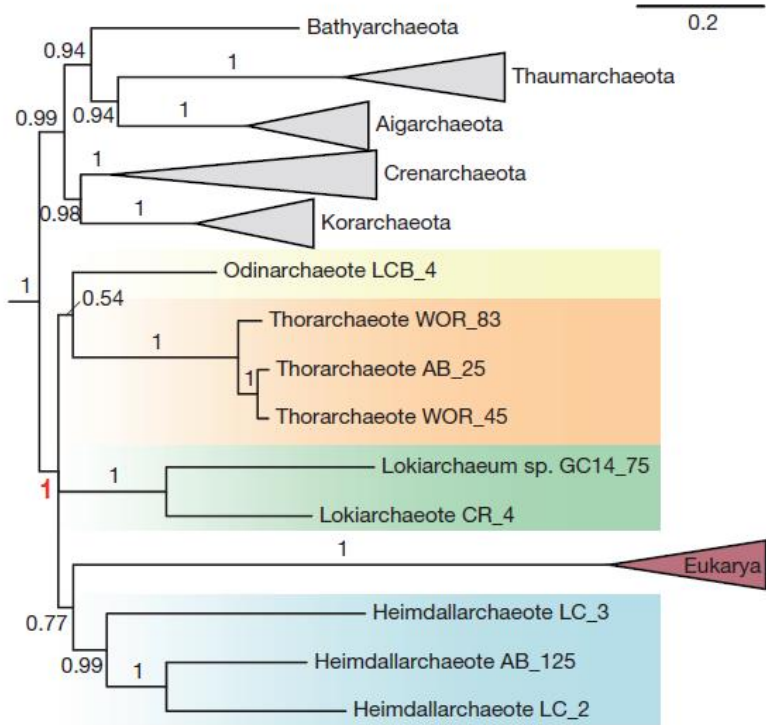


Mitochondriální endosymbióza

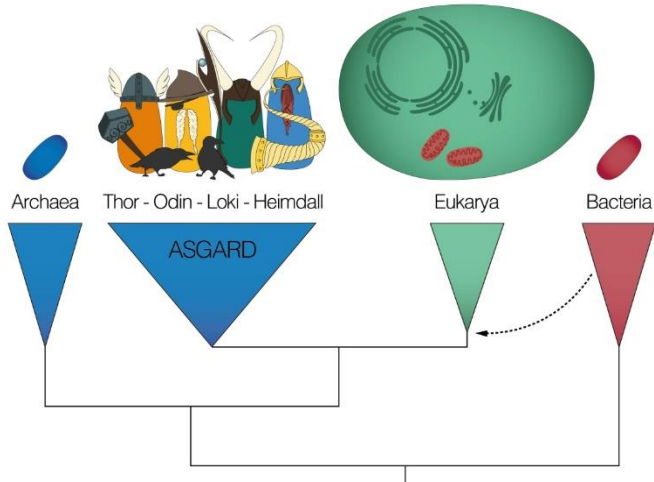
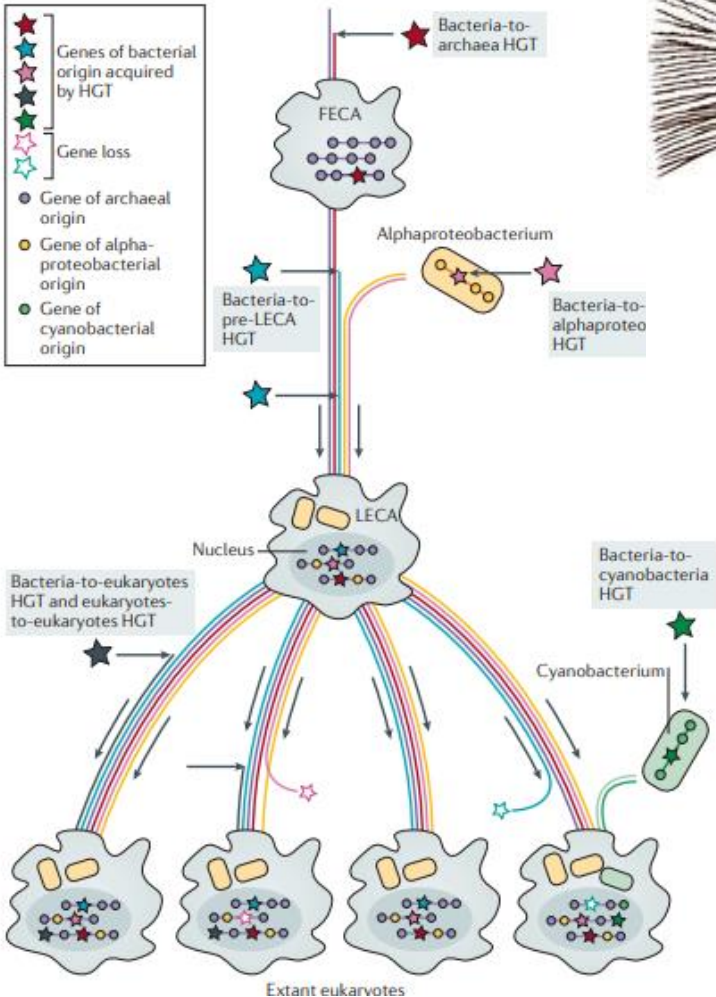
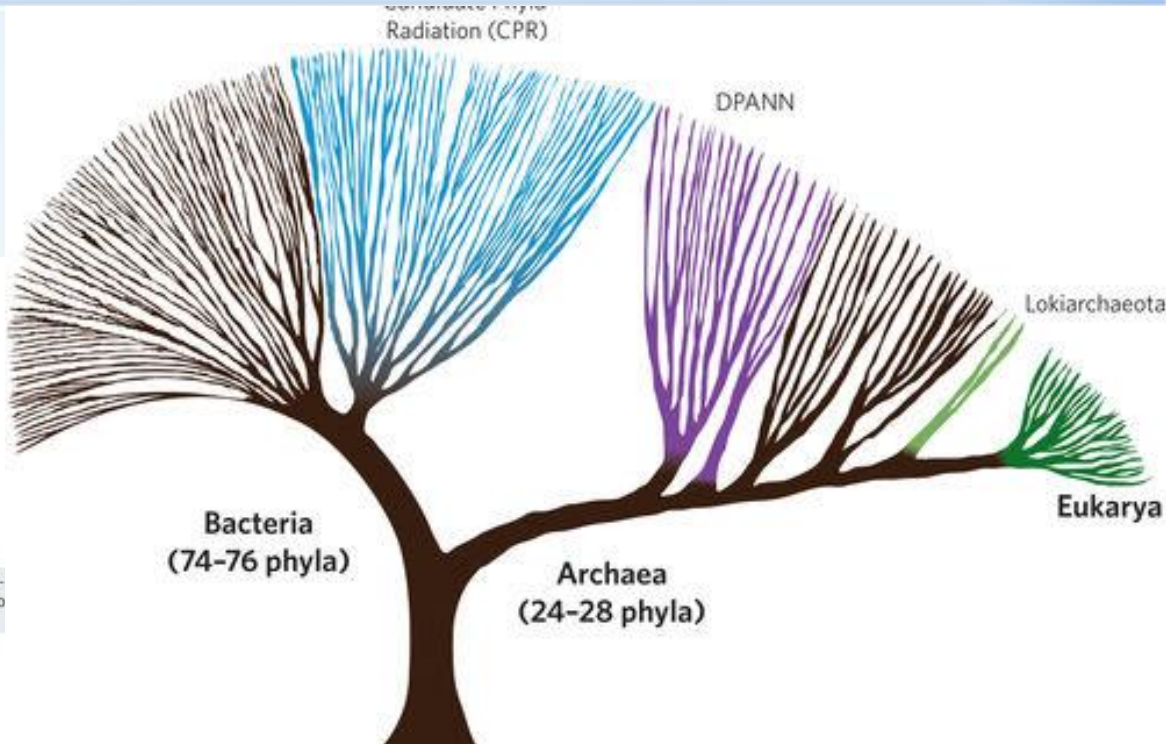
- nejbližšími žijícími příbuznými mitochondrií jsou alfa-proteobakterie



Eukaryogeneze

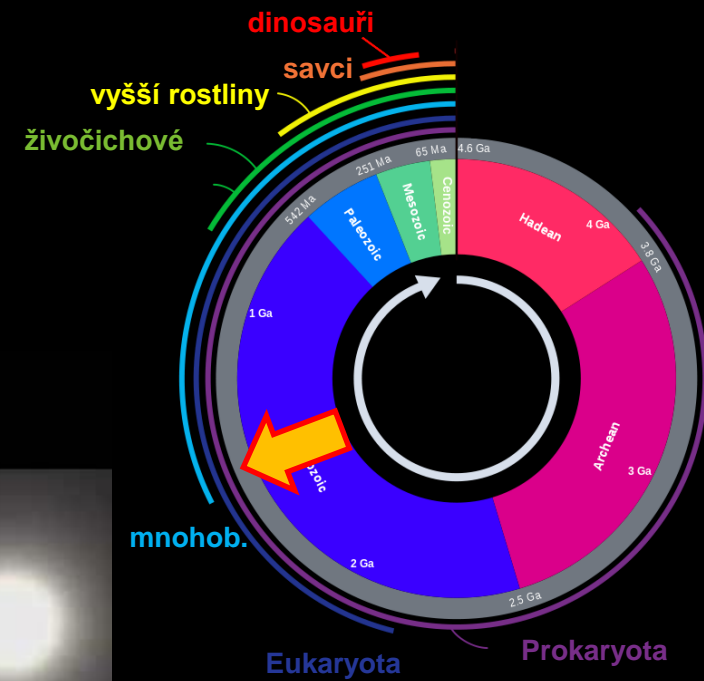


Eukaryogeneze



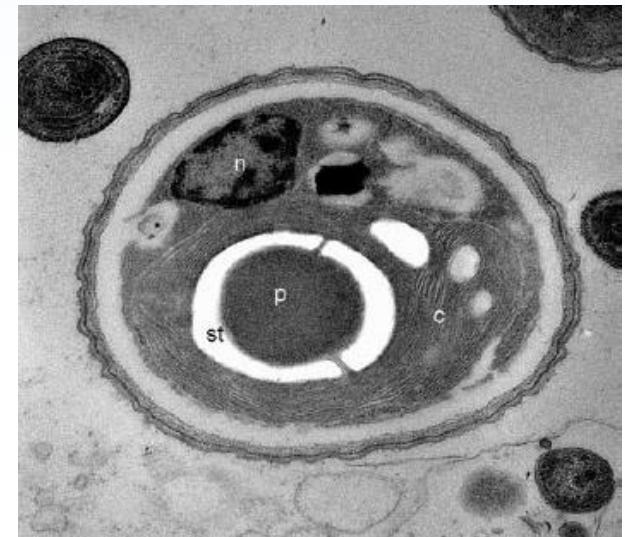
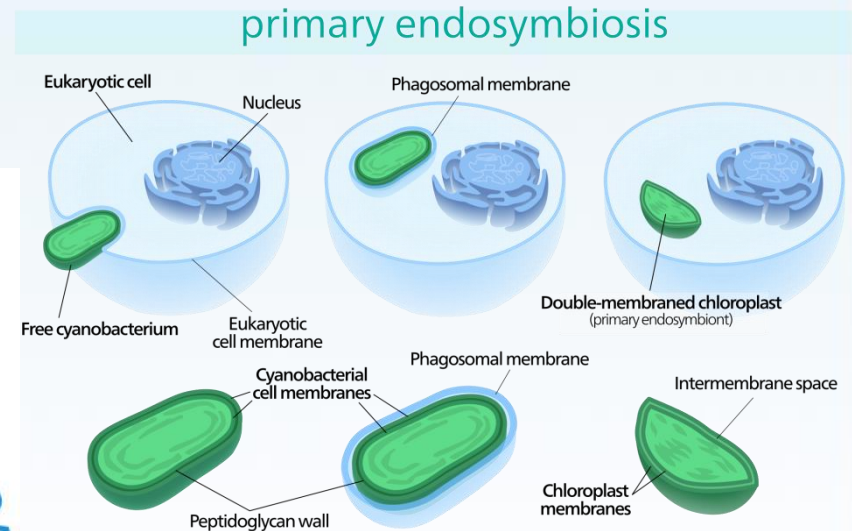
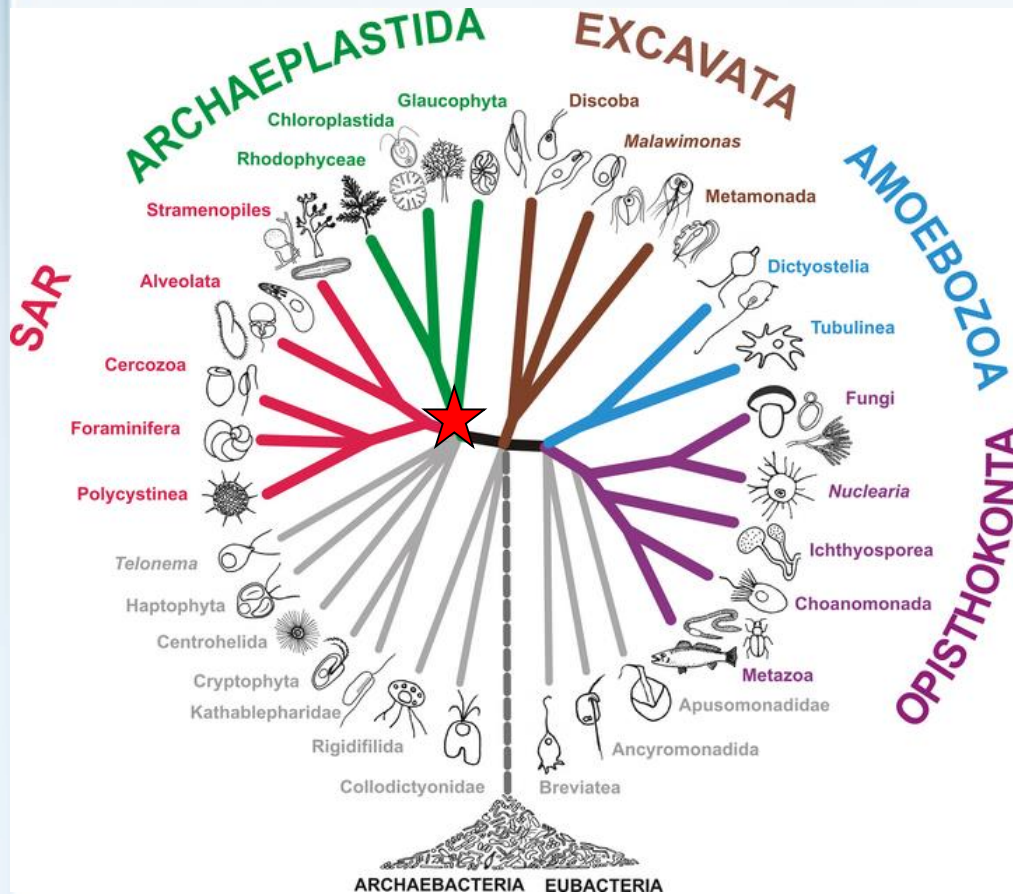
Primární endosymbióza

- 1 500 mil. (paleoproterozoikum)
– rozpad kontinentu Nuna

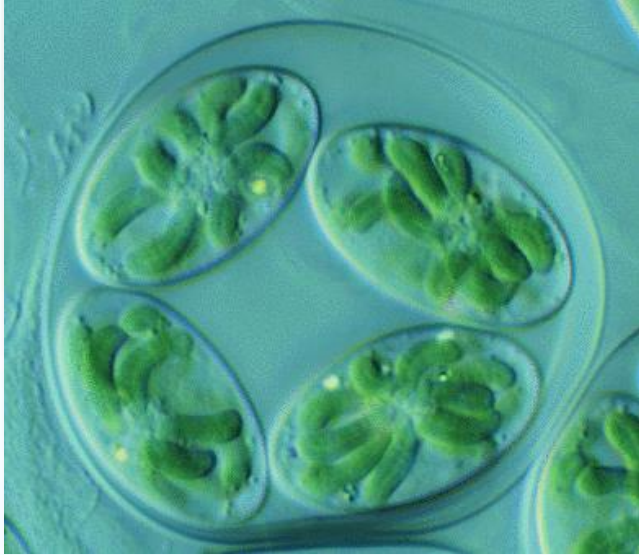


Primární endosymbióza

- pohlcení sinice eukaryotickou buňkou
- plastid má dvě obalné membrány sinicového původu
- pyrenoid



Archaeplastida



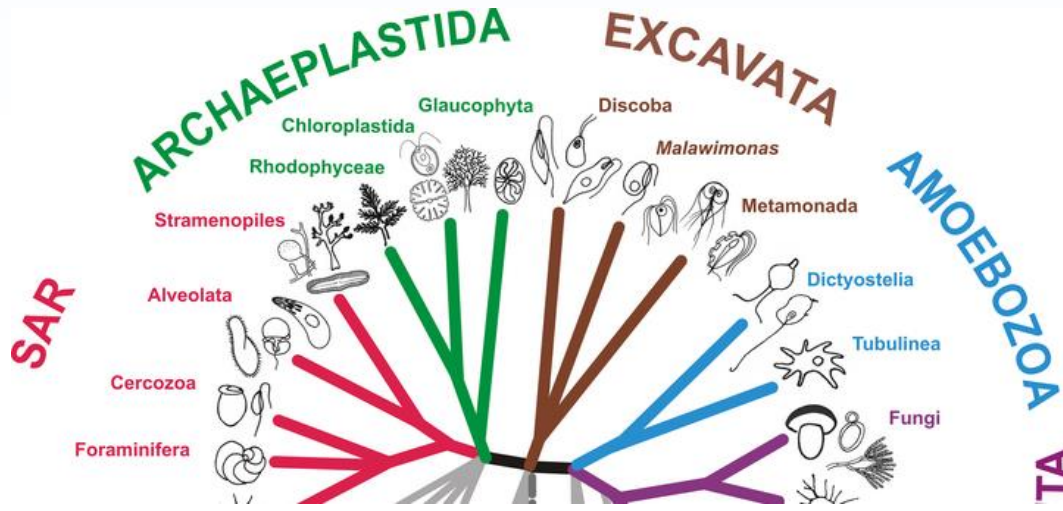
Glaucophyta



Rhodophyta

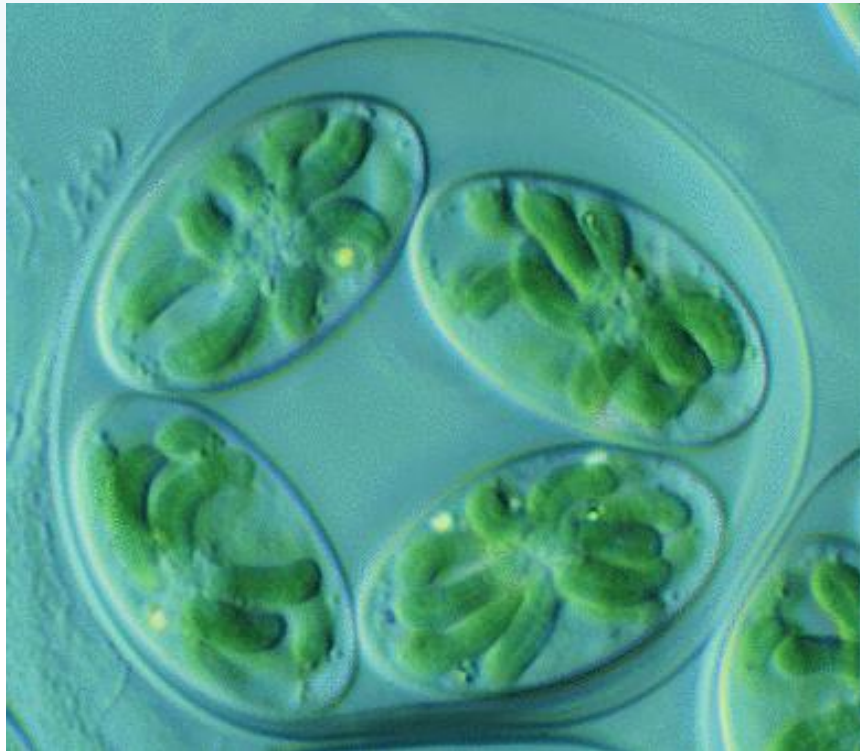


Chloroplastida



glaukofyty (Glaucophyta)

- nejmenší a nejpůvodnější rostlinná skupina (1,6 mld)
- chloroplasty: sinicová stavba
 - peptidoglykanová buněčná stěna
 - kruhové uspořádání thylakoidů



Glaucocystis nostochinearum



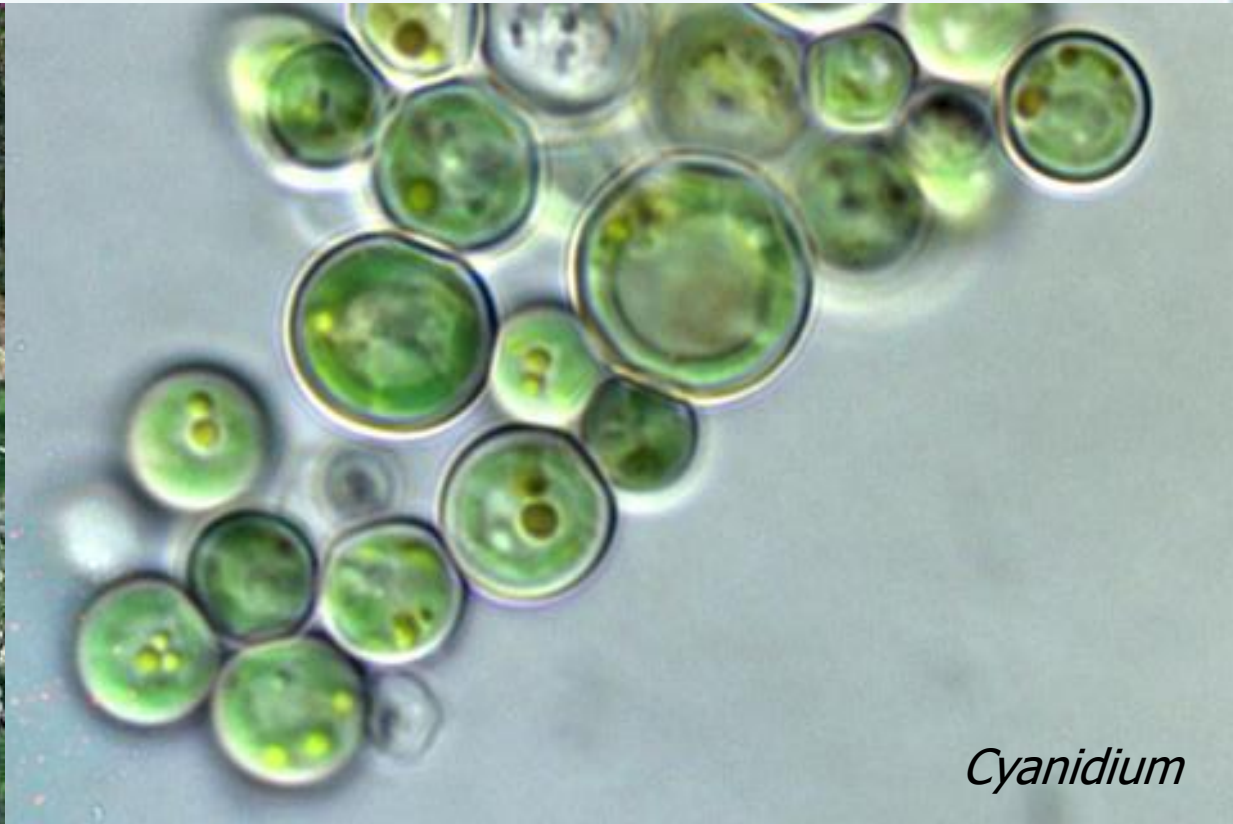
ruduchy (Rhodophyta)

