

A dense collection of various microscopic eukaryotic organisms, including protists, algae, and small animals, displayed against a black background. The organisms exhibit a wide range of colors (blue, green, orange, pink, purple, yellow) and shapes (rod-shaped, spherical, elongated, star-shaped, etc.). Some organisms have long, thin appendages or flagella. The text "Diverzita eukaryot" is centered in the image.

Diverzita eukaryot

Člověk jako každý jiný
živočišný druh má ke
vnímání diverzity
přirozený talent



?





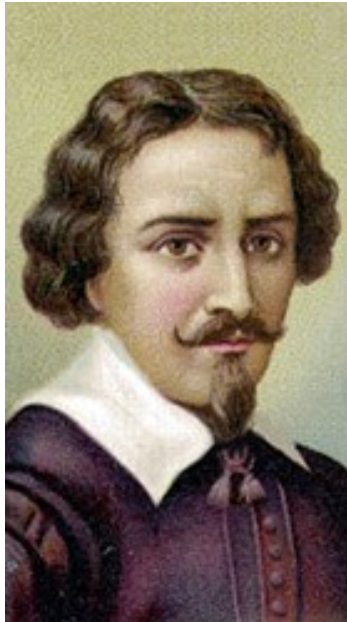


První zlom – vstup do mikrosvěta

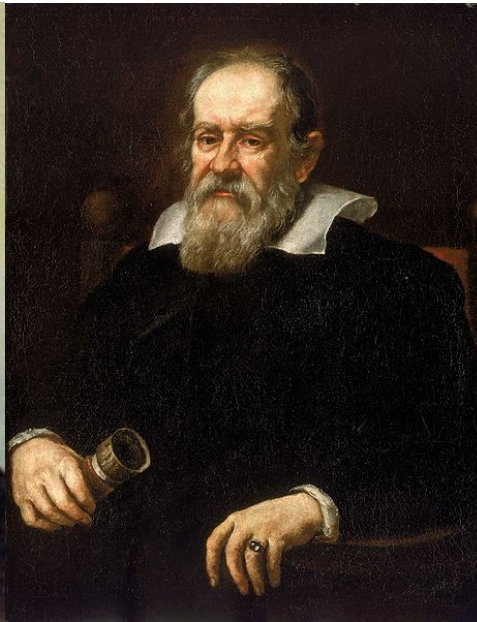
Zacharias Janssen

Galileo Galilei

Antonie van Leeuwenhoek



1590?

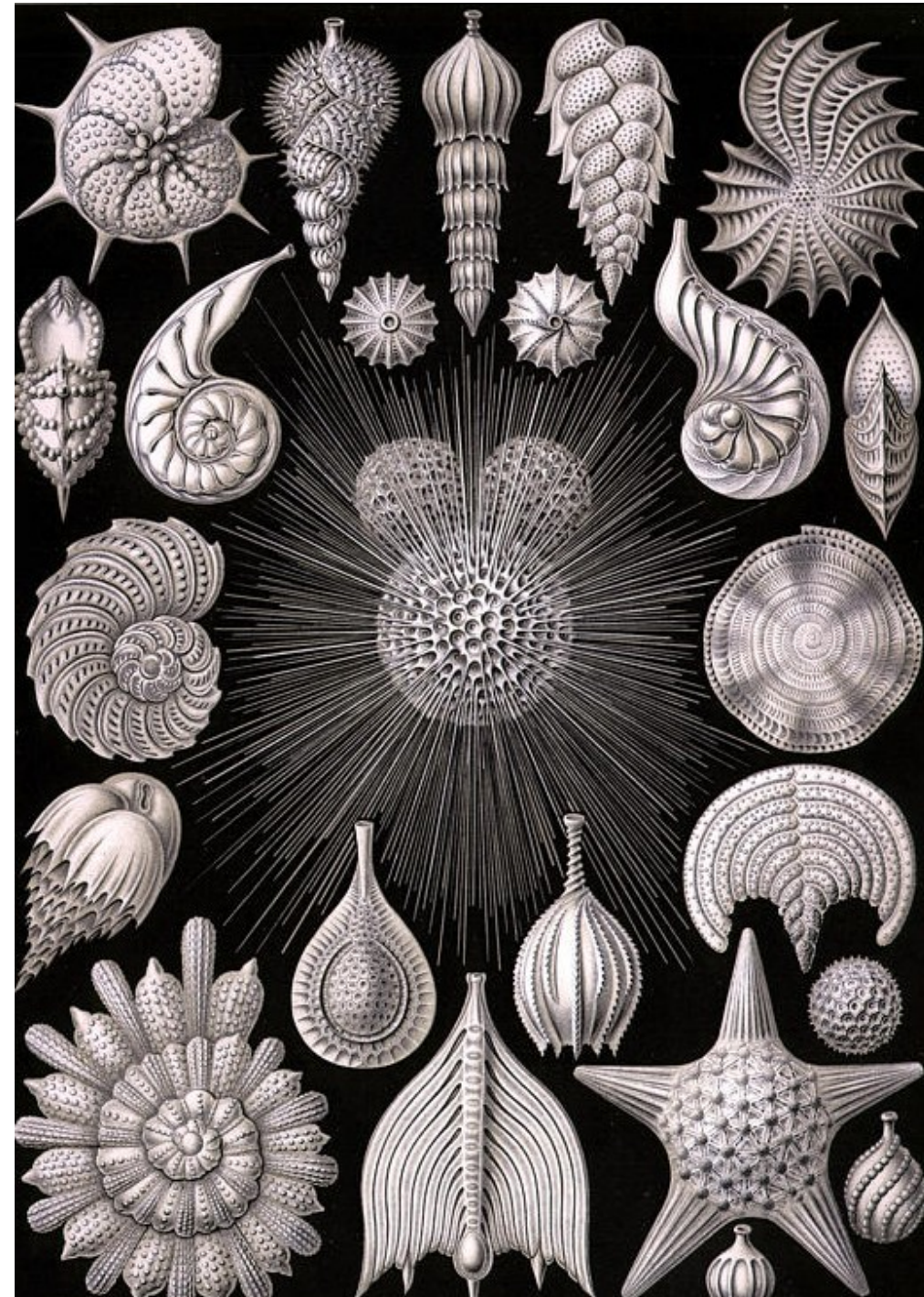
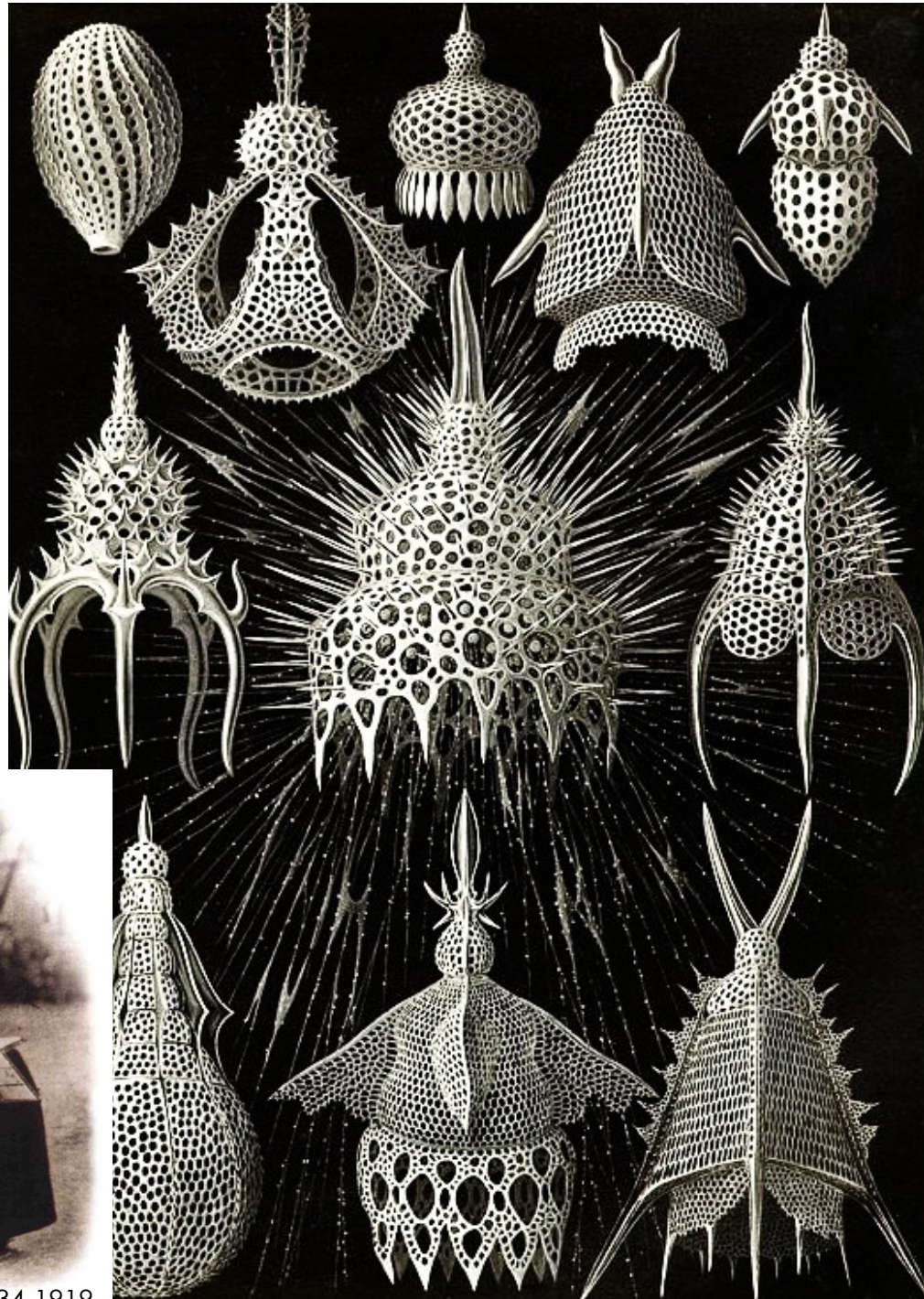


1610?

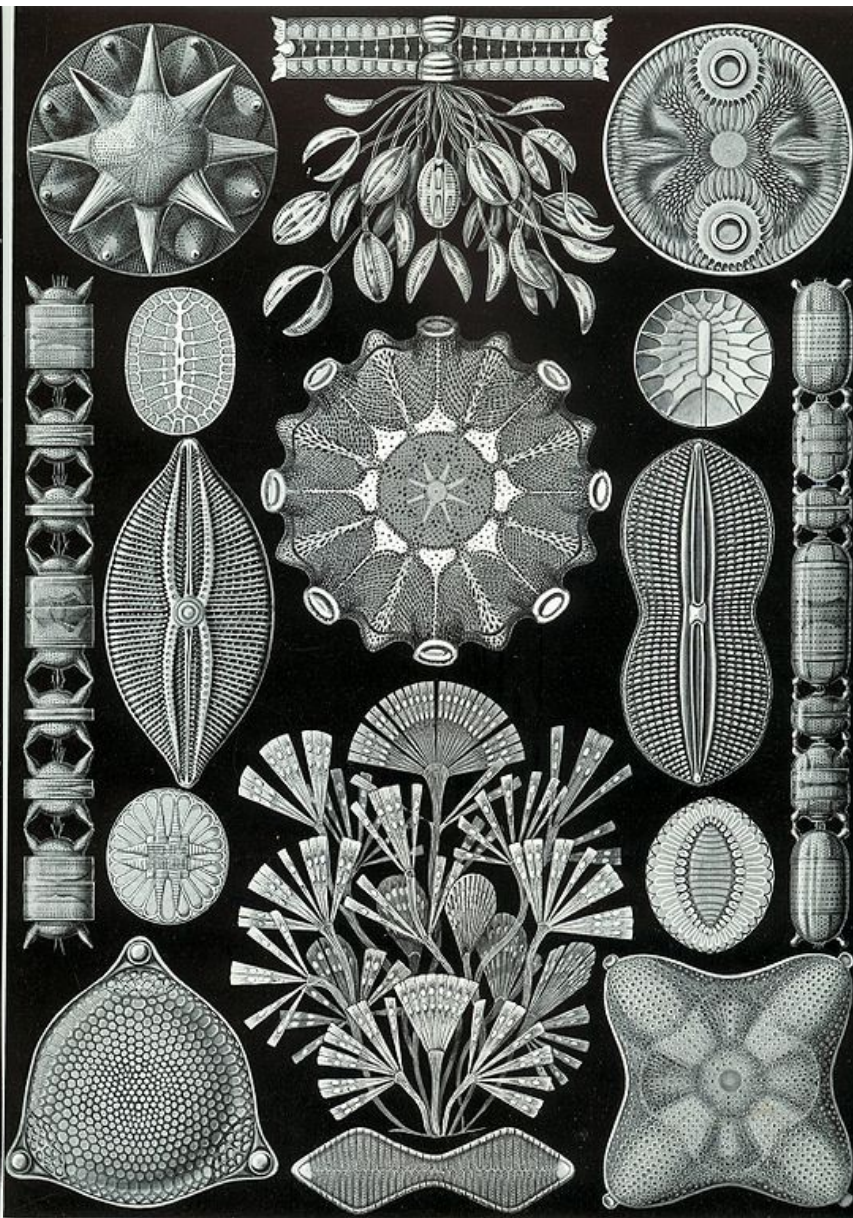
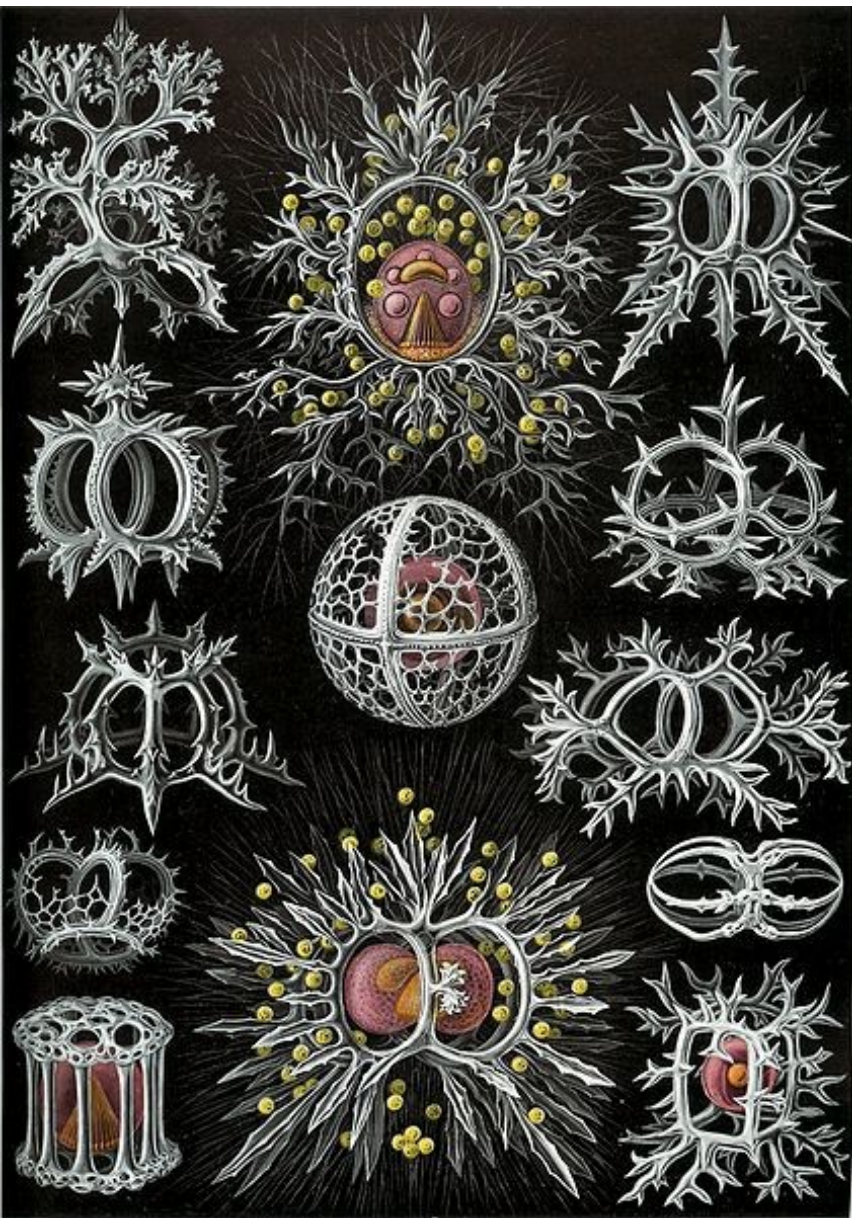


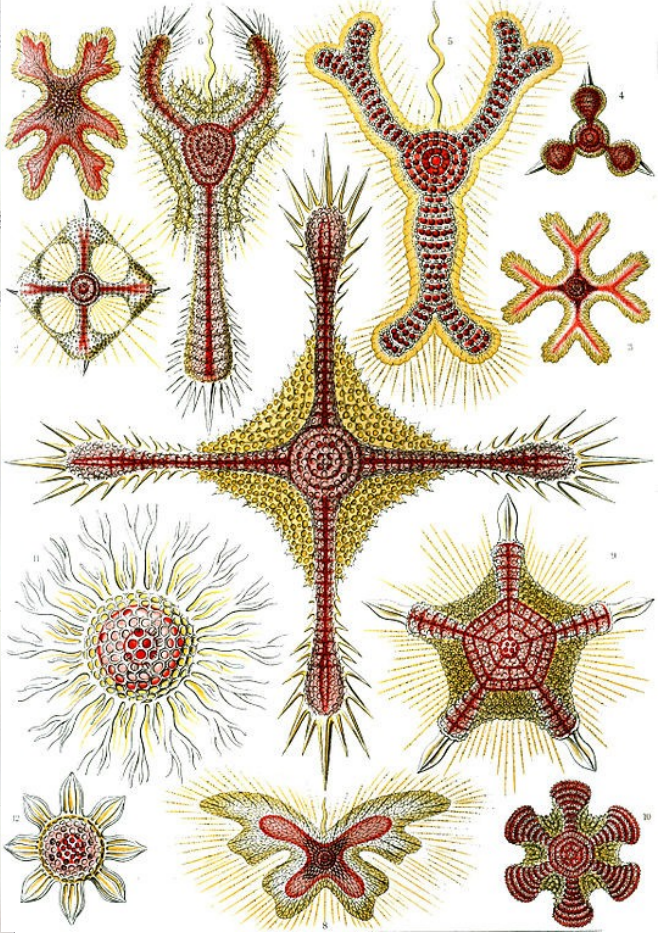
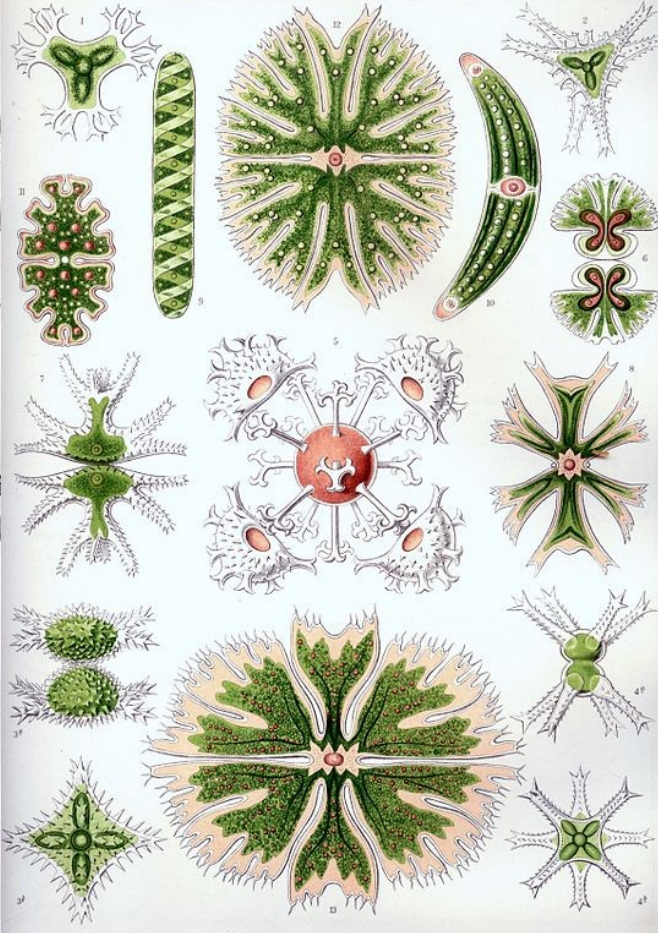
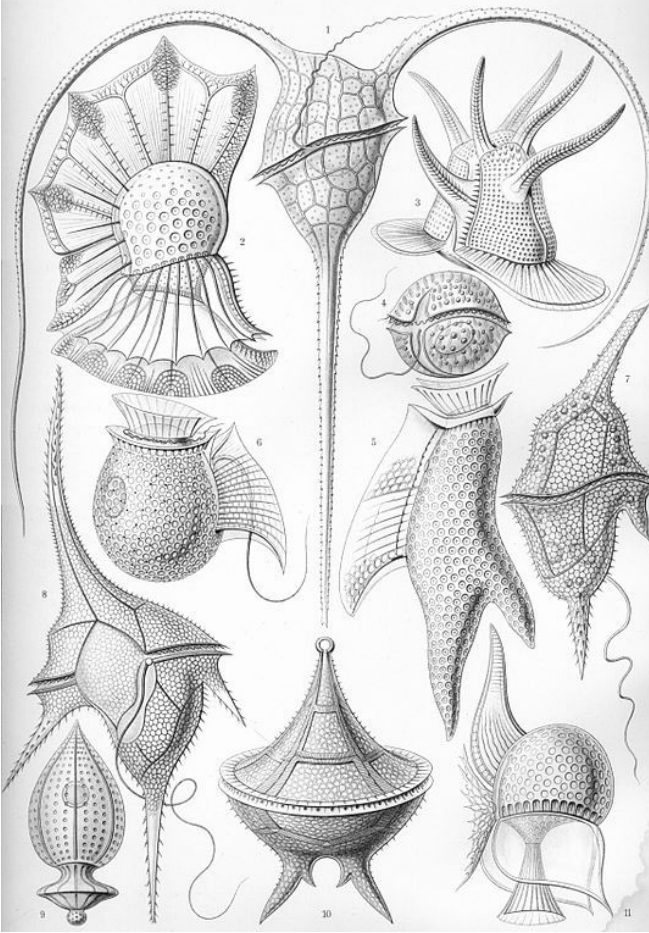
1676

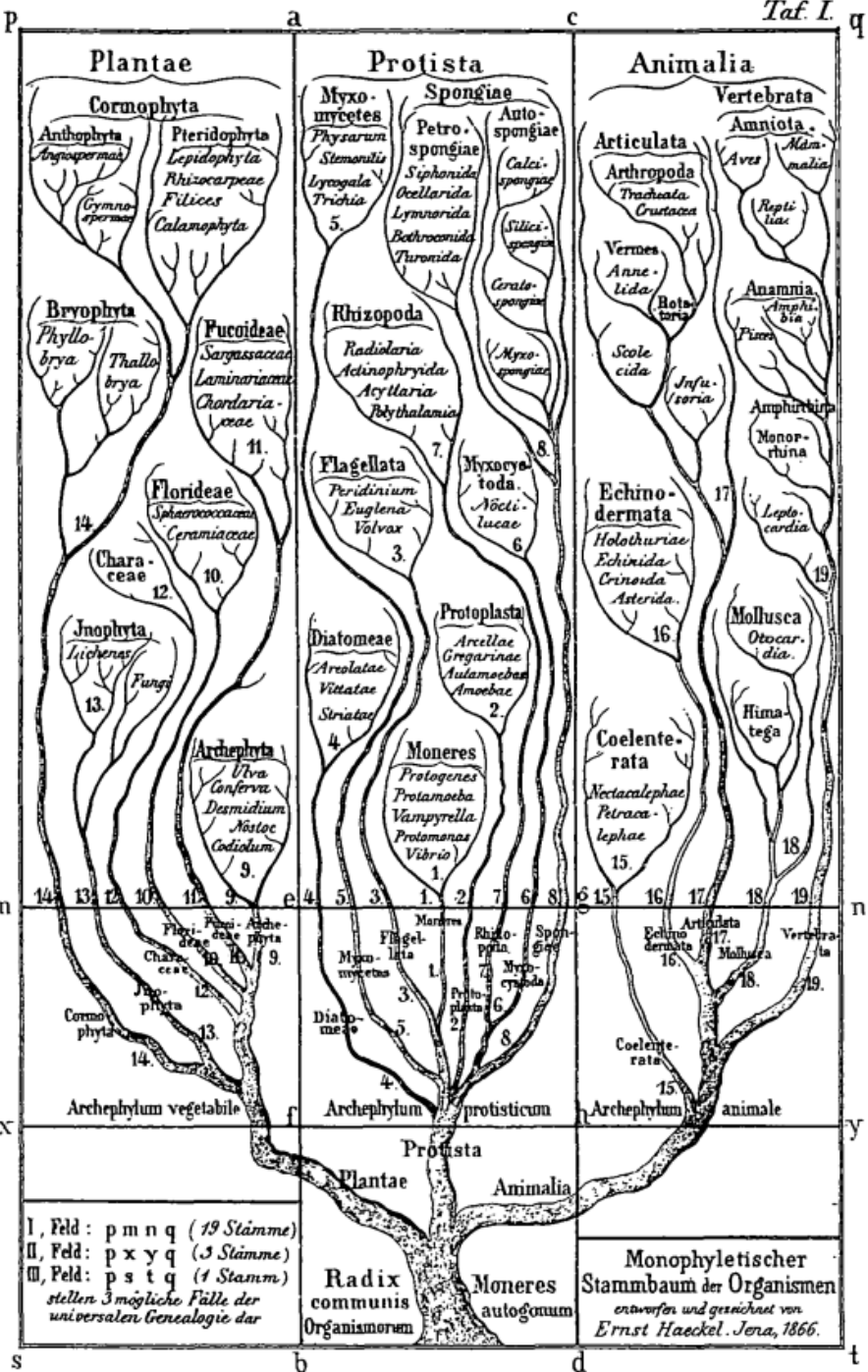




Ernst Haeckel, 1834-1919







Protista

První komplexnější systém založený na morfologii vyčleňující prvky jako samostatnou linii vedle živočichů a hub

Definoval některé dnes uznávané taxony, Protista zahrnuje i prokaryota

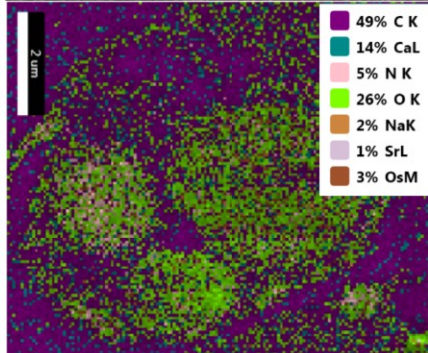
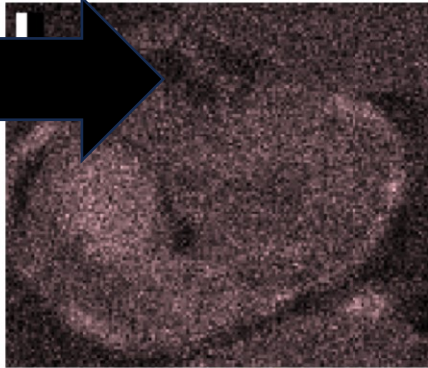
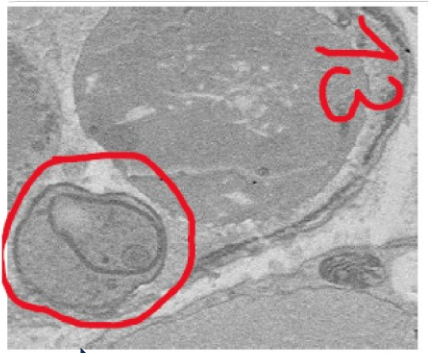
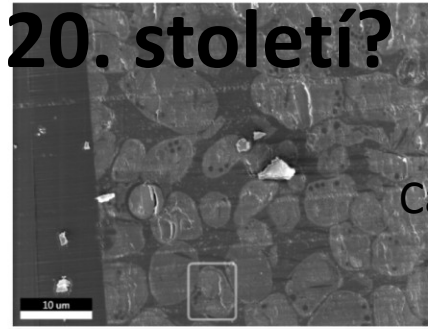
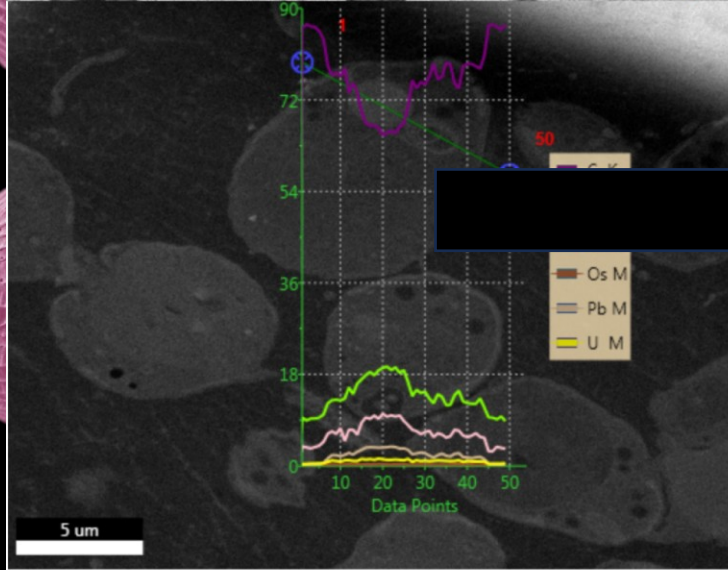
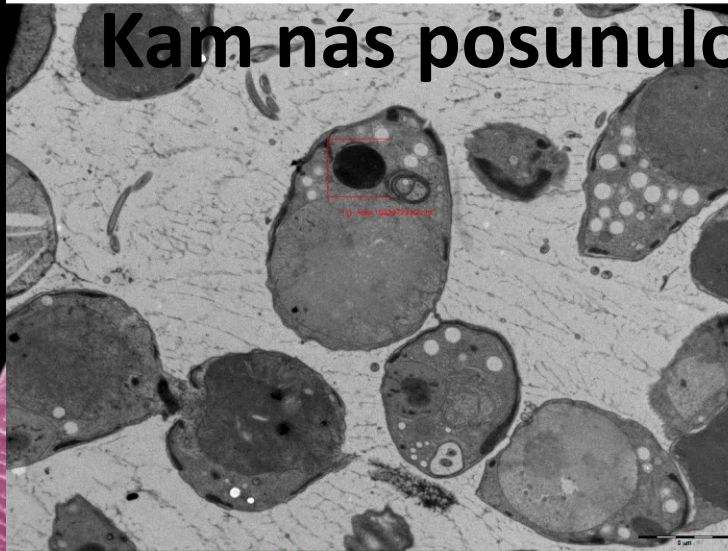
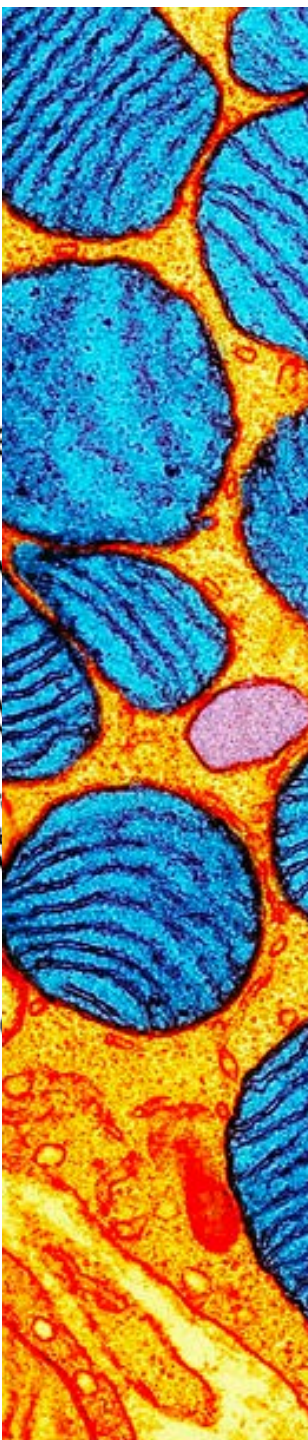


Ernst Haeckel, 1834-1919

Kam nás posunulo 20. století?

