

Botanika a základy mykologie

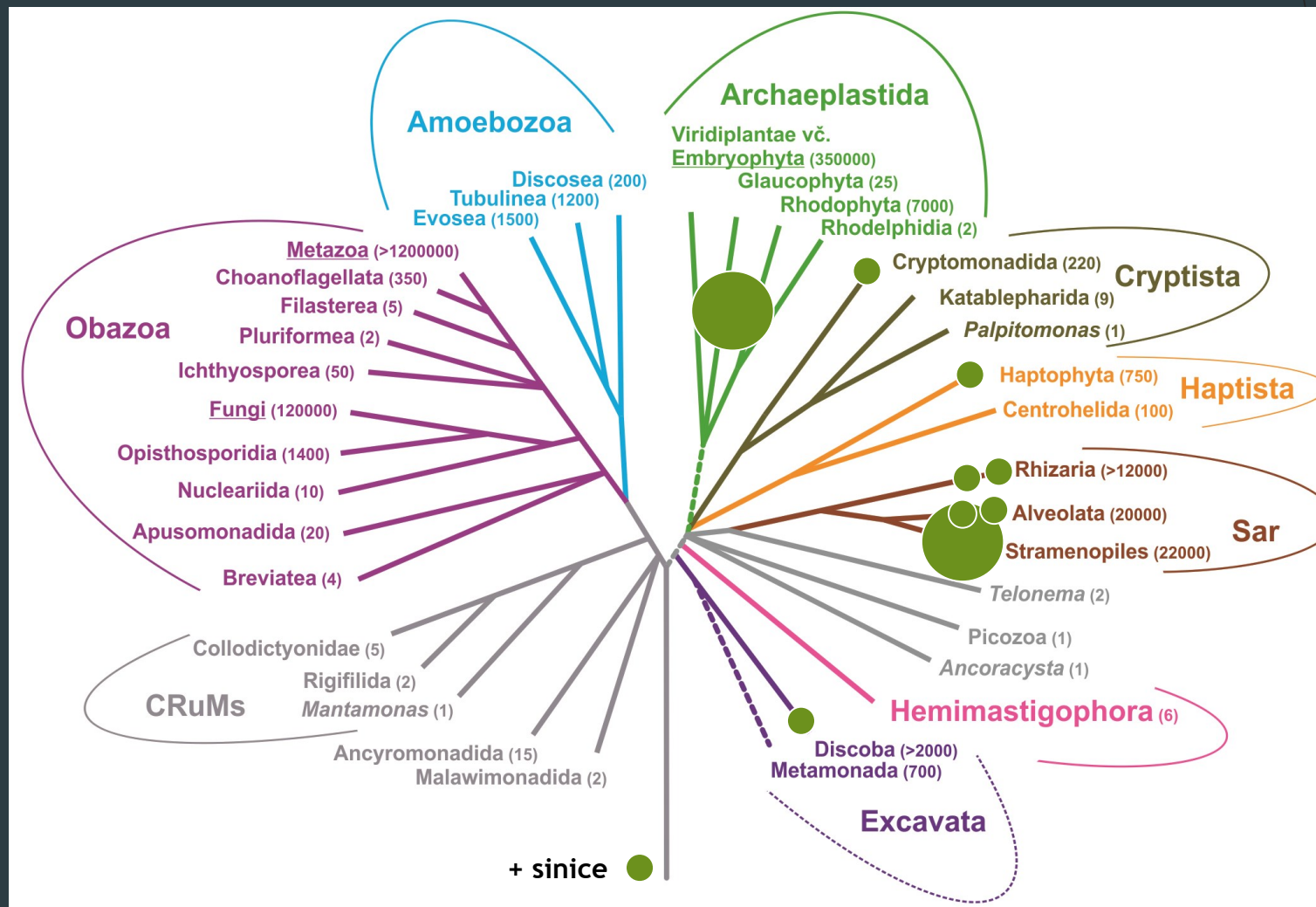
II. *Sinice a řasy* - příběh vzniku fotosyntézy,
primárního plastidu a následných endosymbiotických
událostí

Mgr. Martin Pusztai, Ph.D.

FP a CxI TUL, PŘF UK

▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY - „tradiční“ pojetí studia

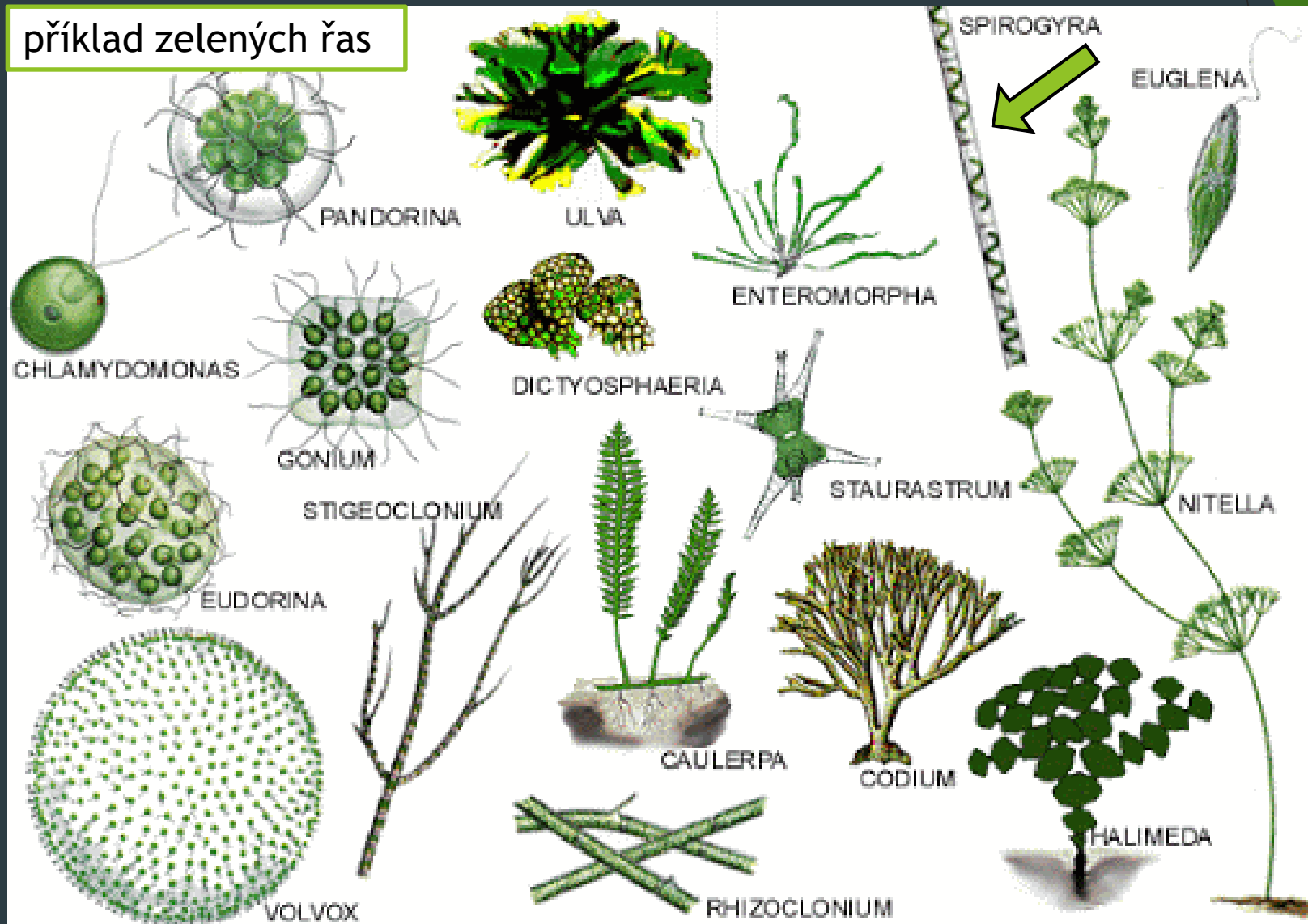
- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy), botanika (vyšší rostliny = Embryophyta), protistologie



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

příklad zelených řas



co je to stélka?

- ▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY
 - ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)



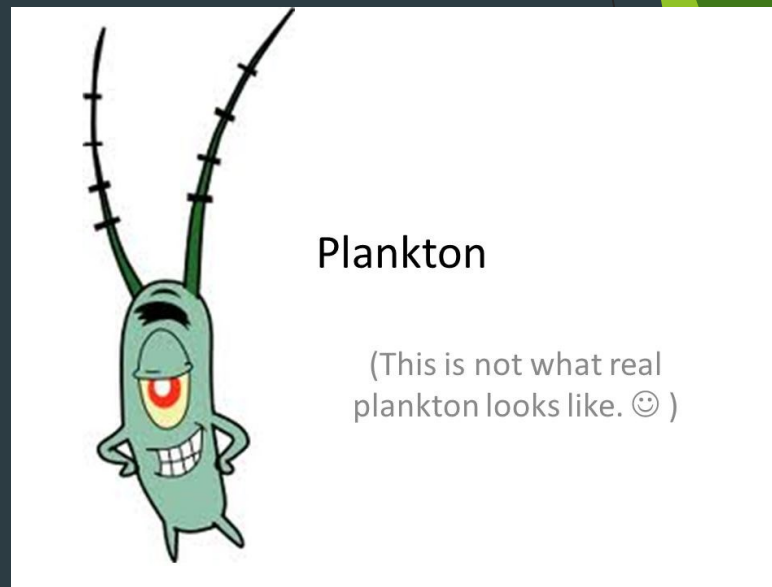
https://youtu.be/c98_xcKqXqY?si=pJ1jQ2sAp884yEpD

▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)



ale někdy...





▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)



„red tide“

https://en.wikipedia.org/wiki/Harmful_algal_bloom

▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)



„red tide“

Gonyaulax
Karenia
Gymnodinium
Dinophysis
Noctiluca
Chattonella
Ceratium



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)



nejen...

„vodní květ“



https://youtu.be/mLbDbmmV6Qc?si=qE2USbK_PoO-jog9

▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)



„vodní květ“

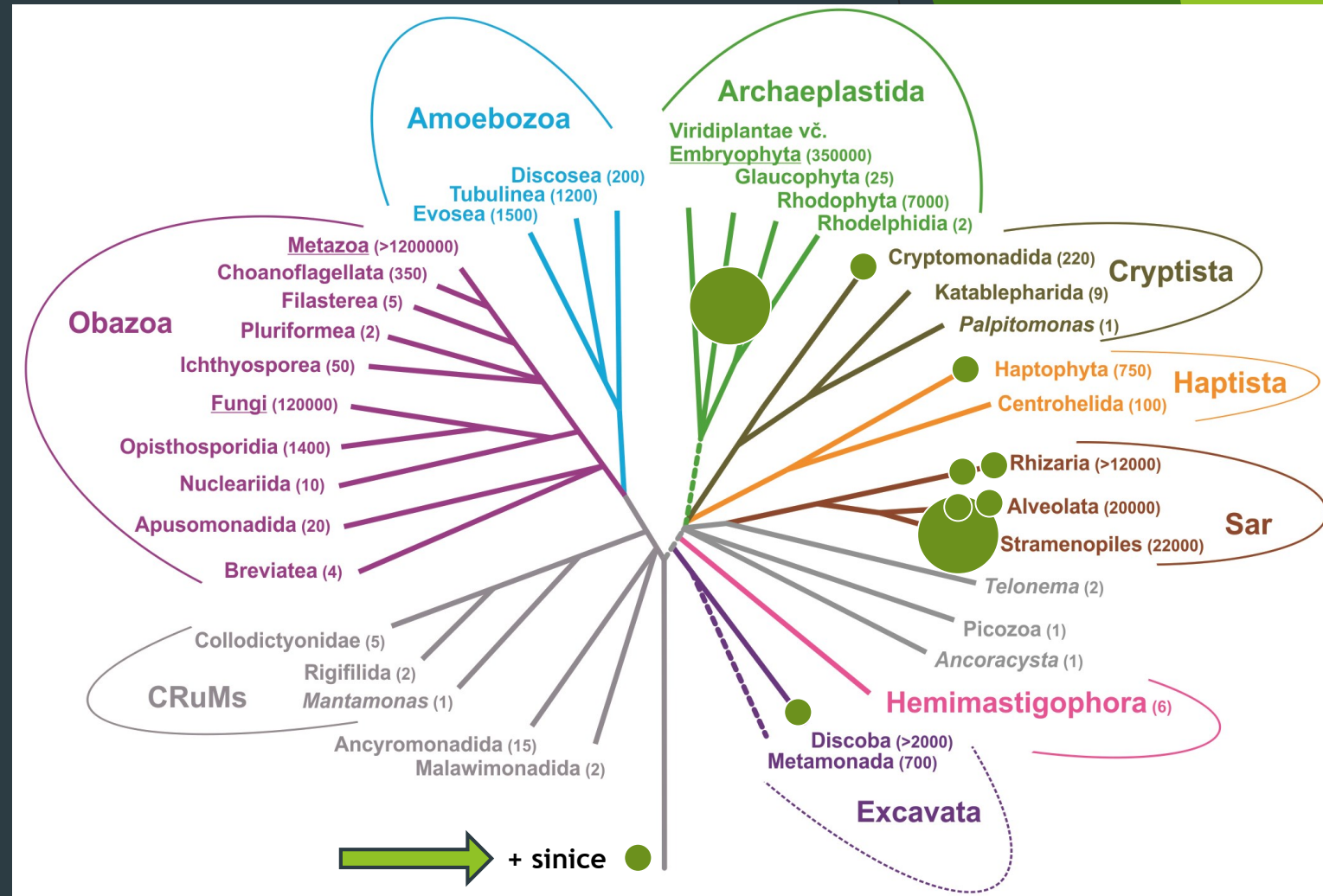
sinice (Cyanobacteria)



► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

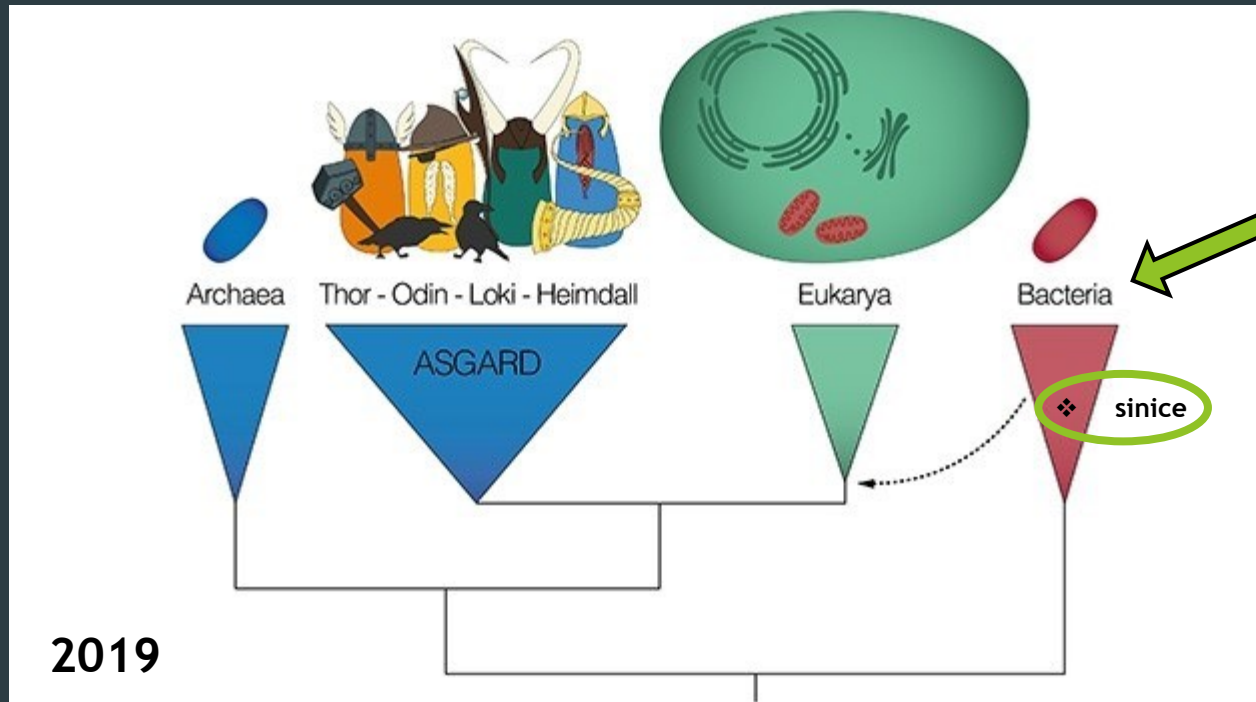
► objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)



Kolik rozlišujeme říší živých organismů?

Záleží na aktuální znalosti jejich historického vývoje (tzv. fylogenezi)



2 nebo 3 domény života?

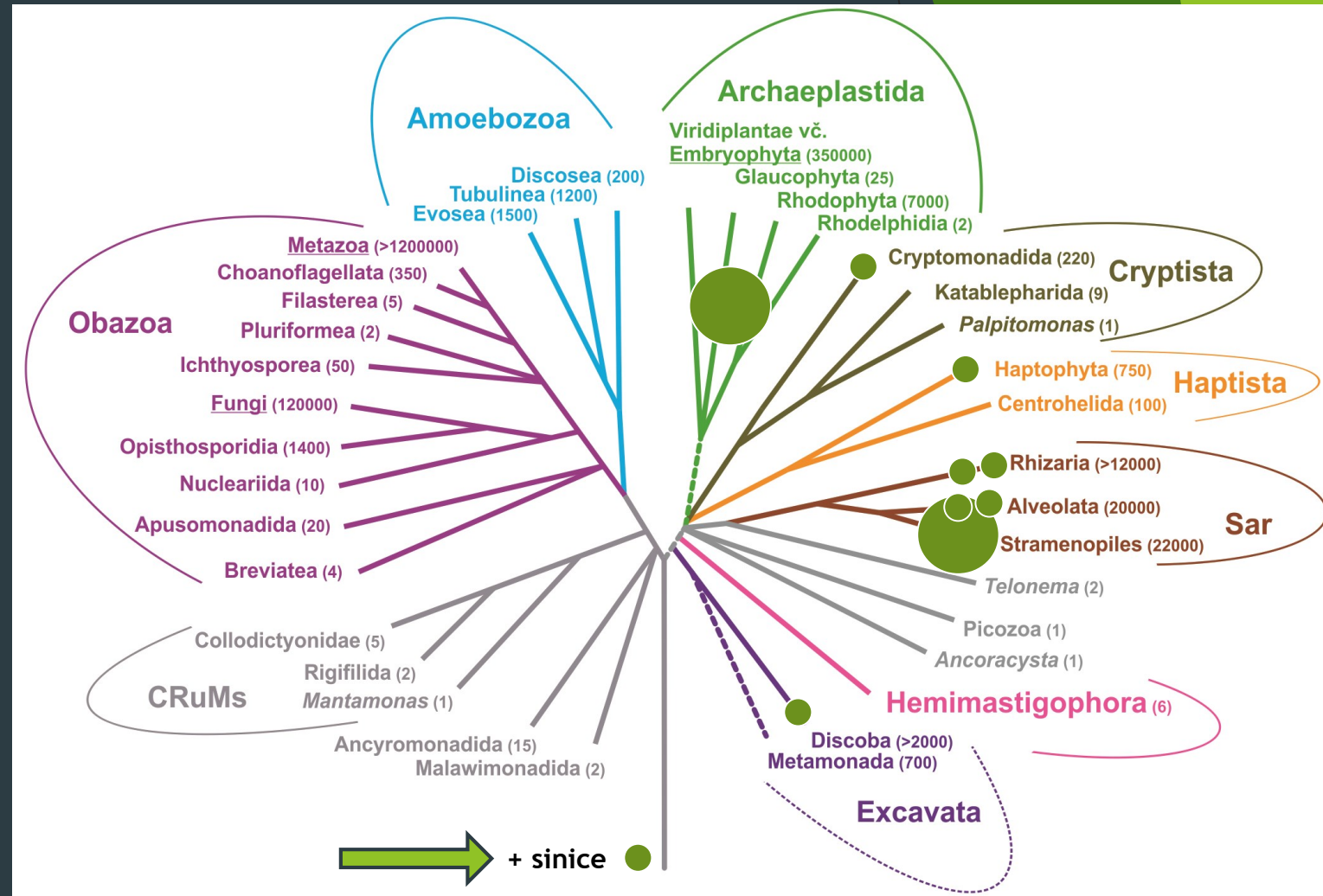
- ❖ Prokaryota x Eukaryota
- ❖ Eubacteria x Archea x Eukaryota
- ❖ ... Eukaryota vnitřní skupinou Archea?

► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

- ❖ „siný“ = modrý (cyanos)
- ❖ „blue-green algae“



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

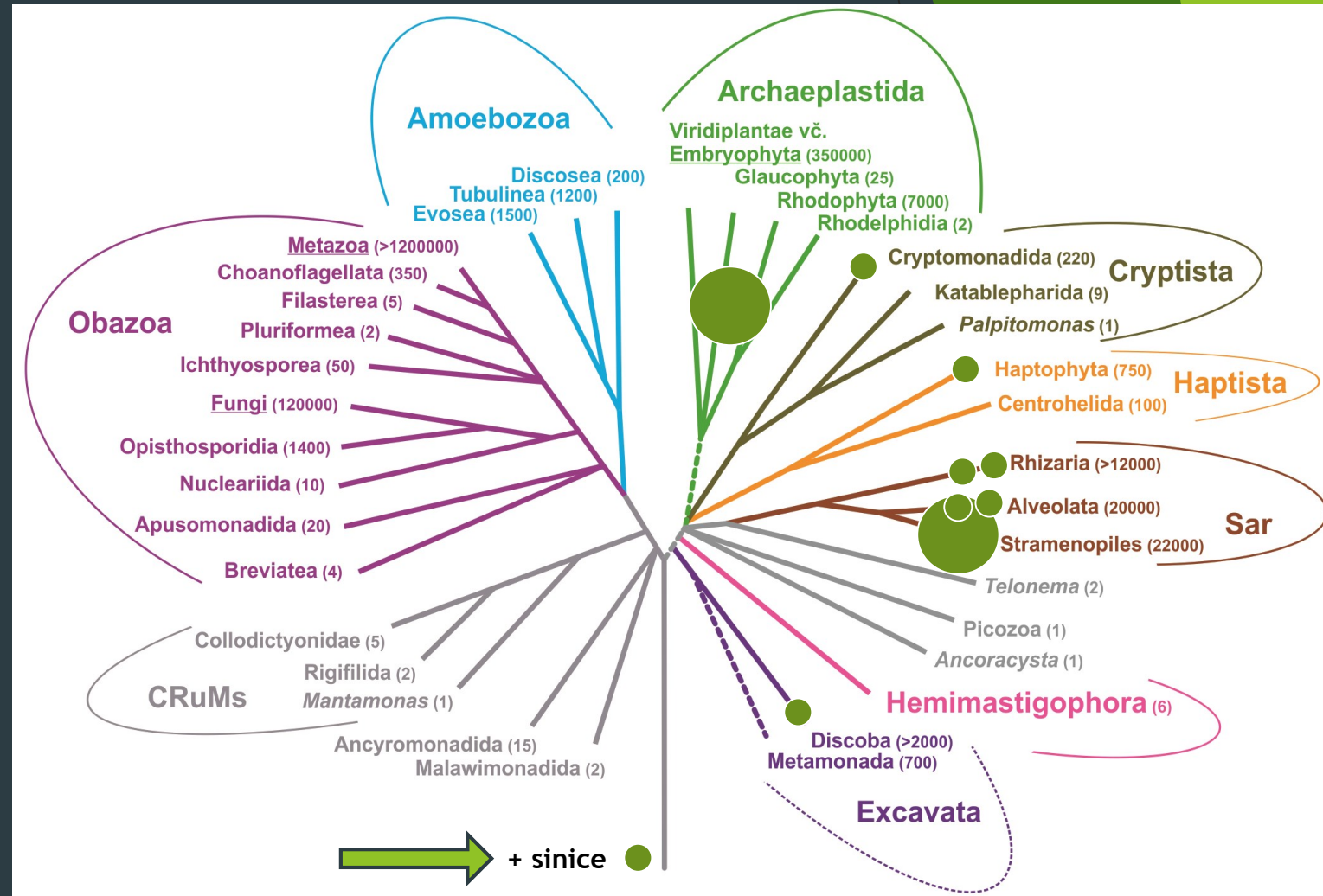
- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

- ❖ „siný“ = modrý (cyanos)
- ❖ „blue-green algae“



Chroococcus



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

❖ „siný“ = modrý (cyanos)

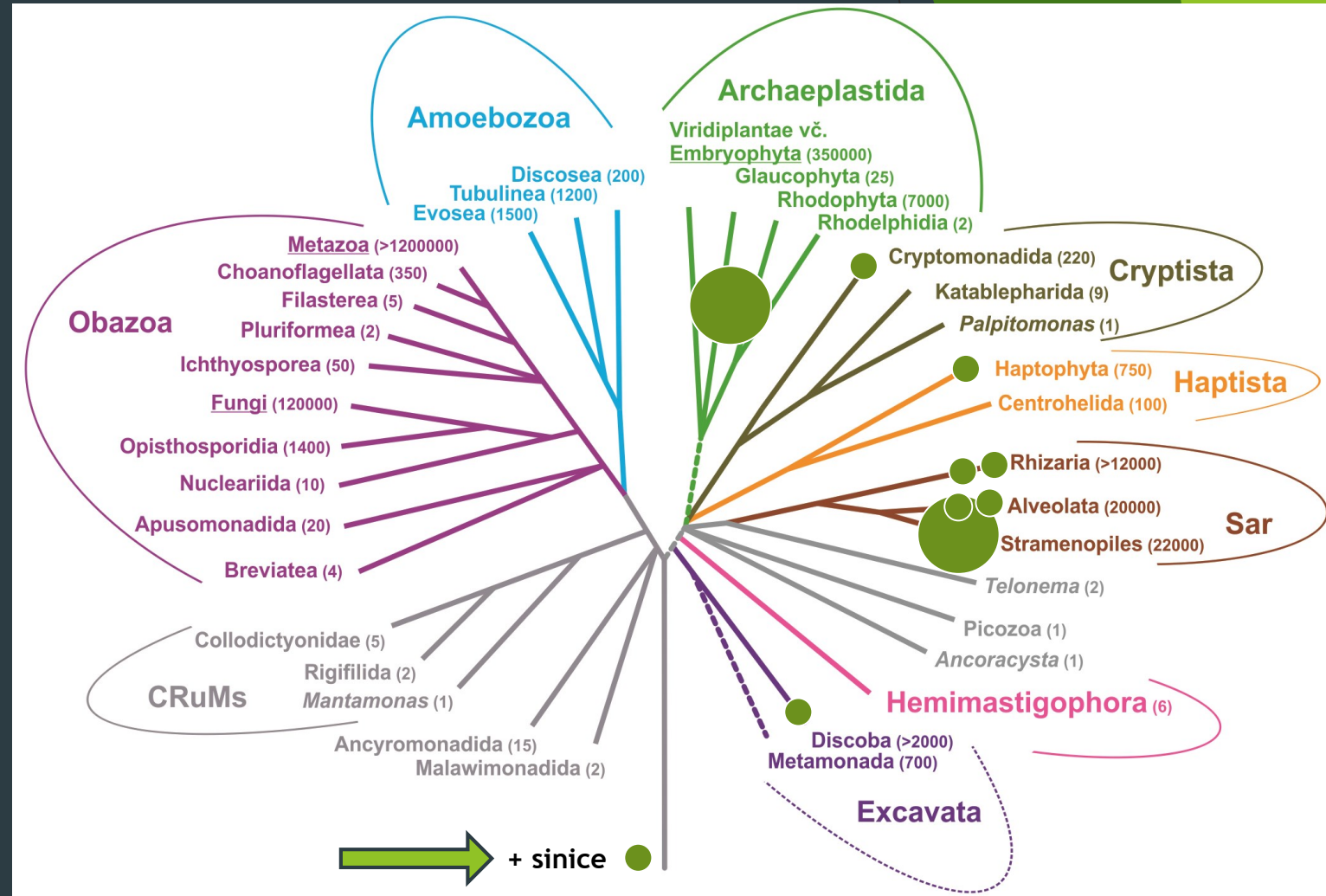
❖ „blue-green algae“



Chroococcus



Nostoc

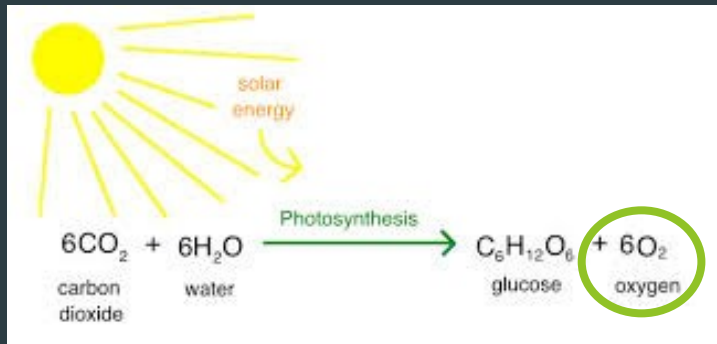


▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

❖ fotosyntéza oxygenního typu

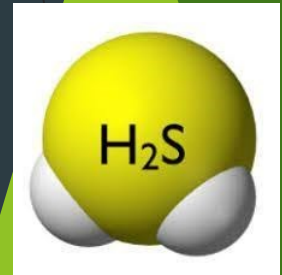
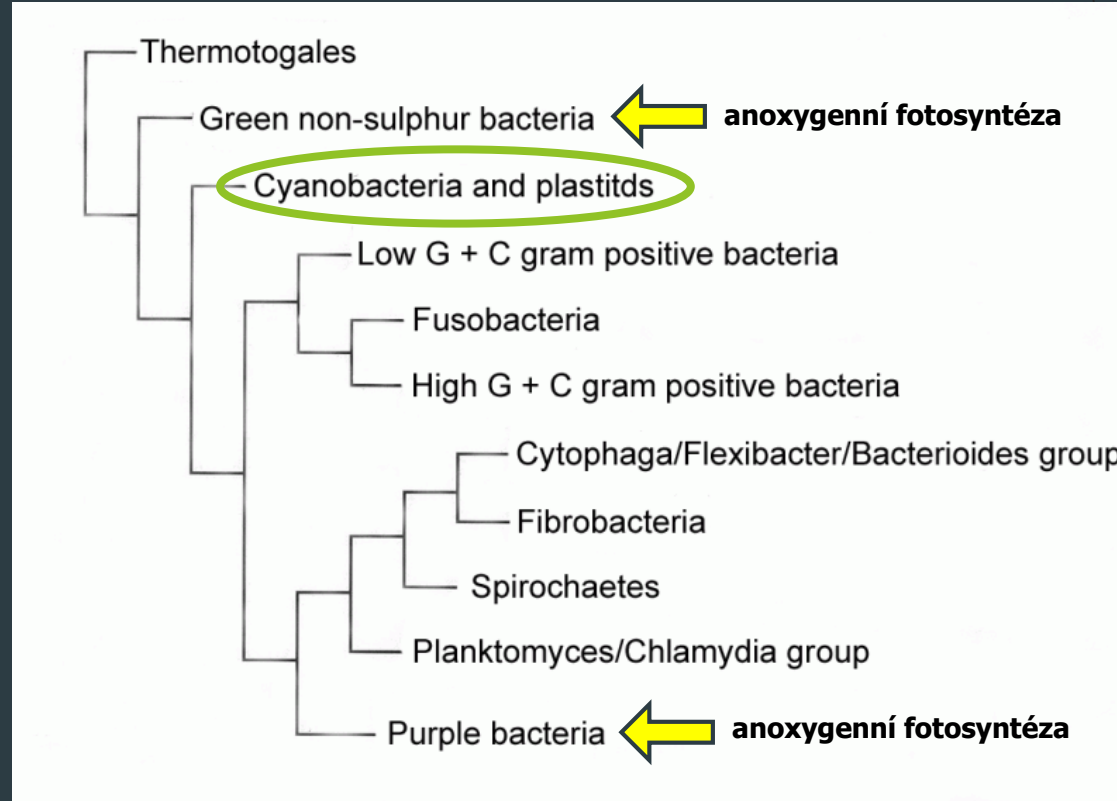
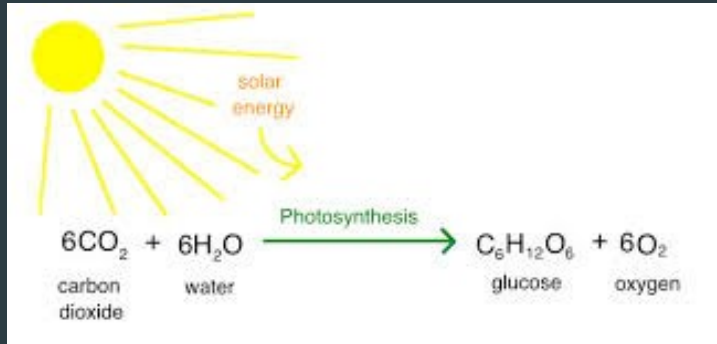


► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

- ❖ kde se vzala fotosyntéza oxygenního typu?

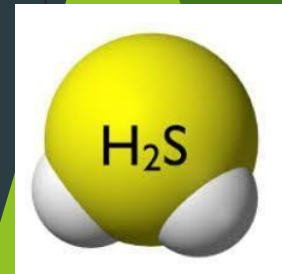
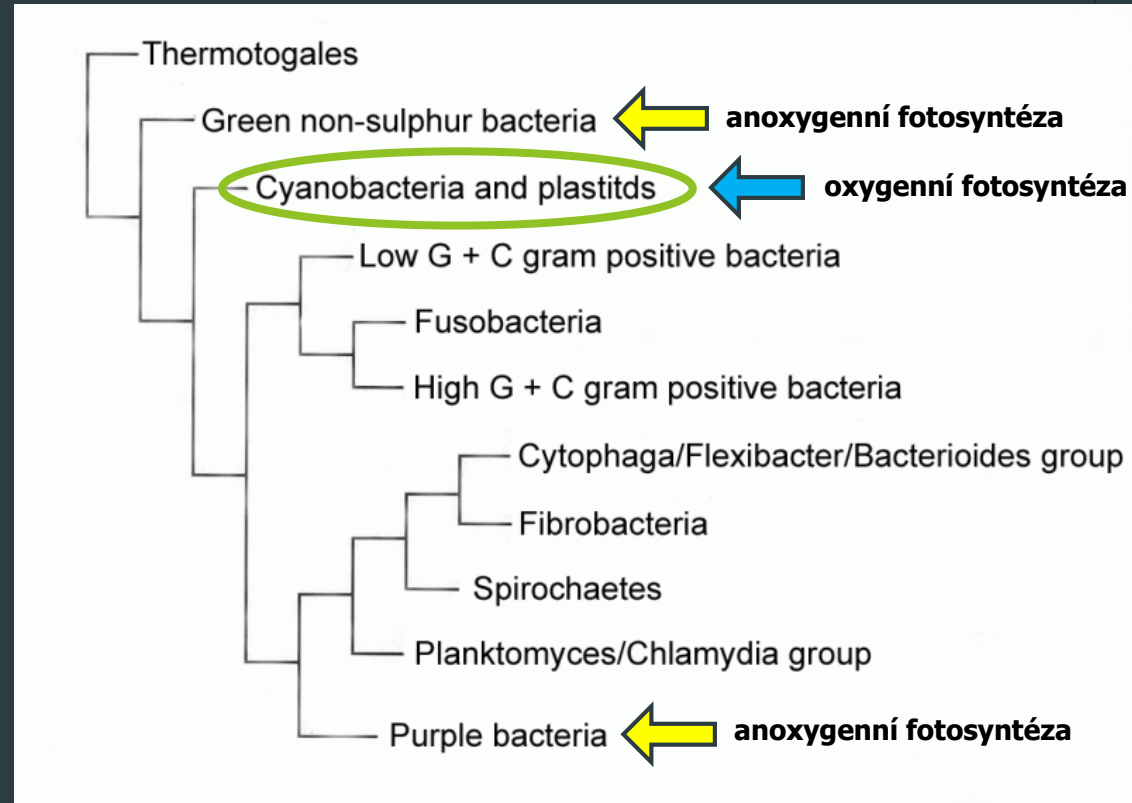
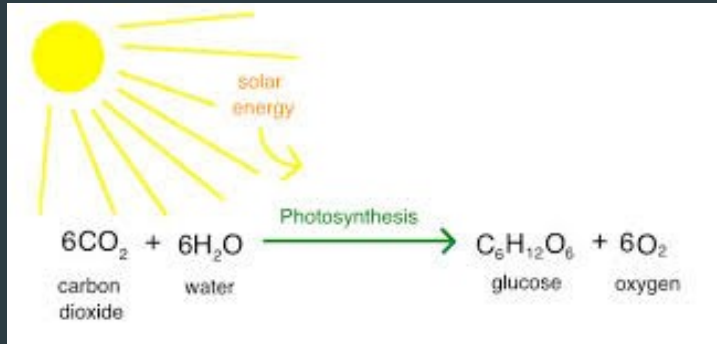


► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

- ❖ kde se vzala fotosyntéza oxygenního typu?

