



# Fylogeneze a diverzita vyšších rostlin

## Vyšší rostliny: vznik a hlavní znaky

### Petr Bureš



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Co patří k vyšším rostlinám?

Vyšší rostliny = „land plants“ = suchozemské rostliny

## mechorosty



hlevíky  
jatrovky  
mechy



**plavuně**

## kaprad'orosty



včetně  
přesliček



**nahosemenné**

## krytosemenné



# Jak vysoké jsou vyšší rostliny?

> **100 m** – gigantické jehličnany čel. *Taxodiaceae*

Nejvyšší – *Sequoia sempervirens* – 115,7 m – strom Hyperion v NP Redwood v Kalifornii

115,7 m

111 m



Hyperion

AZ Tower

# Jak vysoké jsou vyšší rostliny?

> **100 m** – gigantické jehličnany čel. *Taxodiaceae*

Nejvyšší – *Sequoia sempervirens* – 115,7 m – strom Hyperion v NP Redwood v Kalifornii

Nejobjemější – *Sequoiadendron giganteum* – 1487 m<sup>3</sup> – strom General Sherman v = 83,8 m, Ø = 7,7 m, věk = 2300–2700 let, Sequoia NP v Kalifornii

115,7 m

111 m



~ **1900 tun**

# Jak vysoké jsou vyšší rostliny?

~ **0,2 mm** – na hladině plovoucí *Wolffia* příbuzná okřehků

> **100 m** – gigantické jehličnany čel. *Taxodiaceae*

Nejvyšší – *Sequoia sempervirens* – jedinec vysoký 115,7 m – nazván Hyperion  
v národním parku Redwood v Kalifornii

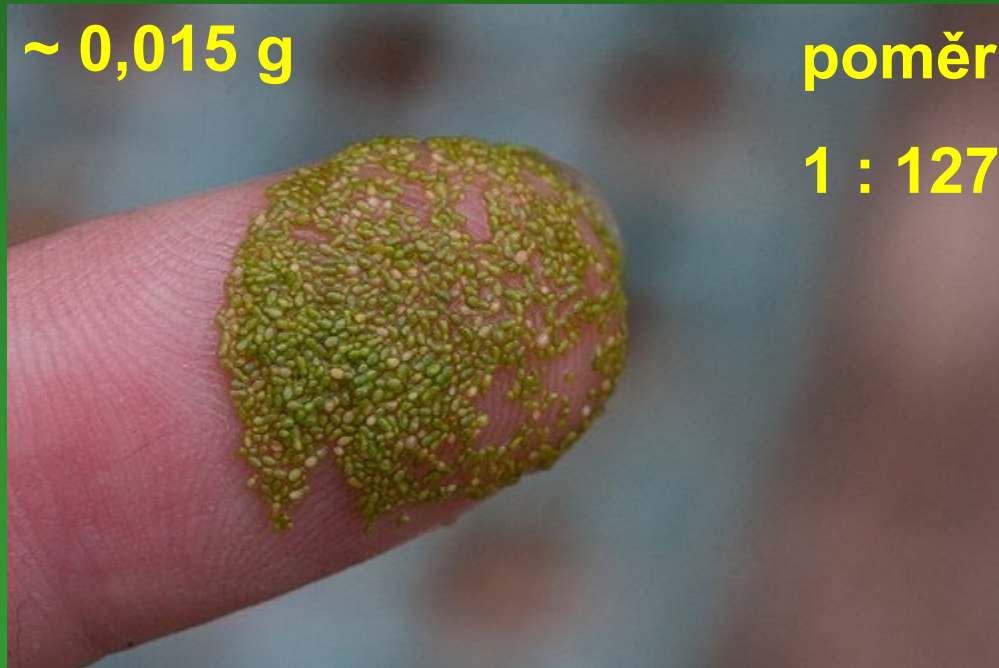
Nejobjemější – *Sequoiadendron giganteum* – jedinec s objemem 1487 m<sup>3</sup>  
– nazván General Sherman v = 83,8 m, Ø = 7,7 m, věk = 2300–2700 let, Sequoia  
National Park v Kalifornii

*Wolffia columbiana* (Araceae)

~ **0,015 g**

**poměr**

**1 : 127 miliard**



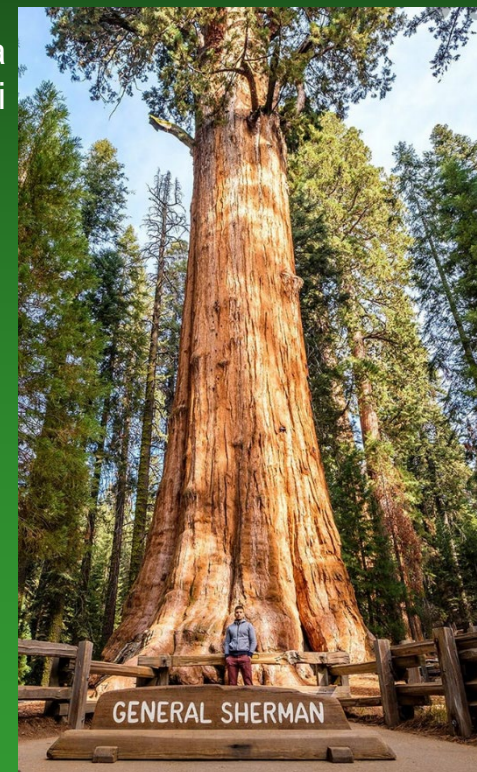
115,7 m

111 m



Hyperion

AZ Tower



~ **1900 tun**

# Jak vysoké jsou vyšší rostliny?

~ **0,2 mm** – na hladině plovoucí *Wolffia* příbuzná okřeheků

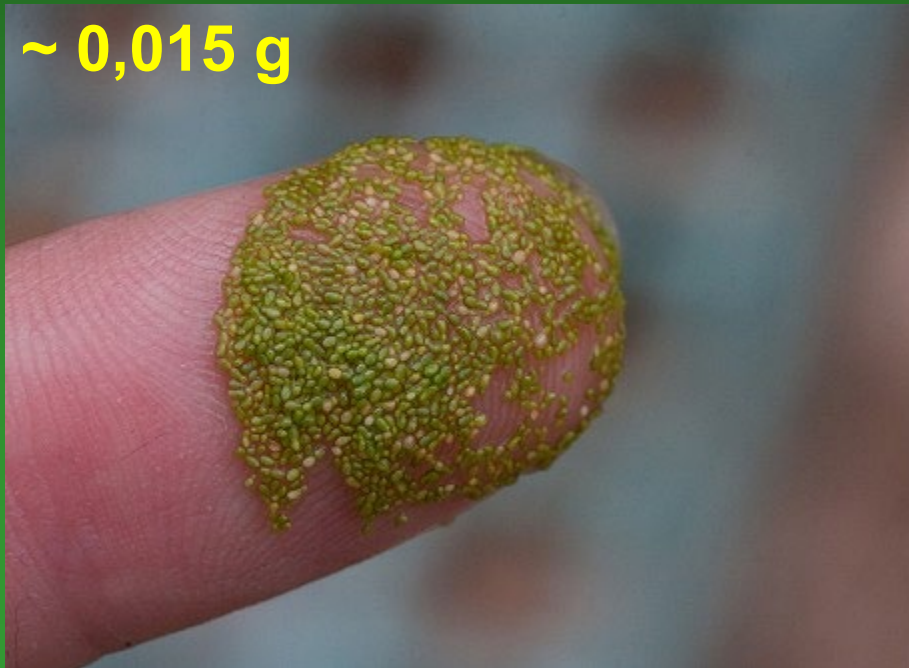
> **100 m** – gigantické jehličnany čel. *Taxodiaceae*

Nejvyšší – *Sequoia sempervirens* – jedinec vysoký 115,7 m – nazván Hyperion  
v národním parku Redwood v Kalifornii

Nejobjemější – *Sequoiadendron giganteum* – jedinec s objemem 1487 m<sup>3</sup>  
– nazván General Sherman v = 83,8 m, Ø = 7,7 m, věk = 2300–2700 let, Sequoia  
National Park v Kalifornii

*Wolffia columbiana* (Araceae)

~ **0,015 g**



115,7 m

111 m



Hyperion

AZ Tower

klonální populace  
*Populus tremuloides*  
v Utahu

~ **5900 tun**



≈ 1/2 bilion-krát těžší než *Wolffia*

**Vyšší rostliny:  
jejich vznik  
a postavení ve fylogenetickém  
stromu života na Zemi**

# Vyšší rostliny ve stromu života

S řasami, živočichy a houbami patří k doméně *Eukarya*

3 domény stromu života:

1. *Bacteria*

2. *Archaea*

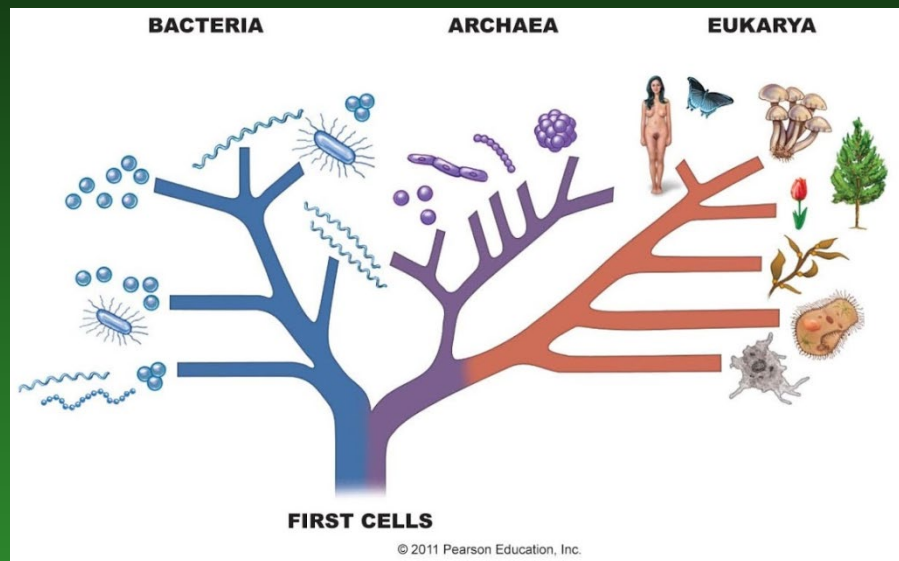
3. *Eukarya* – membránami  
ohraňované organely:

mitochondrie,

Golgiho aparát,

endoplasmatické retikulum a

jádru s chromosomy (= nukleoproteinovými  
strukturami organizujícími se během mitózy





# Vyšší rostliny ve stromu života

S řasami, živočichy a houbami patří k doméně *Eukarya*

3 domény stromu života:

1. *Bacteria*

2. *Archaea*

3. *Eukarya* – membránami  
ohraňované organely:

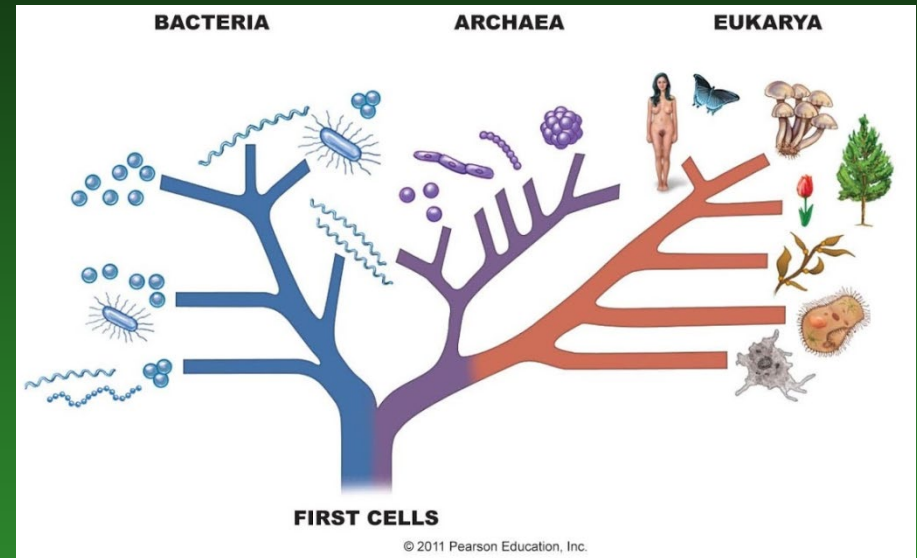
mitochondrie,

Golgiho aparát,

endoplasmatické retikulum a

jádro s chromosomy (= nuleoproteinovými  
strukturami organizujícími se během mitózy

Život vznikl před 3,5 mld. let  
? u termálních vývěřů



# Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

započala před 2,5 mld. let ??? – **základní kroky**

- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátila  $\alpha$ -proteobakterii

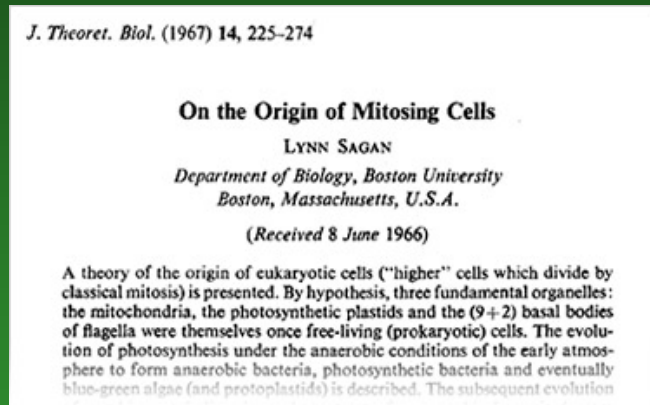
# Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

započala před 2,5 mld. let ??? – **základní kroky**

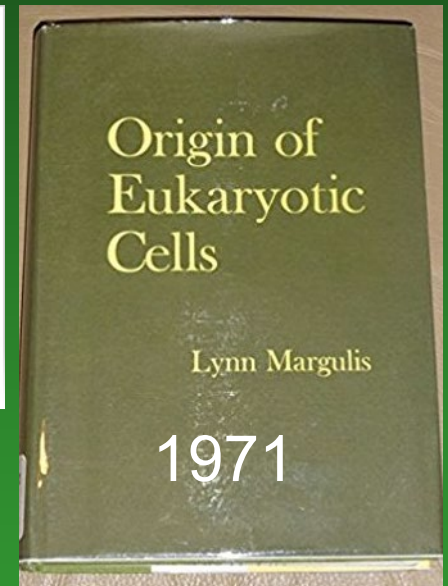
- **evoluce mitochondrií** = archeální buňka fagocyticky uchvátla  $\alpha$ -proteobakterii



Lynn Margulis (1938–2011)



Americká bioložka - přesvědčila vědeckou komunitu o tom, že endosymbióza byla základním krokem v evoluci eukaryot



**Eukaryotické buňky si (ani plastidy ani) mitochondrie „nestaví“, ale tyto vznikají pouze dělením mitochondrií (nebo plastidů) již existujících**

# Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

započala před 2,5 mld. let ??? – **základní kroky**

- **evoluce mitochondrií** = archeální buňka fagocyticky uchvátla  $\alpha$ -**proteobakterii** (mohla být počátečním impulzem mohla nastat i později)

Všechna eukaryota mají mitochondrie stejného typu, nebo je přeměnily nebo je ztratily !!!