Plantae

Protista



Cavalier-Smith, 1981

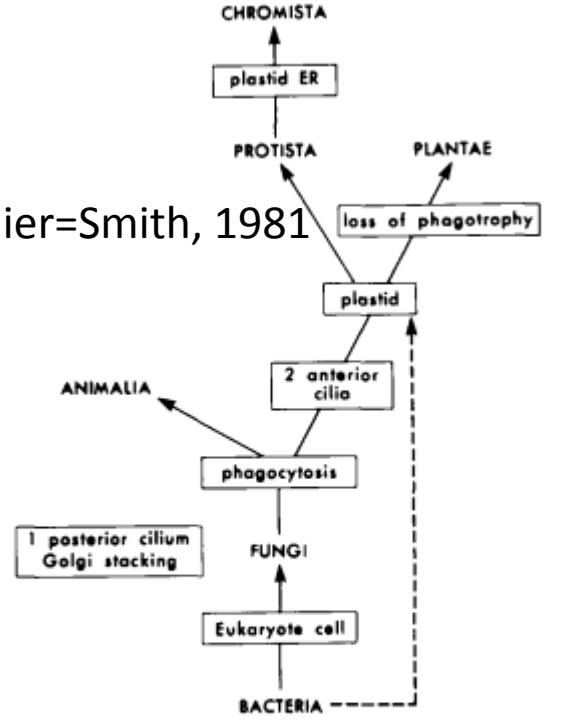


Fig. 4. Simplified phylogeny and six-kingdom classification of living organisms suitable for elementary teaching. The major evolutionary events are shown in

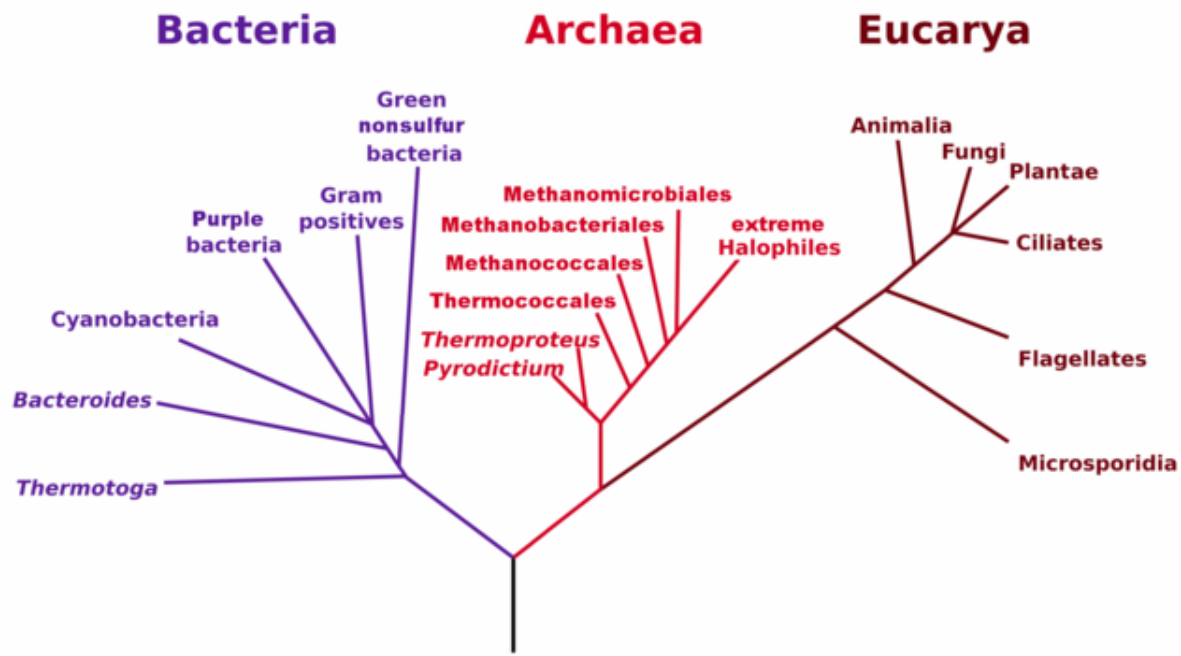
TABLE 11
Simplified six-kingdom classification of living organisms

Superkingdom	Kingdom	Subkingdom
1. Prokaryota	1. Bacteria	1. Eubacteria
		2. Archaeobacteria
2. Eukaryota	1. Fungi	1. Eufungi
		2. Ciliofungi
	2. Animalia	1. Parazoa
		2. Mesozoa
		3. Metazoa
	3. Protista	1. Protozoa
		2. Euglenozoa
	4. Plantae	1. Biliphyta
		2. Viridiplantae
	5. Chromista	1. Cryptophyta
	2. Chromophyta	

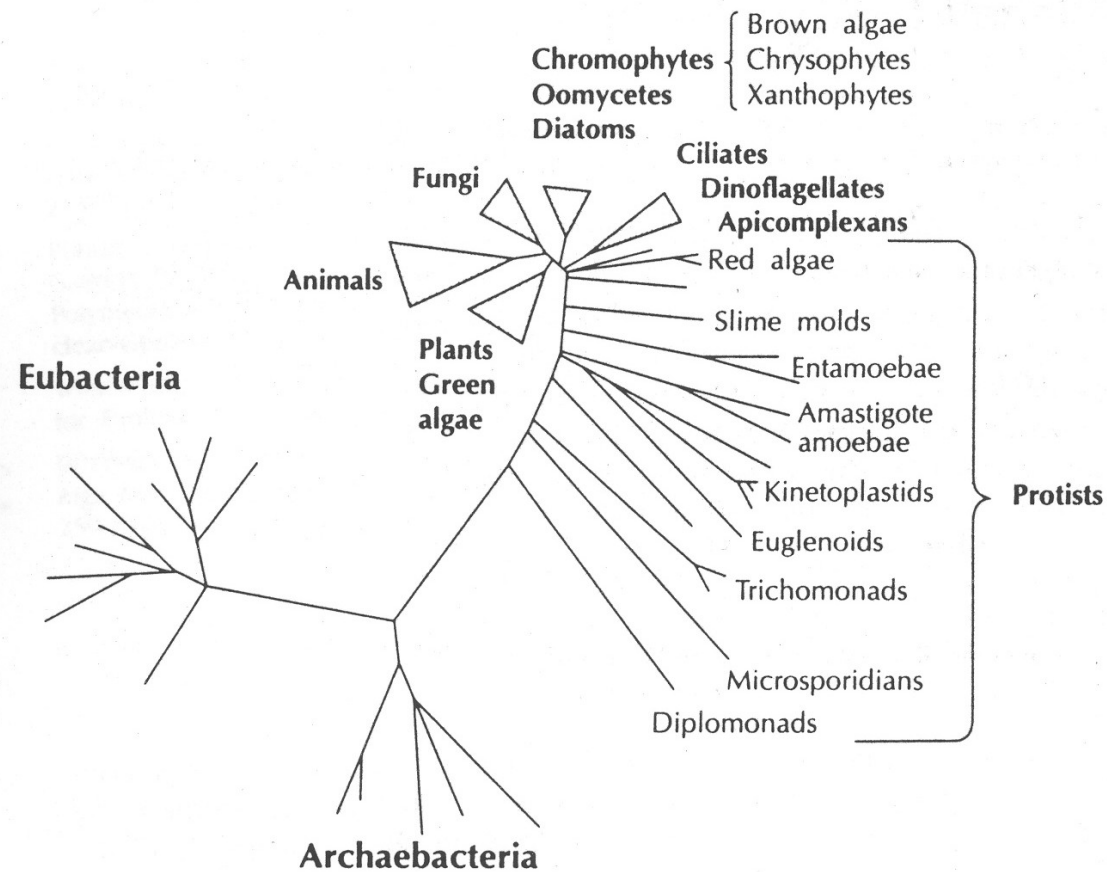
Třetí zlom – molekulární fylogeneze

Jednogenové fylogeneze umožnili objev kryptické diverzity a lepší definici taxonů do úrovně kmenů

Phylogenetic Tree of Life

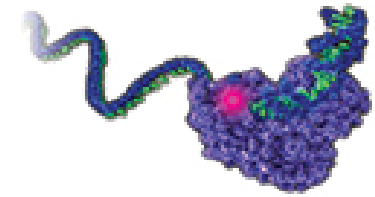
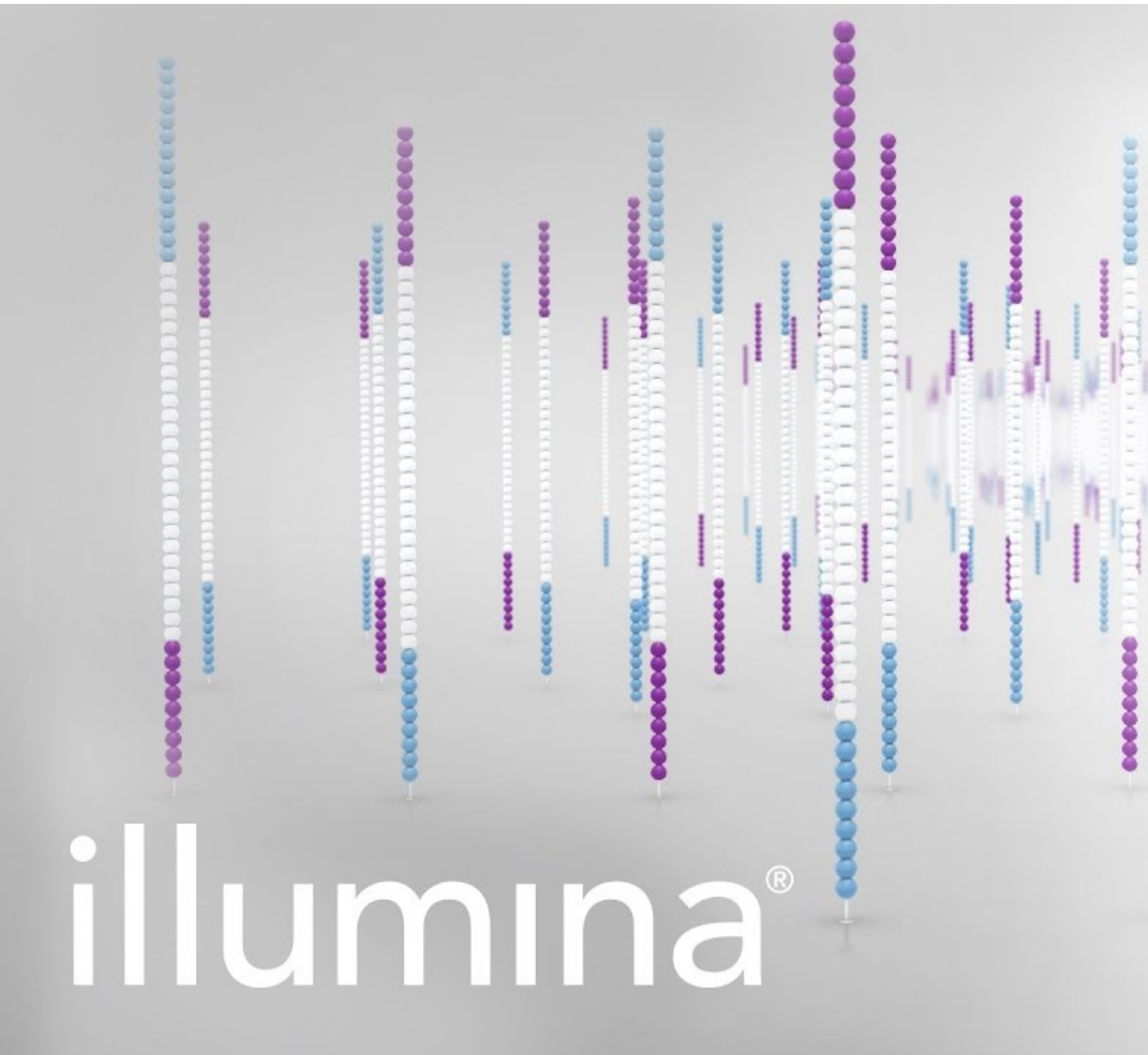


Woese et al., 1990

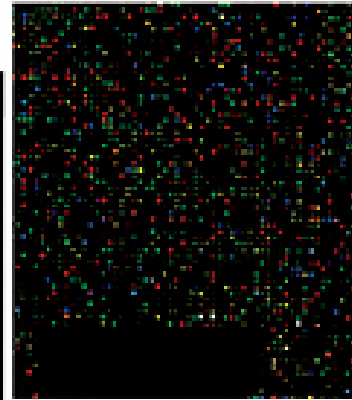
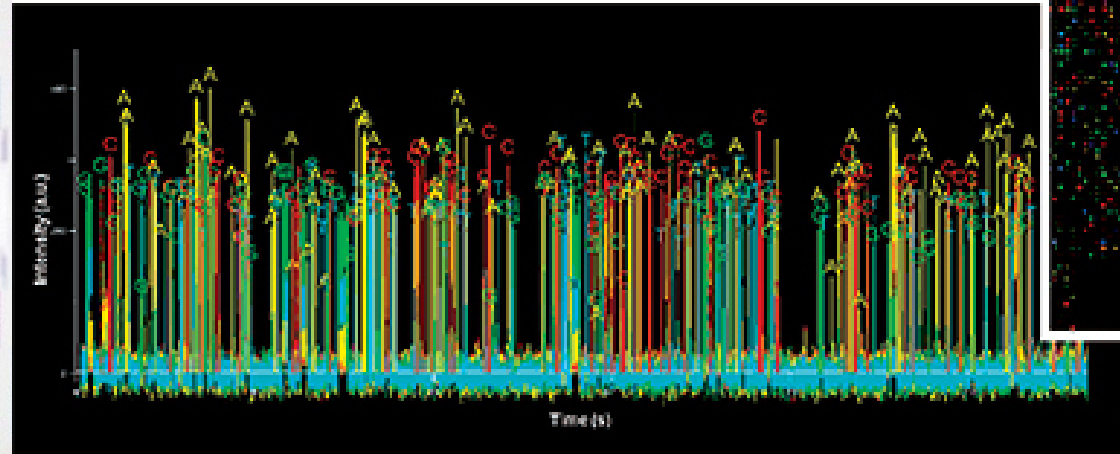


Sogin 1991 Curr Opin Genet Dev

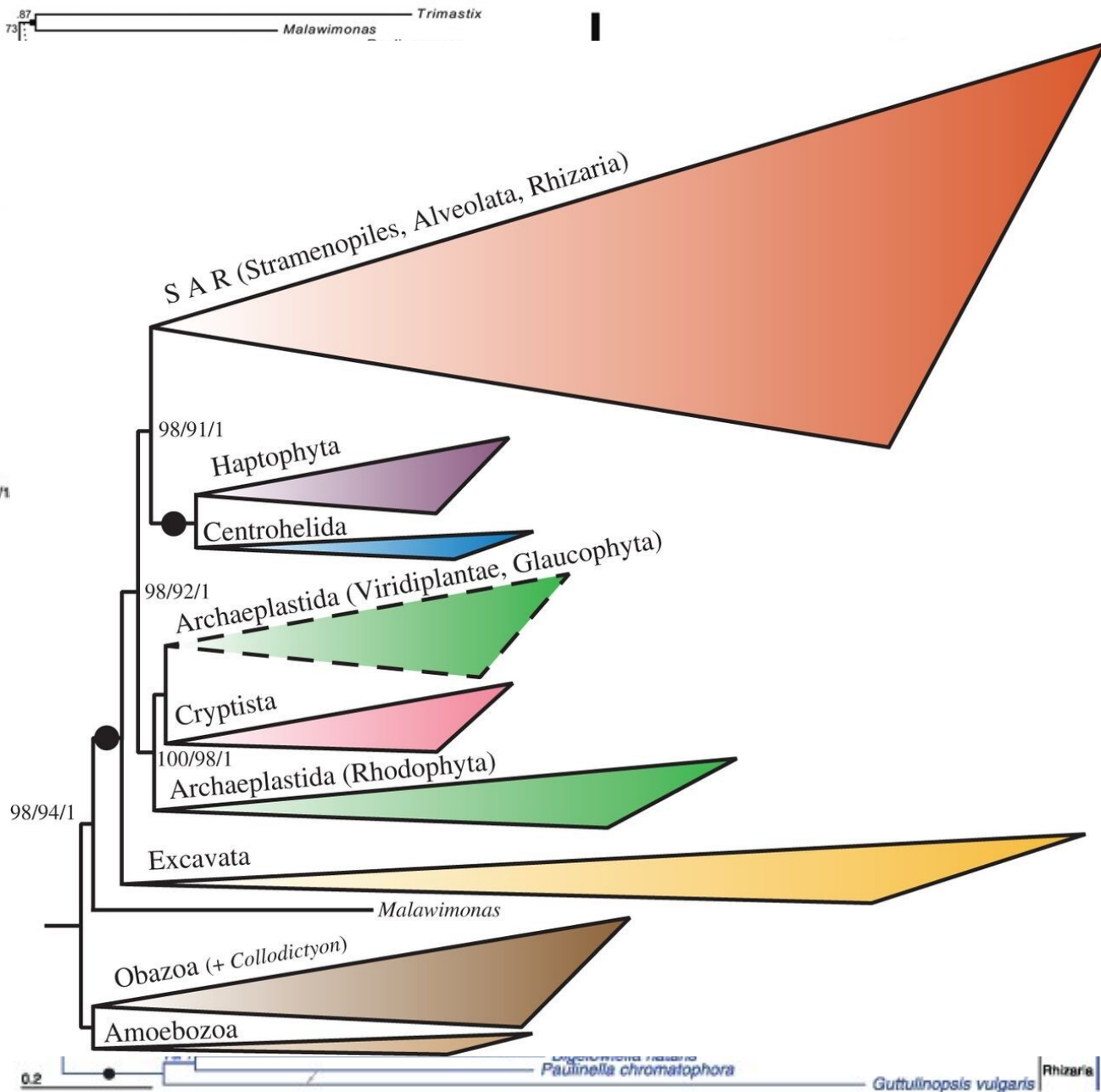
Čtvrtý zlom – molekulární fylogenomika



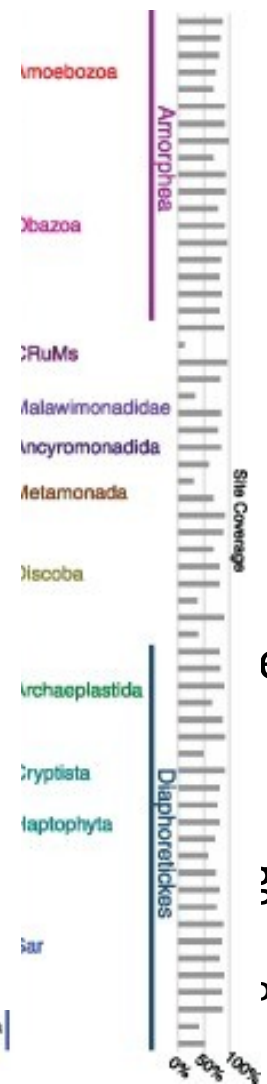
Single Molecule, Real-Time Sequencing (SMRT®)



Čtvrtý zlom – molekulární fylogenomika



Přesnější fyl. metody, lepší HW, přibývající počet -omických dat



enů

274 taxonů, 351 genů

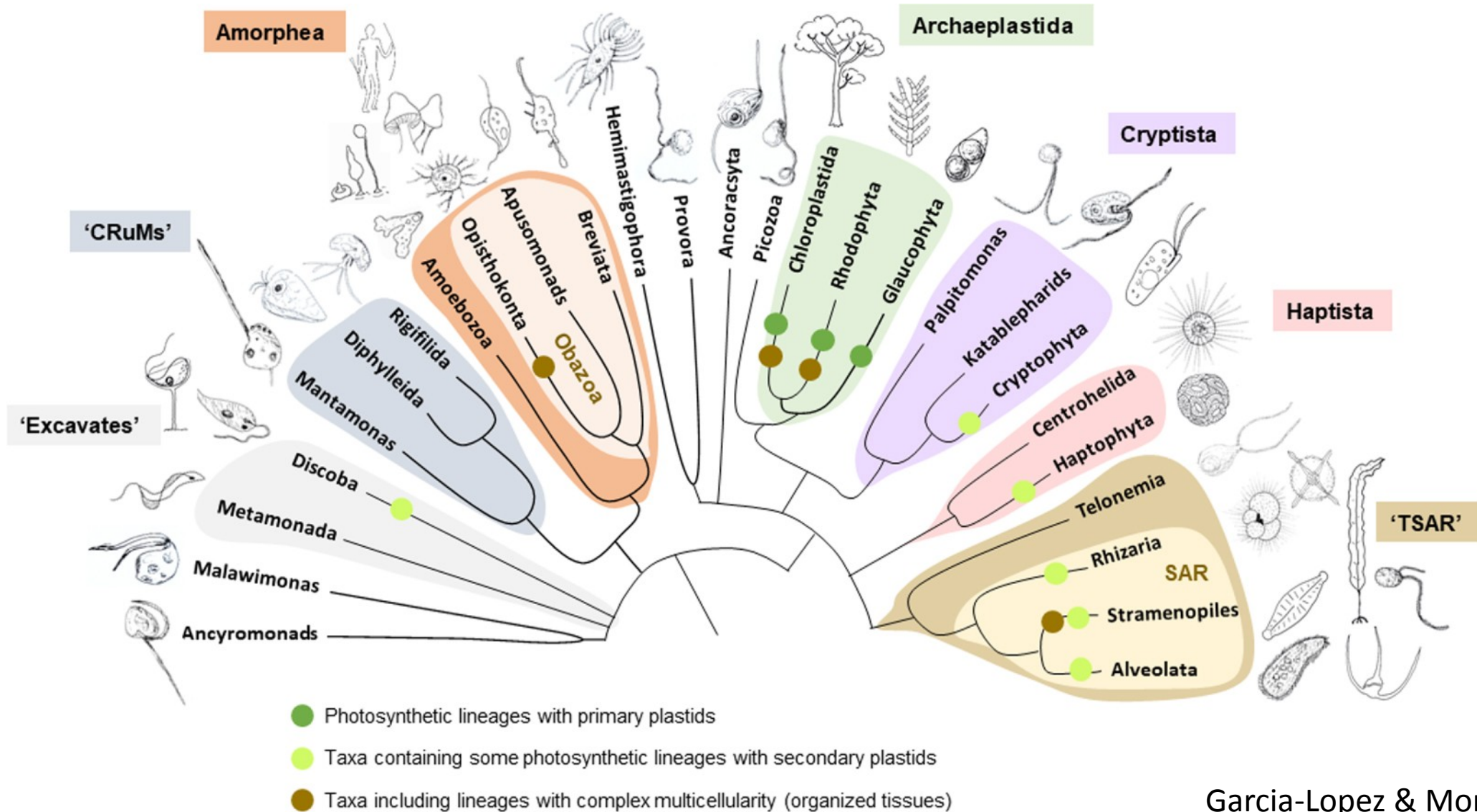
ženů

Brown et al. 2018.

NAS

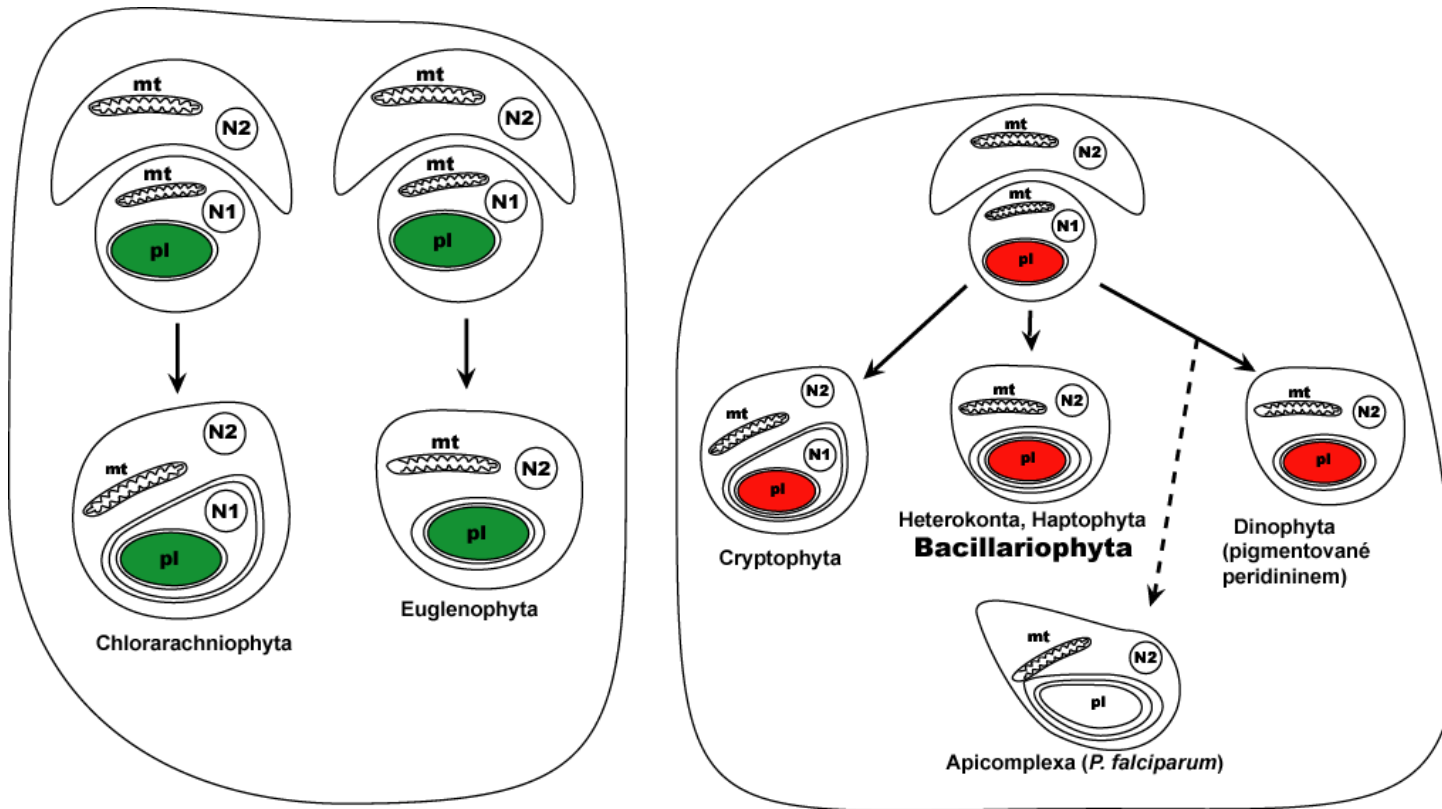
Burk et al. 2016.

Současné chápání fylogeneze eukaryot



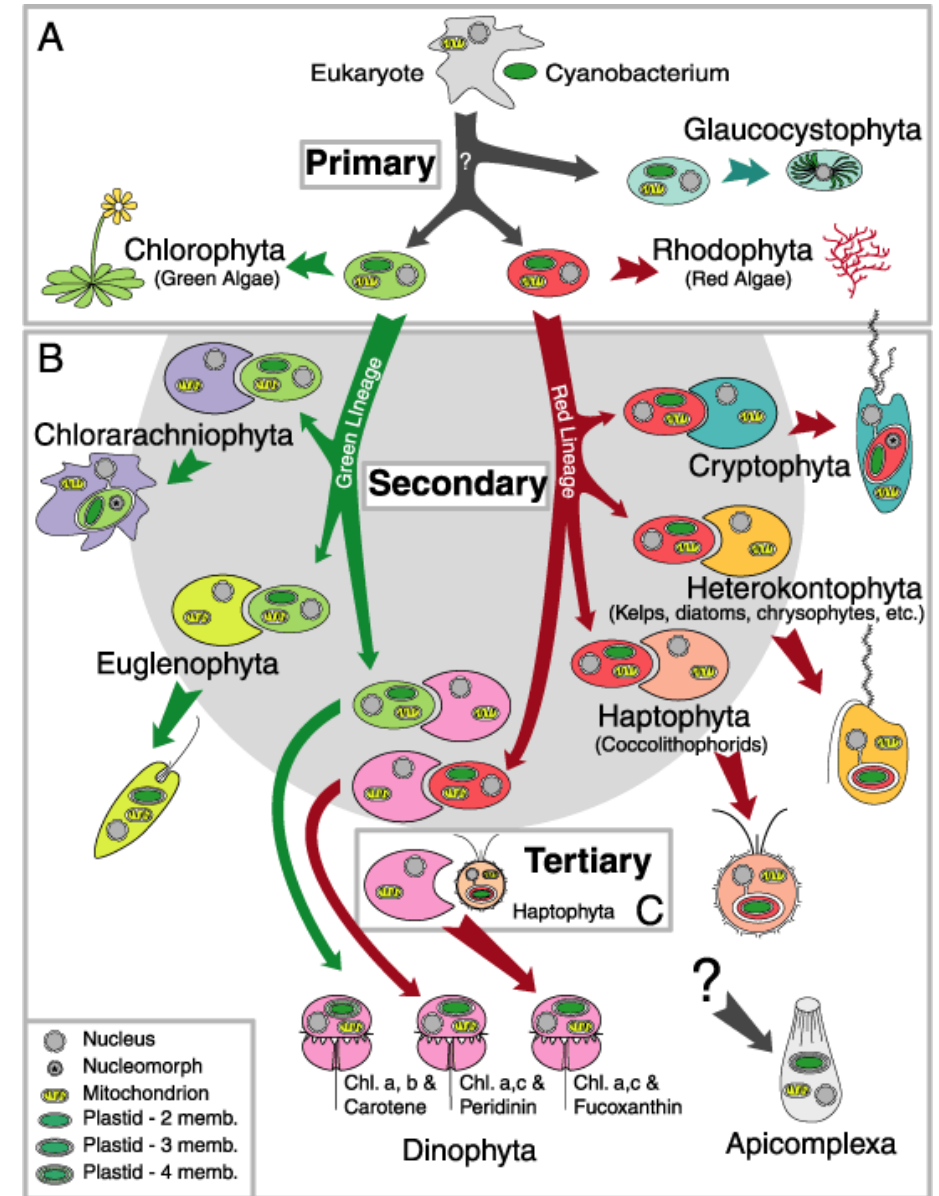
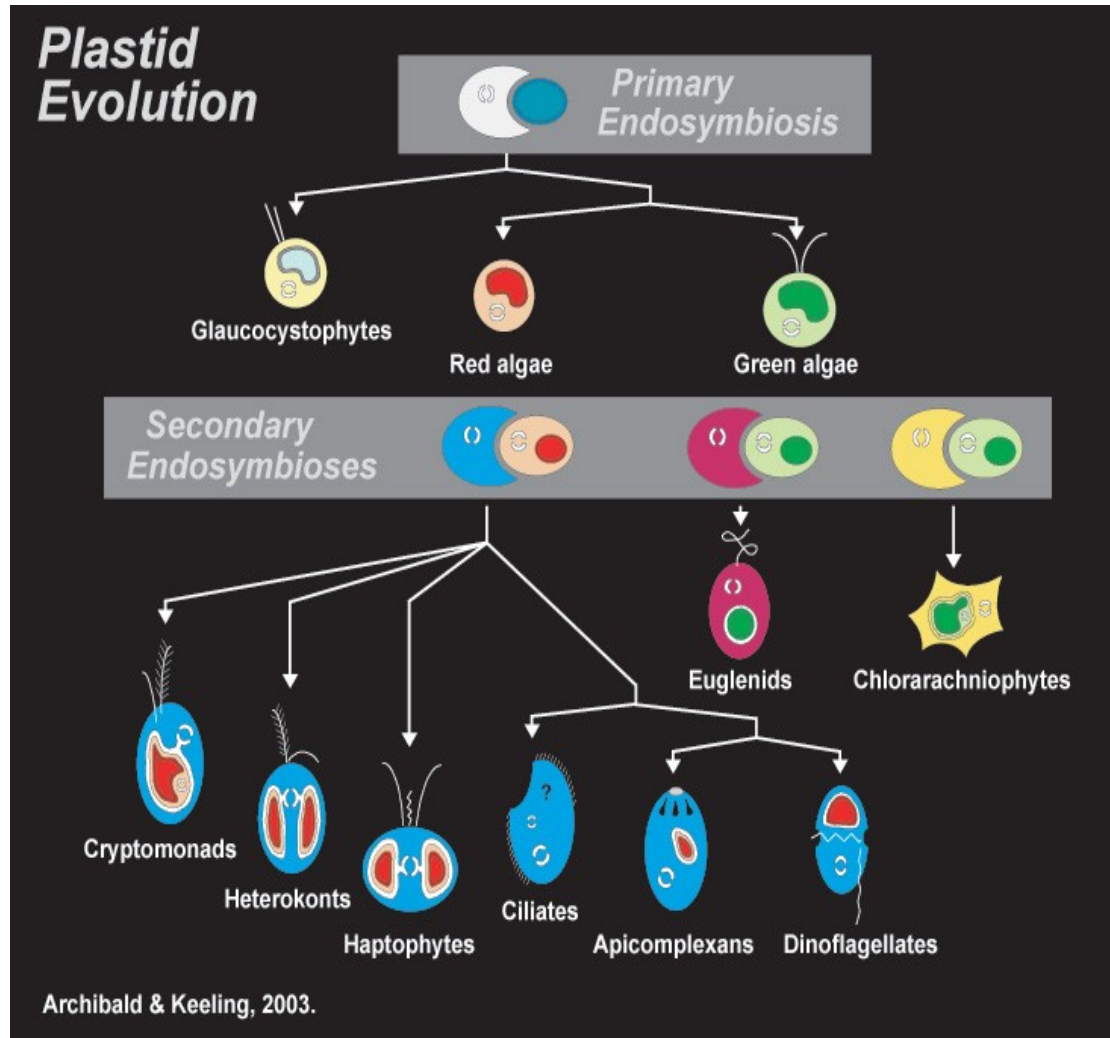
Fotosyntetická endosymbióza vyšších řádů

heterotrofický fagocytující eukaryot pohltil primárního symbionta, případně sekundárního atd.



Fotosyntetická endosymbióza vyšších řádů

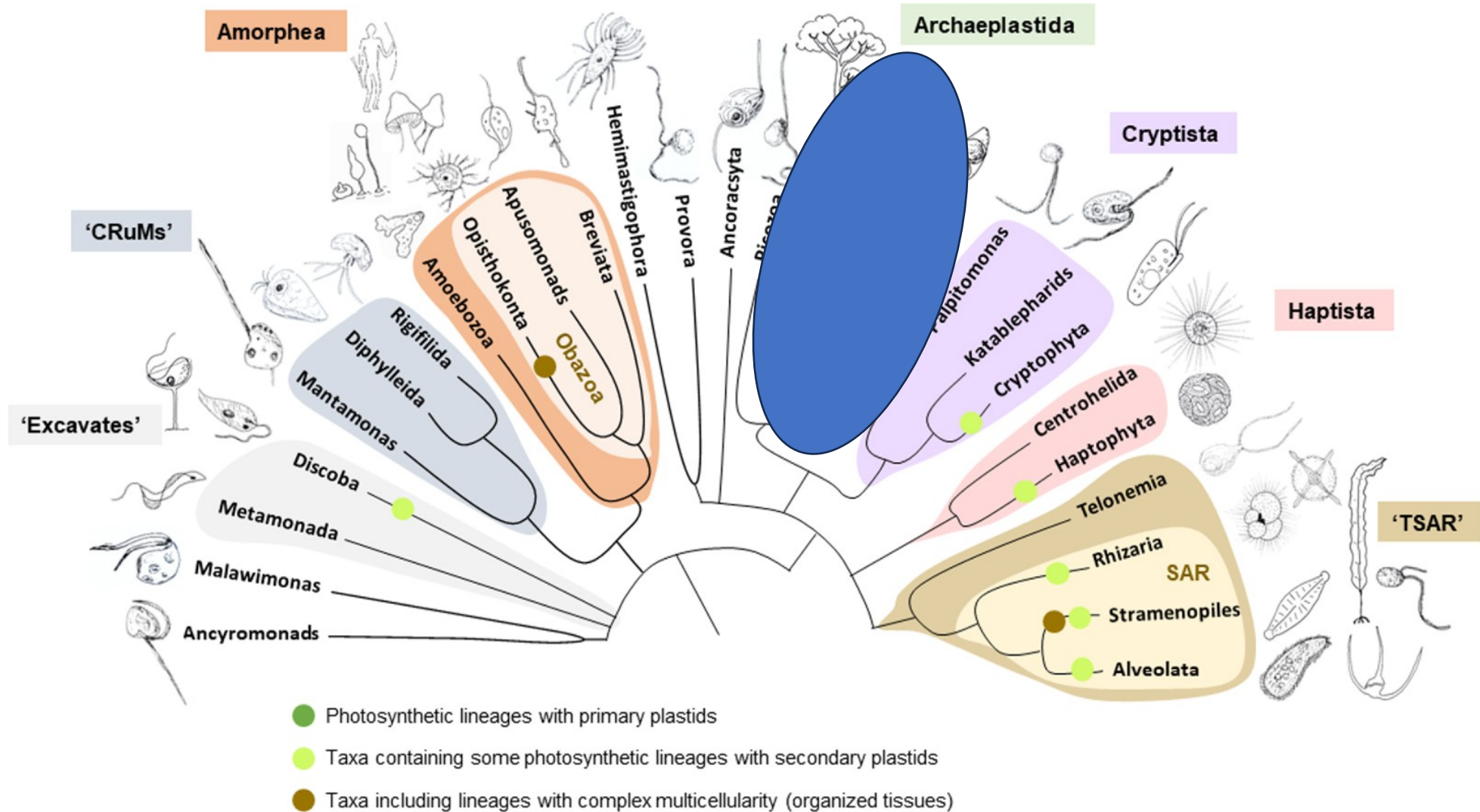
Kolik jich bylo?