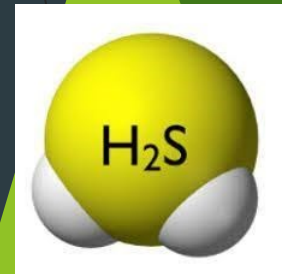
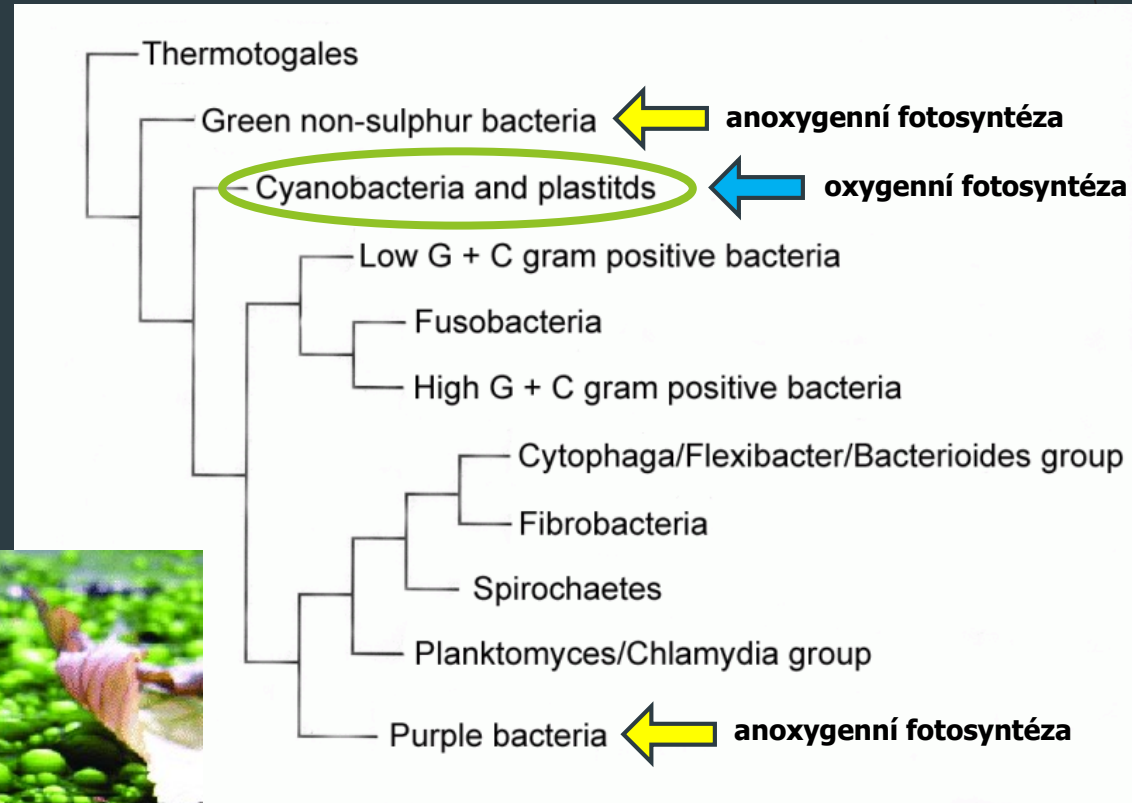
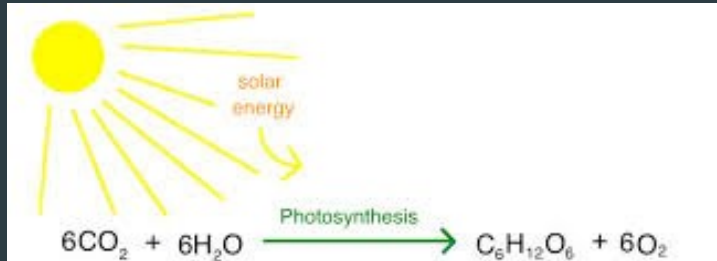


▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

- ❖ kde se vzala fotosyntéza oxygenního typu?

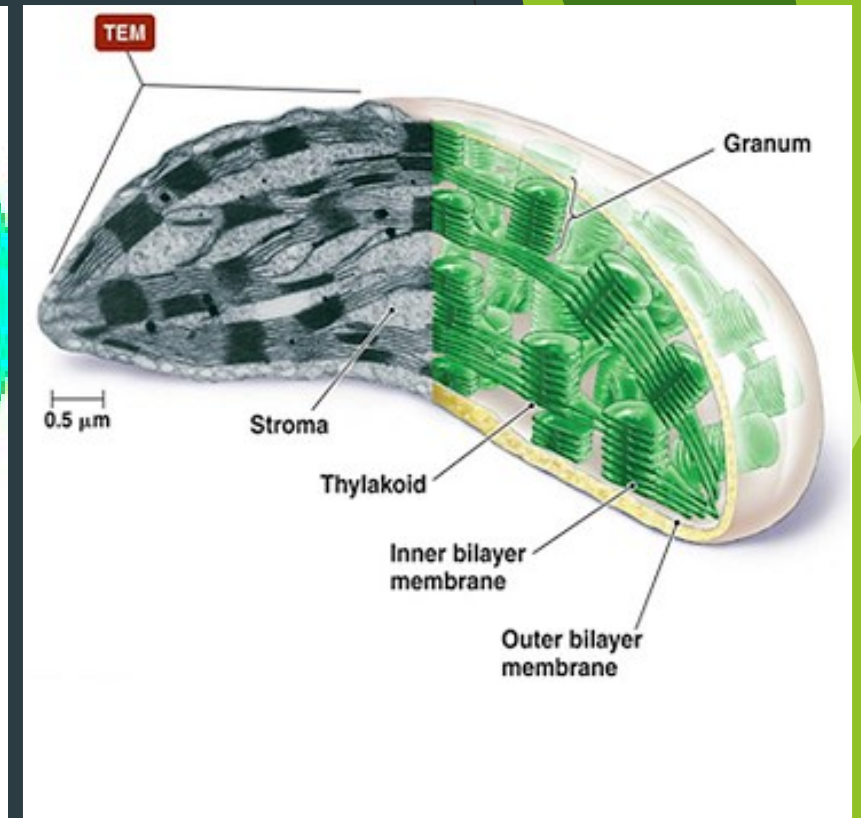
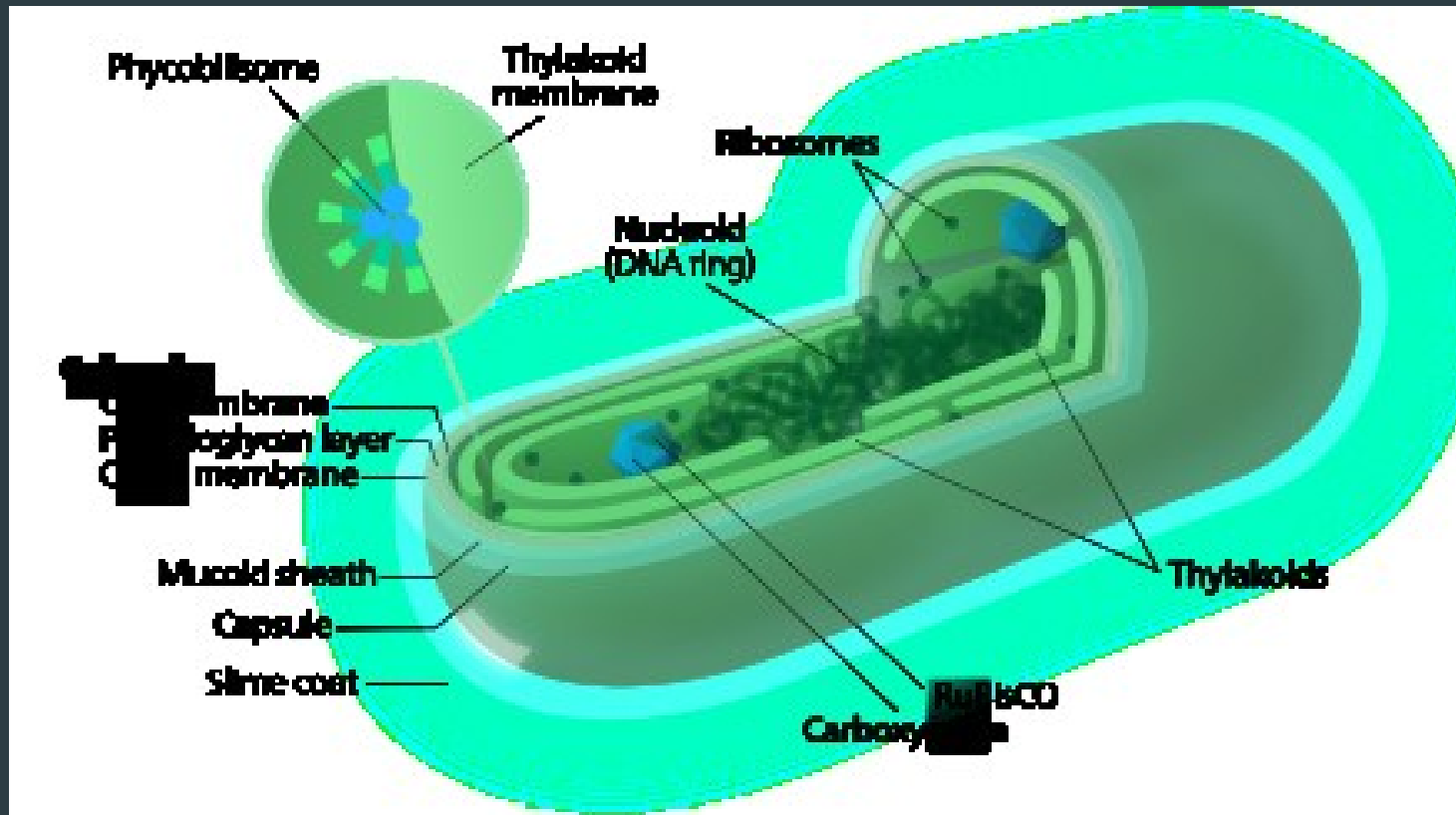


▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

- ❖ kde se vzala fotosyntéza
oxygenního typu?

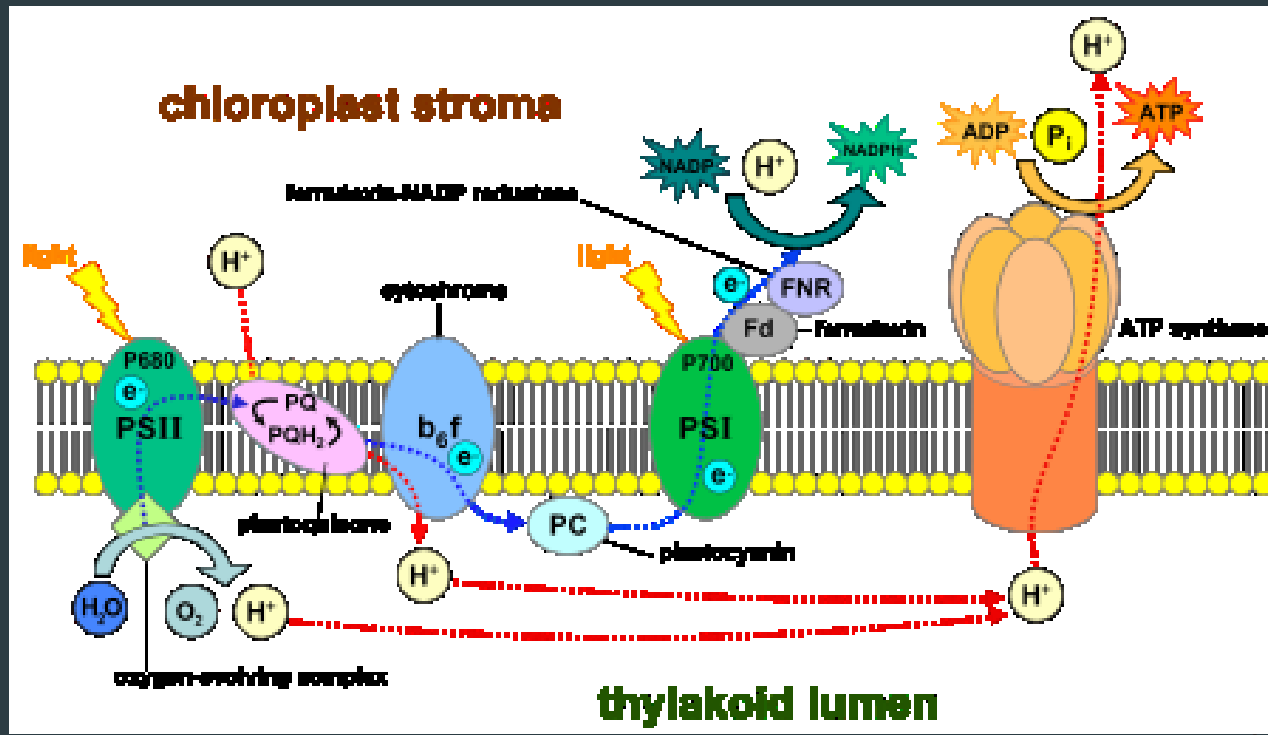


► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

- ❖ kde se vzala fotosyntéza
oxygenního typu?

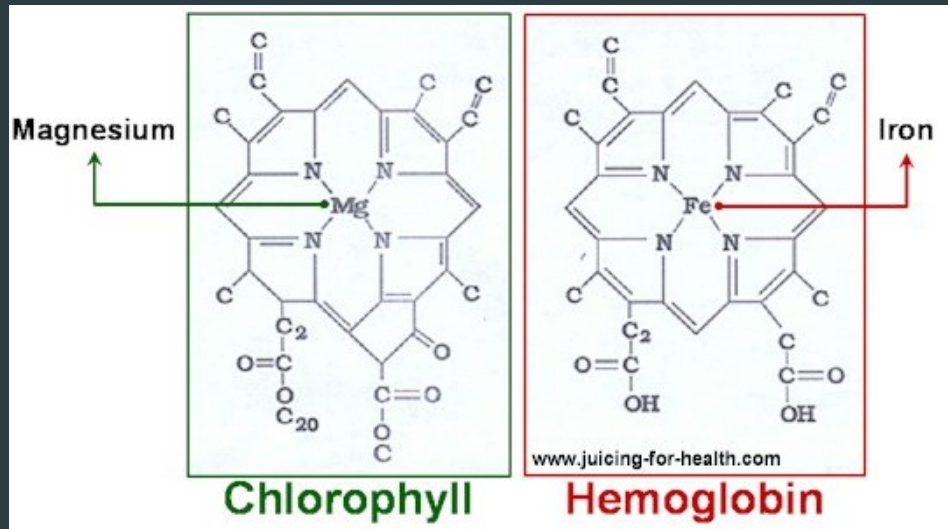


▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

- ❖ kde se vzala fotosyntéza
oxygenního typu?

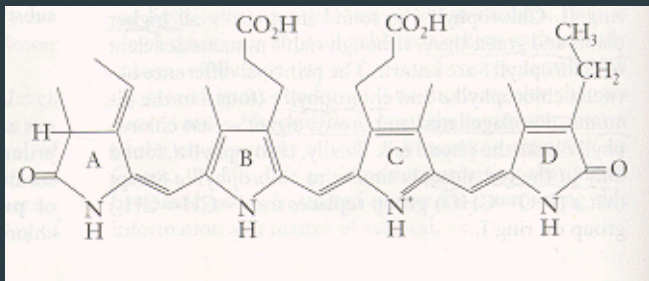
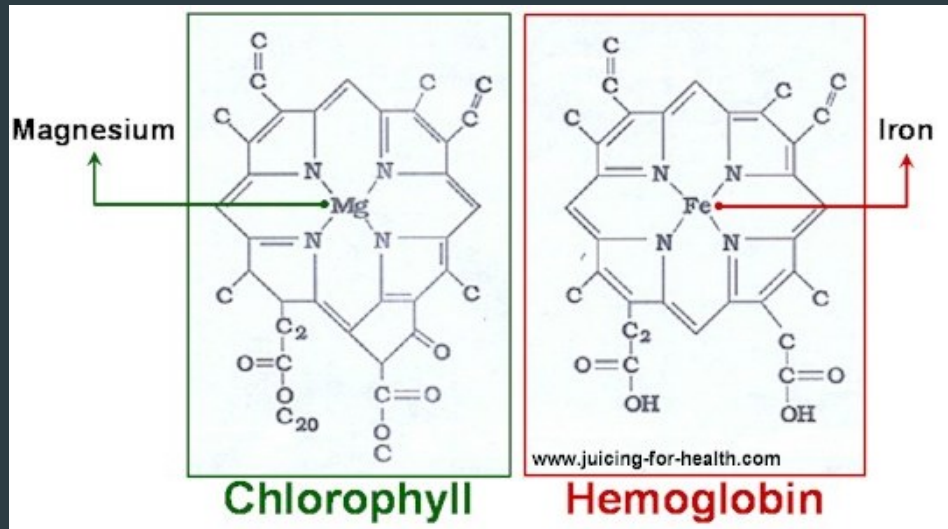


► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

- ❖ kde se vzala fotosyntéza
oxygenního typu?



pyrrol - tetrapyrrol - porfin - porfyrin

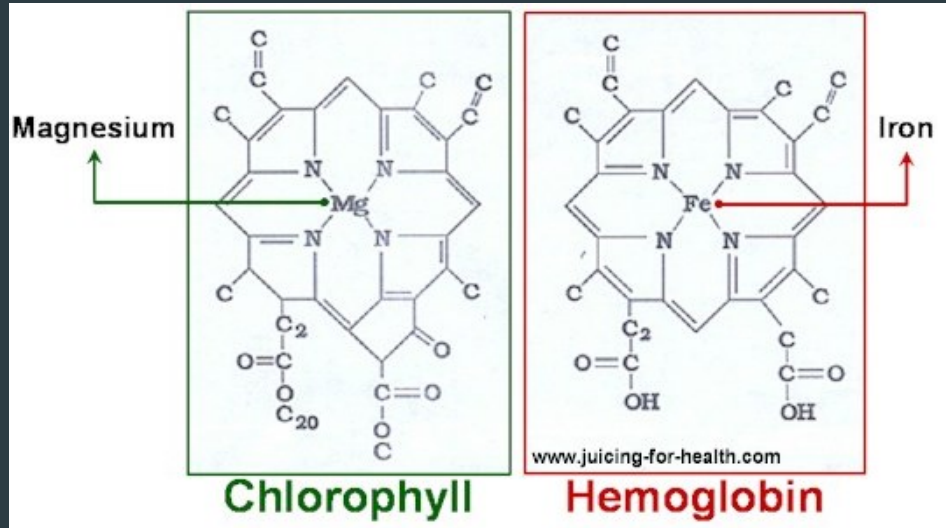
▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

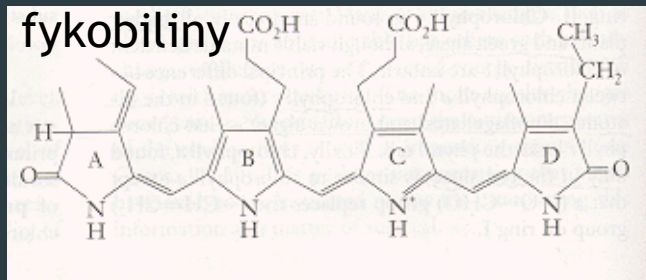
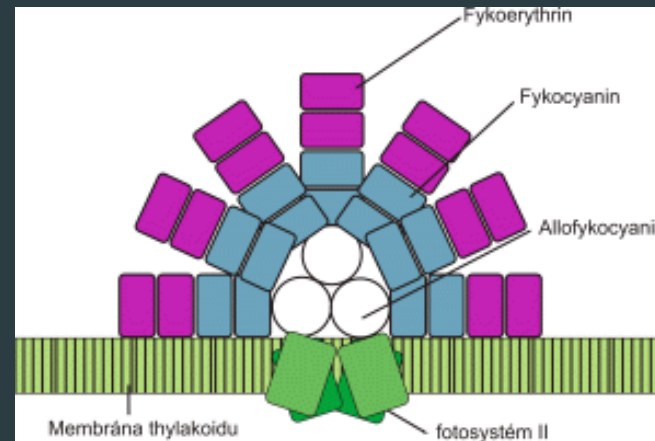
Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

- ❖ kde se vzala fotosyntéza
oxygenního typu?

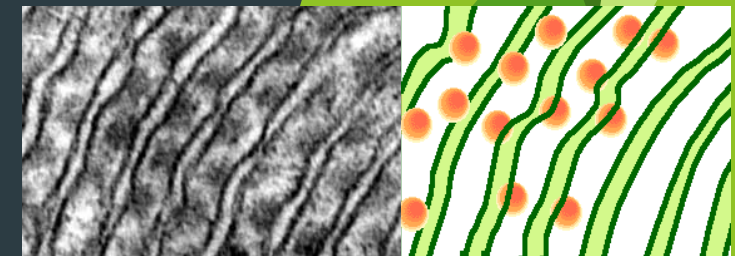
TEM



fykobilizóm



pyrrol - tetrapyrrol - porfin - porfyrin

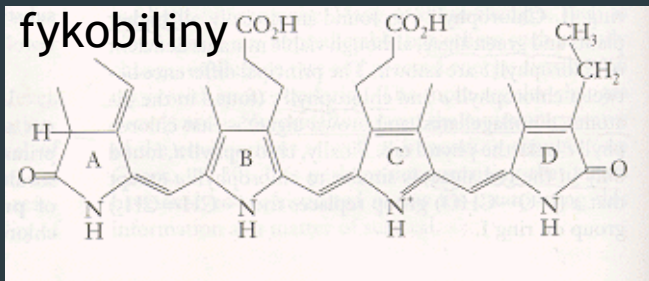
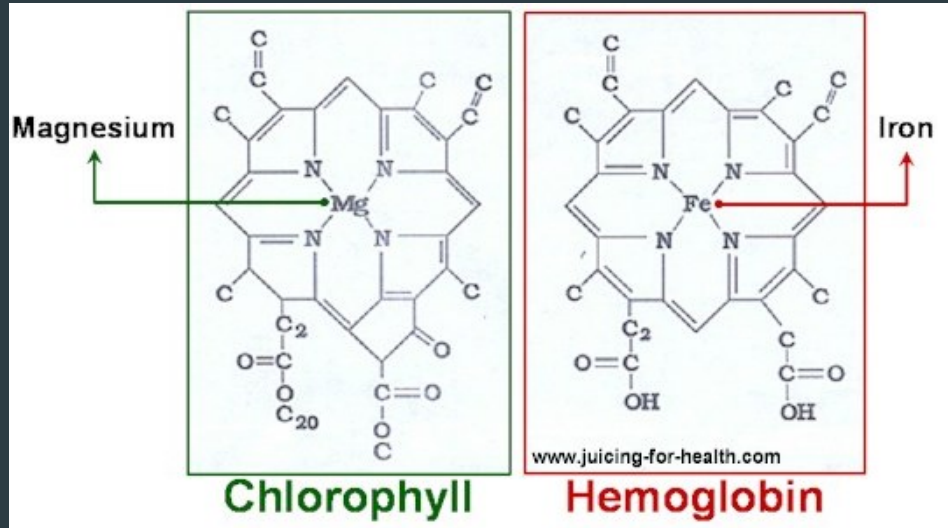


▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

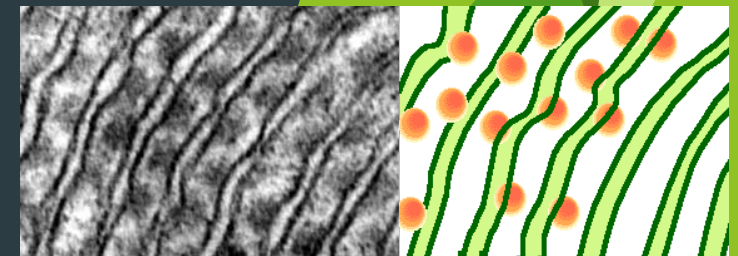
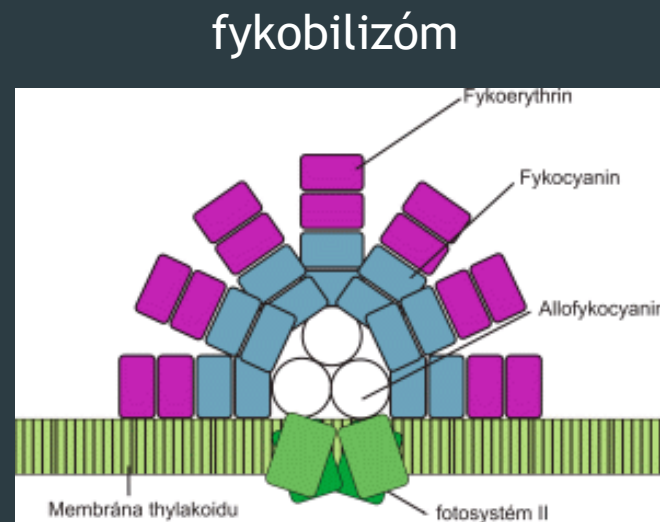
- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

- ❖ kde se vzala fotosyntéza oxygenního typu?



TEM



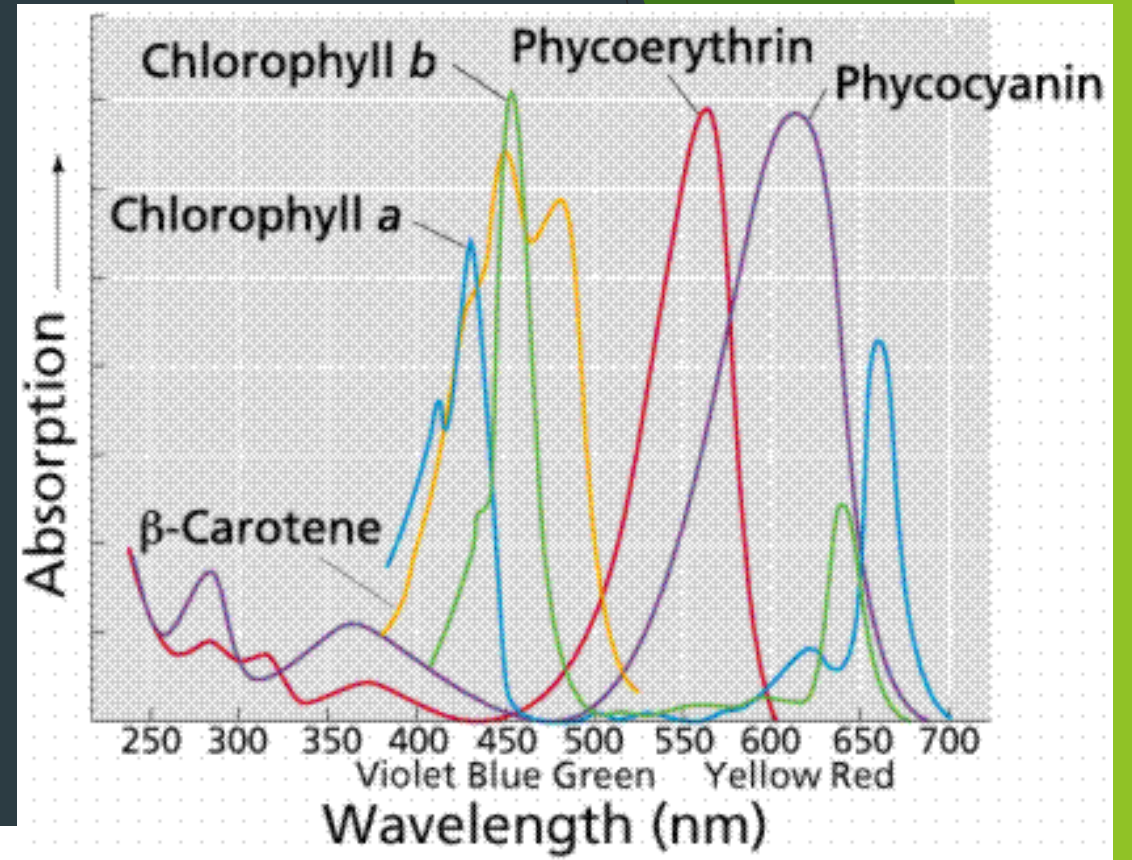
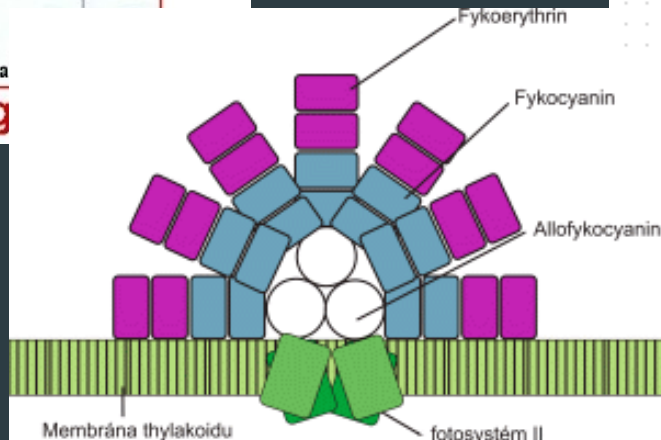
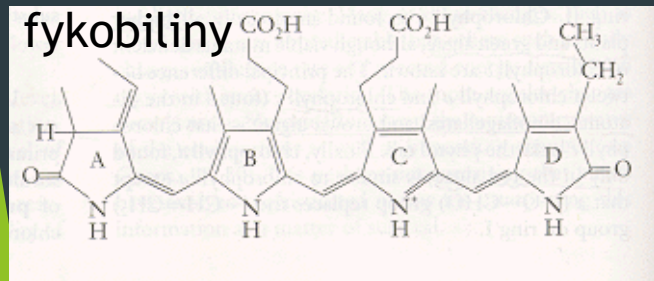
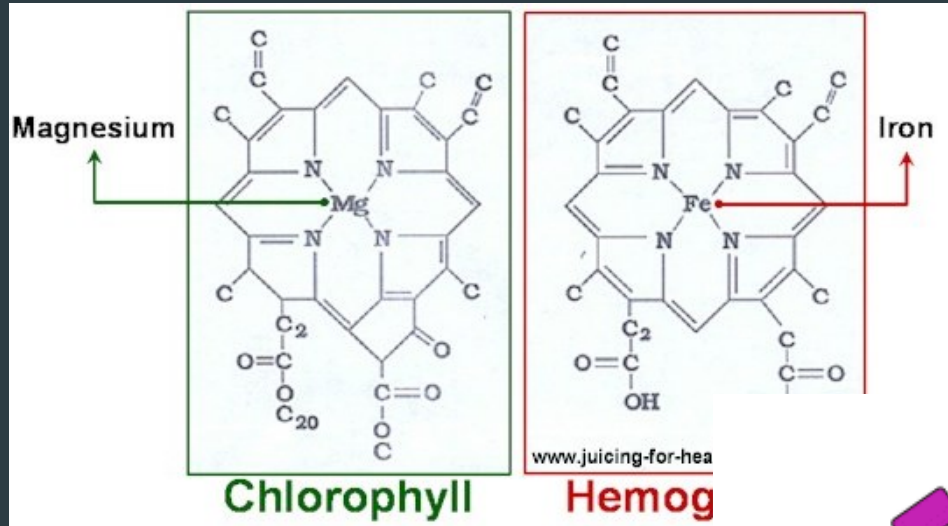
pyrrol - tetrapyrrol - porfin - porfyrin

FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

- kde se vzala fotosyntéza oxygenního typu?



fykobilizóm →
chromatická adaptace

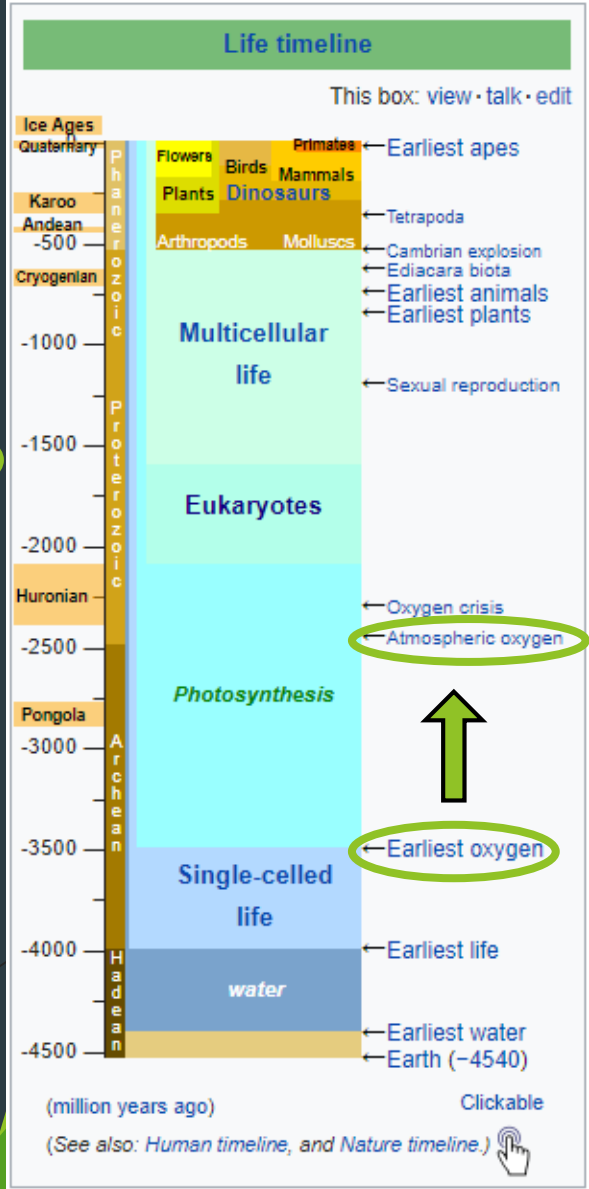
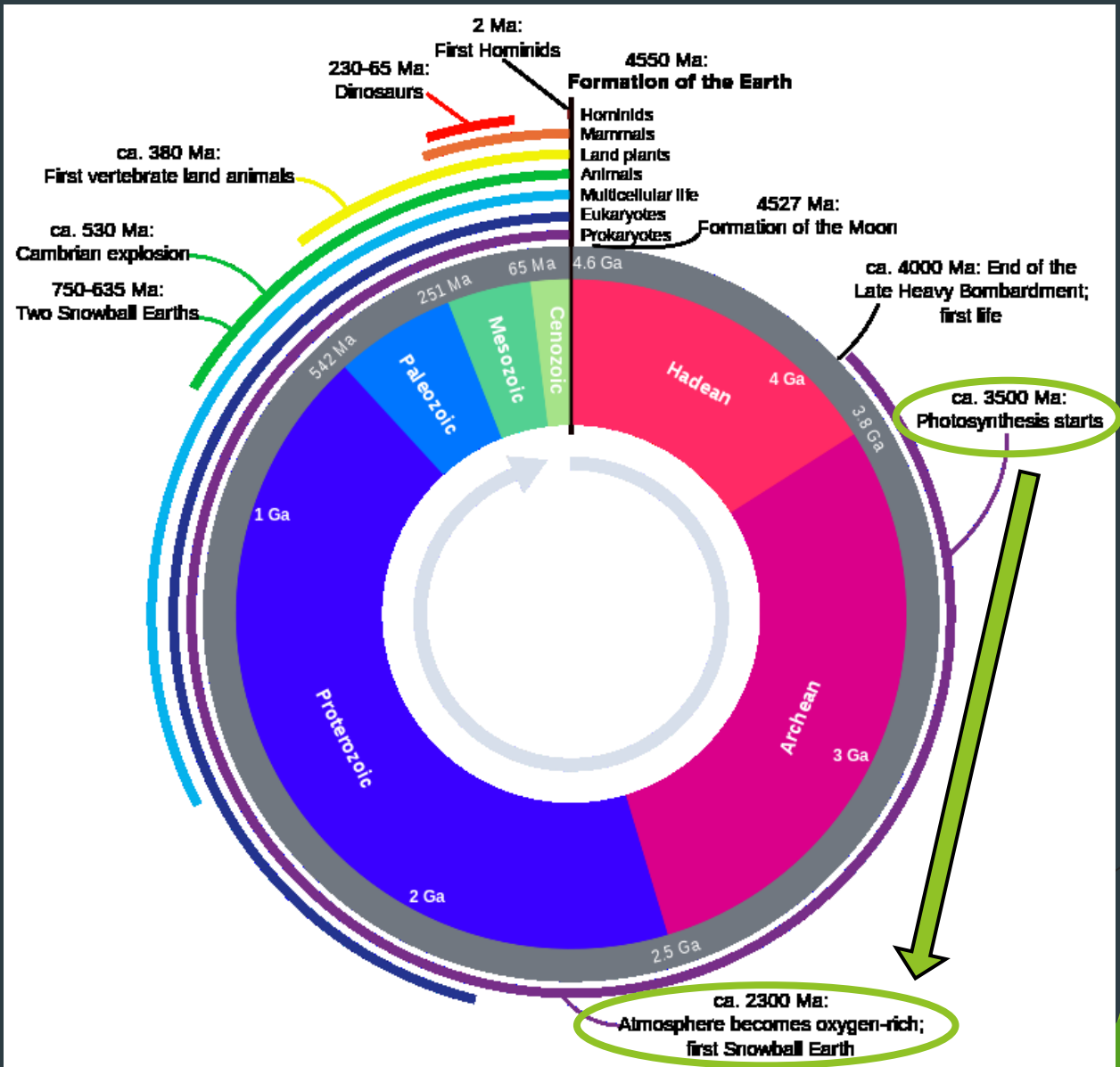
pyrrol - tetrapyrrol - porfin - porfyrin

FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

❖ kde se vzala fotosyntéza oxygenního typu?