**Genom** mitochondrií se v evoluci redukoval na 1/10 až 1/100 !!! – Geny většinou přeneseny do jádra „hostitele“ – proto mnoho genů eukaryot je příbuzných  $\alpha$ -proteobakteriím

Naopak **proteom** mitochondrií zahrnuje řadu proteinů eukaryotického původu !!! – Vznikají přepisem genomu „hostitelské buňky“

# Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

započala před 2,5 mld. let ??? – **základní kroky**

- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátila  $\alpha$ -proteobakterii
- **evoluce cytoskeletu** = tubuliny, aktin, myosin

# Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

započala před 2,5 mld. let ??? – **základní kroky**

- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátila  $\alpha$ -proteobakterii
- **evoluce cytoskeletu** = tubuliny, aktin, myosin (z podobných proteinů přítomných u prokaryot)

# Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

započala před 2,5 mld. let ??? – **základní kroky**

- **evoluce mitochondrií** = archeální buňka fagocyticky uchvátila  $\alpha$ -proteobakterii
- **evoluce cytoskeletu = tubuliny, aktin, myosin** (z podobných proteinů přítomných u některých prokaryot)
- **evoluce eukaryotického bičíku =  $9 \times 2 + 2$**

# Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

započala před 2,5 mld. let ??? – **základní kroky**

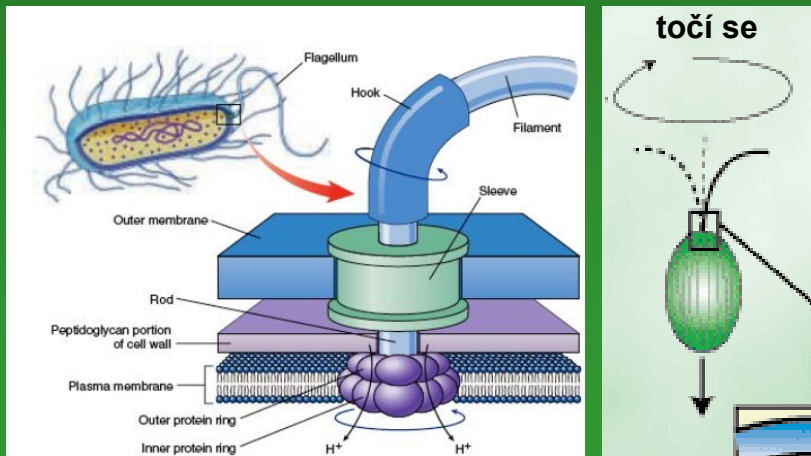
- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátila  $\alpha$ -proteobakterii
- **evoluce cytoskeletu = tubuliny, aktin, myosin** (z podobných proteinů přítomných u prokaryot)
- **evoluce eukaryotického bičíku = 9x2+2** (jednotná struktura přetvořením sensorické či jiné organely, přetvořením centriolu, prokaryotické bičíky mají zcela jinou strukturu)



# Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

započala před 2,5 mld. let ??? – **základní kroky**

- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátla  $\alpha$ -proteobakterii
- **evoluce cytoskeletu** = tubuliny, aktin, myosin (z podobných proteinů přítomných u některých prokaryot)
- **evoluce eukaryotického bičíku** =  $9 \times 2 + 2$  (jednotná struktura přetvořením sensorické či jiné organely, přetvořením centriolu, prokaryotické bičíky mají zcela jinou strukturu)

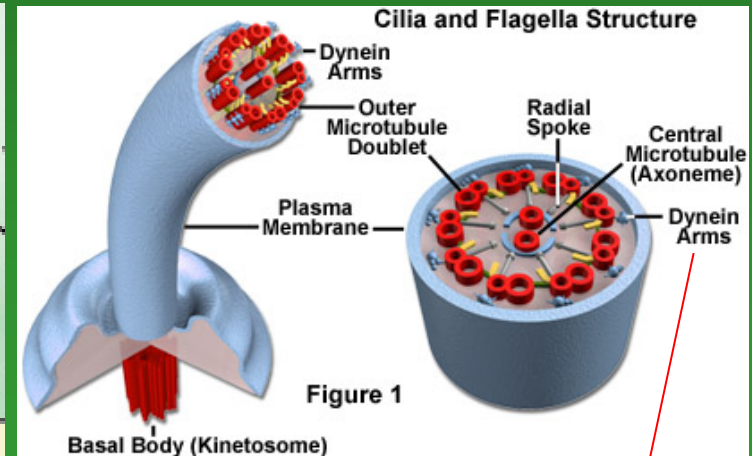
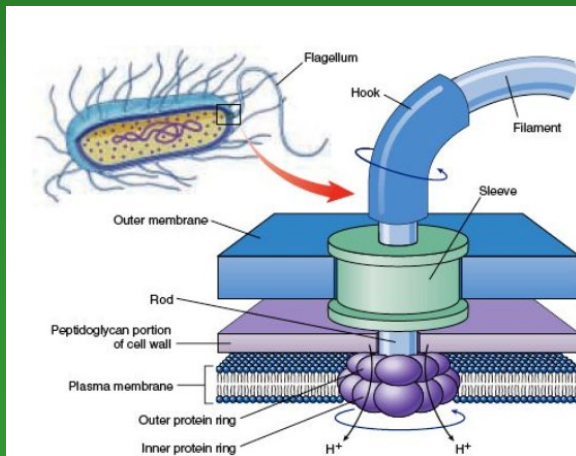


točí se

# Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

započala před 2,5 mld. let ??? – **základní kroky**

- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátla  $\alpha$ -proteobakterii
- **evoluce cytoskeletu** = tubuliny, aktin, myosin (z podobných proteinů přítomných u některých prokaryot)
- **evoluce eukaryotického bičíku** =  $9 \times 2 + 2$  (jednotná struktura přetvořením sensorické či jiné organely, přetvořením centriolu, prokaryotické bičíky mají zcela jinou strukturu)



Dyneinové motory šplhají po mikrotubulech

# Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

započala před 2,5 mld. let ??? – **základní kroky**

- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátila  $\alpha$ -proteobakterii
- **evoluce cytoskeletu** = tubuliny, aktin, myosin (z podobných proteinů přítomných u prokaryot)
- **evoluce eukaryotického bičíku** =  $9 \times 2 + 2$  (jednotná struktura přetvořením sensorické či jiné organely, přetvořením sentriolu, prokaryotické bičíky mají zcela jinou strukturu)
- **evoluce endomembránových struktur (GA, ER, ... jádra, lineárních chromosomů a mitózy** = také endosymbioticky nebo zapouzdřením genomu do váčku odštěpeného z cytoplazmatické membrány

# Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

započala před 2,5 mld. let ??? – **základní kroky**

- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátila  $\alpha$ -proteobakterii
- **evoluce cytoskeletu** = tubuliny, aktin, myosin (z podobných proteinů přítomných u prokaryot)
- **evoluce eukaryotického bičíku** =  $9 \times 2 + 2$  (jednotná struktura přetvořením sensorické či jiné organely, přetvořením sentriolu, prokaryotické bičíky mají zcela jinou strukturu)
- **evoluce endomembránových struktur (GA, ER, ... jádra, lineárních chromosomů a mitózy** = také endosymbioticky nebo zapouzdřením genomu do váčku odštěpeného z cytoplazmatické membrány
- **evoluce meiózy a tím i sexu**

# Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

započala před 2,5 mld. let ??? – **základní kroky**

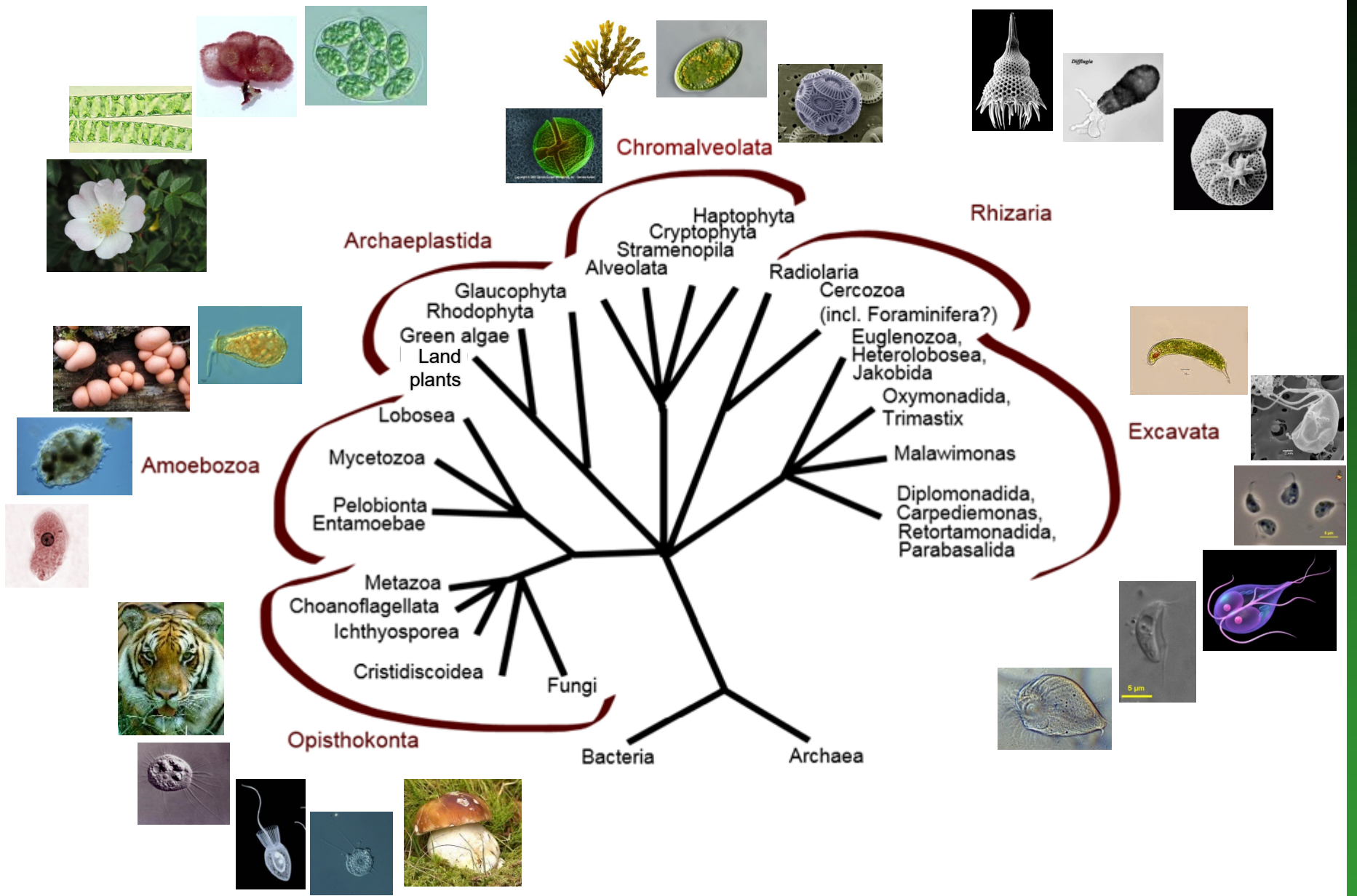
- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátila  $\alpha$ -proteobakterii
- **evoluce cytoskeletu** = tubuliny, aktin, myosin (z podobných proteinů přítomných u prokaryot)
- **evoluce eukaryotického bičíku** =  $9 \times 2 + 2$  (jednotná struktura přetvořením sensorické či jiné organely, přetvořením sentriolu, prokaryotické bičíky mají zcela jinou strukturu)
- **evoluce endomembránových struktur (GA, ER, ... jádra, lineárních chromosomů a mitózy** = také endosymbioticky nebo zapouzdřením genomu do váčku odštěpeného z cytoplazmatické membrány
- **evoluce meiózy a tím i sexu**
- **teprve pak „divergence“ eukaryot** (možná už před tím, ale extinkce „neúspěšných linií“)

# Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

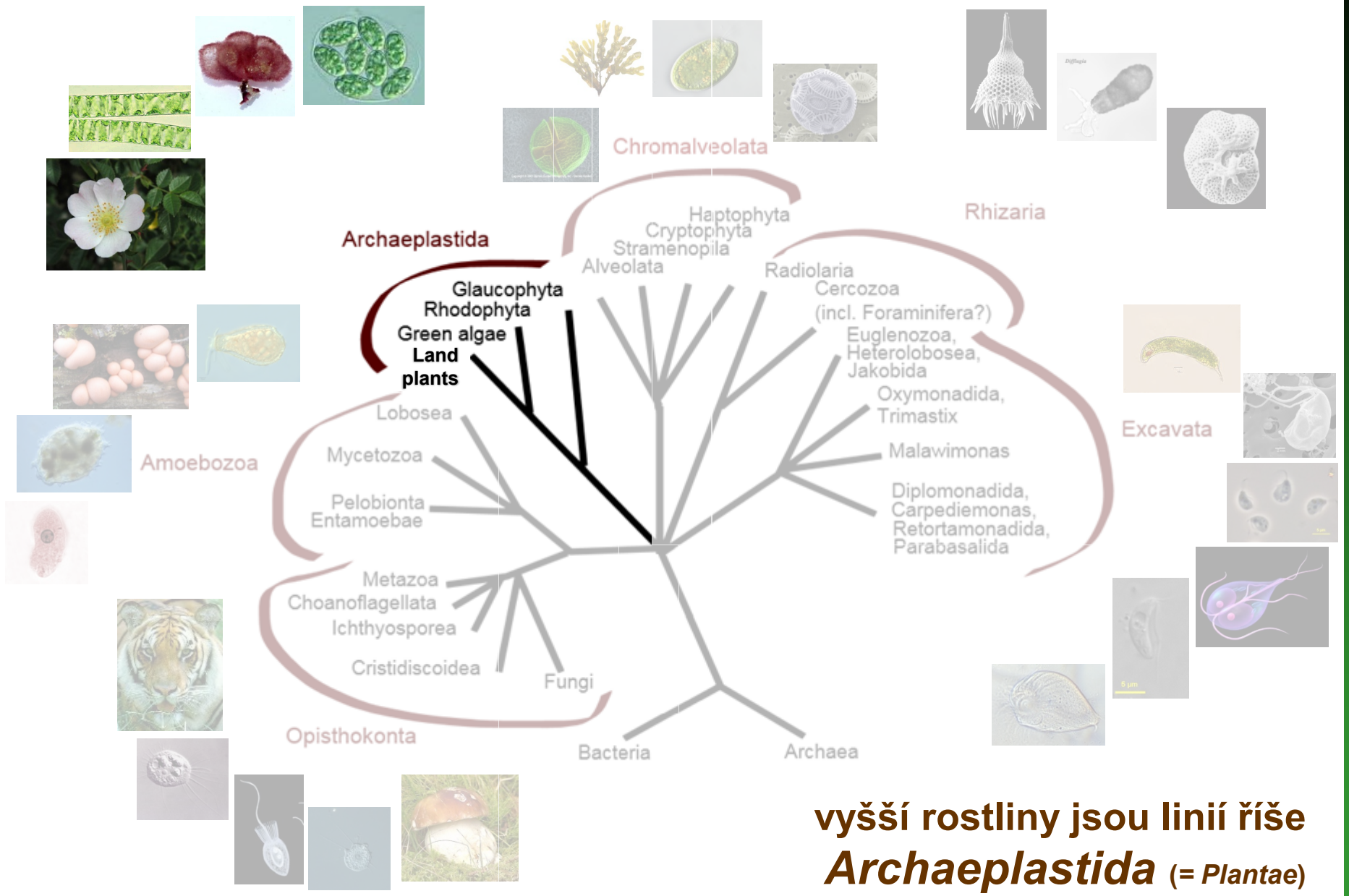
započala před 2,5 mld. let ??? – **základní kroky**

- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátila  $\alpha$ -proteobakterii
- **evoluce cytoskeletu** = tubuliny, aktin, myosin (z podobných proteinů přítomných u prokaryot)
- **evoluce eukaryotického bičíku** =  $9 \times 2 + 2$  (jednotná struktura přetvořením sensorické či jiné organely, přetvořením sentriolu, prokaryotické bičíky mají zcela jinou strukturu)
- **evoluce endomembránových struktur (GA, ER, ... jádra, lineárních chromosomů a mitózy** = také endosymbioticky nebo zapouzdřením genomu do váčku odštěpeného z cytoplazmatické membrány
- **evoluce meiózy a tím i sexu**
- **teprve pak „divergence“ eukaryot** (možná už před tím, ale extinkce „neúspěšných linií“)

**Ve všech liniích současných eukaryot tyto znaky najdeme – tyto kroky musely předcházet poslednímu společnému předku všech eukaryot –  
Pořadí a doba kroků však nejsou jisté**



# Dominium *Eukarya* divergovalo do šesti říší



vyšší rostliny jsou linií říše **Archaeplastida** (= *Plantae*)

# Dominium *Eukarya* divergovalo do šesti říší



# Evoluce „chloroplastu“

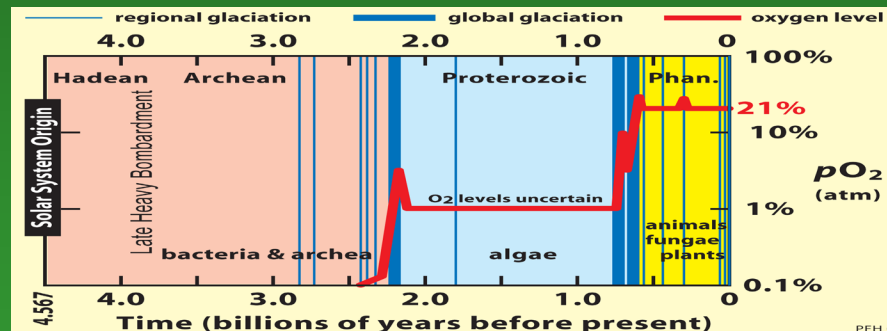
= Velká kyslíková katastrofa – 2.4 bya

= důsledek evoluce (oxygenní) fotosyntézy u sinic



## reduktivní atmosféra

archea → metan  
extrémní teploty,  
radiace, pH, salinita ...