Archaeplastida

Archae – starý, původní, první
Plastid – fotosyntetická organela

zahrnuje potomky primární fotosyntetické endosymbiózy



Archaeplastida

Viridiplantae



Rhodophyta



Glacophyta

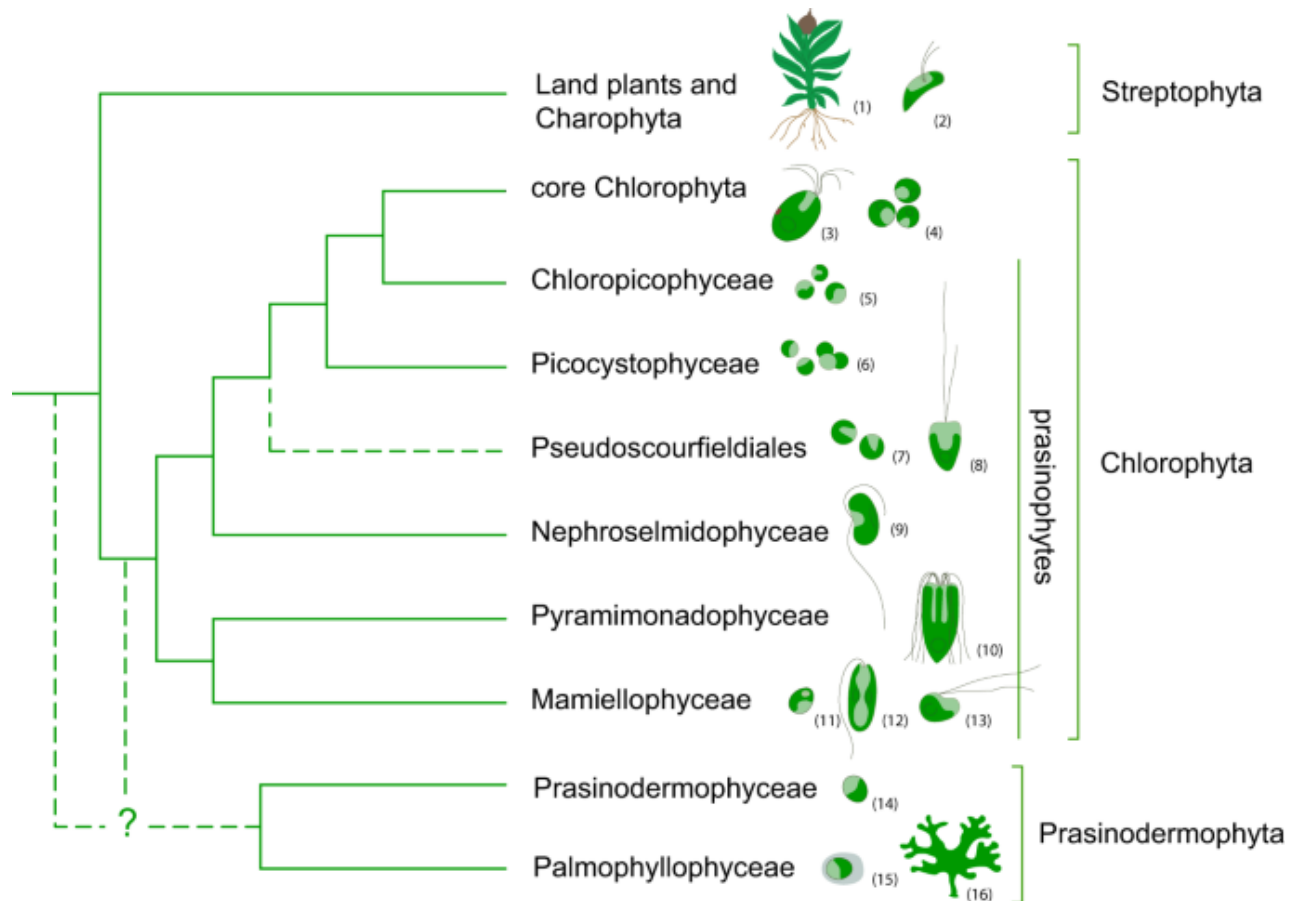
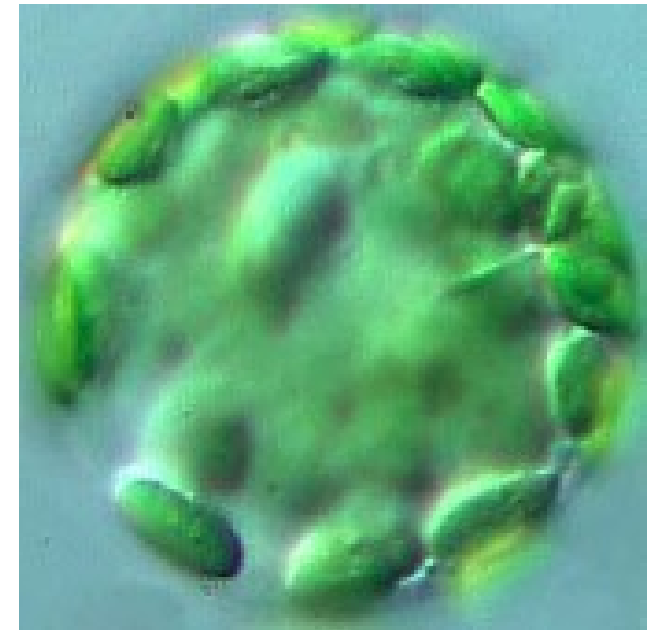


chlorofyll a,b, siphonaxanthin,
violaxanthin, zeaxanthin

Viridiplantae

původně sladkovodní? bičíkovci
se dvěma stejnými bičíky (isokont)

Streptophyta se vyvinula v
cévnaté rostliny a změnila
zemskou souš



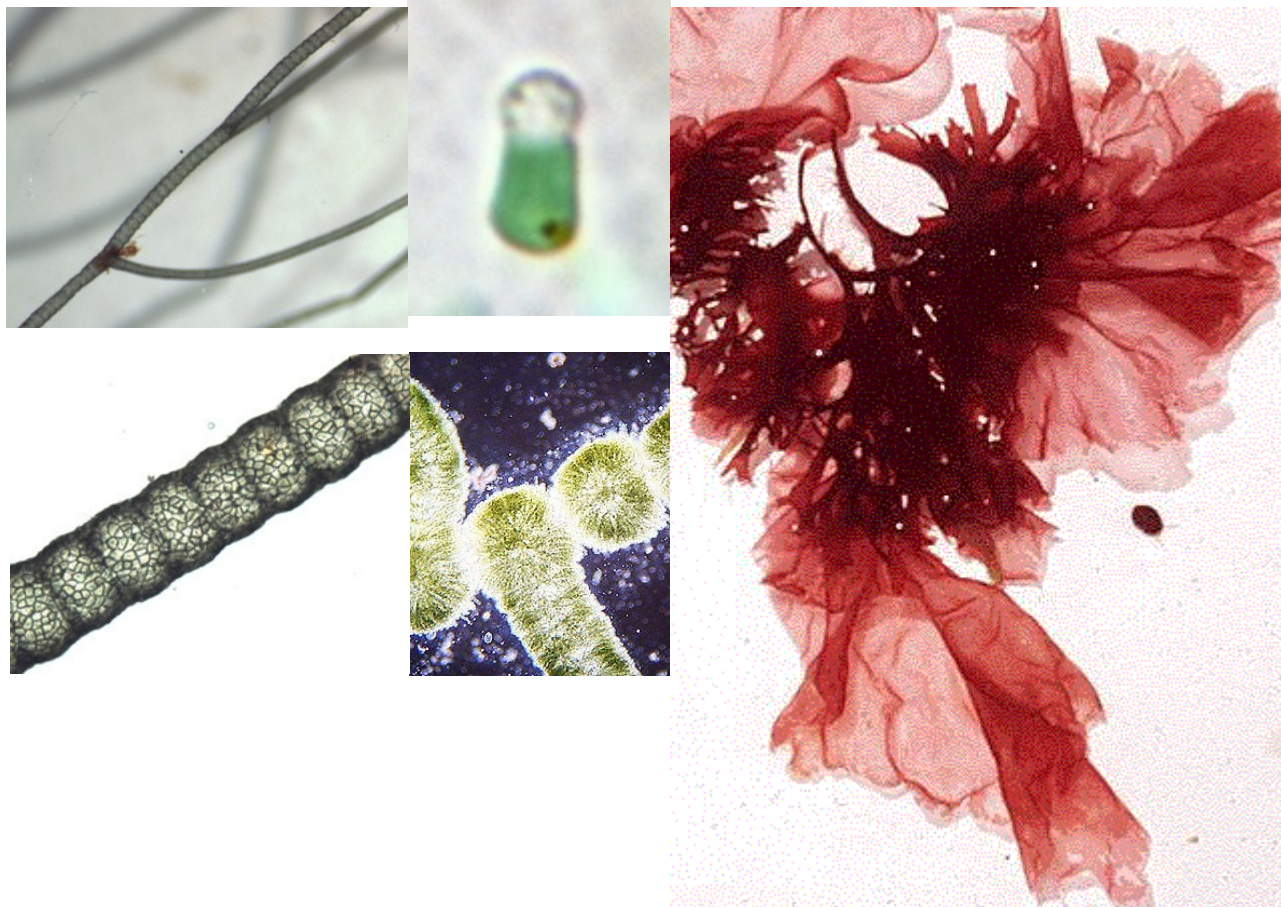
Rhodophyta (ruduchy)

c-fykocyanin a allofykocyanin (sinice)

r-fykocyanin a r-fycoerythrin (evol. novinka)

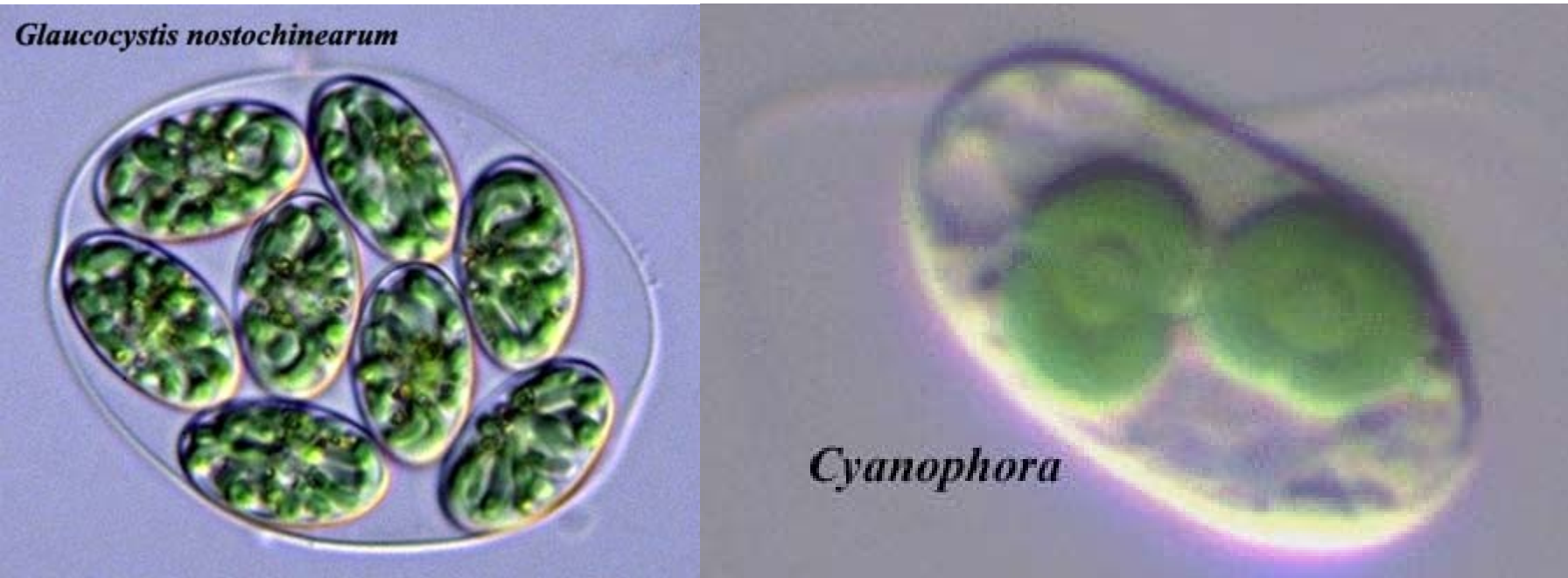
chlorofyl a, d, β -karoten, zeaxantin a lutein

většinou mořské, některé extrémofilní



Glaucophyta

- nejmenší a nejpůvodnější skupina (1,2 mld)
- chloroplasty - cyanelly připomínající sinice
 - zbytková peptidoglykanová buněčná stěna
 - pouze chlorofyl a, fykobiliny sinicové struktury
 - kruhové uspořádání thylakoidů

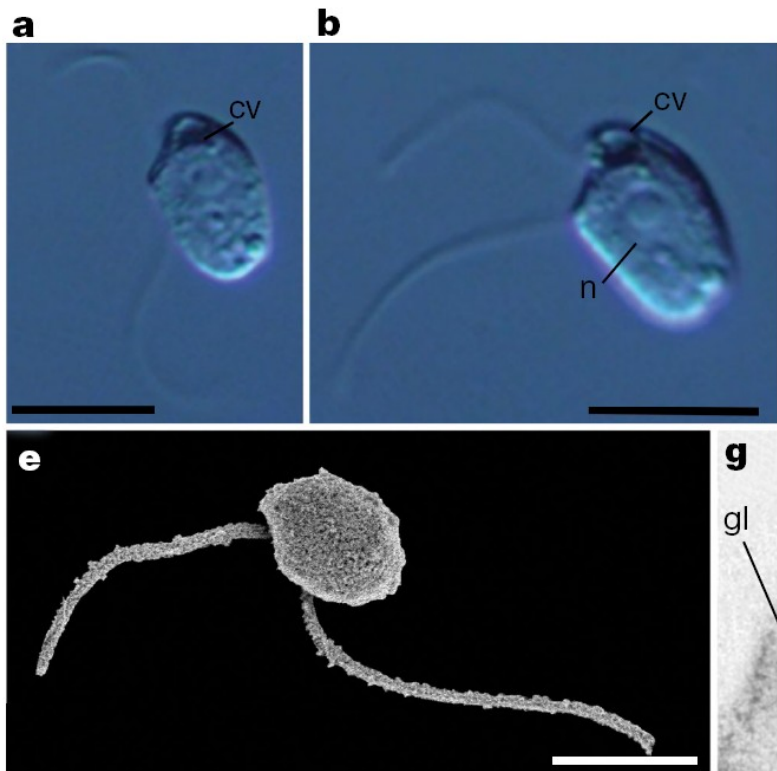


Archaeplastida

Plus další dvě heterotrofní skupiny důležité hlavně z evolučního a ekologického hlediska

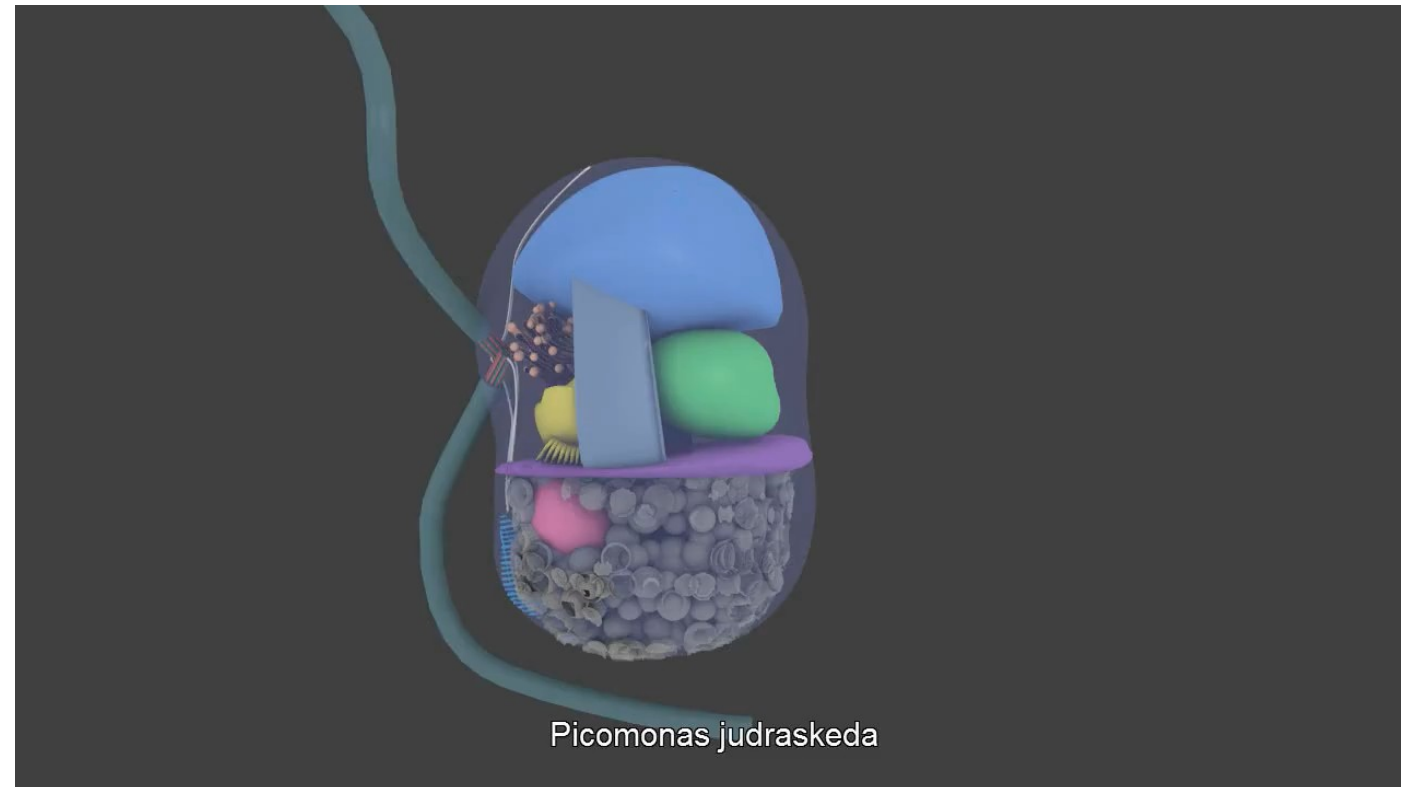
Rhodelphidia

- nefotosyntetičtí (zbytek plastidu biosyntéza hemů a mastných kyselin)
- bičíkovci, loví bakterie a malé eukaryoty

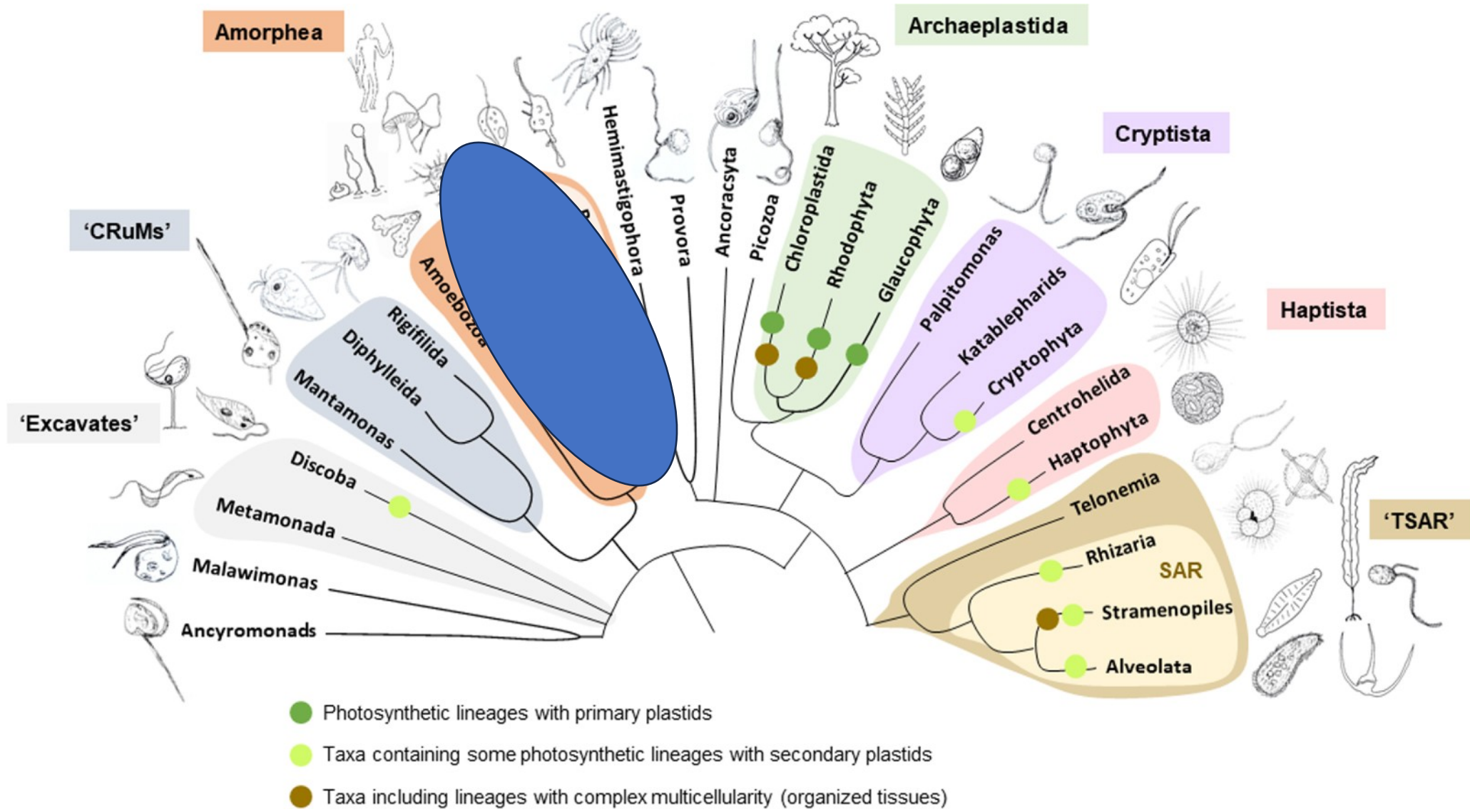


Picozoa

- mořského nanoplankton, environmentálním sekvenováním
- až čtvrtina biomasy planktonu tropických moří
- původně popsána jako autotrofní linie „Picobiliphyta“



Obazoa - Opisthokonta, Breviata, Apusomonada ZOA



Opisthokonta - mající zadní (tlačný) bičík

Největší část makroskopické diverzity

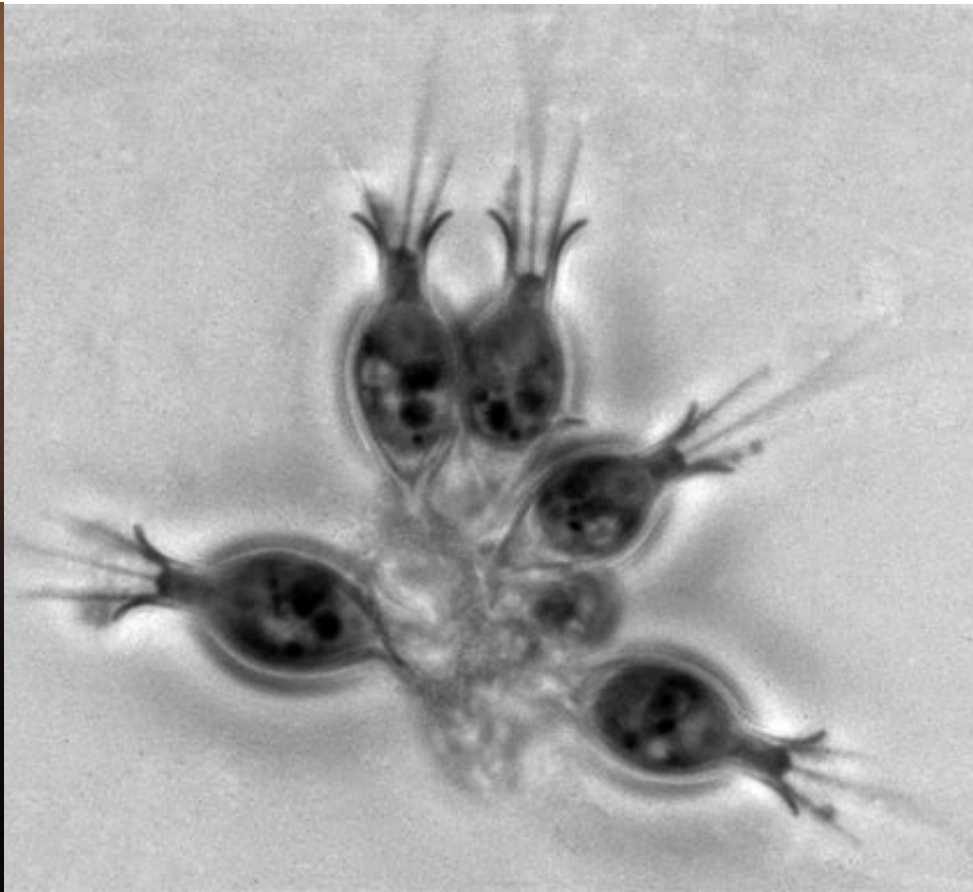


Opisthokonta

Eukaryota syntetizující glykogen a chitin, mající mitochondrie s plochými kristami a dva bazálními tělísky a jedním nahým zadním bičíkem.

Bičíky?

spermie, choanocyty, nefridie...



chytrídie



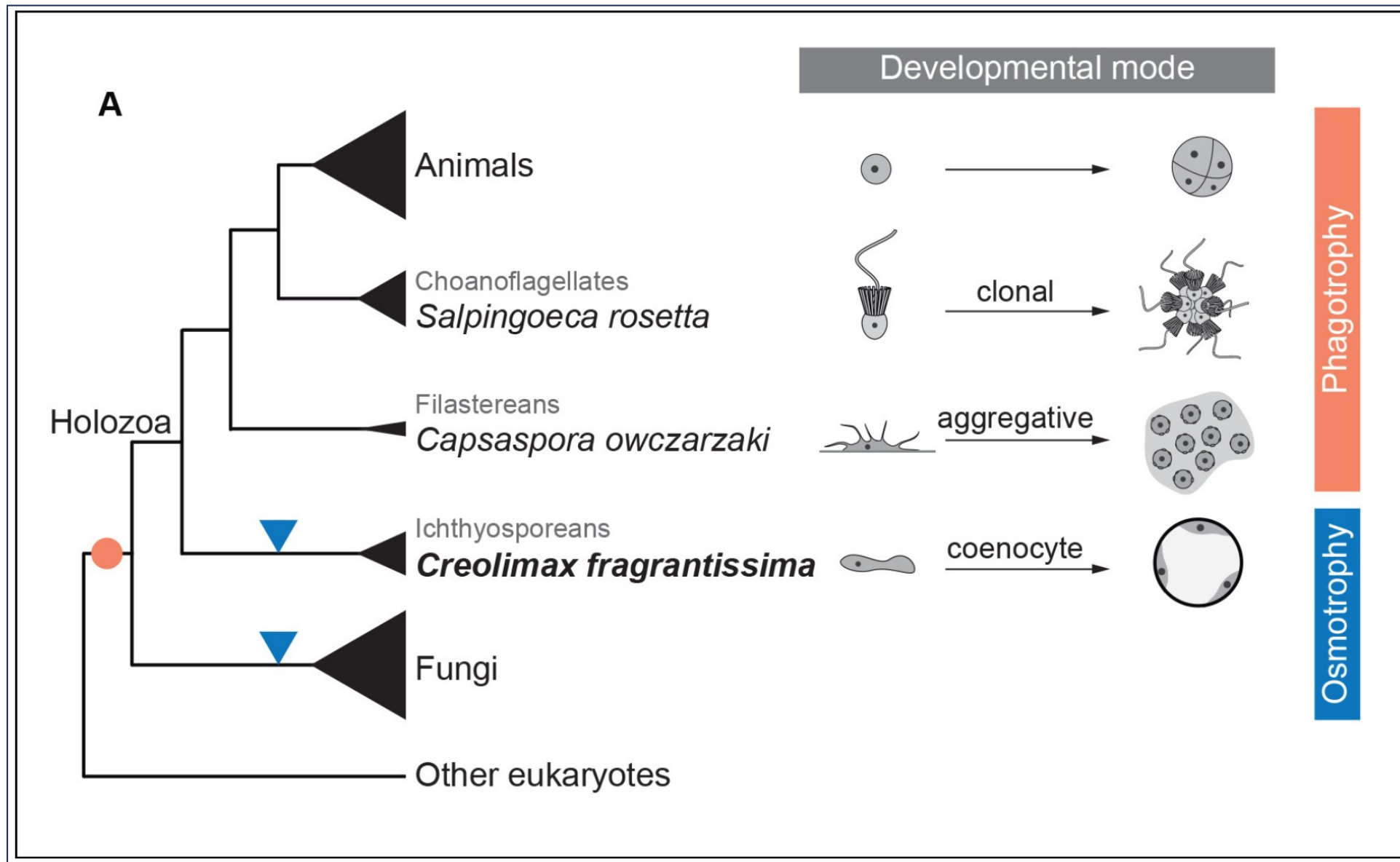
Opisthokonta

Jediná čistě heterotrofní superskupina eukaryot?