- většinou makroskopické, mnohobuněčné stélky
- nemají bičíková stádia
- litorál moří
- *Bangiomorpha* = první fosilie datovaná 1,2 mld let



ruduchy (Rhodophyta) - *Cyanidiophytina*

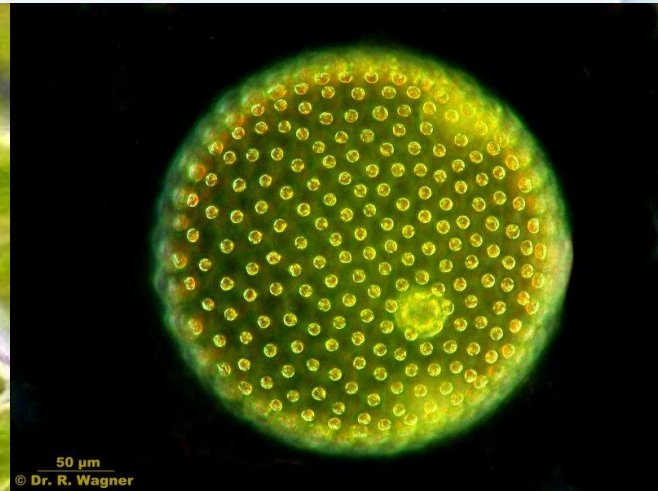
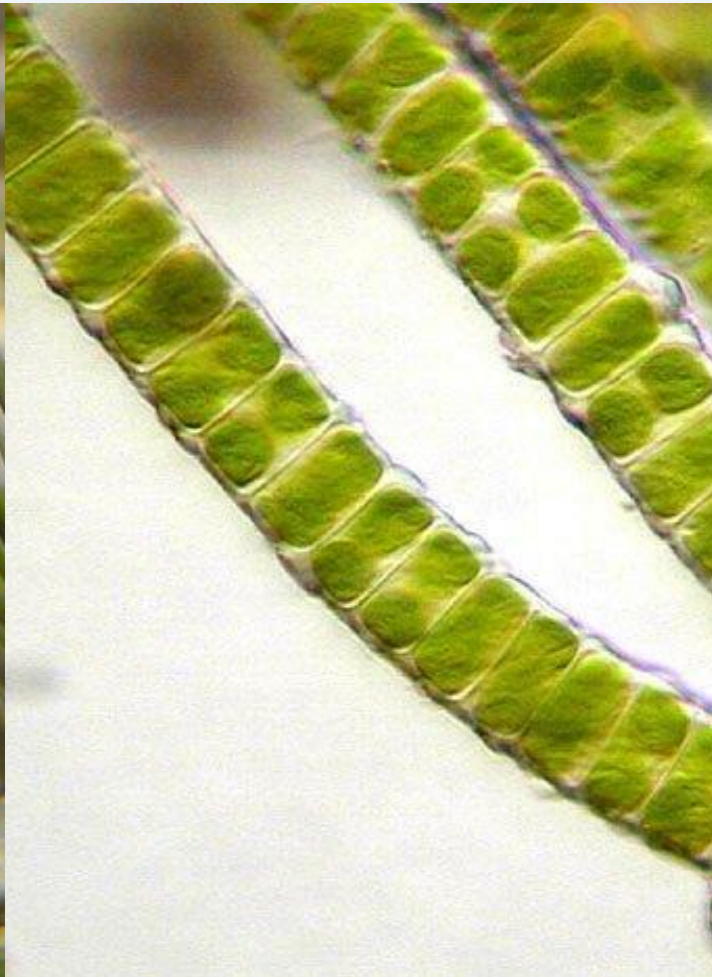
- evolučně nejstarší skupina ruduch
- extremofilní, thermoacidofilní organismy (pH 1,5)
- jeden z mála eukaryotů žijící v prostředí typickém pro Archaea (biotechnologicky hodnotné enzymy)
- *Cyanidioschizon* = první eukaryotický genom



Cyanidium

zelené rostliny (Chloroplastida)

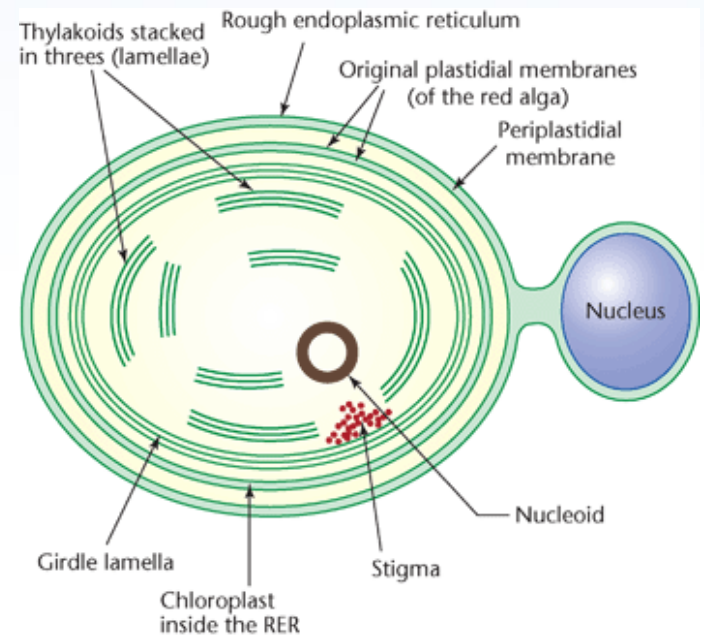
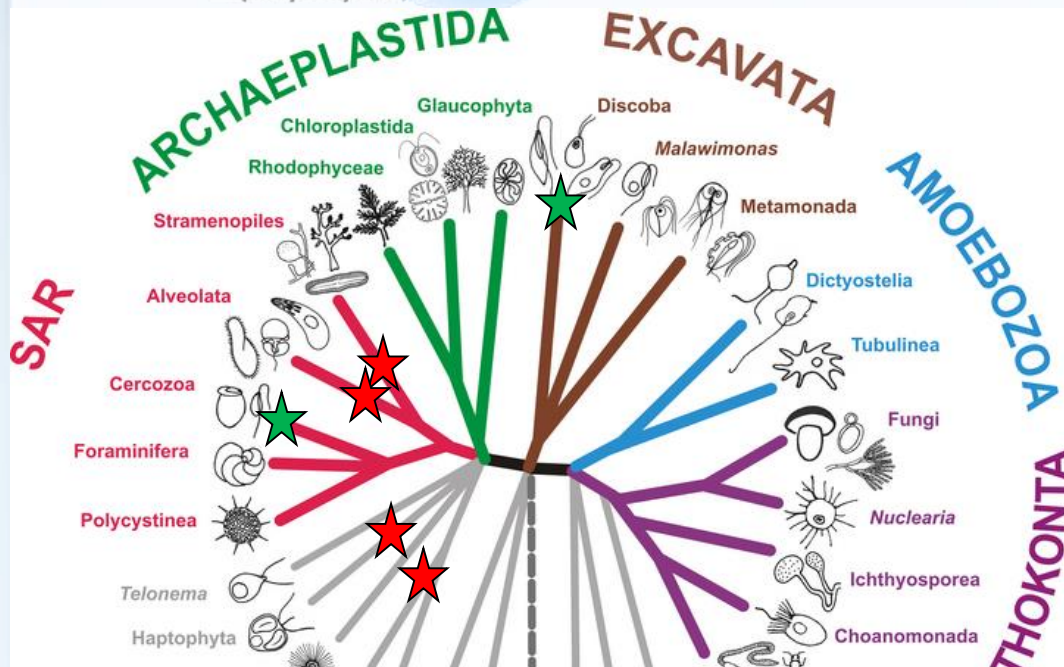
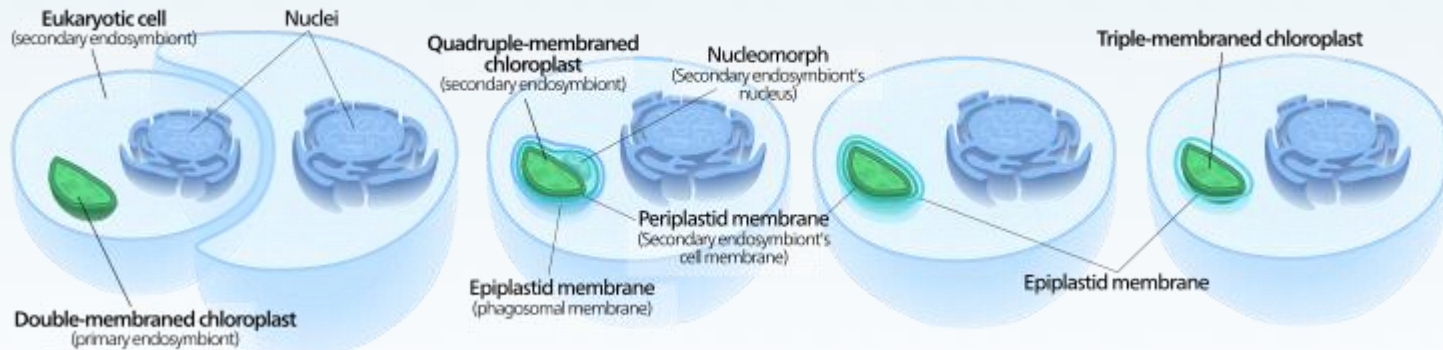
- ohromně diverzifikovaná skupina: počtem druhů, morfologií, ekologií, biochemií
- vznik vyšších rostlin z řasového předka představoval klíčový okamžik pro evoluci života na pevnině



Sekundární endosymbióza

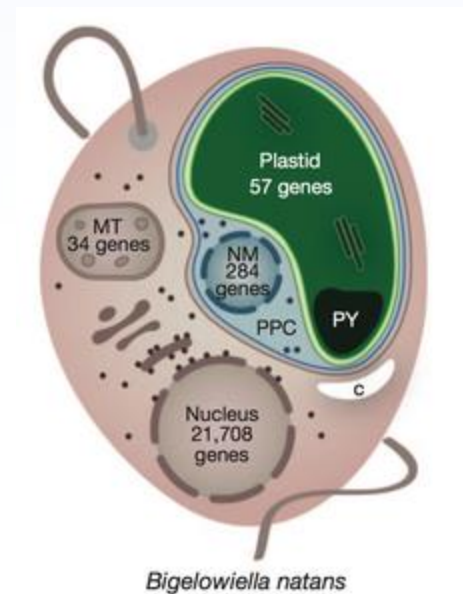
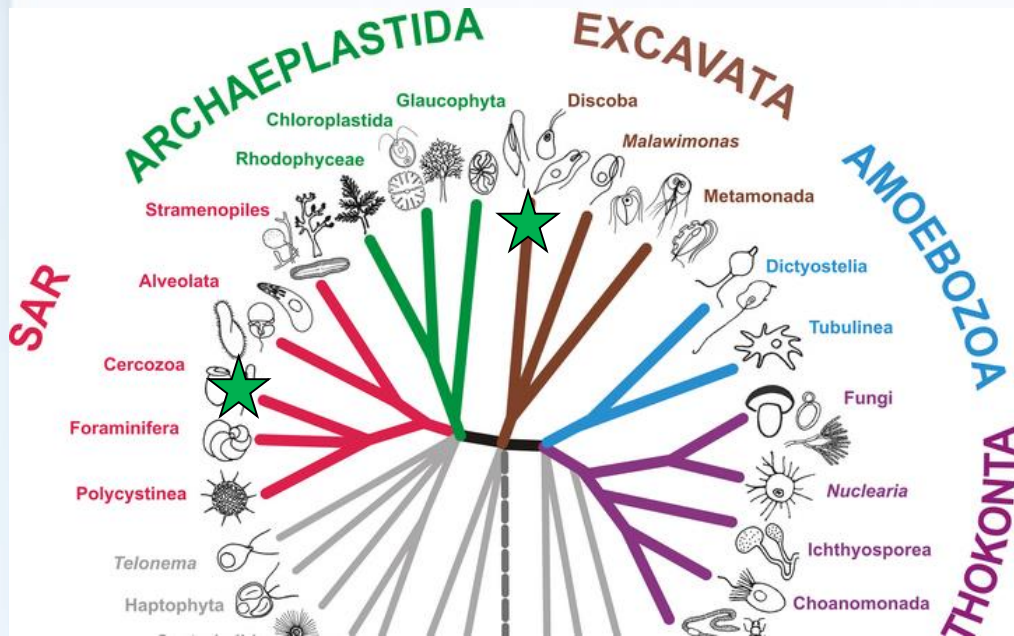
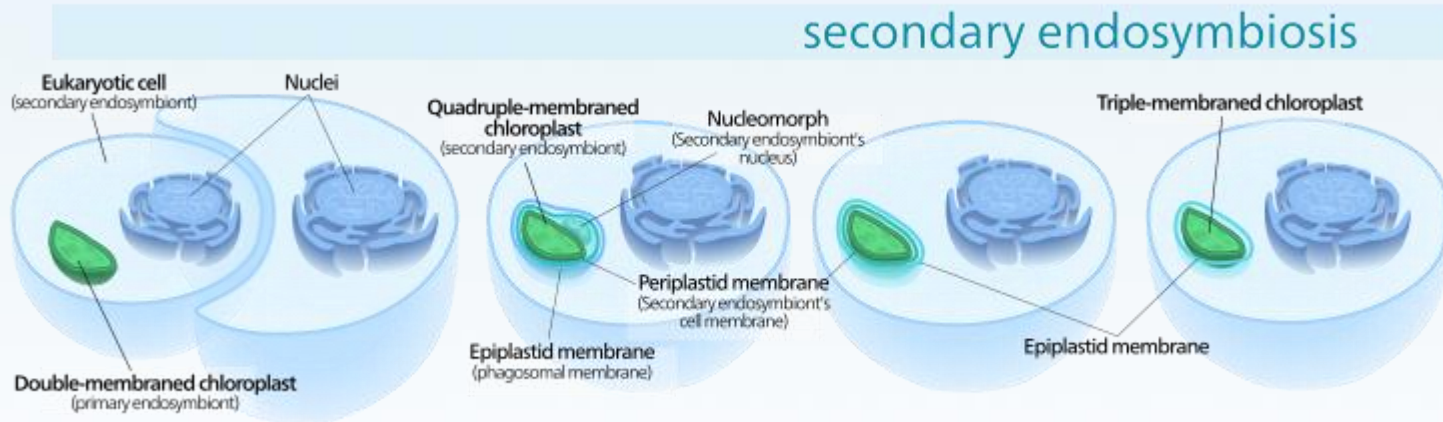
- plastid má čtyři obalné membrány
- červená a zelená

secondary endosymbiosis



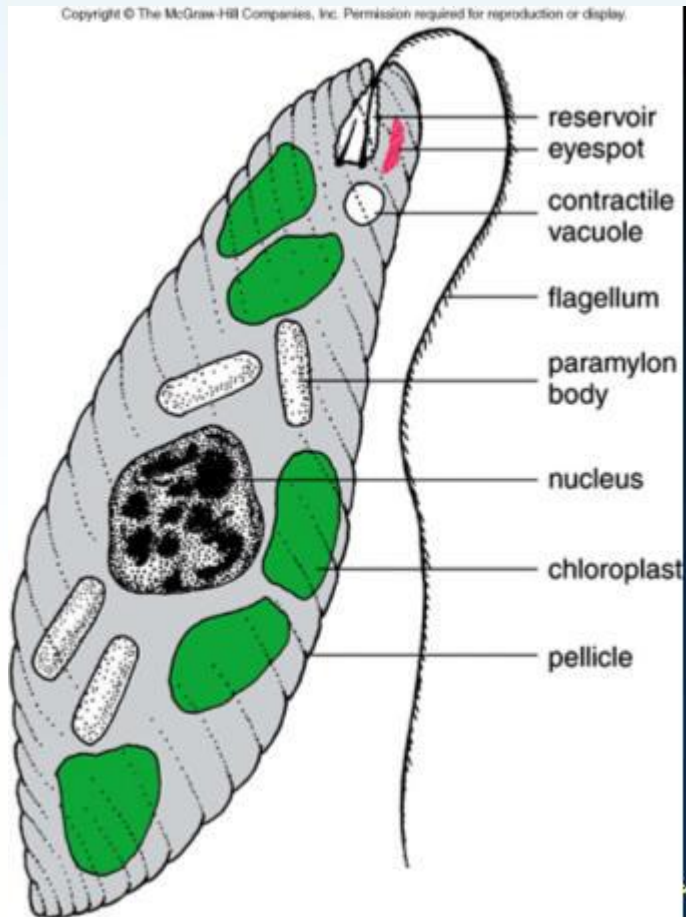
Zelená sekundární endosymbióza

- pohlcení zelené řasy Eukaryotem (100 mil.)
- plastid má čtyři či tři obalné membrány



krásnoočka (Euglenophyta)

- proměnlivý tvar buněk (pelikulární pásy)
- extraplastidiální stigma, paramylon



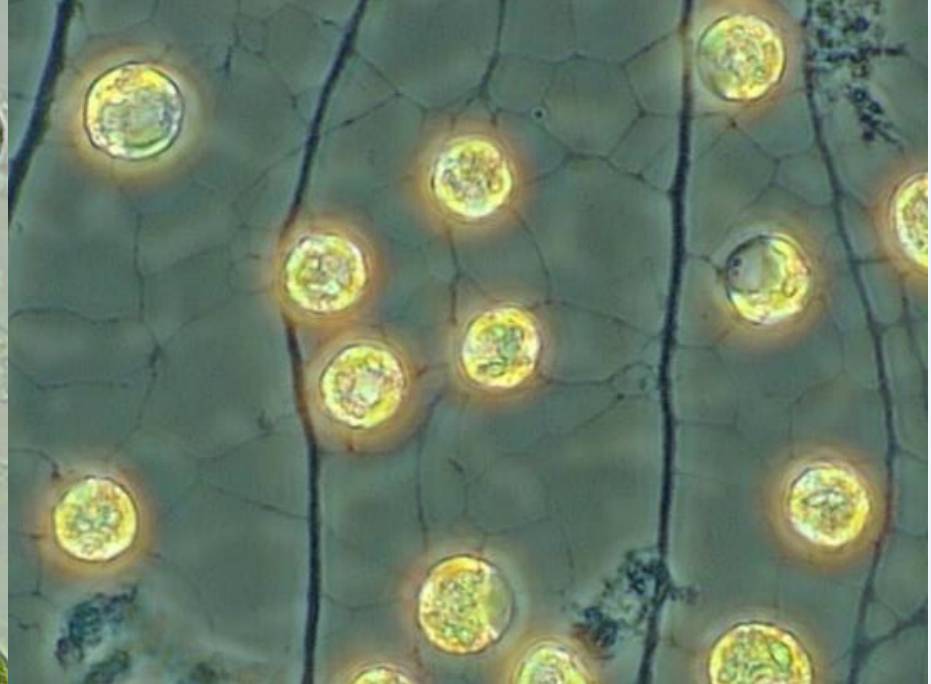
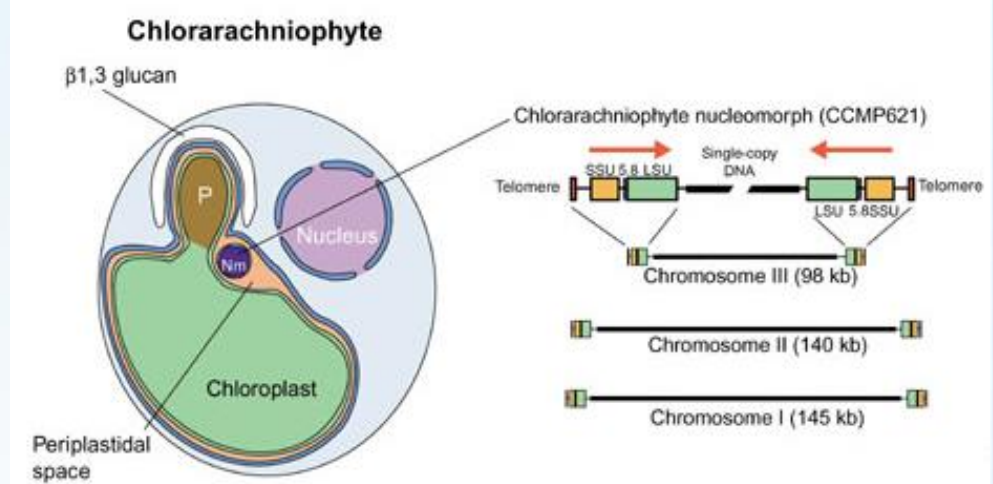
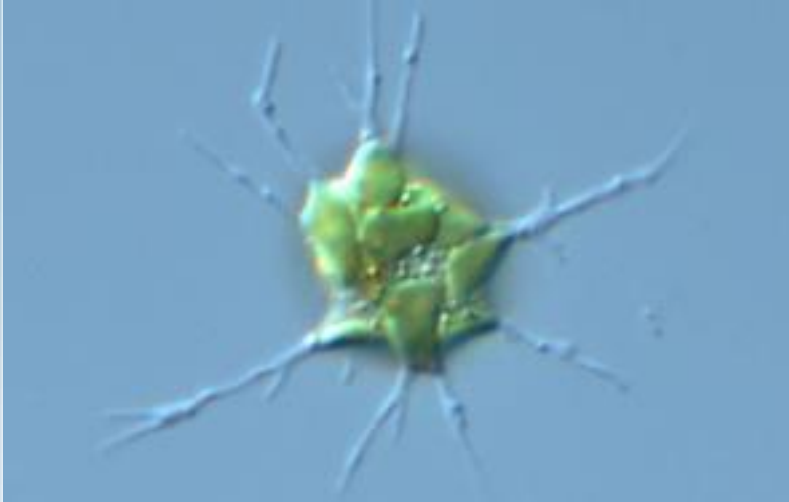
krásnoočka (Euglenophyta)

- často tolerují znečištěné vodní prostředí
 - čištění odpadních vod



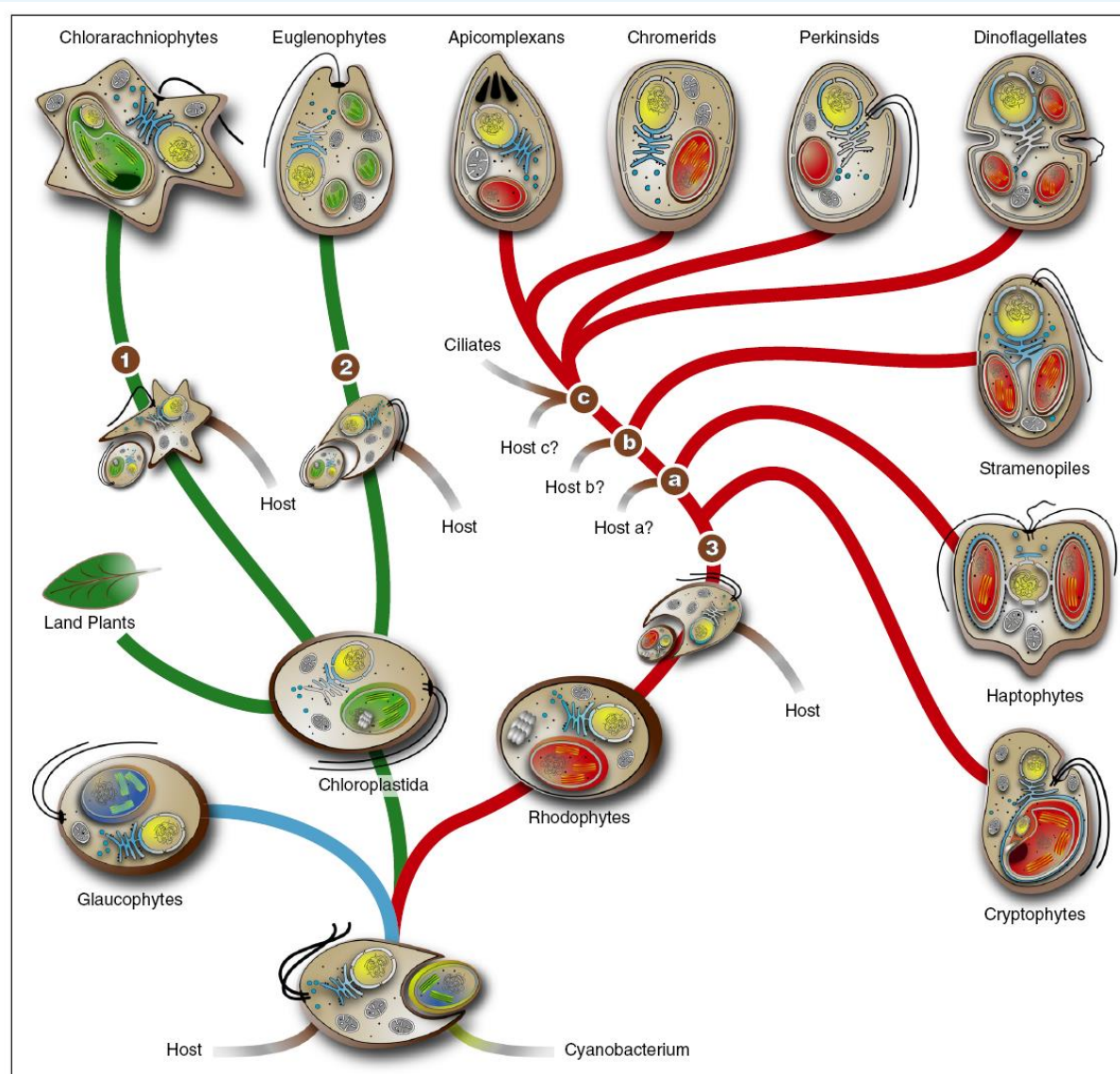
Chlorarachniophyta

- měňavkovité organismy, nukleomorf (pouze 300 genů)