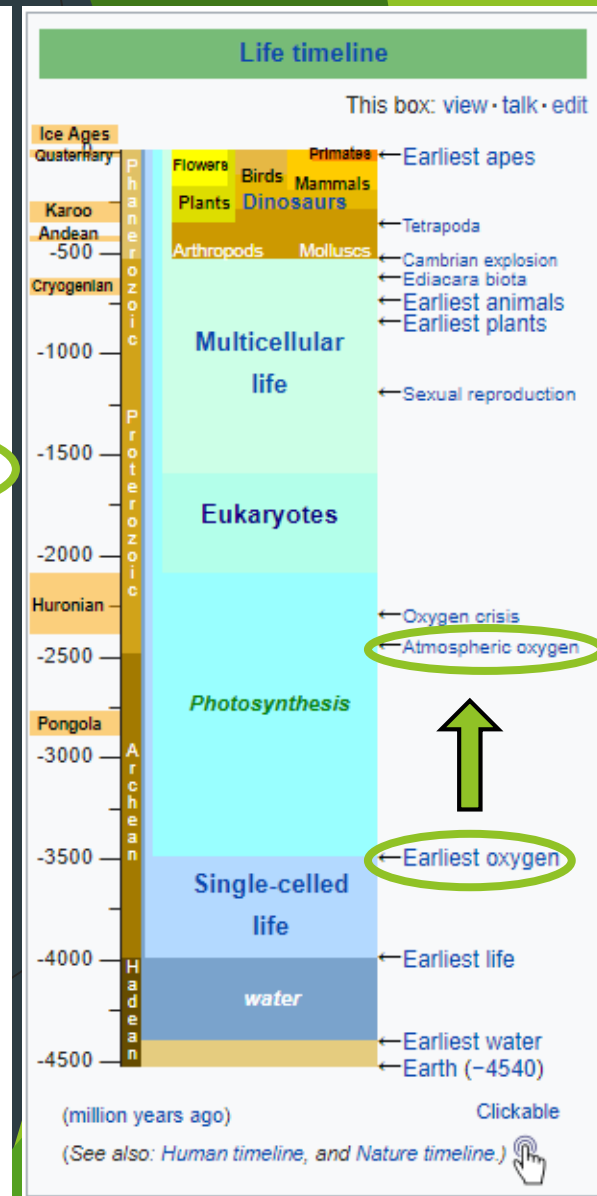
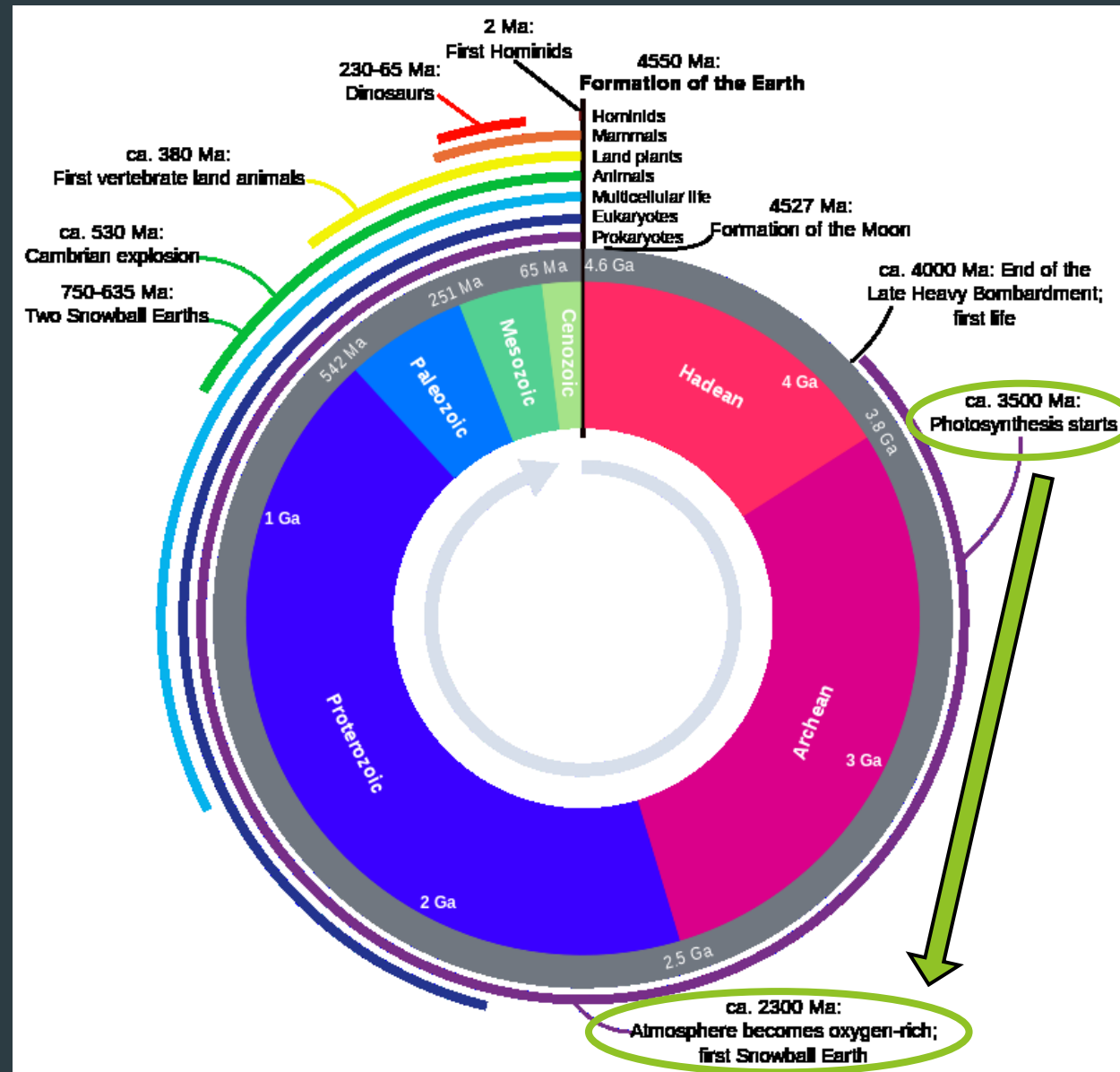


▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

❖ 2,5 až 0,6 miliardy let zpět - „věk sinic“



► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria,
Bacteria)

- ❖ 2,5 až 0,6 miliardy let zpět - „věk sinic“
- ❖ stromatolity
- ❖ mělká moře



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.



► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

- ❖ 2,5 až 0,6 miliardy let zpět - „věk sinic“
- ❖ stromatolity
- ❖ mělká moře

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.



fosilie



heliotropic –
grow toward
sunlight

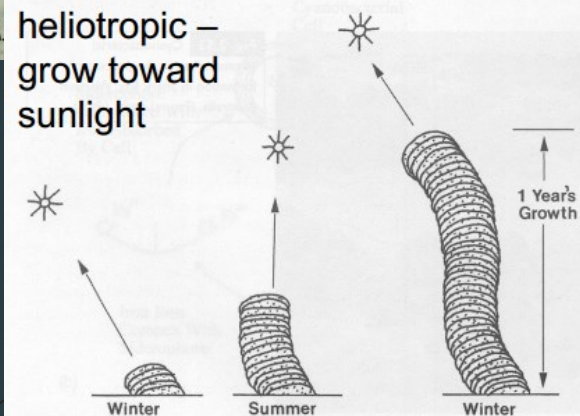


Fig. 2.55 Diagrammatic representation of the growth of a stromatolite over the period of a year. A year's growth is represented by an S-shaped curve.

► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

- ❖ 2,5 až 0,6 miliardy let zpět - „věk sinic“
- ❖ stromatolity
- ❖ mělká moře

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.

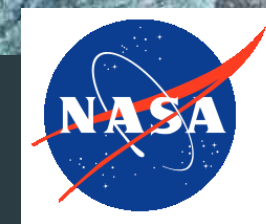


fosilie



recentní stromatolity

- ❖ hypersalinní jezera a zátoky (Austrálie, Bahamy)
- ❖ Ca^{2+} a Mg^{2+} bohatá sladkovodní jezera (Latinská Amerika, Kanada, Turecko)

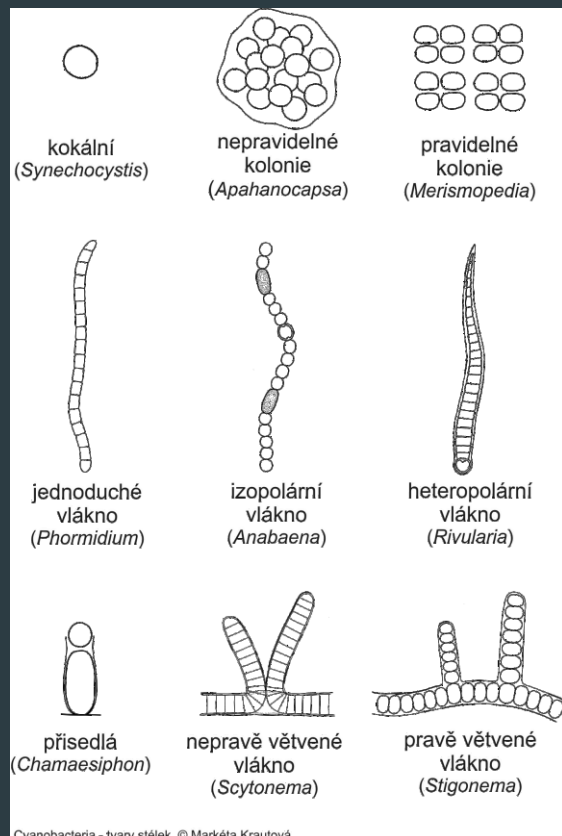


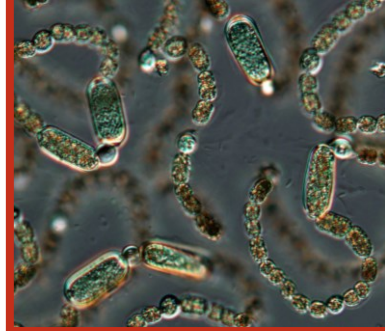
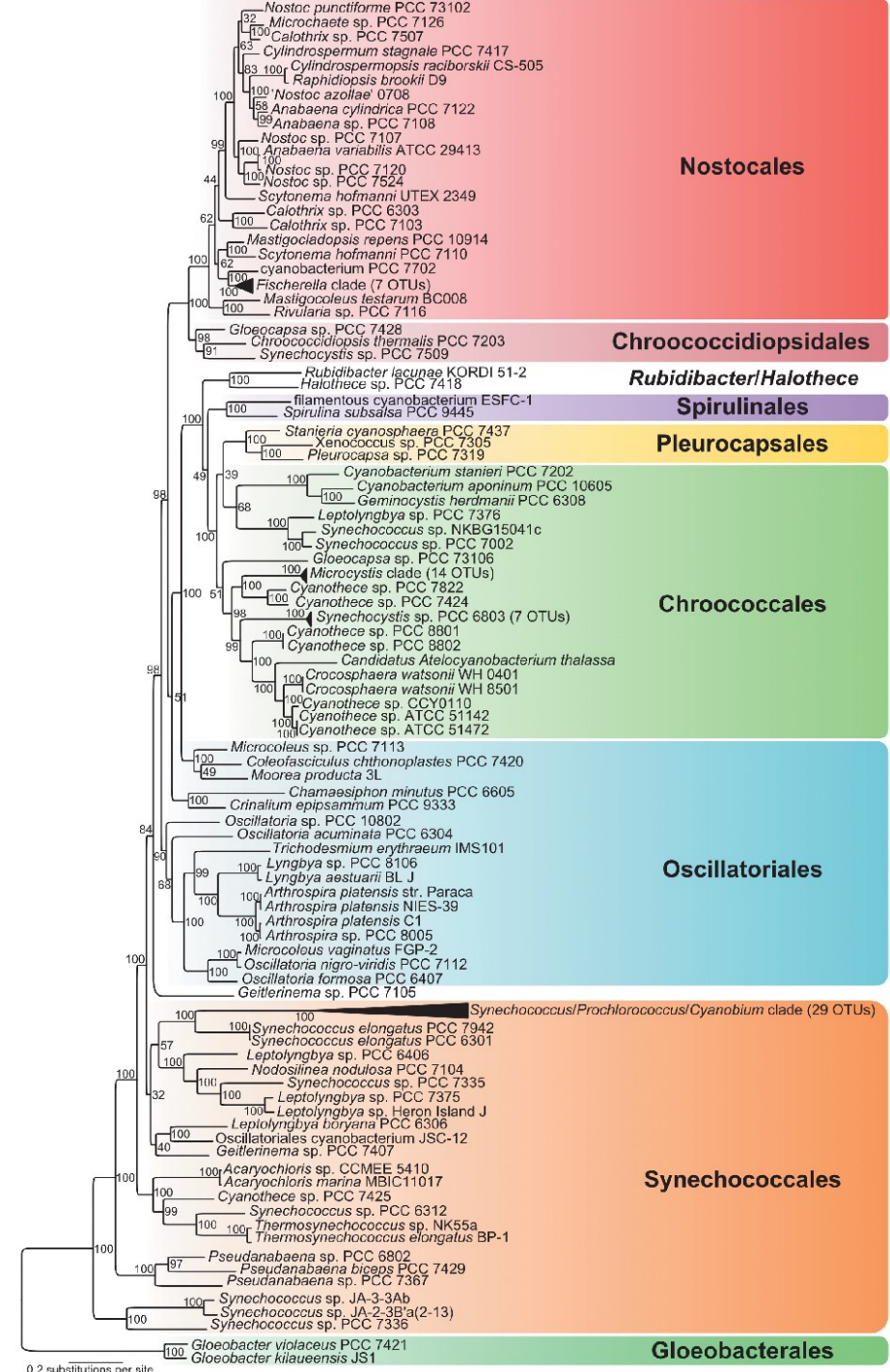
▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

- ❖ tradiční dělení (do řádů) dle morfologie (typu stélky)



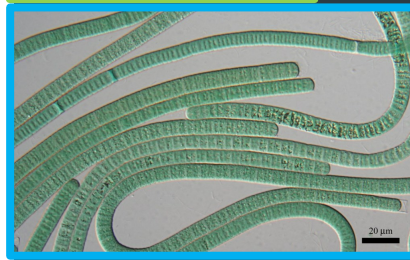


- ❖ eutrofní rybníky (vodní květ)
Dolichospermum, *Cylindrospermopsis*, *Aphanizomenon*
- ❖ aerofyticky (půdní krusty)
Nostoc

❖ ekologie - ubiquitous organismy



- ❖ mokřady (fyto bentos)
Chroococcus
- ❖ eutrofní rybníky (vodní květ)
Microcystis



- ❖ teskocí i stojaté vody (fyto bentos)
Oscillatoria, *Phormidium*
- ❖ eutrofní rybníky (fytoplankton, vodní květ)
Planktothrix, *Limnothrix*



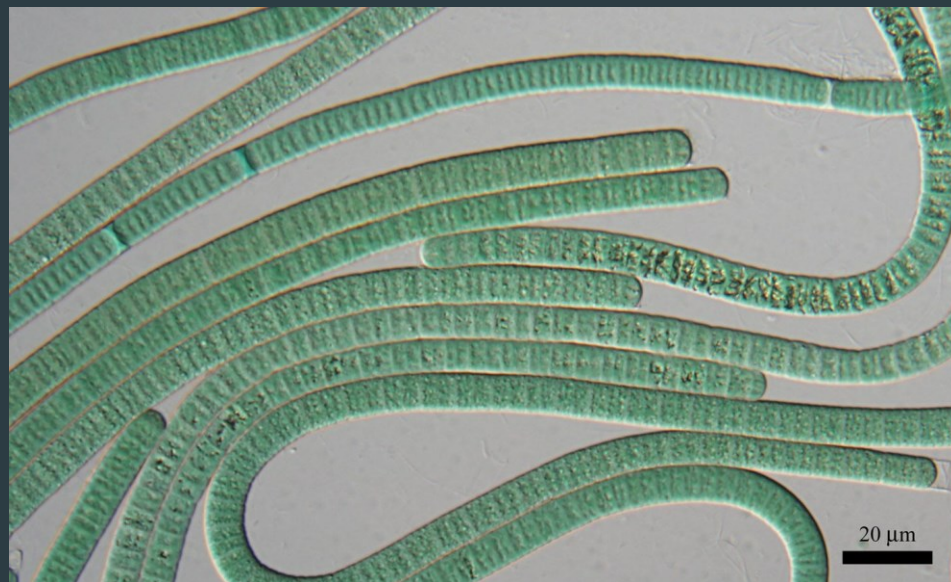
- ❖ rybníky a tůň (fytoplankton, vodní květ)
Merismopedia, *Woronichinia*
- ❖ slané i sladké vody (fytoplankton)
Synechococcus



Chroococcus



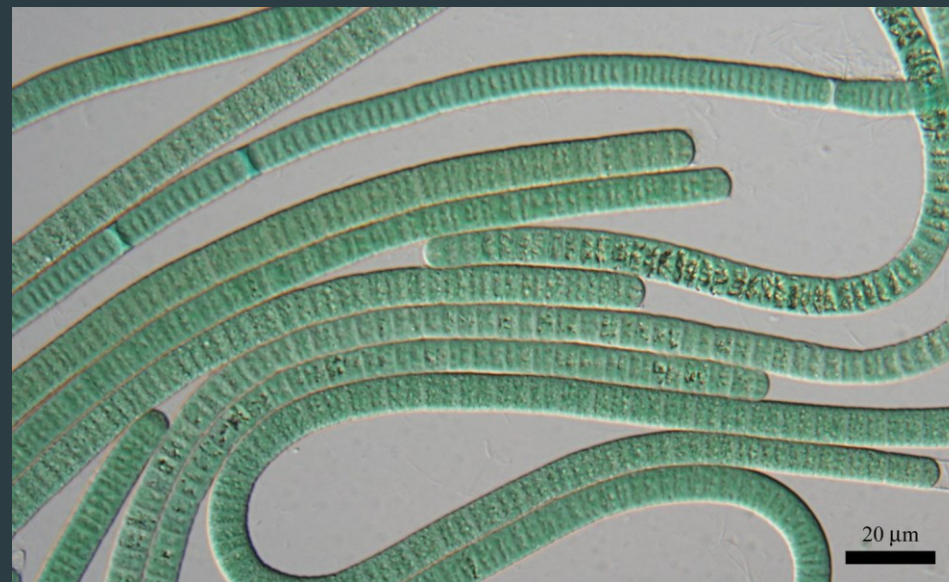
Chroococcus



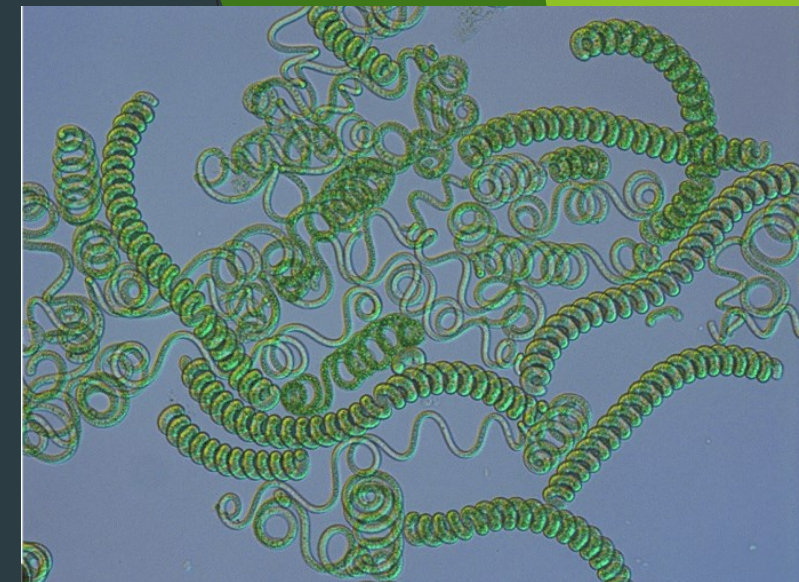
Oscillatoria
= drkalka



Chroococcus



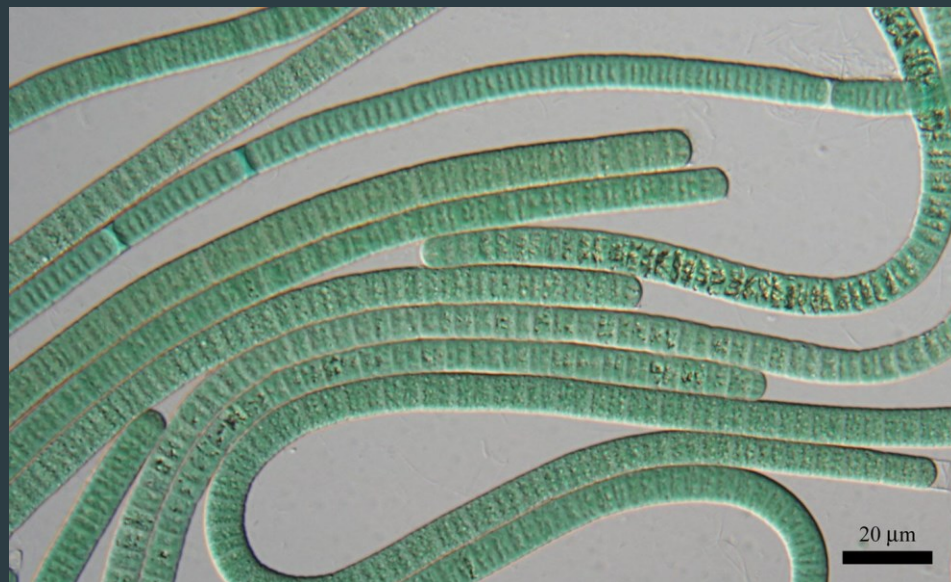
Oscillatoria



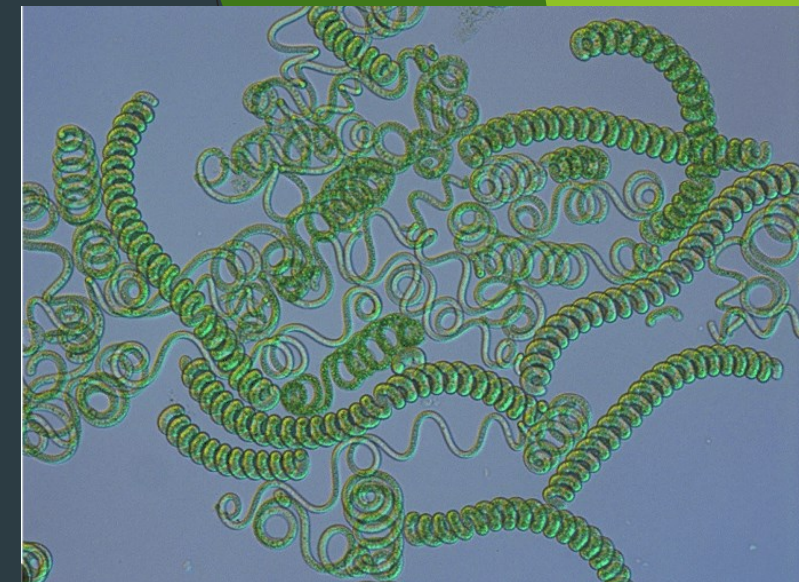
Arthrospira (Spirulina)



Chroococcus



Oscillatoria

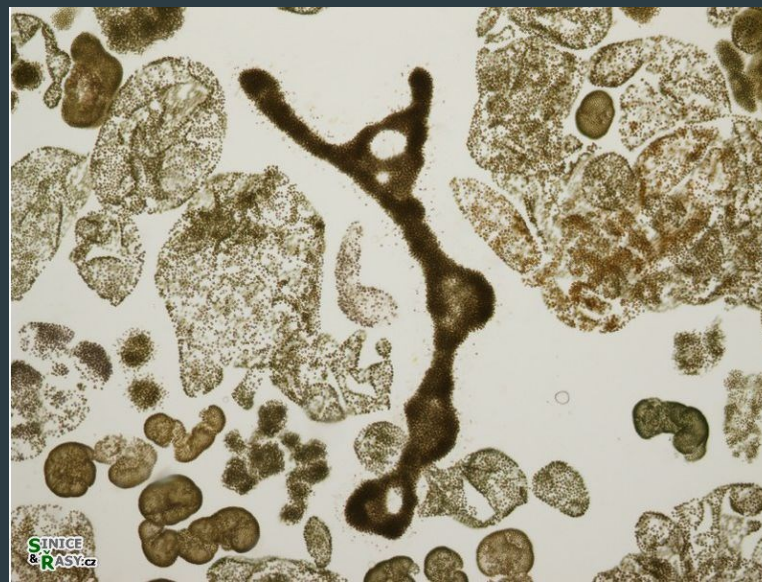


Arthrospira (Spirulina)

Dolichospermum (Anabaena)

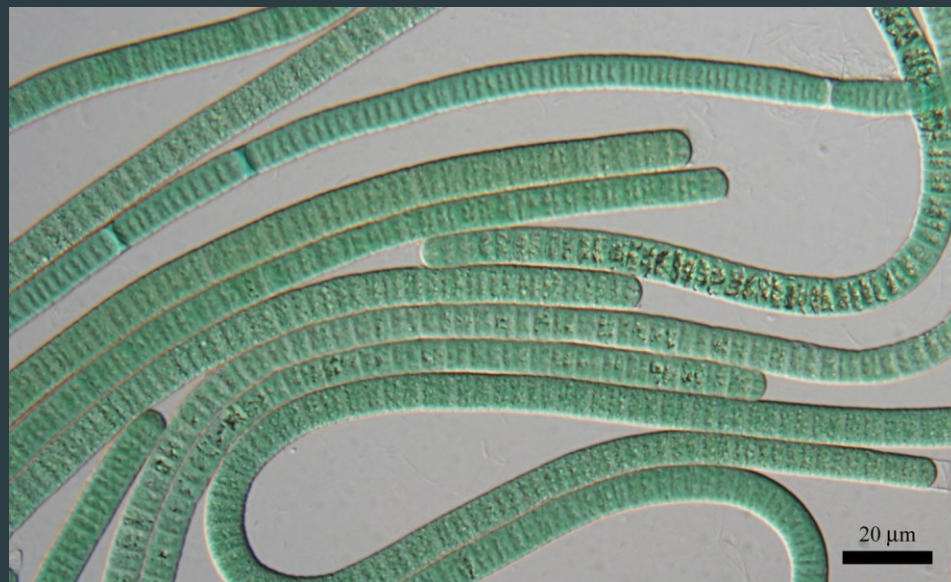


Microcystis

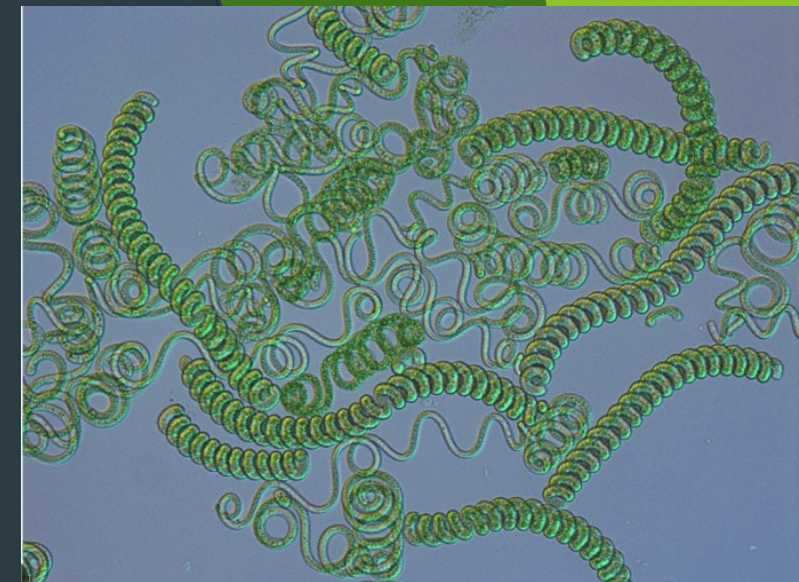




Chroococcus



Oscillatoria

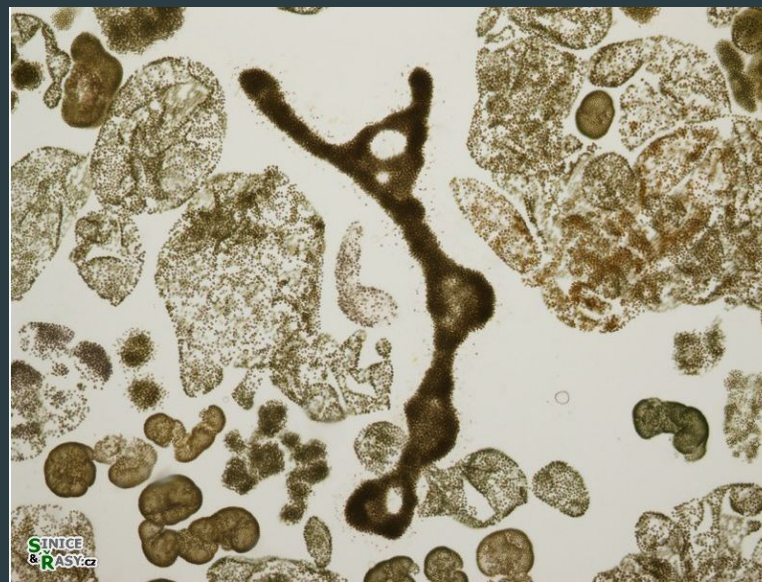


Arthrospira (Spirulina)

Dolichospermum (Anabaena)