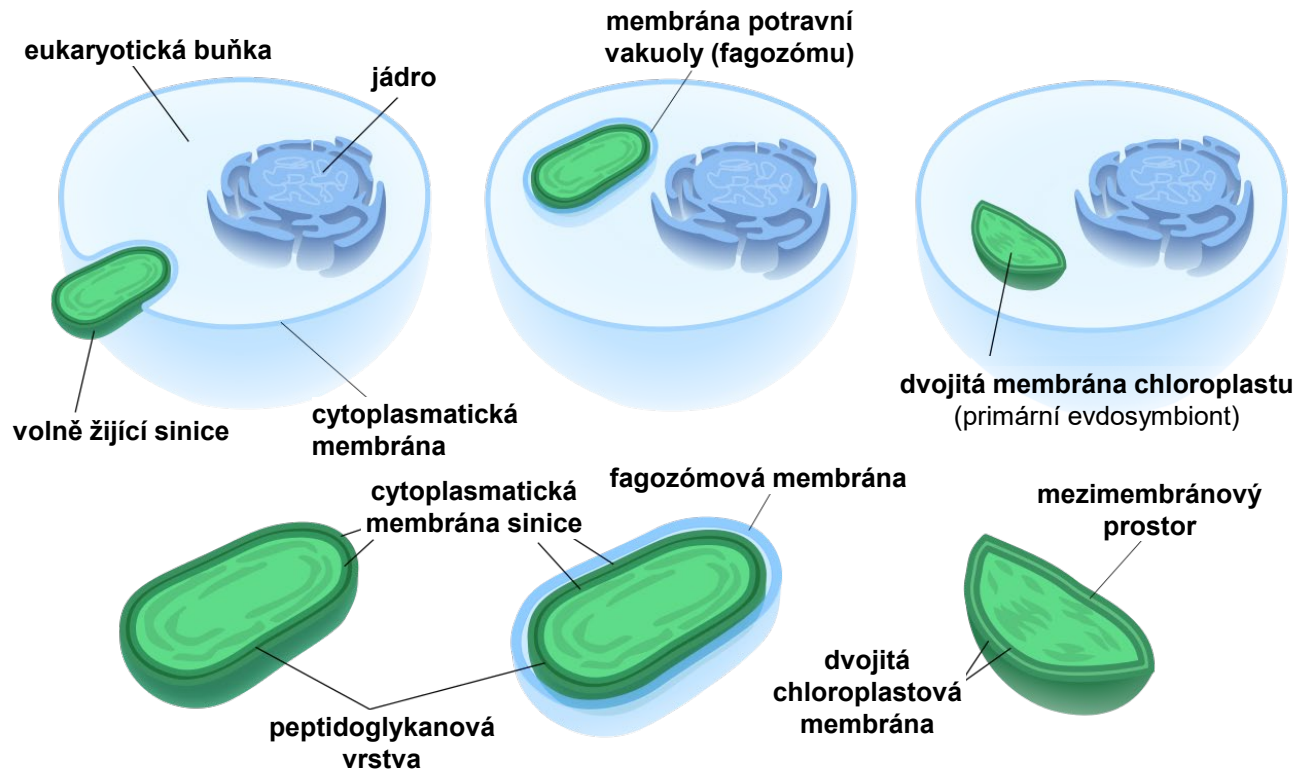
## oxydativní atmosféra

sinice → kyslík  
toxický pro anaerobní archea  
rozkládá metan na H<sub>2</sub>O a CO<sub>2</sub>

**Fotosyntéza vznikla u sinic před 2,5 mld. let** – syntéza uhlovodíků pomocí Slunce úspěšně přežila v nezměněné formě dodnes. Kyslík = odpad fotosyntézy se srážel oxidací (např. v hematitových sedimentech). Když došly ionty železa, síry, ... ve vodě i na souši, začal O<sub>2</sub> unikat do atmosféry. Zabíjel konkurenční anaerobní archea, rozkládal skleníkově působící metan. Nastalo ochlazení, zalednění, masové vymírání. Koncentrace O<sub>2</sub> nepřesáhla 3%.

# Vznik archeplastid – ?1.8 bya

= **Vznik chloroplastu** s dvojitou membránou primárně endosymbioticky  
(= heterotrofní prvek fagocyticky pohltil sinici, nestrávil a „domestikoval ji“)



Chloroplast krásnooček a obrněnek – vznikl sekundární endosymbiózou = fagocytickým uchvácením buňky zelené řasy protozoální buňkou

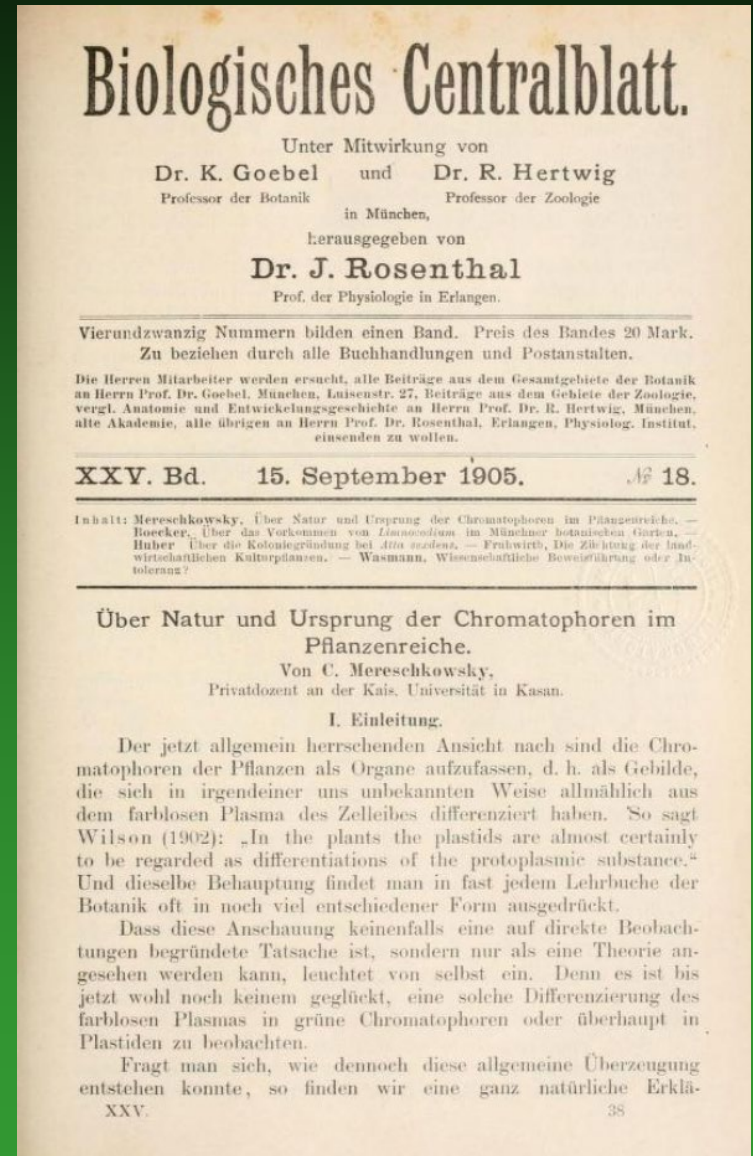
Chloroplast chaluhy, rozsivky, ... – vznikl také sekundární endosymbiózou = fagocytickým uchvácením buňky červené řasy protozoální buňkou

# Vznik archeplastid – ?1.8 bya



Konstantin Sergeevich Mereschkowski  
Константин Сергеевич Мережковский  
(1855–1921)

Poprvé chápe chloroplasty  
jako sinicové endosymbionty



## Vznik archeplastid – ?1.8 bya

Podobně jako u mitochondriálního genomu se také geny endosymbiontní sinice přestěhovaly do jádra

## Vznik archeplastid – ?1.8 bya

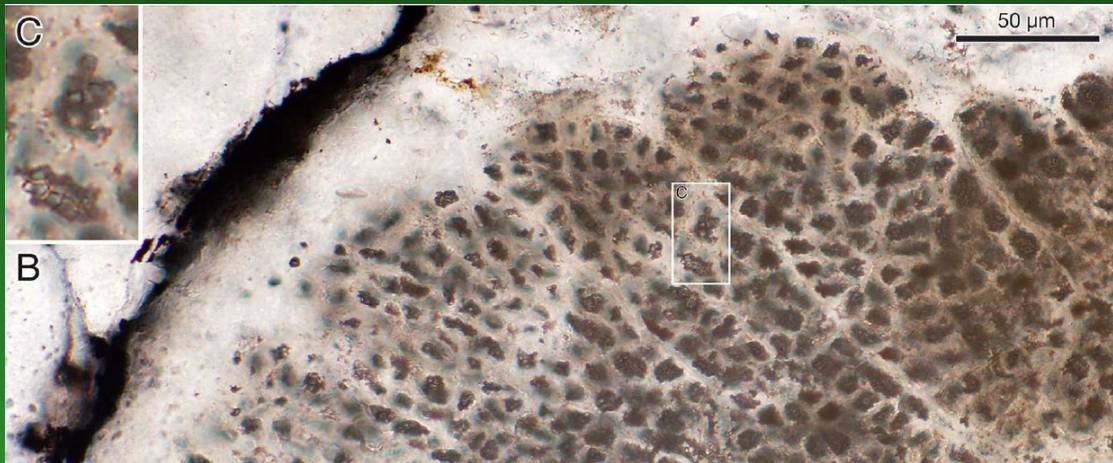
**Buněčné jádro dnešních Viridaeplantae  
= chiméra tří genomů:**

1. původní archeální genom buňky, která pohltila „budoucí mitochondrii“
2. genom pohlcené  $\alpha$ -proteobakterie, ze které vznikla mitochondrie
3. genom sinice, ze které vznikl chloroplast

# Multicelularita archeplastid – 1.6 bya

nejstarší fosílie mnohobuněčných vláknitých i laločnatých (pseudoparenchymatických) ruduch objevené v Indii pomocí synchrotronní rentgenové tomografické mikroskopie (SRXTM) ve zkamenělých stromatolitech, starých 1,6 mld. let.

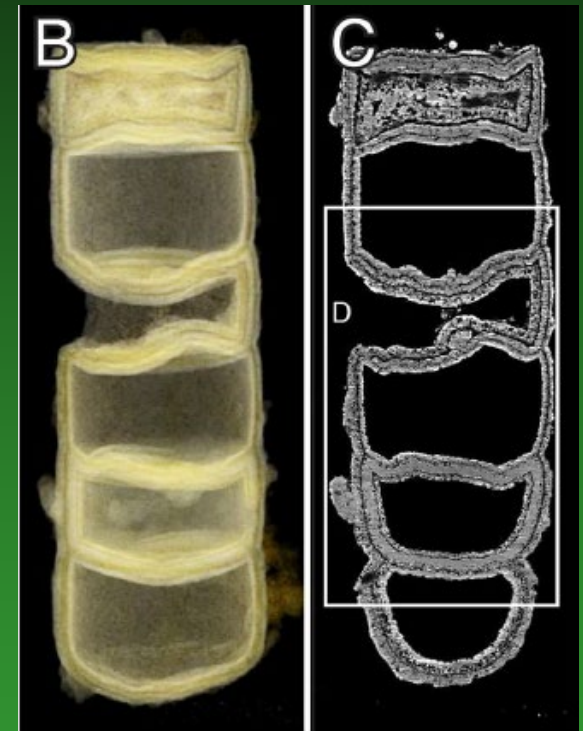
## *Ramathallus lobatus*



Lokalita nálezu  
na rozhraní  
indických států  
Uttar Pradesh  
a Madhya Pradesh



## *Rafatazmia chitrakootensis*



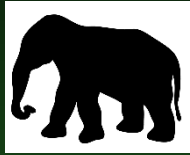
Three-dimensional preservation of cellular and subcellular structures suggests 1.6 billion-year-old crown-group red algae

Stefan Bengtson<sup>1,2\*</sup>, Therese Sallstedt<sup>1,2</sup>, Veneta Belivanova<sup>1,2</sup>, Martin Whitehouse<sup>2,3</sup>

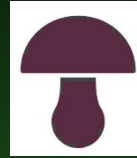
1 Department of Palaeobiology, Swedish Museum of Natural History, Stockholm, Sweden, 2 Nordic Center for Earth Evolution (NordCEE), Odense, Denmark; Copenhagen, Denmark; Stockholm, Sweden, 3 Department of Geosciences, Swedish Museum of Natural History, Stockholm, Sweden

PLOS Biology | DOI:10.1371/journal.pbio.2000735 March 14, 2017

# Důsledek multicelularity a sexu – **evoluce životních cyklů**



**Živočichové**  
také třeba  
Ciliata nebo některé  
hnědé řasy (Fucales)



**Houby**  
také např.  
Charophyta a  
Chlorophyta



**Vyšší rostliny**  
také např.  
hnědé řasy  
Phaeophyceae

„mi<sup>ióza</sup>mi<sup>ióza</sup>me<sup>ióza</sup>sy<sup>ngamie</sup>–mimimesy“

diploidní fáze multicelulární,  
časově převažuje,

haploidní jen jediná buňka =  
gameta

jediná funkce gamet =  
syngamie

meióza → gamety

2n unisexuální

„mimisyme–mimisyme“

haploidní fáze multicelulární,  
časově převažuje

diploidní jen jediná buňka =  
zygota

jediná funkce zygoty =  
podstoupit meiózu

meióza → spóry

n unisexuální

dikaryotická fáze je už  
vlastně skoro diploidní

„mimisy–mimime“

diploidní i haploidní fáze jsou  
multicelulární

haploidní spóra i diploidní  
zygota se dále dělí mitoticky

meióza → spóry

pokud n nebo 2n v cyklu  
dominantní, často bisexuální  
vzácněji unisexuální

# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

říše *Archaeplastida* (=Plantae)

podříše *Biliphytobionta*

podříše *Viridaeplantae* - zelené rostliny



# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

říše *Archaeplastida* (=Plantae)

podříše *Biliphytobionta*

podříše *Viridaeplantae* - zelené rostliny

vývojová linie: Chlorophytae - zelené řasy

vývojová linie: *Streptophytae*



# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

říše *Archaeplastida* (=Plantae)

podříše *Biliphytobionta*

podříše *Viridaeplantae* - zelené rostliny

vývojová linie: Chlorophytae - zelené řasy



vývojová linie: *Streptophytae*

vývojová větev *Charophytae* - parožnatky



vývojová větev *Bryophytae* - mechorosty



vývojová větev *Cormophytae* - cévnaté rostliny



# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

říše *Archaeplastida* (=Plantae)

podříše *Biliphytobionta*

podříše *Viridaeplantae* - zelené rostliny

vývojová linie: Chlorophytae - zelené řasy



vývojová linie: *Streptophytae*

vývojová větev *Charophytae* - parožnatky



vývojová větev *Bryophytae* - mechorosty



vývojová větev *Cormophytae* - cévnaté rostliny



**Vyšší rostliny**

# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

říše *Archaeplastida* (=Plantae)

podříše *Biliphytobionta*

podříše *Viridaeplantae* (=Chlorobionta, Chloroplastida) – zelené rostliny = zelené řasy + parožnatky + vyšší rostliny

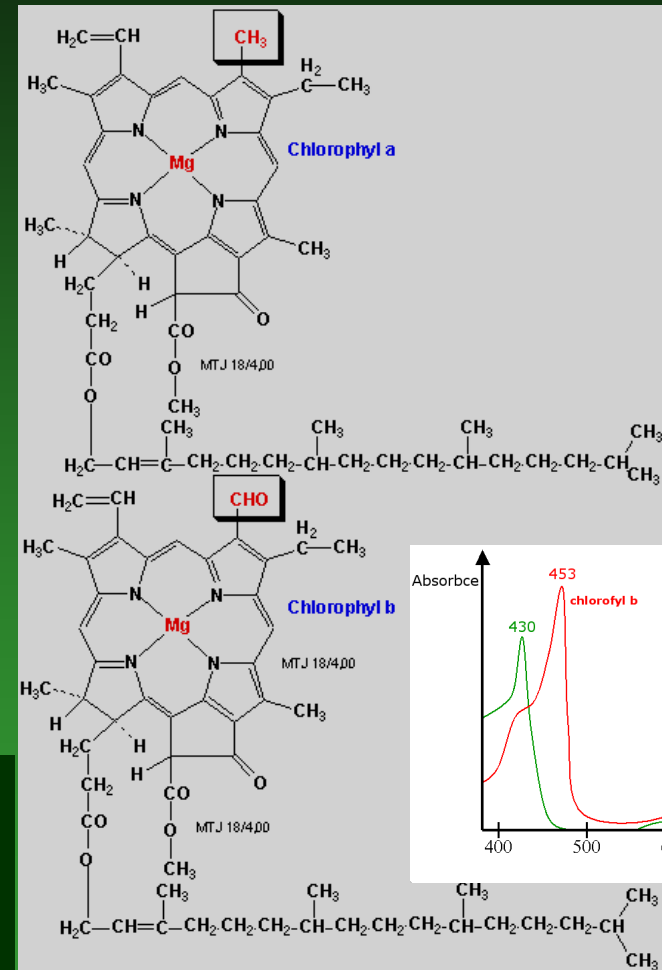
hlavní znaky:

1. fotosyntetická barviva,
2. zásobní a stavební polysacharidy,
3. stavba chloroplastu,



# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

Vedle chlorofylu a mají navíc (1) chlorofyl b



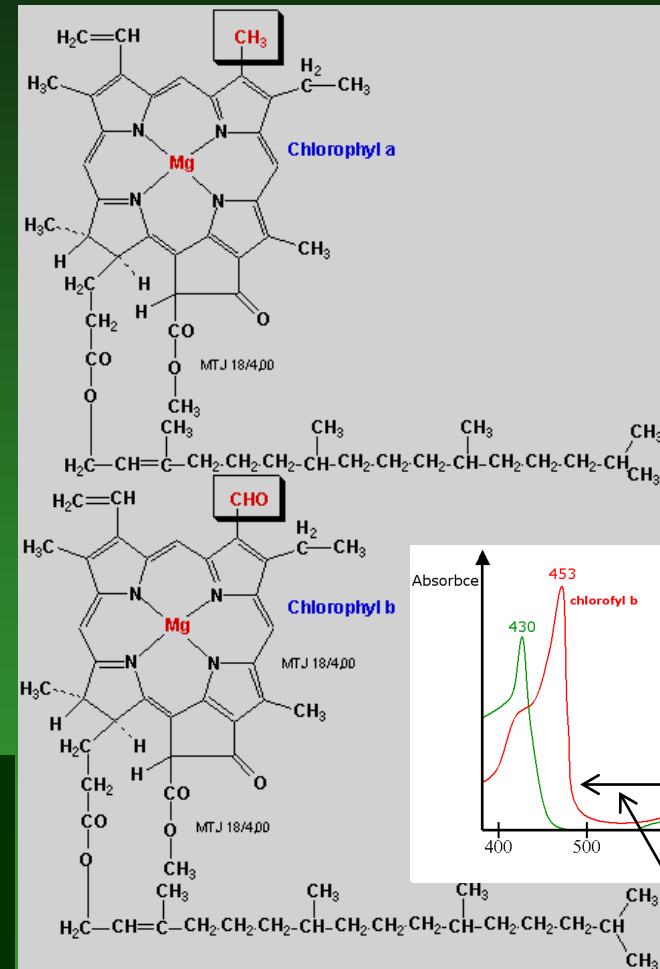
***Biliphytobionta* – jen chlorofyl a**

(dříve uváděný chlorofyl d u ruduch byla kontaminace sinicemi)