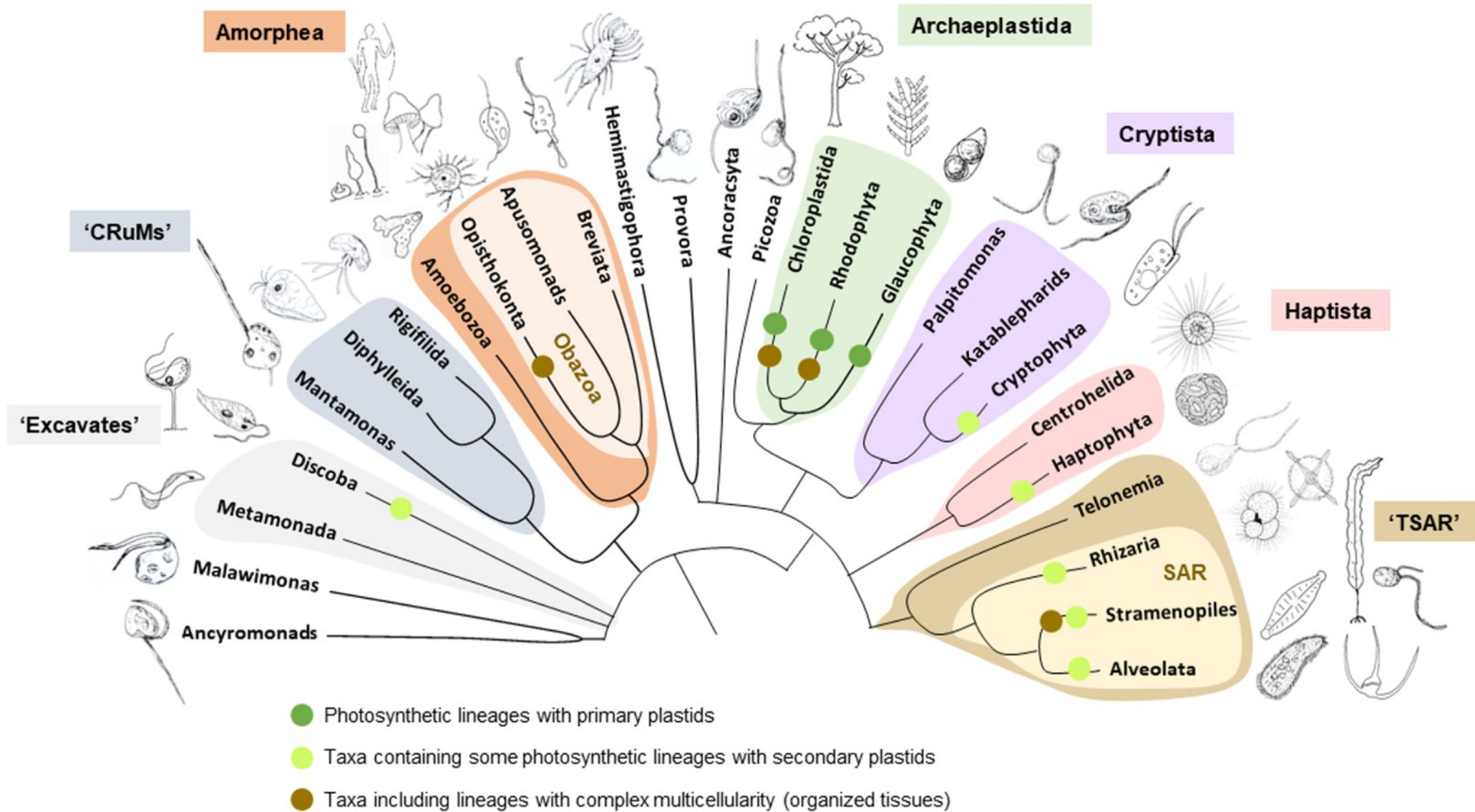


<http://www.youtube.com/watch?v=yQNIpW0LIsU>

mnohobuněčnost nezávisle u hub a živočichů



Amoebozoa

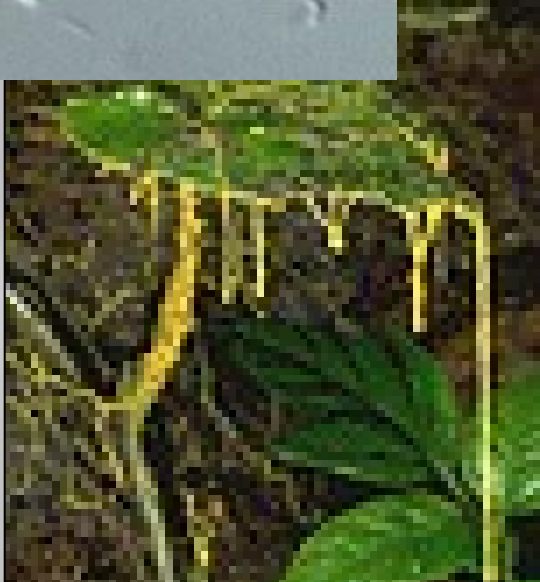


Amoebozoa

většinou měňavkovité organizmy, původně se dvěma zadními bičíky

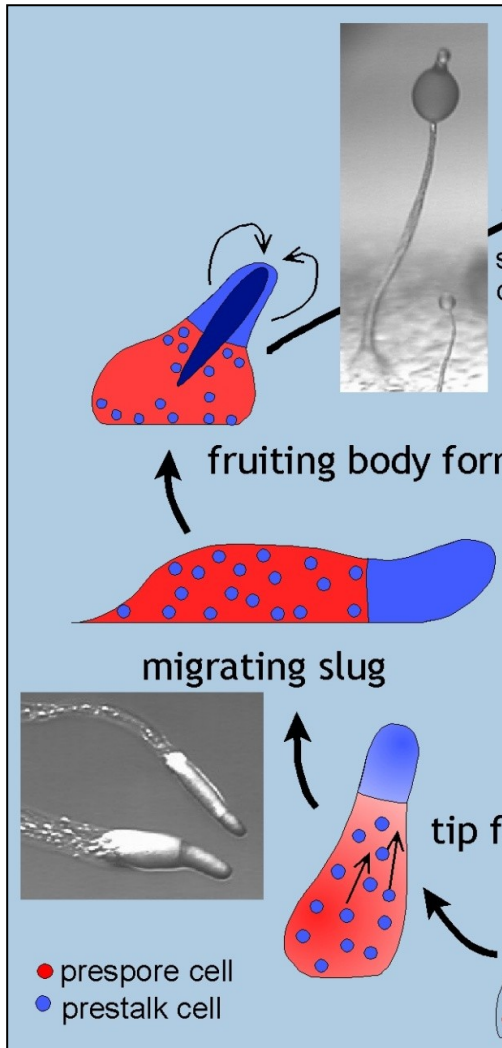
pseudopodia/lobopodia - panožky

Pohyb pomocí poly- a depolymerizace aktinu



Amoebozoa

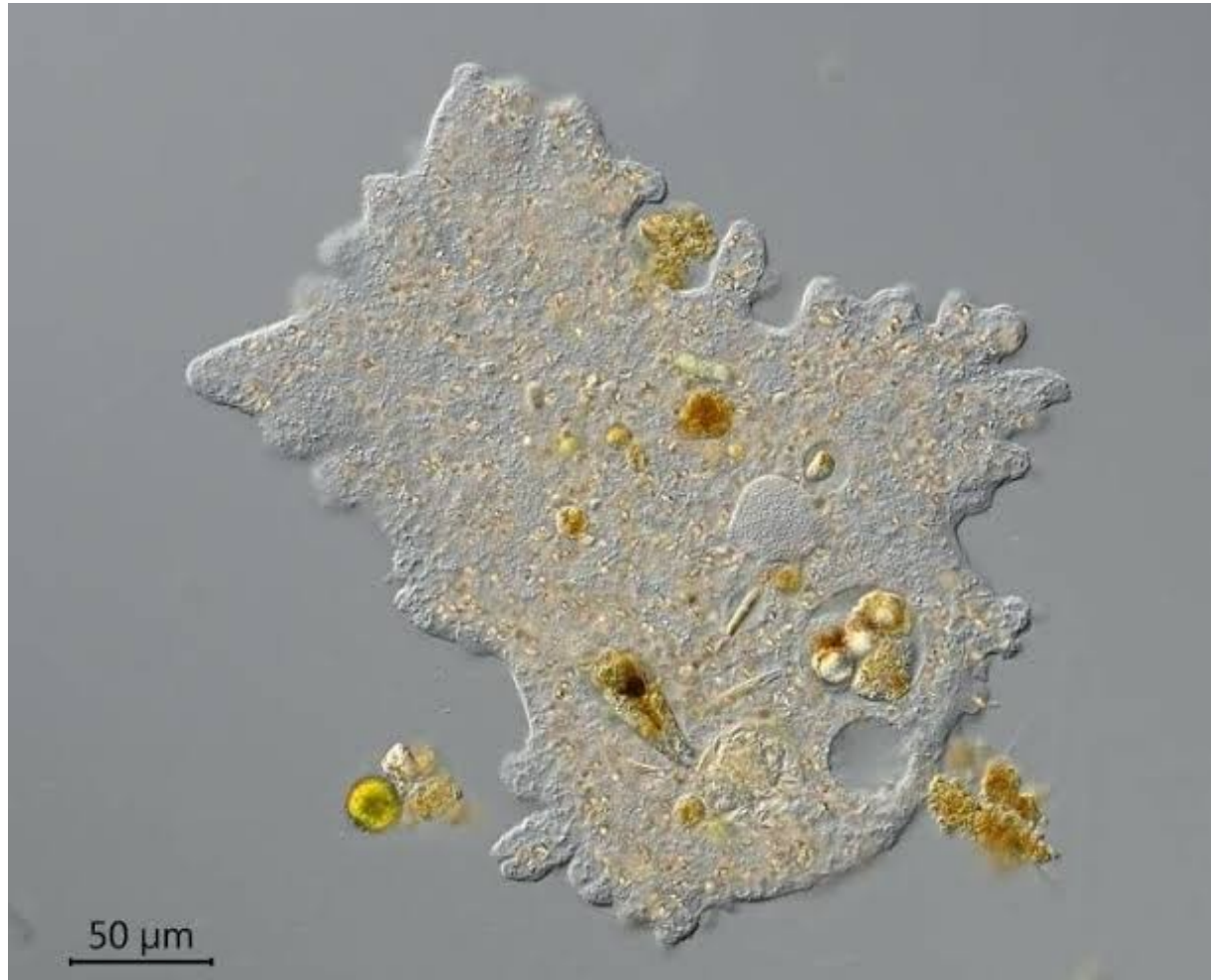
Eumycetozoa - hlenky vytváří mnohobuněčná mycelia a "fruiting bodies"



Dictyostelium discoideum

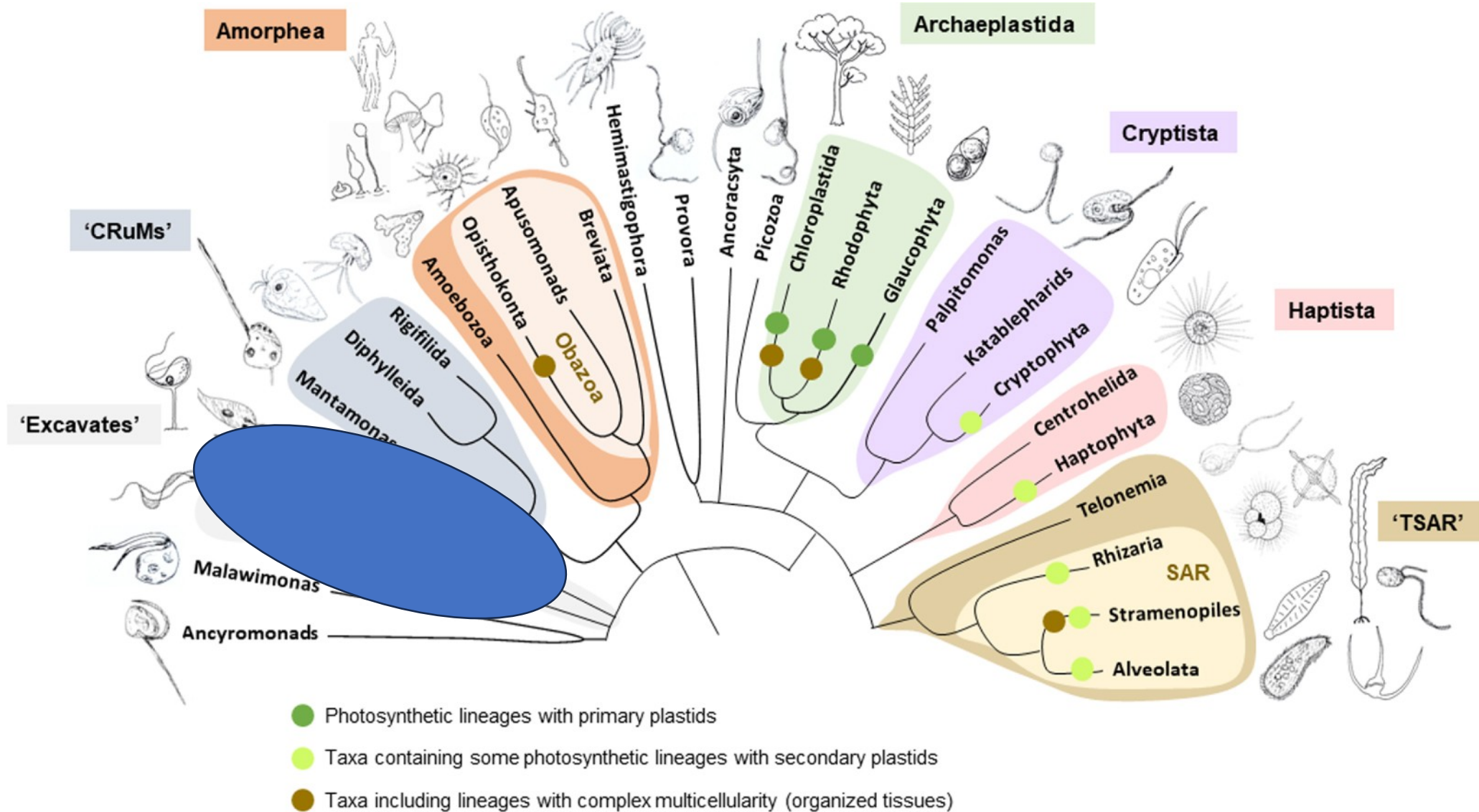
Amoebozoa

Polychaos dubium – největší známý genom (cca 700 bbp)



"Excavata"

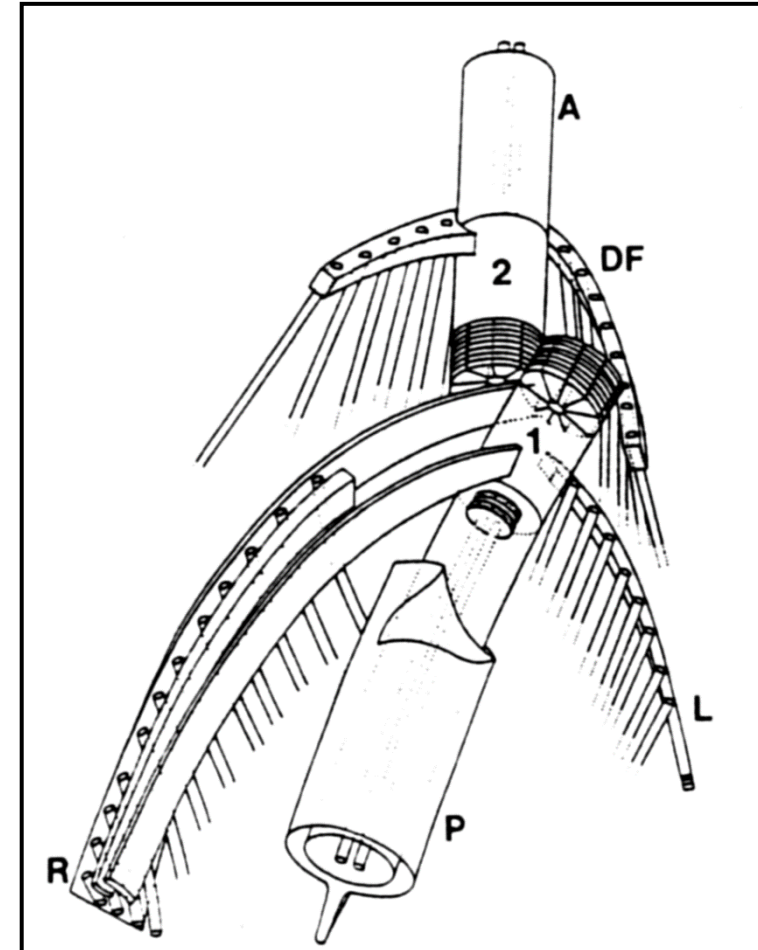
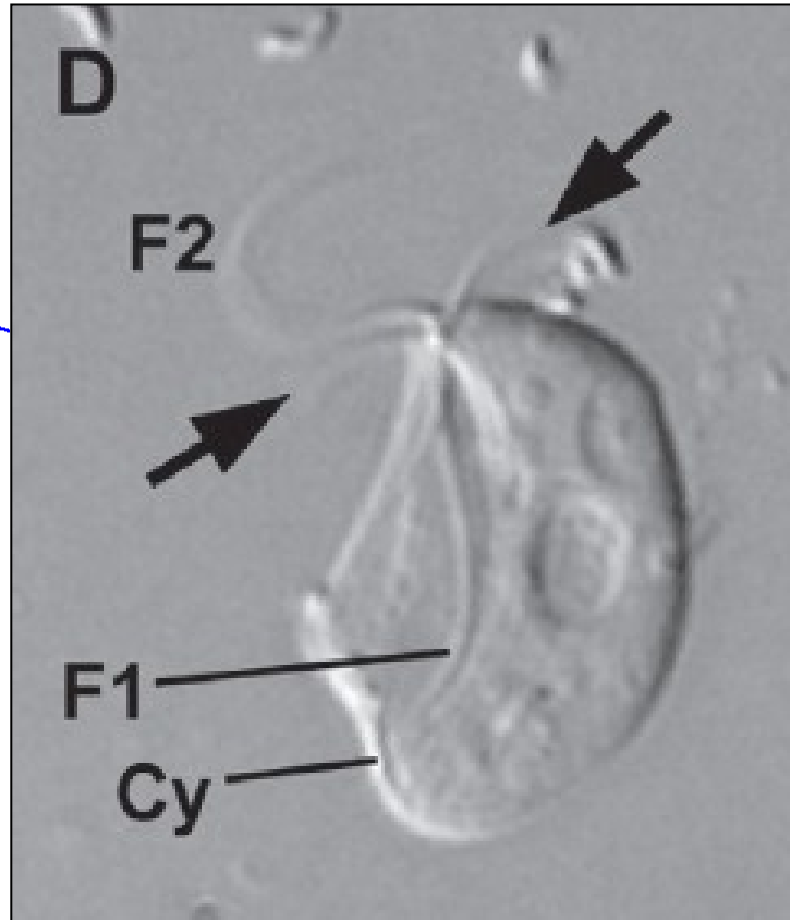
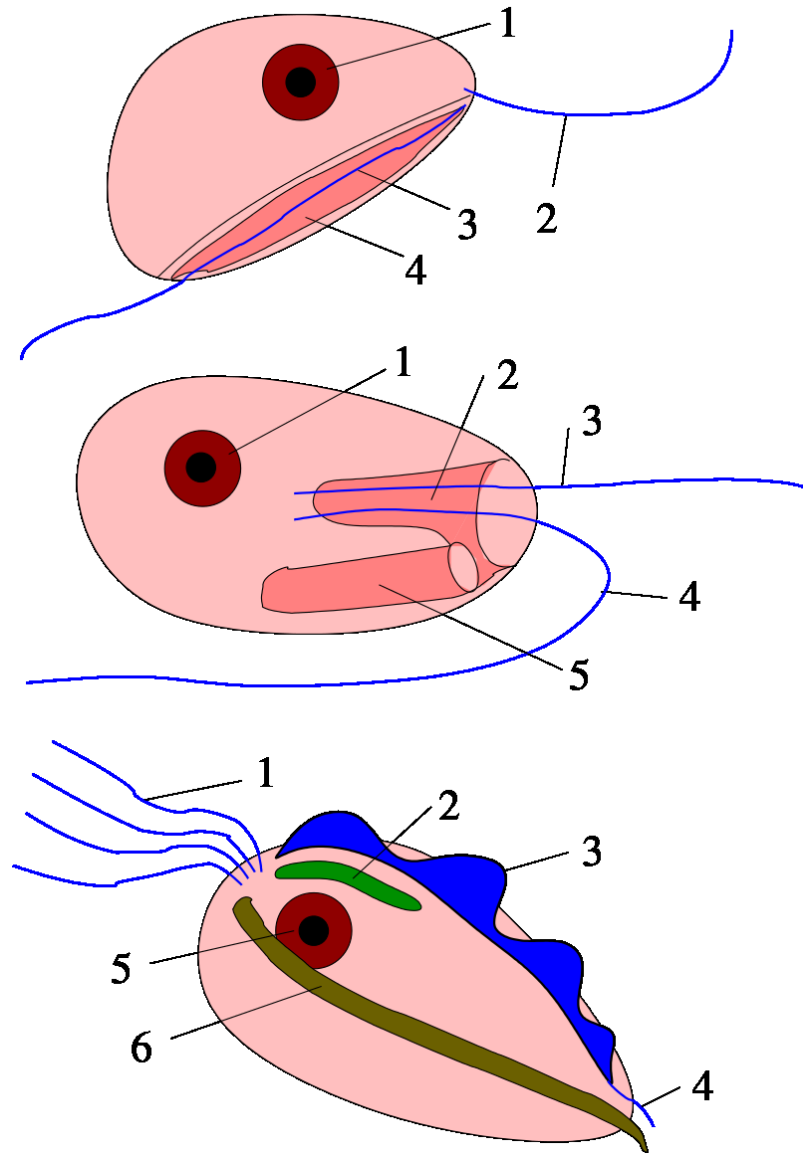
Dvě nejspíš nepříbuzné skupiny: Discoba a Metamonada



"Excavata"

Několik hodně divergentních skupin bičíkovců ancestrálně s ventrální rýhou, kterou prochází zpětný bičík s "ploutvičkami"

A dvě bazální tělíska (zpětného a předního bičíku) s mikrotubulárními kořeny (svazky mikrotubulů).



”Excavata”

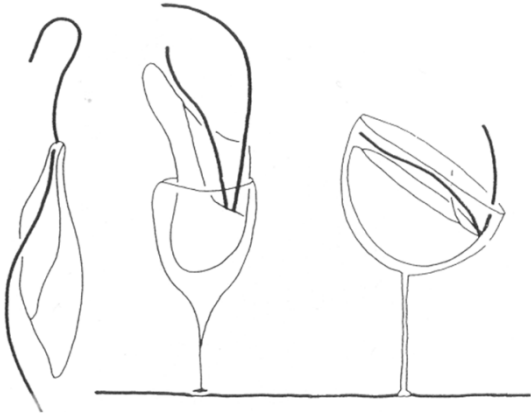
(Ne)Mají taky často velmi podivné mitochondrie

- nejméně redukovaný genom (Jakobida)
- největší mitochondrie (Kinetoplastea)
- zcela bez genomu (Metamonada, část Jakobida a Heterolobosea)
- úplně chybí (alespoň některé oxymonády)

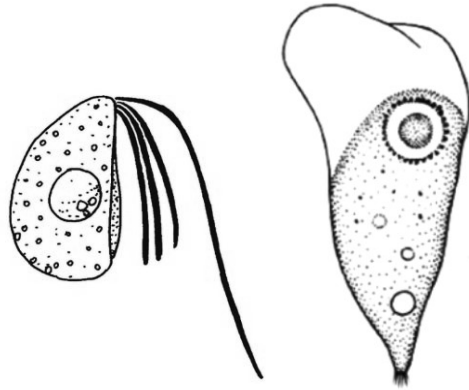
Discoba

Žádná morfologická synapomorfie

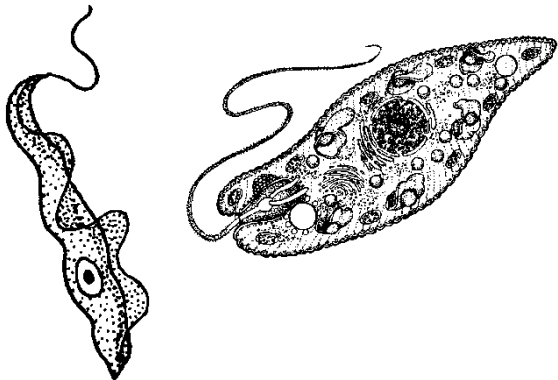
Jakobida



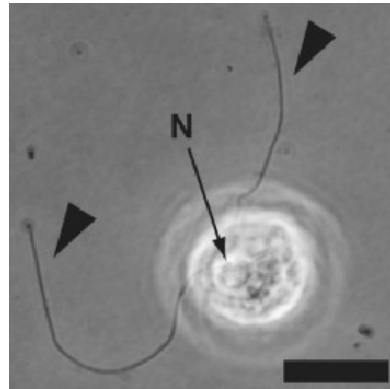
Heterolobosea



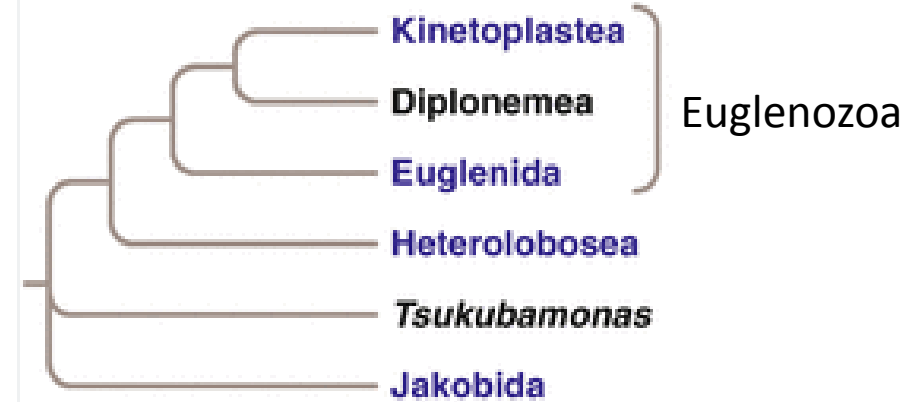
Euglenozoa



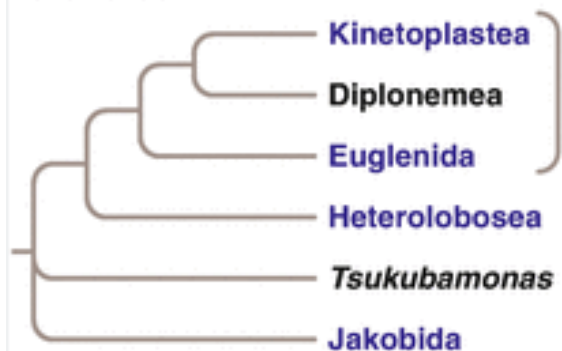
Tsukubamonas



Discoba

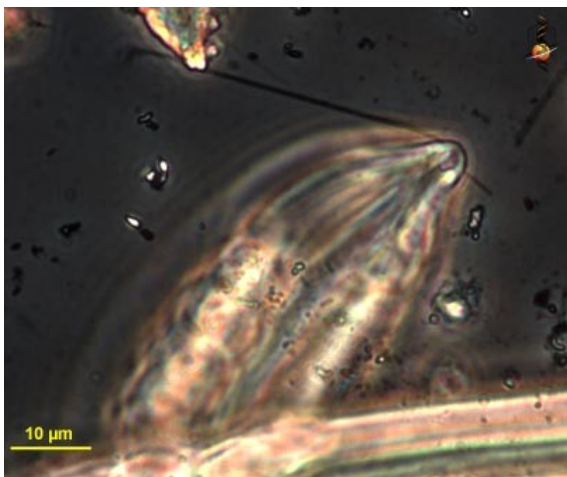


Discoba

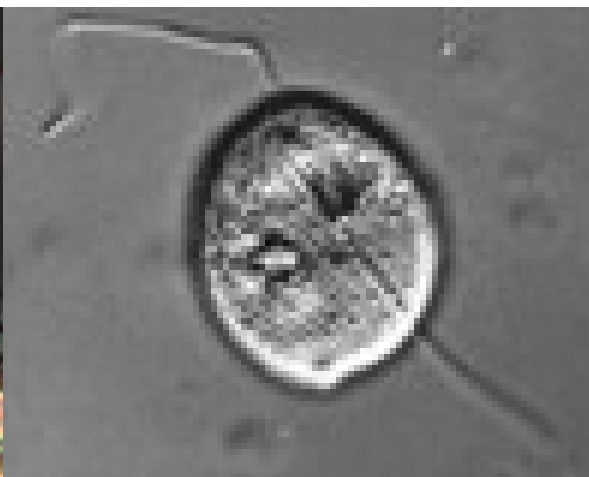


Euglenozoa: Euglenida - krásnoočka

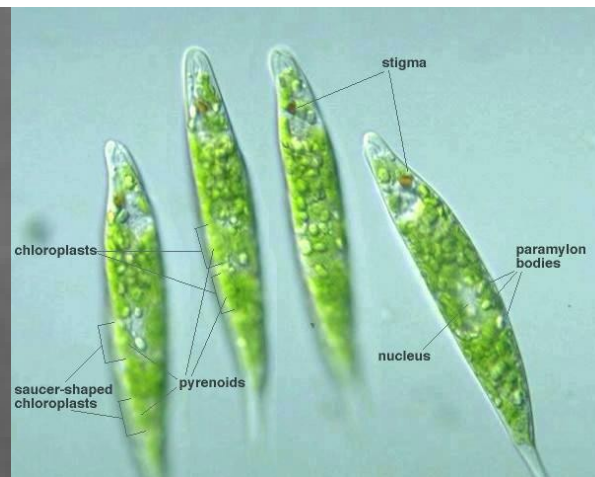
Původně asi heterotrofní, odvozenější linie fotosyntetické (sekundární "zelený" plastid), zásobní polysacharid paramylon



Metanema strenum



Notosolenus ostium



Euglena polymorpha



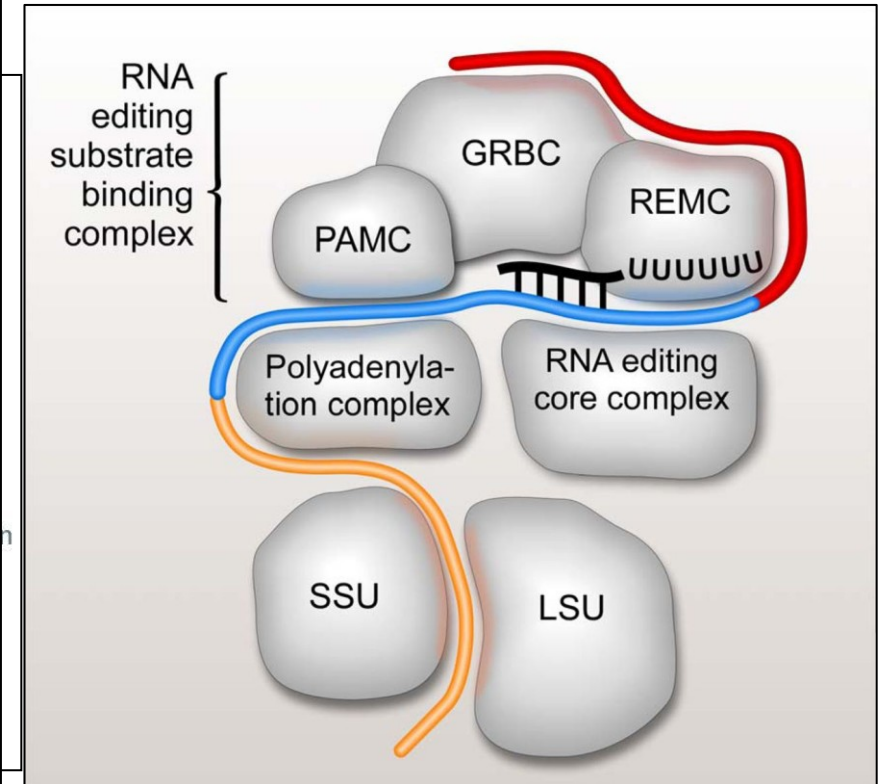
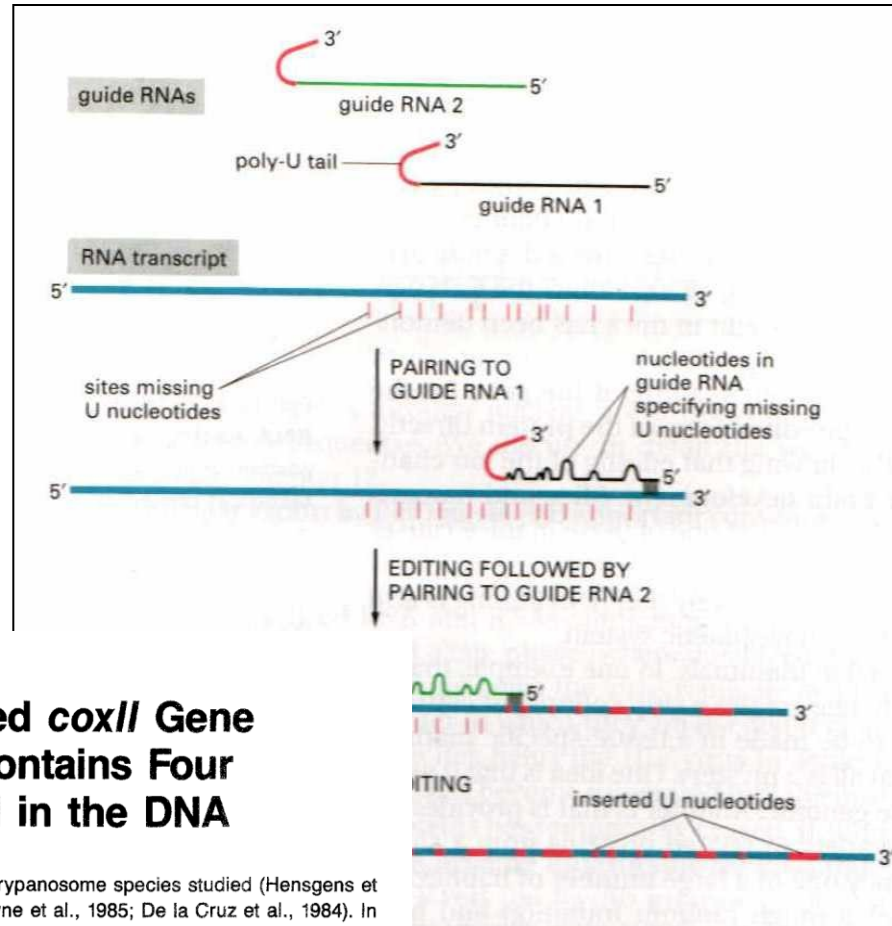
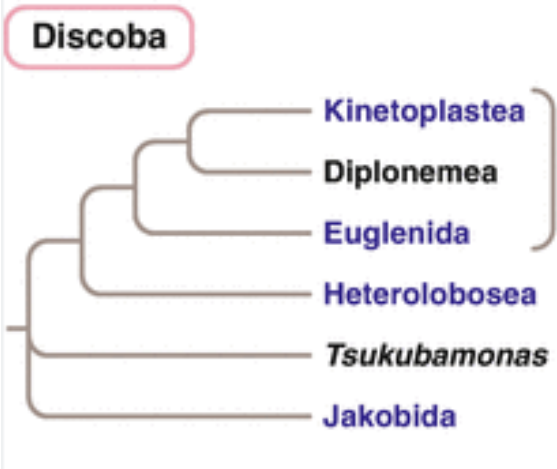
Euglena oxyuris

Biotechnologicky zajímaví (produkce α -tocopherol, estery, polyunsaturated fatty acids, biotin a tyrosin)

Euglenozoa: Kinetoplastea - bičivky

Volně žijící predátoři (2 bičivky) a parazité

Jediná obří mitochondrie (kinetoplast) tvořený sítí fragmentů
 de RNA pro RNA editing (mini)



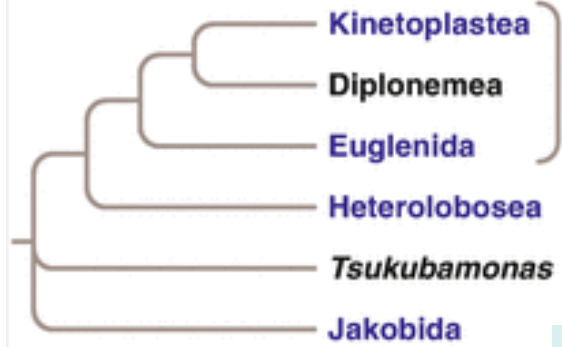
Cell, Vol. 46, 819-826, September 12, 1986, Copyright © 1986 by Cell Press

Major Transcript of the Frameshifted *coxII* Gene from Trypanosome Mitochondria Contains Four Nucleotides That Are Not Encoded in the DNA

Rob Benne,* Janny Van Den Burg, Just P. J. Brakenhoff, Paul Sloof, Jacques H. Van Boom,† and Marijke C. Tromp†