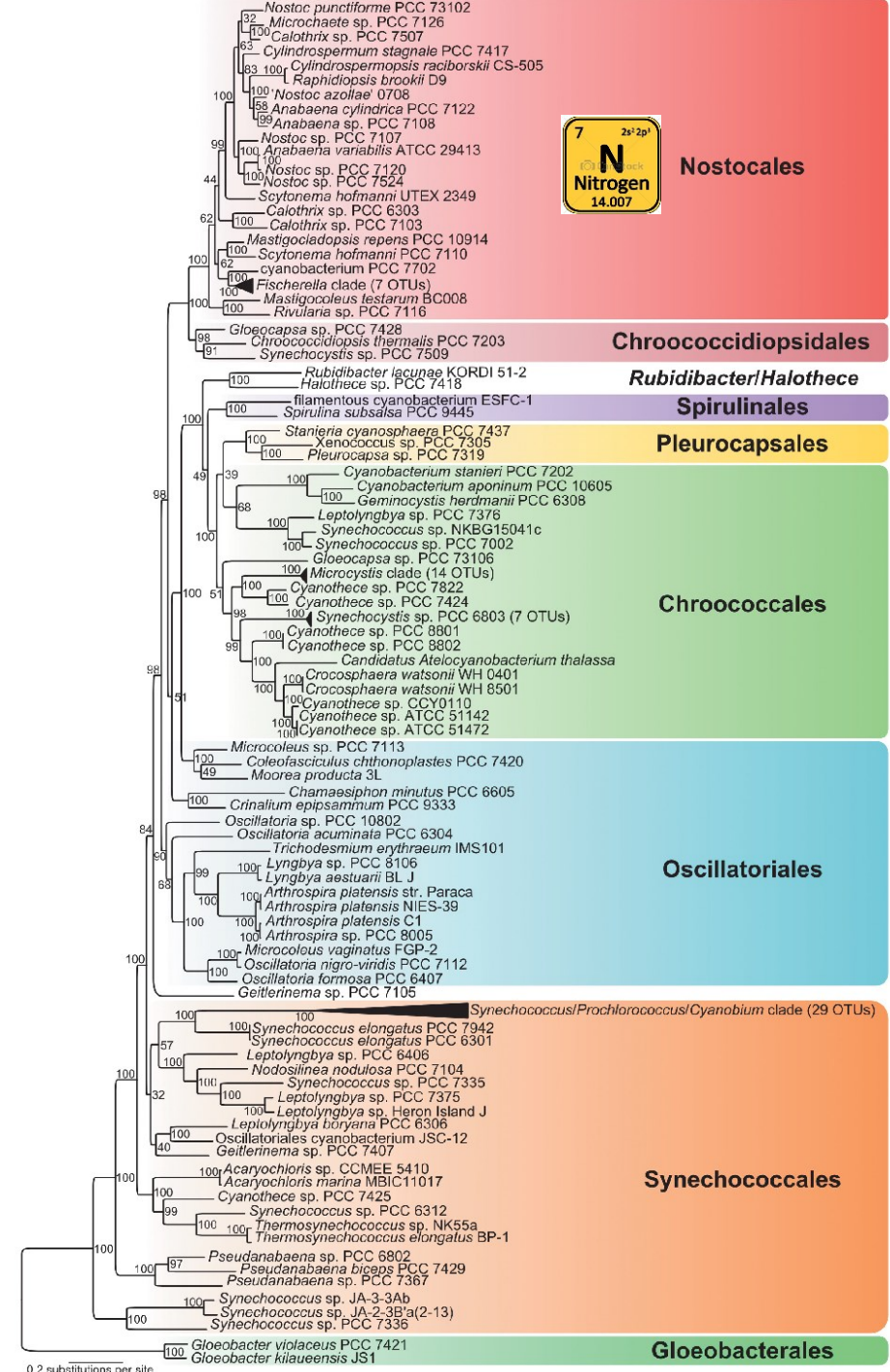


Microcystis

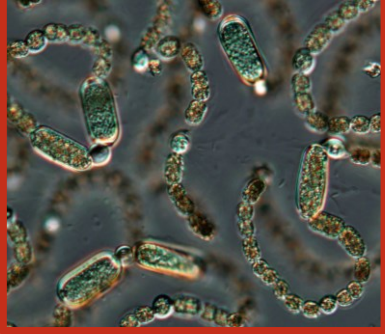


Nostoc





Nostocales

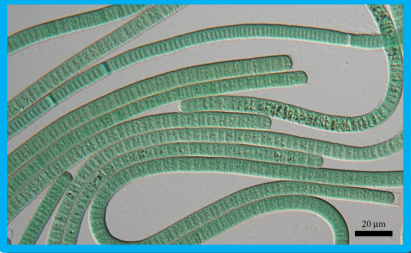


- ❖ eutrofní rybníky (vodní květ)
Dolichospermum, Cylindrospermopsis, Aphanizomenon
- ❖ aerofyticky (půdní krusty)
Nostoc

❖ ekologie - ubiquitous organisms



- ❖ mokřady (fytobentos)
Chroococcus
- ❖ eutrofní rybníky (vodní květ)
Microcystis



- ❖ teskocí i stojaté vody (fytobentos)
Oscillatoria, Phormidium
- ❖ eutrofní rybníky (fytoplankton, vodní květ)
Planktothrix, Limnothrix



- ❖ rybníky a tůň (fytoplankton, vodní květ)
Merismopedia, Woronichinia
- ❖ slané i sladké vody (fytoplankton)
Synechococcus

*Dolichospermum
planctonicum*

akinetete →

heterocyst →

mucilage →

Woronichinia

20 μm

REVIEW PAPER

Symbiosis between cyanobacteria and plants: from molecular studies to agronomic applications

Consolación Álvarez¹, Lucía Jiménez-Ríos¹, Macarena Iniesta-Pallarés¹, Ana Jurado-Flores¹,
Fernando P. Molina-Heredia¹, Carl K.Y. Ng^{2,3,4,*} and Vicente Mariscal^{1,4}

¹ Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis, Consejo Superior de Investigaciones Científicas and Universidad de Sevilla, América Vesputio 49, 41092 Sevilla, Spain

² UCD School of Biology and Environmental Science, University College Dublin, Belfield, Dublin, Ireland

³ UCD Centre for Plant Science, University College Dublin, Belfield, Dublin, Ireland

⁴ UCD Earth Institute, University College Dublin, Belfield, Dublin, Ireland

* Correspondence: vicente.mariscal@ibvf.csic.es or carl.ng@ucd.ie

Received 6 April 2023; Editorial decision 4 July 2023; Accepted 6 July 2023

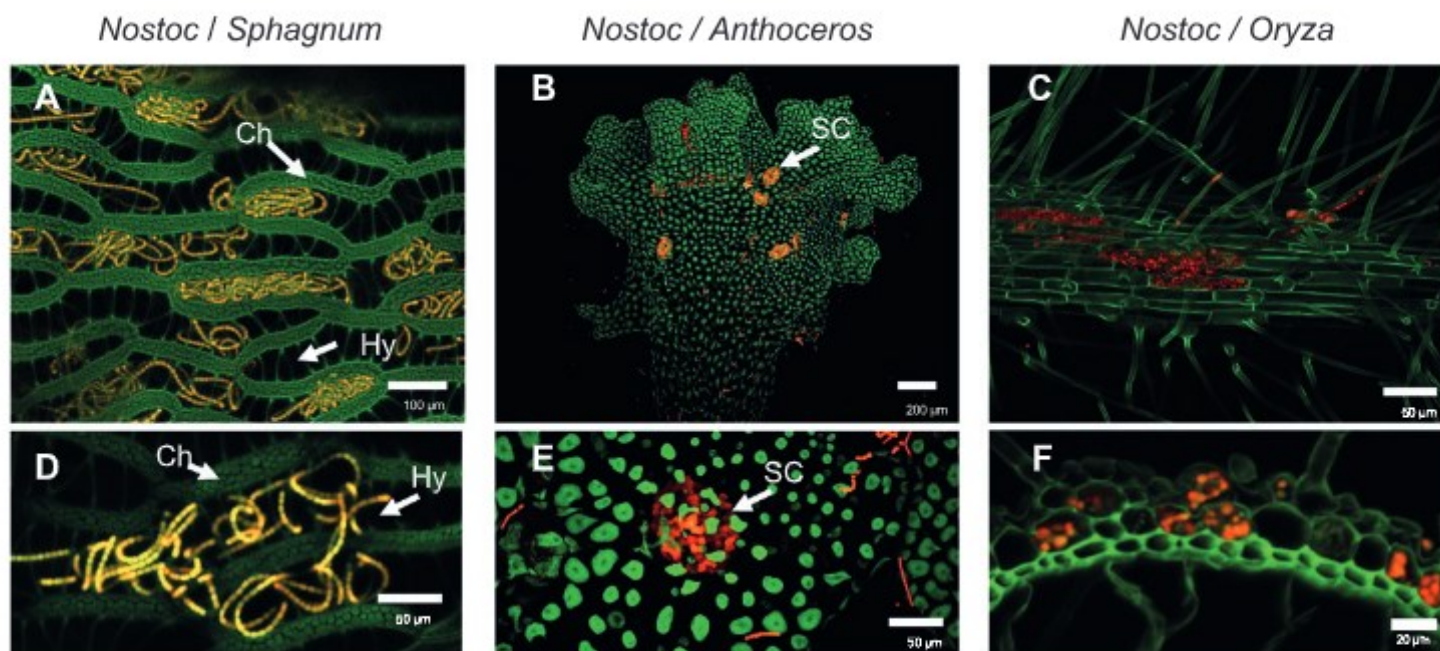


Fig. 3. Multihost symbiotic competence of *Nostoc punctiforme* with plants. (A, D) Epiphytic association of *N. punctiforme* (red/yellow) with *Sphagnum palustre*. Hy, hyalocysts; Chl, chlorocysts. The cyanobacterium is allocated within hyalocysts, which are empty structures connected with the environment. (B, E) Endophytic, extracellular association of *N. punctiforme* with *Anthoceros agrestis*. Cyanobacterial trichomes (in red) are found in the slime cavities (SC), which provide a protective environment for the cyanobacteria to reside. (C, F) Endophytic, intracellular symbiosis between *N. punctiforme* and *O. sativa*; cyanobacterial filaments (in red) are enclosed inside the root epidermal cells (in green).

▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Sinice (=Cyanobacteria, Bacteria)

- ❖ a jak to bylo dál s fotosyntézou
oxygenního typu?

účinnost přeměny
energie...



34 %



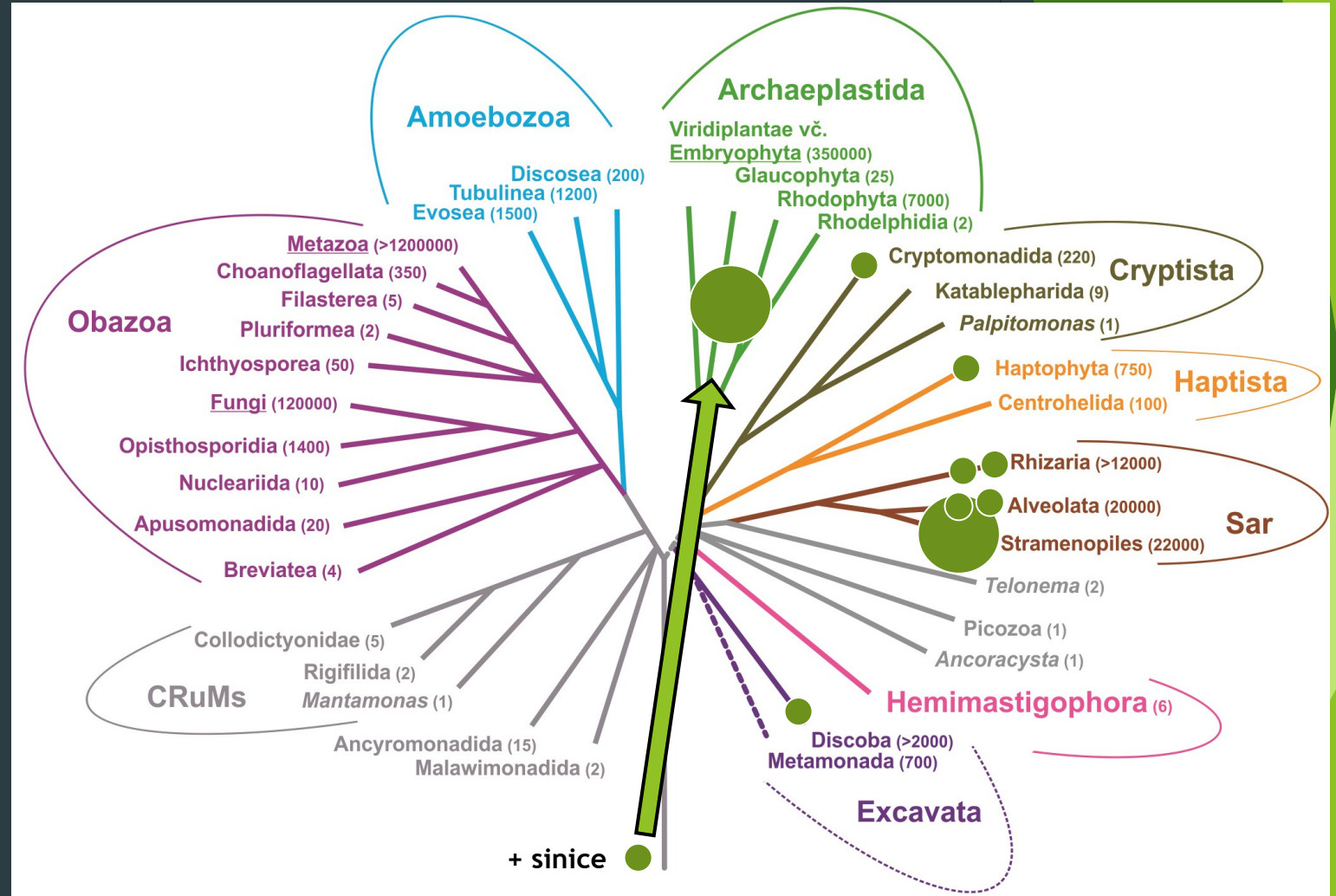
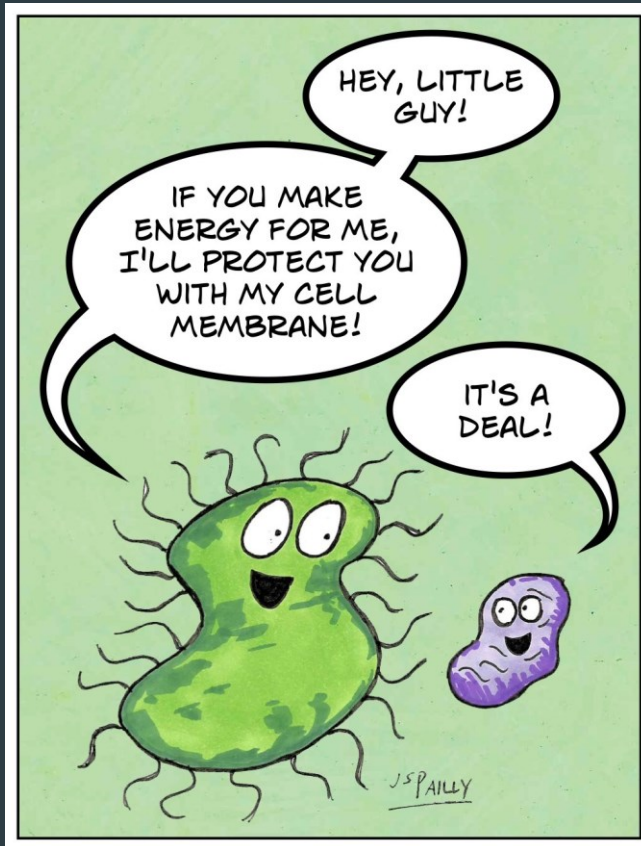
17 %

...kdo by to nechtěl?

► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Vznik primárního plastidu (chloroplastu)



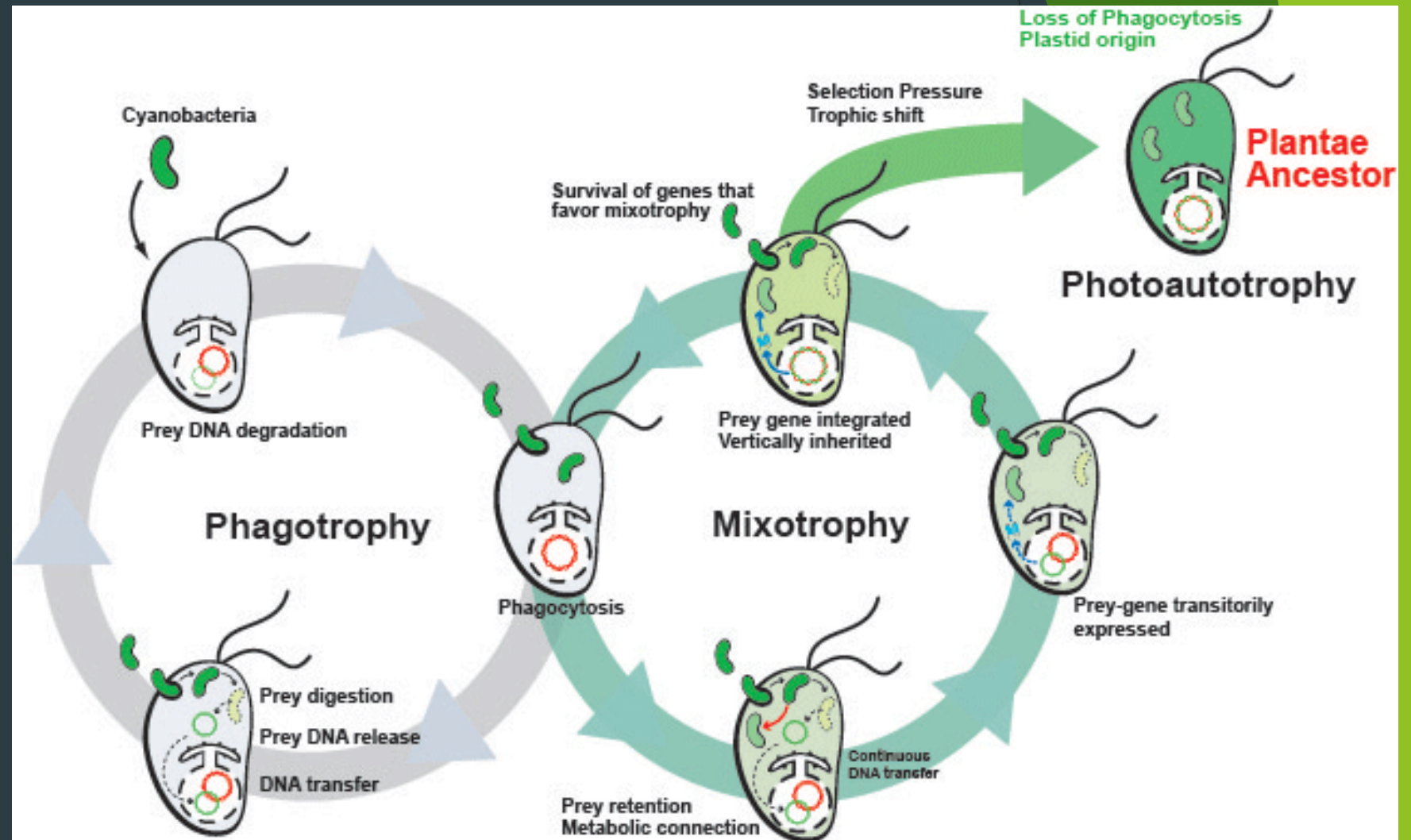
▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Vznik primárního plastidu (chloroplastu)

❖ primární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = sinice



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

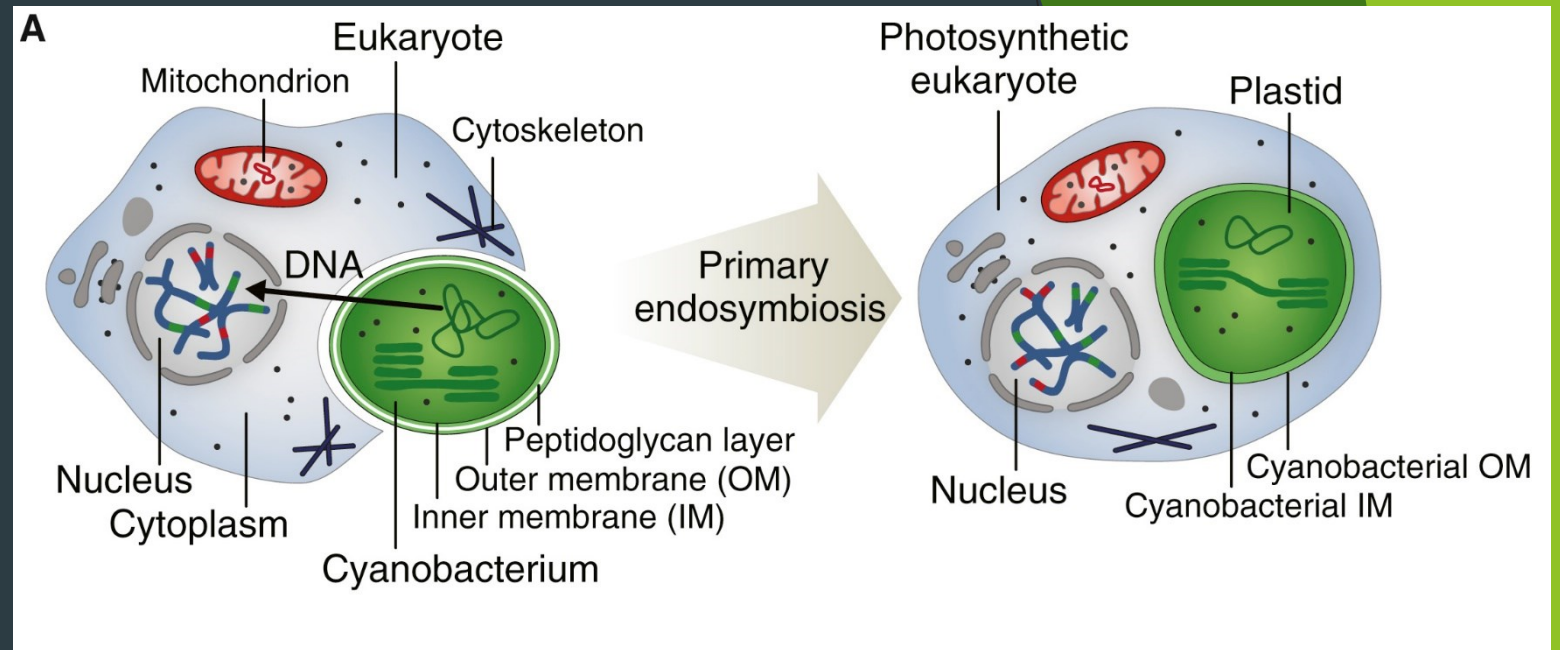
- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Vznik primárního plastidu (chloroplastu)

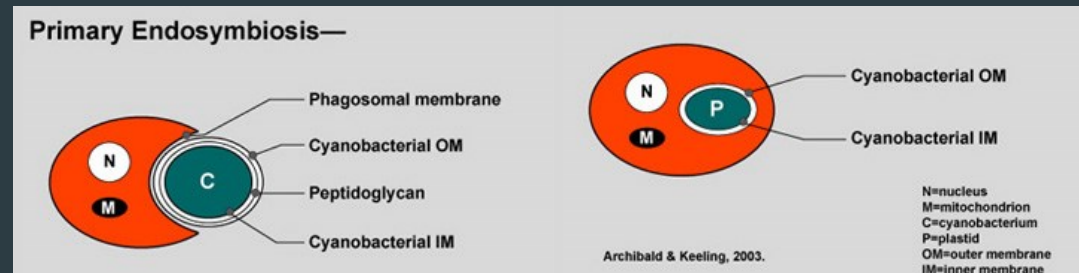
❖ primární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = sinice

- ❖ 2 membrány plastidu
- ❖ obě sinicové



Archibald, 2015



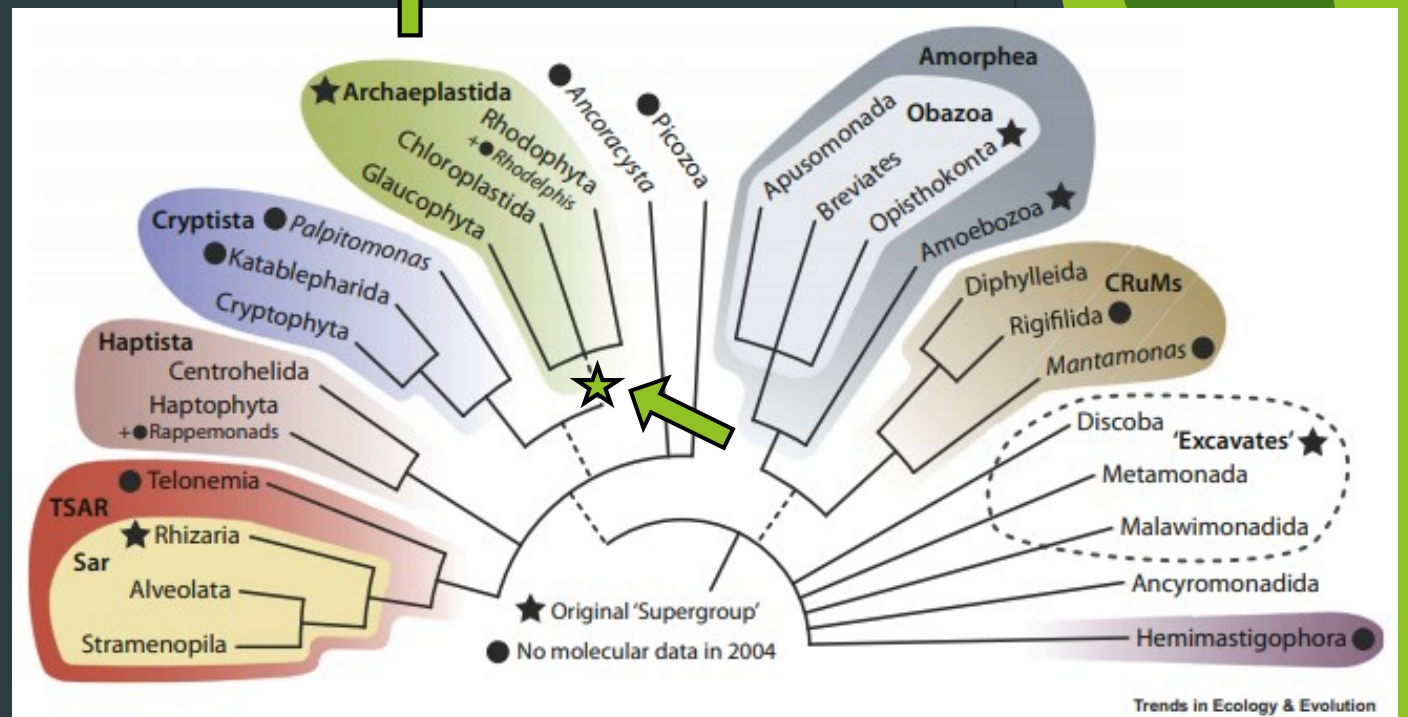
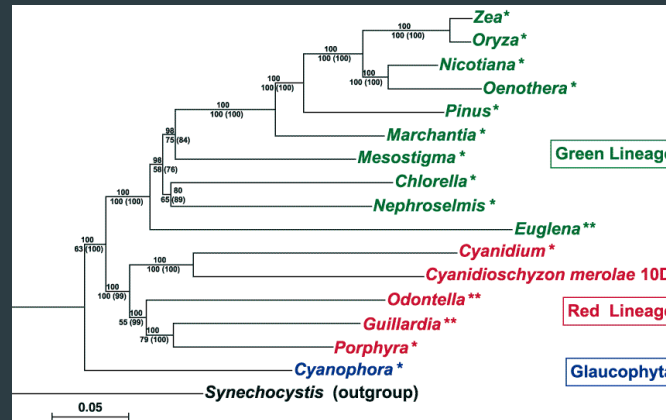
▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Vznik primárního plastidu (chloroplastu)

❖ primární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = sinice
- ❖ 2 membrány plastidu
- ❖ obě sinicové
- ❖ produkt = Archaeplastida (rostliny, Plantae)



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Vznik primárního plastidu (chloroplastu)

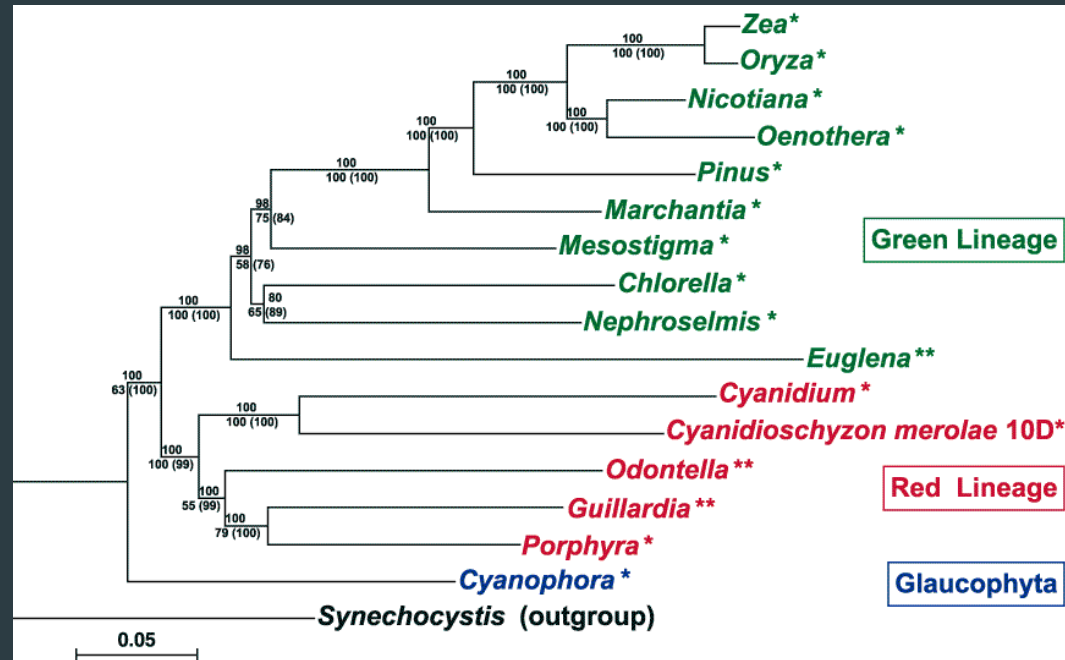
❖ primární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = sinice

- ❖ 2 membrány plastidu
- ❖ obě sinicové

- ❖ produkt
= Archaeplastida

❖ 3 typy (linie) primárních plastidů:



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Vznik primárního plastidu (chloroplastu)

❖ primární endosymbióza

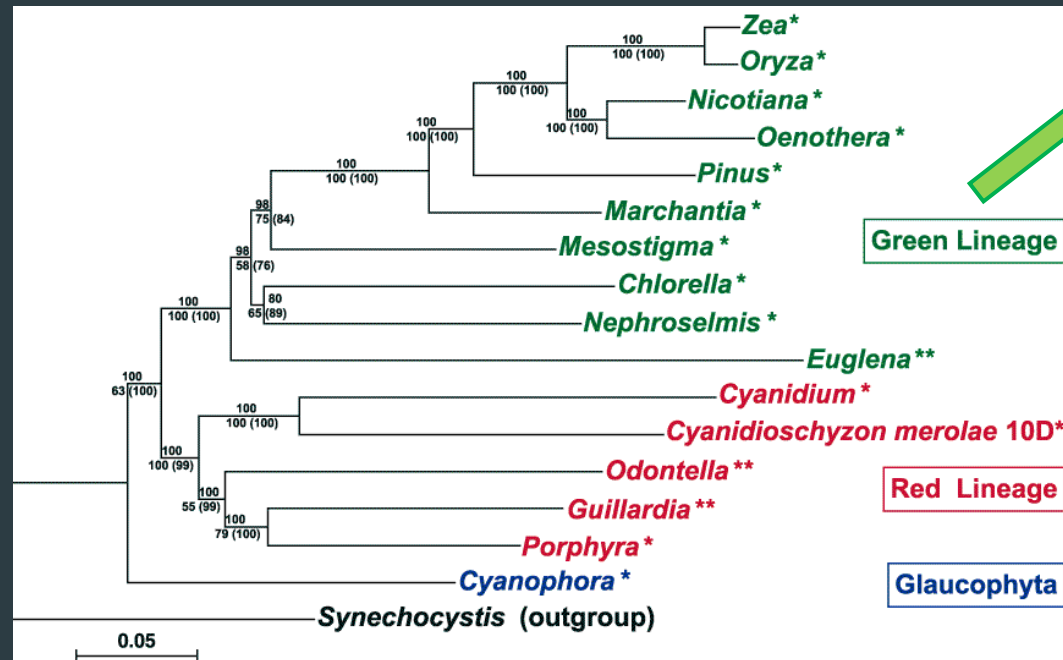
- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = sinice

- ❖ 2 membrány plastidu
- ❖ obě sinicové

- ❖ produkt = Archaeplastida

- ❖ 3 typy (linie) primárních plastidů:

- ❖ **CHLOROPLASTY** zelených rostlin - Viridiplantae



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

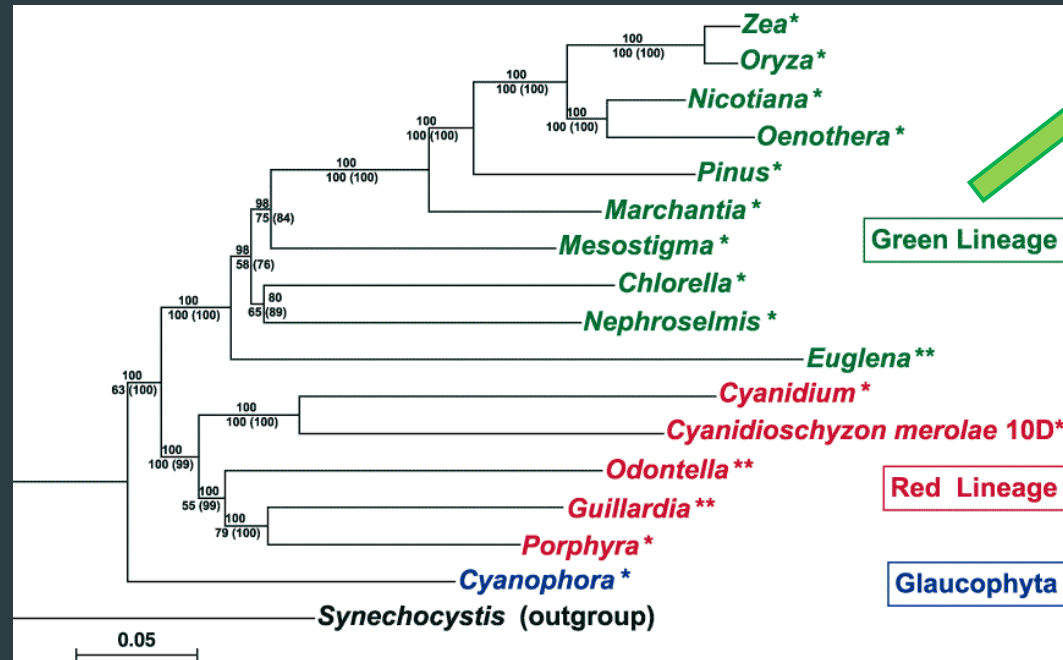
Vznik primárního plastidu (chloroplastu)

❖ primární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = sinice
- ❖ 2 membrány plastidu
- ❖ obě sinicové
- ❖ produkt = Archaeplastida

❖ 3 typy (linie) primárních plastidů:

- ❖ CHLOROPLASTY zelených rostlin - Viridiplantae (Chloroplastiida)
- ❖ **RODOPLASTY** ruduch - Rhodophyta