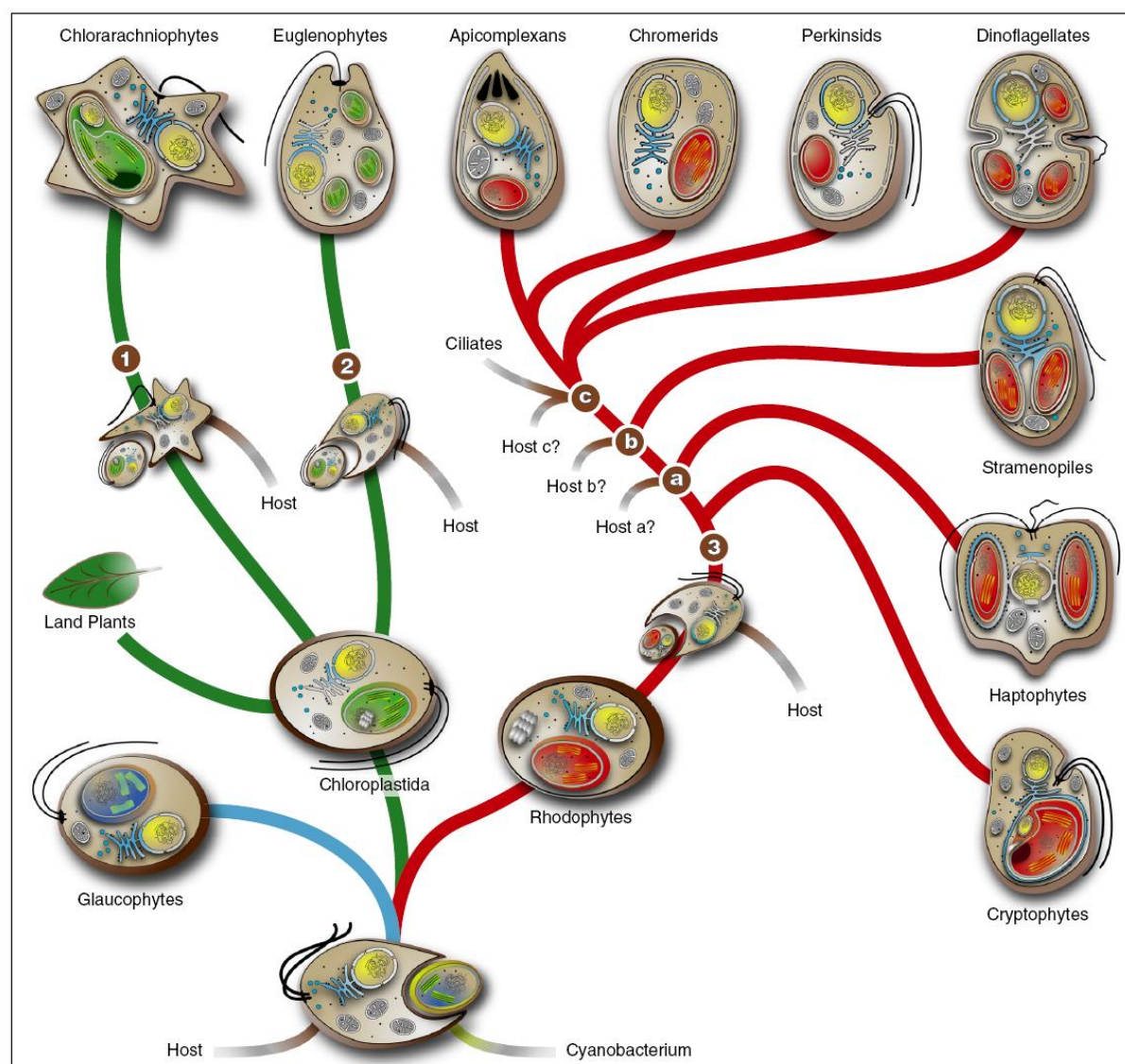
Červená komplexní endosymbióza

Zimorski et al., 2014



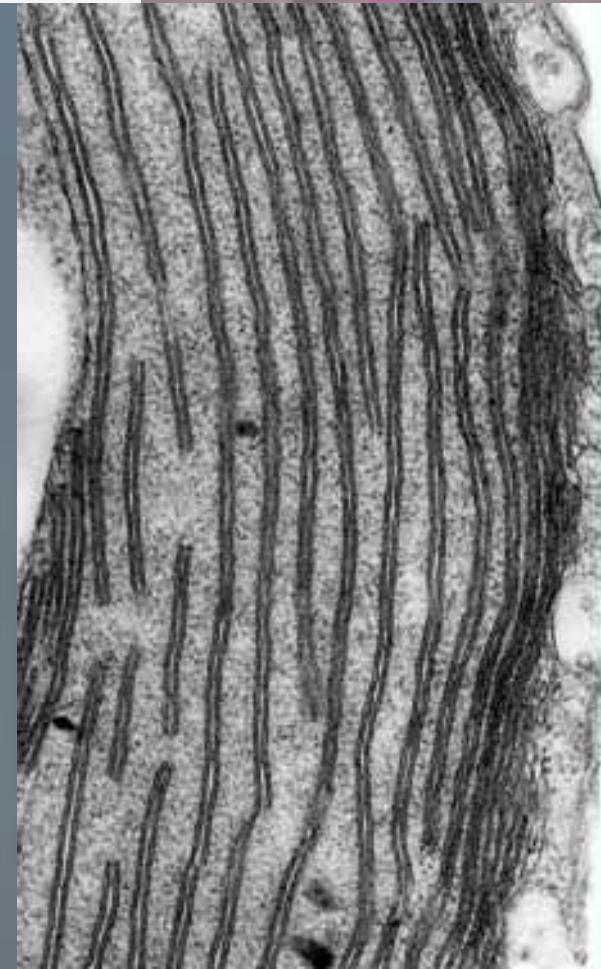
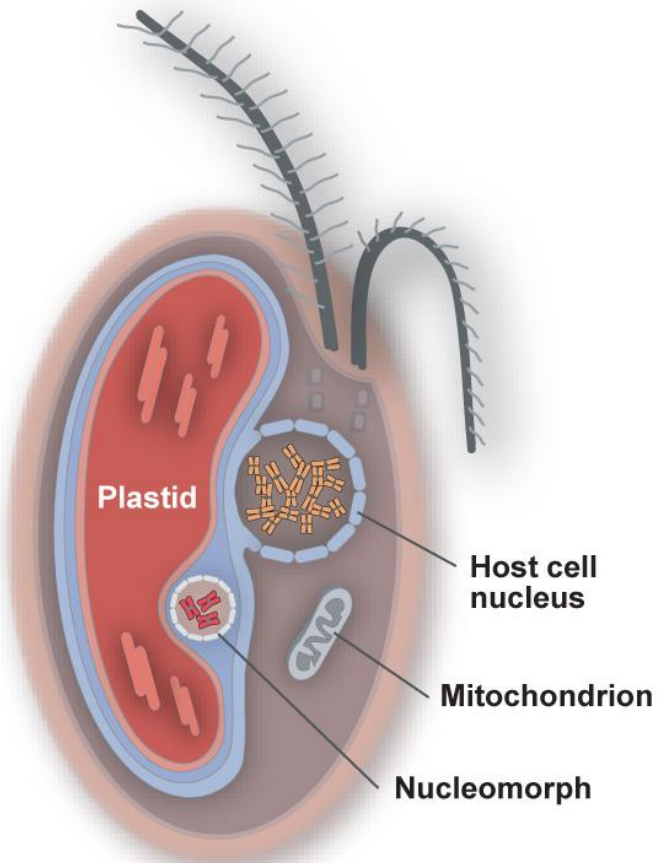
skrytěnky (Cryptophyta)

- stáří cca 1200 mil.



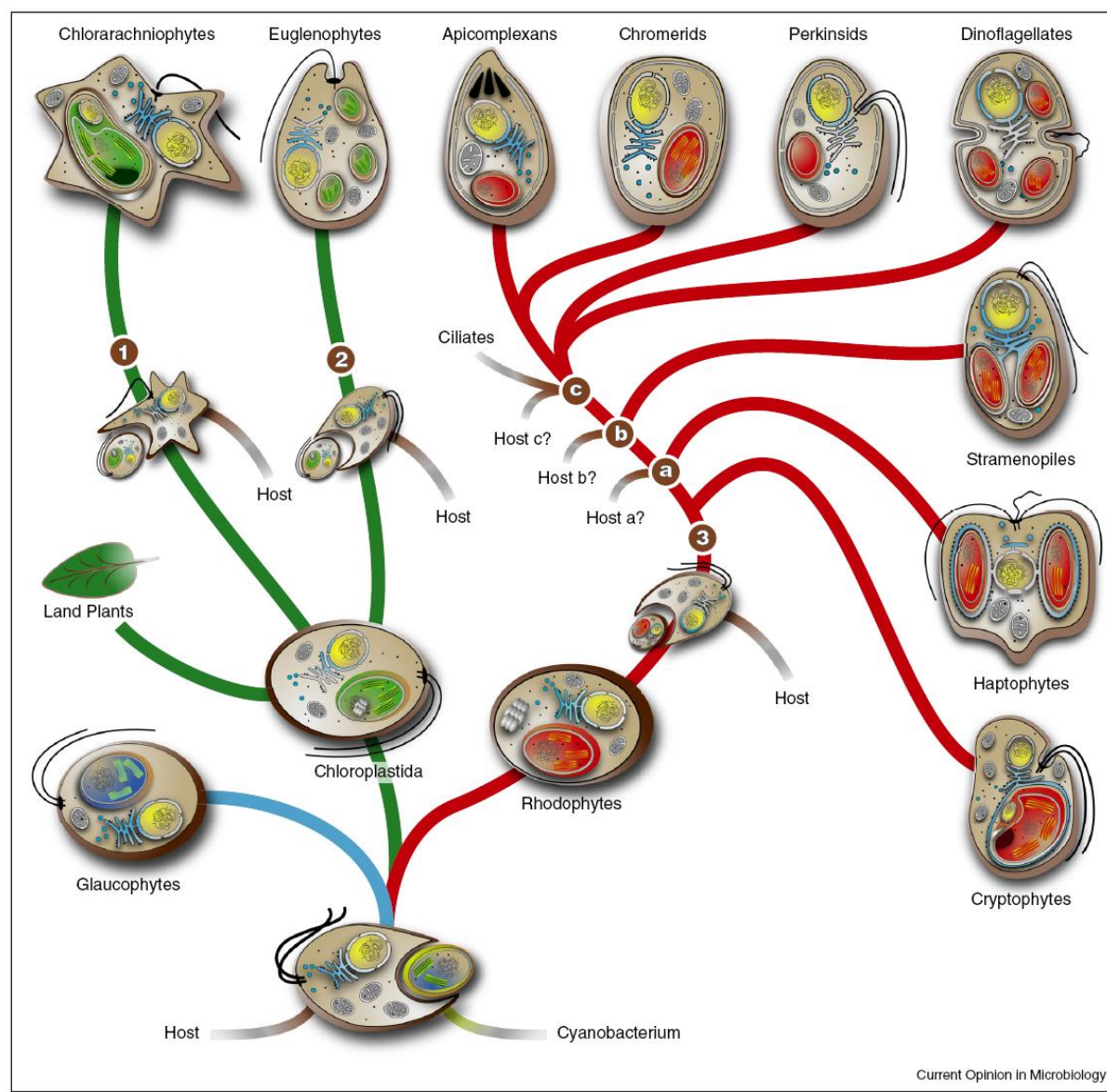
skrytěnky (Cryptophyta)

- sladkovodní bičíkovci, mixotrofové
- zbytkové jádro ruduchy (nukleomorf)
- fykobiliproteiny



haptofyty (Haptophyta)

- stáří cca 1050 mil.



haptofyty (Haptophyta)

- produkce vápenatých šupin (kokolitky)



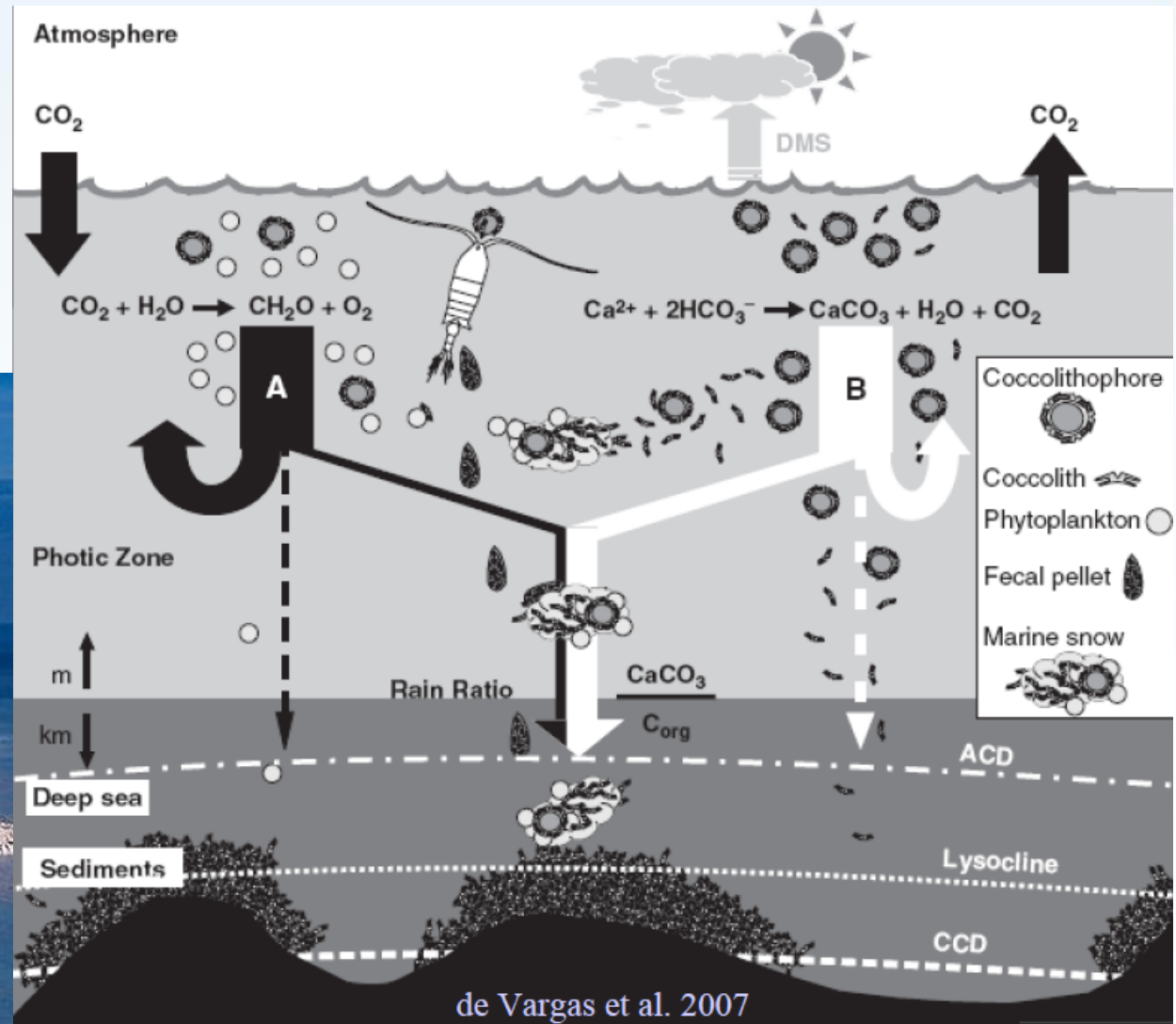
Emiliana



haptofyty (Haptophyta)

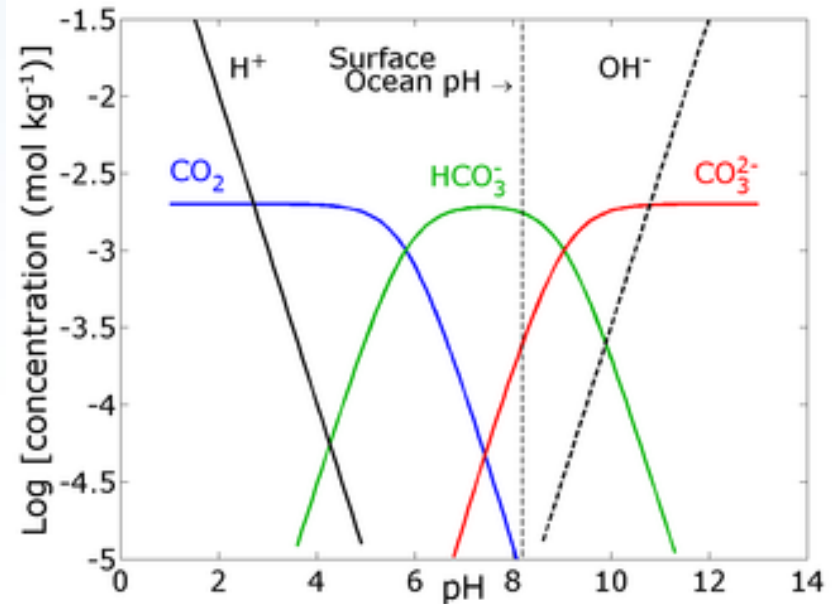
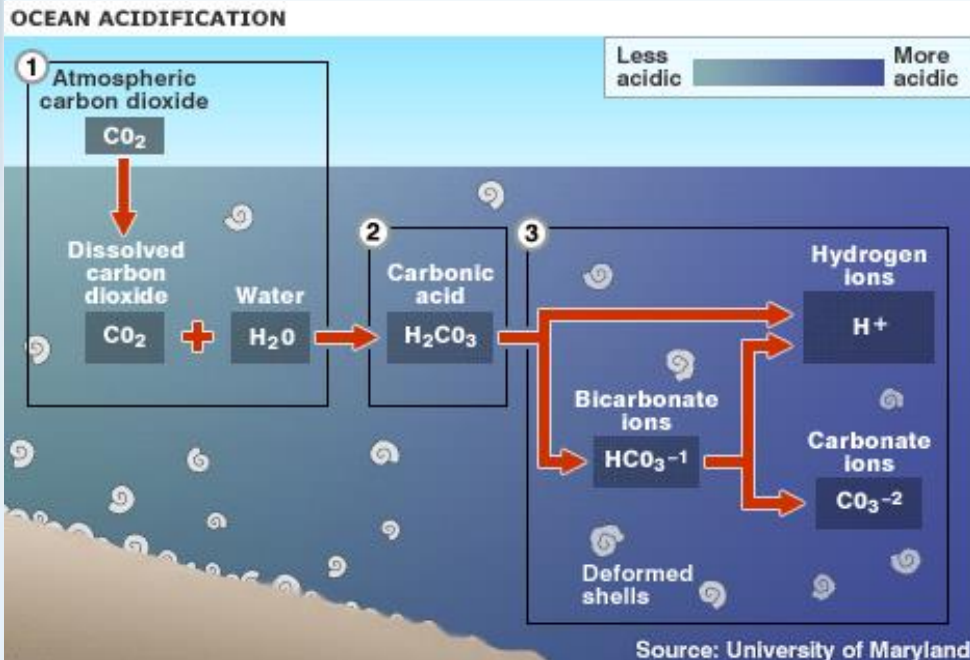
- globální klimatický význam = kalcifikace
 - vápence, ukládání CO₂ do sedimentu

Dover cliffs



haptofyty (Haptophyta)

- globální klimatický význam = kalcifikace
 - acidifikace moří: oxid uhličitý snižuje pH mořské vody, čímž se mění rovnovážný stav jeho tří rozpustných forem ve prospěch CO_2 (nevyužitelný pro haptofyty)