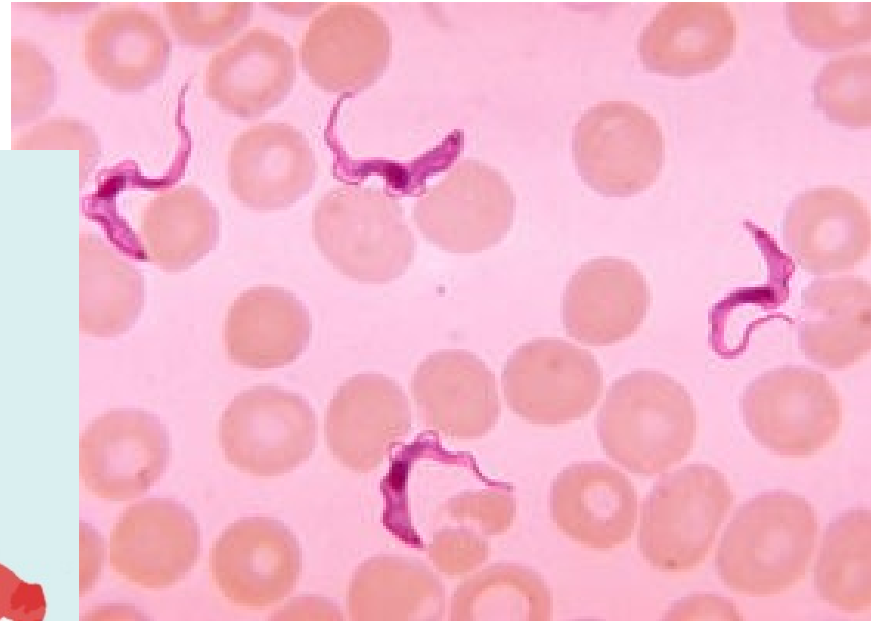
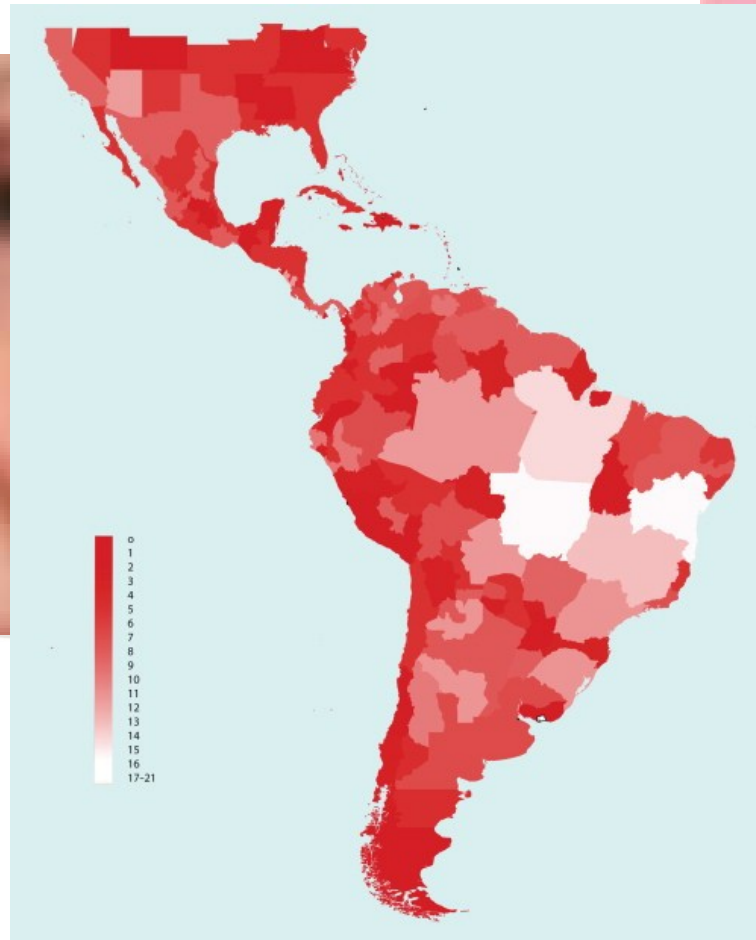
in the three trypanosome species studied (Hensgens et al., 1984; Payne et al., 1985; De la Cruz et al., 1984). In spite of this discontinuity, the gene appears to be func-

Discoba

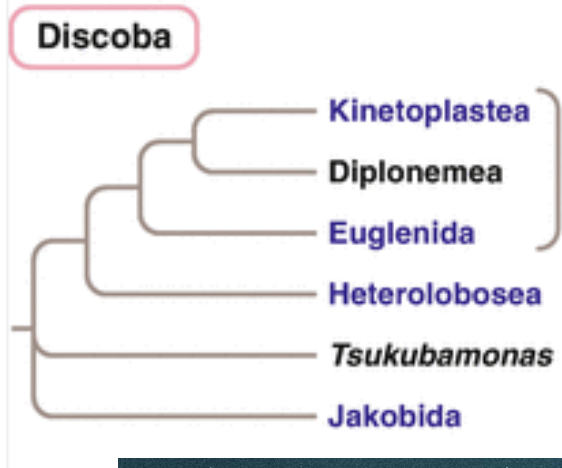


Euglenozoa: Kinetoplastea - bičivky

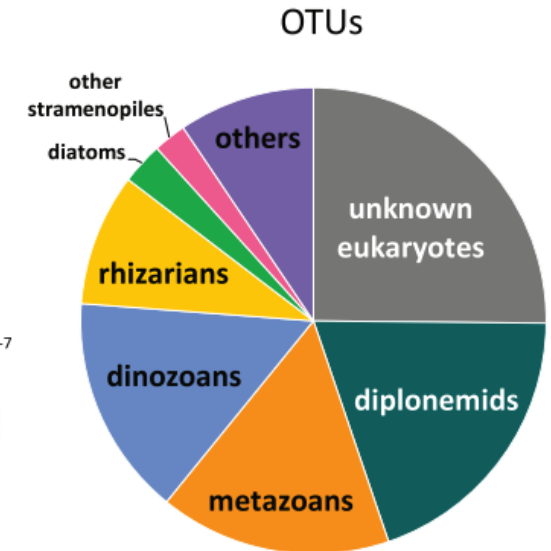
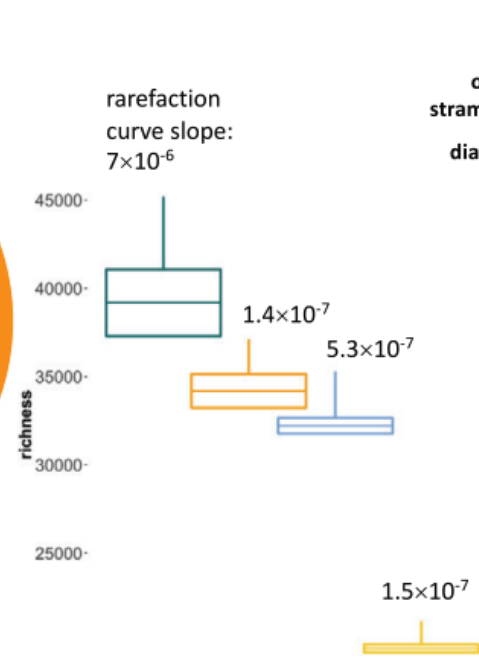
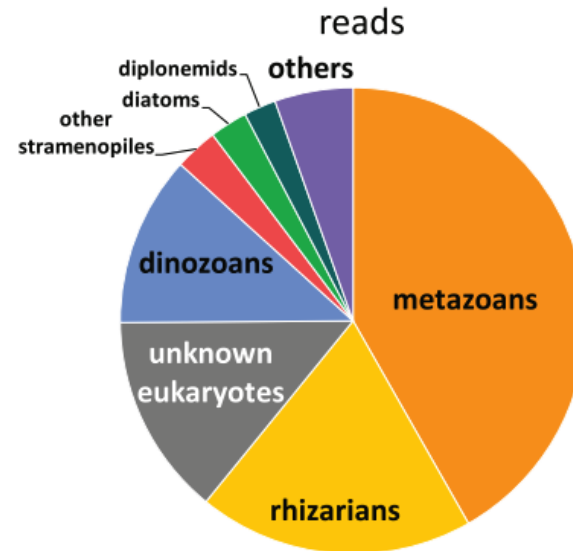
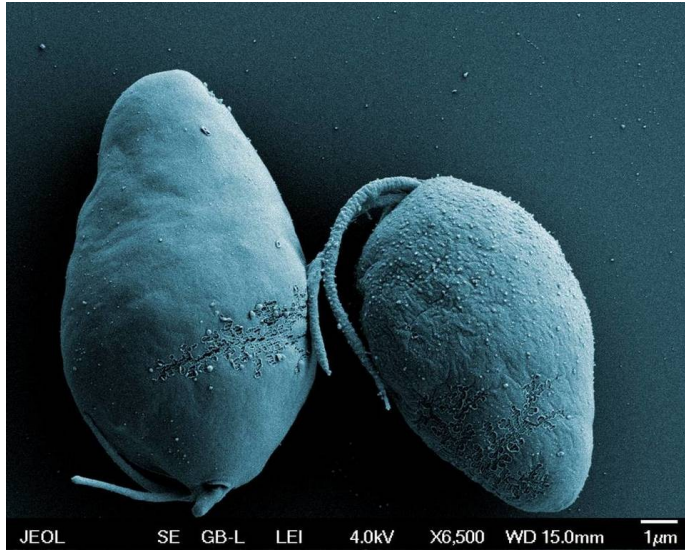
Trypanozoma americká Chagasova nemoc (100/5 ml až 50 ti). ročne)



Euglenozoa: Diplonemea - diplonemy



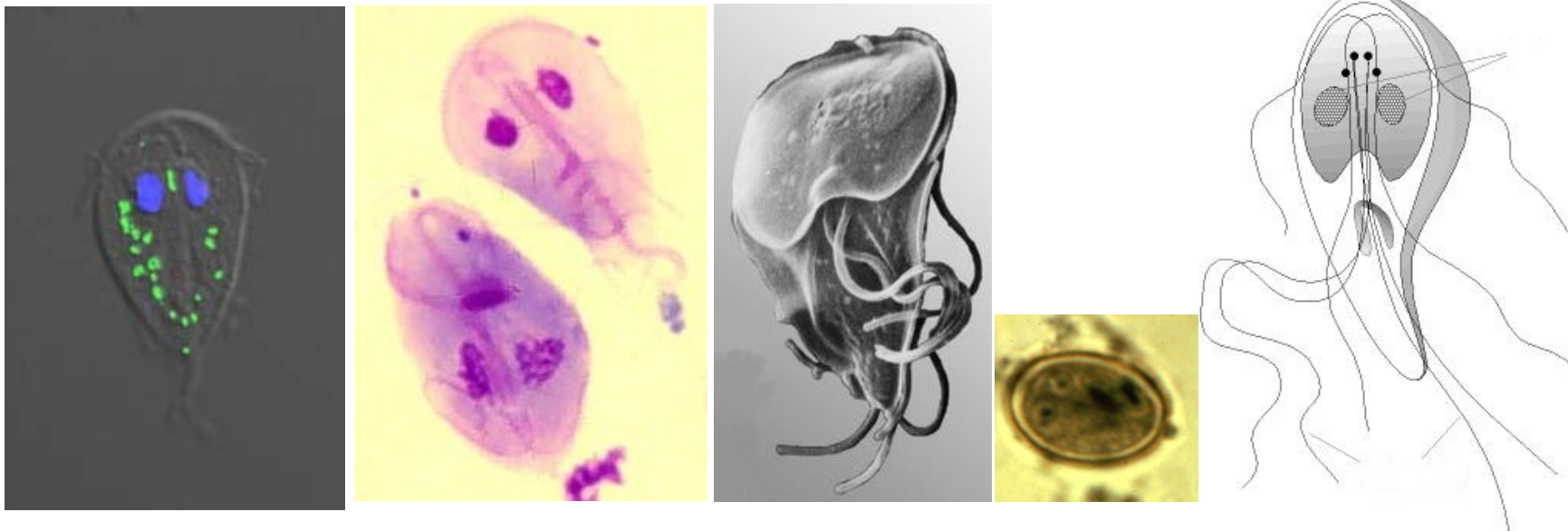
Nejspíš volně žijící bičíkovci, více než 50% celkové DNA v mitochondriích, ekologicky relevantní



Extreme Diversity of Diplonemid Eukaryotes in the Ocean

Olga Flegontova,^{1,2,11} Pavel Flegontov,^{1,4,11} Shruti Malviya,^{3,11,12} Stephane Audic,^{5,6} Patrick Wincker,^{7,8,9} Coloman de Vargas,^{5,8} Chris Bowler,³ Julius Lukeš,^{1,2,10} and Aleš Horák^{1,2,13,*}

Metamonada: Diplomonadida *Giardia intestinalis*

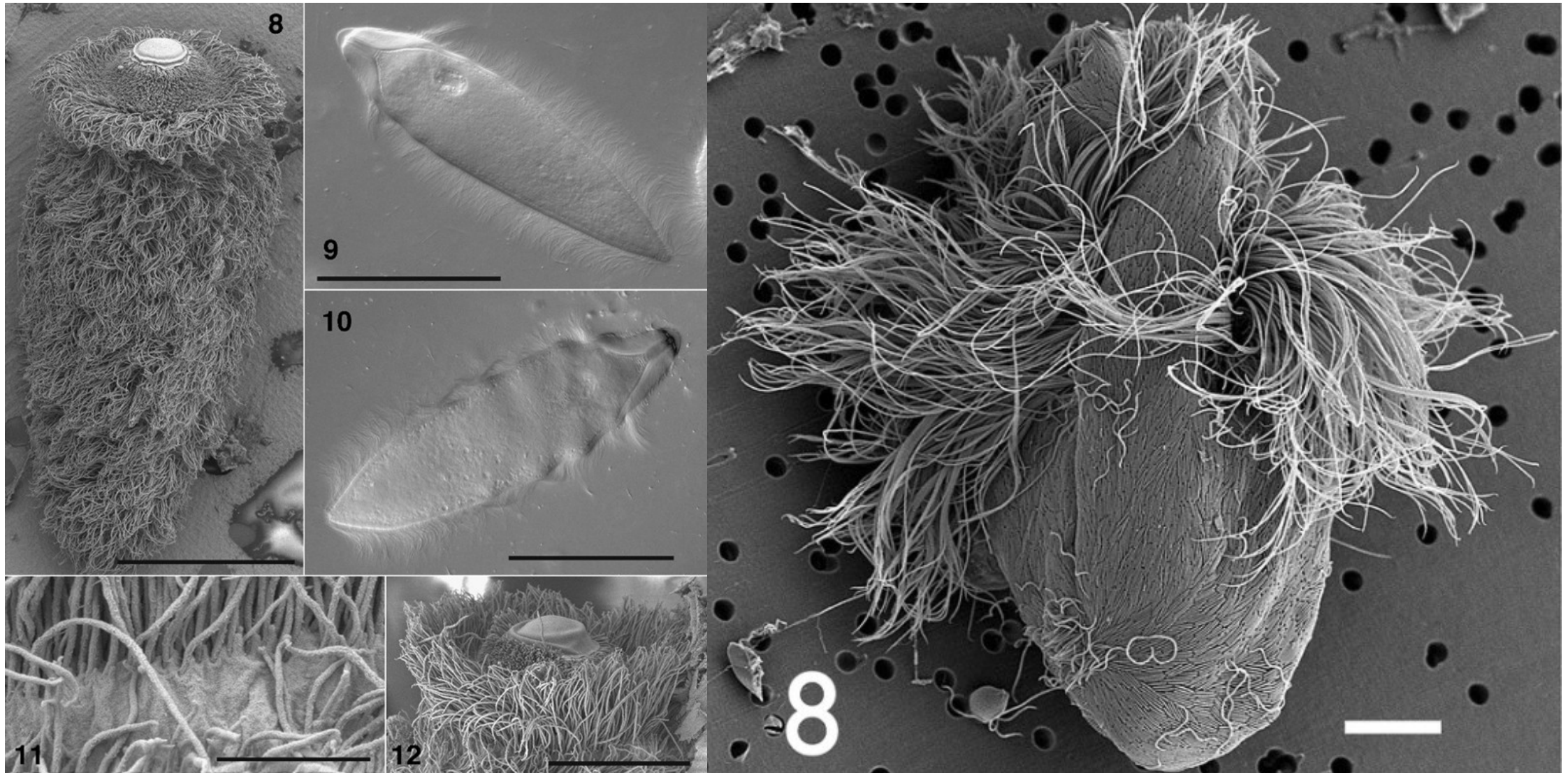


Asi nejrozšířenější lidský „parazit“

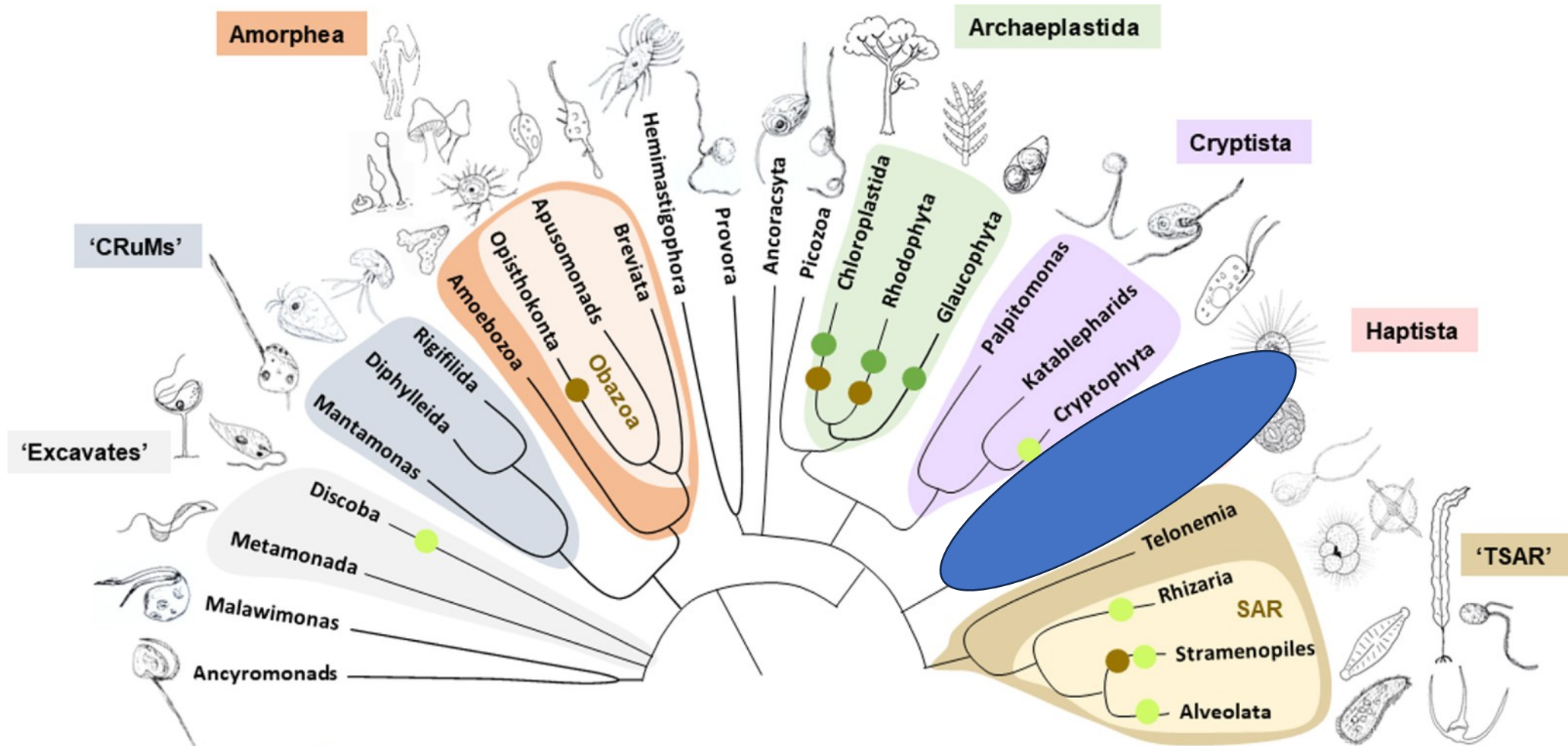


Metamonada: Parabasalia

Symbionti nižších termitů a dřevožravých švábů



Haptista

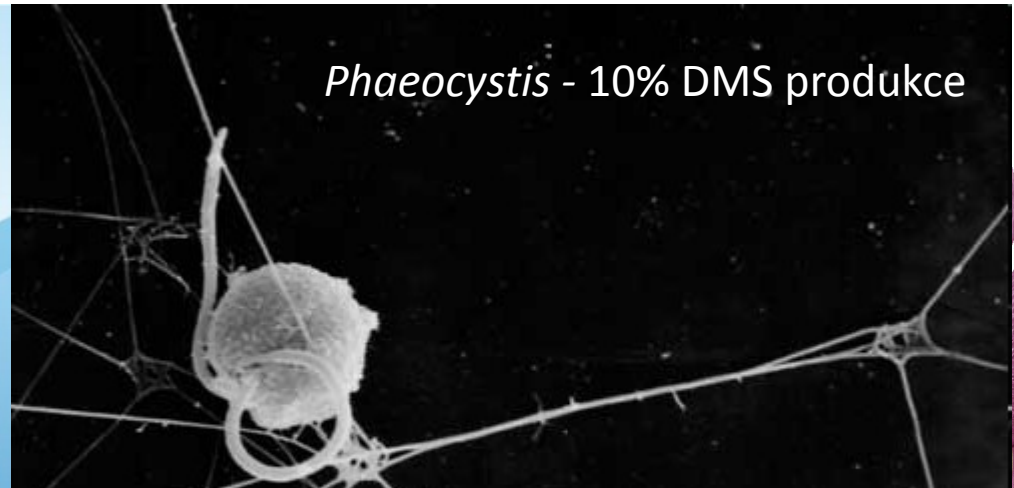
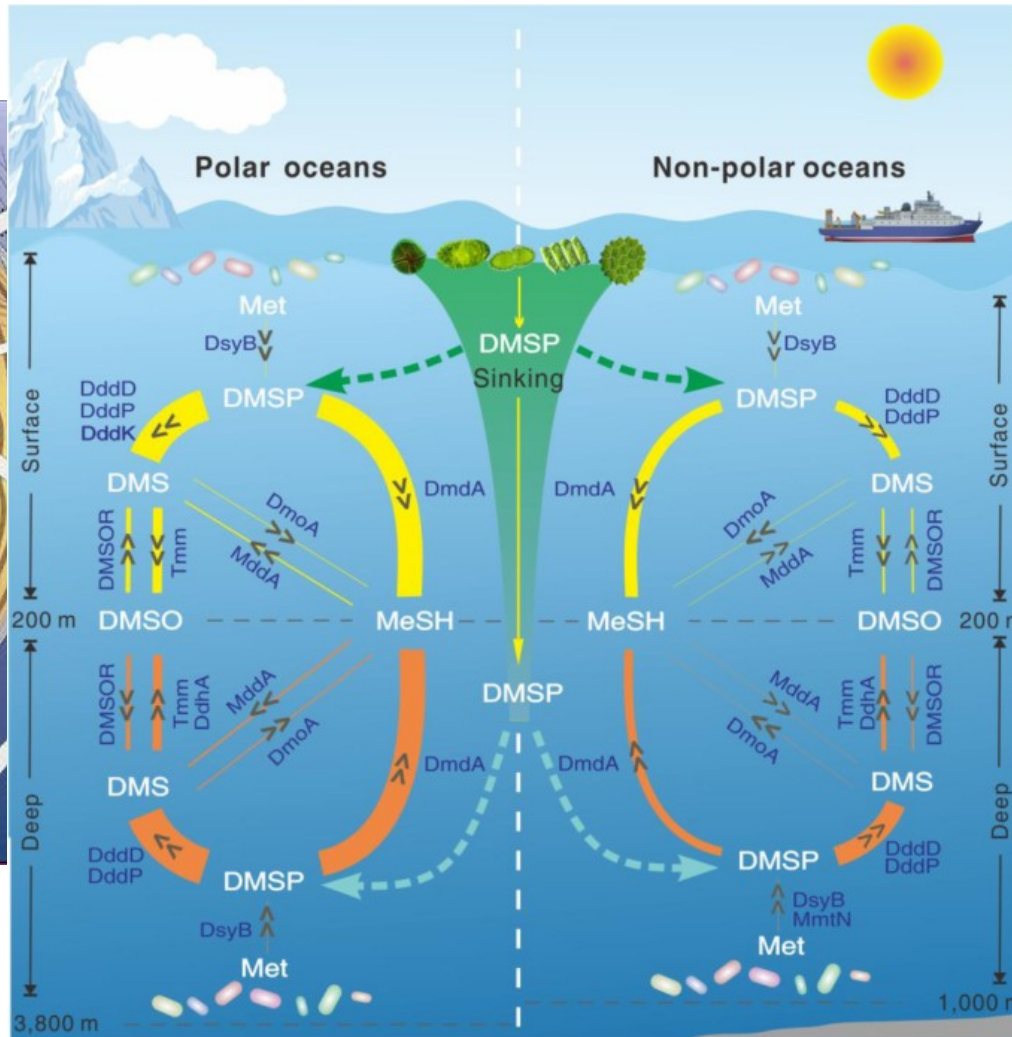


- Photosynthetic lineages with primary plastids
- Taxa containing some photosynthetic lineages with secondary plastids
- Taxa including lineages with complex multicellularity (organized tissues)

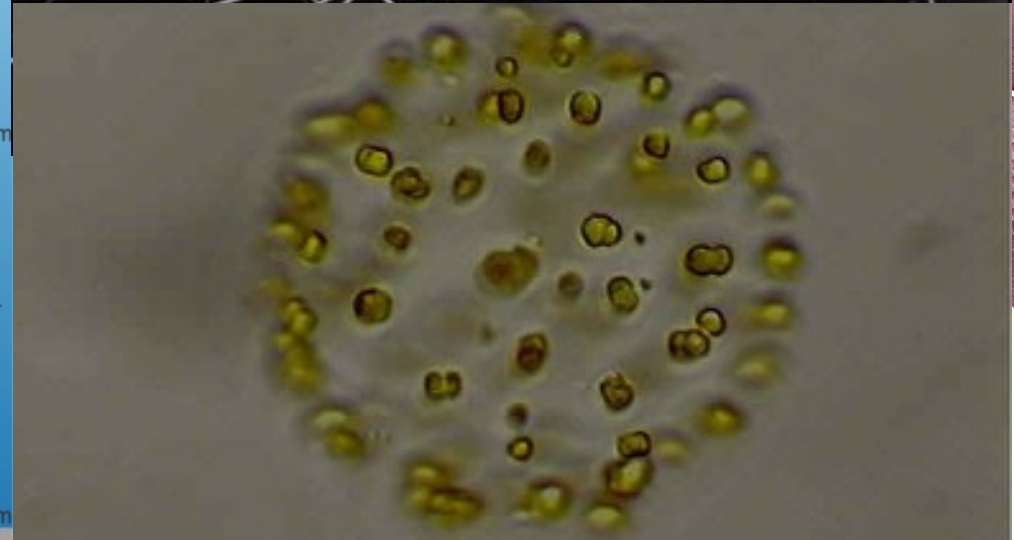
Haptista - Haptophyta

jednobuněční mořští bičíkovci, dva hladké bičíky a haptoneuma, schránka/šupiny z kalcitu (kokolity)

skupina zásadním způsobem ovlivňuje globální klima na Zemi (biogeochemický cyklus uhlíku a síry - dimethylsulfid), srážková kondenzační jádra, „vůně moře“