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

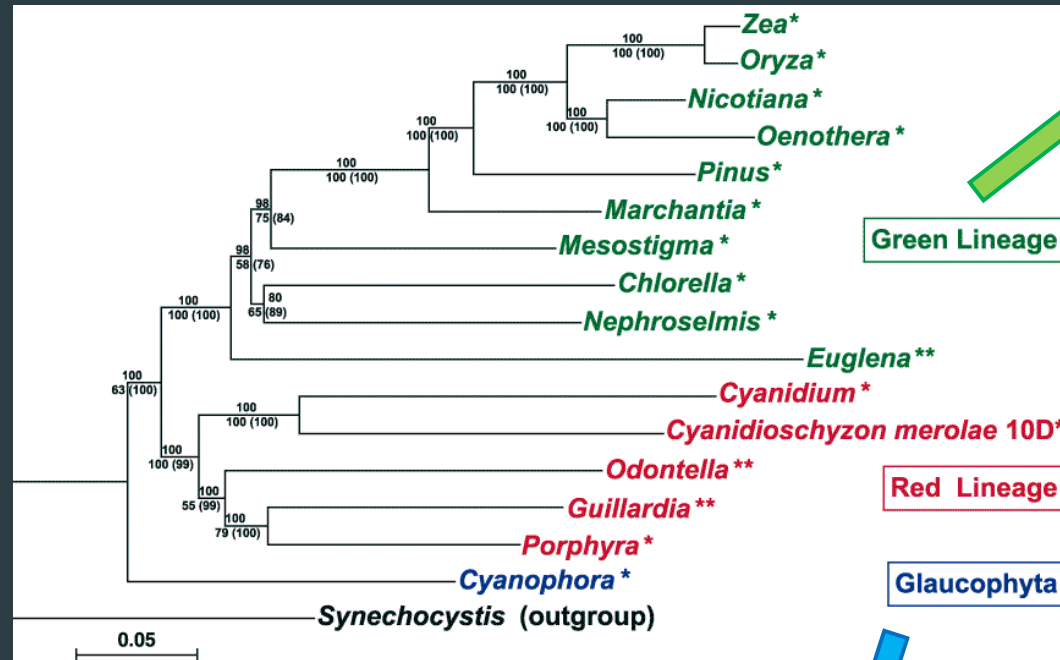
Vznik primárního plastidu (chloroplastu)

❖ primární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = sinice
- ❖ 2 membrány plastidu
- ❖ obě sinicové
- ❖ produkt = Archaeplastida

❖ 3 typy (linie) primárních plastidů:

- ❖ CHLOROPLASTY zelených rostlin - Viridiplantae (Chloroplastiida)
- ❖ RODOPLASTY ruduch - Rhodophyta
- ❖ **CYANELY** glaukofyt - Glaucophyta



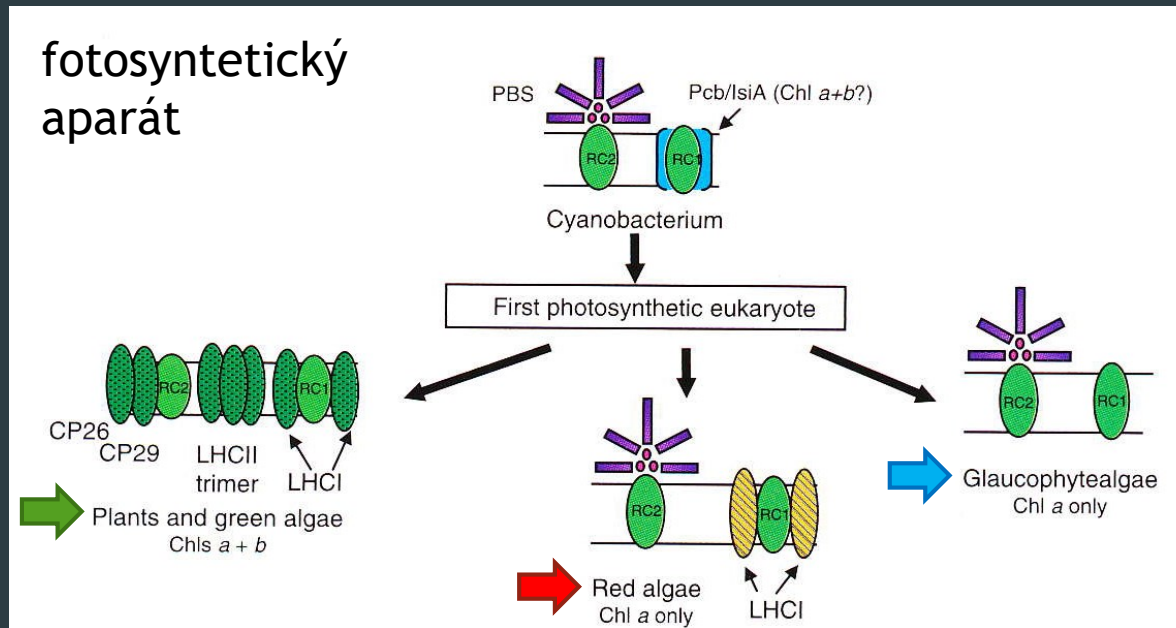
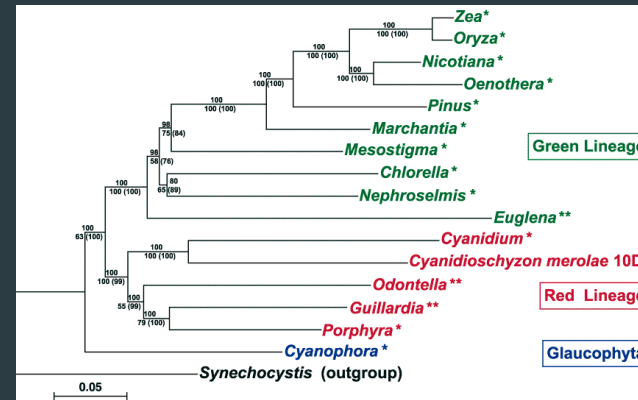
▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Vznik primárního plastidu (chloroplastu)

❖ primární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = sinice
- ❖ 2 membrány plastidu
- ❖ obě sinicové
- ❖ produkt = Archaeplastida
- ❖ 3 typy (linie) primárních plastidů:
 - ❖ chloroplasty
 - ❖ rodoplasty
 - ❖ cyanely



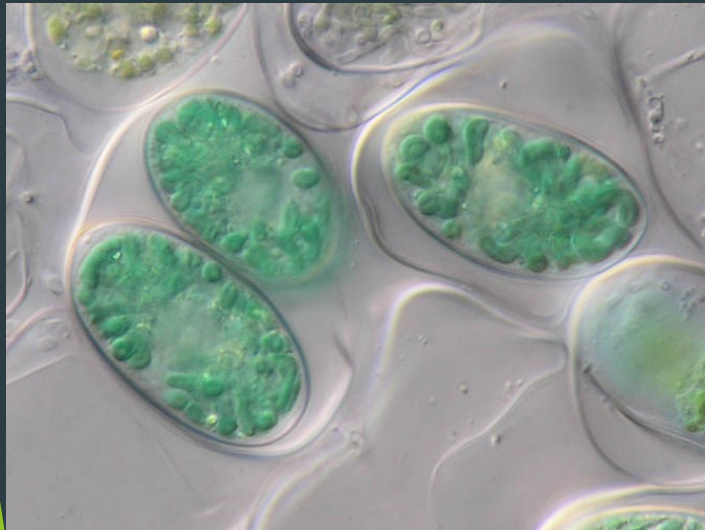
▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

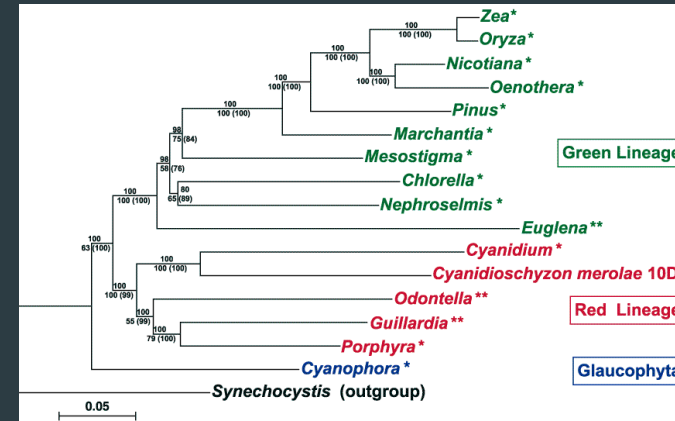
Primární plastidy (cyanely)

❖ Glaucophyta

- ❖ řasy sladkovodních mokřadů
- ❖ „relikt dávných dob“ - malá diverzita



Glaucocystis



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

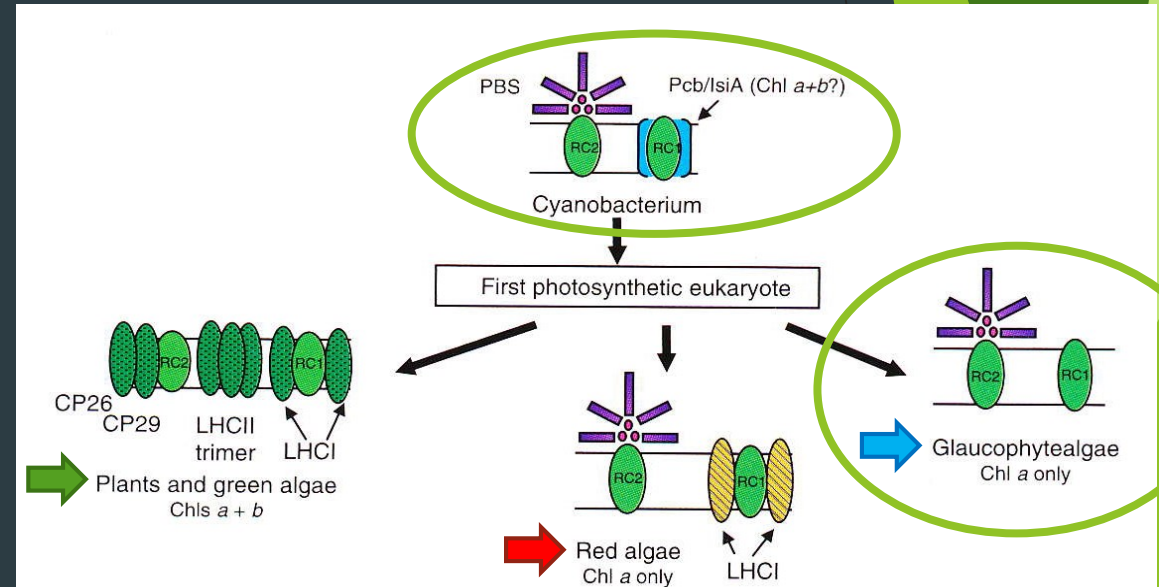
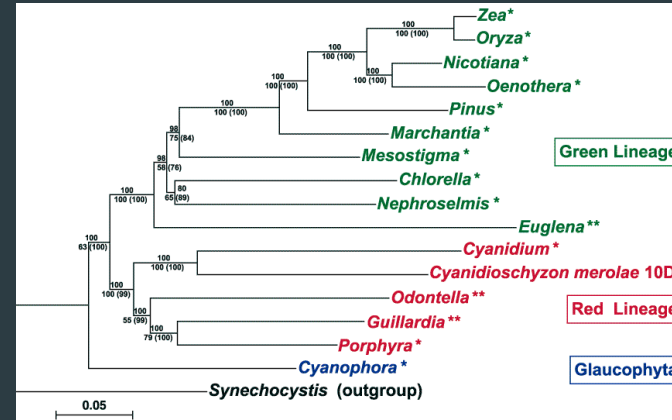
Primární plastidy (cyanely)

❖ Glaucophyta

- ❖ řasy sladkovodních mokřadů
- ❖ „relikt dávných dob“ - malá diverzita
- ❖ starobylé plastidy (cyanely) - málo diferencované



Glaucocystis



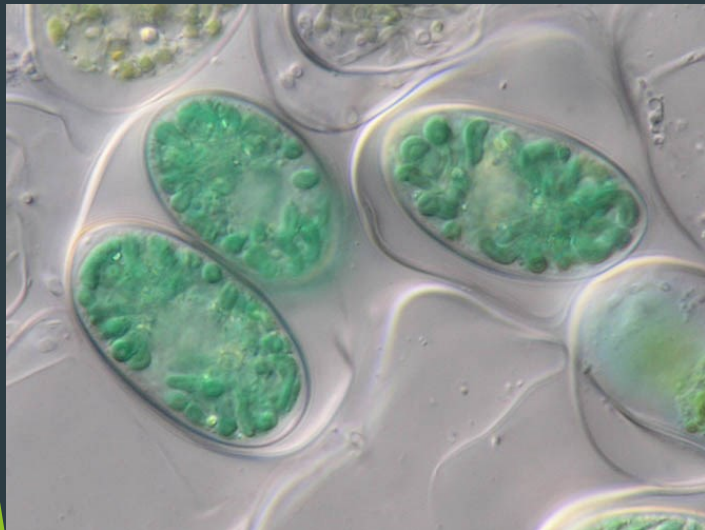
► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Primární plastidy (cyanely)

❖ Glaucophyta

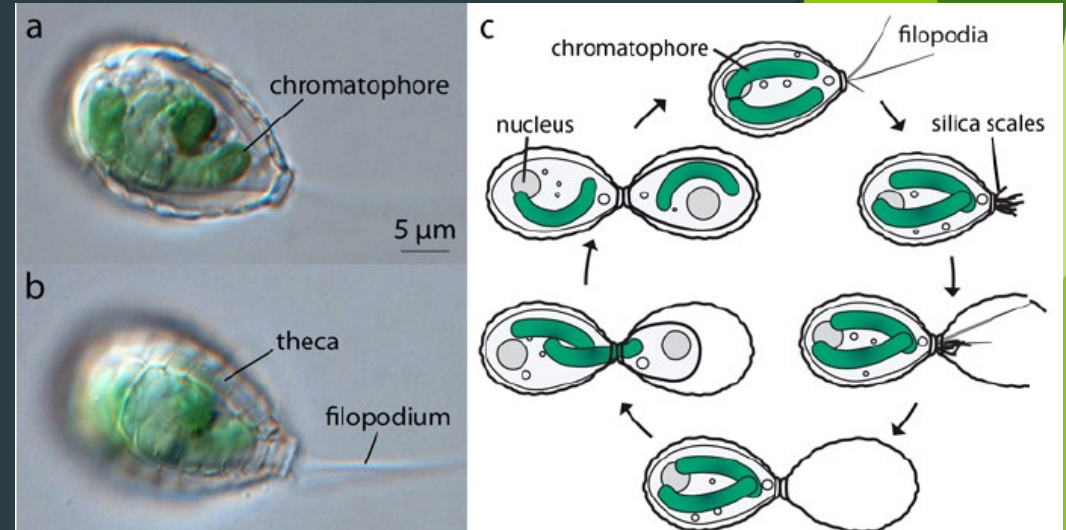
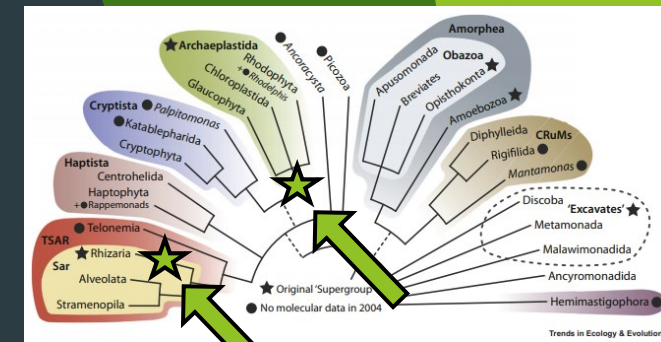
- ❖ řasy sladkovodních mokřadů
- ❖ „relikt dávných dob“ - malá diverzita
- ❖ starobylé plastidy (cyanely) - málo diferencované



Glaucocystis

„recentní“ endosymbióza

- ❖ *Paulinella chromatophora* (Rhizaria)
- ❖ sladkovodní kryténka (améba se schránkou)
- ❖ **cyanely** ale!
 - ❖ získané „novou“ primární endosymbiózou
 - ❖ nepříbuzné (jiná pohlcená sinice!)

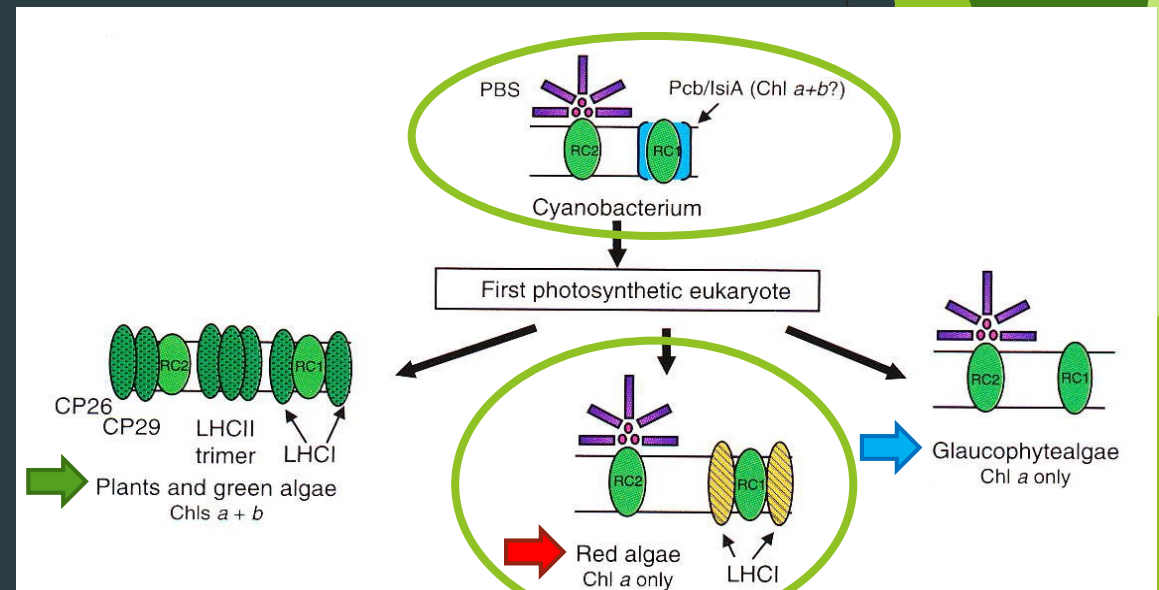
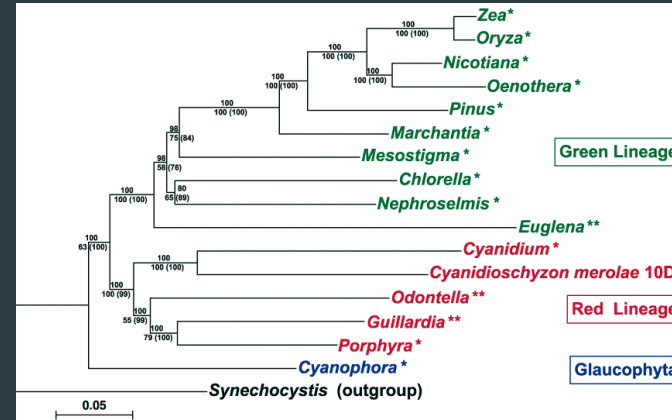


▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Primární plastidy (rodoplasty)

- ❖ Rhodophyta (ruduchy)
 - ❖ zcela chybí bičíkatá stádia



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Primární plastidy (rodoplasty)

- ❖ Rhodophyta (ruduchy)
 - ❖ zcela chybí bičíkatá stádia
- ❖ typicky mořské makrořasy (litorál teplých moří)



Porphyra („nori“)



Gelidium (agar)

▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Primární plastidy (rodoplasty)

- ❖ Rhodophyta (ruduchy)
 - ❖ zcela chybí bičíkatá stádia
- ❖ typicky mořské makrořasy (litorál teplých moří)
- ❖ sladkovodní zástupci



Hildebrandia



Batrachospermum





Audouinella
aneb problematika akvárií...

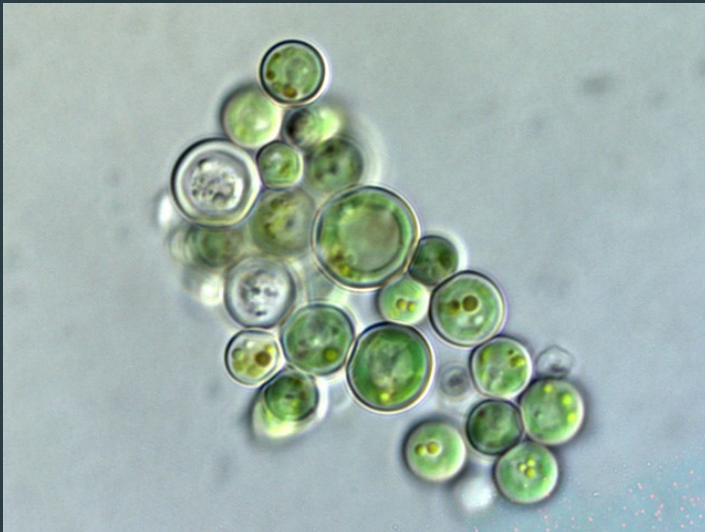


▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Primární plastidy (**rodoplasty**)

- ❖ Rhodophyta (ruduchy)
 - ❖ zcela chybí bičíkatá stádia
- ❖ typicky mořské makrořasy (litorál teplých moří)
- ❖ sladkovodní zástupci
- ❖ extremofilové



Cyanidium



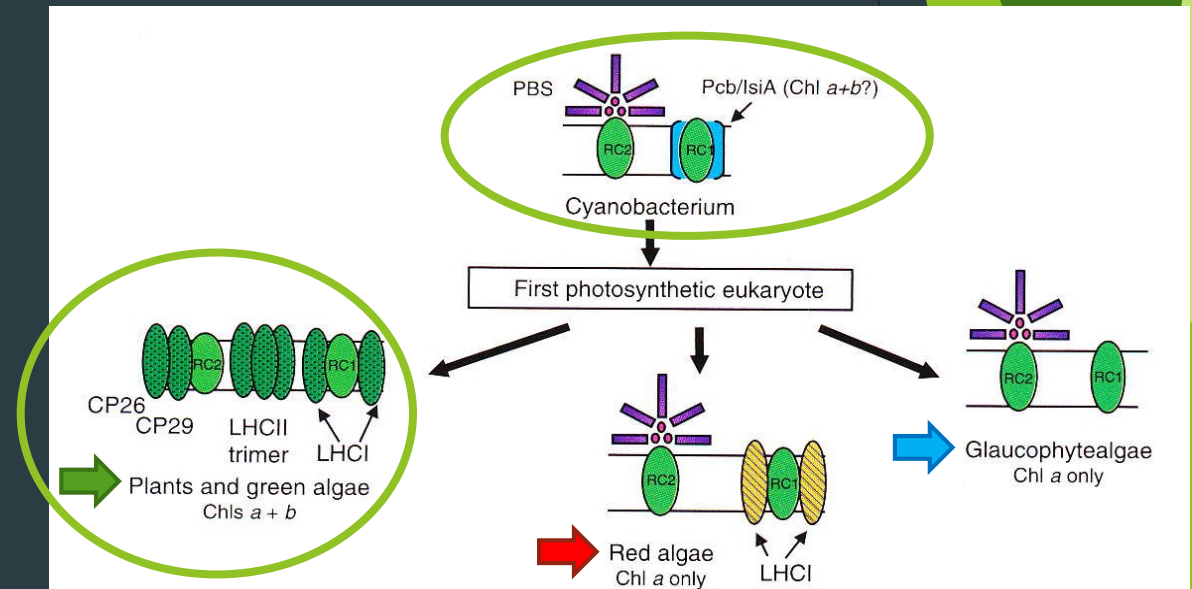
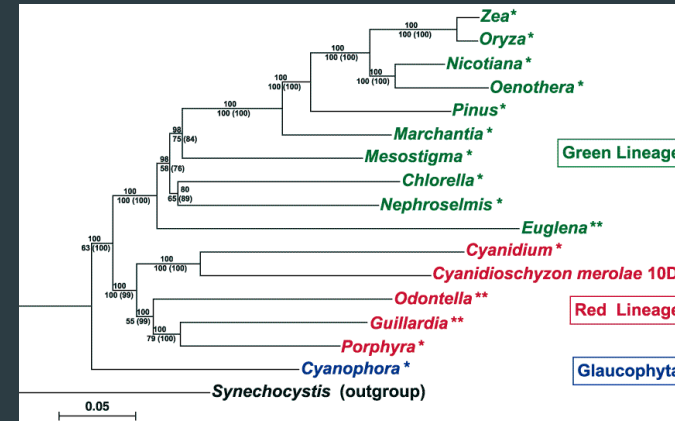
▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Primární plastidy (chloroplasty)

❖ Viridiplantae (zelené rostliny)

= zelené řasy + vyšší (suchozemské) rostliny

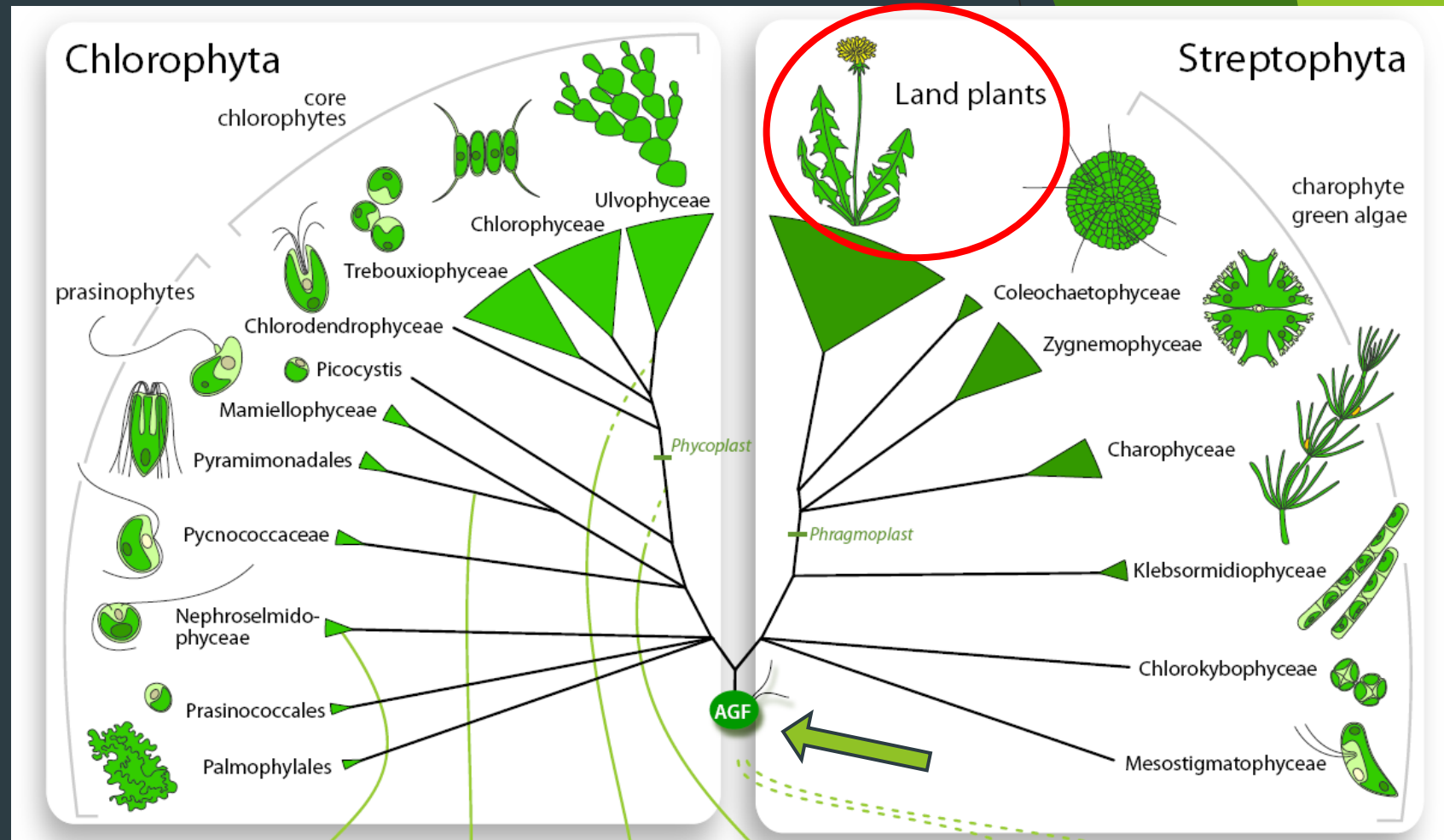


▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Primární plastidy (chloroplasty)

- ❖ Viridiplantae (zelené rostliny)
- ❖ 2 hlavní vývojové linie
 - ❖ Chlorophyta
 - ❖ Streptophyta



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

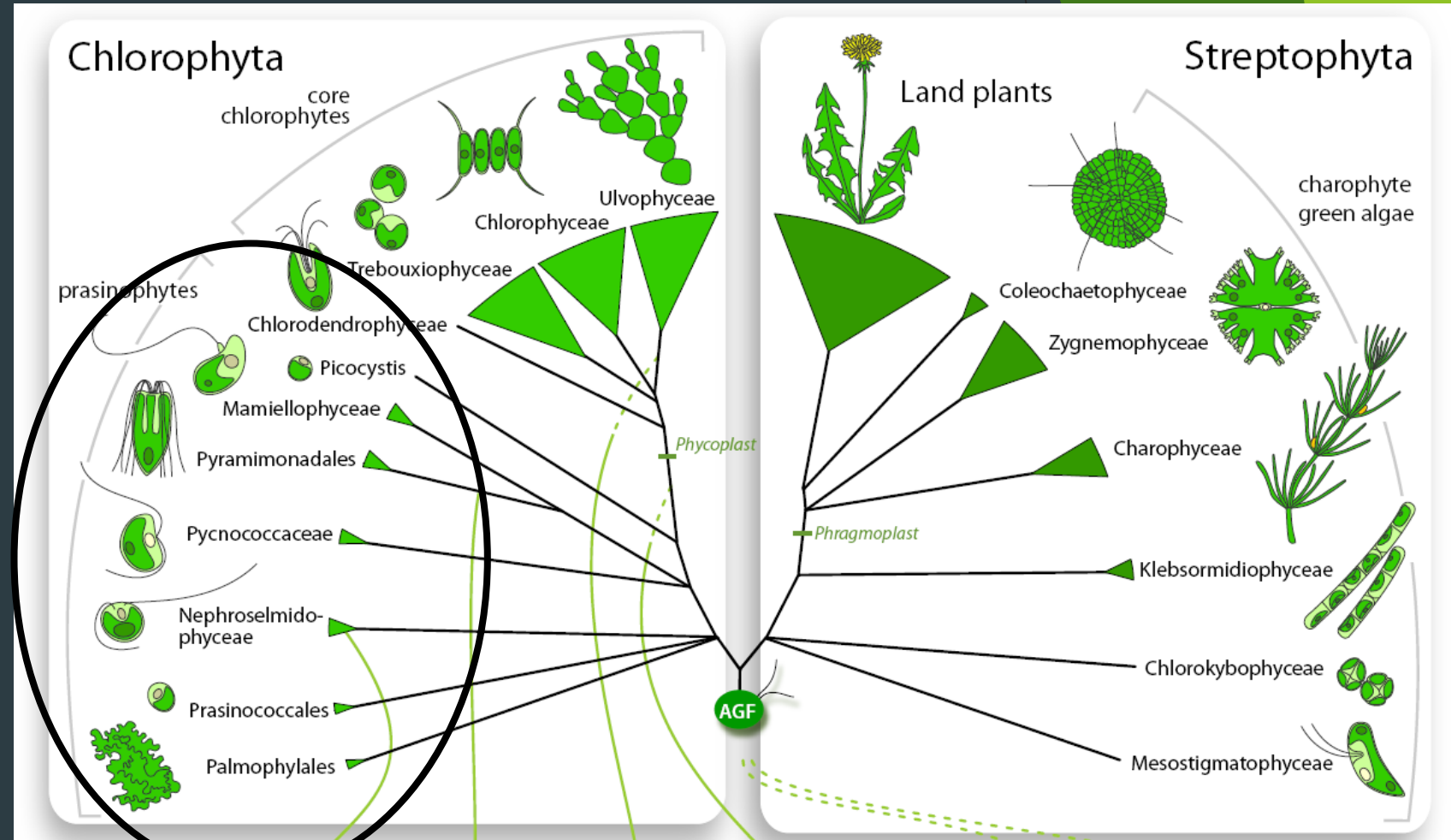
- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Primární plastidy (chloroplasty)

❖ Chlorophyta

❖ bazální linie

- ❖ parafylum
- ❖ převážně mořští pikoplantní bičíkovci
- ❖ variabilita bičíků (počet, tvar)



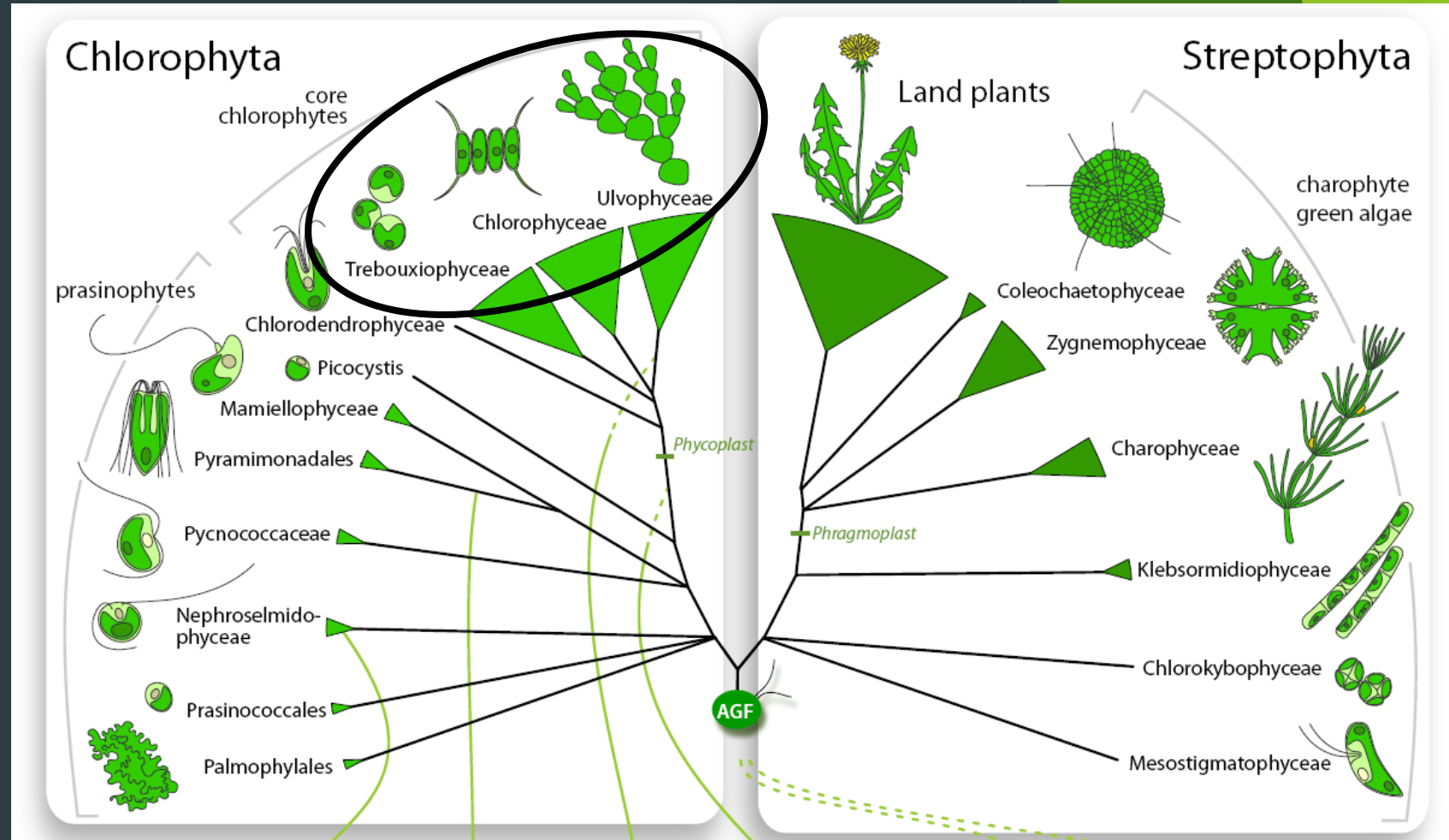
Leliaert et al, 2012

▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Primární plastidy (chloroplasty)