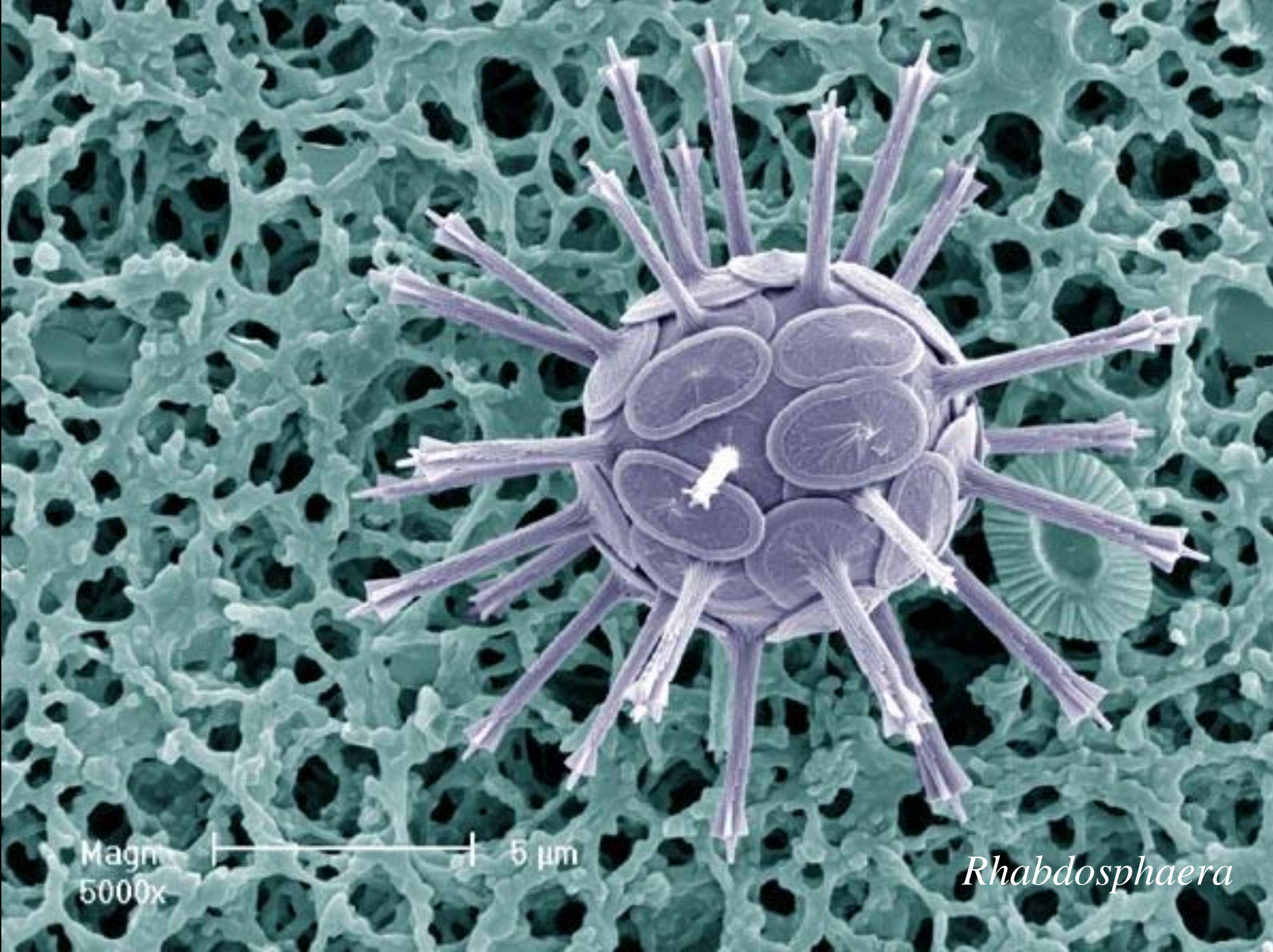




Scyphosphaera



Calcidiscus



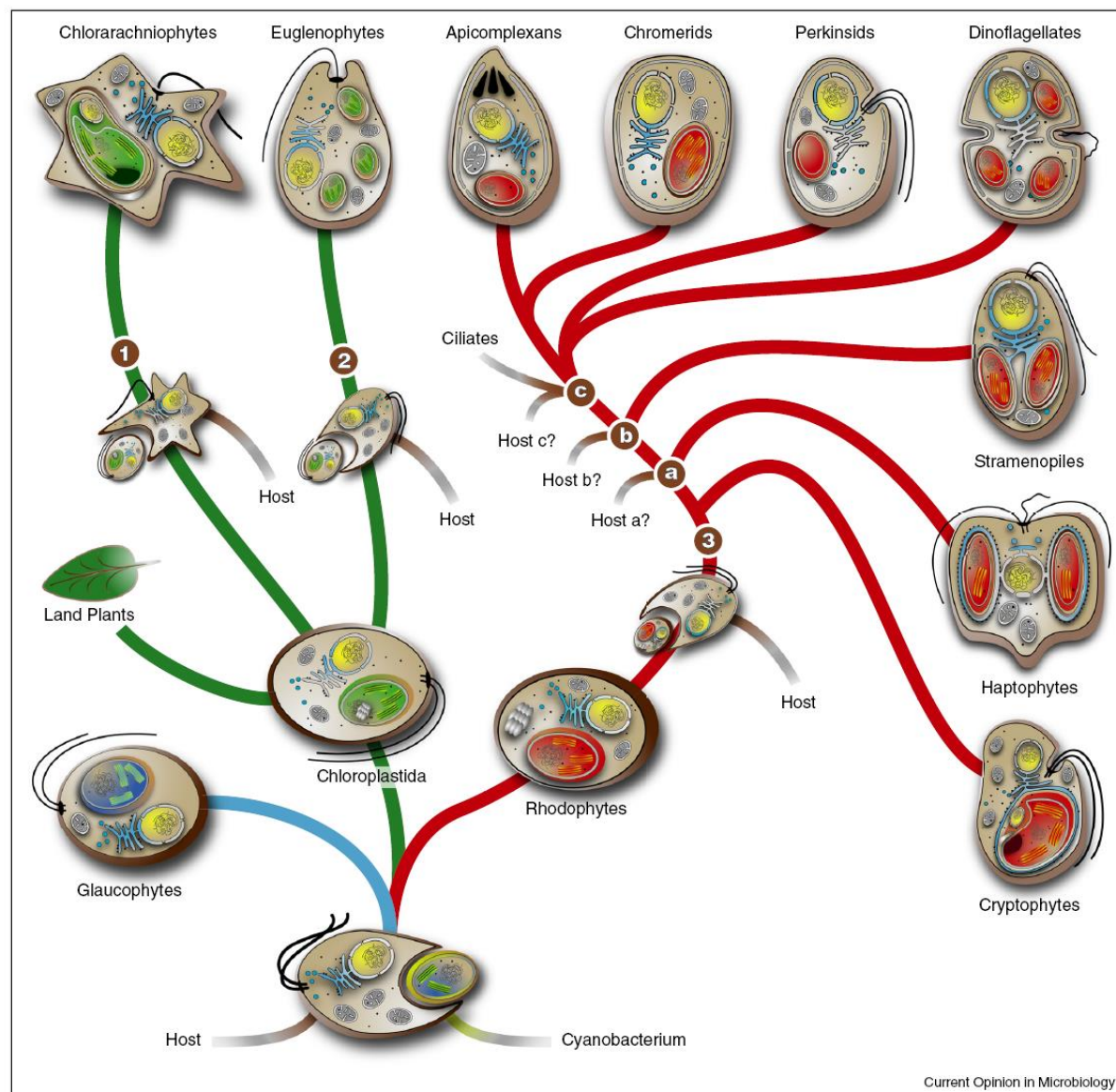
Magn
5000x

5 μ m

Rhabdosphaera

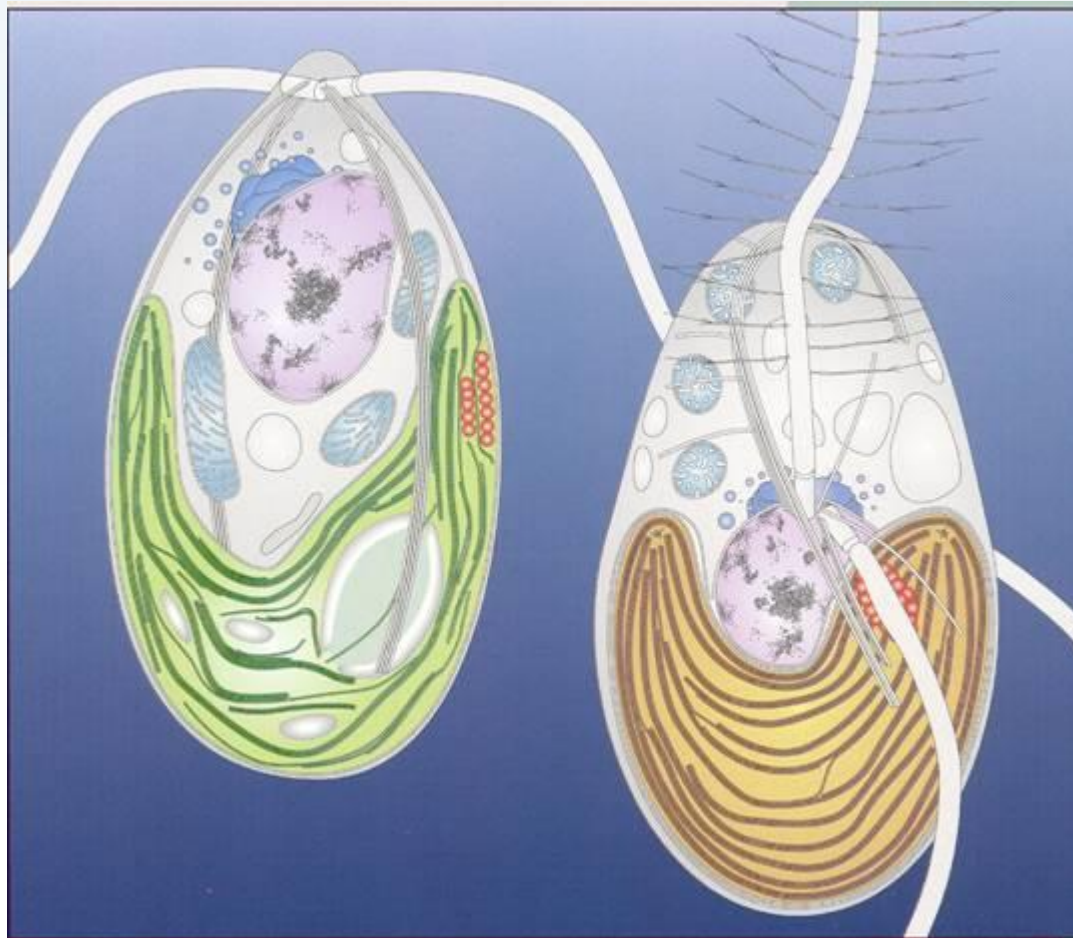
stramenopilové

- stáří cca 550 mil.



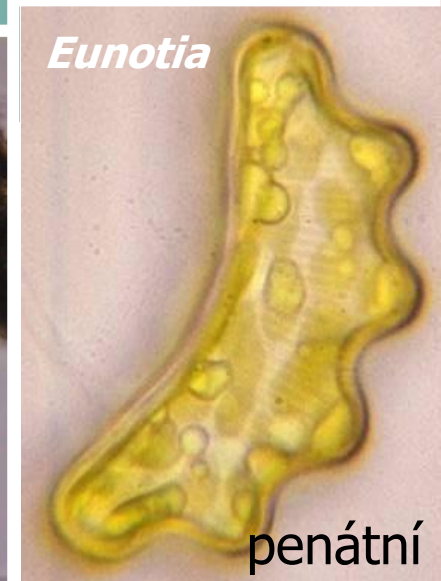
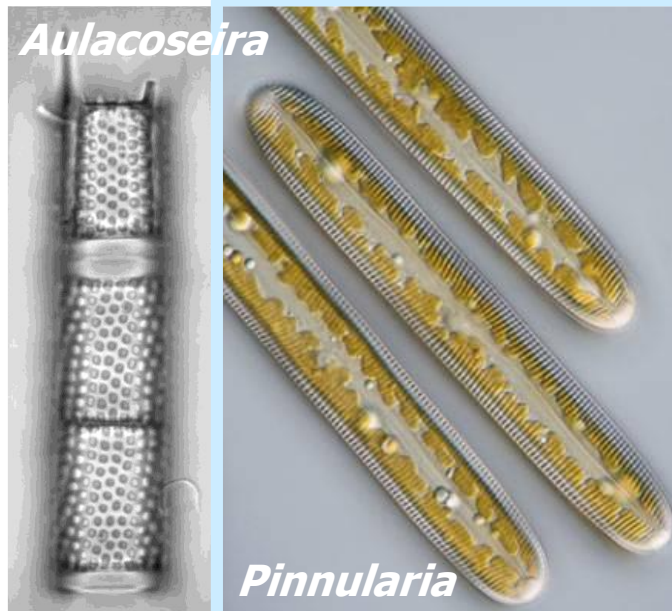
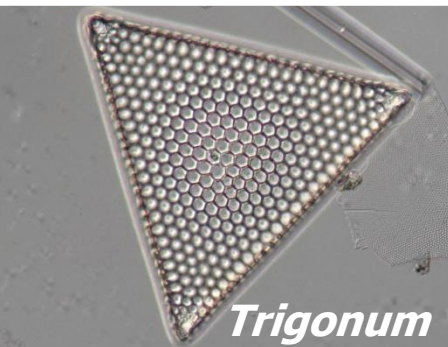
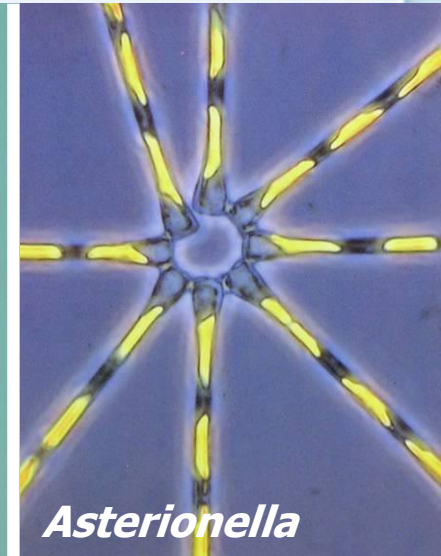
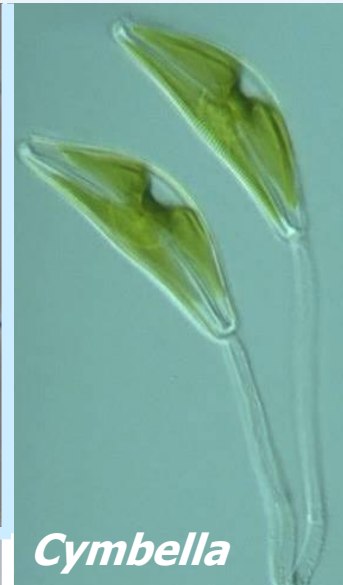
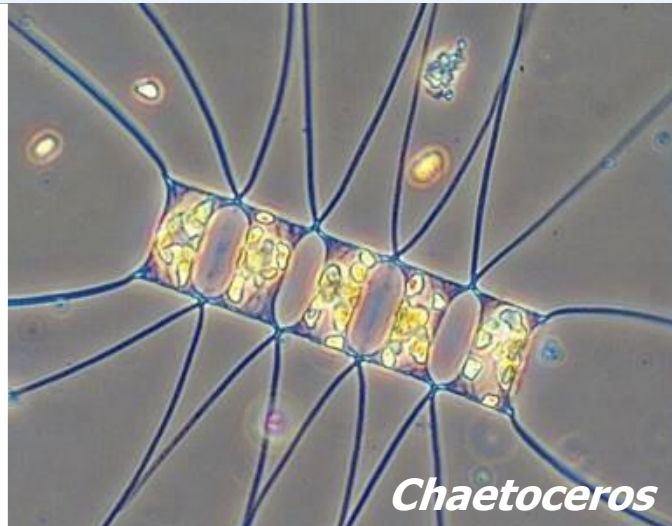
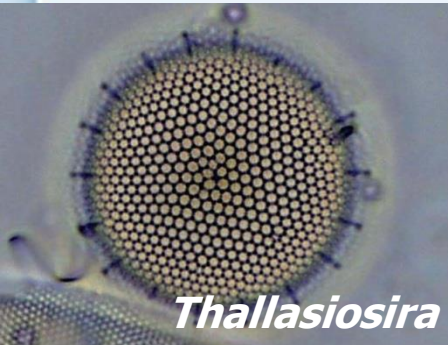
stramenopilové (Stramenopiles)

- odlišná stavba bičíků
- hnědá barva plastidu (fukoxanthin)
- velmi diverzifikovaná skupina



stramenopilové (Stramenopiles)

- rozsivky (Bacillariophyceae)

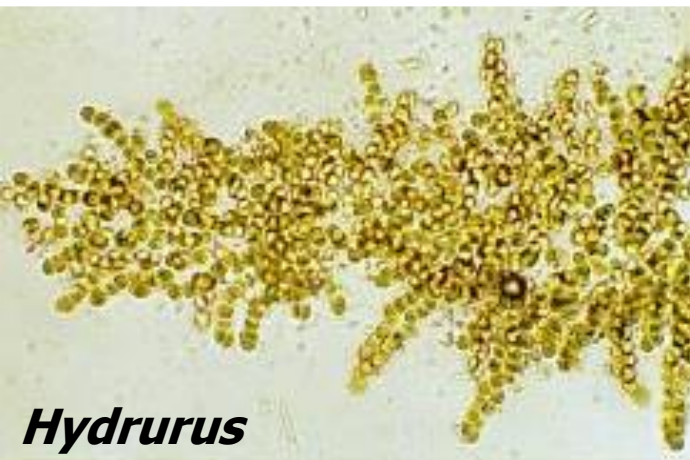
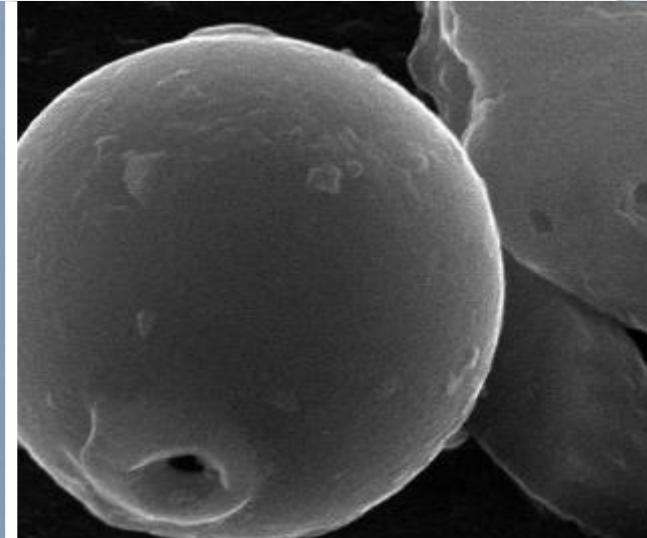


Pinnularia

penátní

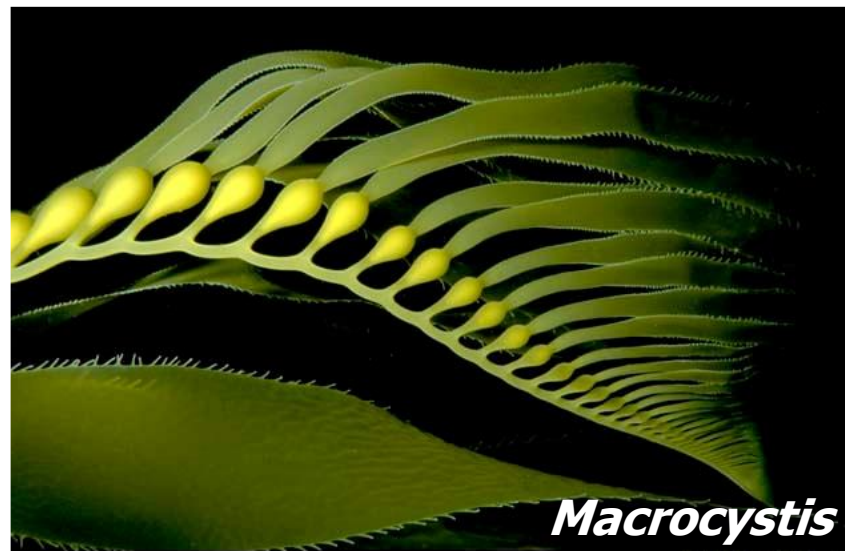
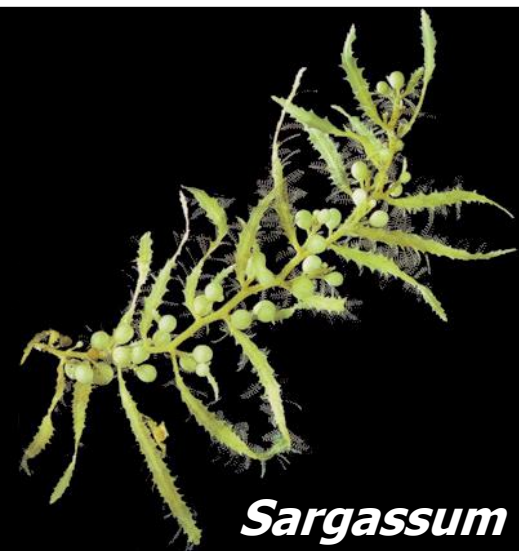
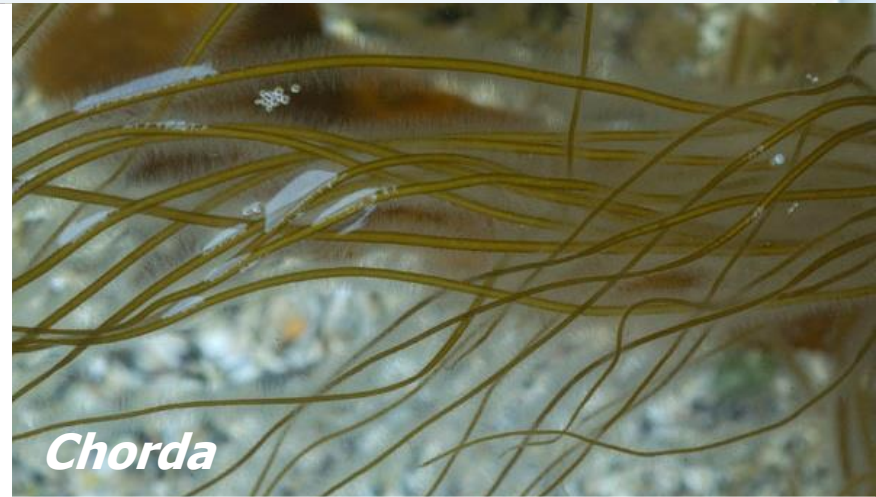
stramenopilové (Stramenopiles)

- zlativky (Chrysophyceae)



stramenopilové (Stramenopiles)

- chaluhy (Phaeophyceae)
- litorál moří, velký ekonomický význam



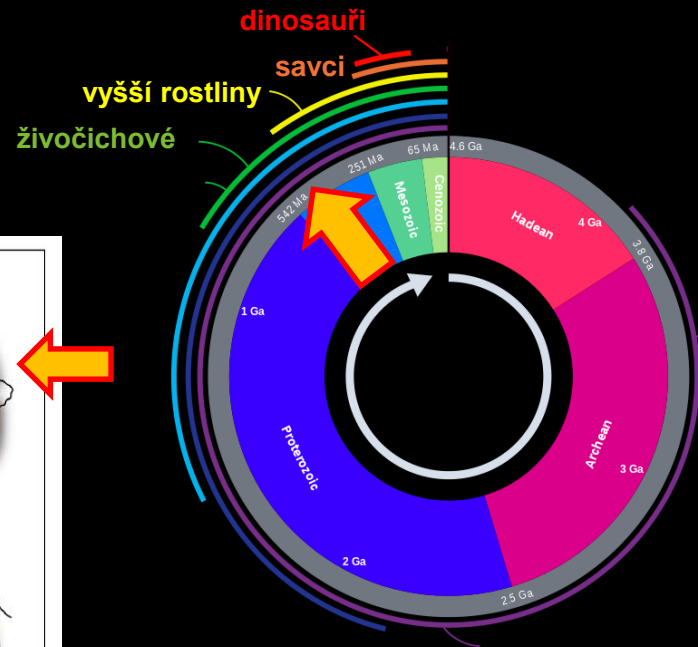
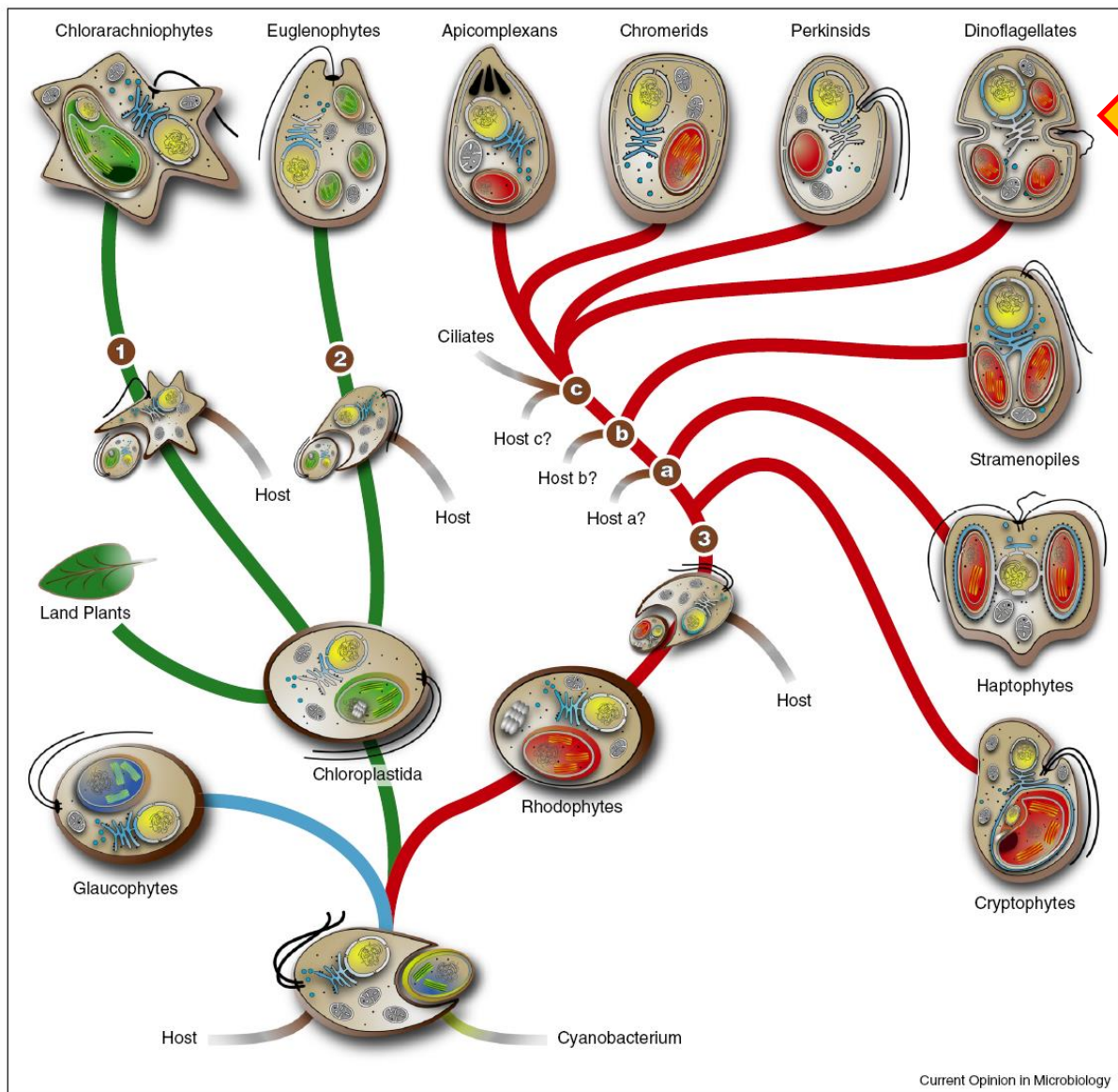
stramenopilové (Stramenopiles)

- radiace stramenopilních skupin v ordoviku (450 mil.)
- v oceánech je chloroplast z ruduch efektivnější



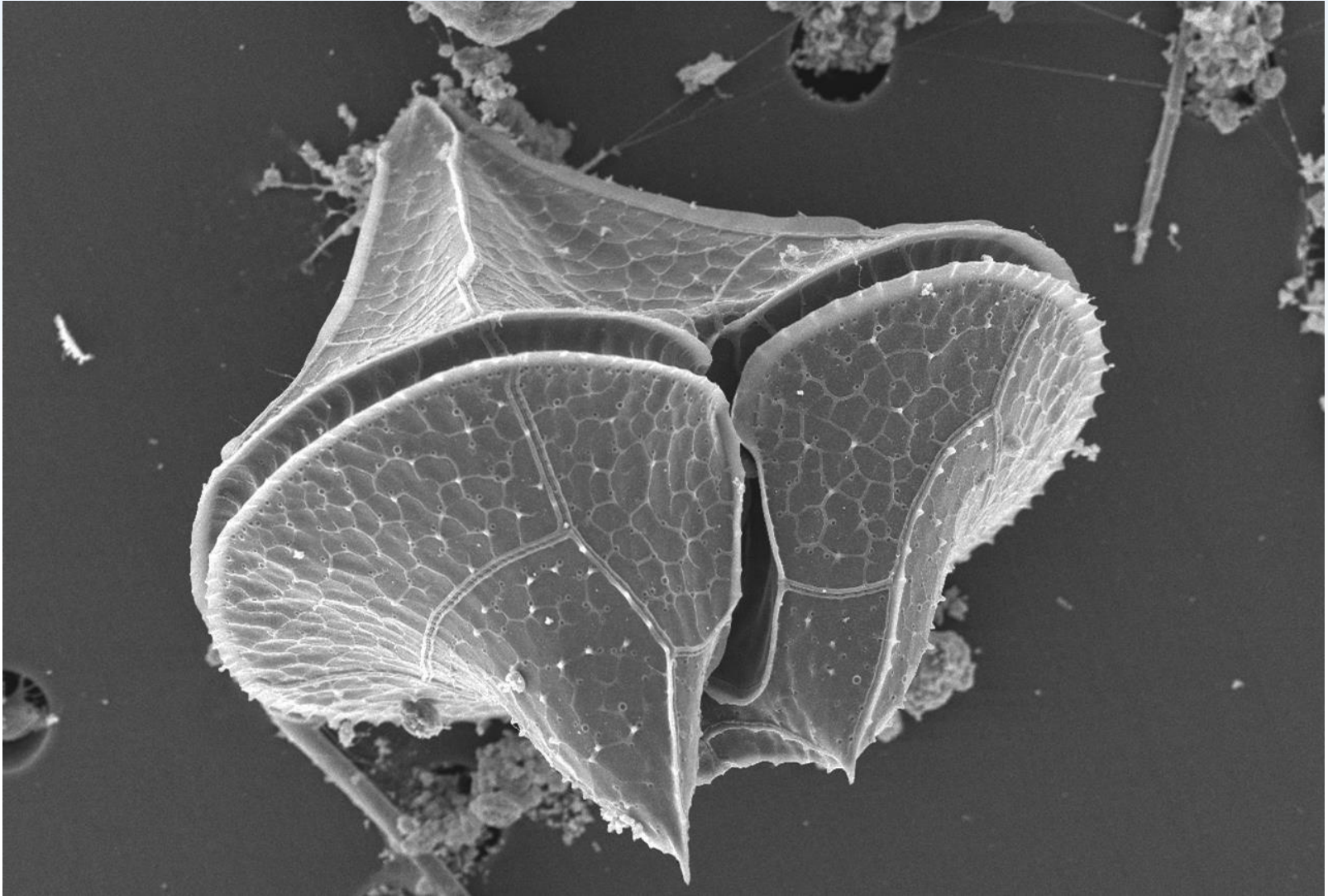
obrněnky (Dinophyta)

- stáří cca 400 mil.