**– navíc mají i sinicové fykobiliny**

# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

Vedle chlorofylu a mají navíc (1) chlorofyl b



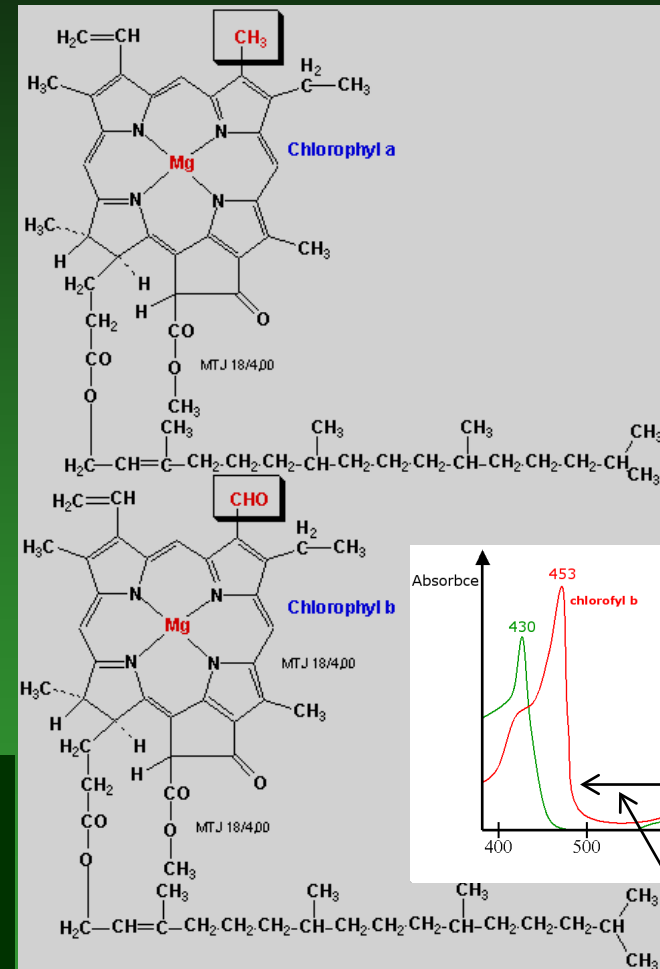
***Biliphytobionta* – jen chlorofyl a**

(dříve uváděný chlorofyl d u ruduch byla kontaminace sinicemi)

**– navíc mají i sinicové fykobiliny**

# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

Vedle chlorofylu a mají navíc (1) chlorofyl b



***Biliphytobionta* – jen chlorofyl a**

(dříve uváděný chlorofyl d u ruduch byla kontaminace sinicemi)

**– navíc mají i sinicové fykobiliny**

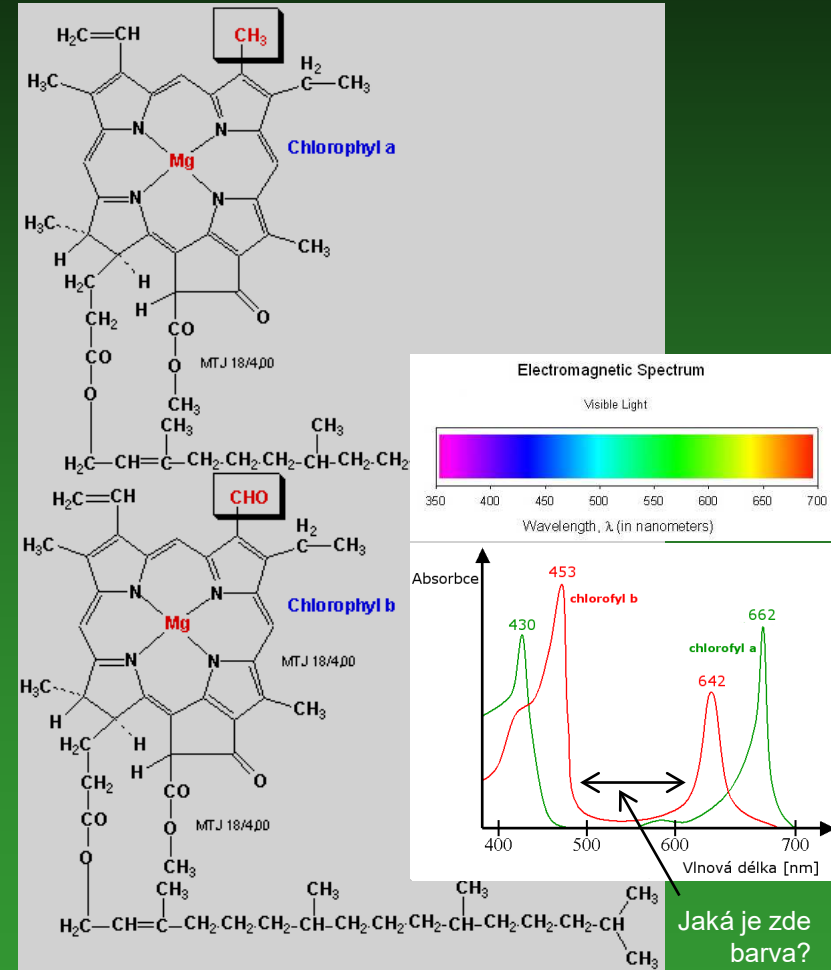
Jaká je zde barva?

Ta, kterou chlorofyl nepohlcuje, ale odráží!



# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

Vedle chlorofylu a mají navíc (1) chlorofyl b



**Chlorofyl chybí u parazitů a mykotrofně vyživovaných druhů** Ta, kterou chlorofyl nepohlcuje, ale odráží!

# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

Stavební polysacharid = (2) celulóza – tvoří buněčnou stěnu

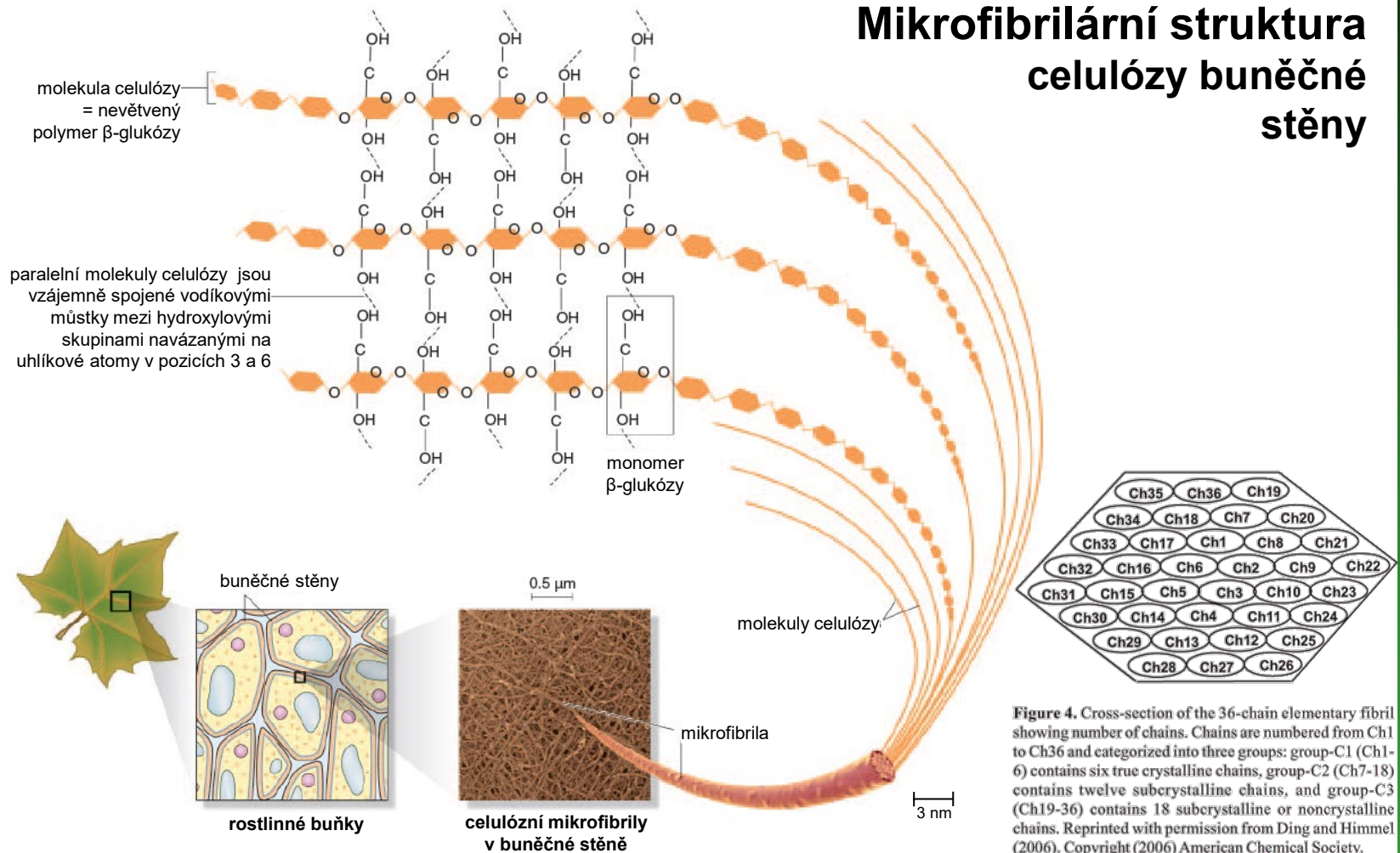
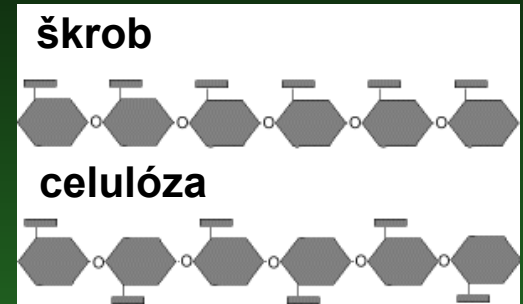
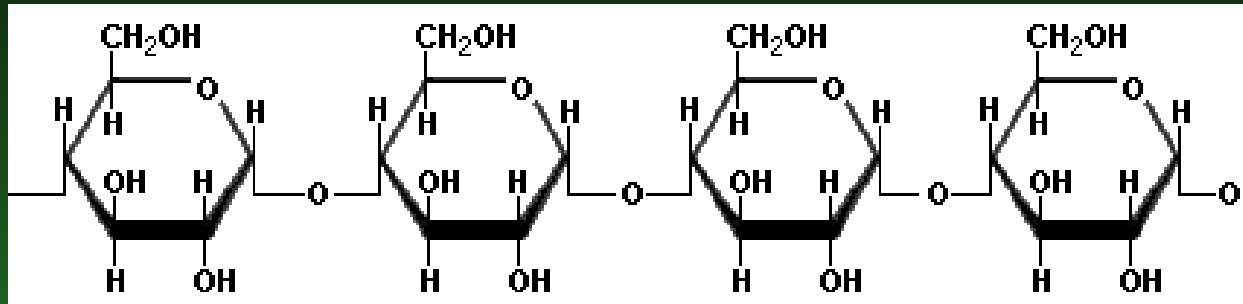


Figure 4. Cross-section of the 36-chain elementary fibril showing number of chains. Chains are numbered from Ch1 to Ch36 and categorized into three groups: group-C1 (Ch1-6) contains six true crystalline chains, group-C2 (Ch7-18) contains twelve subcrystalline chains, and group-C3 (Ch19-36) contains 18 subcrystalline or noncrystalline chains. Reprinted with permission from Ding and Himmel (2006). Copyright (2006) American Chemical Society.

**Celulózní exoskelet buňky = preadaptace na mnohobuněčnost a terestrializaci**

# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

## Zásobní polysacharid = (3) škrob



Škrob – glukóзовé jednotky spojeny vazbou v alfa 1,4 pozici; celulóza v beta 1,4 pozici

Škrob mají i glaukofyty nebo obrněnky; ruduchy mají florideový škrob

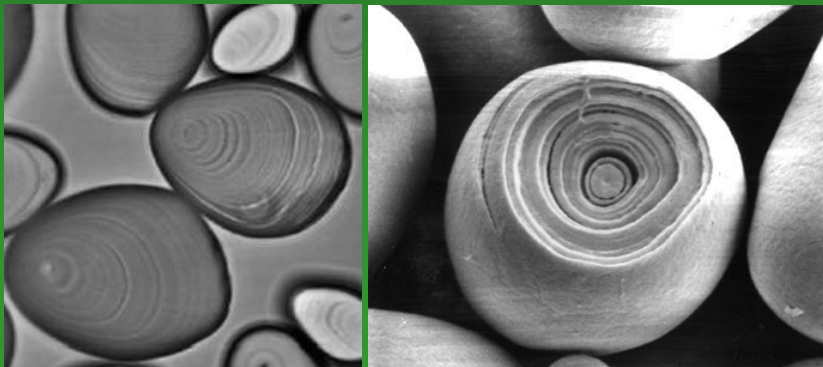
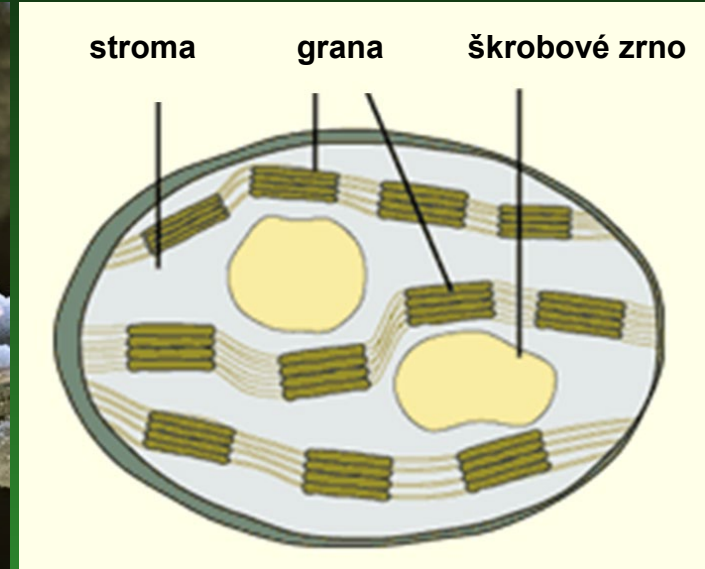
# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

## (4) chloroplasty obsahují škrobová zrna

chloroplasty rulíku zlomocného s jednotlivými škrobovými zrny



chloroplast



Zrna mají vrstevnatou strukturu

**Škrob glaukofytů ani florideový škrob ruduch se v chroplastech neukládají**

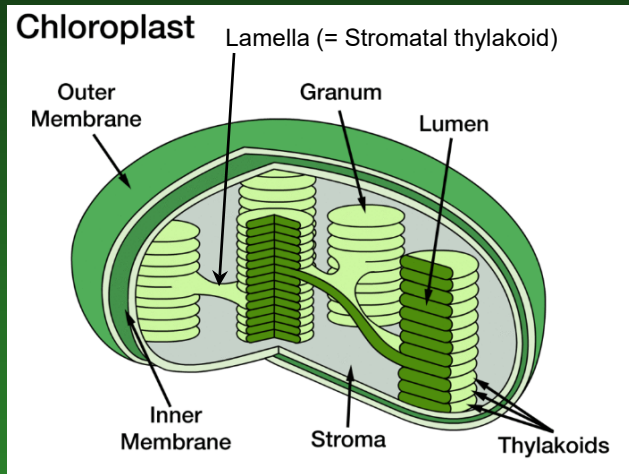
# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

## (5) tylakoidní (nejvnitřnější) membrána chloroplastů tvoří lamely a grana

(10–100/chloroplast)

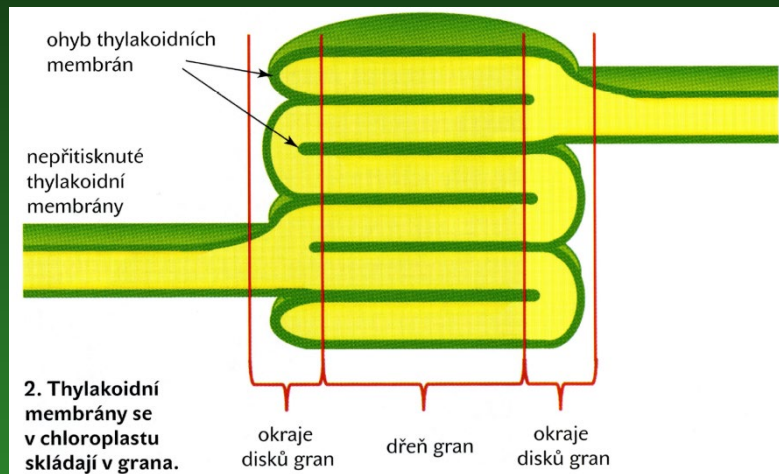
5  $\mu\text{m}$

– membrány tylakoidů vážou chlorofyl

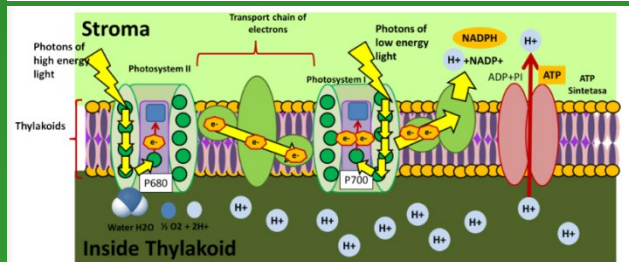
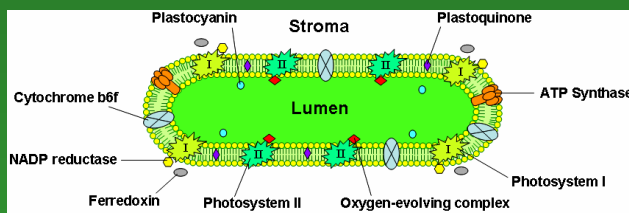