- ❖ Chlorophyta - „core“
- ❖ „UTC clade“
většina diverzity



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

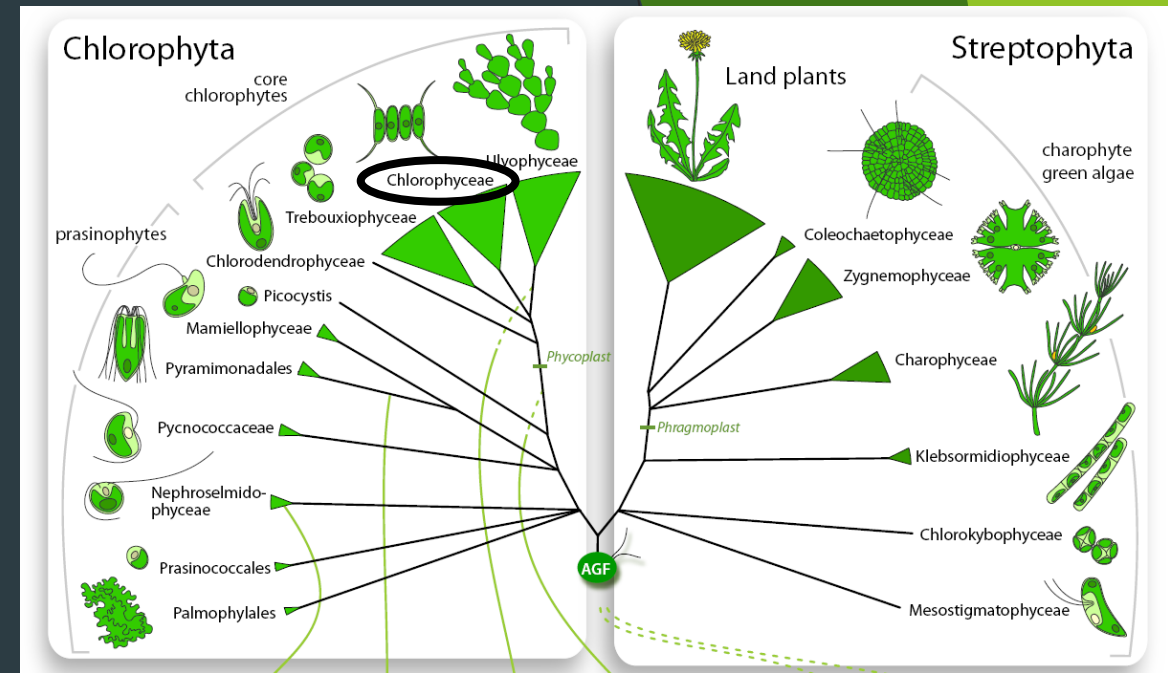
- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Primární plastidy (chloroplasty)

❖ Chlorophyta - „core“

❖ Chlorophyceae

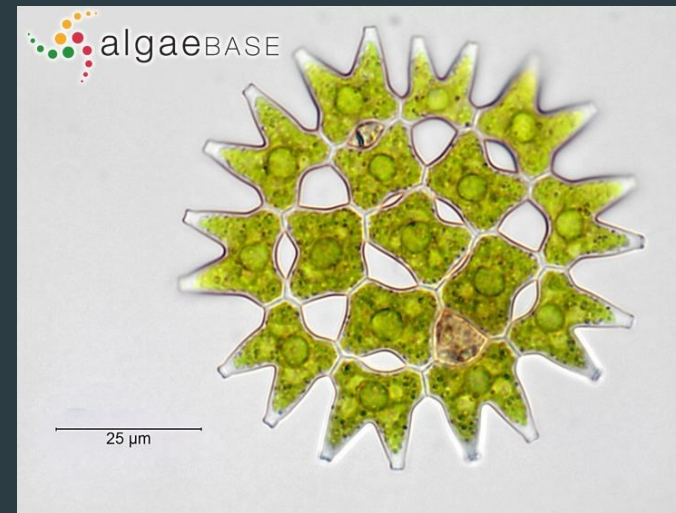
- ❖ převážně sladkovodní
- ❖ fytoplankton rybníků
- ❖ **cenobia**



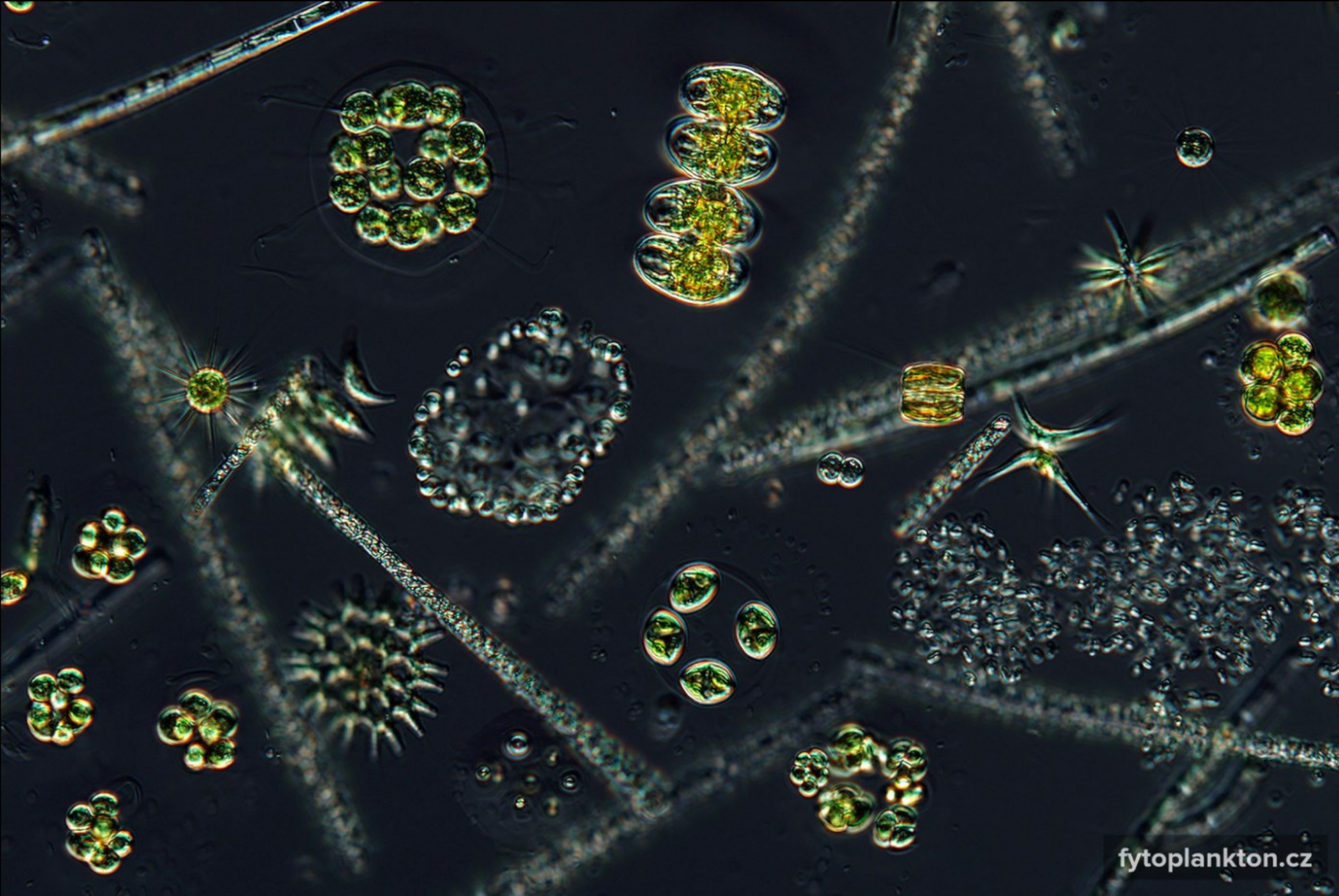
Leliaert et al, 2012



Desmodesmus



Pediastrum



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

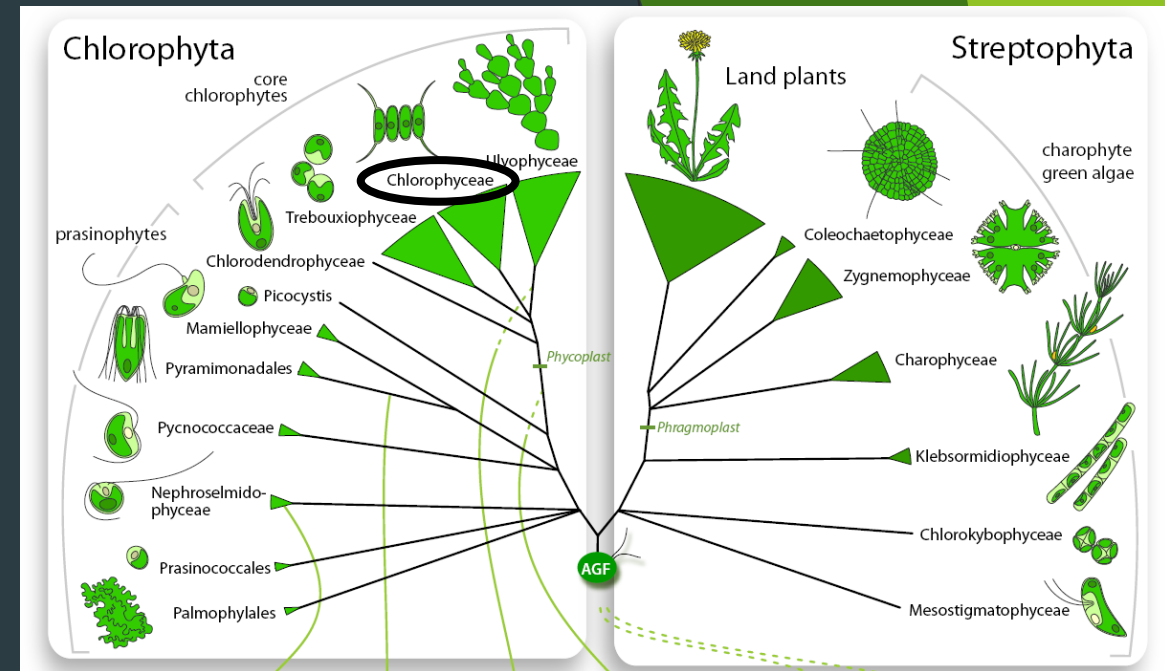
Primární plastidy (chloroplasty)

❖ Chlorophyta - „core“

❖ Chlorophyceae

- ❖ převážně sladkovodní
- ❖ fytoplankton rybníků
- ❖ cenobia

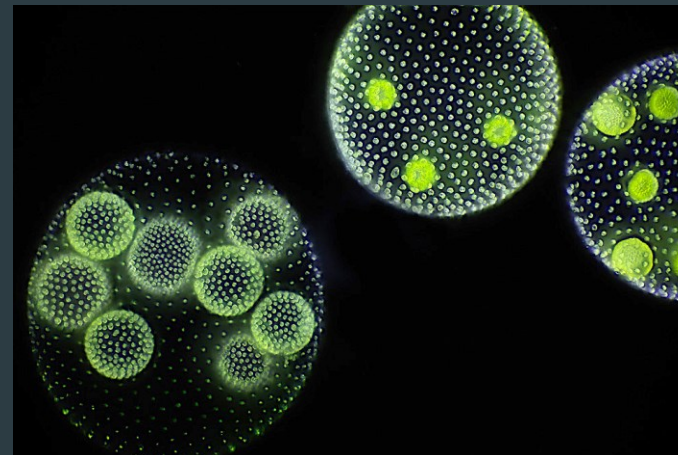
❖ bičíkovci (modelové organismy)



Leliaert et al, 2012



Chlamydomonas
(pláštěnka)



Volvox
(váleč)



► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

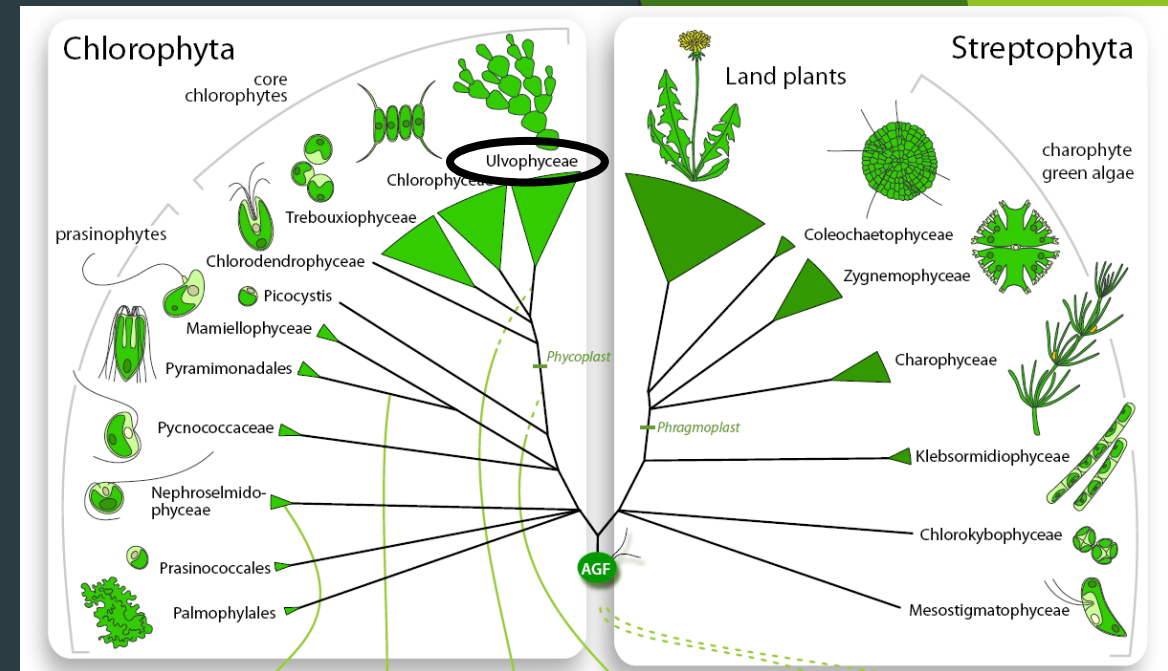
- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Primární plastidy (chloroplasty)

- ❖ Chlorophyta - „core“
- ❖ Ulvophyceae
 - ❖ převážně mořské makrořasy



Ulva lactuca (= mořský salát)



Leliaert et al, 2012

▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Primární plastidy (chloroplasty)

❖ Chlorophyta - „core“

❖ Ulvophyceae

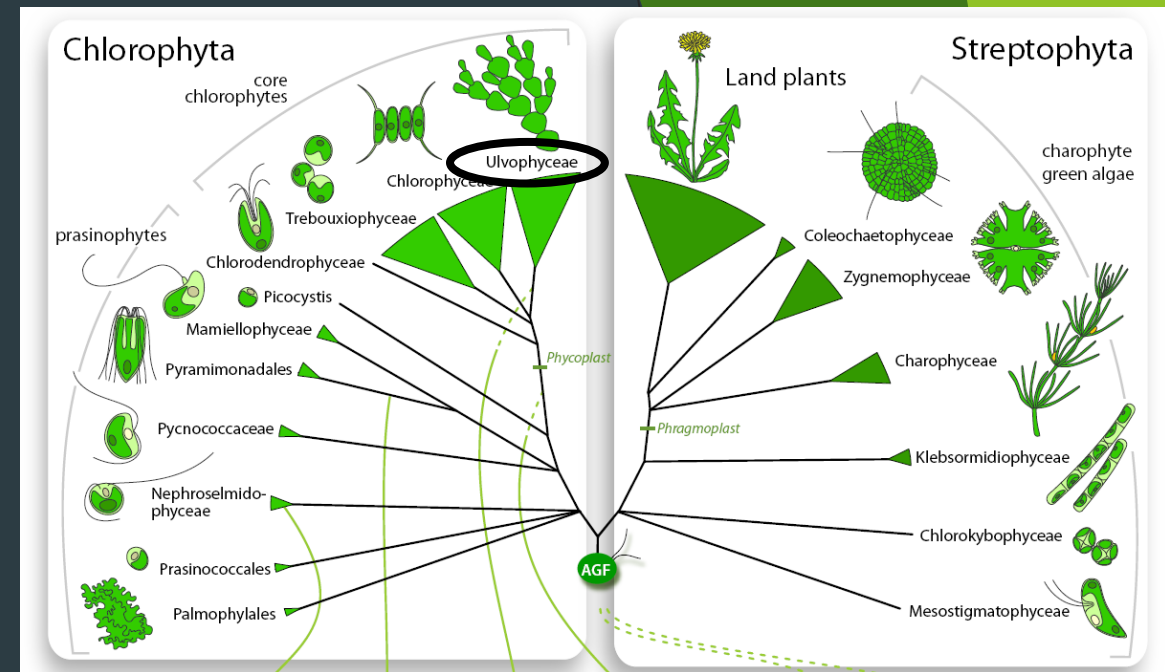
- ❖ převážně mořské makrořasy
- ❖ některé aerofyticky (borka/kámen/...)



Ulva lactuca (= mořský salát)



Trentepohlia



Leliaert et al, 2012

▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

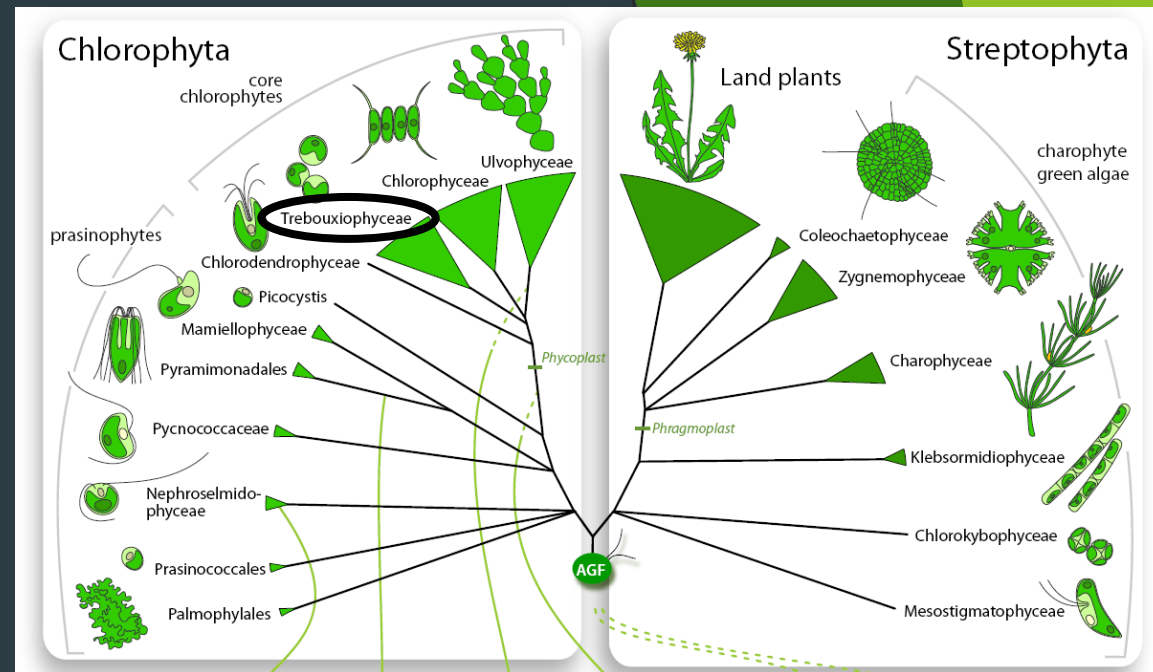
- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Primární plastidy (chloroplasty)

❖ Chlorophyta - „core“

❖ Trebouxiophyceae

- ❖ převážně aeroterestrické mikrořasy



Leliaert et al, 2012

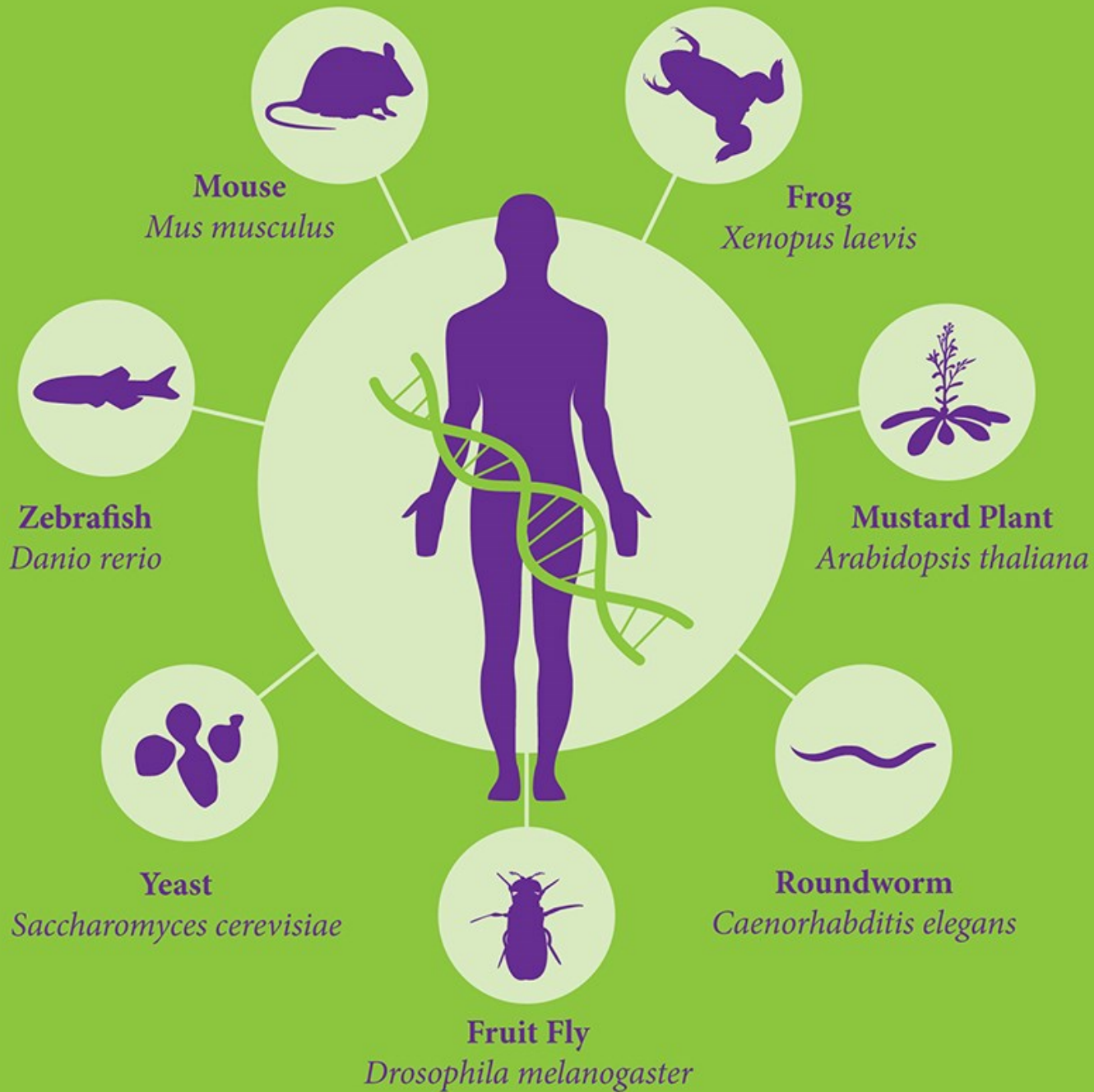


Apatococcus (zrněnka)



Chlorella (zelenivka)





▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

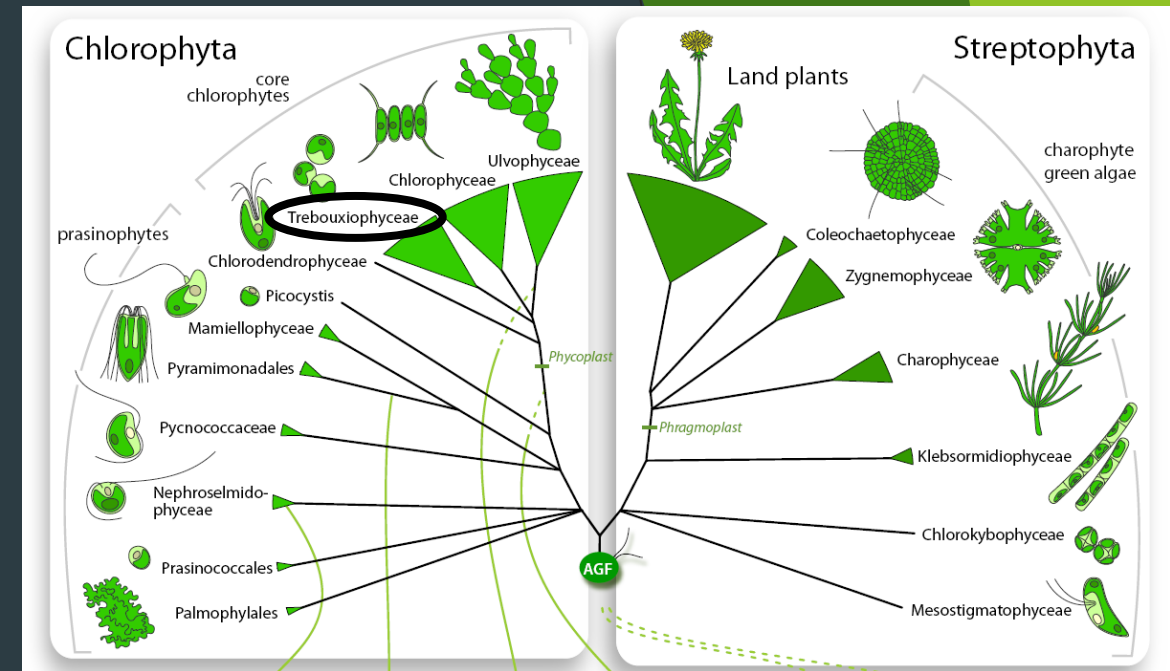
- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Primární plastidy (chloroplasty)

❖ Chlorophyta - „core“

❖ Trebouxiophyceae

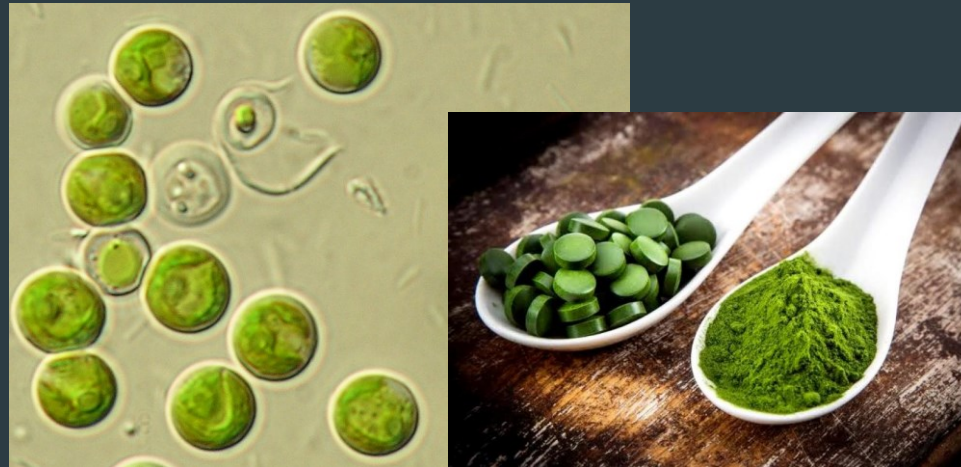
- ❖ převážně aeroterestrické mikrořasy
- ❖ častí symbionti (zoochlorelly) - lišejníky, nálevníci, nezmar



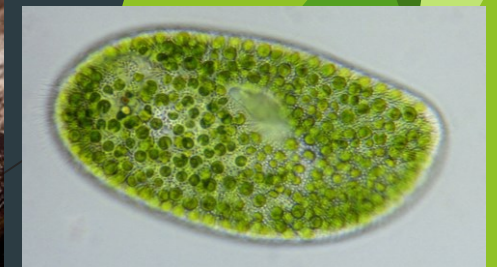
Leliaert et al, 2012



Apatococcus (zrněnka)



Chlorella (zelenivka)



Paramecium (trepka)
+ zoochlorelly



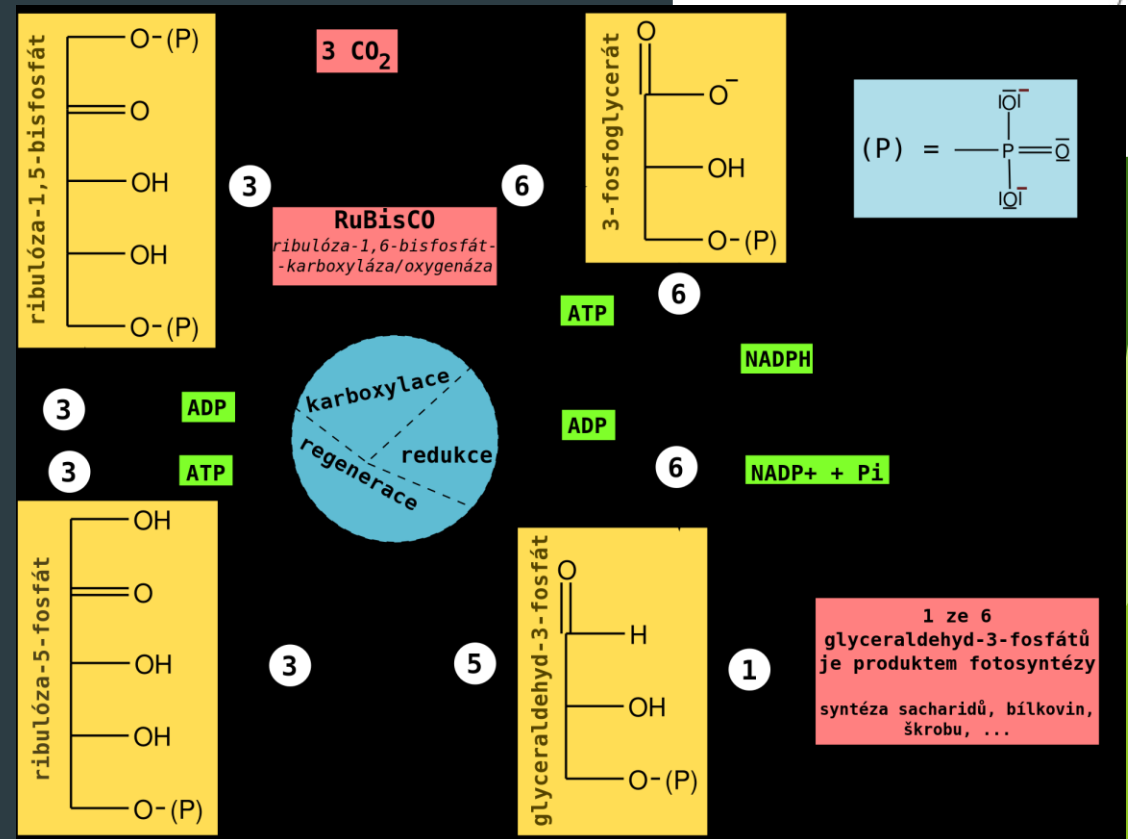
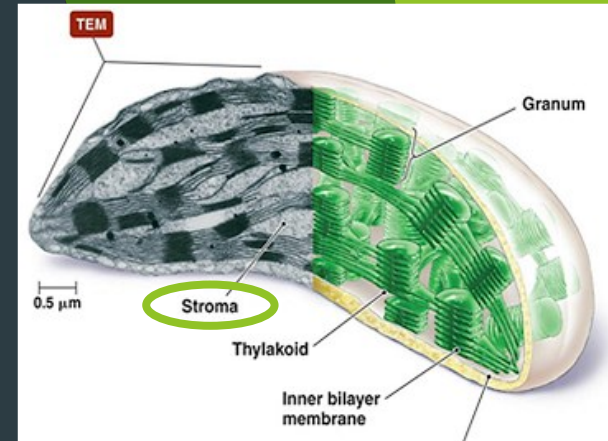
Calvin-Benson-Bassham cycle
(= Calvinův cyklus)

Chlorella (Trebouxiophyceae)
a *Desmodesmus* (Chlorophyceae)

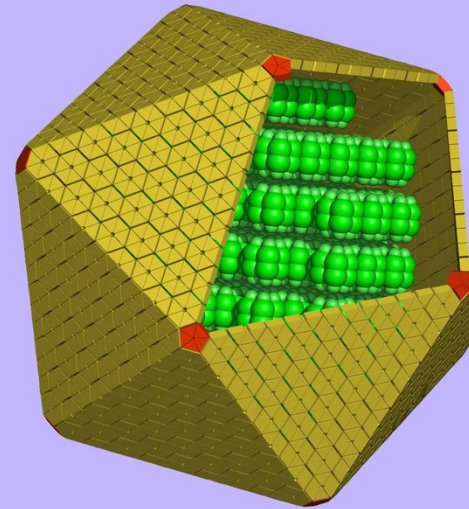
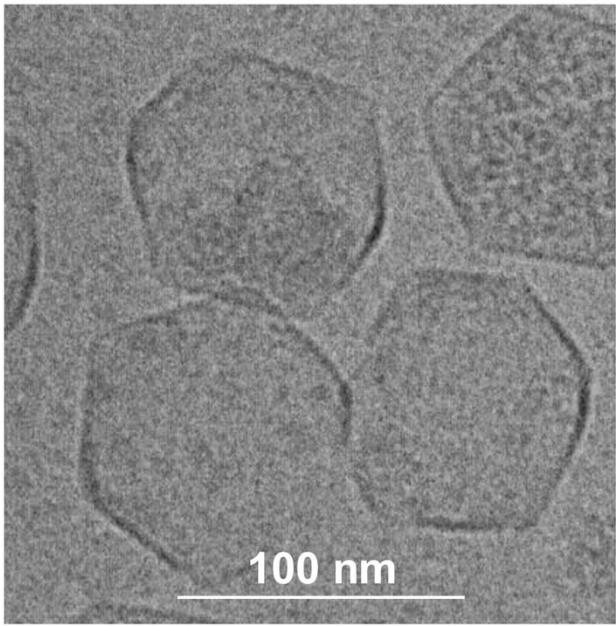