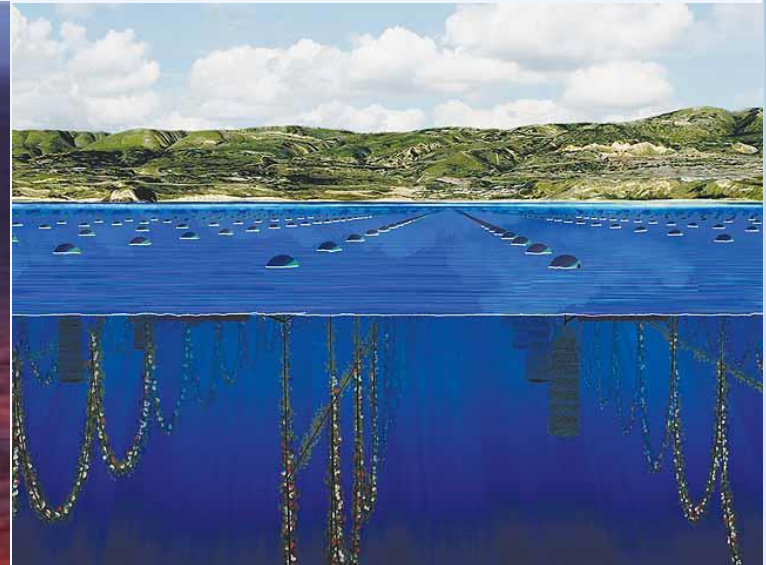
obrněnky (Dinophyta)

- mořští a sladkovodní bičíkovci, mixotrofové
- celulózni buněčná stěna (théka)



obrněnky (Dinophyta)

- red tides – mořské vodní květy
- produkce nebezpečných toxinů (shellfish poisoning)



obrněnky (Dinophyta)

- red tides – mořské vodní květy
- produkce nebezpečných toxinů (shellfish poisoning)
 - Guatemala 1978: zemřelo 50 % všech nakažených dětí (PSP, svalová paralýza)



obrněnky (Dinophyta)

- bioluminescence
- *Noctiluca scintillans*



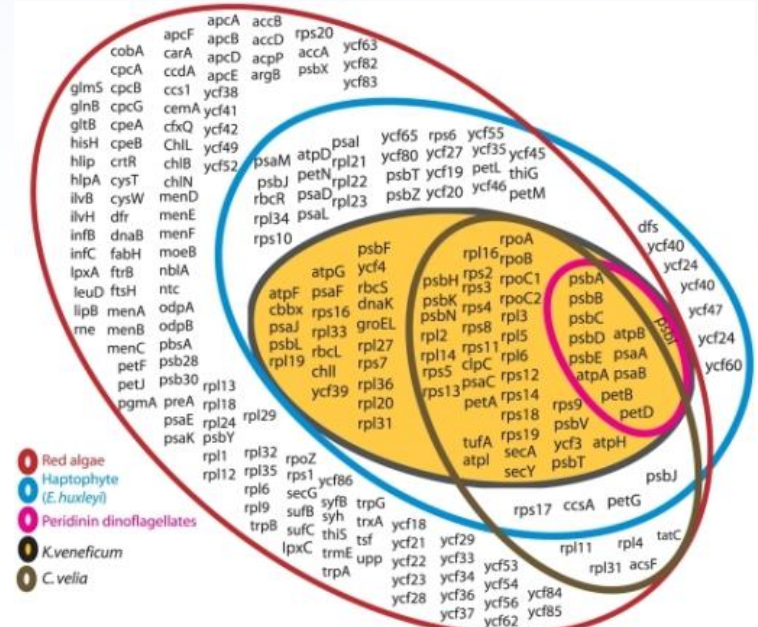
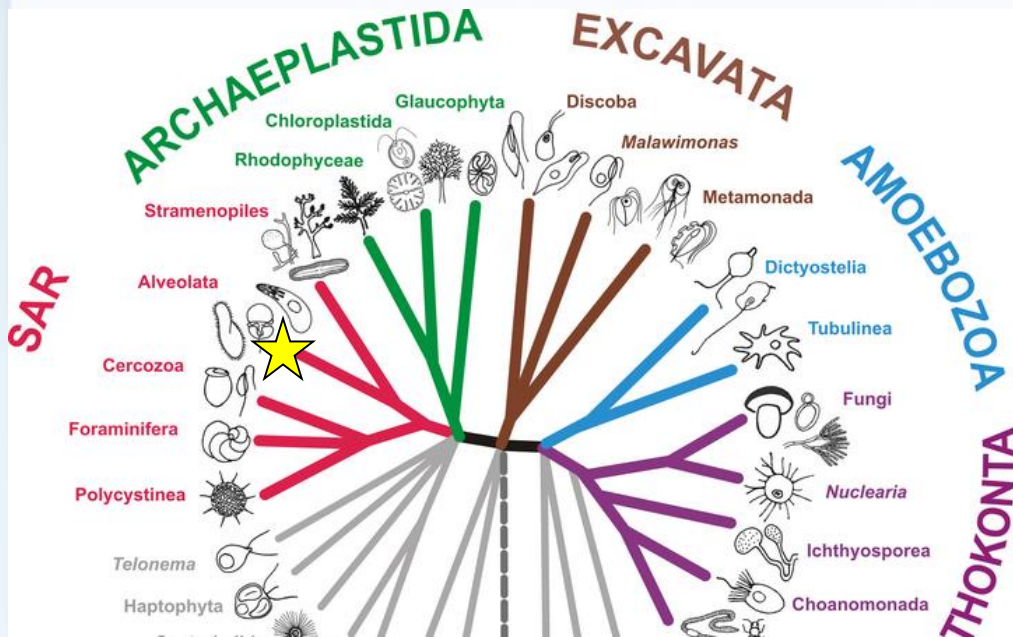
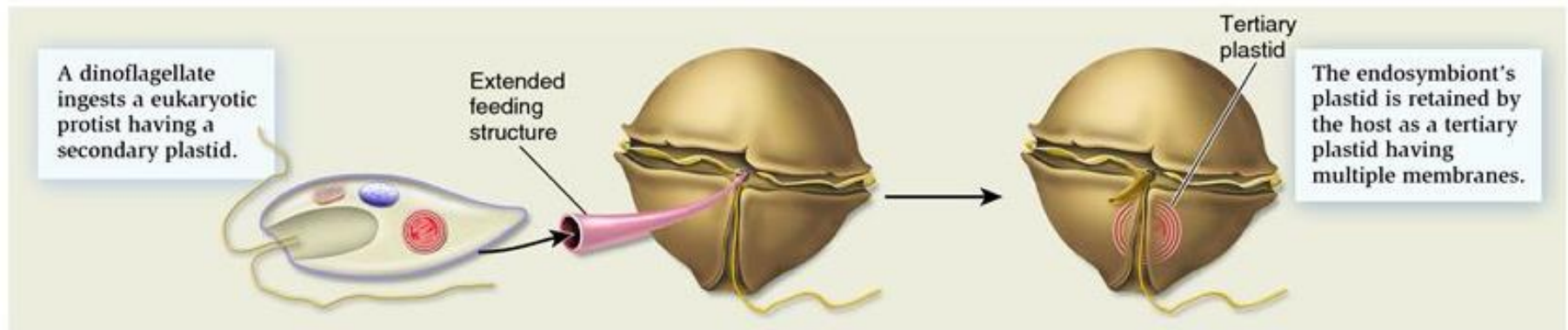
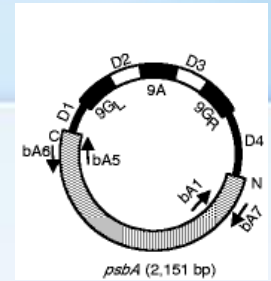
obrněnky (Dinophyta)

- význam bioluminiscence?



Terciární endosymbiózy

- pouze u obrněnek
 - evolučně nejdokonalejší otrokáři plastidů
 - v plastidovém genomu pouze 14 genů (minikroužky)



Terciární endosymbiózy

- 7 nezávislých endosymbiotických událostí

Dinophysiales I

Cryptophyta



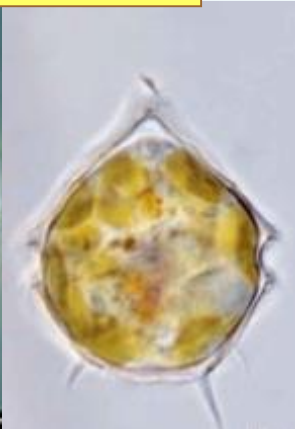
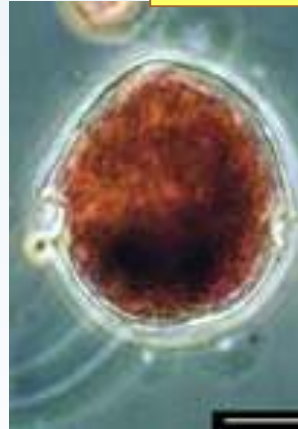
Dinophysiales II

Haptophyta



Kryptoperidinium

Stramenopiles



Karenia

Haptophyta



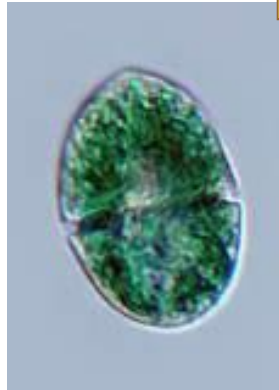
Lepidodinium

Chlorophyta



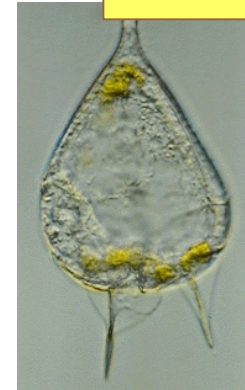
Gymnodinium aeruginosum

Cryptophyta



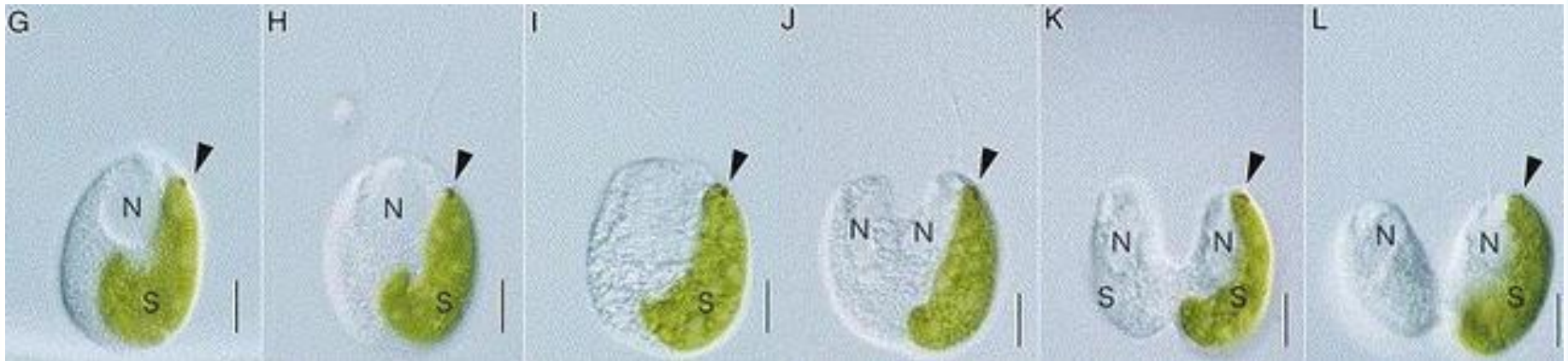
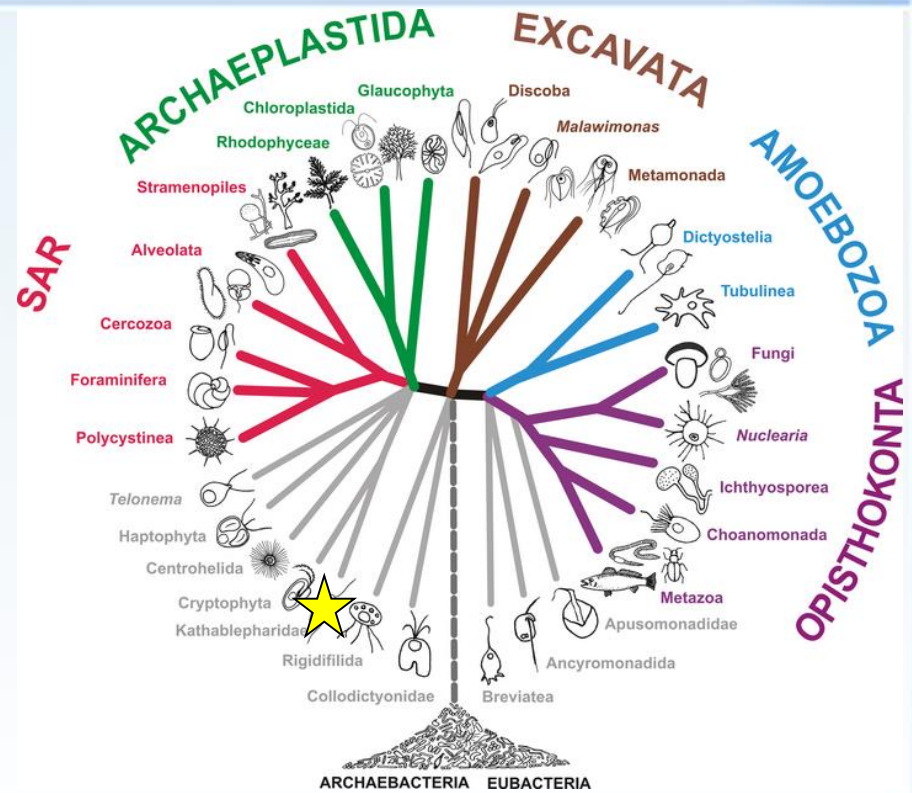
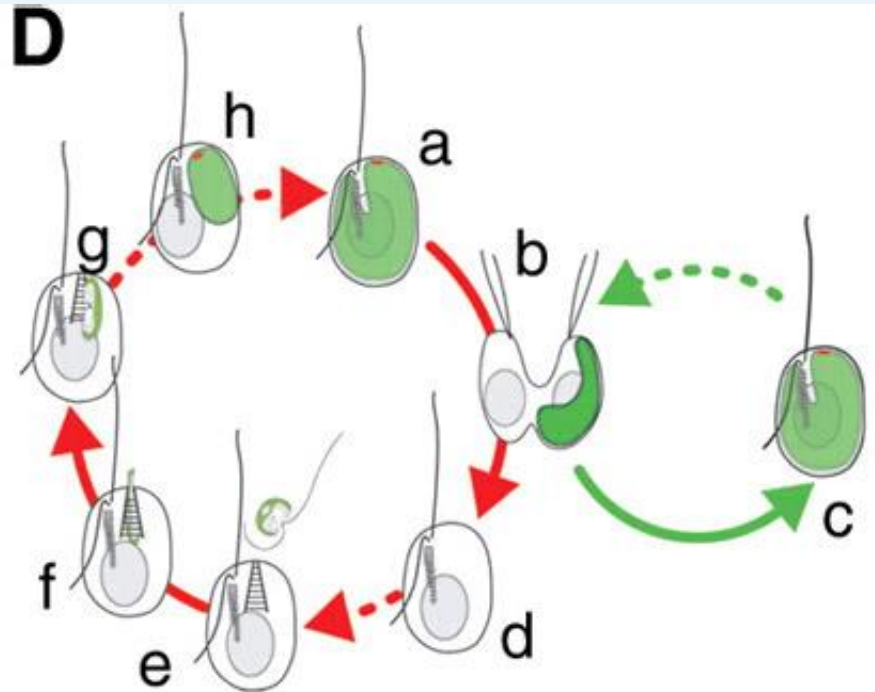
Podolampas

Stramenopiles



nedokončené endosymbiózy

- *Hatena arenicola*



kleptoplastidy

- *Elysia viridis*





Pteraeolidia ianthina - dole juvenilní jedinec bez zooxanthel



Costasiella kuroshimae – „mořská ovečka“

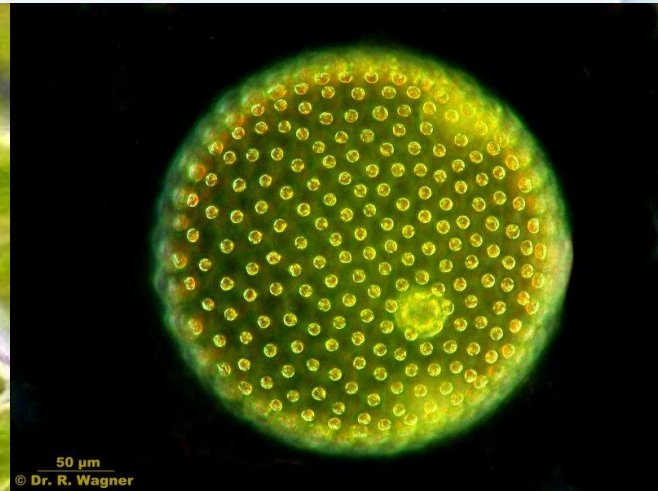
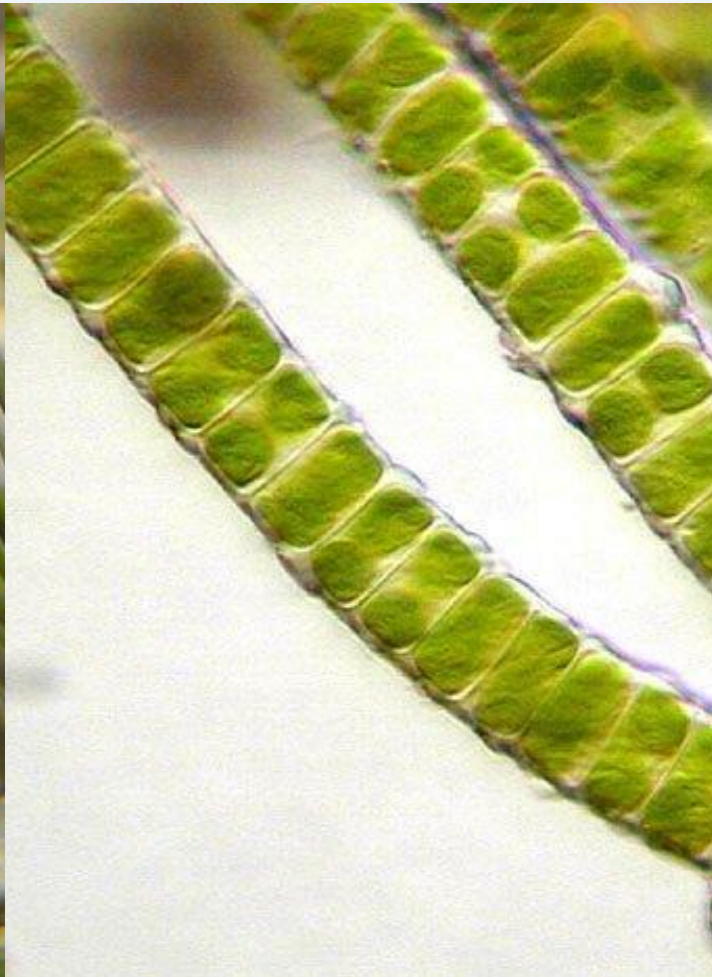
Randi Ang



Costasiella kuroshimae – „mořská ovečka“

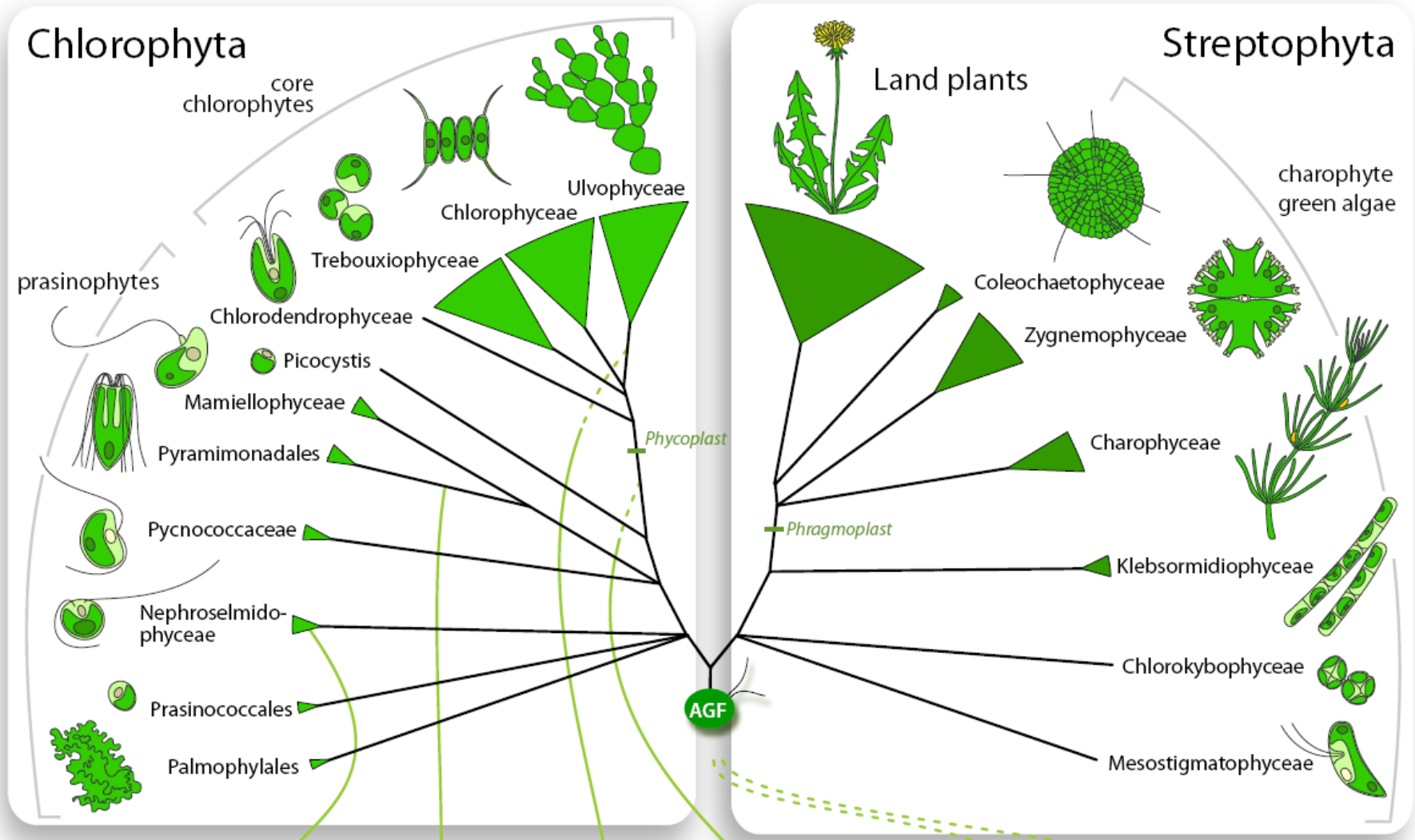
zelené rostliny (Chloroplastida)