Lamela

Granum



Lamela

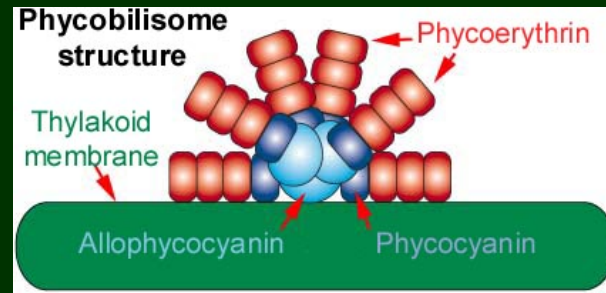
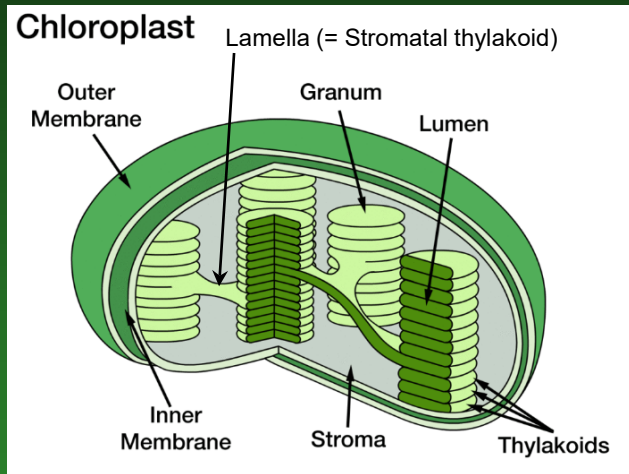


# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

(5) **tylakoidní** (nejvnitřnější) membrána chloroplastů tvoří lamely a grana  
(10–100/chloroplast)

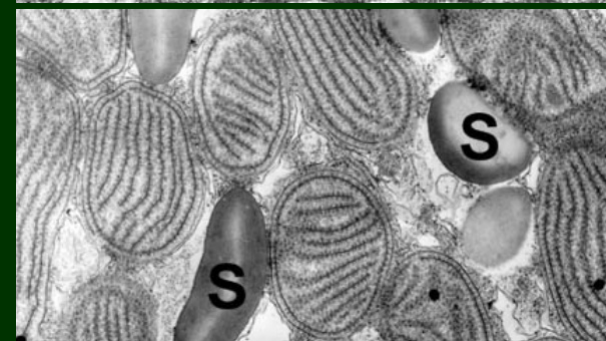
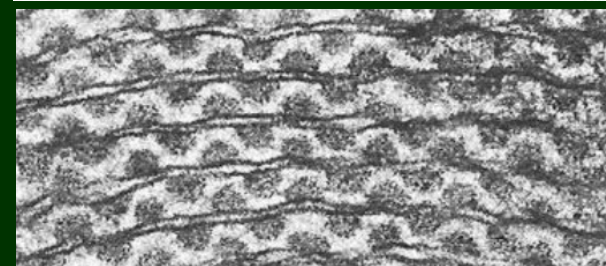
5  $\mu\text{m}$

– membrány tylakoidů vážou chlorofyl

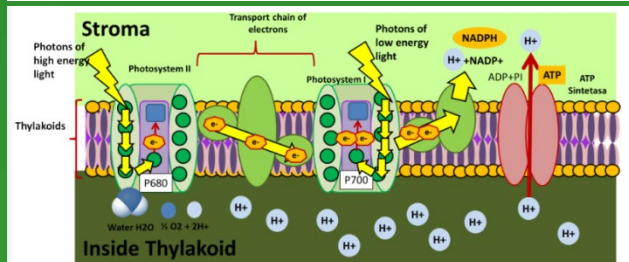
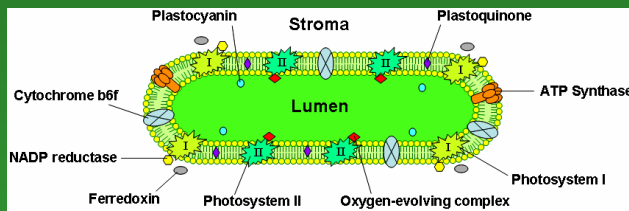


**glaukofyty a ruduchy:**

tylakoidy grana netvoří, jsou však hustě pokryté fykobilisomy, které u *Viridaeplantae* chybí



S = škrobová zrna v cytoplasmě mezi chloroplasty



# Z moře do sladkých vod = vznik streptofytní linie – 950–725 mya

říše *Archaeplastida* (=Plantae)

podříše *Biliphytobionta*

podříše *Viridaeplantae* - zelené rostliny

vývojová linie: *Chlorophytae* - zelené řasy

**vývojová linie: *Streptophytae*  
= parožnatky + vyšší rostliny**

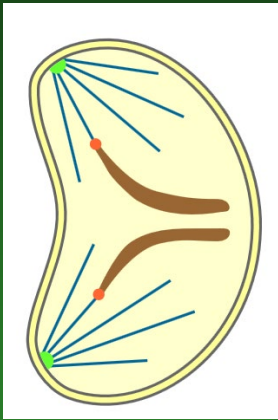
- (1) otevřená ortmitóza
- (2) fragmoplast v cytokinézi,
- (3) plazmodesmy mezi buňkami
- (4) oogamická rodozměna

Vyšší rostliny zahrnují dvě vývojové linie v podříši *Viridaeplantae*

# Vznik streptofytní linie – 950–725 mya

## (1) Otevřená ortomitóza

### Uzavřená pleuromitóza

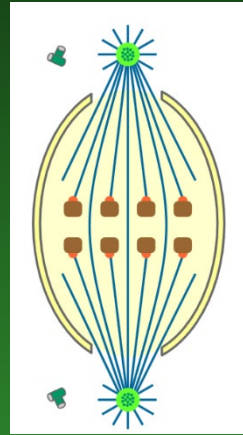


U zelených řas jen v bazální třídě *Prasinophyceae*

Pleuro = vřeténka nejsou kolmo na ekvatoriální rovinu dělení

Uzavřená = jaderná membrána neporušená

### Částečně otevřená ortomitóza

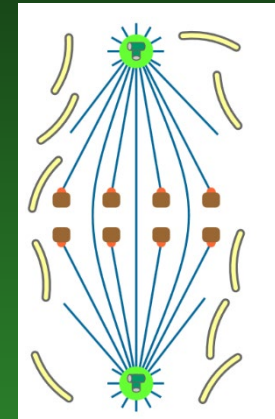


Ostatní *Chlorophyta*

Orto = vřeténka kolmo na ekvatoriální rovinu dělení

Částečně otevřená = v jaderné membráně polární okénka s centriolami

### Otevřená ortomitóza



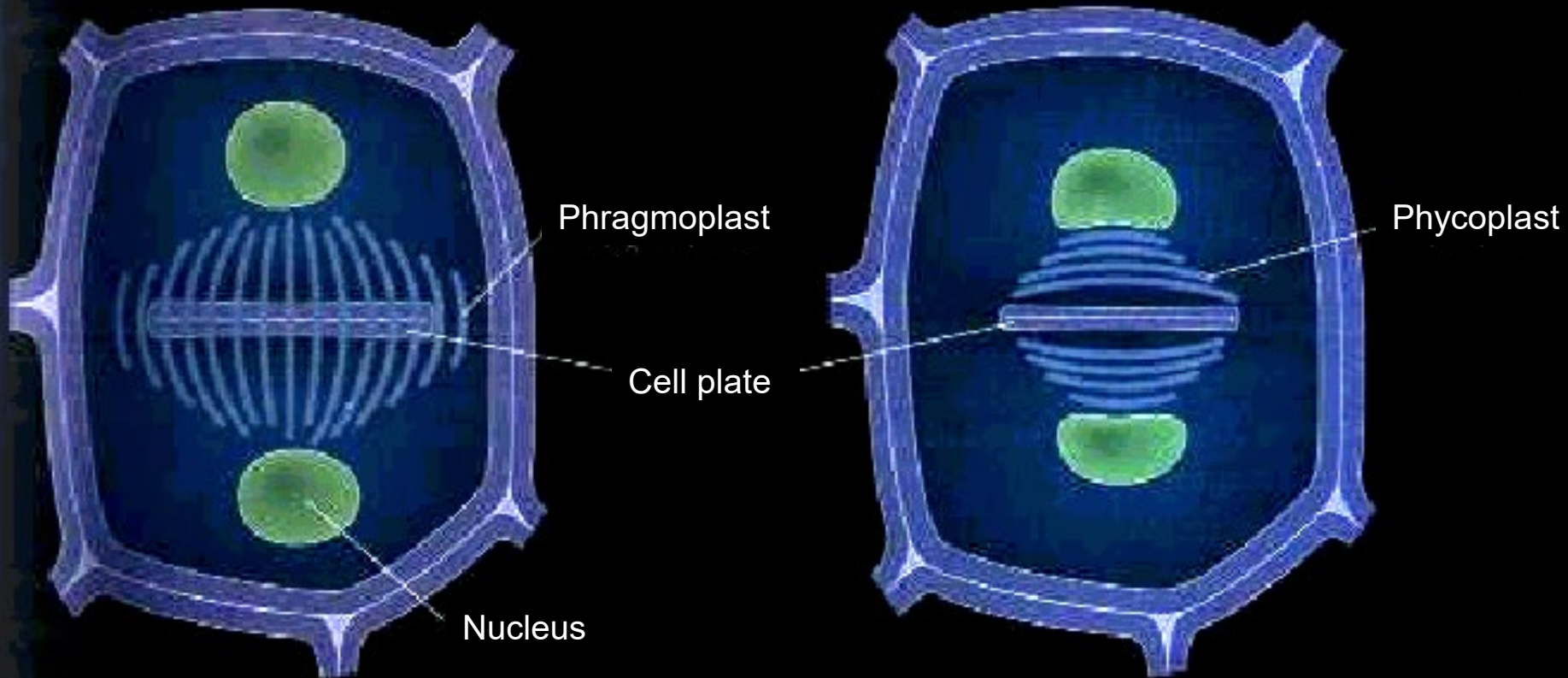
*Streptophytae*

Jaderná membrána se rozpouští na počátku mitózy



# Vznik streptofytní linie – 950–725 mya

Během cytokinézy se tvoří (2) fragmoplast



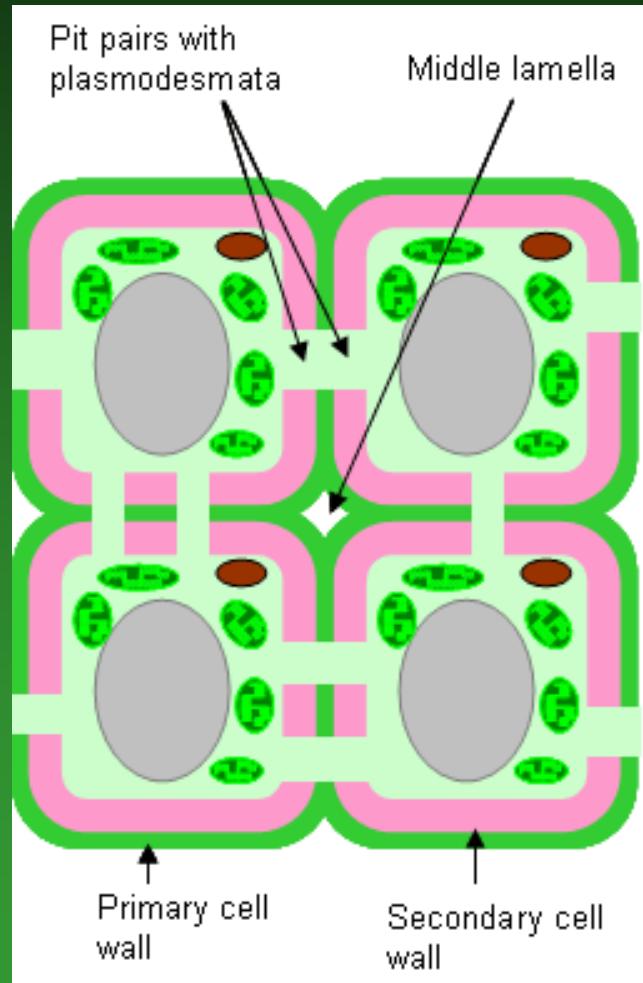
**Fykoplast a fragmoplast** = přechodné mikrotubulární systémy cytoskeletu; **Fykoplast** – mikrotubuly dělicího vřeténka kolabují a orientují se kolmo na spojnici dceřiných jader. **Fragmoplast** - mikrotubuly se zachovávají a přisouvají se po nich váčky s polysacharidy do centrifugálně vznikající střední lamely mezi dceřinými buňkami.

# Vznik streptofytní linie – 950–725 mya

**(3) plasmodesmy** tenoučké (30–60 nm) výběžky cytoplazmy propojující sousední buňky skrz otvory v buněčné stěně. Prochází jimi endoplasmatické retikulum, jsou ohraničeny membránou. Primární se tvoří hned mezi dceřinými buňkami přes otvory po mikrotubulech vřeténka (fragmoplastu) ve střední lamele, sekundární vznikají později.

Kompenzovaly nedokonalost vodivých pletiv prvních rostlinných kolonizátorů souše

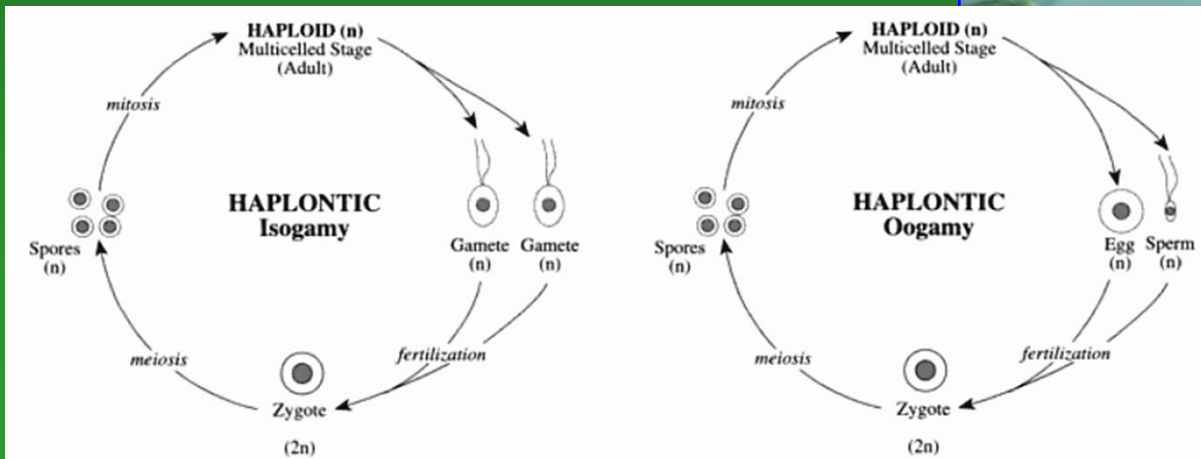
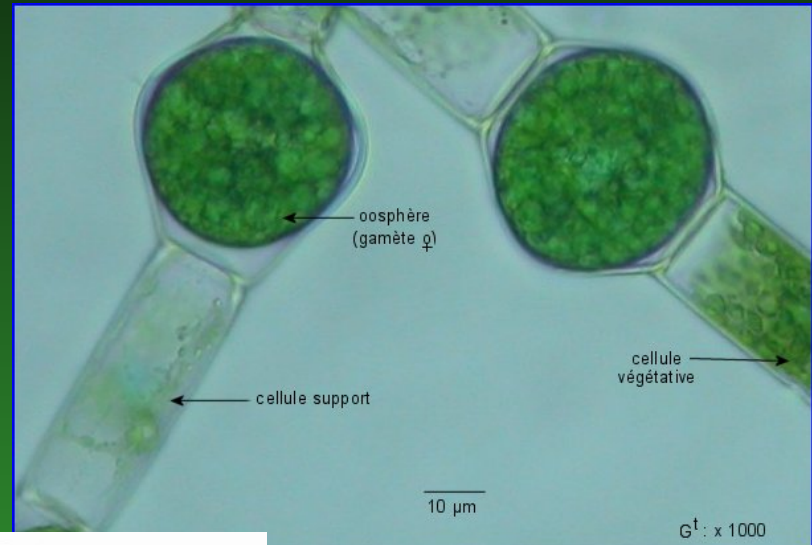
Transport bílkovin a fytohormonů je jimi aktivně regulován a nebyla by tedy bez nich diferencovaná mnohobuněčnost a funkční regulace



# Vznik streptofytní linie – 950–725 mya

(4) **Oogamie**: samičí gameta (= oosféra) nepohyblivá, samčí je menší a pasivně nebo aktivně se k oosféře dostává.

parožnatky mají sterilní obal gametangií !