Calvin-Benson-Bassham cycle (= Calvinův cyklus)



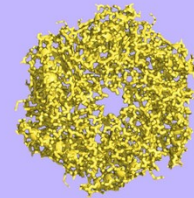
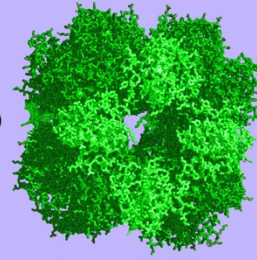
Chlorella (Trebouxiophyceae)
a *Desmodesmus* (Chlorophyceae)



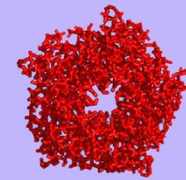
The carboxysome

Enzymes and shell proteins

RuBisCO



hexamers



pentamers



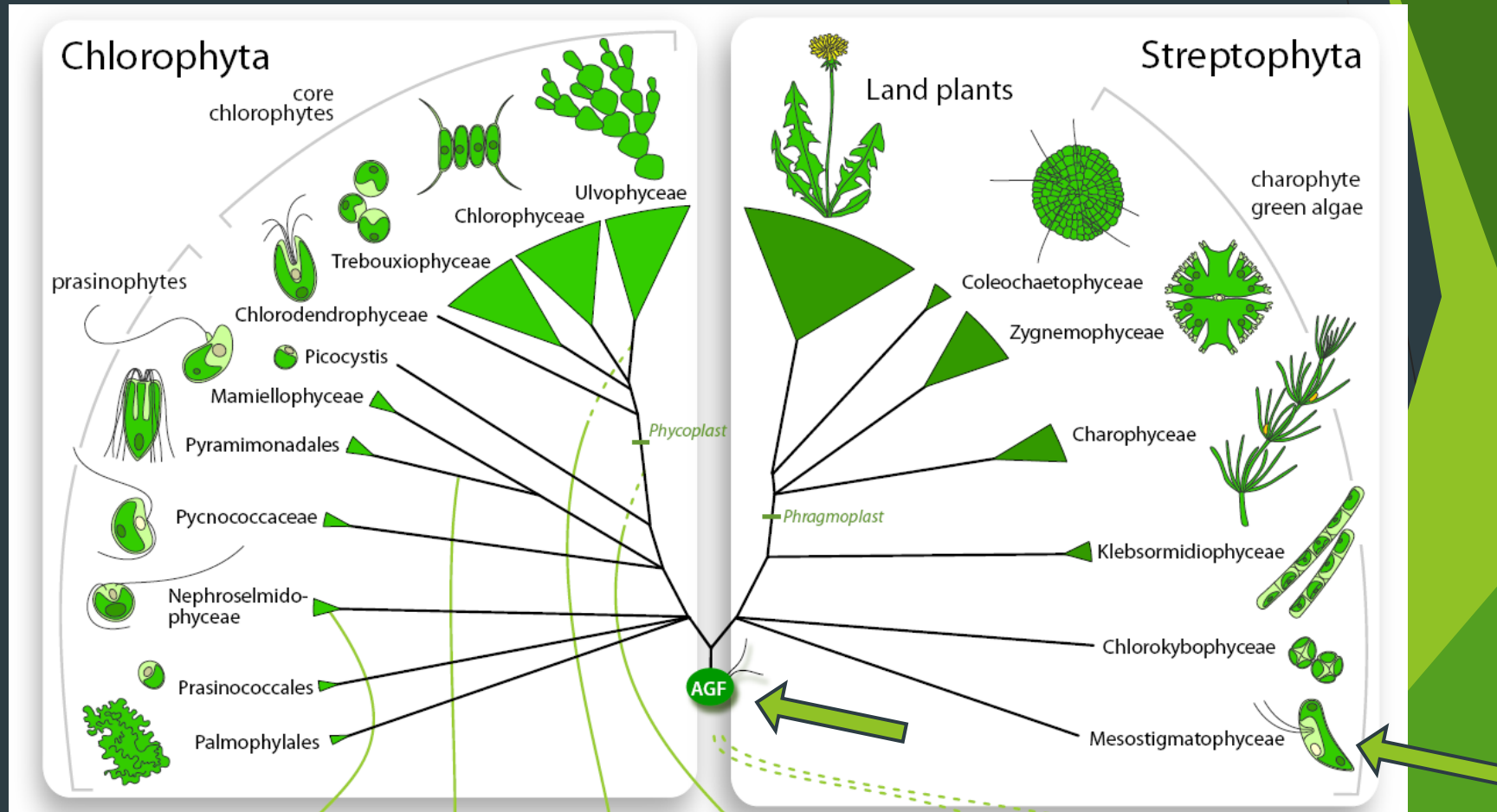
Pyrenoid

▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Primární plastidy (chloroplasty)

❖ Streptophyta



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

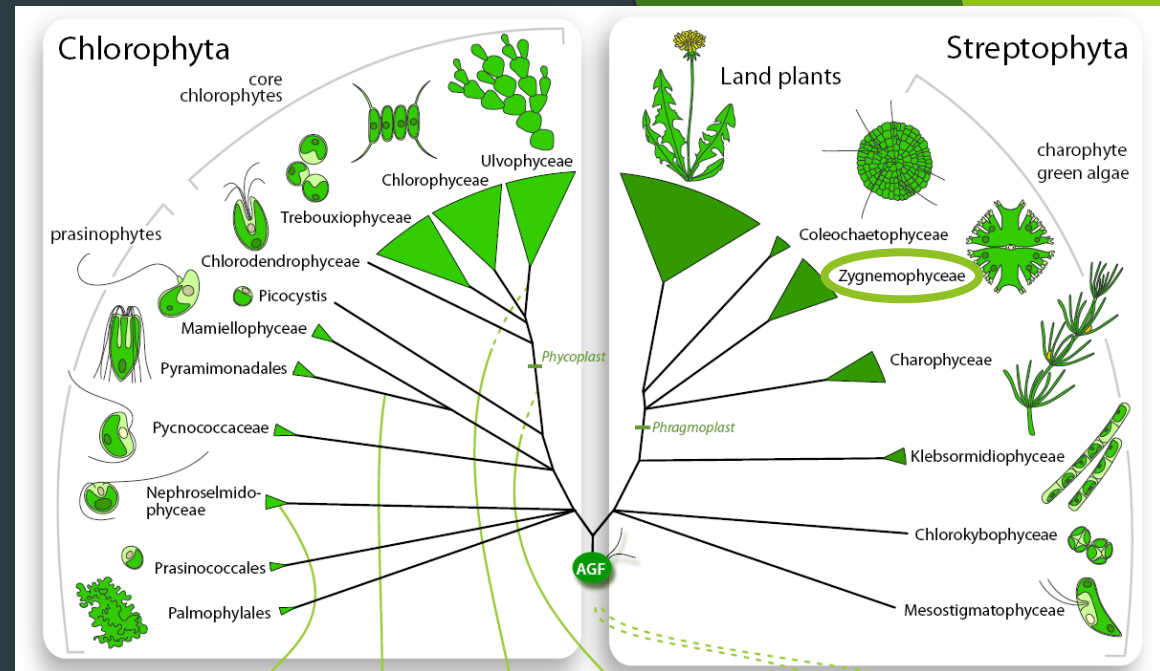
- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Primární plastidy (chloroplasty)

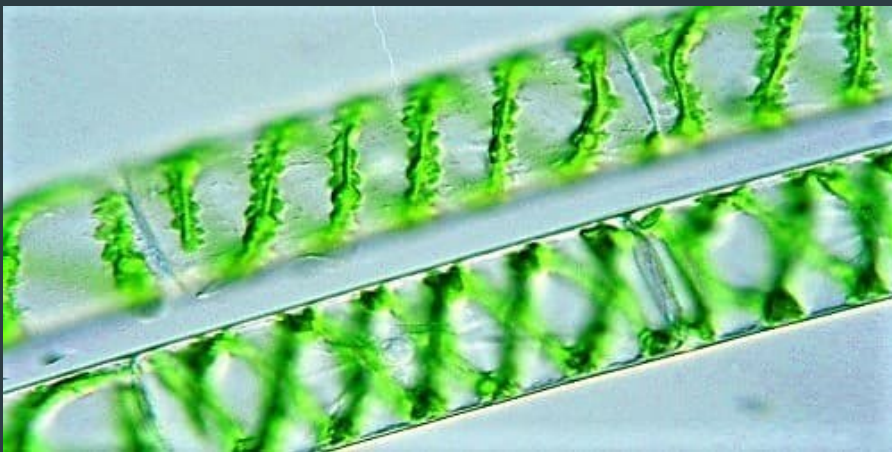
❖ Streptophyta

❖ Zygnematophyceae (spájivky)

- ❖ nejbližší příbuzní vyšších rostlin (Embryophyta)
- ❖ řasy sladkovodních mokřadů (rašeliniště, slatiniště aj.)
- ❖ vláknité i kokální (krásivky)
- ❖ preadaptace na přechod z vody na souš

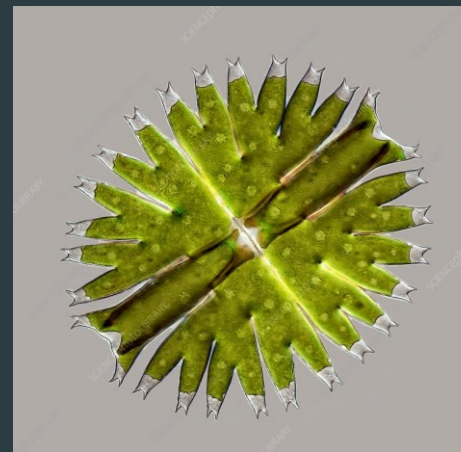


Leliaert et al, 2012



Spirogyra

Micrasterias

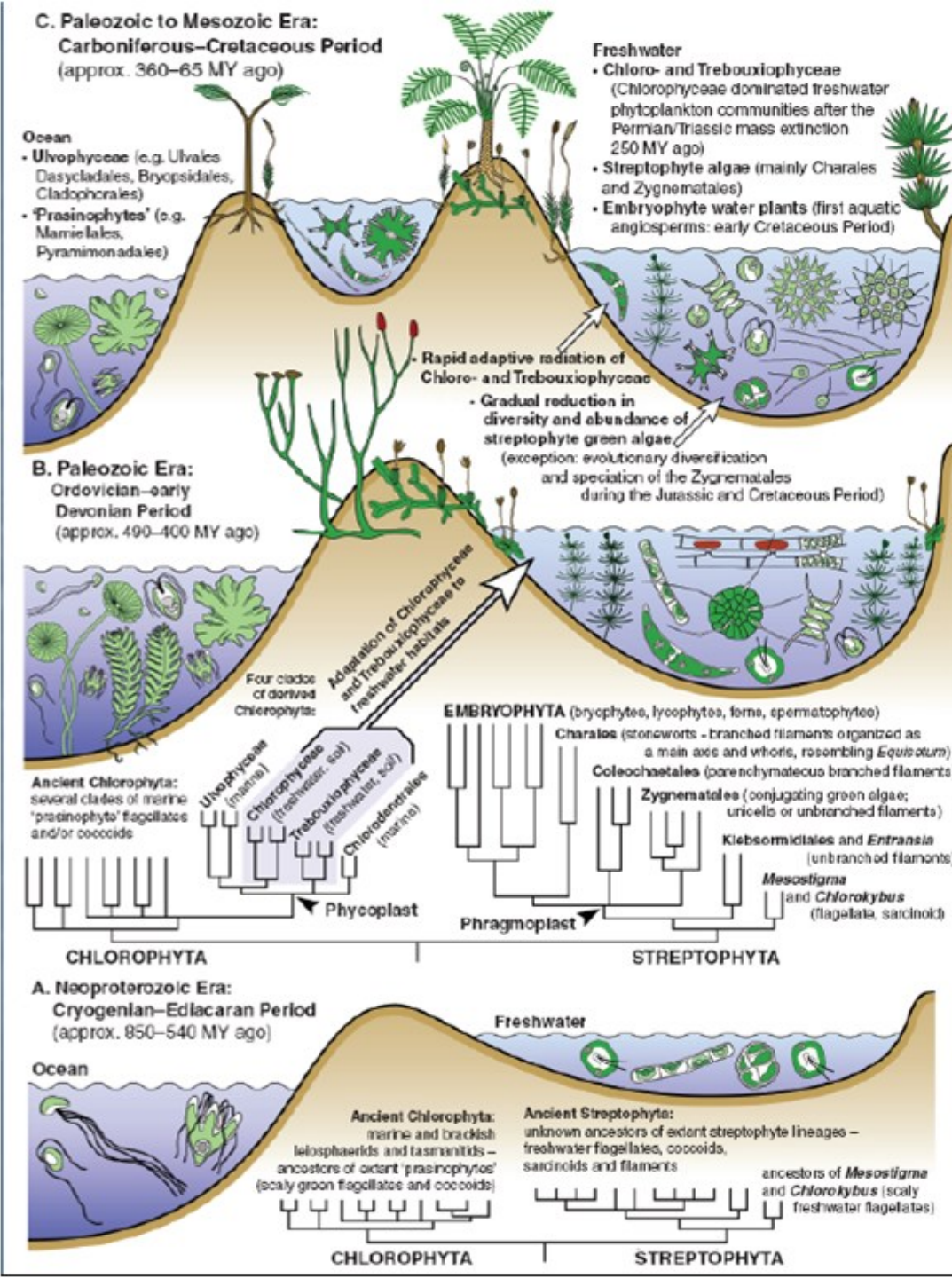


FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

přechod z vody na souš

❖ ...je příběh na jinou přednášku v cyklu ZSR...=)



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Archaeplastida (= Plantae s.l., rostliny)

❖ a jak to bylo dál s fotosyntézou oxygenního typu???

FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Archaeplastida (= Plantae s.l., rostliny)

- ❖ a jak to bylo dál s fotosyntézou oxygenního typu???

EUKARYOTIC CELL, July 2011, p. 856–868
1535-9778/11/\$12.00 doi:10.1128/EC.00326-10
Copyright © 2011, American Society for Microbiology. All Rights Reserved.

Vol. 10, No. 7

MINIREVIEW

Do Red and Green Make Brown?: Perspectives on Plastid Acquisitions within Chromalveolates[∇]

Richard G. Dorrell* and Alison G. Smith

Department of Plant Sciences, University of Cambridge, Downing Street, Cambridge CB2 3EA, United Kingdom

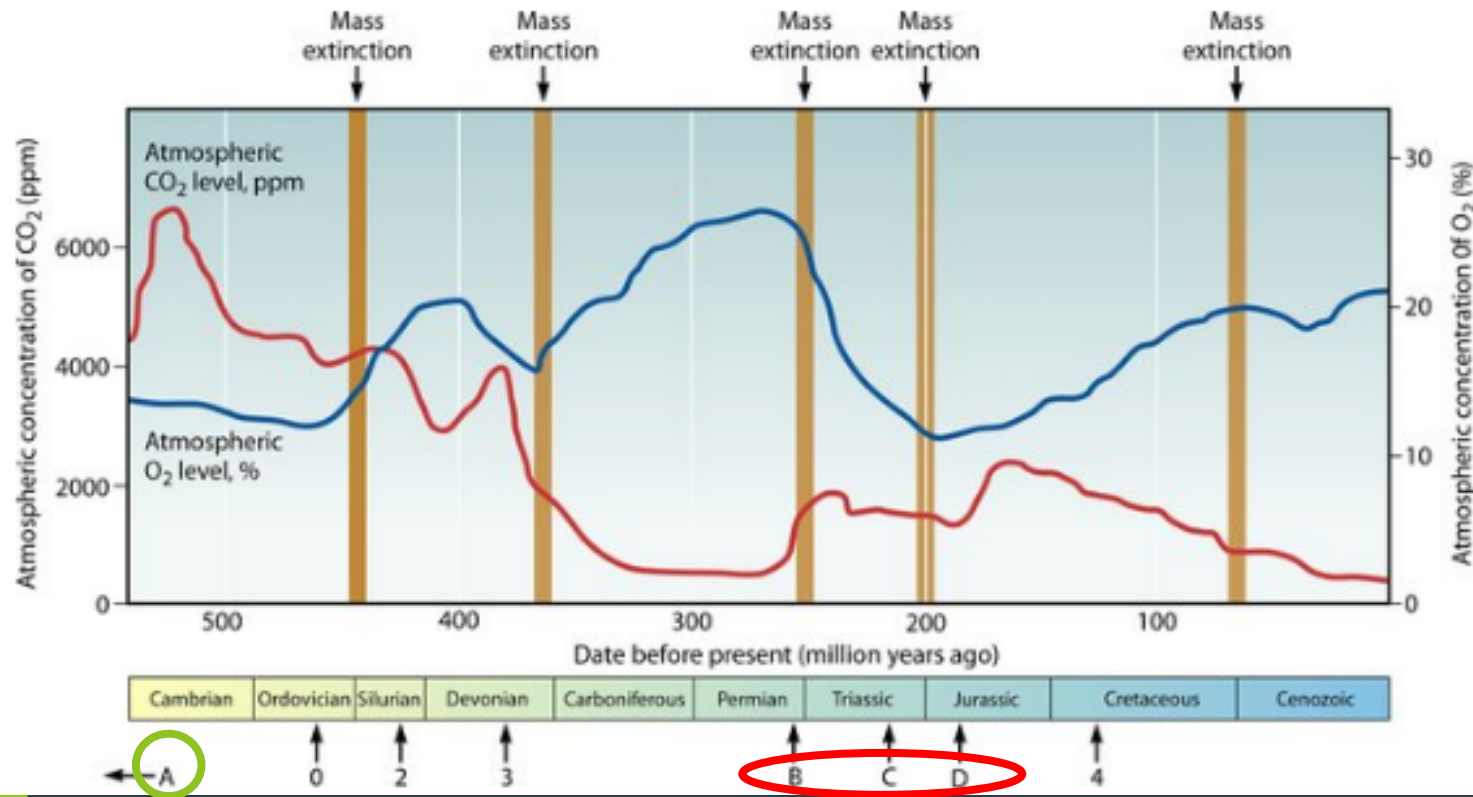


FIG. 5. A history of algal evolution. The timeline maps changes in atmospheric composition and global extinction events from the end of the Precambrian to the present. Vertical arrows indicate the origins of key photosynthetic eukaryotic lineages as determined from fossil records (A, 1 to 4) or from fossil constrained molecular data (B to D). (A to D) Algae (A), archaeplastids (B), dinoflagellates (C), haptophytes (D), diatoms. (0 and 2 to 4) Plants: 0, early land plants (embryophytes); 2, vascular plants; 3, conifers; 4, flowering plants. This image was created from data provided by the ENSEMBLE project (2, 8, 57, 77, 106, 107) and H. Griffiths, University of Cambridge (personal communication).

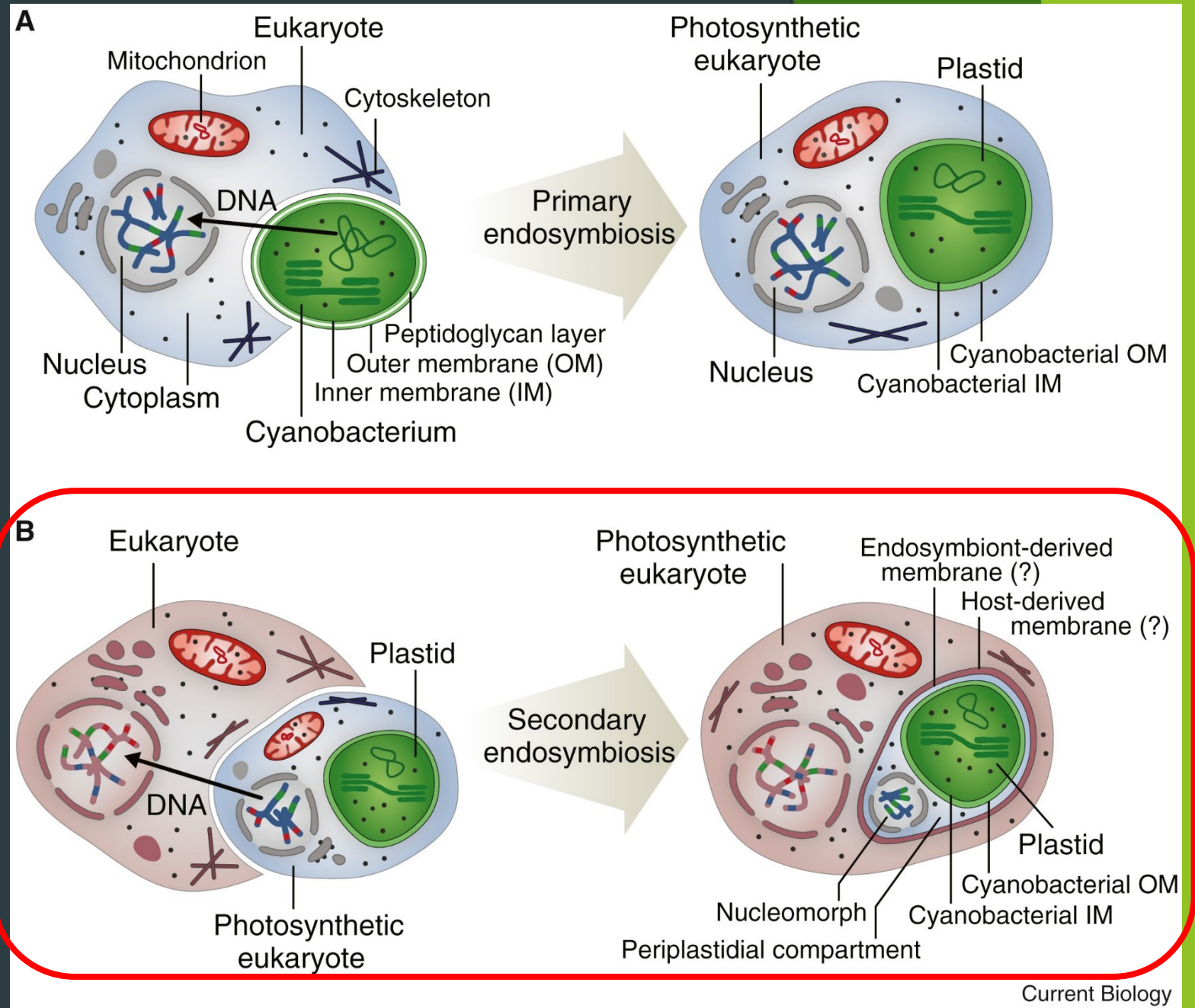
▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Vznik sekundárních plastidů

❖ sekundární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot (heterotrof)



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

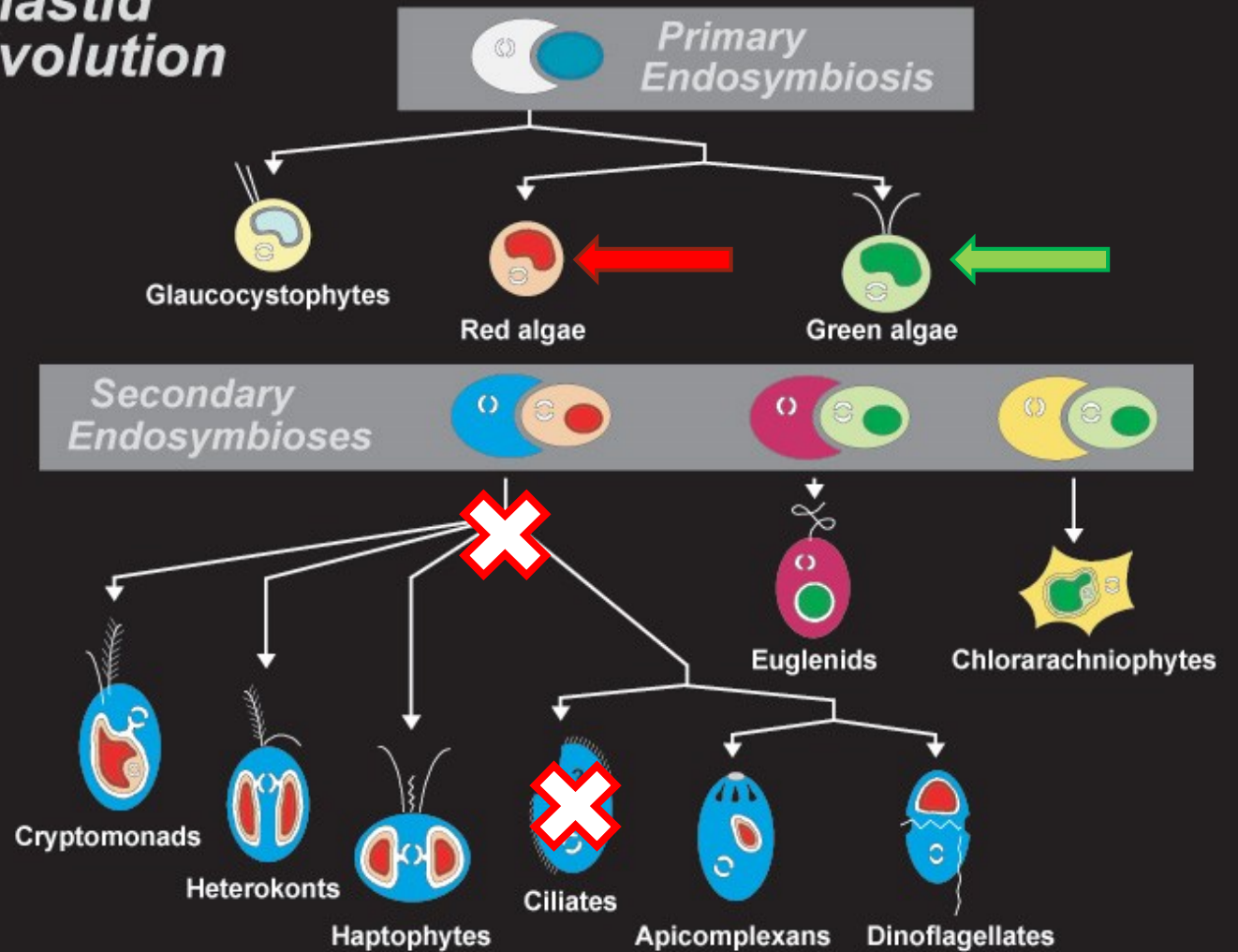
- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Vznik sekundárních plastidů

❖ sekundární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot (heterotrof)
- ❖ symbiont = eukaryot se **zeleným** nebo **červeným** plastidem (autotrof)

Plastid Evolution



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Vznik sekundárních plastidů

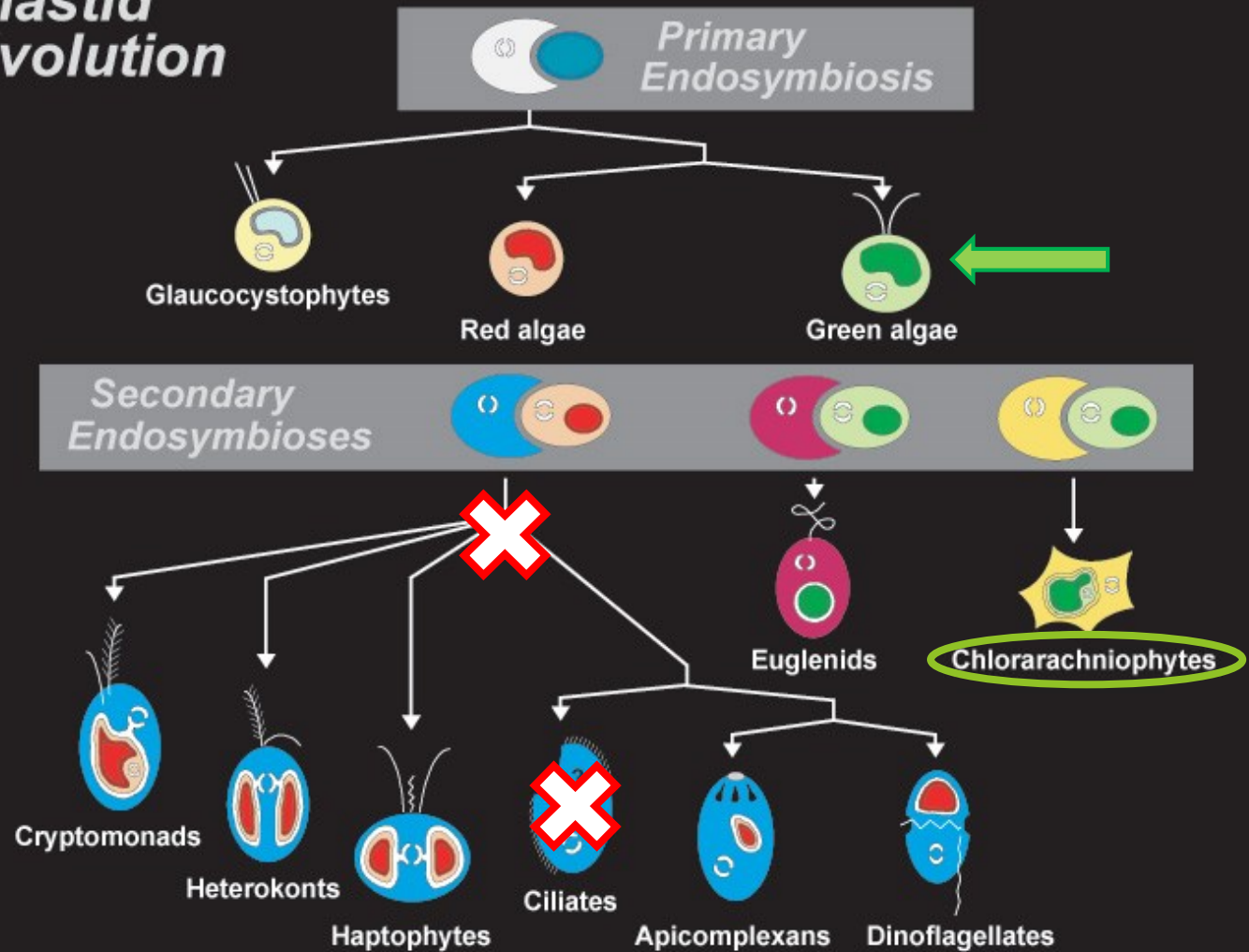
❖ sekundární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = eukaryot se **zeleným** nebo **červeným** plastidem

❖ zelený sekundární plastid

- ❖ Chlorarachniophyta (Rhizaria)

Plastid Evolution



► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

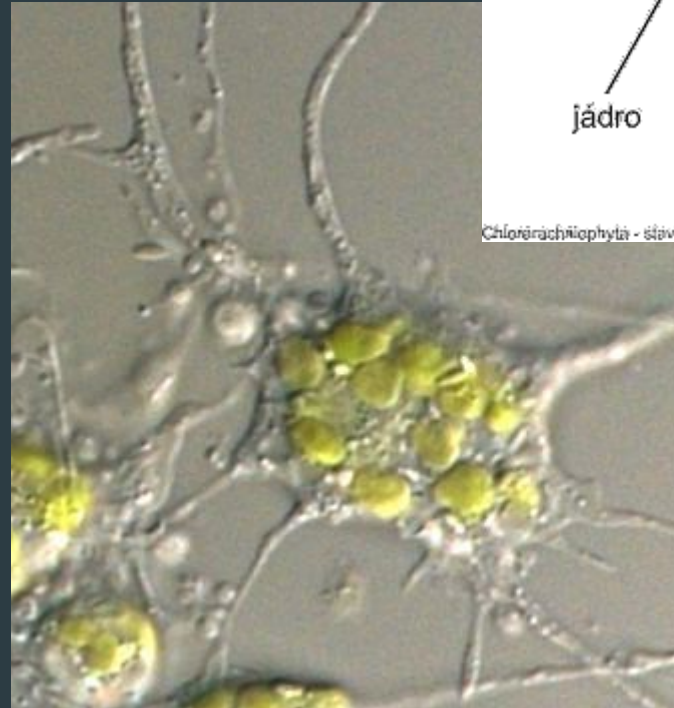
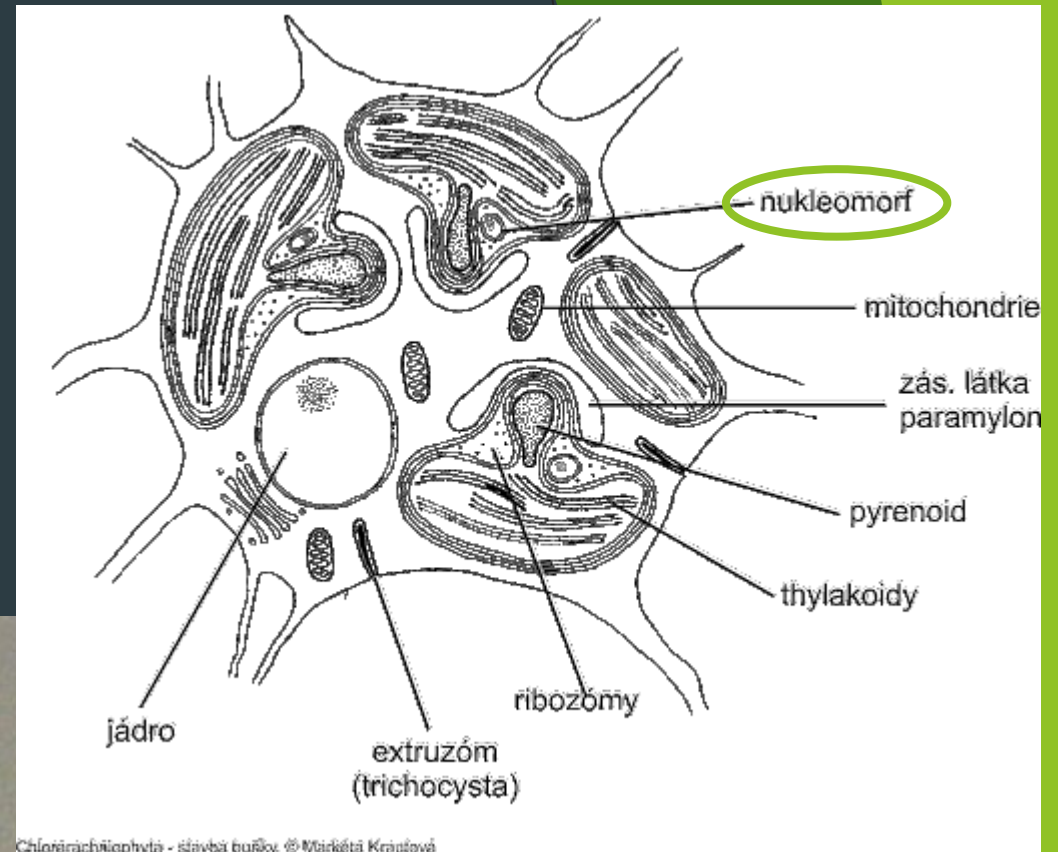
Vznik sekundárních plastidů

❖ sekundární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = eukaryot se **zeleným** nebo **červeným** plastidem

❖ zelený sekundární plastid

- ❖ Chlorarachniophyta (Rhizaria)



Chlorarachnion

► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Vznik sekundárních plastidů