- ohromně diverzifikovaná skupina: počtem druhů, morfologií, ekologií, biochemií
- vznik vyšších rostlin z řasového předka představoval klíčový okamžik pro evoluci života na pevnině



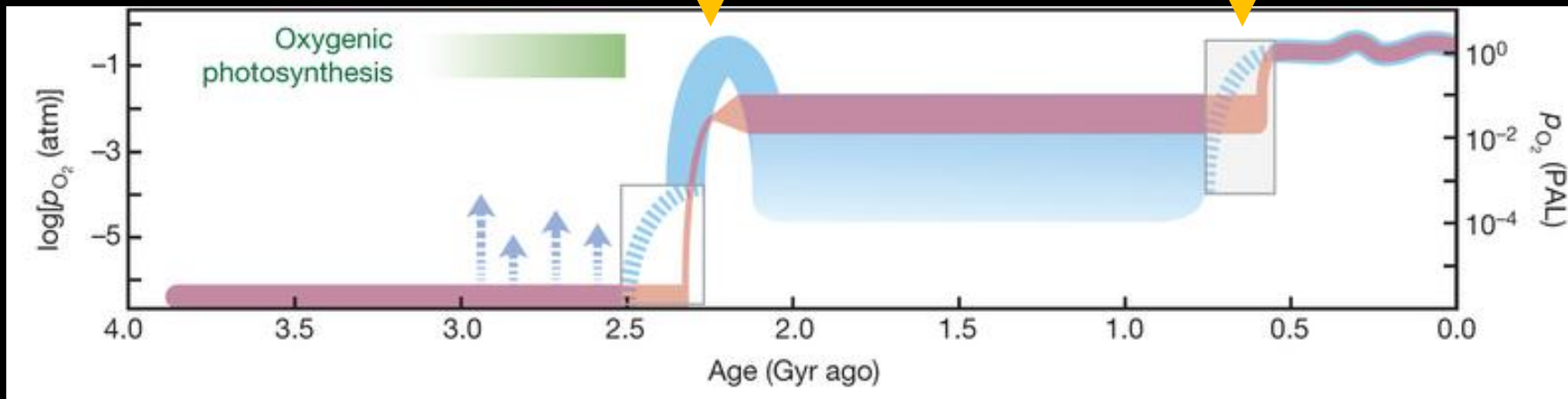
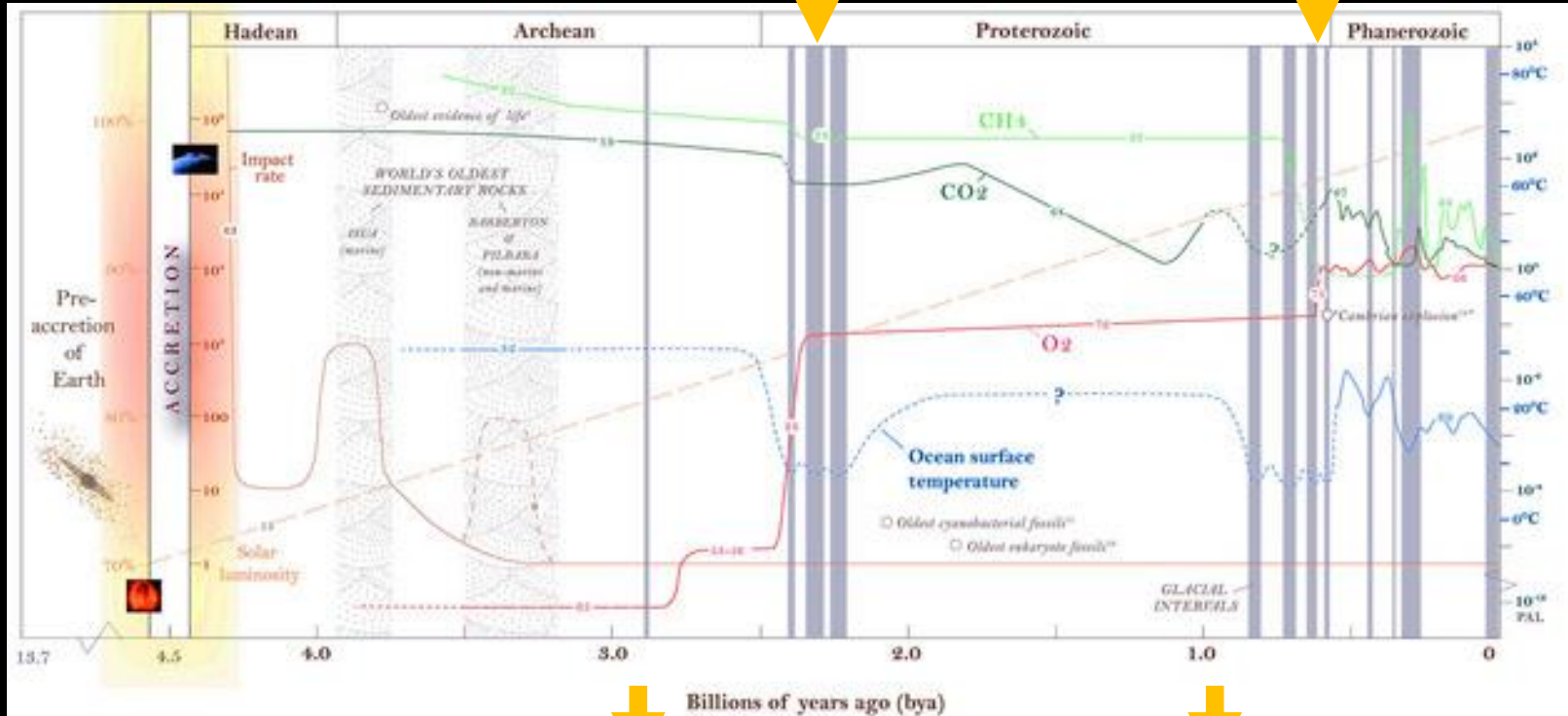
zelené rostliny (Chloroplastida)

- Chlorofyty + Streptofyty



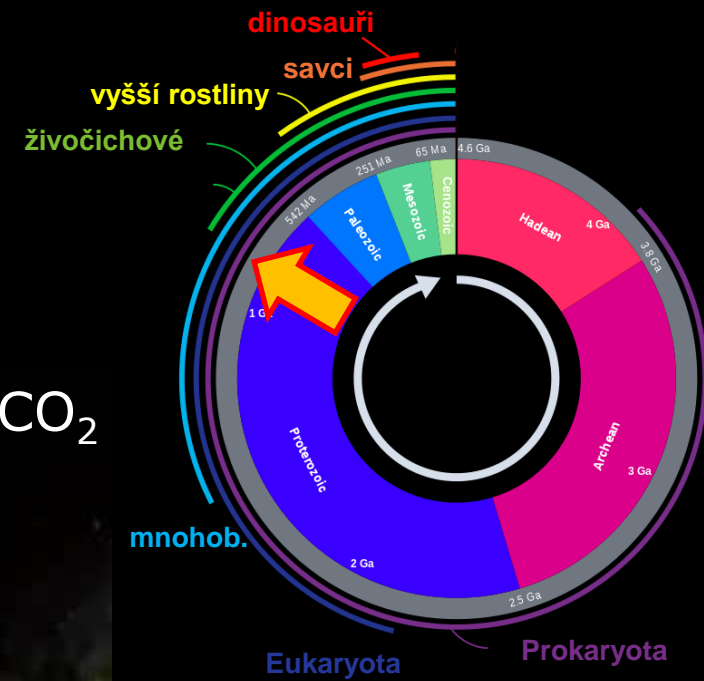
Snowball Earth

- oxidace methanu v atmosféře 2,3 – 2,5 mld. let
- 0,65 mld. let



Snowball Earth

- NEO (Neoproterozoic Oxidation event.), 650 mil.
- oxidace methanu v atmosféře, a jeho nahrazení slabším skleníkovým plynem CO₂



Snowball Earth

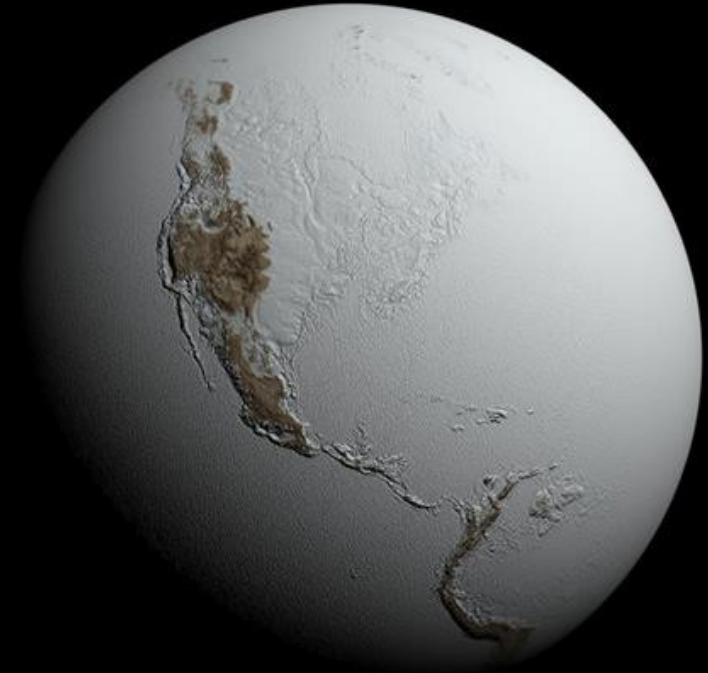
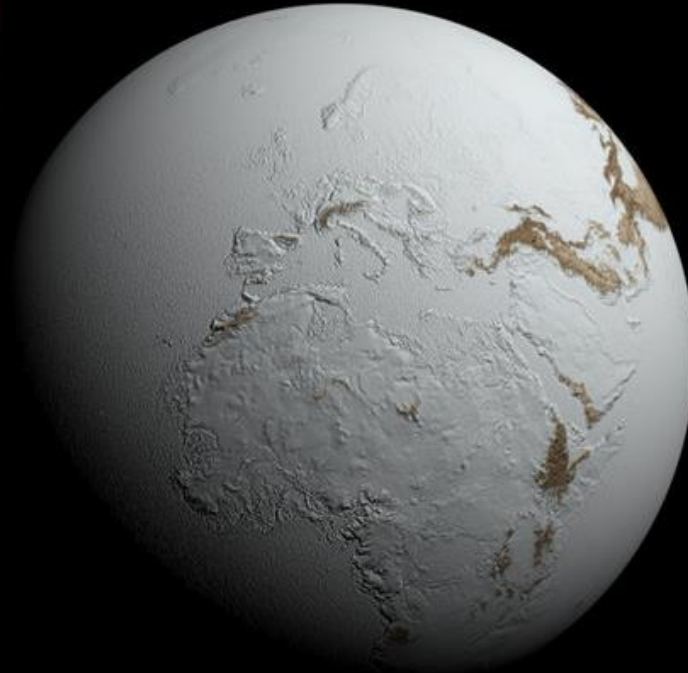
- neoproterozoikum (650 mil.)

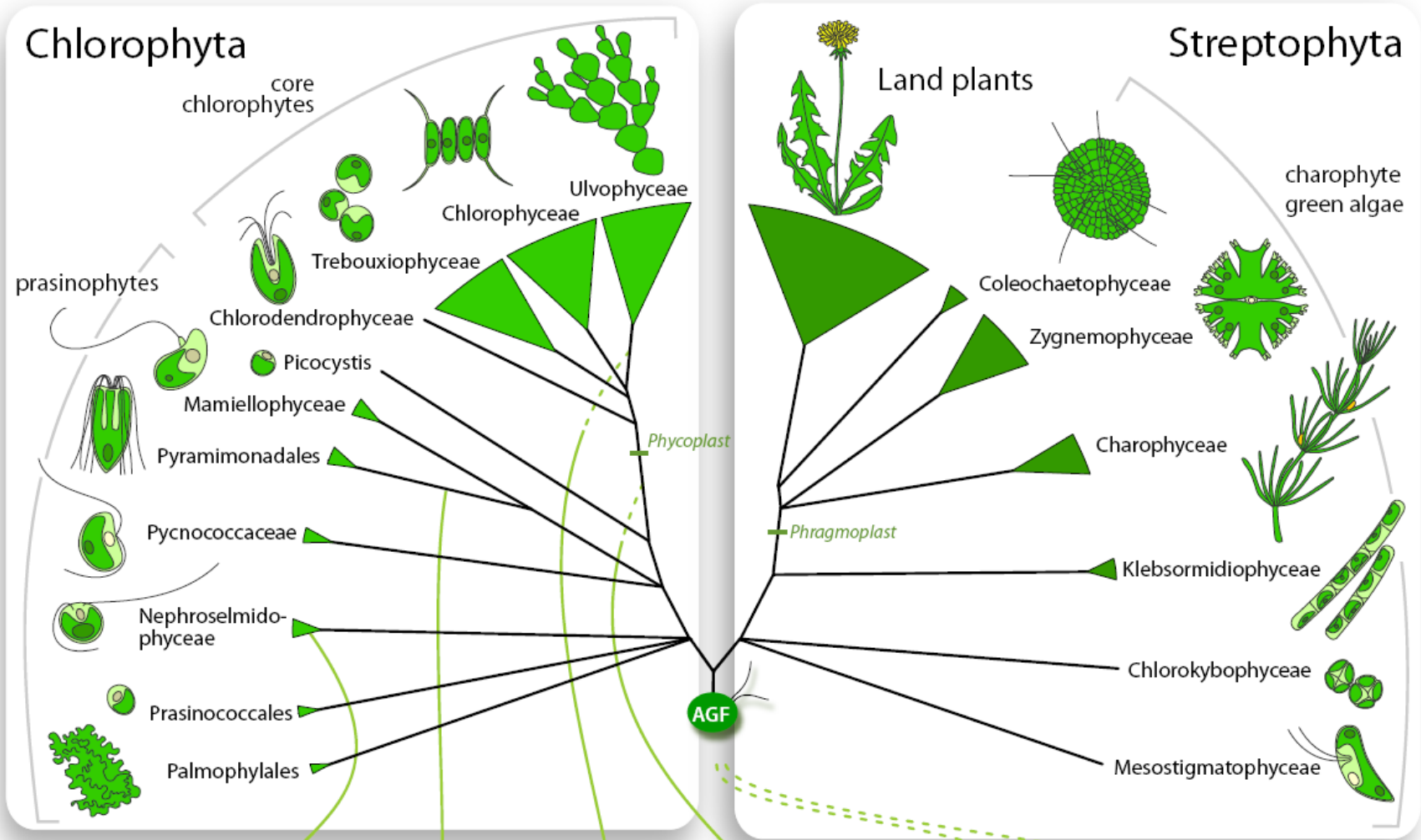
Streptofyty

- sladkovodní
- optimalizace pro rychlé metabolické toky (oxidace přes H_2O_2)

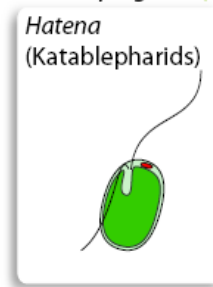
Chlorofyty

- mořské
- optimalizace pro uchování energie (oxidace glykolátu)

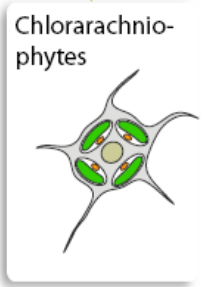
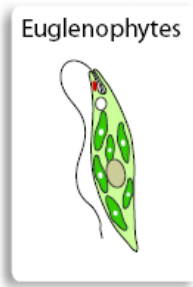




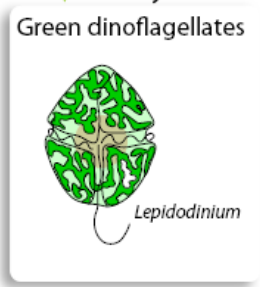
Putative secondary symbiosis in progress



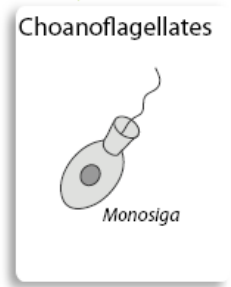
Secondary endosymbiosis



Serial secondary endosymbiosis

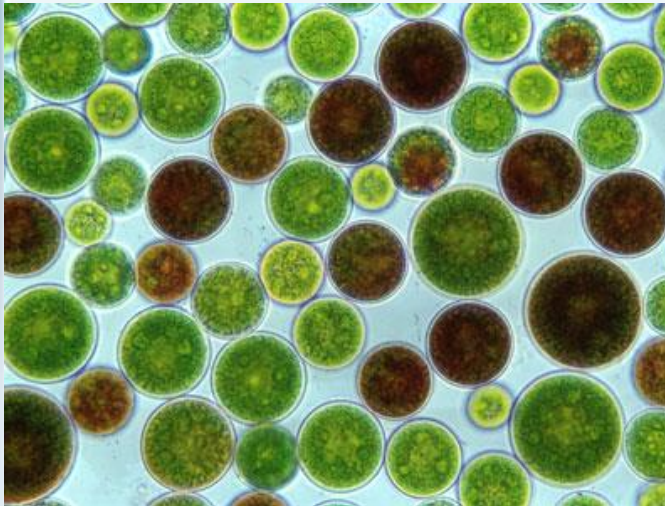


Putative ancient endosymbioses

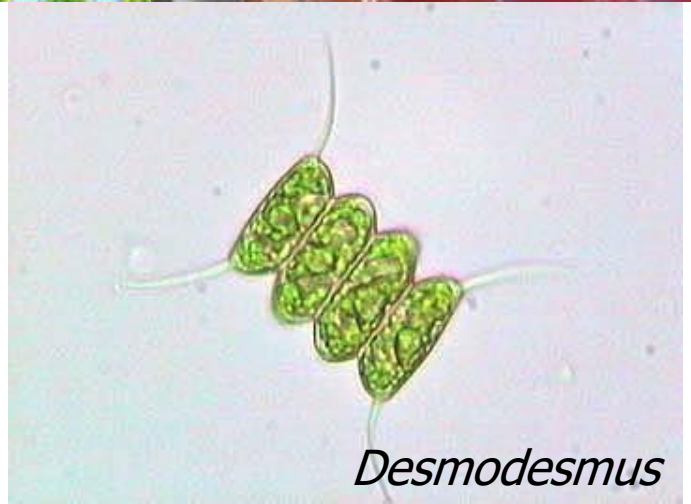


Chlorofyty - Chlorophyceae

- převážně sladkovodní, planktonní organismy
- modelové organismy (Calvinův cyklus objeven u *Desmodesmus*)
- *Haematococcus* – barvivo astaxanthin



Chlamydomonas



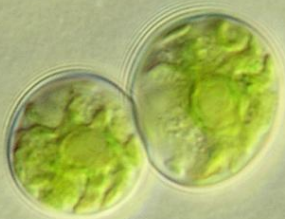
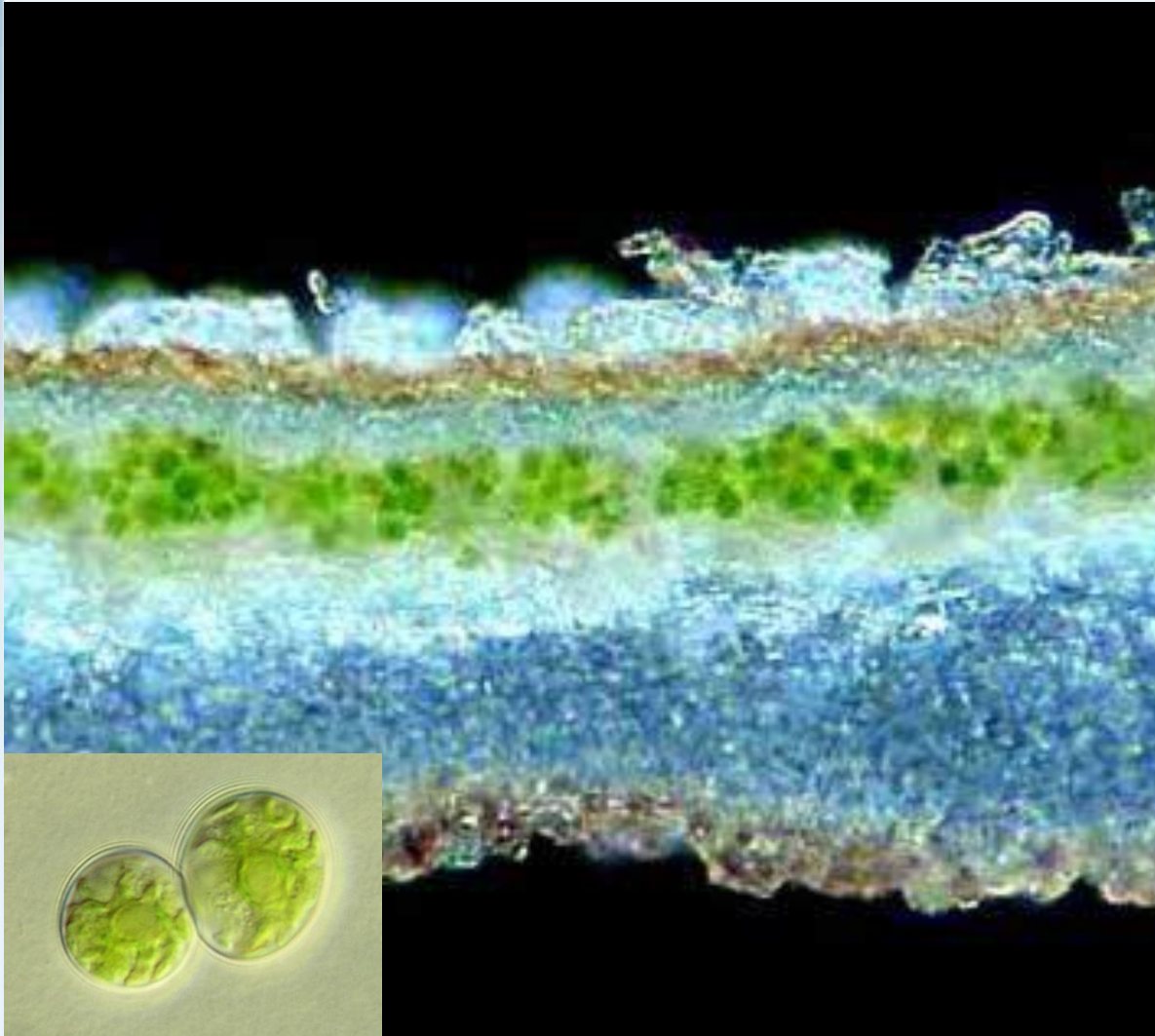
Desmodesmus



Pediastrum

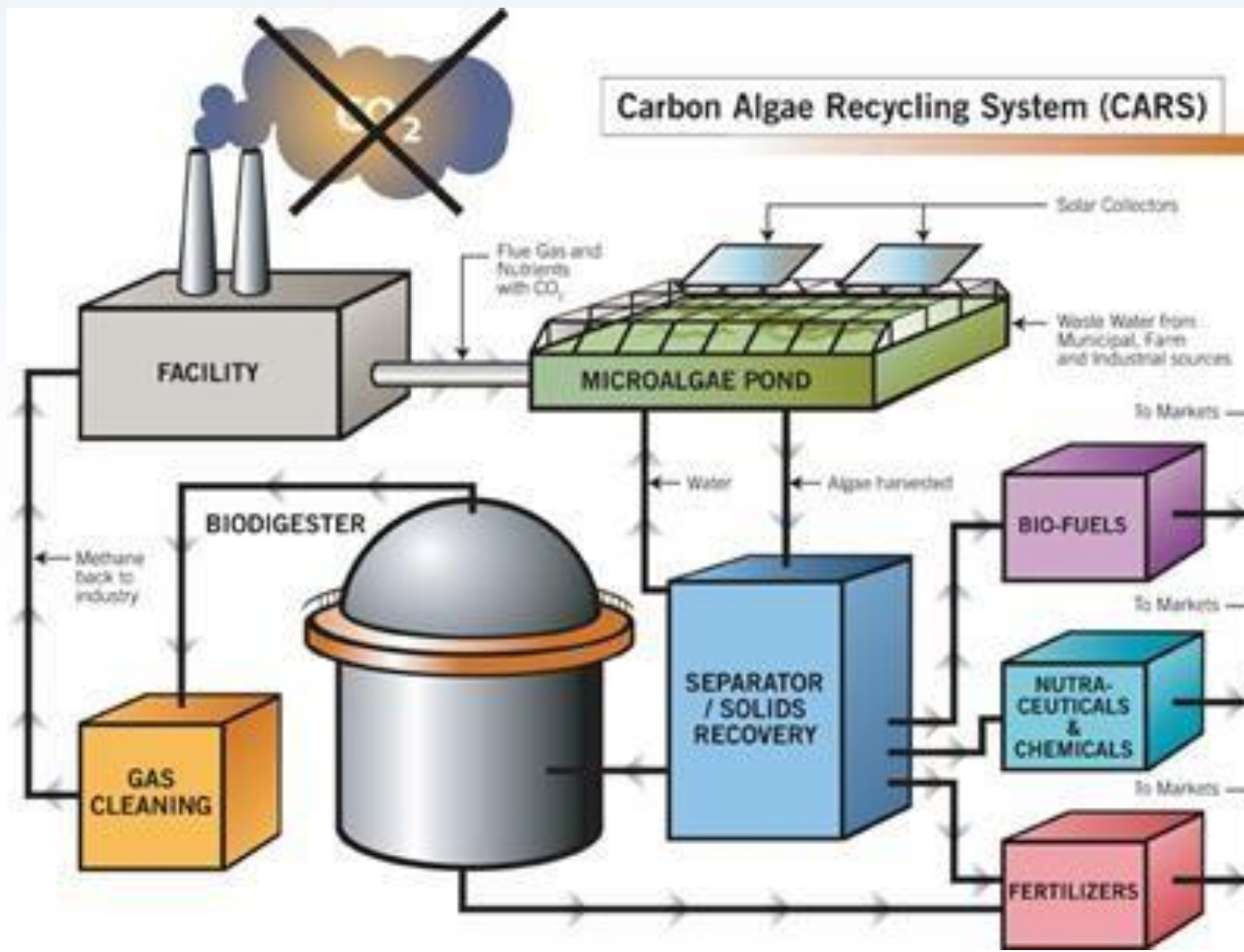
Chlorofyty - Trebouxiophyceae

- převážně půdní a aerofytické řasy
- symbionti (zoochlorelly)