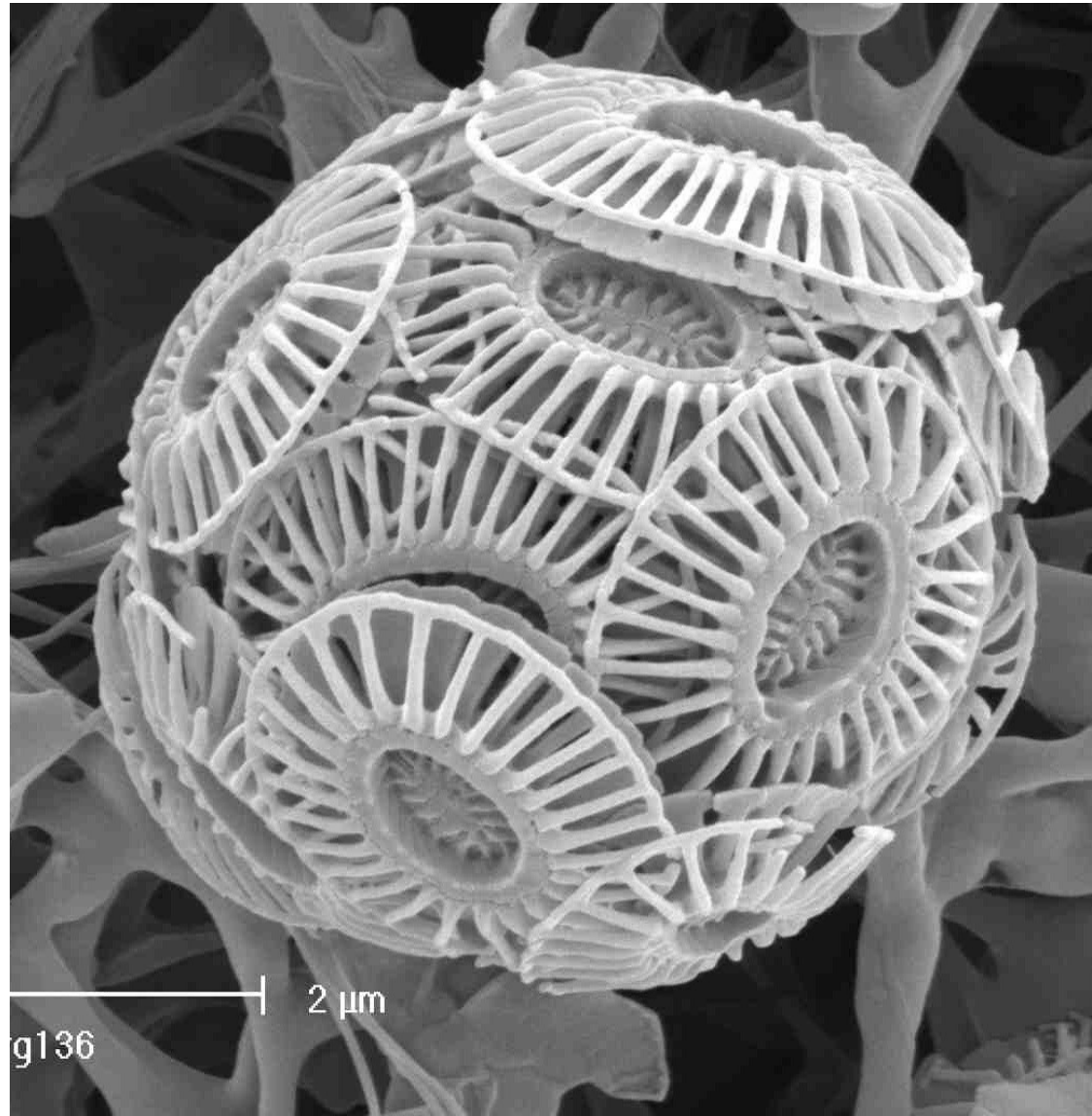


Phaeocystis - 10% DMS produkce



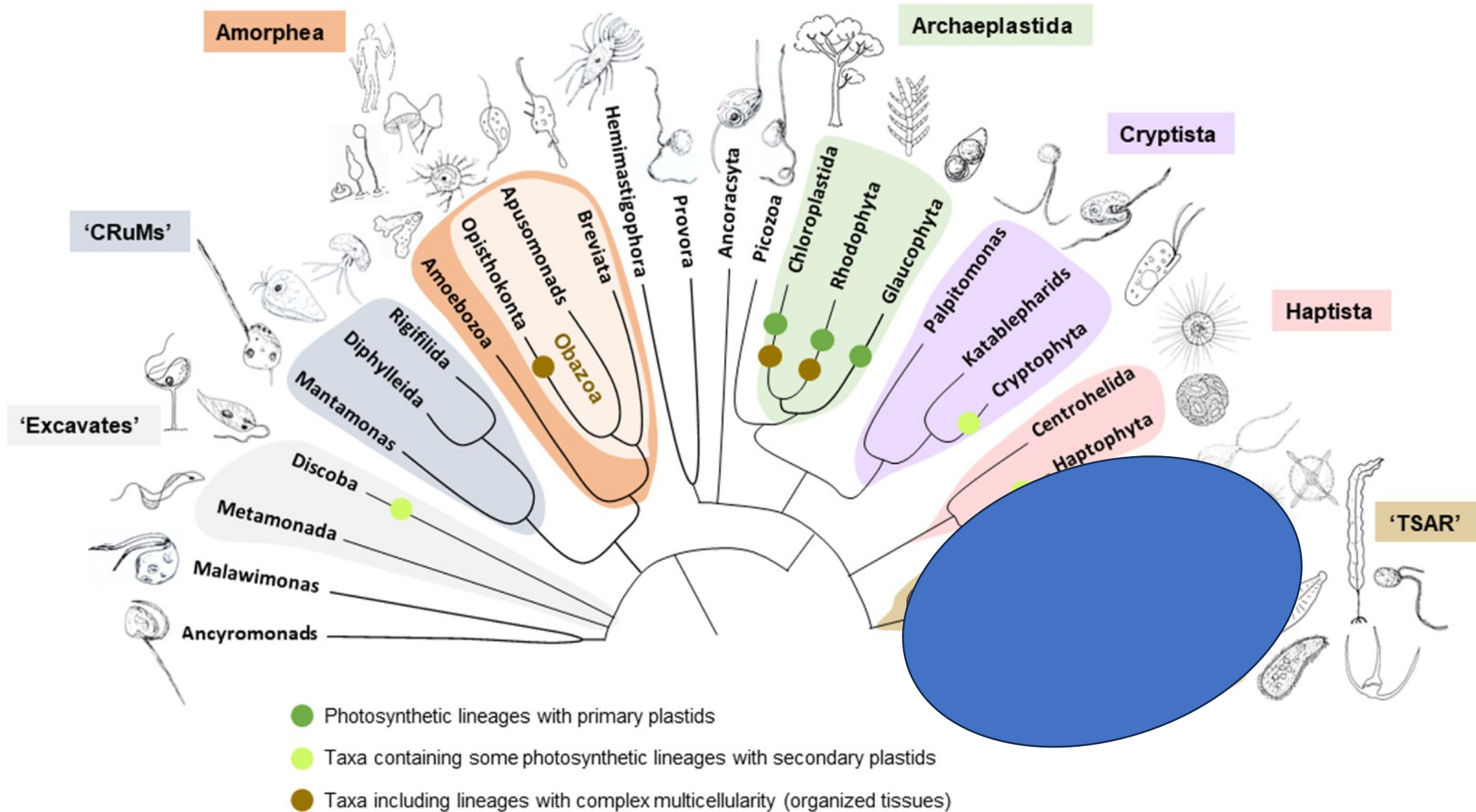
Haptista - Haptophyta

Gephyrocapsa (=Emiliana) huxleyi - jeden z nejpočetnějších organismů na planetě



TSAR

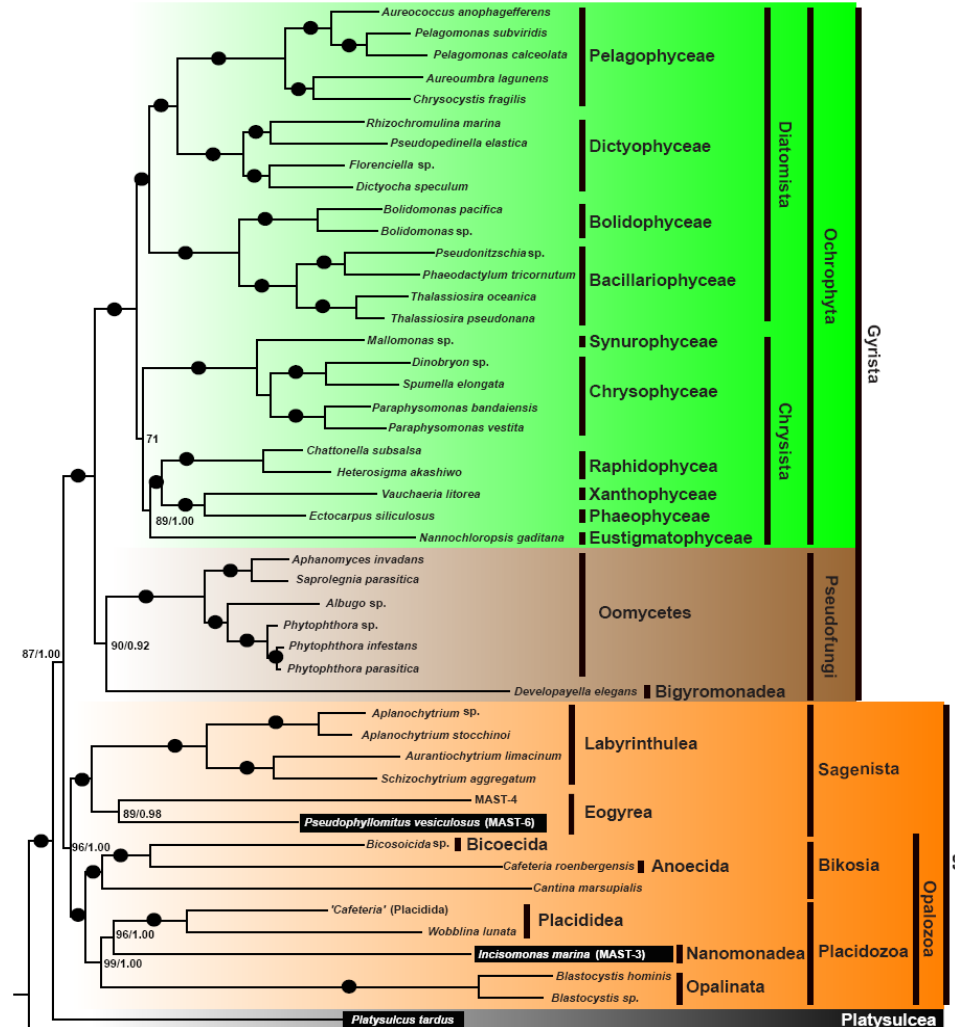
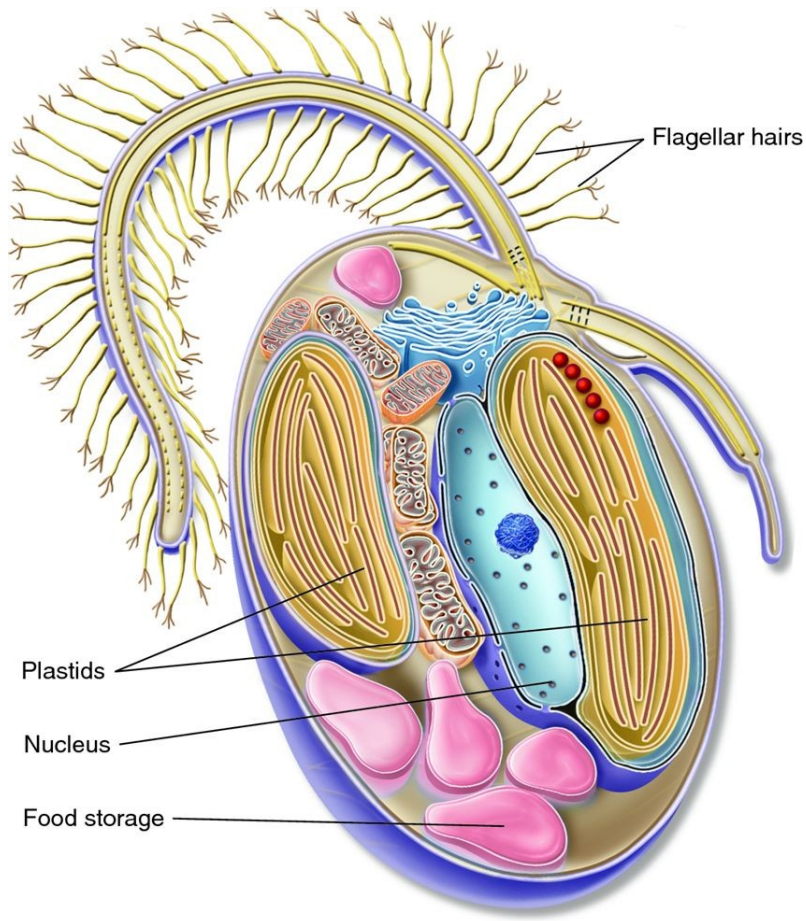
Telonemia – Stramenopila - Alveolata – Rhizaria



Stramenopila (Heterokonta)

obrovský ekologický význam (primární producenti I konzumenti), parazité, obrovská diverzita

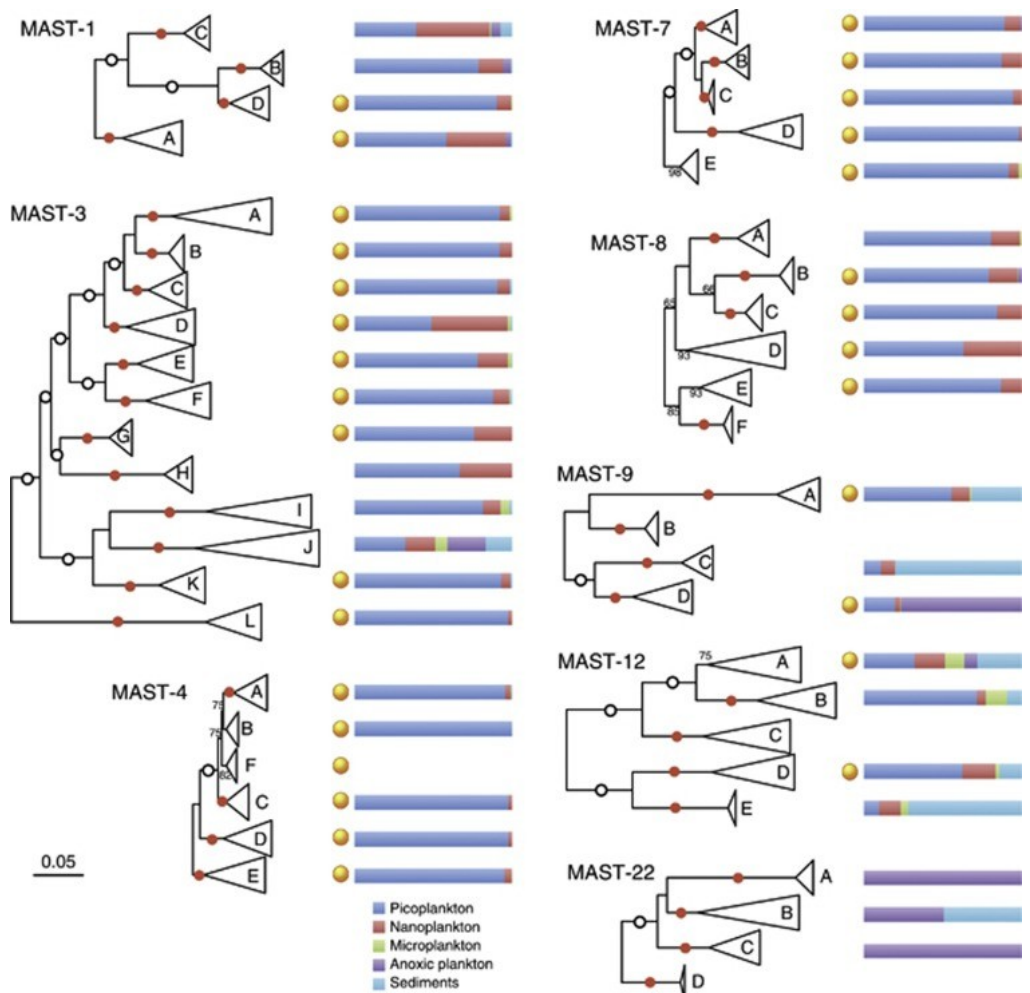
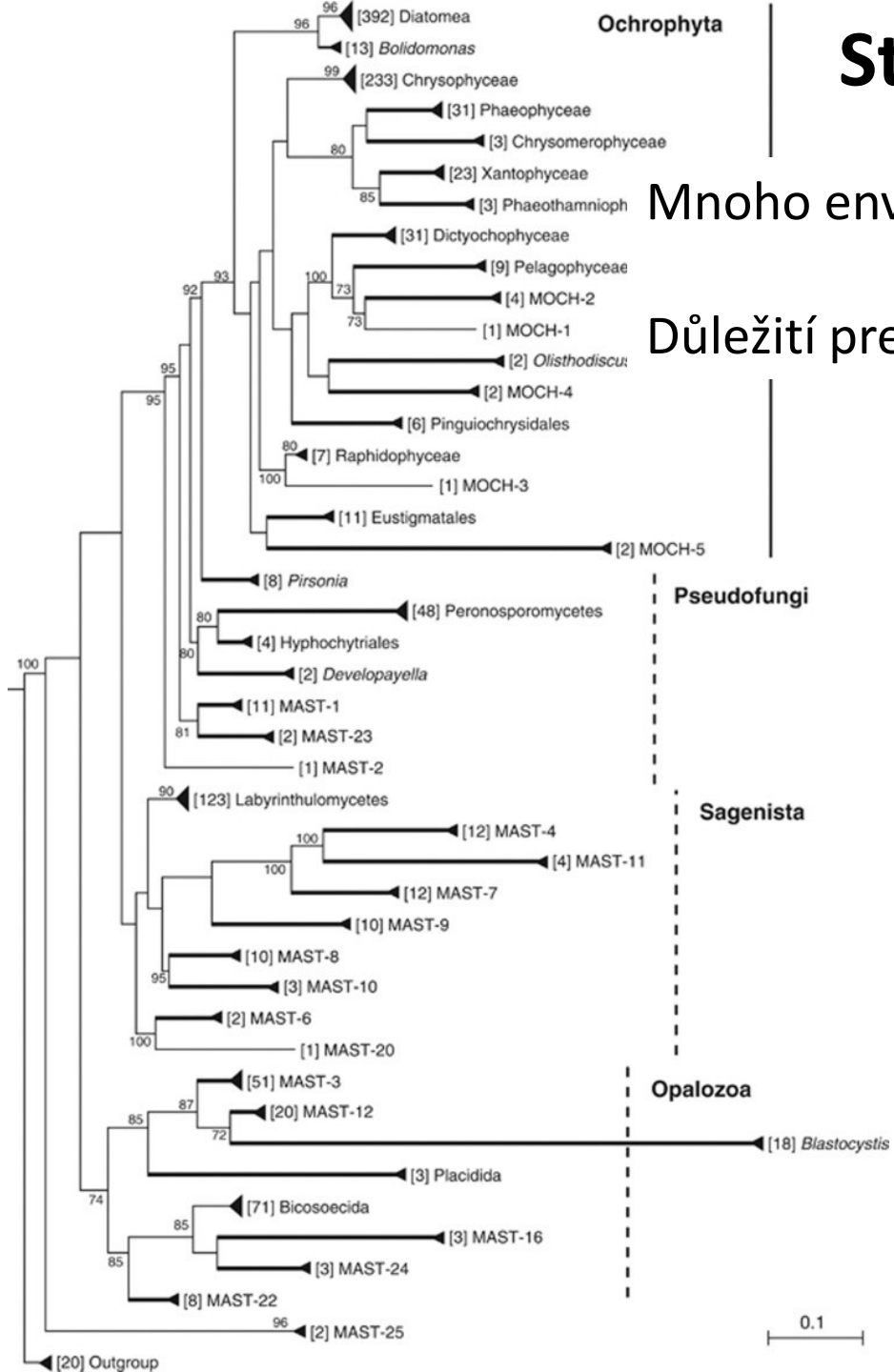
heterokontní bičík – tažný i tlačný, primárně asi heterotrofní



Stramenopila (Heterokonta)

Mnoho environmentálních linií mořských heterotrofních stramenopil MAST

Důležití predátoři bakterií a drobného eukaryotického planktonu



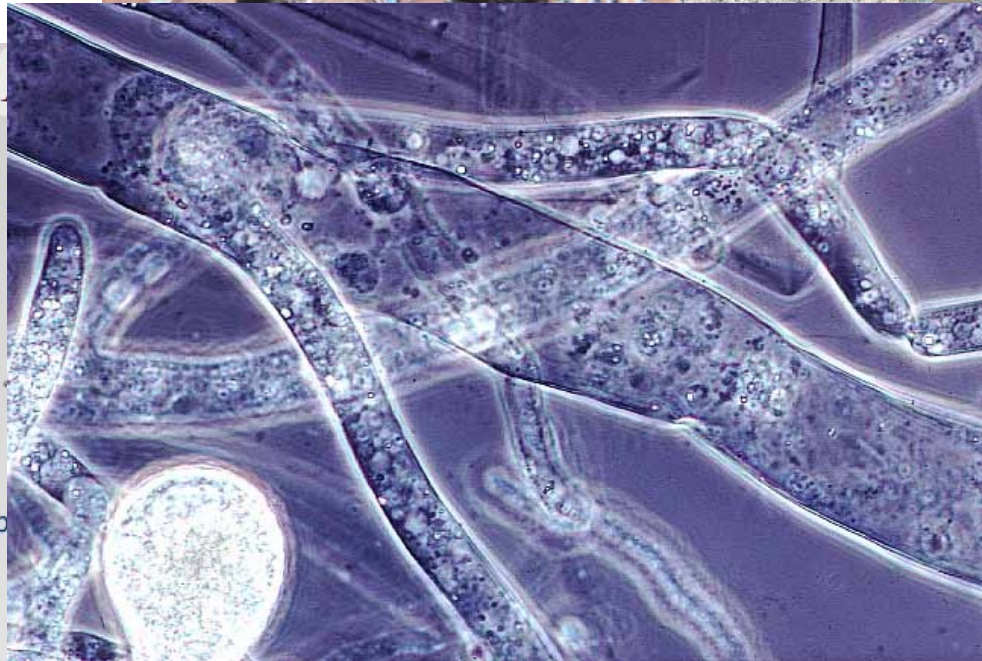
Stramenopila (Heterokonta)

oomycety

Parazitické linie na pomezí heterotrofních a fototrofních stramenopil (ochrophyt),

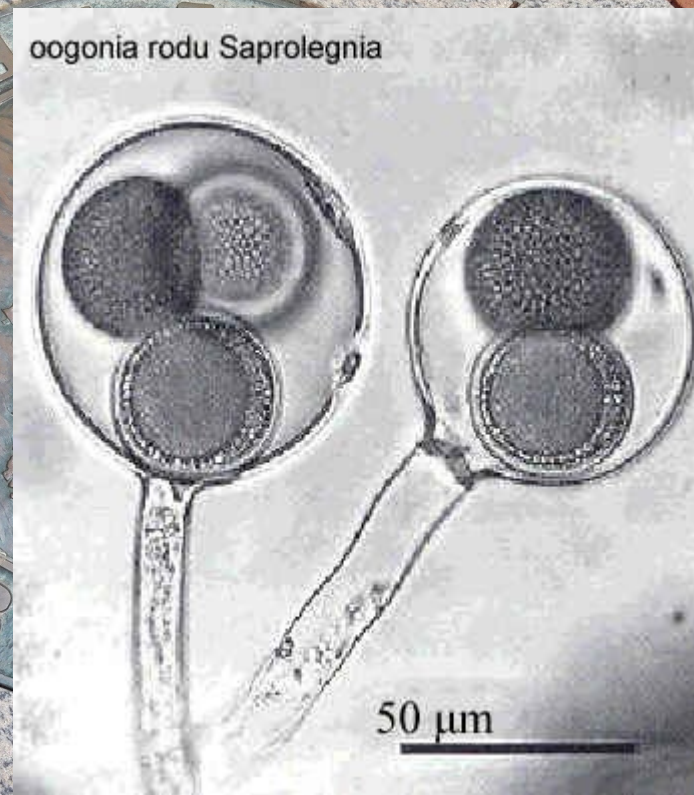
Podobné
Význačné
migrace

morů a



sp

chlamydosp



oogonia rodu *Saprolegnia*

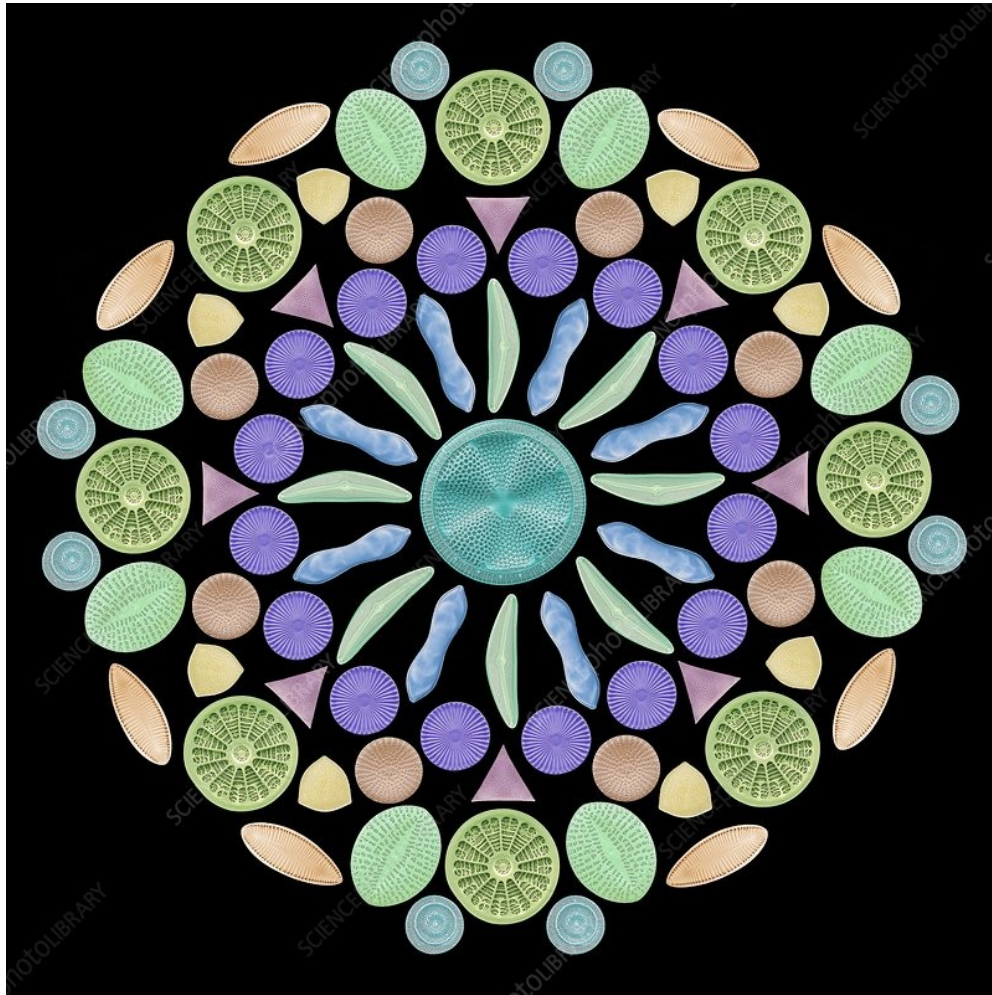
50 μm



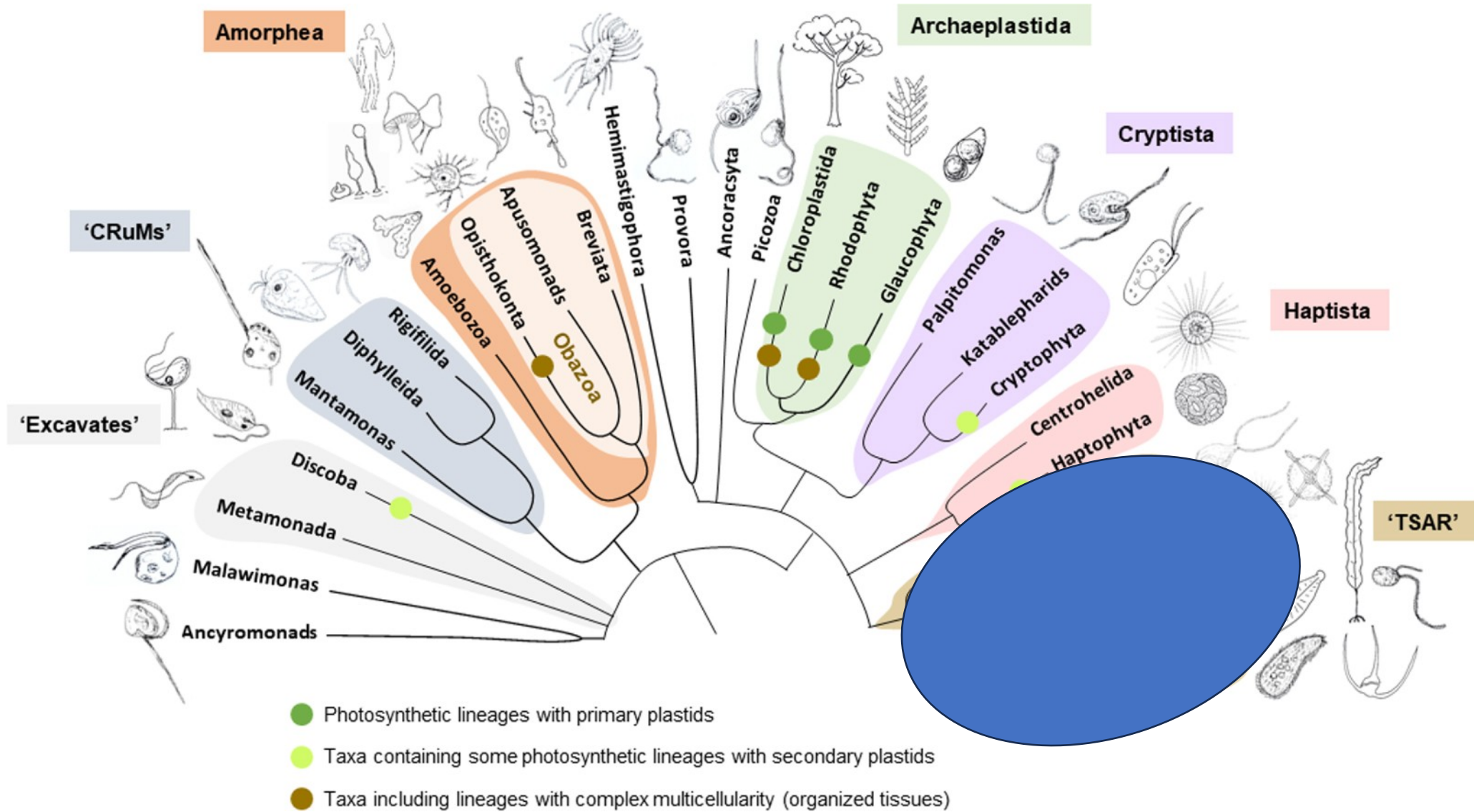
Stramenopila (Heterokonta)

Ochrophyta - hnědé řasy

Sekundární plastid z ruduch, ekologicky nesmírně významné
(vice než 20% celkové primární produkce)



Alveolata



Alveolata

Cortical alveoli

Váčky pod plazmatickou membránou vyztužující buňku, poskytuje oporu pro aktivní pohyb bez nutnosti vnější schránky.

Jediný společný znak skupiny (přítomen ale i u glaukofyt a telonem)



Alveolata: Ciliophora - nálevníci

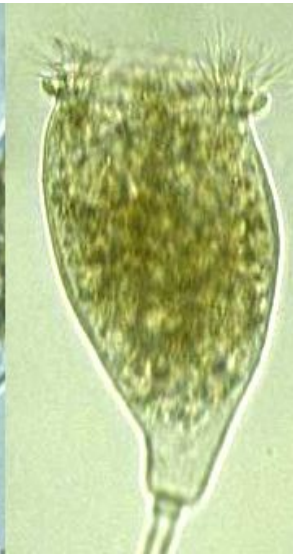
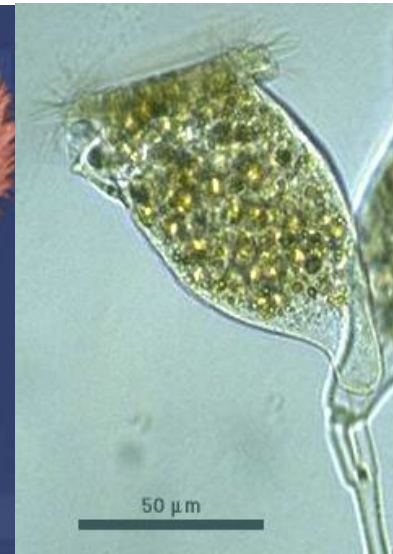
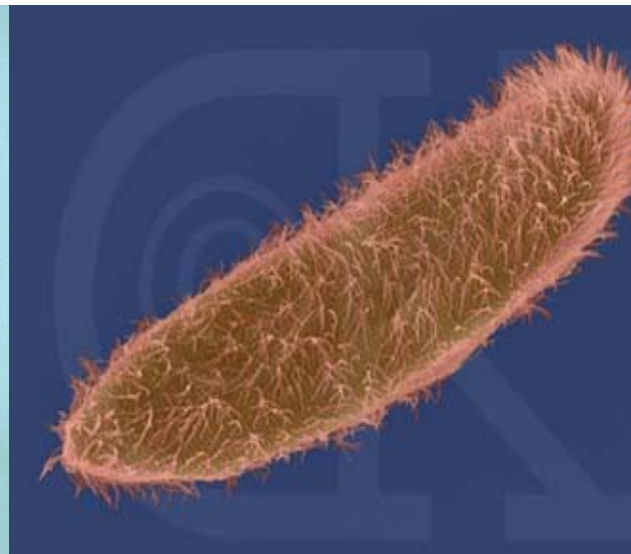
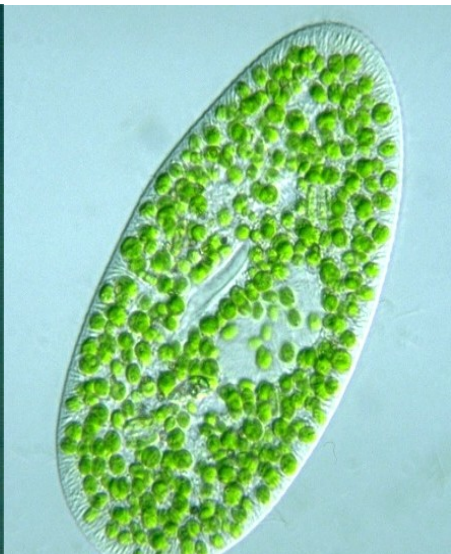
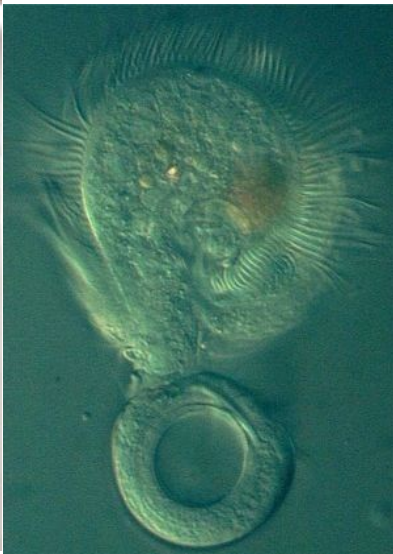
Zmnožené bičíky zmenšené na brvy - cilie

Aktivní pohyb – důležití predátoři a filtrátoři – cytostom/cytopharynx

Vícejaderní s funkčně odlišenými jádry (mikro- a makronukleus)

Pohlavní rozmnožování (konjugace) a příčné dělení

Tetrahymena thermophila – první modelový prvok, objev dyneinu (1965), funkce telomer (1978)*, katalytická aktivita RNA (1981)* a histon-modifikující enzymy (1996) *Nobelovy ceny



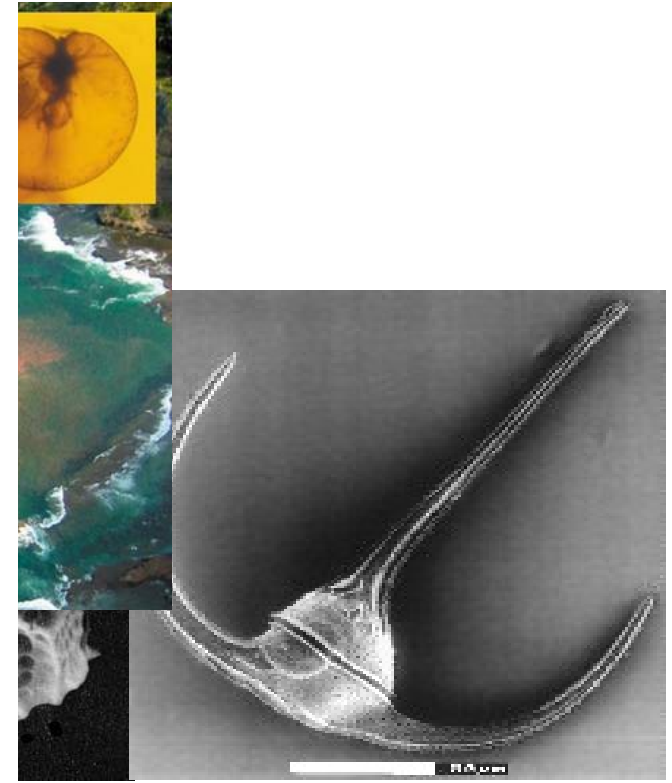
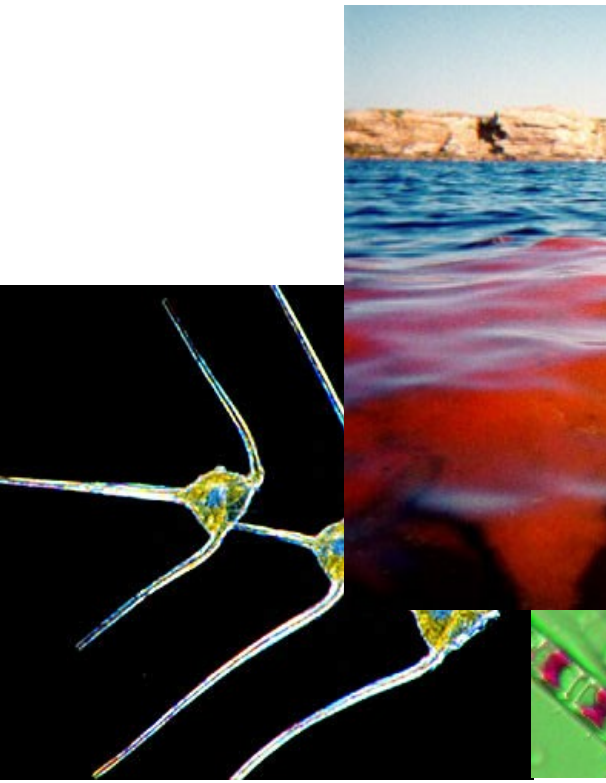
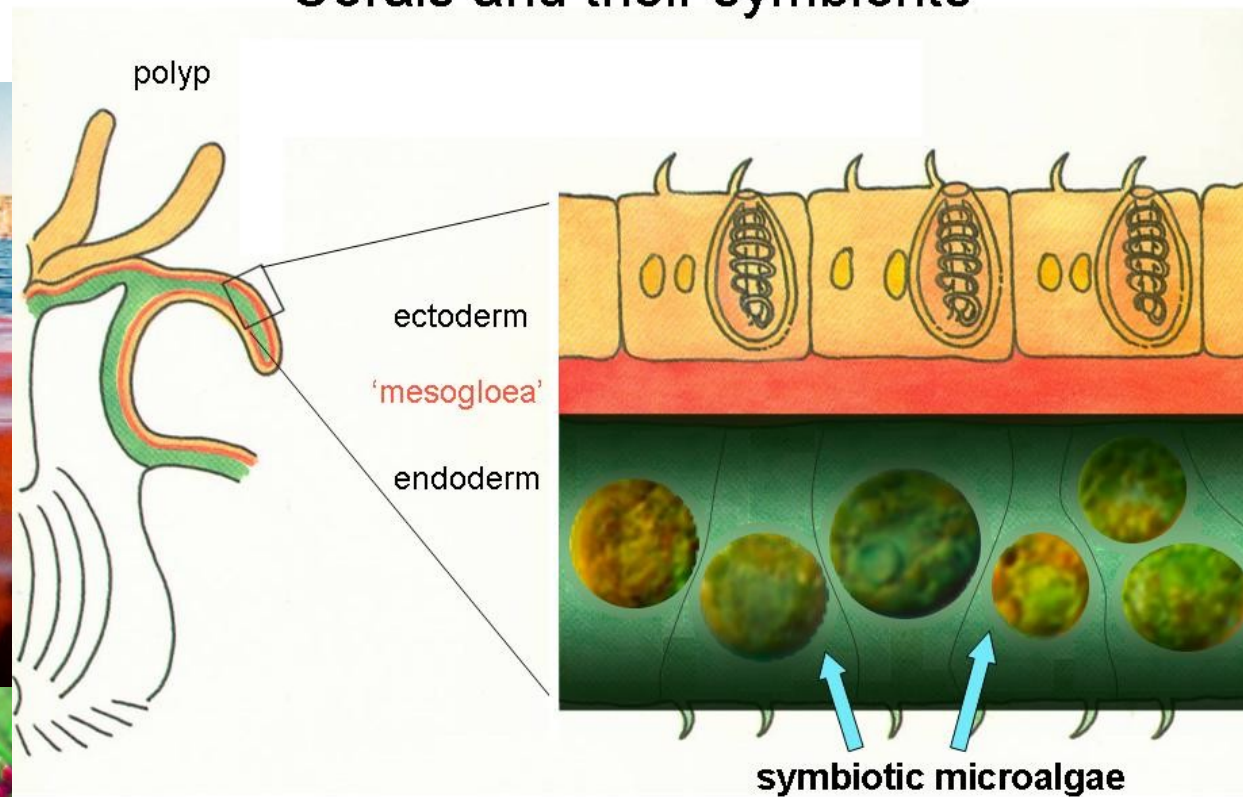
Alveolata: Dinozoa - obrněnky