Oogamie – nezávisle se vyvinula i v jiných skupinách řas. Je taky u živočichů

# Vznik streptofytní linie – 950–725 mya

## (5) gravitropní růst

### Vyšší rostliny



## Parožnatky



Pergamon

Adv. Space Res. Vol. 21, No. 8/9, pp. 1183–1189, 1998  
©1998 COSPAR. Published by Elsevier Science Ltd. All rights reserved.  
Printed in Great Britain  
0273-1177/98 \$19.00 + 0.00

PII: S0273-1177(97)00633-9

### STATOLITH POSITIONING BY MICROFILAMENTS IN *CHARA* RHIZOIDS AND PROTONEMATA

Dieter Hodick, Brigitte Buchen and Andreas Sievers

Botanisches Institut, Universität Bonn, Venusbergweg 22, D-53115 Bonn, Germany

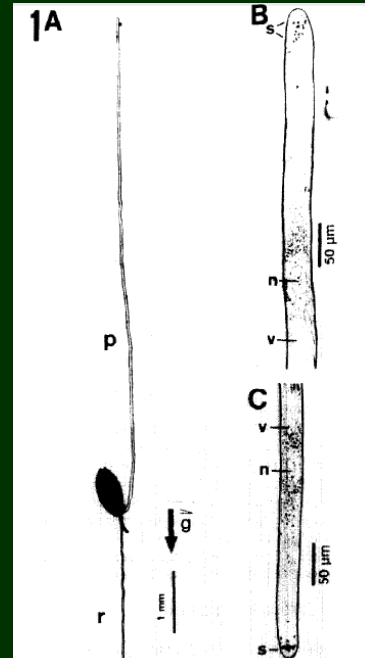


Fig. 1: An oospore of *Chara fragilis* Desv. (Fig. 1A) 3d after germination in darkness with a protonema (p) growing negatively gravitropic and a rhizoid (r) growing positively gravitropic. At higher magnifications of the tips of the protonema (Fig. 1B) and rhizoid (1C) the vacuole (v), nucleus (n) and statoliths (s) are discernible.

# Vznik streptofytní linie – 950–725 mya

## (6) rhizoidy a jejich homology (? tvorba řízena stejnými geny)

### Rhizoidy a jejich homology u vyšších rostlin

játrovka *Chiloscyphus polyanthos*



mech *Physcomitrella patens*



kořenové vlásky  
*Arabidopsis thaliana*



### Rhizoidy parožnatek

*Spirogyra, Zygnematales*



*Chara braunii*

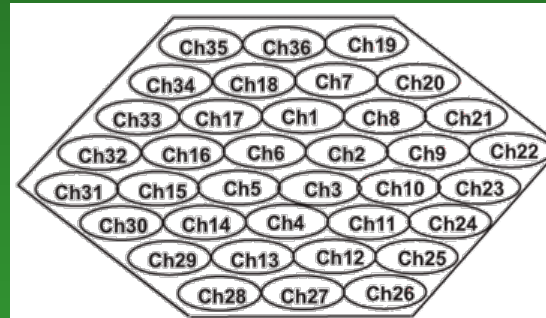
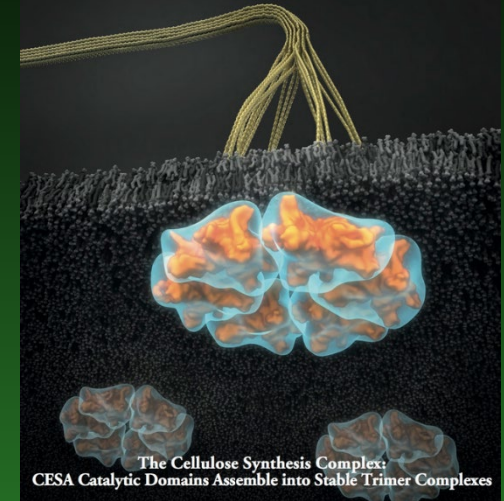


*Chara baltica*

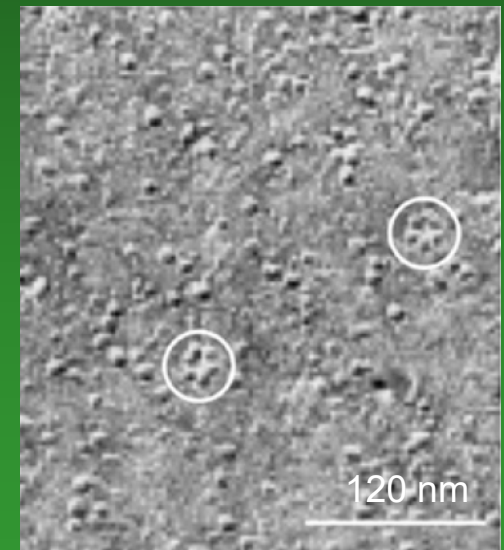


# Vznik streptofytní linie – 950–725 mya

## (7) Rozetovitý celulózo-syntetizující komplex



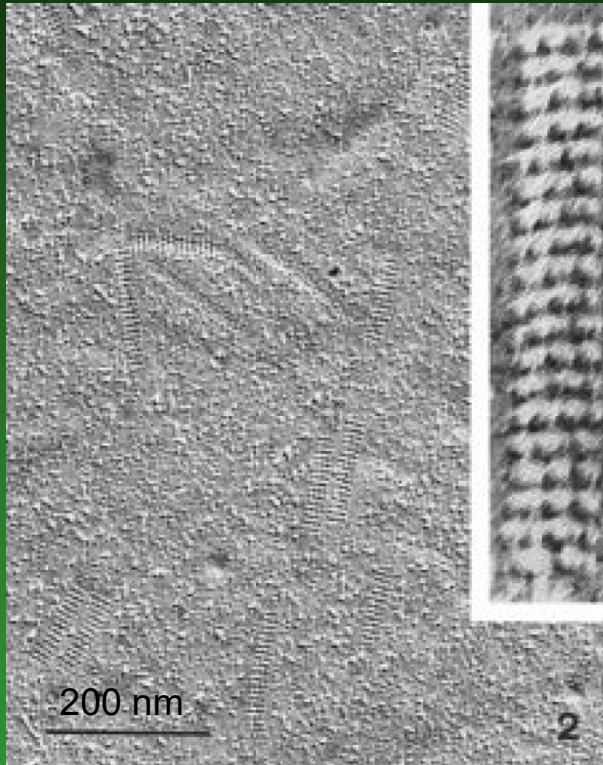
**Figure 4.** Cross-section of the 36-chain elementary fibril showing number of chains. Chains are numbered from Ch1 to Ch36 and categorized into three groups: group-C1 (Ch1-6) contains six true crystalline chains, group-C2 (Ch7-18) contains twelve subcrystalline chains, and group-C3 (Ch19-36) contains 18 subcrystalline or noncrystalline chains. Reprinted with permission from Ding and Himmel (2006). Copyright (2006) American Chemical Society.



Rozetovitý celulózo-syntetizující komplex na cytoplazmatické membráně *Arabidopsis thaliana* – na snímku z elektronového mikroskopu

# Vznik streptofytní linie – 950–725 mya

## (7) Rozetovitý celulózo-syntetizující komplex



Cytoplasmatická membrána *Erythrocladia subintegra* (Rhodophyta) Several randomly oriented linear TCs are visible. Scale bar 200 nm

Chlorophyta a některá Rhodophyta mají celulózo-syntetizující komplex uspořádaný lineárně



Rozetovitý vznikla až u streptofyt

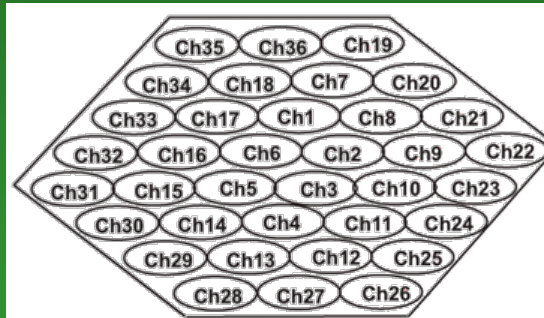
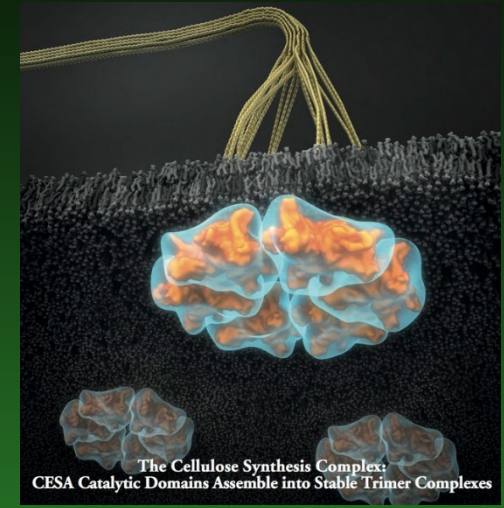
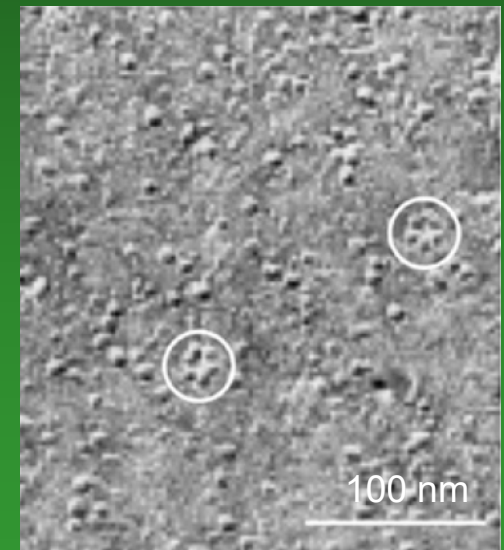


Figure 4. Cross-section of the 36-chain elementary fibril showing number of chains. Chains are numbered from Ch1 to Ch36 and categorized into three groups: group-C1 (Ch1-6) contains six true crystalline chains, group-C2 (Ch7-18) contains twelve subcrystalline chains, and group-C3 (Ch19-36) contains 18 subcrystalline or noncrystalline chains. Reprinted with permission from Ding and Himmel (2006). Copyright (2006) American Chemical Society.



The Cellulose Synthesis Complex: CESA Catalytic Domains Assemble into Stable Trimer Complexes

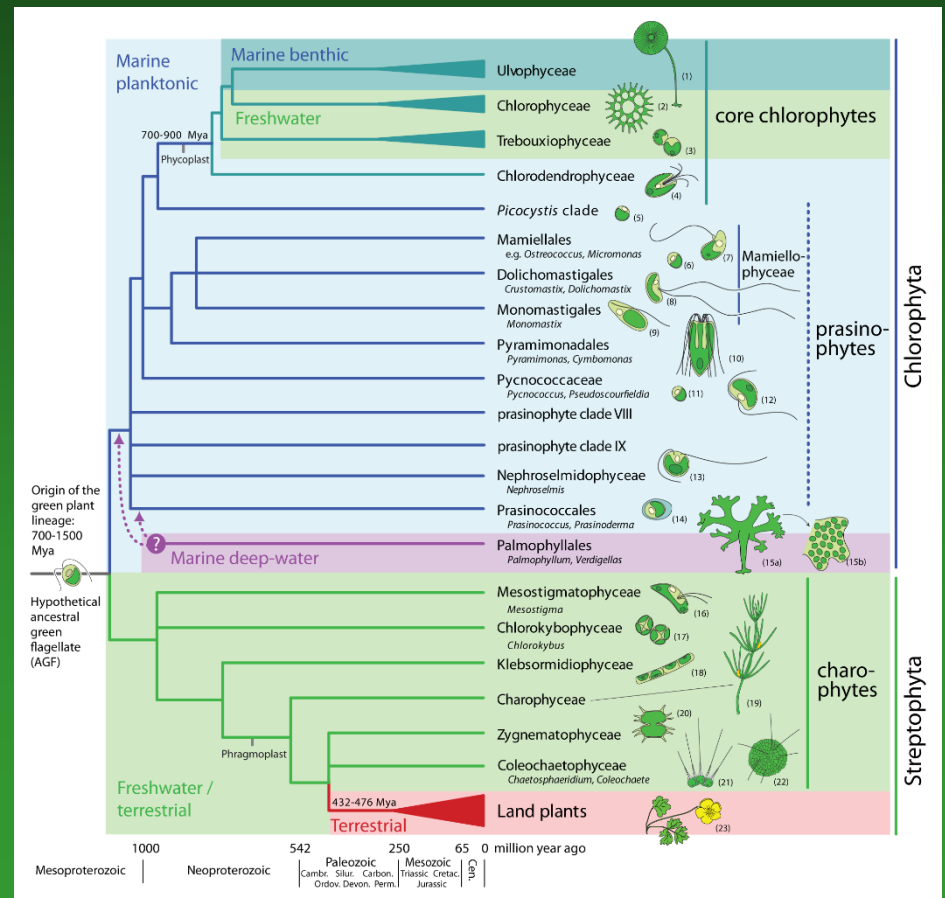


Rozetovitý celulózo-syntetizující komplex na cytoplasmatické membráně *Arabidopsis thaliana* – na snímku z elektronového mikroskopu

# Molekulární studie naznačují, že nejbližší sesterskou linií vyšších rostlin je

## Tř. Zygnematophyceae

ne dříve podezříváné Coleochaetophyceae





# Vyšší rostliny vznikly

osídlením souše

**Terrestrializace = soubor adaptací  
k životu na souši**

První kolonizovaný biotop =  
periodicky zaplavované pobřežní  
zóny sladkých vod

? delty řek – byla tam dostatečná  
vrstva půdy – díky náplavům

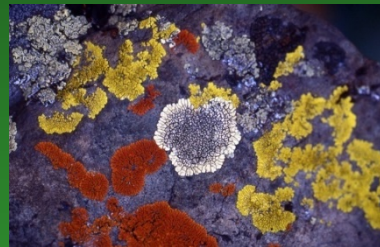


Mořské břehy nebyly kvůli velkým osmotickým výkyvům vznikajícím při vysychání slané vody ke kolonizaci vhodné



Před vyššími rostlinami kolonizovaly souš:

- sinice + bakterie
- aerofytické zelené řasy
- lišejníky
- houby



**SCIENTIFIC REPORTS**

Article [Open Access](#) | Published: 16 January 2020

**A Silurian ancestral scorpion with fossilised internal anatomy illustrating a pathway to arachnid terrestrialisation**

Andrew J. Wendruff<sup>1</sup>, Loren E. Babcock, Christian S. Wirtkner, Joanne Kluessendorf & Donald G. Mikulic

Figure 1. *Pteriscorpio venator* gen. et sp. nov., Beaudou Bridge Formation (Silurian), Wisconsin, USA.

*J. Paleont.*, 79(4), 2005, pp. 738–744  
Copyright © 2005, The Paleontological Society  
0022-3360/05/0079-738\$03.00

**NEW FLAT-BACKED ARCHIPOLYPODAN MILLIPEDES FROM THE UPPER DEVONIAN OF NORTH AMERICA**

HEATHER M. WILSON,<sup>1</sup> EDWARD B. DAESCHLER,<sup>2</sup> AND SYLVAIN DESBIENS<sup>3</sup>

2

**Early fungi from the Proterozoic era in Arctic Canada**

Corentin C. Loron<sup>1\*</sup>, Camille François<sup>1</sup>, Robert H. Rainbird<sup>2</sup>, Elizabeth C. Turner<sup>1</sup>, Stephan Borensztajn<sup>4</sup> & Emmanuelle J. Javaux<sup>1\*</sup>

(Shaler Supergroup, Arctic Canada), 1,010–890 million years ago, [has](#)

**nature**

Letter | Published: 22 May 2019

Spolu s nimi – členovci a nematoda

# Kdy začala terestrializace ?

# Kdy začala terestrializace ?

## Před 500–450 mya

# Kdy začala terestrializace ?

Nejstarší makrofosílie vyšších rostlin – ryniofytní rostlina

*Cooksonia* –  
rozhraní střední - svrchní silur:

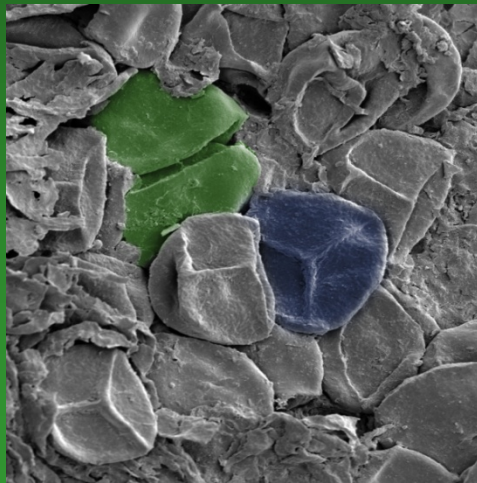
428–432 mya



# Kdy začala terestrializace ?

**Nejstarší makrofosílie**  
vyšších rostlin  
= rynniofytní *Cooksonia*  
střední / svrchní silur

**428–432 mya**



**Nejstarší mikrofosílie**  
vyšších rostlin  
= tetrádní spóry se  
sporopoleninem  
spodní / svrchní ordovik:

**470 mya**



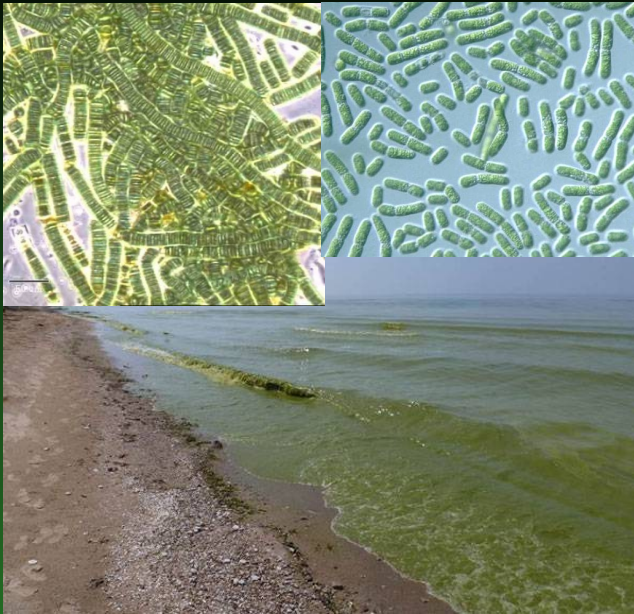
**život v mořích ordoviku**

A late Silurian sporangium. **Green:** A spore tetrad. **Blue:** A spore bearing a trilete mark – the Y-shaped scar. The spores are about 30-35  $\mu\text{m}$  across