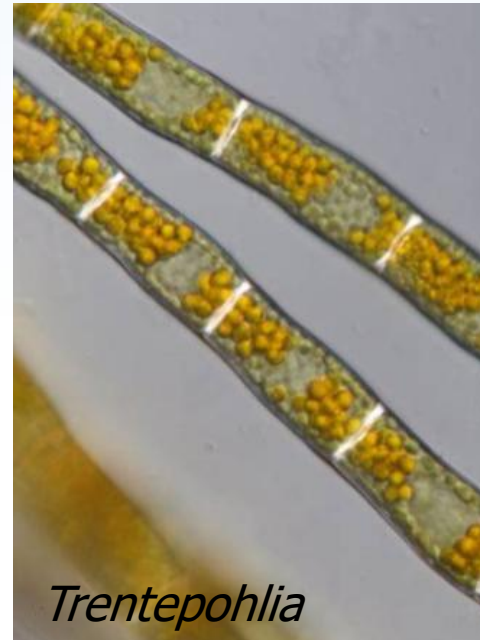
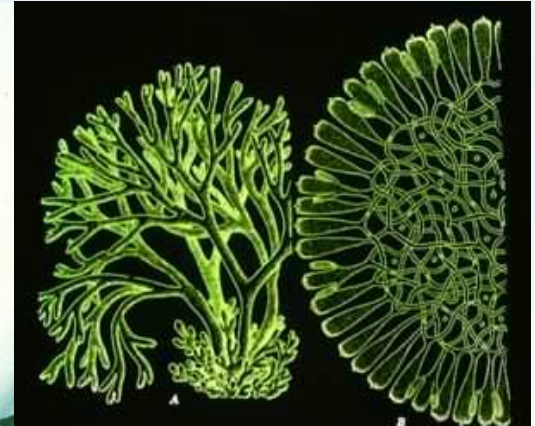
Chlorofyty - Trebouxiophyceae

- *Chlorella* – průmyslově velmi významný organismus
 - roční tržby nad 50 mld. USD
 - léčba anémie, protinádorové efekty, prevence aterosklerózy, ...
 - biopaliva



Chlorofyty - Ulvophyceae

- většinou makroskopické mořské organismy, často jednobuněčné



Chlorofyty - Ulvophyceae

- *Aegagropila* na plážích u Sydney

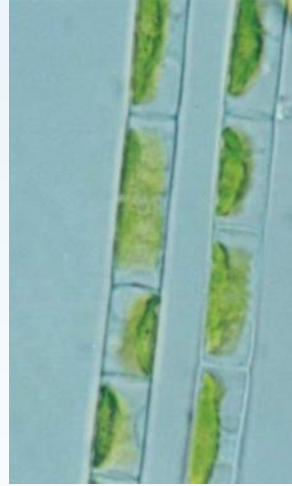


Streptofyty

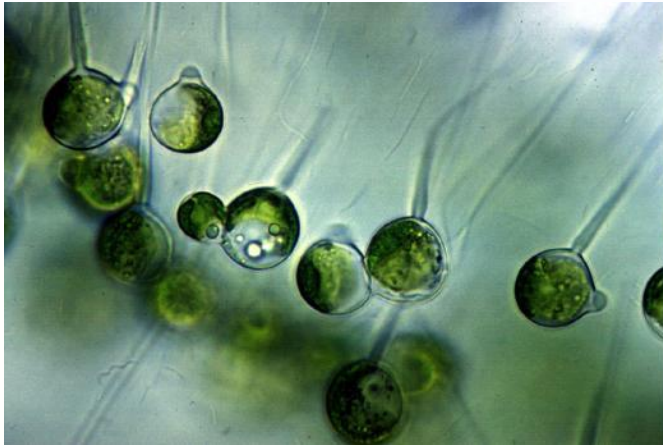
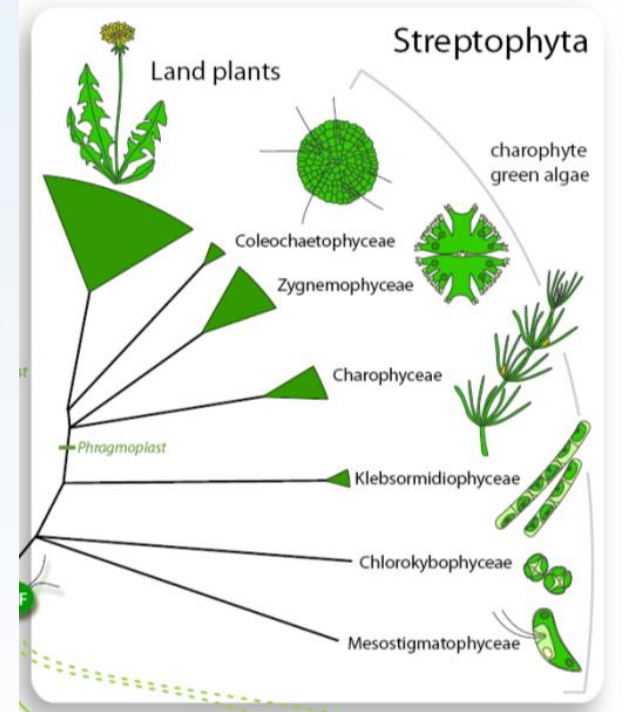
- evoluční cesta k cévnatým rostlinám



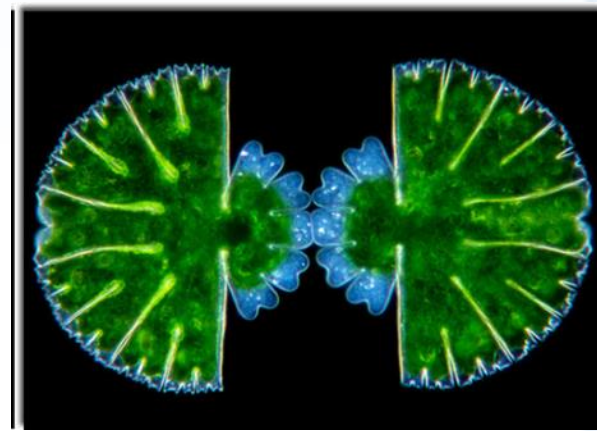
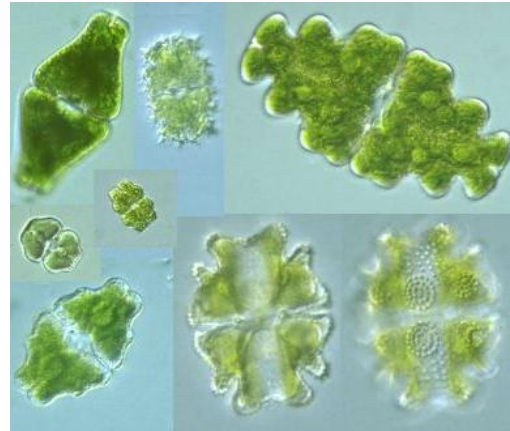
Chlorokybus



Klebsormidium



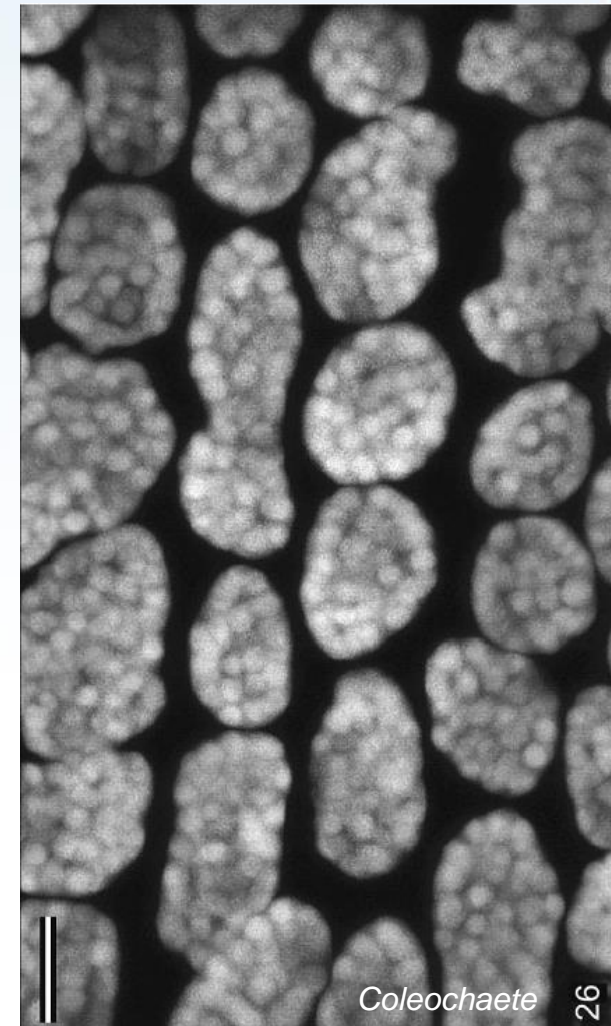
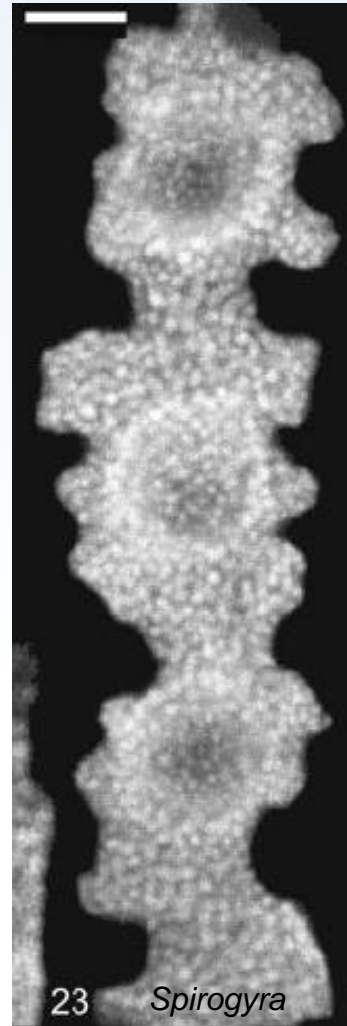
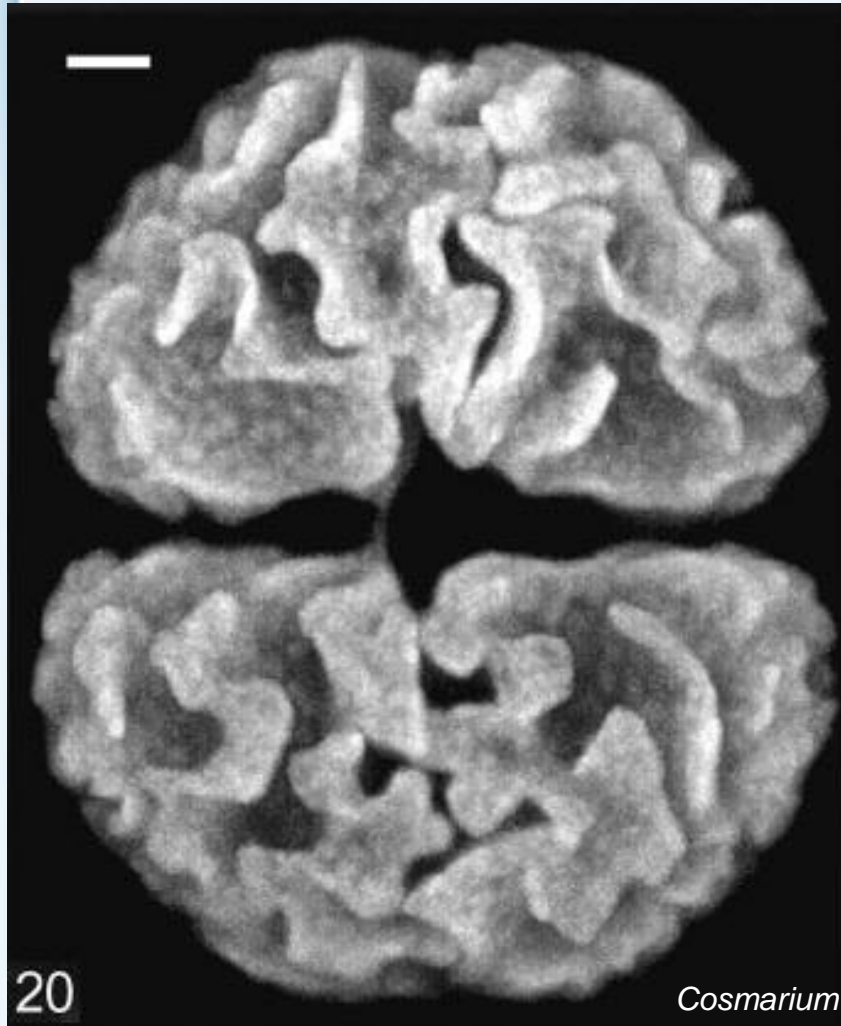
Chaetosphaeridium



spájkvy

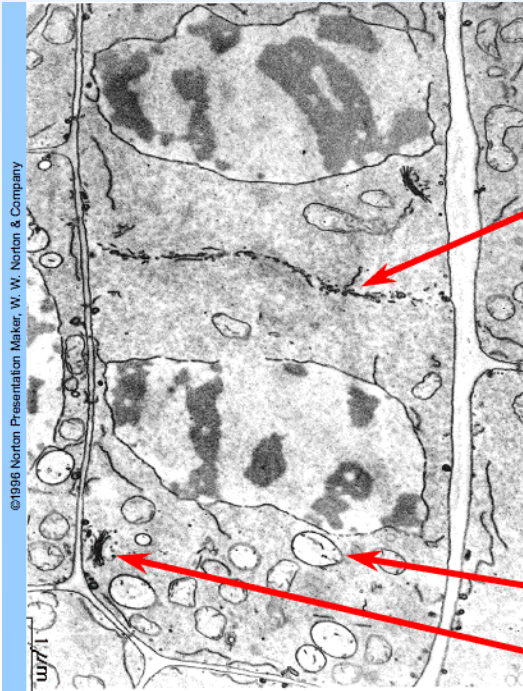
Streptofyty

- thylakoidy zpravidla agregované v granech



Streptofyty

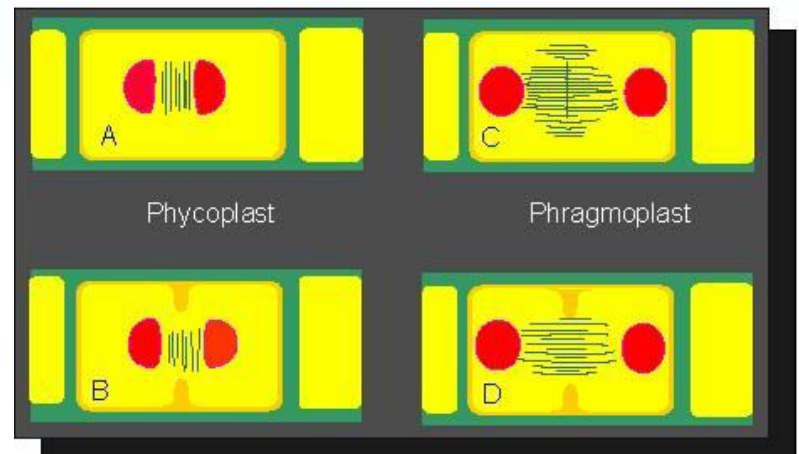
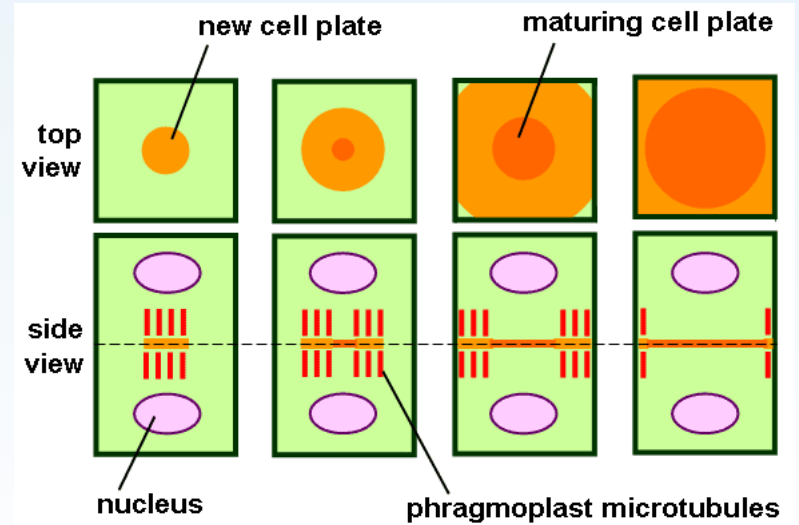
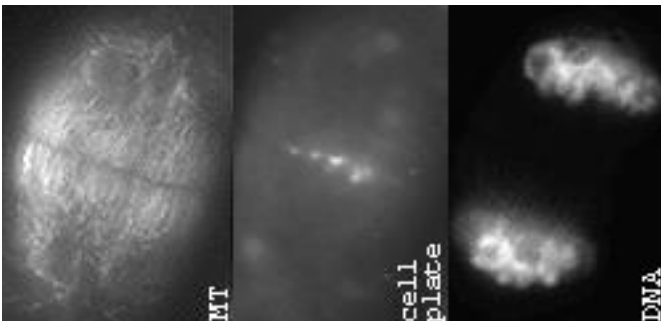
- fragmoplast, plasmodesmata



Cytokinesis

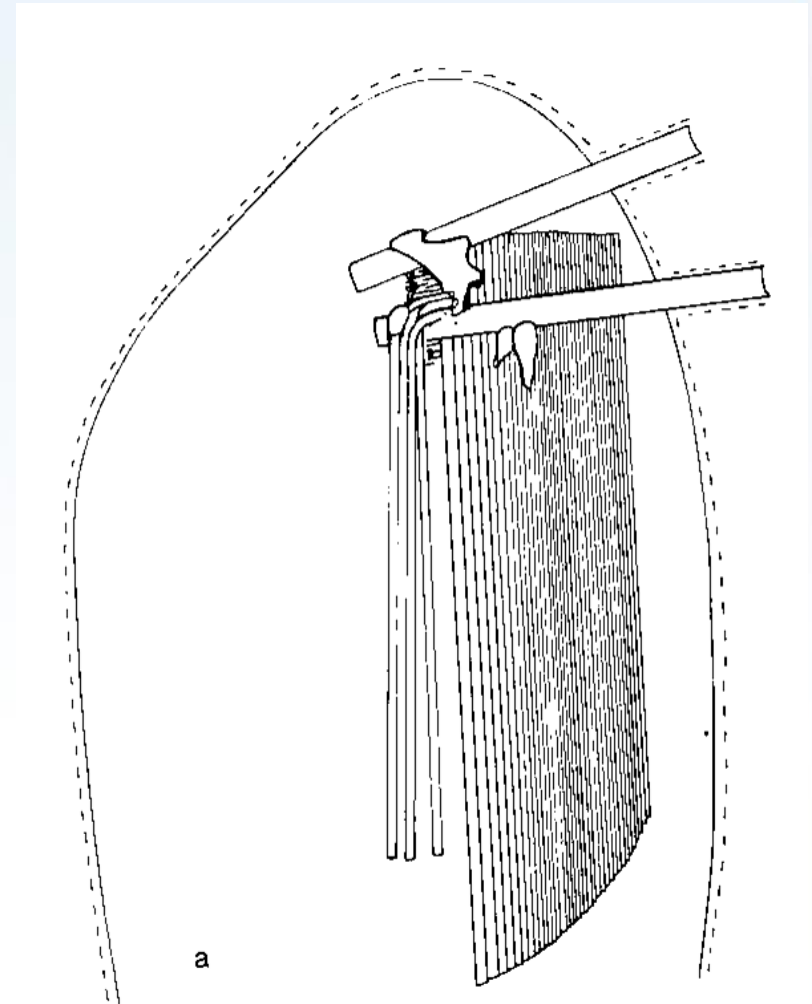
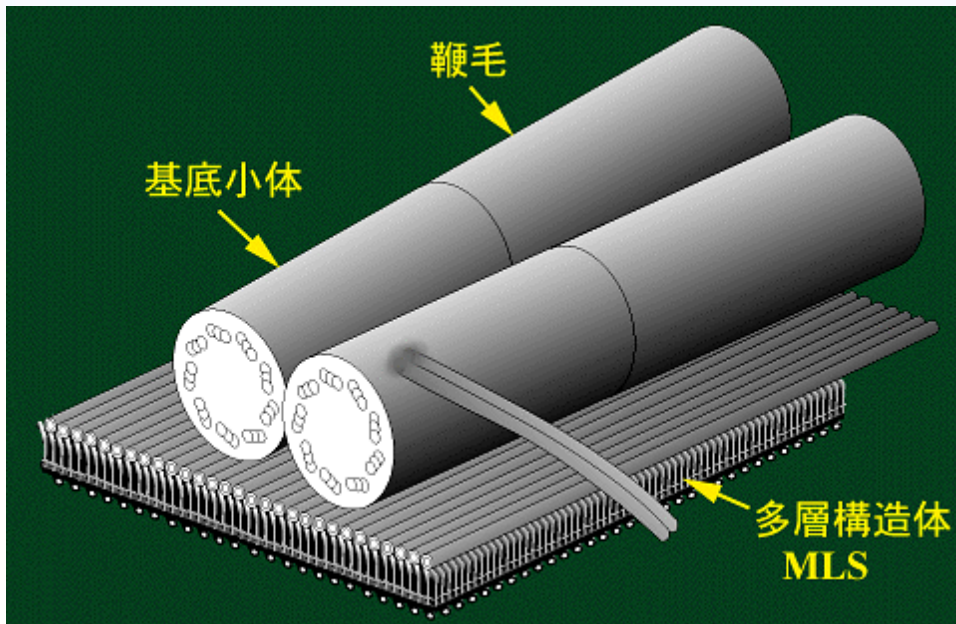
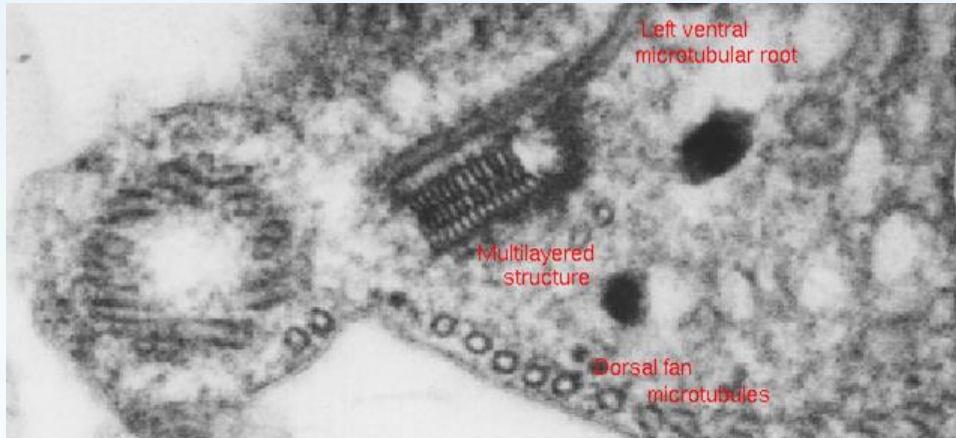
A phragmoplast developing between two cells of root meristem in corn (*Zea mays*)

This potassium permanganate preparation for TEM shows membranes almost exclusively, so cytoplasm looks "simple" as do mitochondria. Note: nice Golgi (dictyosomes)!