Extrémně druhově bohatá a početná složka planktonu

50% heterotrofní (parazité a predátoři, zbytek auto- a mixotrofní), symbionti korálů - bleaching

Hospodářský význam – red tides a shelfish poisoning

Corals and their symbionts



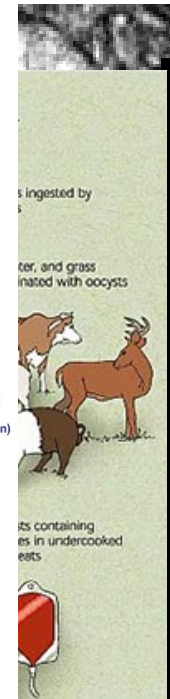
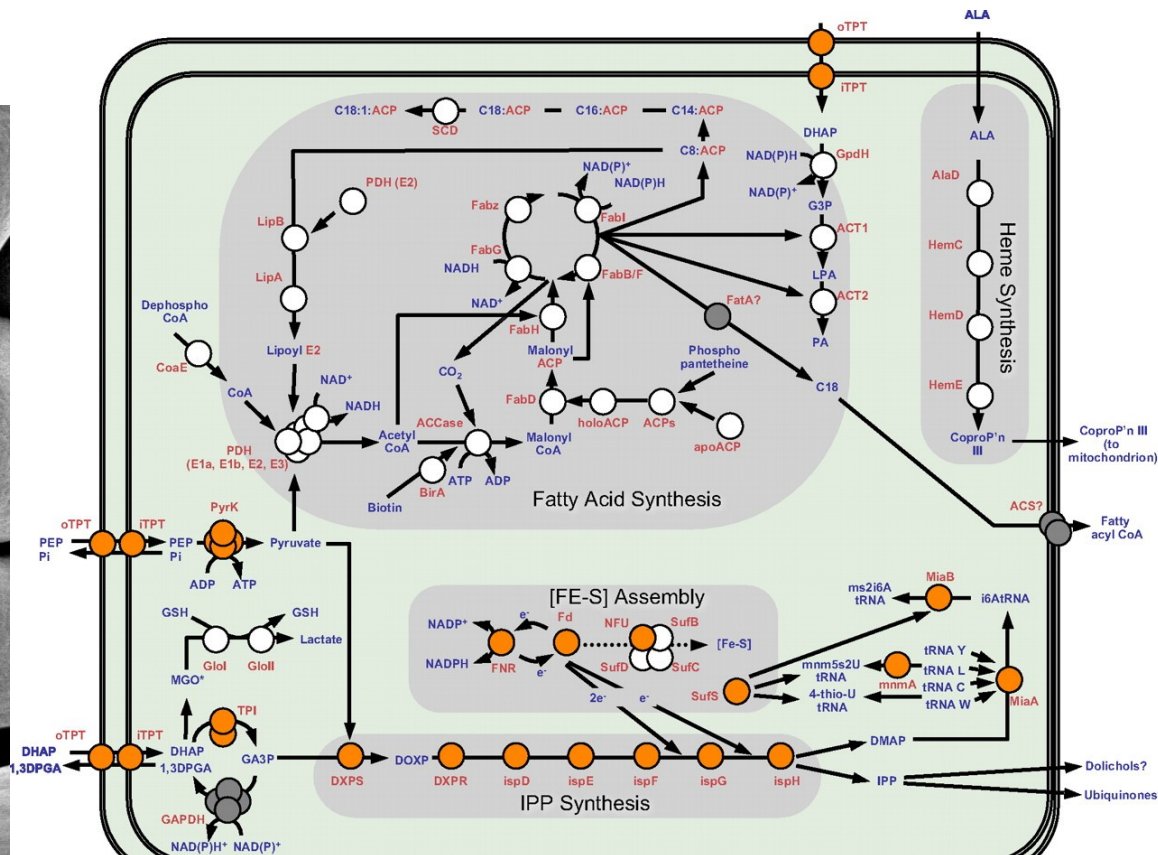
Alveolata: Apicomplexa - výtrusovci

Bazální predátoři a fotosyntetičtí sym/epibionti, odvozené skupiny vnitrobuněční parazitů

Plasmodium – malárie 249 mil/608 tis, Toxoplasma – toxoplazmóza 2 mld

i parazitičtí výtrusovci jsou vlastně řasy – apikoplast, pozůstatek plastidu

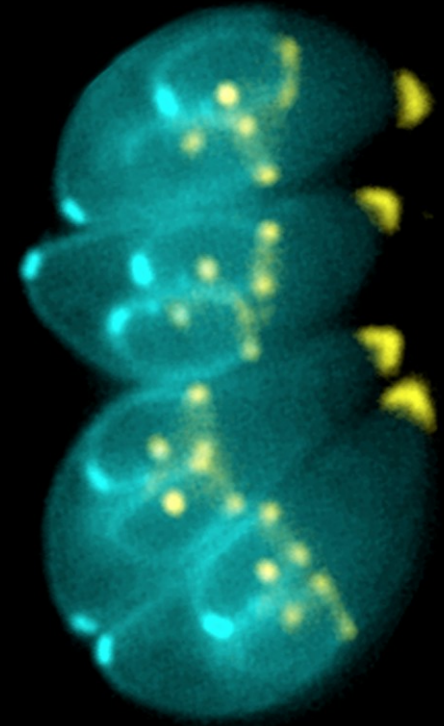
Achillova pata – nemohou se ho zbavit, centrum syntézy důležitých metabolitů



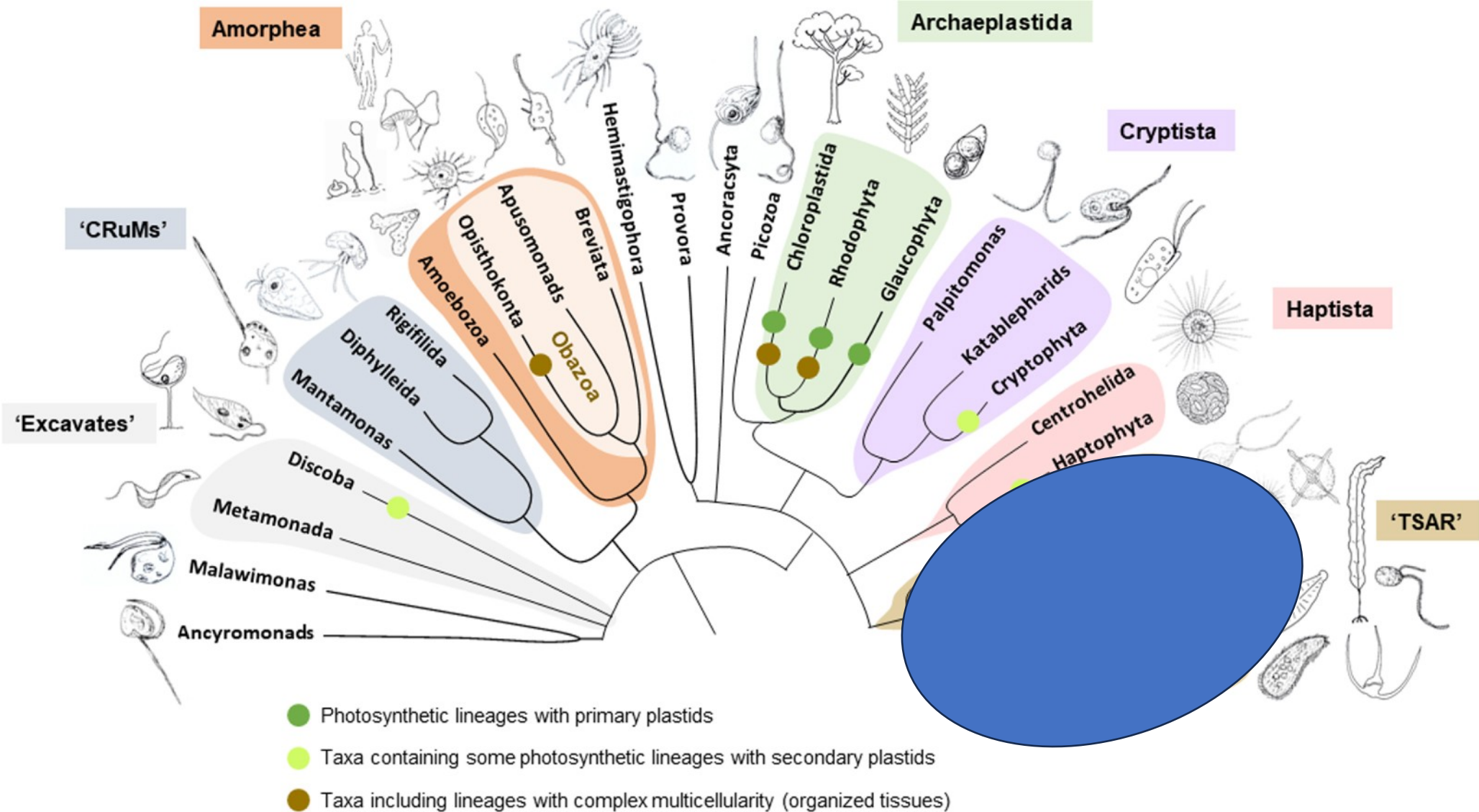
ingested by
ter, and grass
inated with oocysts

its containing
es in undercooked
eats

ing bradyzoites in
blood containing



Rhizaria

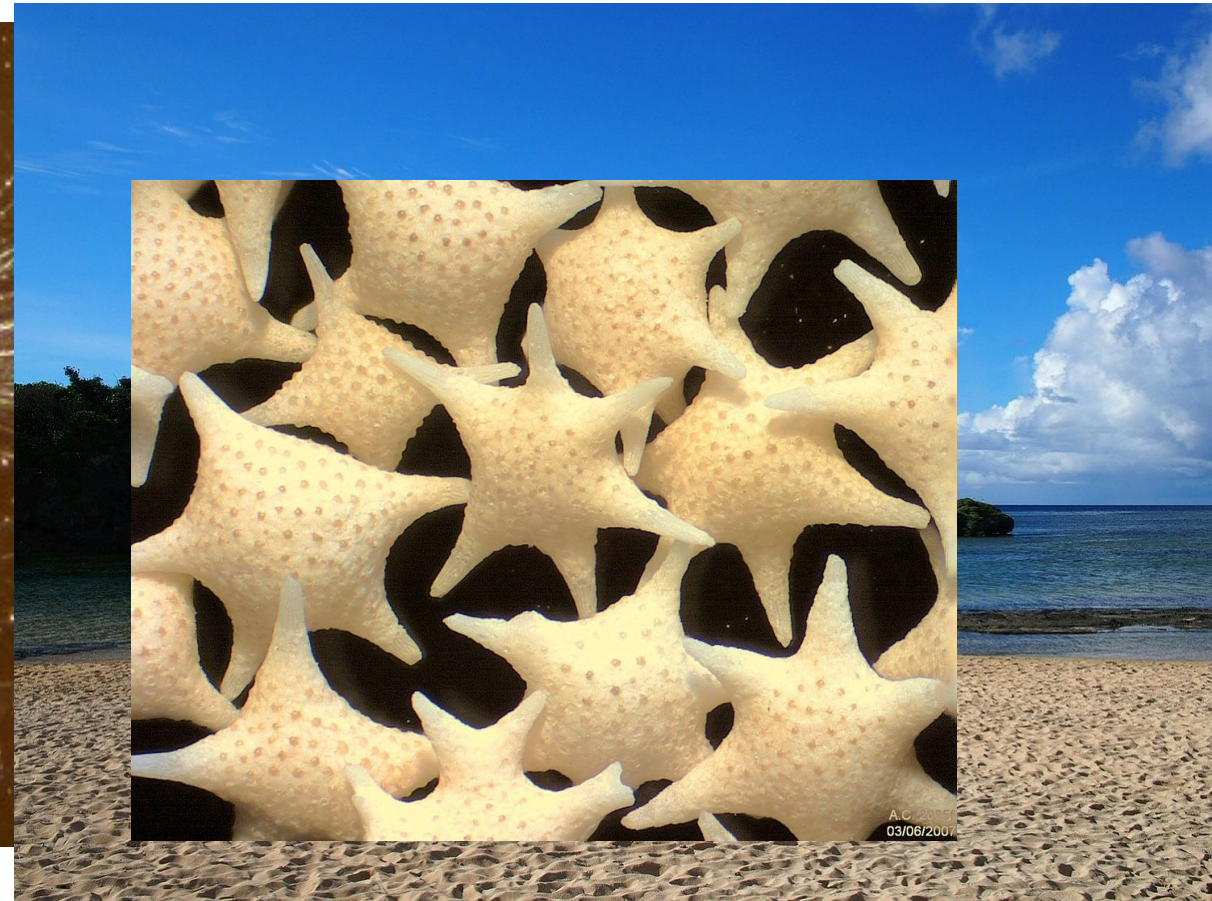
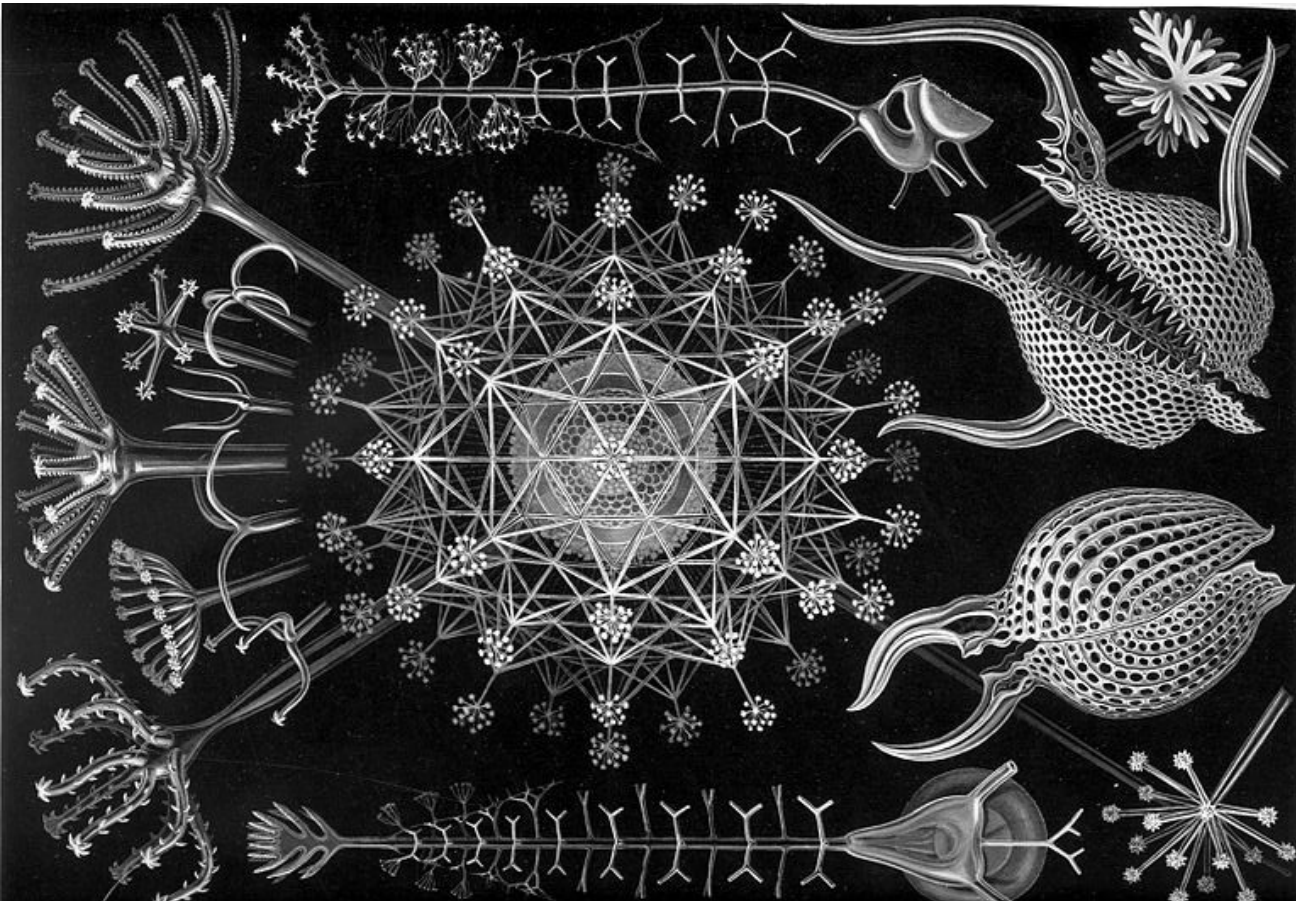


Rhizaria

Dva bičíky (většinou) a panožky – retikulopodie, filopodie a axopodie

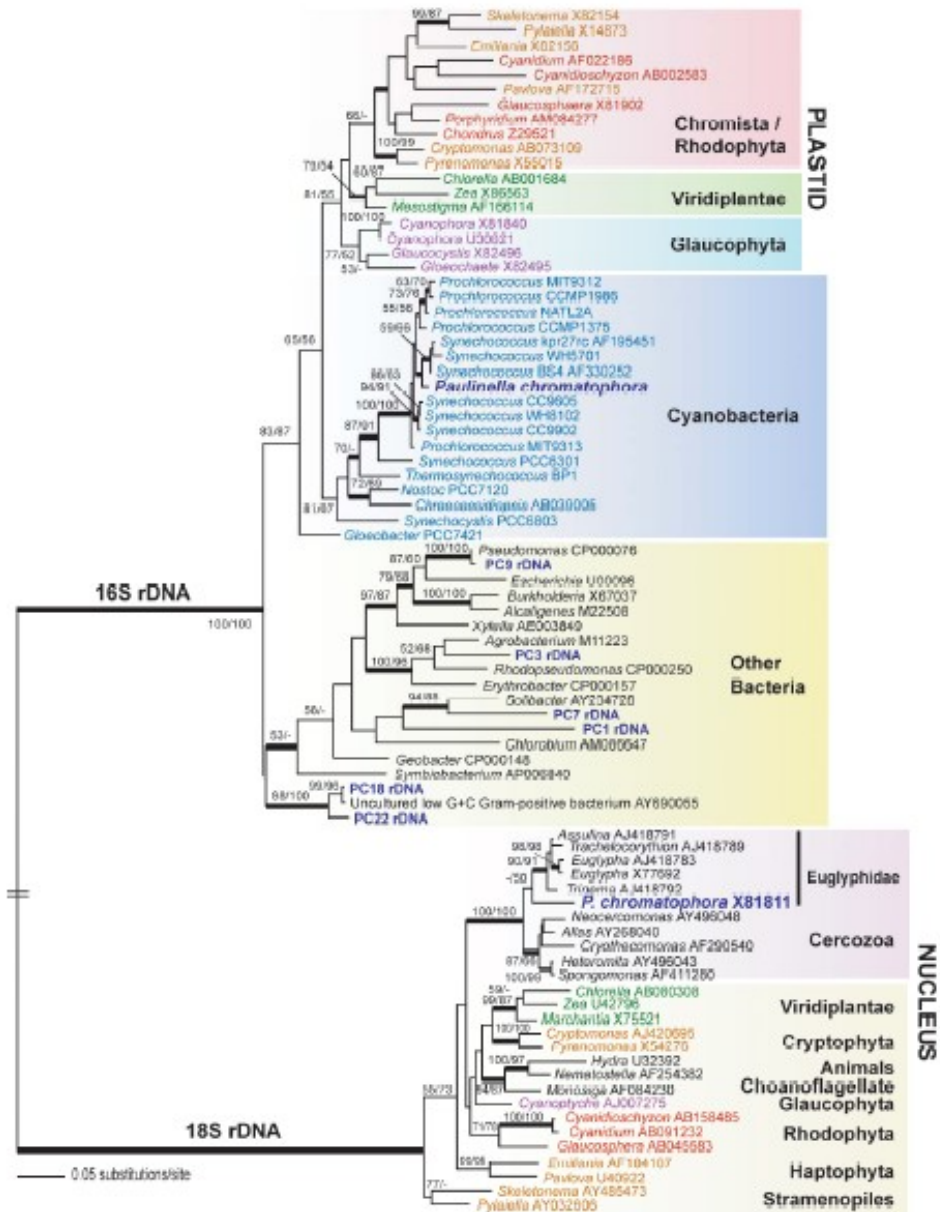
Časté minerální schránky – součást sedimentu

Endomyxa, Filosa a Retaria (dírkonožci a mřížkovci)



Paulinella chromatophora

Nezávislá recentní (miliony let) primární endosymbioóza sinice Prochlorococcus

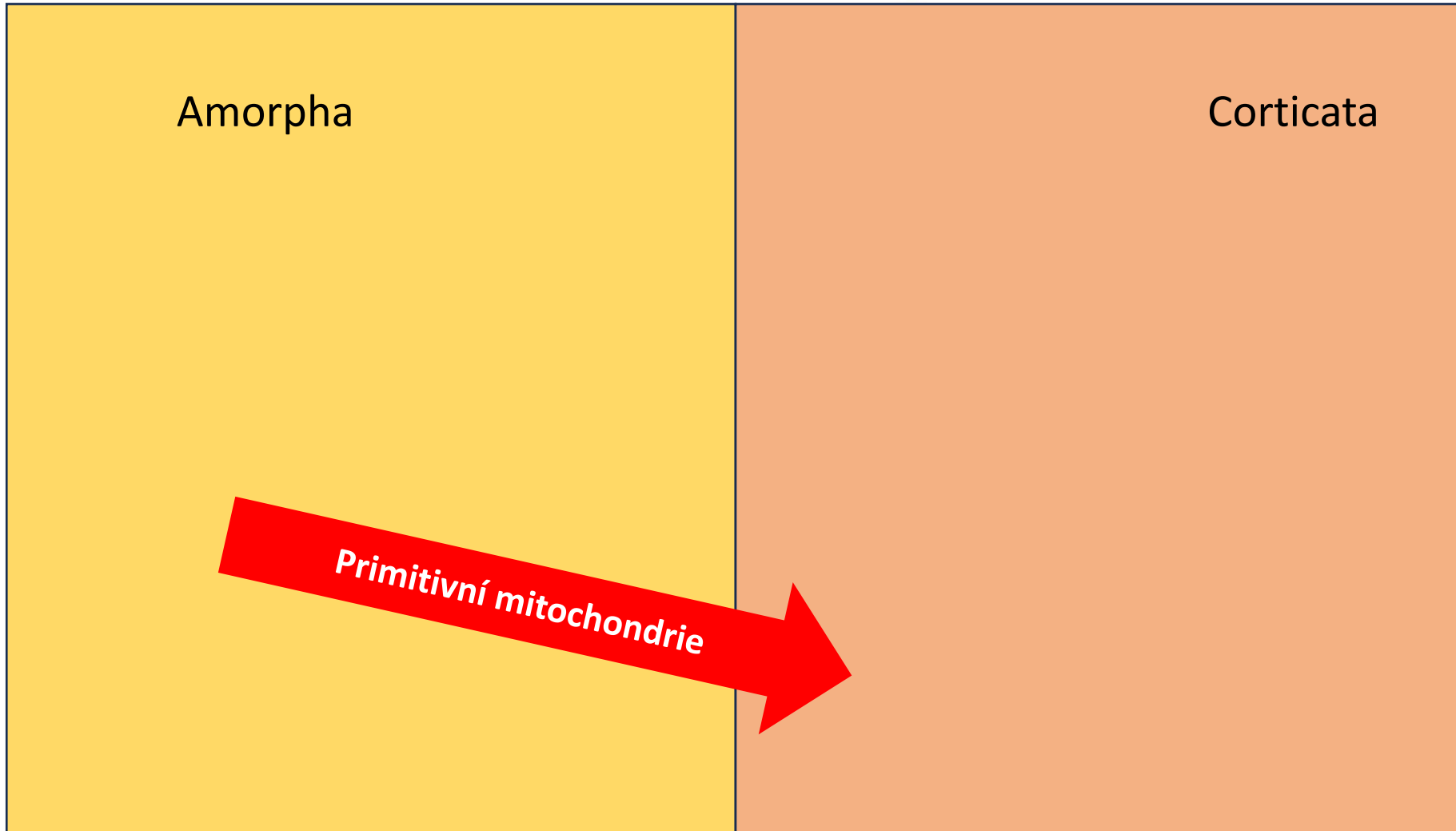


Yoon et al., 2006, Curr. Biol. 16

Jak vypadala LECA? – Kde má strom eukaryot kořen?

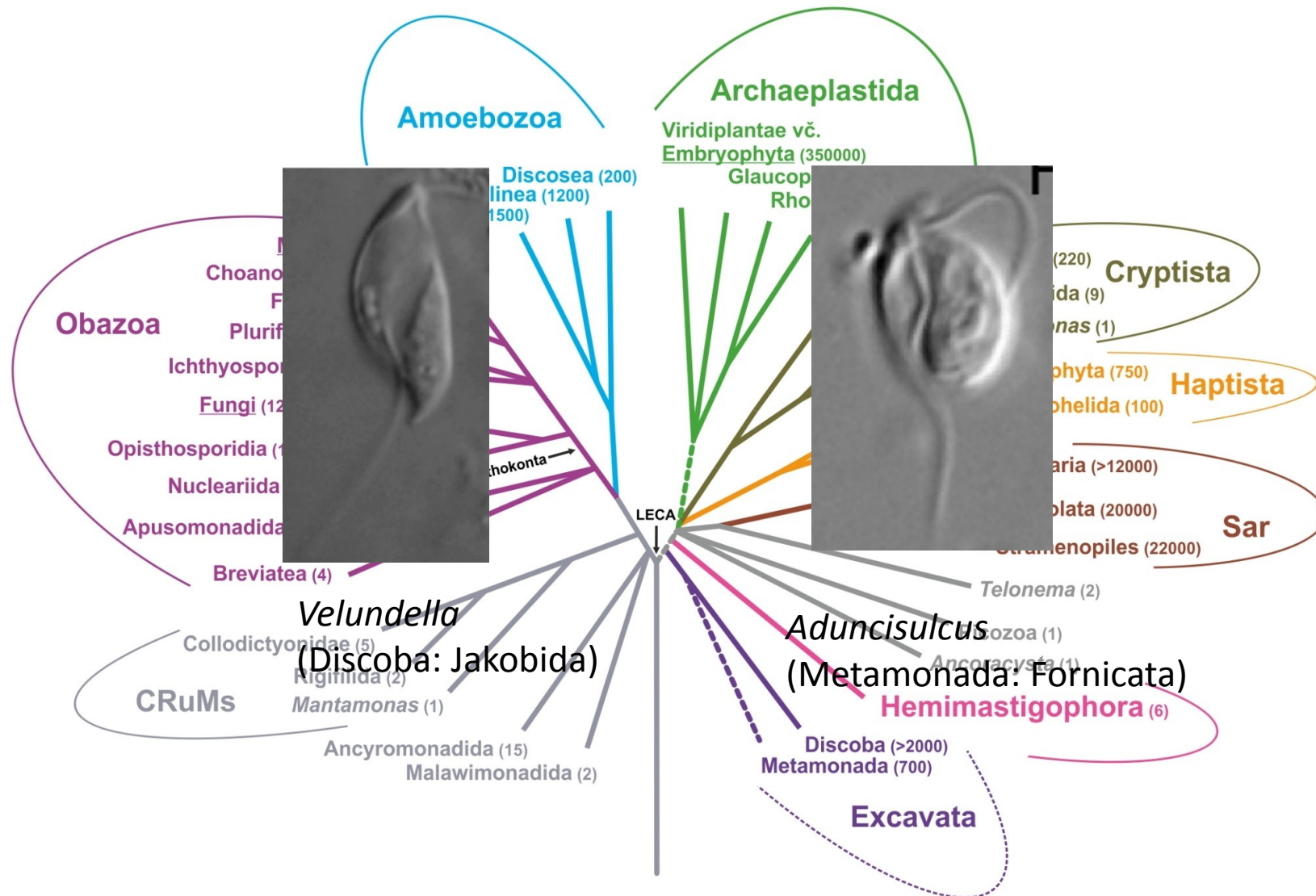
Tradičně dvě místa

Kořen by živil číhové kvašné metabolismy a sv. Dýteba



LECA = exkavát?

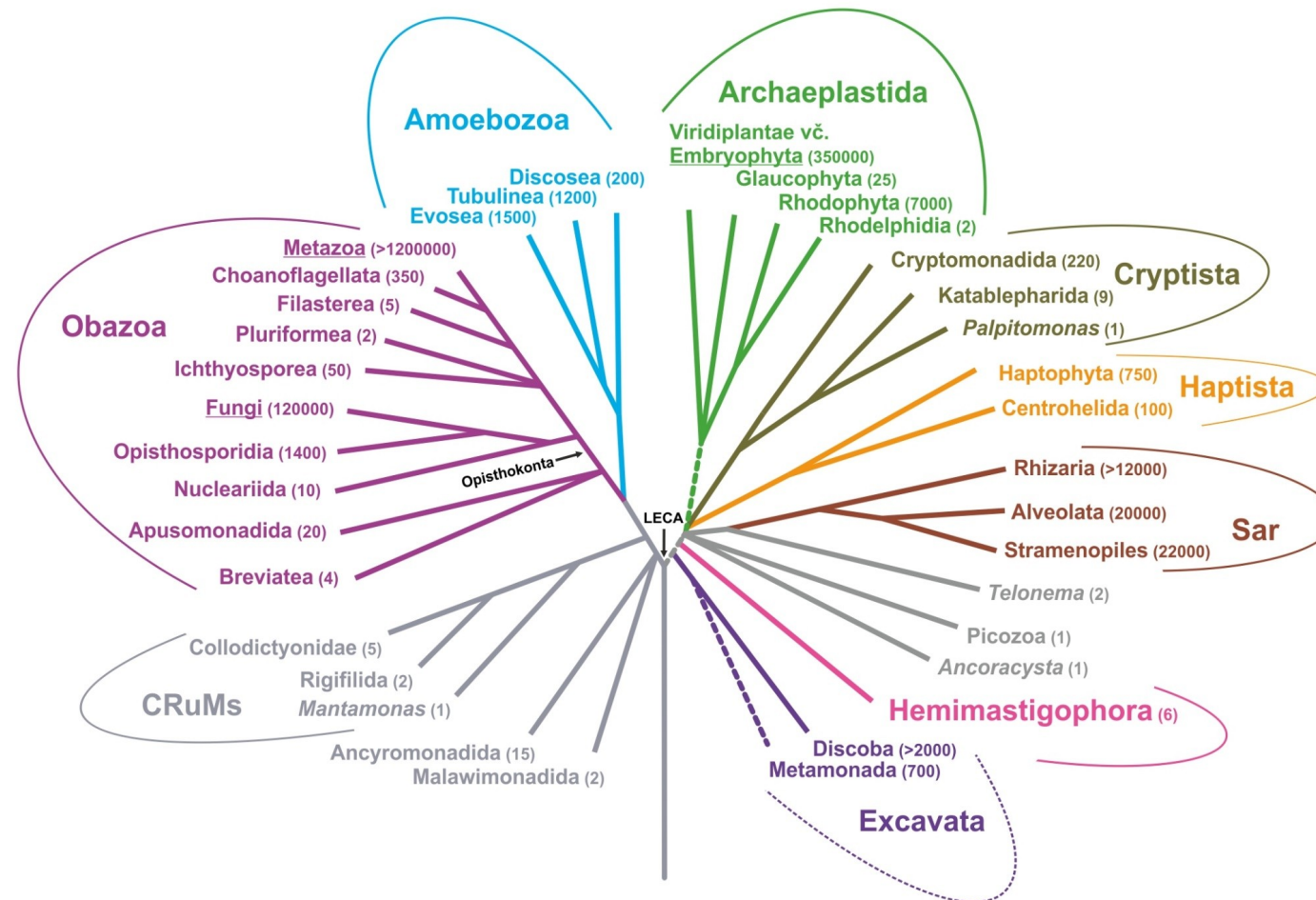
Exkavátní exkaváti jsou si navzájem podobní, morfostáze nebo primitivní znak?