# Co muselo předcházet terestrializaci?

(= podmínky kolonizace souše vyššími rostlinami)

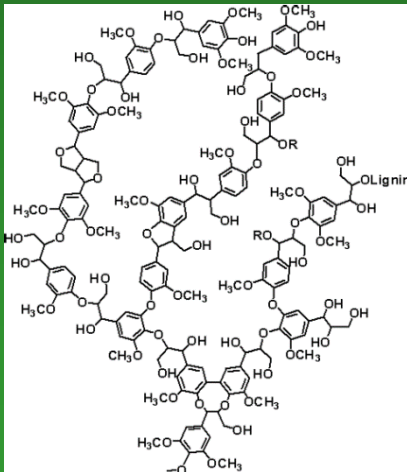




# (1) Vyšší koncentrace $O_2$ v atmosféře

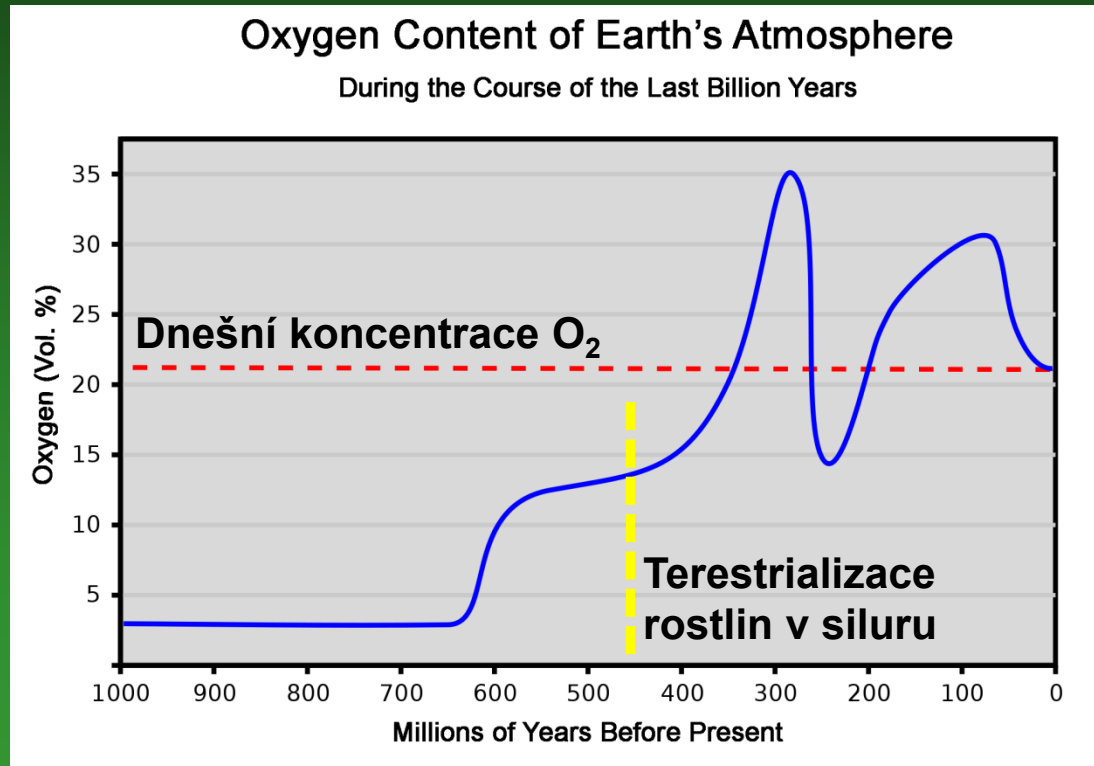
umožnila biosyntézu ligninu =  
základní strukturní složky stěn buněk  
oporných a vodivých pletiv

Kyslík vytvořily fotosyntézou  
sinice

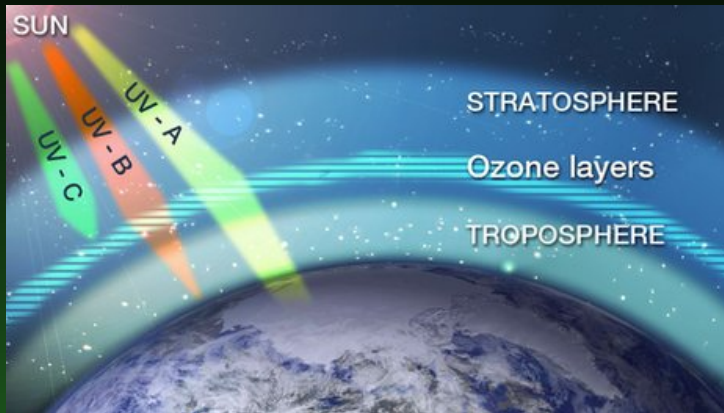


**lignin**

= polyfenolický biopolymer

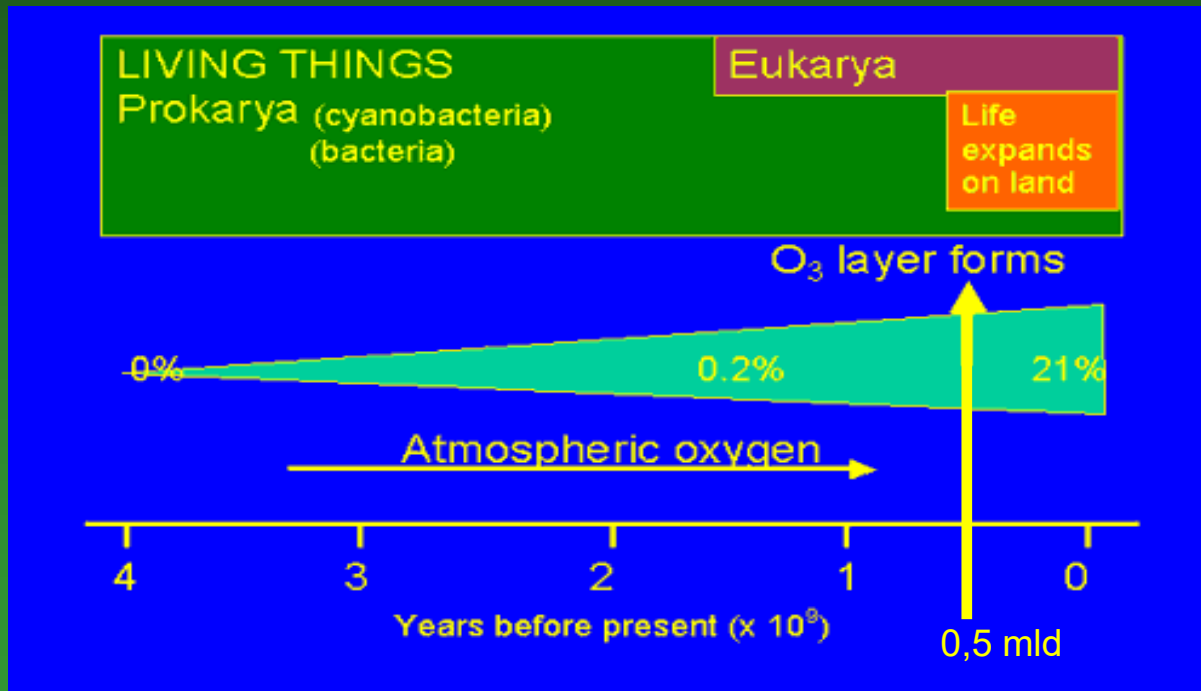




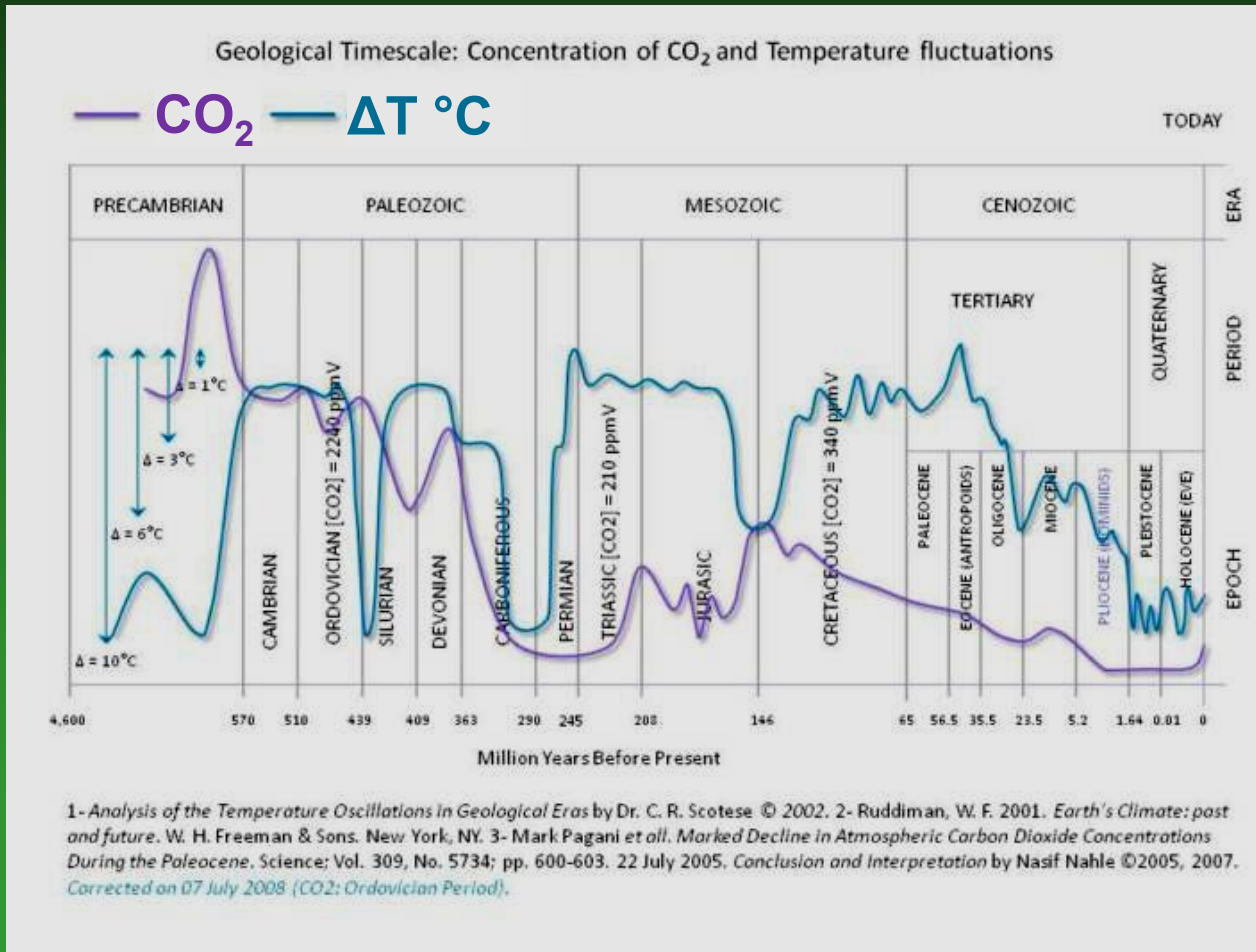


## (2) vytvoření ozónové vrstvy = ochrany před UV zářením

$O_2 \rightarrow O_3$  elektrickými výboji v atmosféře při bouřích



### (3) Růst koncentrace atmosférického CO<sub>2</sub> => vznik půd činností mikroorganismů



V kambriu až siluru  
bylo CO<sub>2</sub> 18x víc  
než dnes !

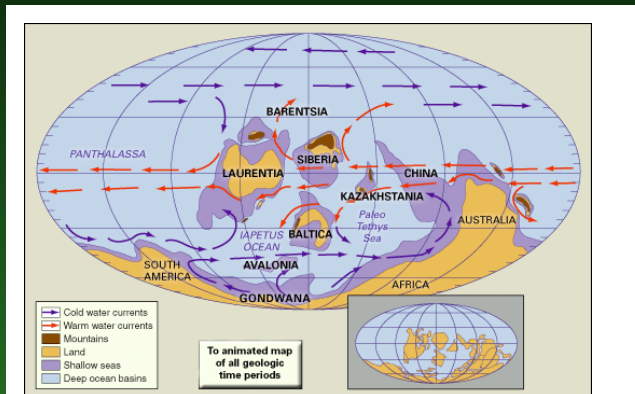
=> Větší fotosyntéza  
= víc biomasy =  
víc živin po jejím  
rozkladu

=> Kyselejší déšť =  
intenzivnější  
oxydace hornin

## (4) Vlhké klima

skleníkový efekt  $\text{CO}_2$  = celkově teplejší a vlhčí klima

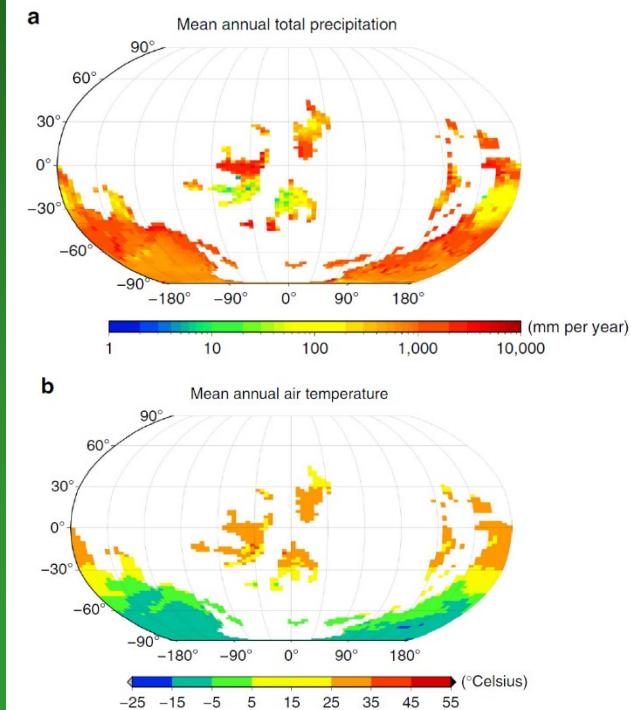
na J pólu velký kontinent Gondwana = na pólu velký ledovec



Mezi chladným ledovcem a horkým + vlhkým pobřežím = monzunové klima

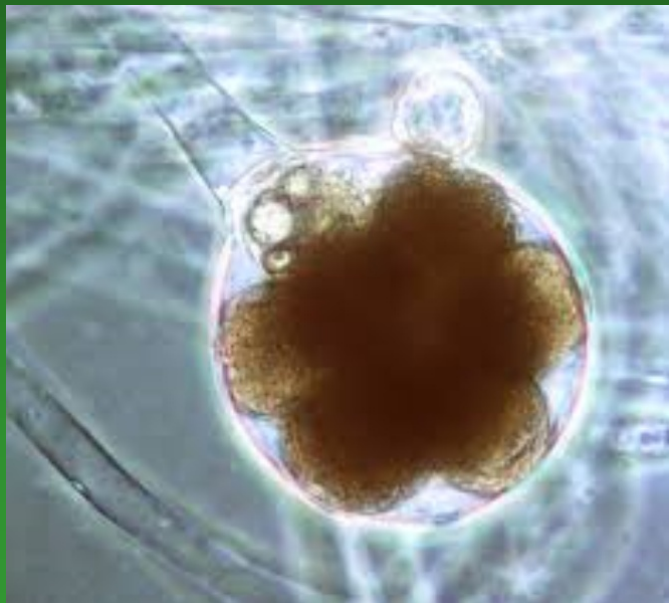
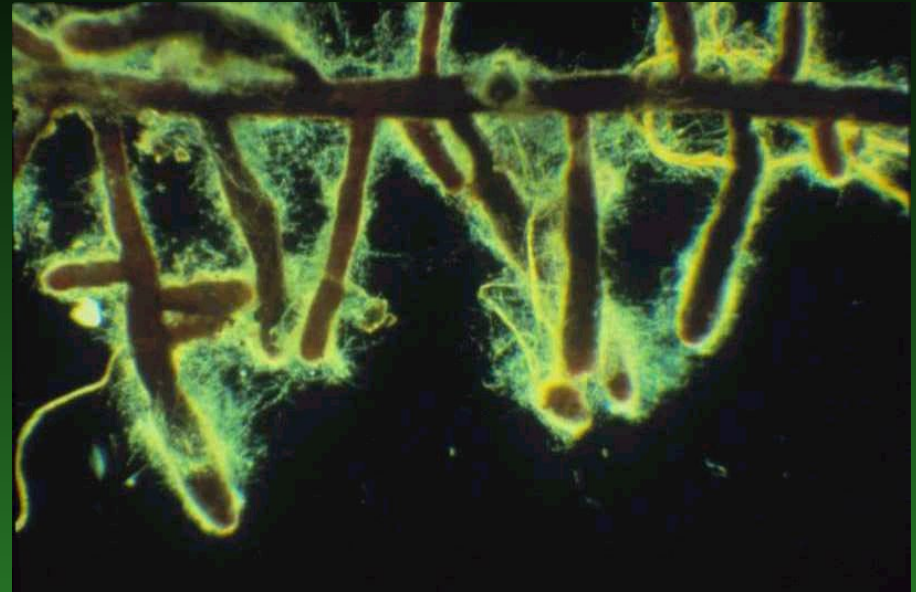
Dostatek srážek =  
zvětrávání hornin =  
půdotvorba

Vlhkost = ideální klima pro  
terestrializaci



## (5) Symbióza řas s houbami

Geny zelených řas pro symbiózu s akvatickými oomycetami = prerekvizita terestrializace rostlin s nedokonalými kořeny = zprostředkování přístupu k živinám a k vodě na souši prostřednictvím mycelia endomykorhizních hub.



vodní Oomycota

Mykorhiza provází všechny linie terestrických rostlin.