Streptofyty

- stavba bičíkového aparátu – MLS (Multi-layered structure)

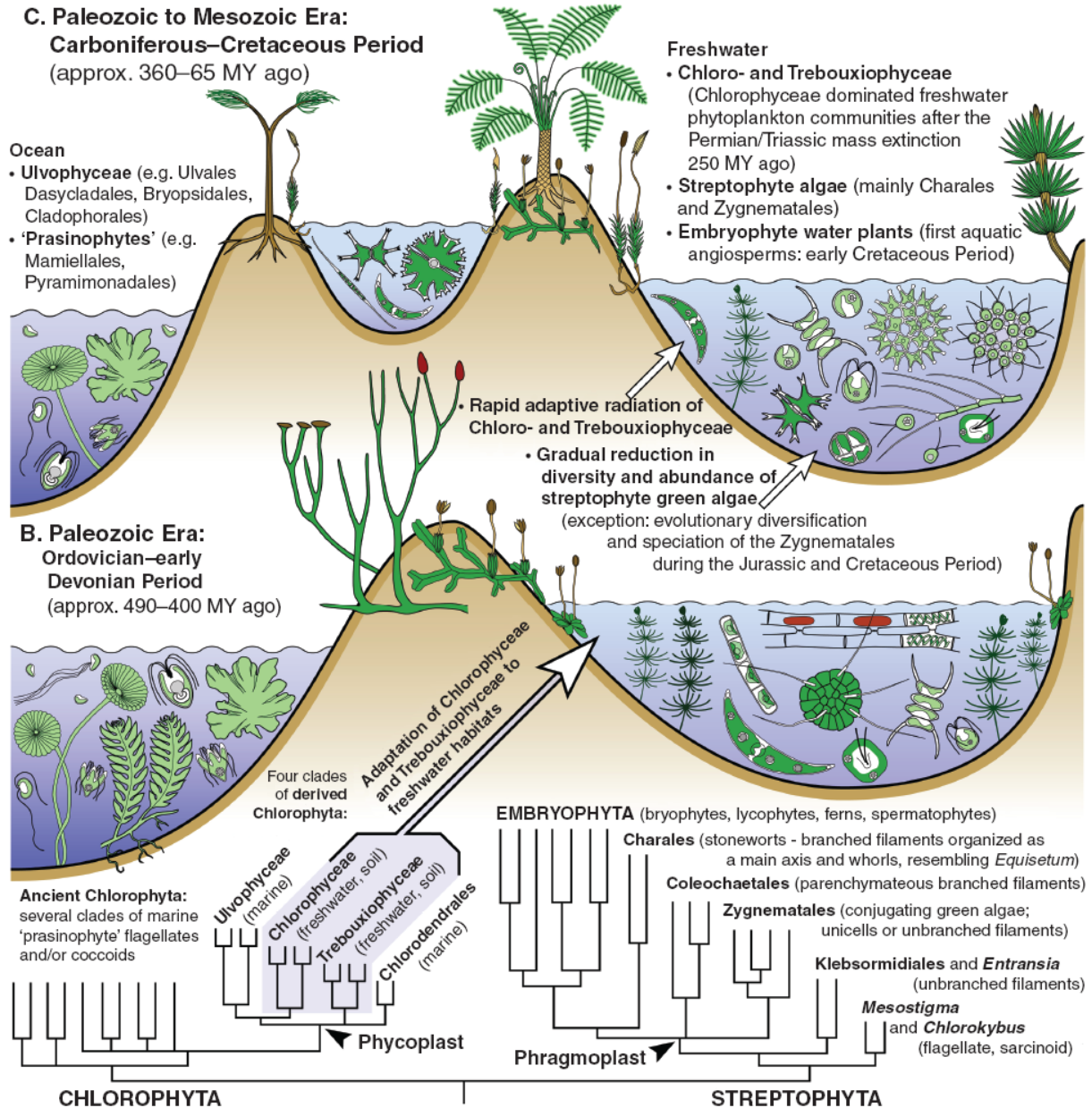


Vývoj vyšších rostlin

- radiace stramenopilů v ordoviku

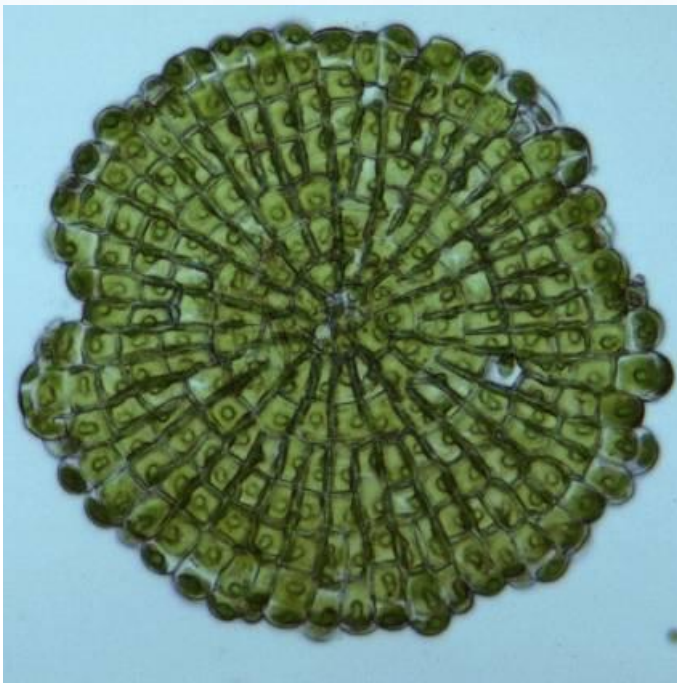
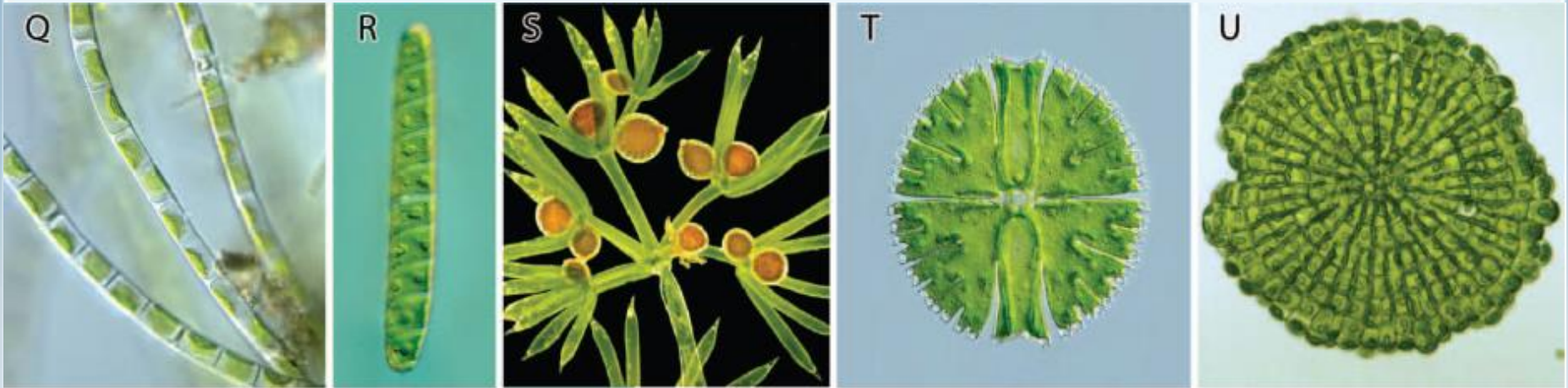


- Chlorofyty vyhnány z moří do sladkých vod
- Streptofyty vyhnány ze sladkých vod na souš



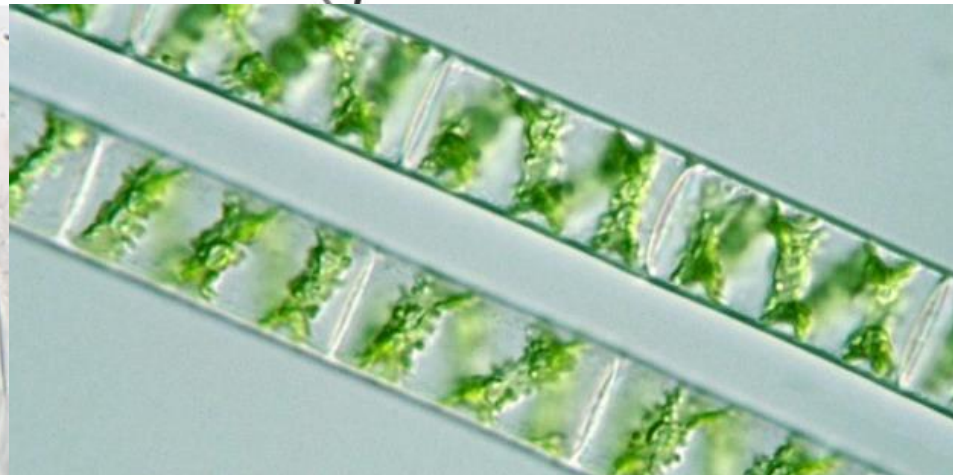
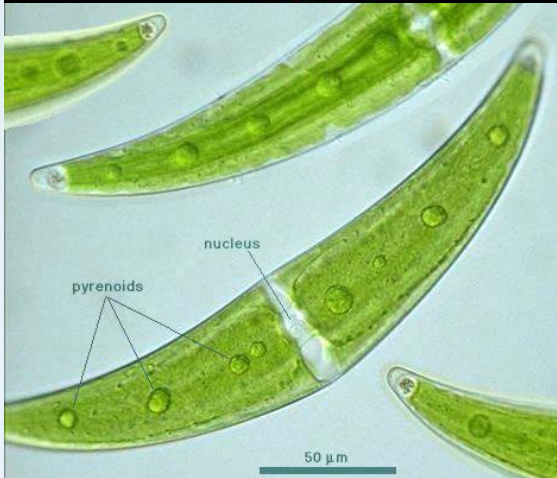
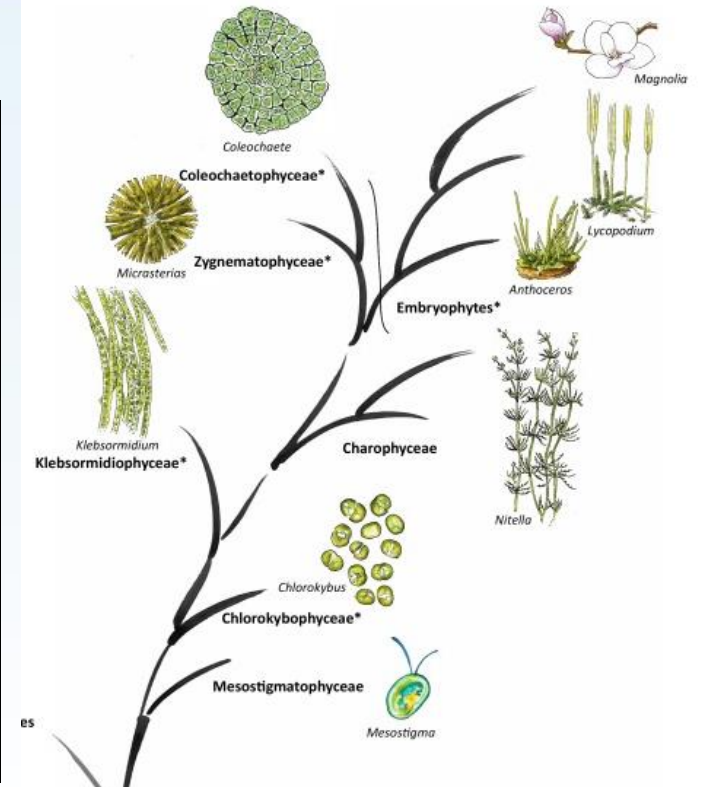
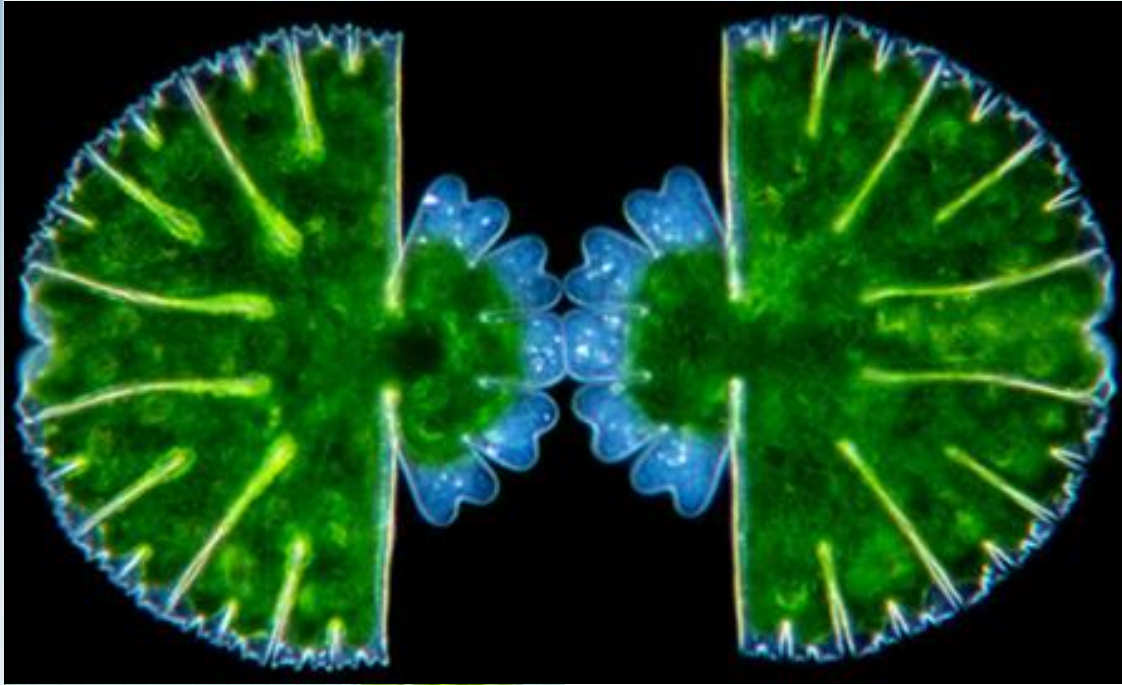
Vývoj vyšších rostlin

- která skupina Streptofyt má k rostlinám nejbliže?



Vývoj vyšších rostlin

- spájivky!



Vývoj vyšších rostlin

- mnoho preadaptací (mykorrhiza, adaptace proti vyschnutí, proti světelnému stresu....)

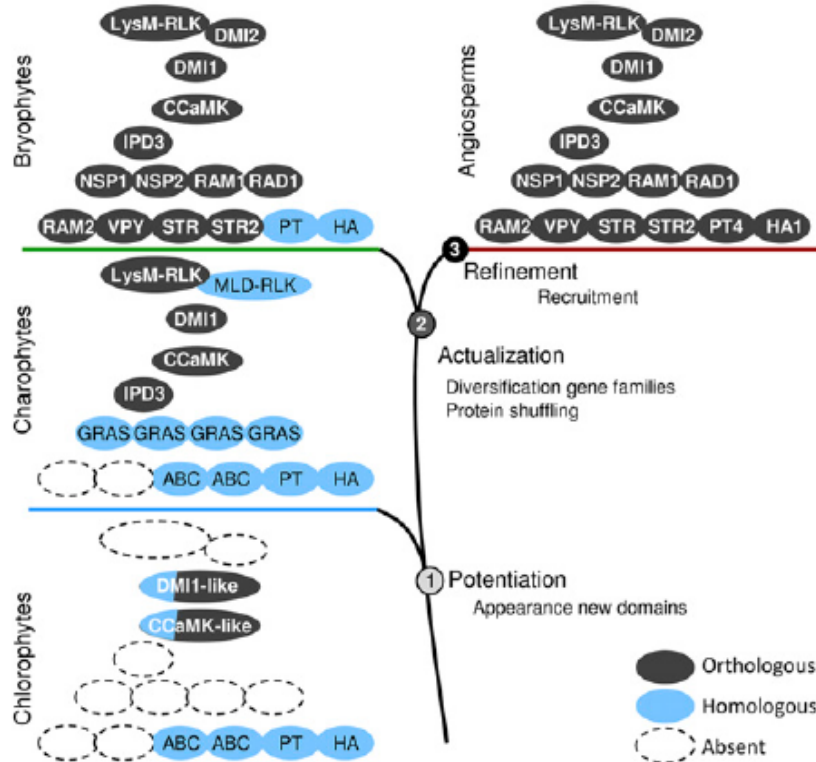
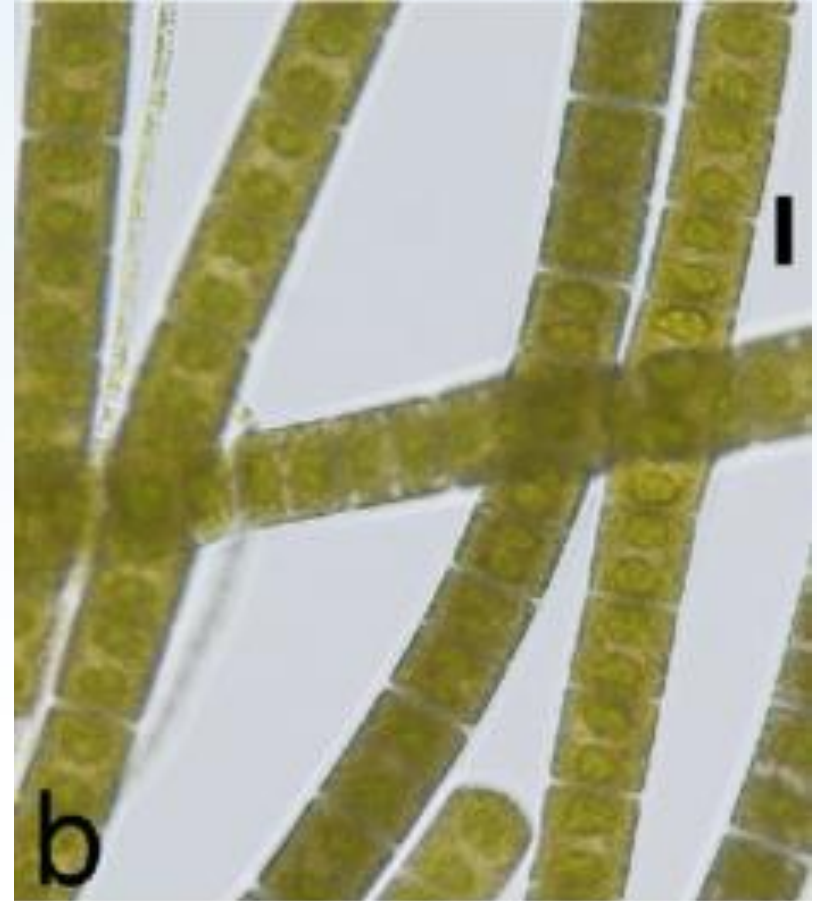


Fig. 4. Stepwise acquisition of symbiotic genes in the green lineage. The appearance of new domains in advanced charophytes led to the emergence of new protein families and to the evolution of the symbiotic signaling module via the neofunctionalization of existing proteins (DMI1 and CCaMK). Most of the downstream symbiotic genes evolved in basal land plants via gene duplication in these newly evolved gene families (i.e., STR) or by combining existing domains in new proteins (i.e., VAPYRIN). Finally, genes originating from lineage-specific duplications were recruited independently to fulfill their symbiotic functions (PT and H⁺-ATPase).



Vývoj vyšších rostlin

Land plants

Zygnemato-
phyceae

Coleochaeto-
phyceae

Charophyceae
S.Str.

Klebsormidio-
phyceae

Chlorokybo-
phyceae

Mesostigmato-
phyceae

Desmiales
Zygnematales

Coleochaetales

Charales

Klebsormidiales

Chlorokybales

Mesostigmatales

A



B



D



F



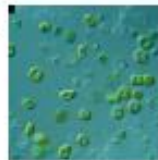
G



H



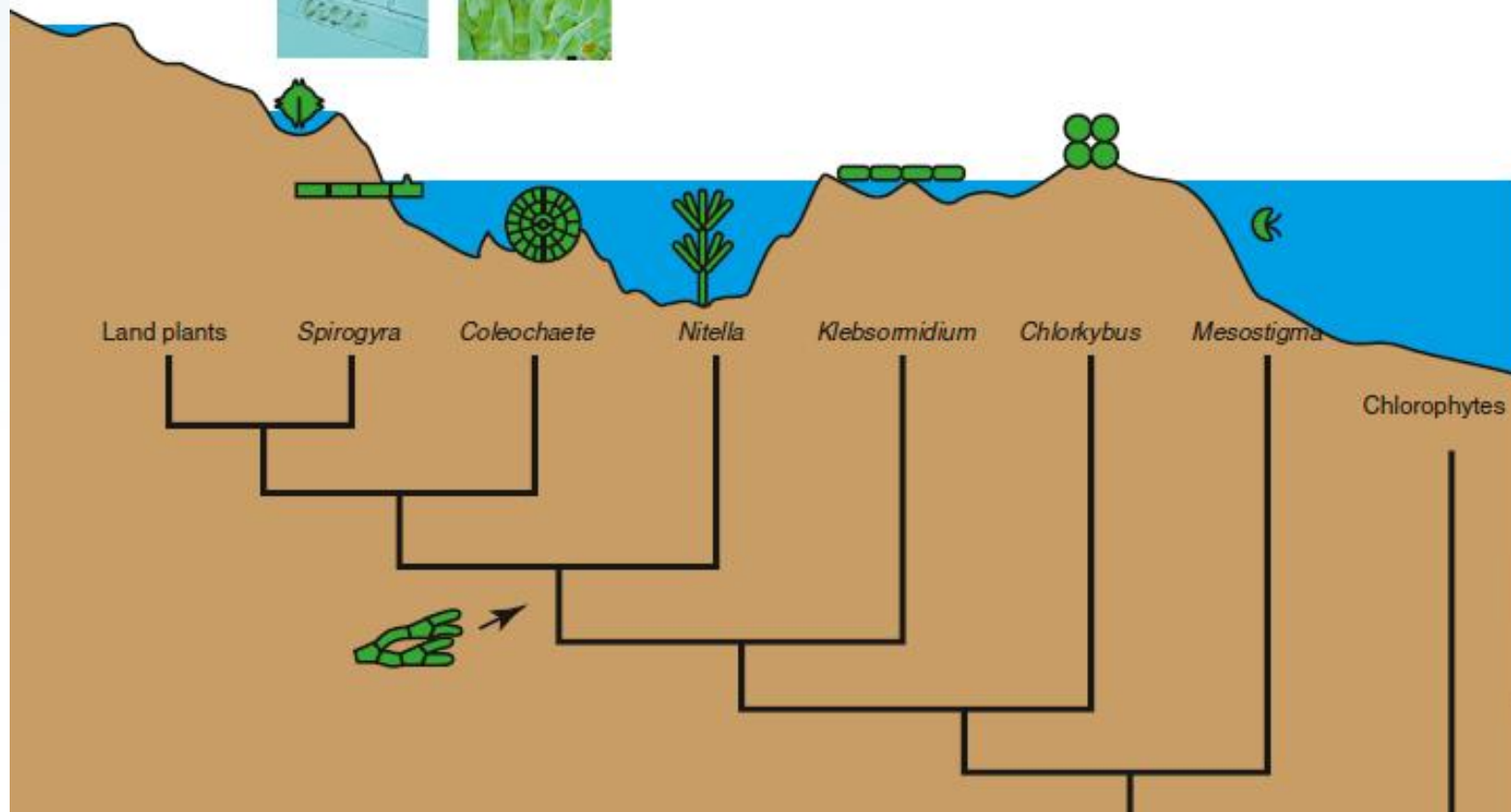
I



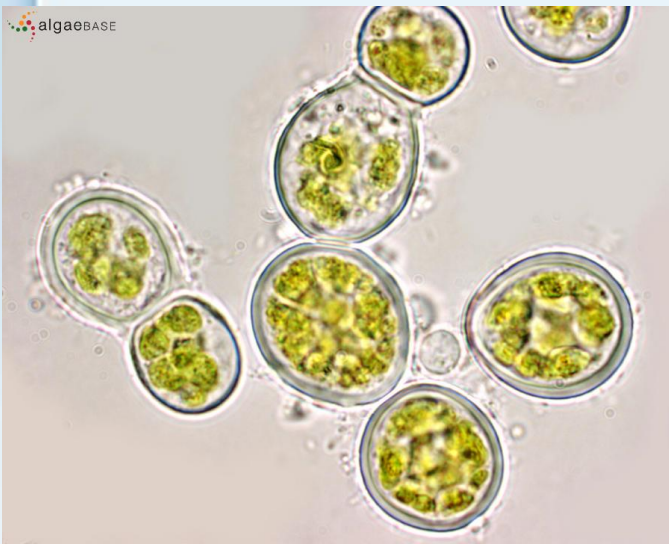
C



E



Spongiochrysis (Chlorophyta, Ulvophyceae)



Děkuji za pozornost