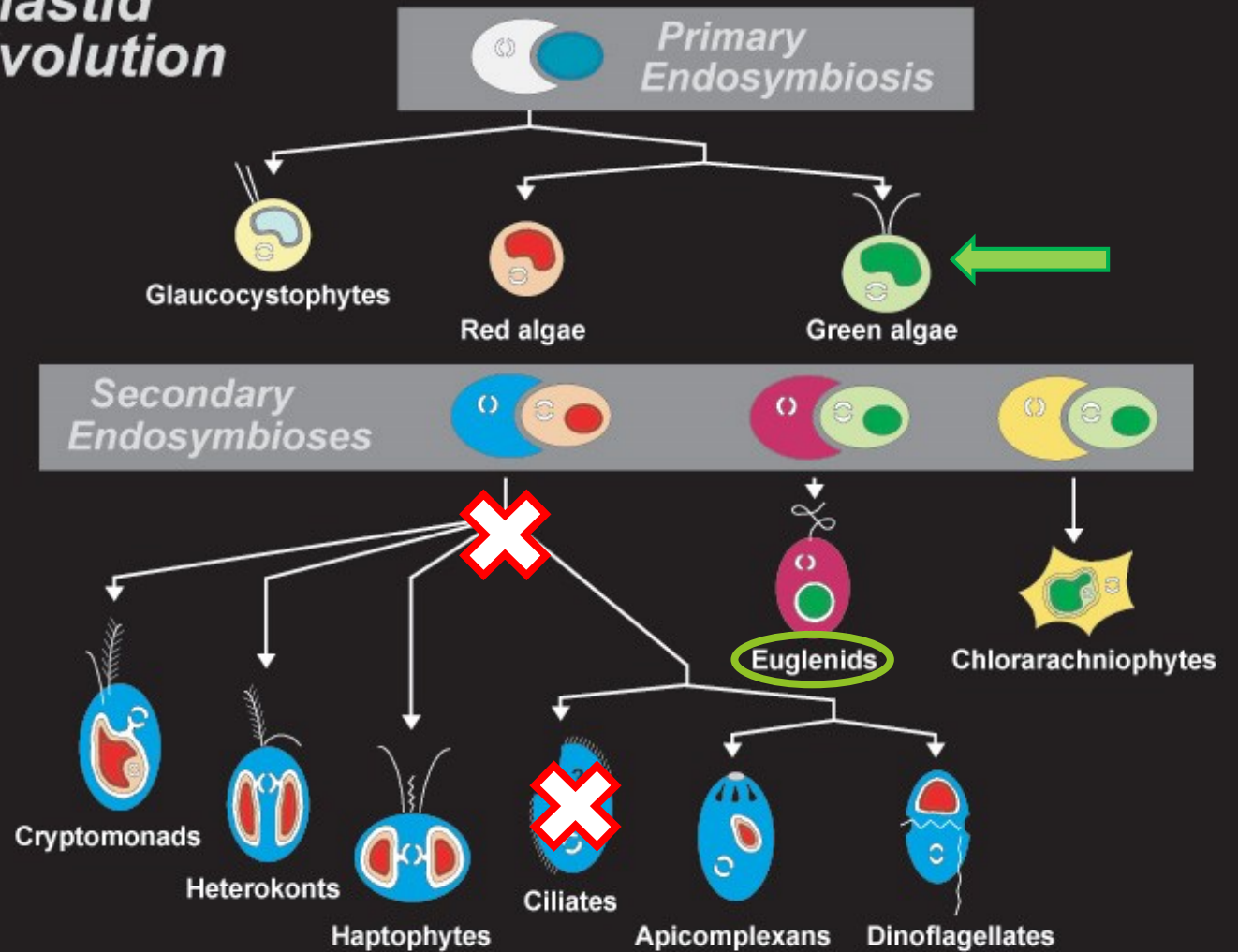
❖ sekundární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = eukaryot se **zeleným** nebo **červeným** plastidem

❖ zelený sekundární plastid

- ❖ Chlorarachniophyta (Rhizaria)
- ❖ Krásnoočka (Euglenales, Discoba, „Excavata“)

Plastid Evolution



► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

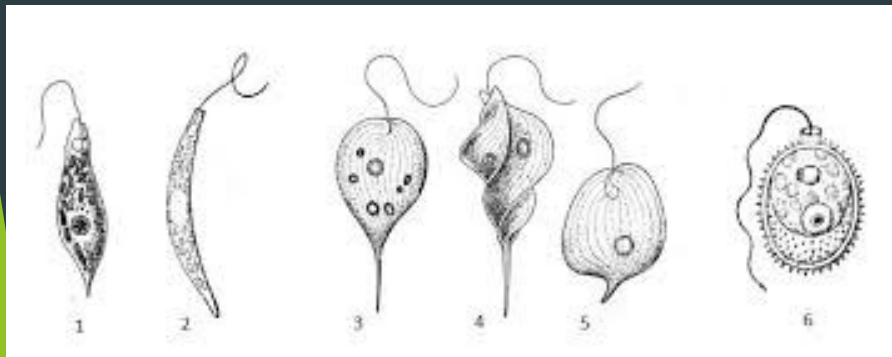
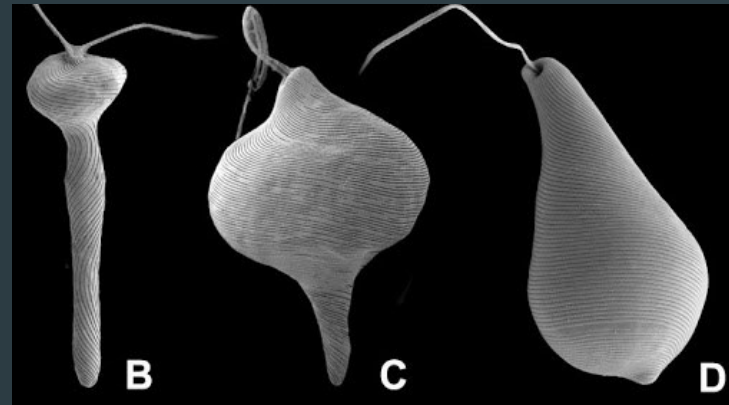
Vznik sekundárních plastidů

❖ sekundární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = eukaryot se **zeleným** nebo **červeným** plastidem

❖ zelený sekundární plastid

- ❖ Krásnoočka (Euglenales, Discoba, „Excavata“)



Euglena



► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

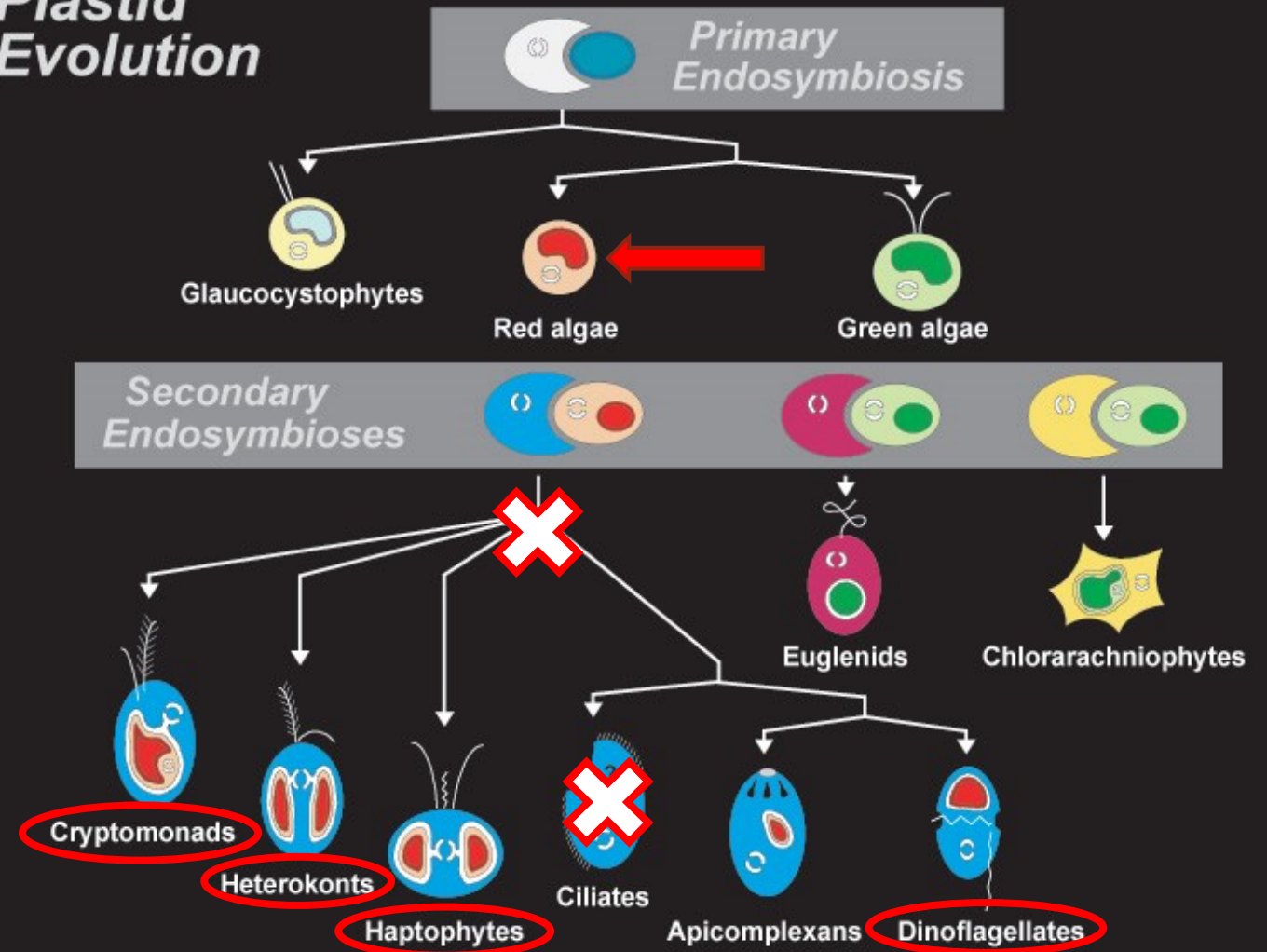
- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Vznik sekundárních plastidů

❖ sekundární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = eukaryot se **zeleným** nebo **červeným** plastidem
- ❖ **červený (=hnědý) sekundární plastid**
 - ❖ vznikl několikrát nezávisle

Plastid Evolution



► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

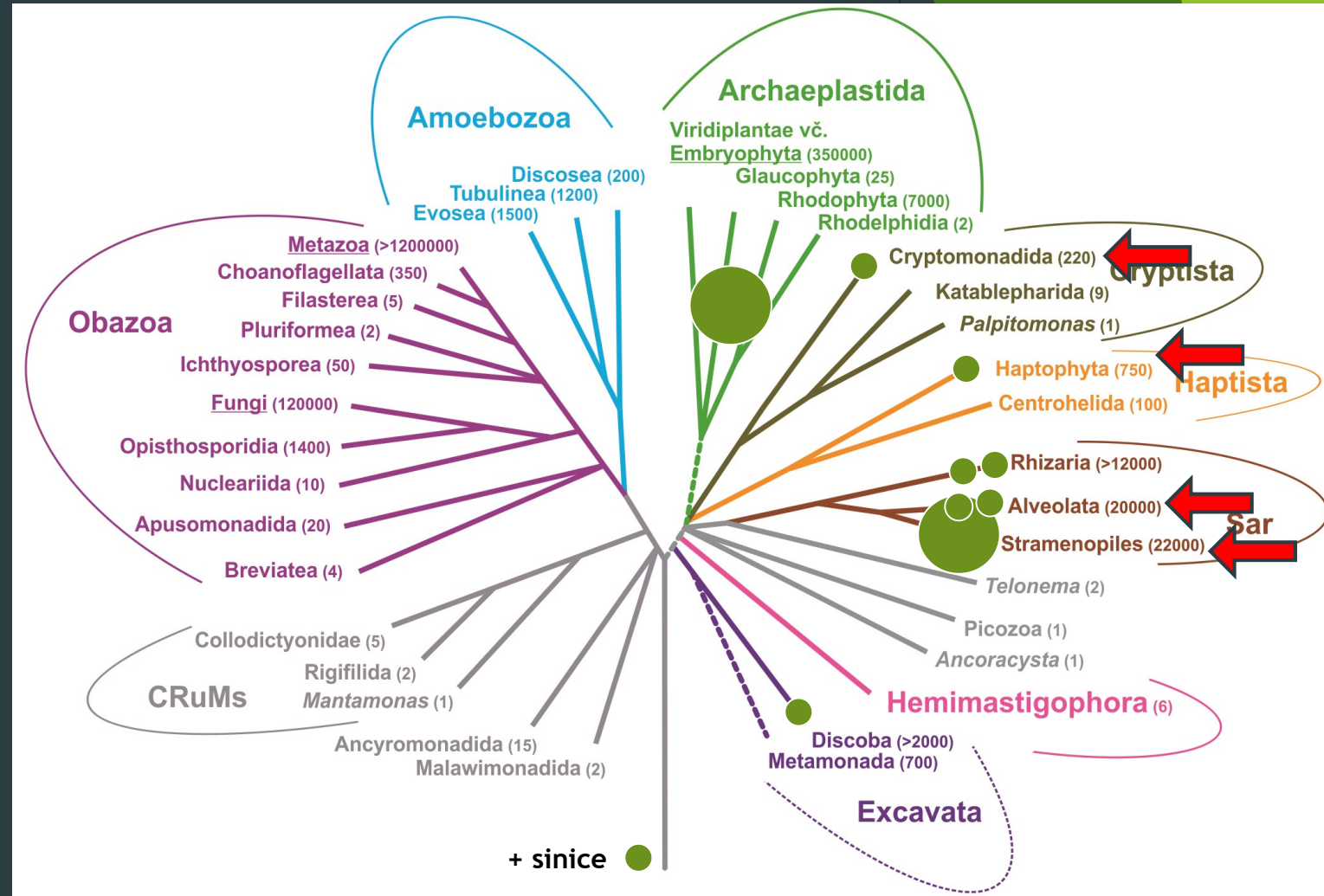
Vznik sekundárních plastidů

❖ sekundární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = eukaryot se **zeleným** nebo **červeným** plastidem

❖ červený (=hnědý) sekundární plastid

- ❖ Skrytěnky (Cryptophyta, Cryptista)
- ❖ Haptophyta (Haptista)
- ❖ Obrněnky (Dinophyceae, Alveolata, SAR, TSAR)
- ❖ Ochrophyta (Stramenopila, SAR, TSAR) - cca 10 tříd



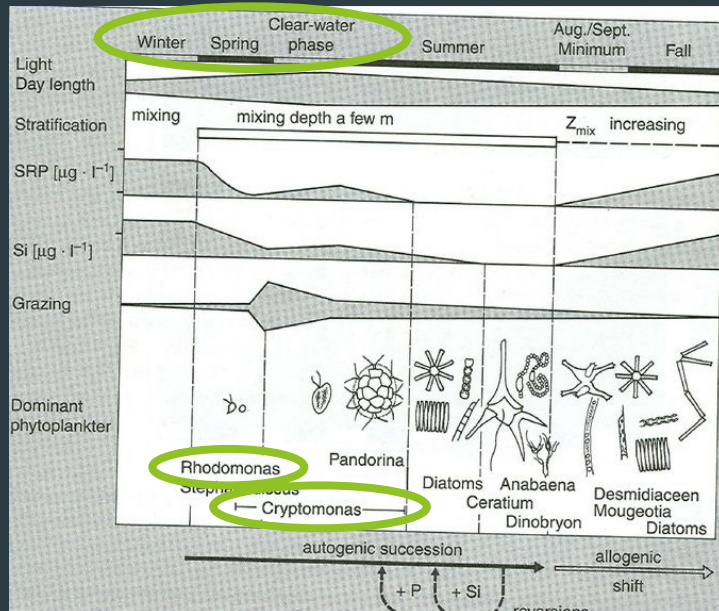
▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Vznik sekundárních plastidů

❖ sekundární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = eukaryot se **zeleným** nebo **červeným** plastidem
- ❖ **červený (=hnědý) sekundární plastid**
 - ❖ Skrytěnky (Cryptophyta, Cryptista)



PEG model



Cryptomonas

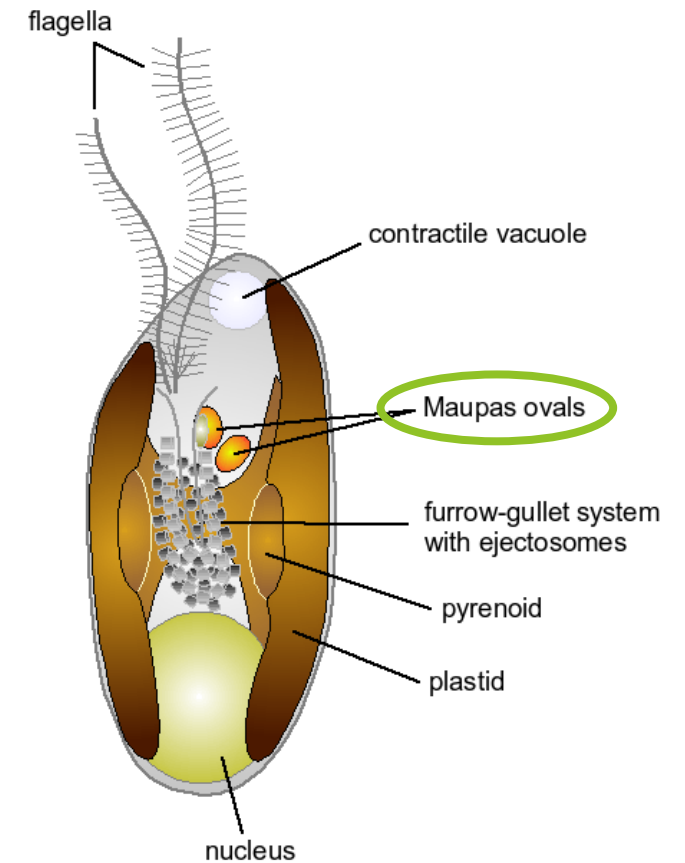


Fig. 1. Morphology of a *Cryptomonas* cell

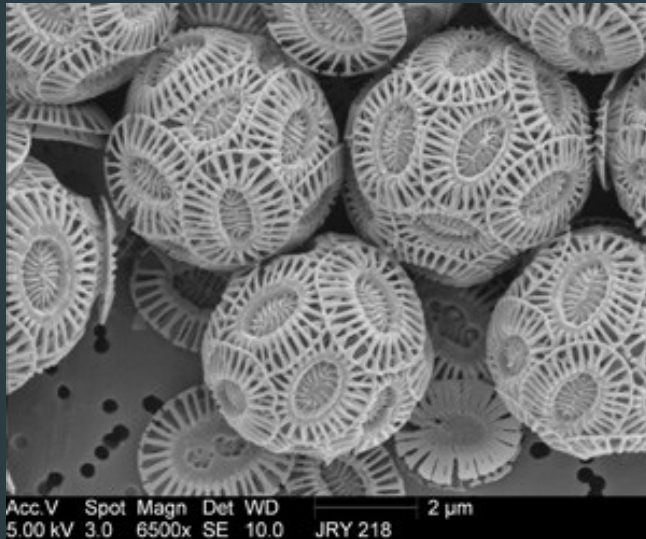
► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

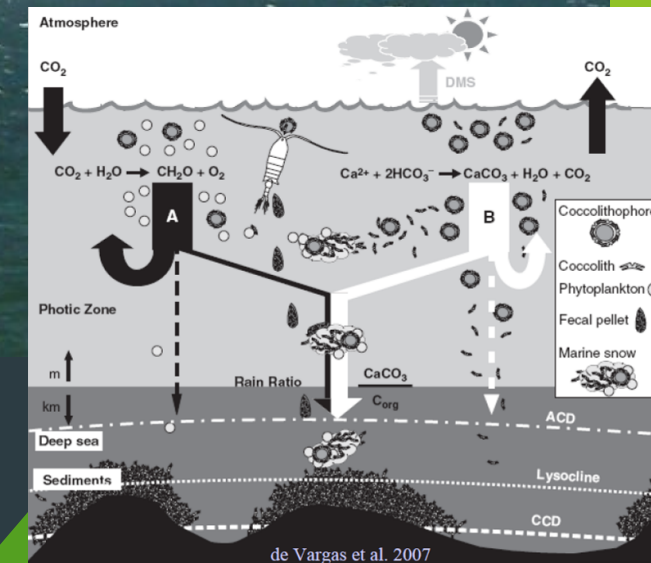
Vznik sekundárních plastidů

❖ sekundární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = eukaryot se **zeleným** nebo **červeným** plastidem
- ❖ **červený (=hnědý) sekundární plastid**
 - ❖ Haptophyta (Haptista)



Gephyrocapsa [Emiliana] huxleyi
= nejpočetnější eukaryot na planetě!



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

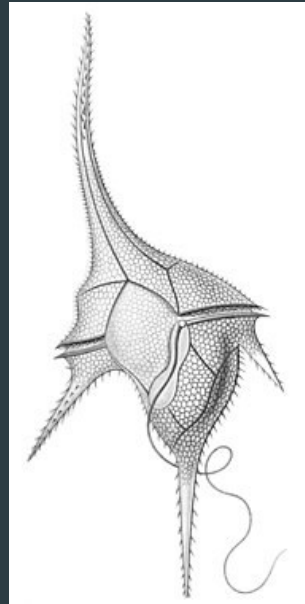
Vznik sekundárních plastidů

❖ sekundární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = eukaryot se **zeleným** nebo **červeným** plastidem
- ❖ **červený (=hnědý) sekundární plastid**
 - ❖ Obrněnky (Dinophyceae, Alveolata, SAR, TSAR)



Peridinium



Ceratium

▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

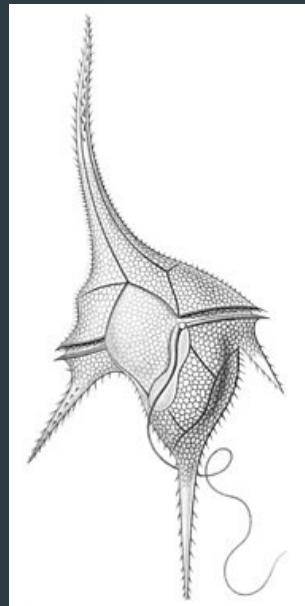
Vznik sekundárních plastidů

❖ sekundární endosymbióza

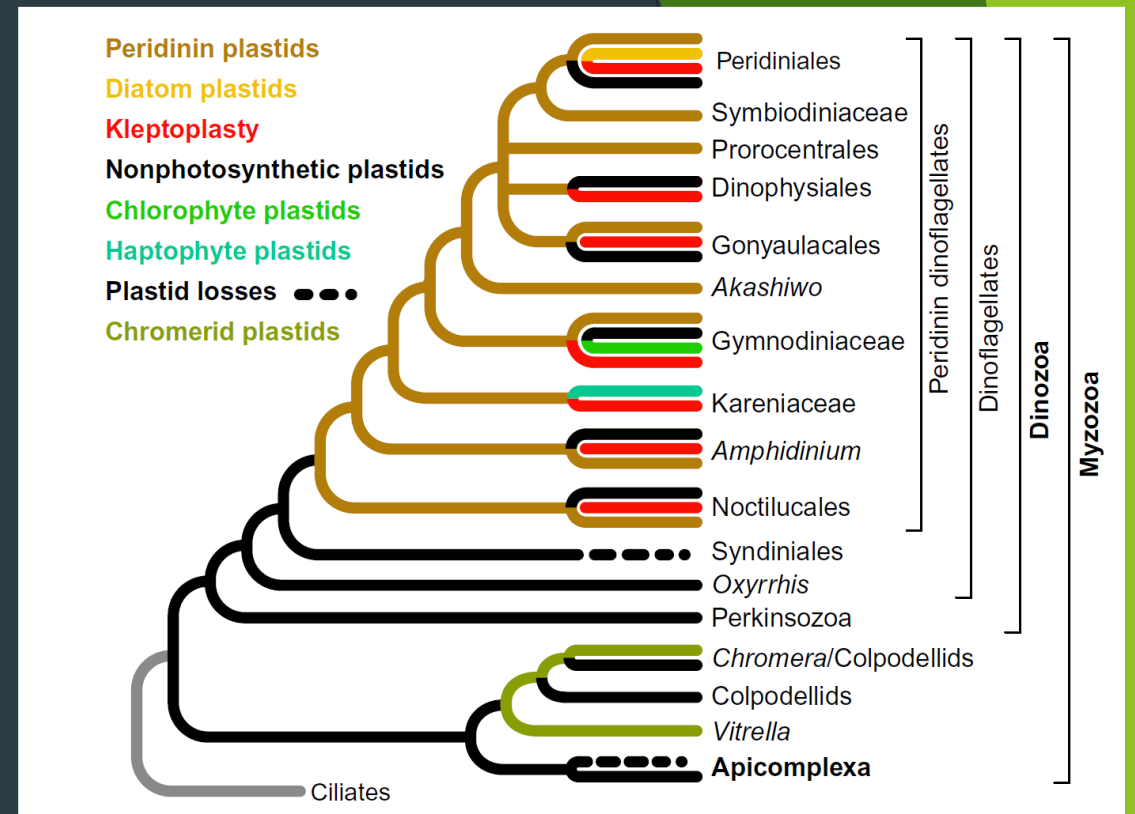
- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = eukaryot se **zeleným** nebo **červeným** plastidem
- ❖ **červený (=hnědý) sekundární plastid**
 - ❖ Obrněnky (Dinophyceae, Alveolata, SAR, TSAR)



Peridinium



Ceratium



Kořený a Waler 2017

▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

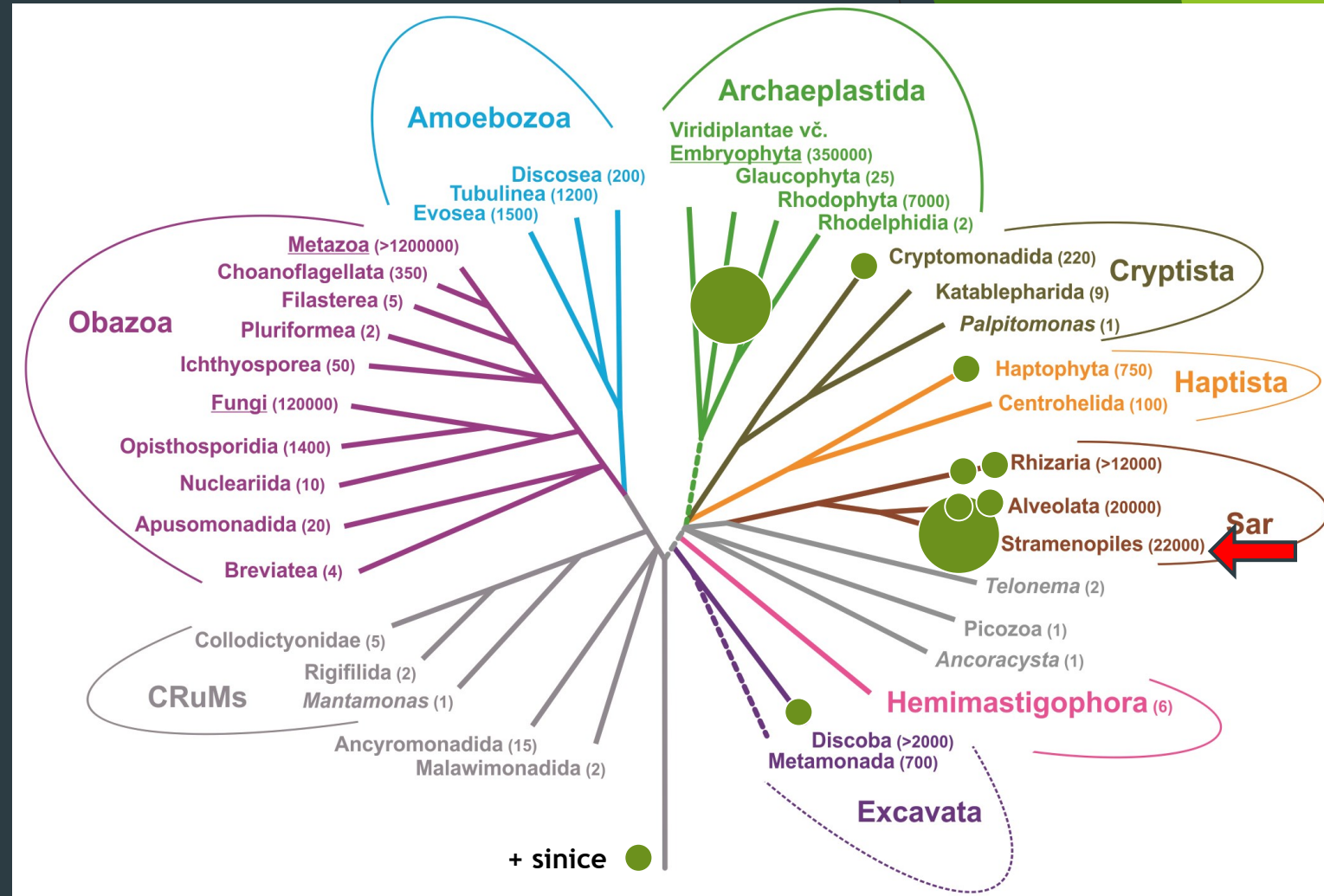
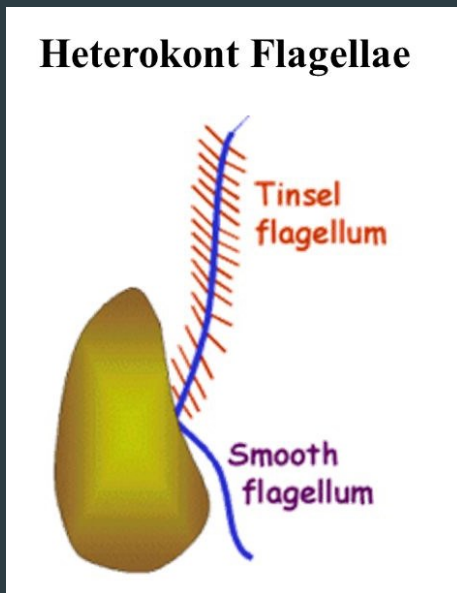
Vznik sekundárních plastidů

❖ sekundární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = eukaryot se **zeleným** nebo **červeným** plastidem

❖ červený (=hnědý) sekundární plastid

- ❖ Ochrophyta (Stramenopila, SAR, TSAR) - cca 10 tříd



▶ FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- ▶ objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Vznik sekundárních plastidů

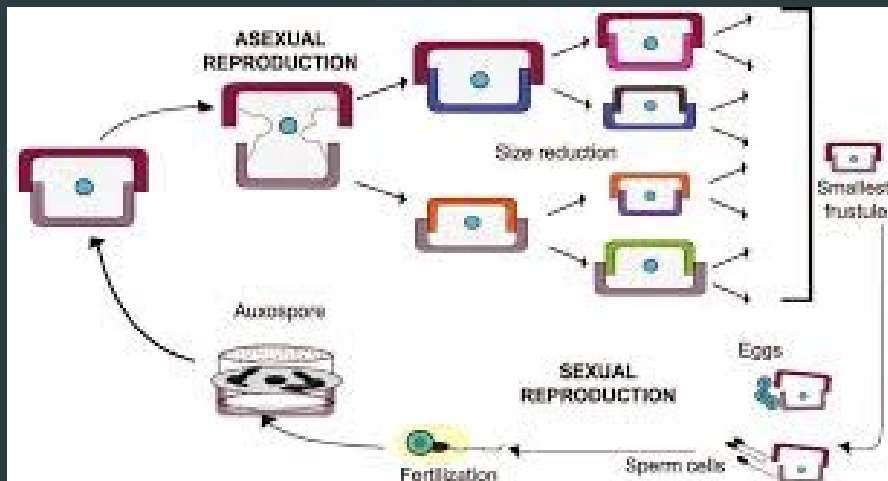
❖ sekundární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = eukaryot se **zeleným** nebo **červeným** plastidem

❖ **červený (=hnědý) sekundární plastid**

- ❖ Ochrophyta (Stramenopila, SAR, TSAR) - cca 10 tříd

- ❖ Rozsivky (Bacillariophyceae)



cca 1/4 světové
primární produkce!



<https://youtu.be/qxkbSk--EUY>

► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Vznik sekundárních plastidů

❖ sekundární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = eukaryot se **zeleným** nebo **červeným** plastidem
- ❖ **červený (=hnědý) sekundární plastid**
 - ❖ Ochrophyta (Stramenopila, SAR, TSAR) - cca 10 tříd
 - ❖ Rozsivky (Bacillariophyceae)
 - ❖ Chaluhy (Phaeophyceae)



Fucus

„kelp forest“ – *Macrocystis* aj.
až 45(80) m!
až 60 cm/den!



► FOTOSYNTETIZUJÍCÍ ORGANISMY

- objekty zájmu algologie (sinice a řasy)

Vznik sekundárních plastidů

❖ sekundární endosymbióza

- ❖ hostitel = eukaryot
- ❖ symbiont = eukaryot se **zeleným** nebo **červeným** plastidem

❖ **červený (=hnědý) sekundární plastid**

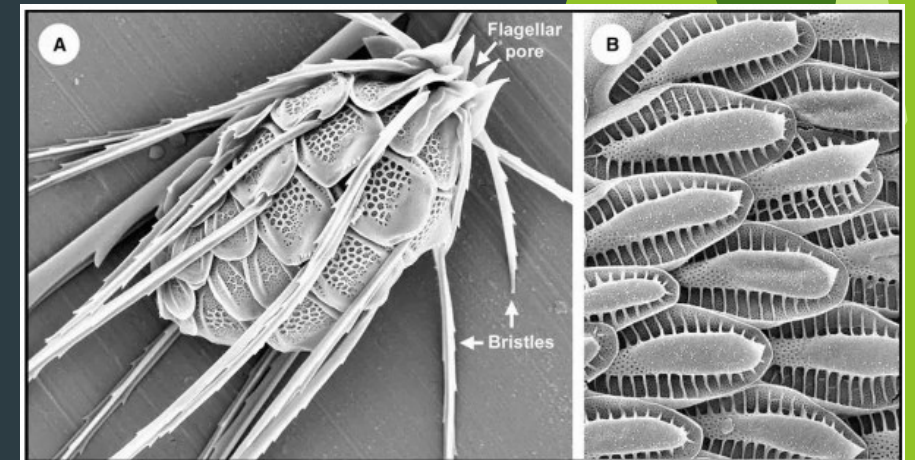
- ❖ Ochrophyta (Stramenopila, SAR, TSAR) - cca 10 tříd

- ❖ Rozsivky (Bacillariophyceae)
- ❖ Chaluhy (Phaeophyceae)
- ❖ Zlativky (Chrysophyceae)

Synura



Dinobryon



[In this image] SEM image of (A) the scales with long bristles on *Mallomonas* species; (B) detailed structure showing the spines, ribs, and pores.

Image source: Jo BY., et. al., *European Journal of Phycology*, 2016



užitečné odkazy:

- ❖ <https://botany.natur.cuni.cz/algo/praktika/index.html>
- ❖ <http://www.sinicearasy.cz/134/uvod>
- ❖ <https://www.youtube.com/watch?v=8dPG16sRPLQ>

[https://youtu.be/bcylbq3NhI0
?si=NmeKPtZh9Z-Rq5n7](https://youtu.be/bcylbq3NhI0?si=NmeKPtZh9Z-Rq5n7)