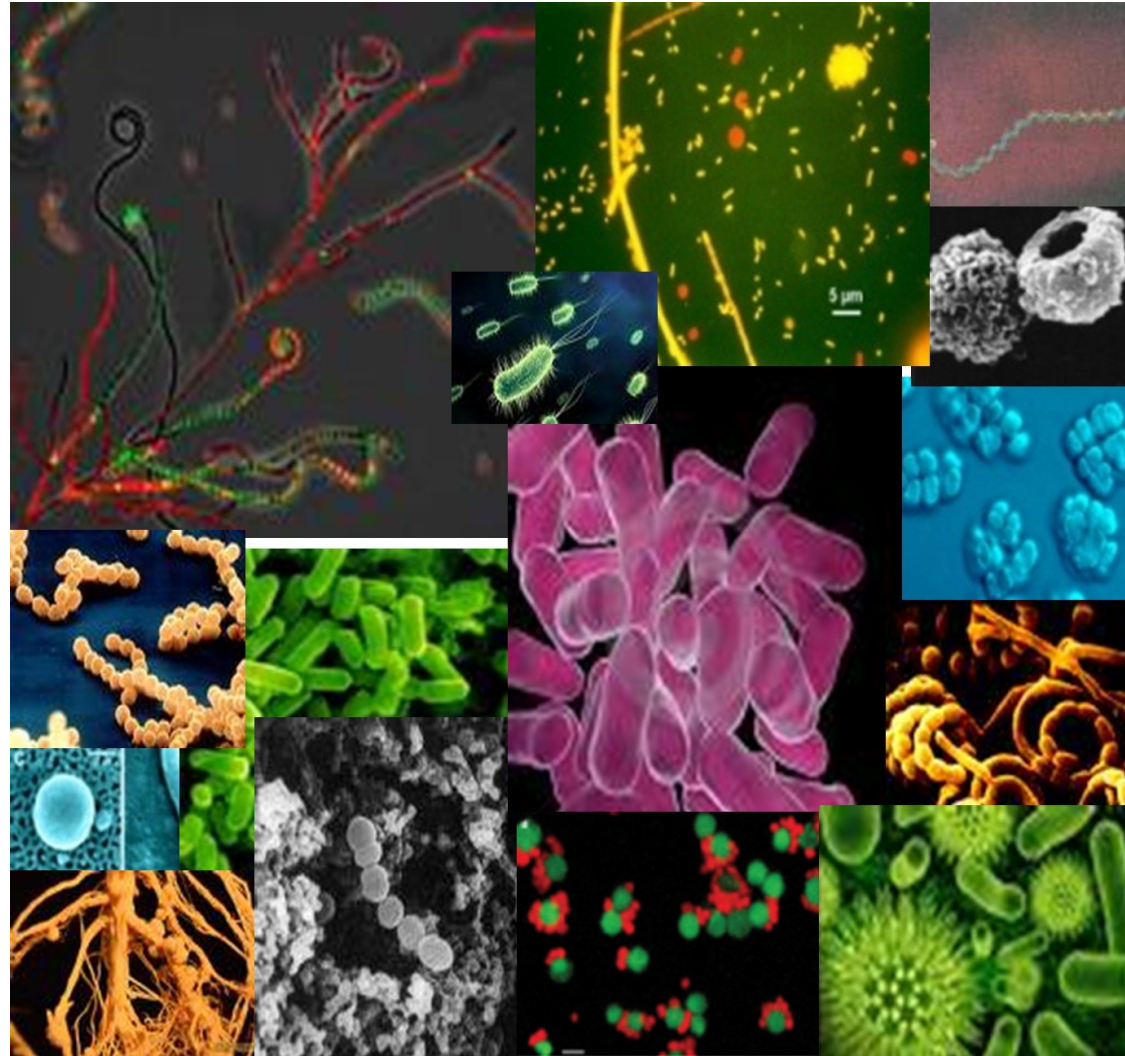
Jaká je skutečná diverzita?

Současná taxonomie založená na mikroskopii/kultivaci+sekvenování

Dobře známé jsou hlavně taxony s výraznou morfologií (rozsivky, obrněnky, haptofyty, dírkonošci) případně důležití parazité (kinetoplastida a výtrusovci)



sekvenování 'environmentální DNA' - ampliconové sekvenování - metabarkoding



Unexpected diversity of small eukaryotes in deep-sea Antarctic plankton

Purificación López-García*, Francisco Rodríguez-Valera*, Carlos Pedrós-Alió† & David Moreira*

* División de Microbiología, Universidad Miguel Hernández, 03550 San Juan de Alicante, Spain

† Institut de Ciències del Mar, CSIC, 08039 Barcelona, Spain

Phylogenetic information from ribosomal RNA genes directly amplified from the environment changed our view of the biosphere, revealing an extraordinary diversity of previously undetected prokaryotic lineages. Using ribosomal RNA genes from marine picoplankton, several new groups of bacteria and archaea have been identified, some of which are abundant²⁻⁴. Little is known, however, about the diversity of the smallest planktonic eukaryotes, and available information in general concerns the phytoplankton of the euphotic region. Here we recover eukaryotes in the size fraction 0.2–5 µm from the aphotic zone (250–3,000 m deep) in the Antarctic polar front. The most diverse and relatively abundant were two new groups of alveolate sequences, related to dinoflagellates that are found at all studied depths. These may be important components of the microbial community in the deep ocean. Their phylogenetic position suggests a radiation early in the evolution of alveolates.

We amplified 18S rRNA genes from samples taken at 250, 500, 2,000 and 3,000 m deep at the Antarctic polar front limit in a transect along the Drake passage (59° 19' 48" S, 55° 45' 11" W, sea floor at 3,671 m). This sampling site interested us because it is a region of water-mass mixing from the Atlantic and Southern oceans. It corresponds to cold and oligotrophic waters where microbial biomass, especially at 3,000 m deep, reached minimal values in the area as deduced from DNA yields (see Methods). We constructed 18S rRNA environmental gene libraries from the 0.2–

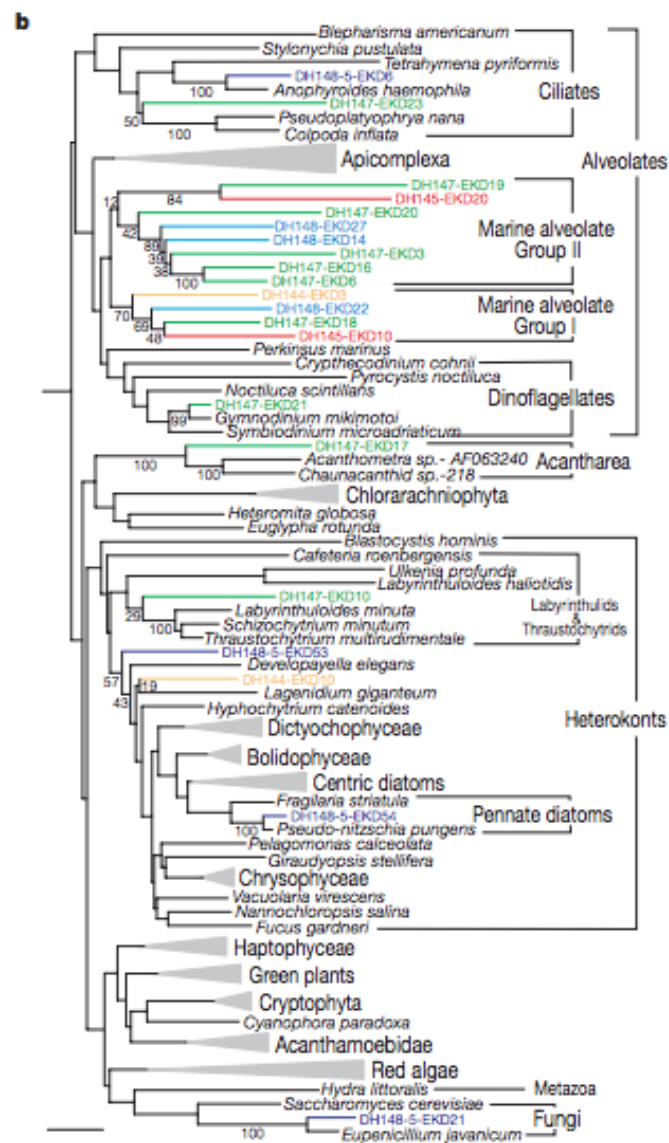
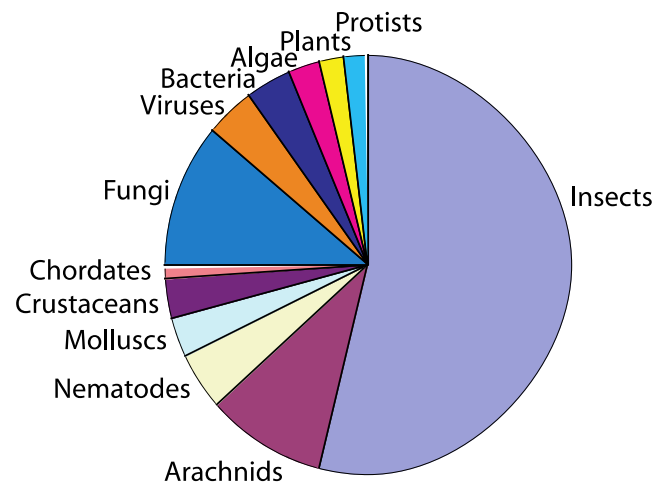
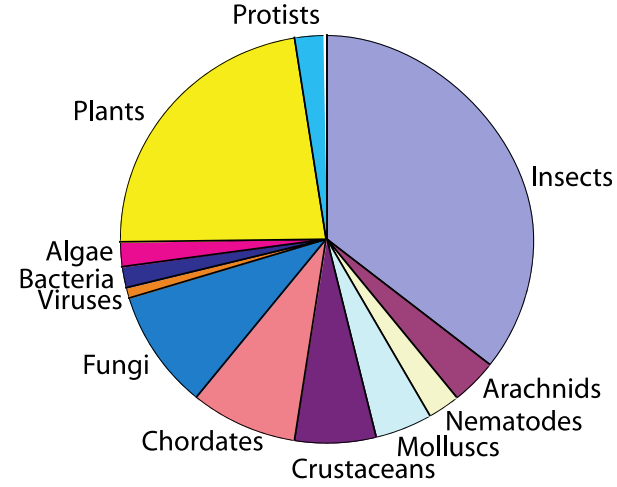


Figure 1 Maximum-likelihood tree of eukaryotic phylotypes in deep Antarctic waters constructed using 101 eukaryotic 18S rRNA sequences. The tree has been split in two parts representing the basal part (a) and the crown (b) of the eukaryotic rRNA-based phylogeny. The outgroup branch (archaea) is not shown. Thin triangles correspond to two representative species of a given taxon, three in the case of Apicomplexa. Bootstrap values are given only below nodes concerning the new eukaryotic sequences. The colour code indicates sea depths at which sequences were obtained. Scale bars correspond to 15 substitutions per 100 positions for a unit branch length.

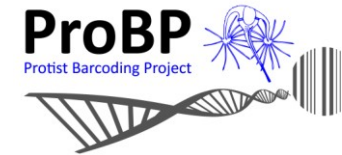
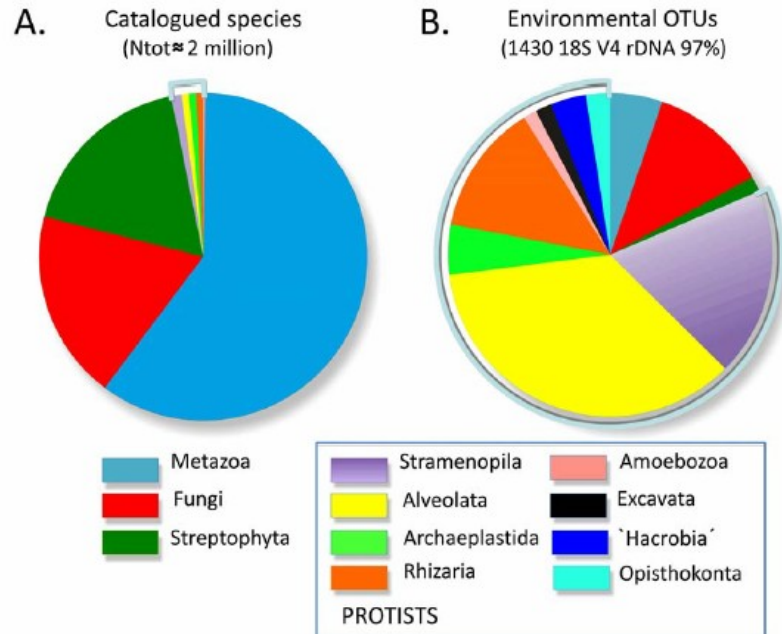


United Nation Census, 2008



World Taxonomists Database

Earth Total Eukaryotic Biodiversity:



OPEN ACCESS Freely available online

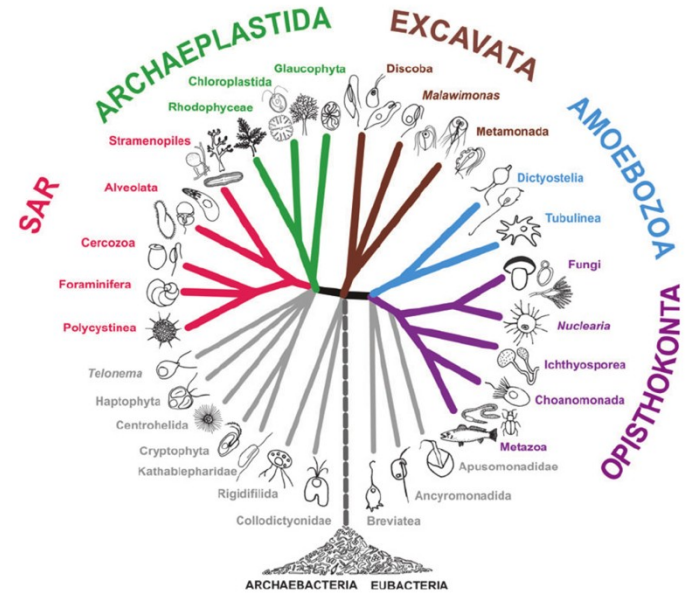
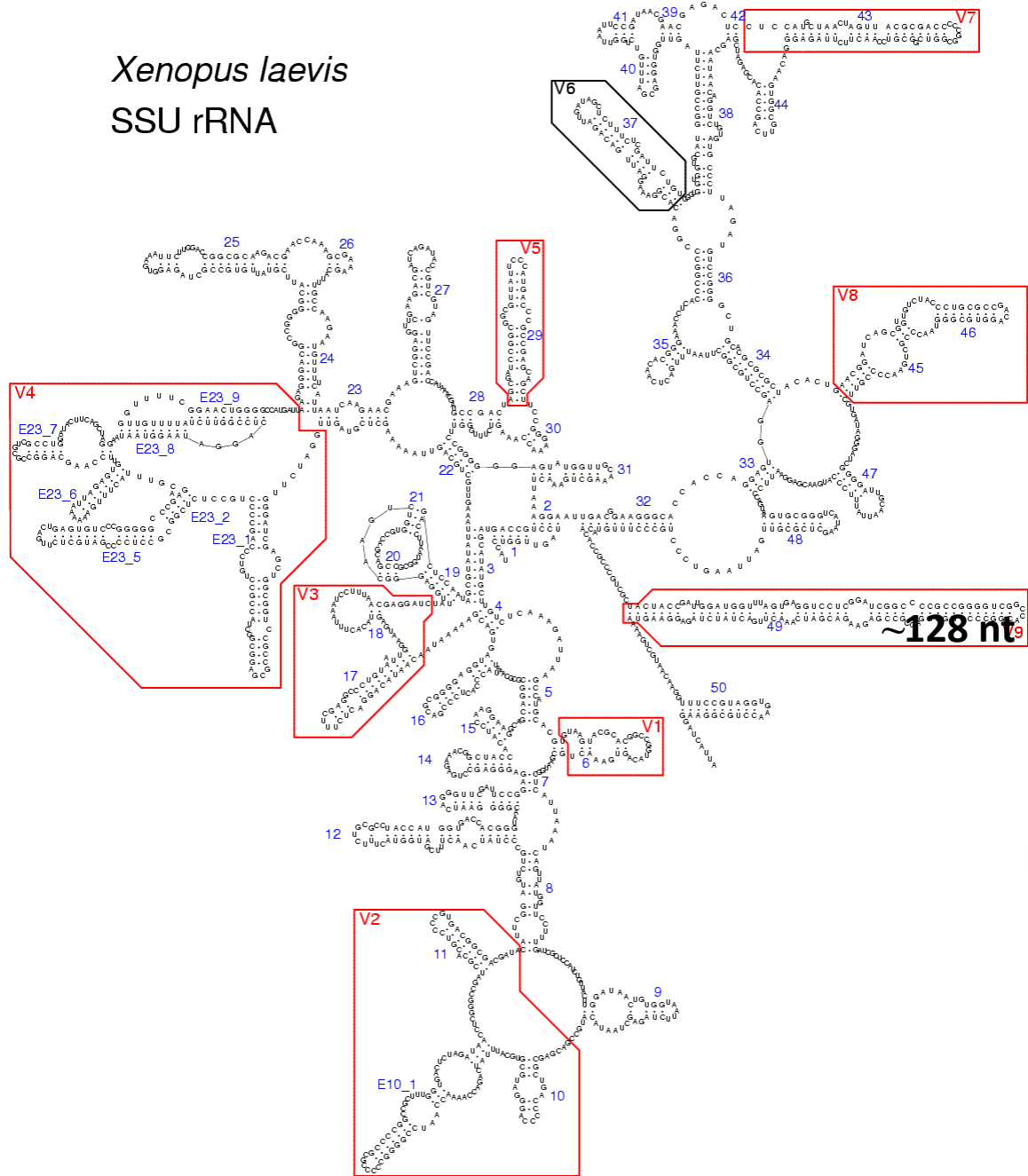
PLOS BIOLOGY

Community Page

CBOL Protist Working Group: Barcoding Eukaryotic Richness beyond the Animal, Plant, and Fungal Kingdoms

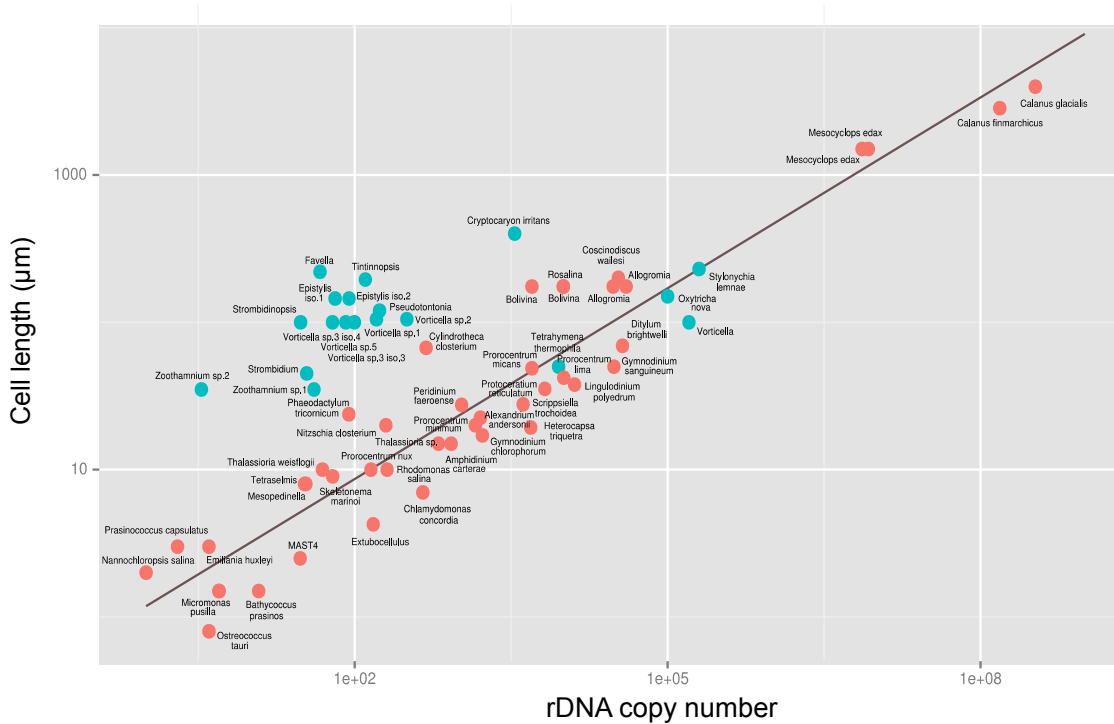
Jan Pawlowski^{1*}, Stéphane Audic², Sina Adl³, David Bass⁴, Lassaad Belbahri⁵, Cédric Berney⁴, Samuel S. Bowser⁶, Ivan Cepicka⁷, Johan Decelle², Micah Dunthorn⁸, Anna Maria Fiore-Donno⁹, Gillian H. Gile¹⁰, Maria Holzmann¹, Regine Jahn¹¹, Miloslav Jirků¹², Patrick J. Keeling¹³, Martin Kostka^{12,14}, Alexander Kudryavtsev^{1,15}, Enrique Lara⁵, Julius Lukeš^{12,14}, David G. Mann¹⁶, Edward A. D. Mitchell⁵, Frank Nitsche¹⁷, Maria Romeralo¹⁸, Gary W. Saunders¹⁹, Alastair G. B. Simpson²⁰, Alexey V. Smirnov¹⁵, John L. Spouge²¹, Rowena F. Stern²², Thorsten Stoeck⁸, Jonas Zimmermann^{11,23}, David Schindel²⁴, Colomán de Vargas²⁴

Xenopus laevis
SSU rRNA

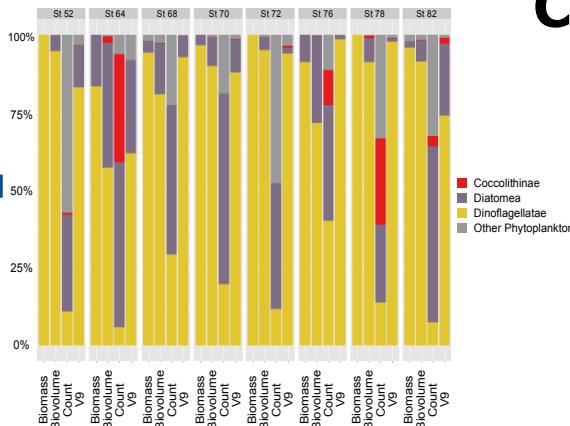


A

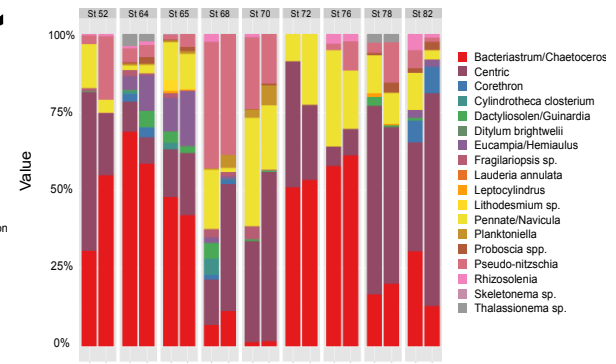
- Relativně krátký a strukturně jednoduchý úsek DNA (130±4bp)
- obsahuje variabilní i konzervované úseky, takže je vhodný pro různé úrovně taxonomie.
- počet kopií v genomu koreluje s objemem buňky



B



C



OPEN ACCESS Freely available online

Community Page

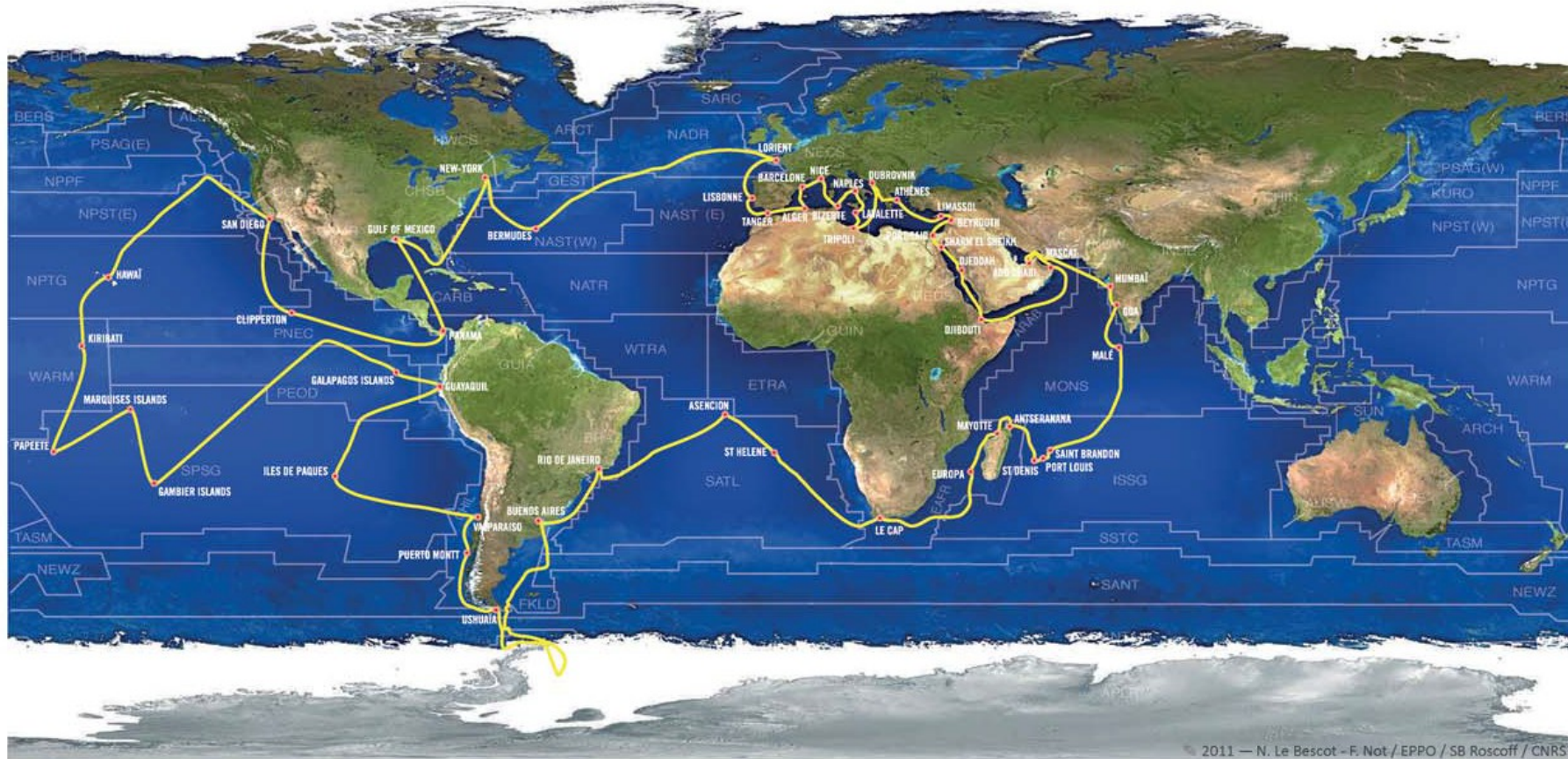
PLOS

biology

CBOL Protist Working Group: Barcoding Eukaryotic Richness beyond the Animal, Plant, and Fungal Kingdoms

Jan Pawlowski^{1*}, Stéphane Audic², Sina Adl³, David Bass⁴, Lassaad Belbahri⁵, Cédric Berney⁴, Samuel S. Bowser⁶, Ivan Cepicka⁷, Johan Decelle², Micah Dunthorn⁸, Anna Maria Fiore-Donno⁹, Gillian H. Gile¹⁰, Maria Holzmann¹, Regine Jahn¹¹, Miloslav Jirků¹², Patrick J. Keeling¹³, Martin Kostka^{12,14}, Alexander Kudryavtsev^{1,15}, Enrique Lara⁵, Julius Lukeš^{12,14}, David G. Mann¹⁶, Edward A. D. Mitchell⁵, Frank Nitsche¹⁷, Maria Romeralo¹⁸, Gary W. Saunders¹⁹, Alastair G. B. Simpson²⁰, Alexey V. Smirnov¹⁵, John L. Spouge²¹, Rowena F. Stern²², Thorsten Stoeck⁸, Jonas Zimmermann^{11,23}, David Schindler²⁴, Colomán de Vargas²⁴

TARA Oceans

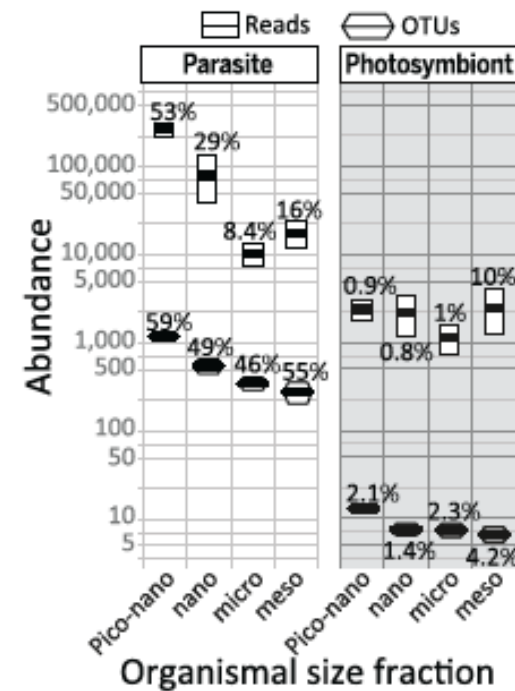
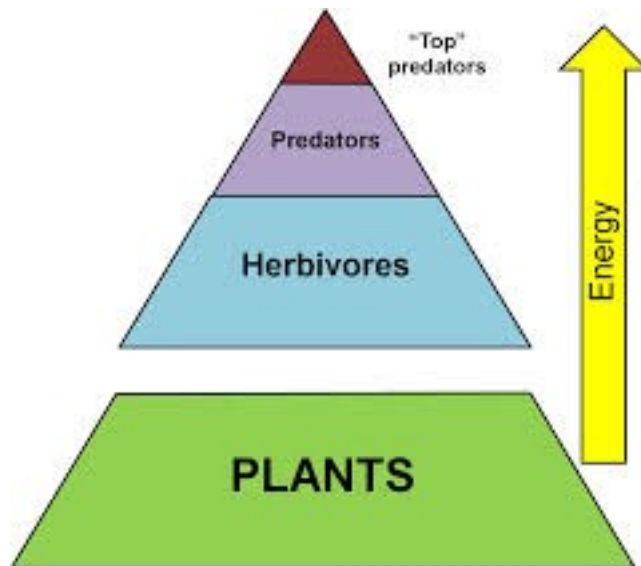


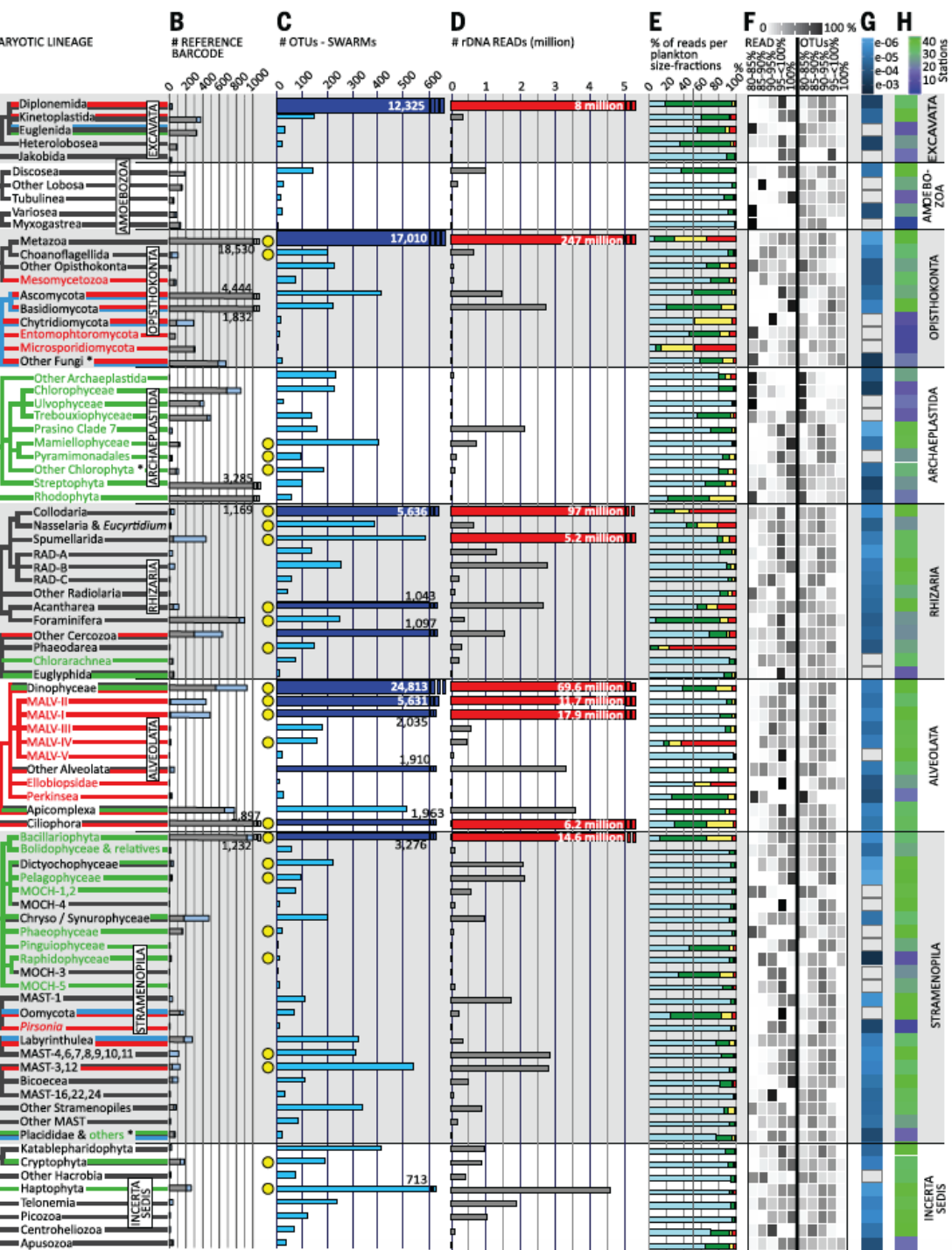
A Holistic Approach to Marine Eco-Systems Biology

Eric Karsenti^{1*}, Silvia G. Acinas², Peer Bork¹, Chris Bowler^{3,4}, Colomán De Vargas^{3,5,6}, Jeroen Raes^{7,8}, Matthew Sullivan⁹, Detlev Arendt¹, Francesca Benzoni¹⁰, Jean-Michel Claverie^{3,11}, Mick Follows¹², Gaby Gorsky^{3,6,13}, Pascal Hingamp^{3,11}, Daniele Iudicone¹⁴, Olivier Jaillon¹⁵, Stefanie Kandels-Lewis¹, Uros Krzic¹, Fabrice Not^{3,5,6}, Hiroyuki Ogata^{3,11}, Stéphane Pesant^{16,17}, Emmanuel Georges Reynaud¹⁸, Christian Sardet^{3,6,19}, Michael E. Sieracki²⁰, Sabrina Speich²¹, Didier Velayoudon²², Jean Weissenbach¹⁵, Patrick Wincker¹⁵, the *Tara* Oceans Consortium[†]



Potravní pyramida oceánů má pravděpodobně výrazně jiný tvar





- > poměrně malé zastoupení fotosyntetických organismů
- > obrněnky významně druhově bohatší než živočichové
- > kořenonožci jsou velmi četní i druhově bohatí zejména ve větších frakcích
- > extrémní diverzita diplonemidů

de Vargas et al. 2015, Science