Vedle nutričních vztahů byla v r. 2013 prokázána i poněkud kuriózní funkce, kde síť mykorhozního mycelia slouží jako „internetové“ varování pro rostliny o napadení mšicemi, o kterém se dozvědí touto cestou i jiné rostliny, které s předstihem aktivují vylučování obranných látek.

# Dvě základní otázky terestrializace:

# Dvě základní otázky terestrializace:



1. Co rostliny přechodem na souš získaly?

# Dvě základní otázky terestrializace:



1. Co rostliny přechodem na souš získaly?



2. Co oproti vodnímu prostředí ztratily a jak se s tím vyrovnaly?

# Co rostliny přechodem na souš získaly?

 snadnější přístup ke světlu

 snadnější přístup k CO<sub>2</sub>



# Co rostliny přechodem na souš ztratily?



Ztratily stabilitu nasycení vodou – vystaveny vysychání a UV



# Co rostliny přechodem na souš ztratily?

☹️ Ztratily stabilitu nasycení vodou – vystaveny vysychání a UV



☹️ Ztratily možnost přijímat živiny celým povrchem těla



# Co rostliny přechodem na souš ztratily?

☹️ Ztratily oporu zajišťovanou vodním prostředím; tím byly vystaveny vlivům gravitace, větru, váze dešťové vody, sněhu, námraze ...



**Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?**

**= Adaptace rostlin na podmínky souše**

# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?



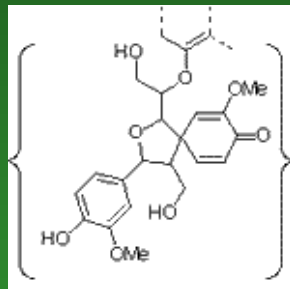
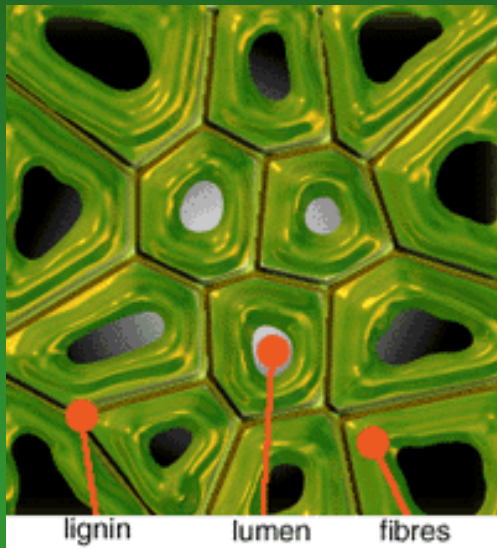
Působení gravitace, větru, sněhu, námrazy, býložravců

# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?

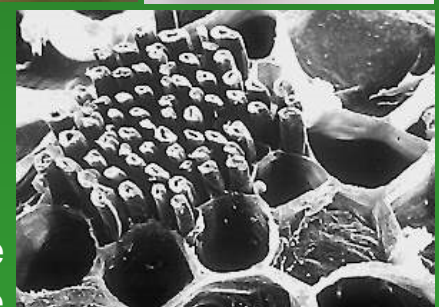
☹️ Působení gravitace, větru, sněhu, námrazy, býložravců

😊 Zvýšení konstrukční pevnosti

(1a) **lignin** deponován v buněčných stěnách = oporné a ochranné struktury



Strukturní jednotka ligninu



Sklerenchymatické provazce v listu bromélie

Tyto tvoří podstatně jak stěnu živých buněk, tak „kostru“ odumřelých pletiv

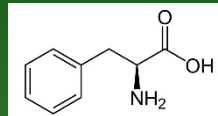
# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?

☹️ Působení gravitace, větru, sněhu, námrazy, býložravců

😊 Zvýšení konstrukční pevnosti

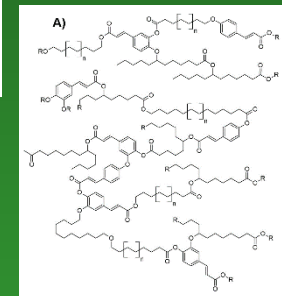
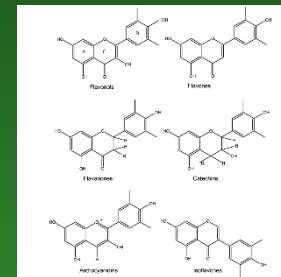
(1a) **lignin** – jeho biosyntéza vychází z metabolických drah na jejichž počátku je

L-fenylalanin

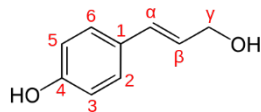


**Fenylpropanoidy**

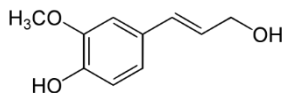
= deriváty fenylpropanu  
= prekurzory ligninu



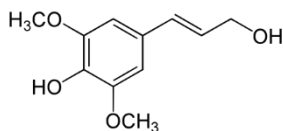
p-kumarylalkohol



koniferylalkohol



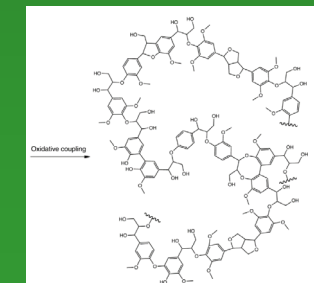
sinapylalkohol



– **biosyntéza flavonoidů**  
= ochrana před UV, antioxidanty

– **biosyntéza sporopoleninu**  
= ochrana spór před vysycháním

– **biosyntéza ligninu**  
= opora



# Adaptace rostlin na podmínky souše



Působení gravitace, větru, sněhu, námrazy



# Adaptace rostlin na podmínky souše

☹️ Působení gravitace, větru, sněhu, námrazy

😊 Orgány fixující rostlinu k zemi nebo jiným rostlinám

(1b) Kořeny, oddenky či úponky.



# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?



Sucho

# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?



Sucho



Dvojitá funkce = dovnitř  $\text{CO}_2$  + ven  $\text{H}_2\text{O}$

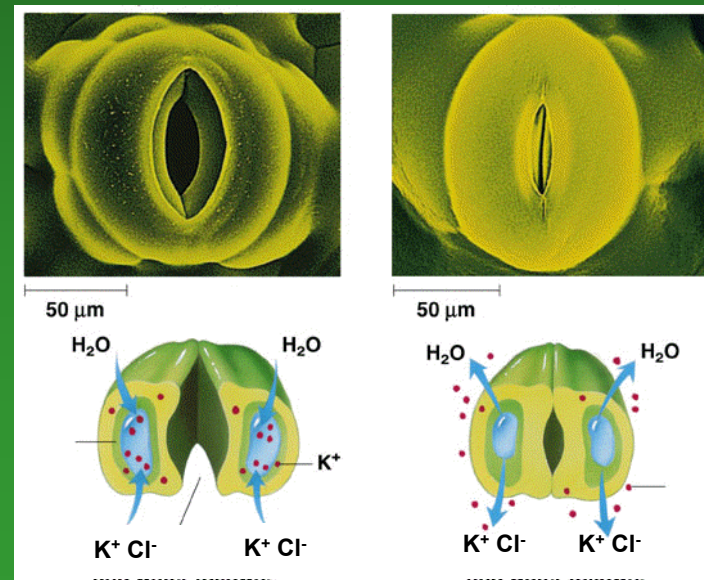


Průduchy:

Nemají plasmodesmy = nekomunikují s okolními buňkami

Mají chloroplasty (jiné epidermální buňky zpravidla ne)

Otvírají a zavírají se turgorem řízeným protonovou pumpou  $\text{K}^+$  a  $\text{Cl}^-$  iontů



# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?

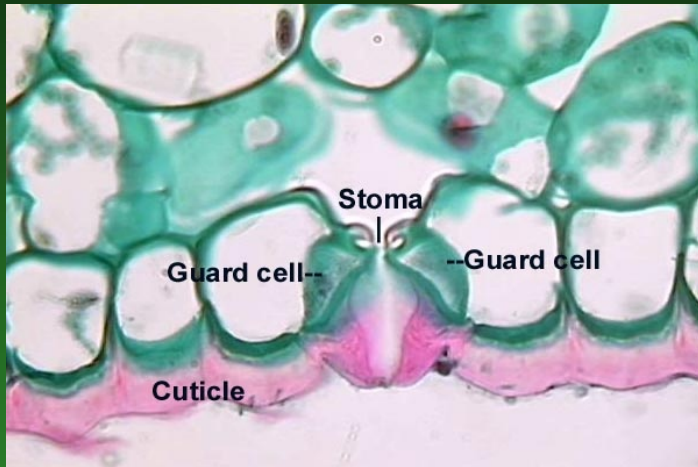


Sucho



Kutikula

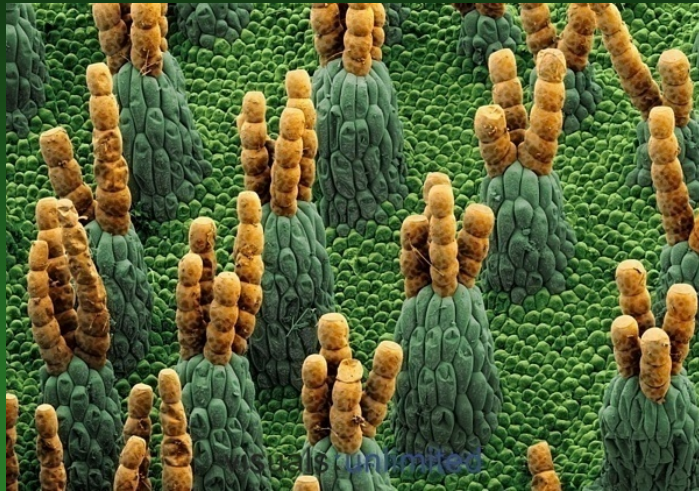
tenká (1–15  $\mu\text{m}$ ) vosková blanka – brání výparu z pokožkových buněk. Přerušena jen otvory nad průduchovými štěrbinami. Má i odrazivou funkci = ochrana před přehřátím. Vododpudivost = za deště samočistící schopnost listového povrchu.



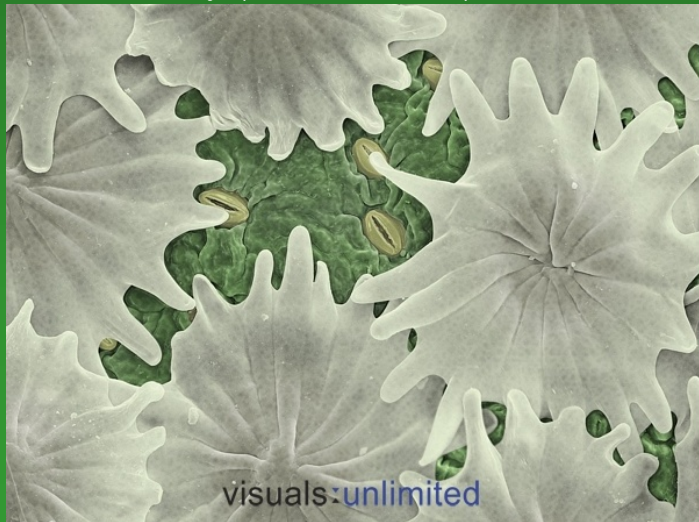
# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?



Sucho



Povrch listu šalvěje (*Salvia*, *Lamiaceae*)



Povrch listu olivy (*Olea*, *Oleaceae*)



**Trichomy** – vytvářejí vyšší vrstvu nepohyblivého vzduchu „boundary layer“ nad průduchy = adaptace snižující výpar



Povrch listu epifytické rostliny *Tillandsia* (*Bromeliaceae*)

# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?



Sucho



Ochranný obal gametangií

z aspoň jedné vrstvy buněk, které se tvorby gamet ani oplození neúčastní – obal gametangií je homologický s epidermis;



antheridium



archegonium



Poprvé už u  
paroznatek



# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?



Sucho

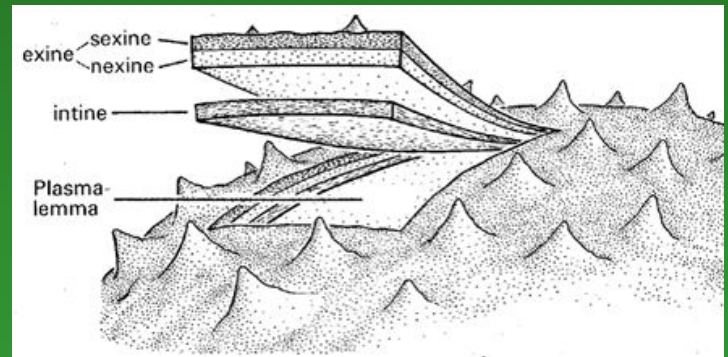
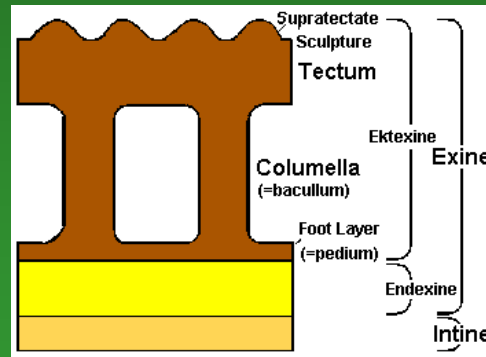
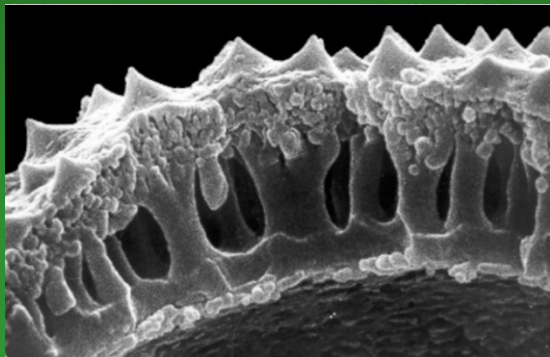


Rezistentní obal spór / pylu

– dvouvrstevný

**vnější vrstva** – exina u pylu / exospor u spór  
– impregnovaná **sporopoleninem**

**vnitřní vrstva** – intina u pylu / endospor u spór  
spór – celulóza + hemicelulóza + kalóza



U řas je sporopollenin vzácně např. u rodů *Phycopeltis* nebo *Chlorella*

# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?

 ztráta možnosti přijímat živiny celým povrchem těla



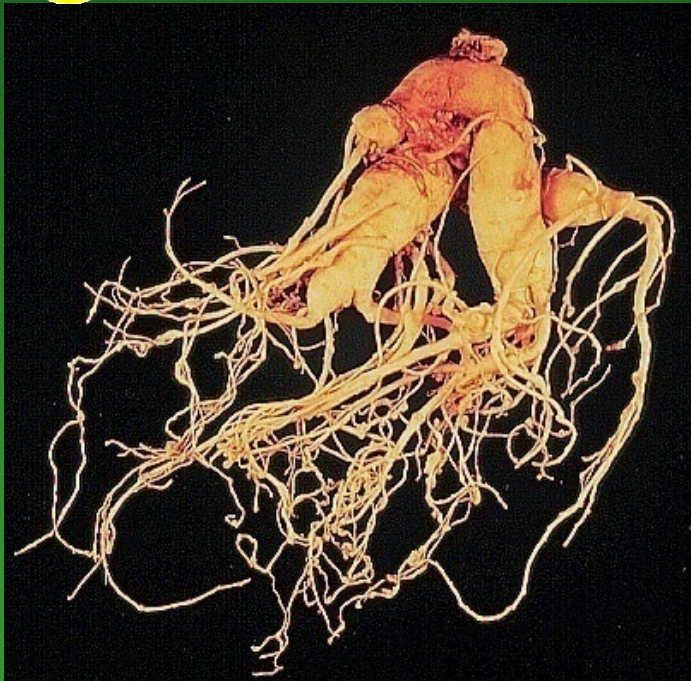
# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?

☹️ ztráta možnosti přijímat živiny celým povrchem těla

příjem a vedení živin ve vodním roztoku z půdy zajišťují

😊 kořeny a kořenové vlášení (nemají kutikulu) / rhizoidy

😊 vodivá pletiva



xylem - tracheida      intercelulára      xylem - trachea

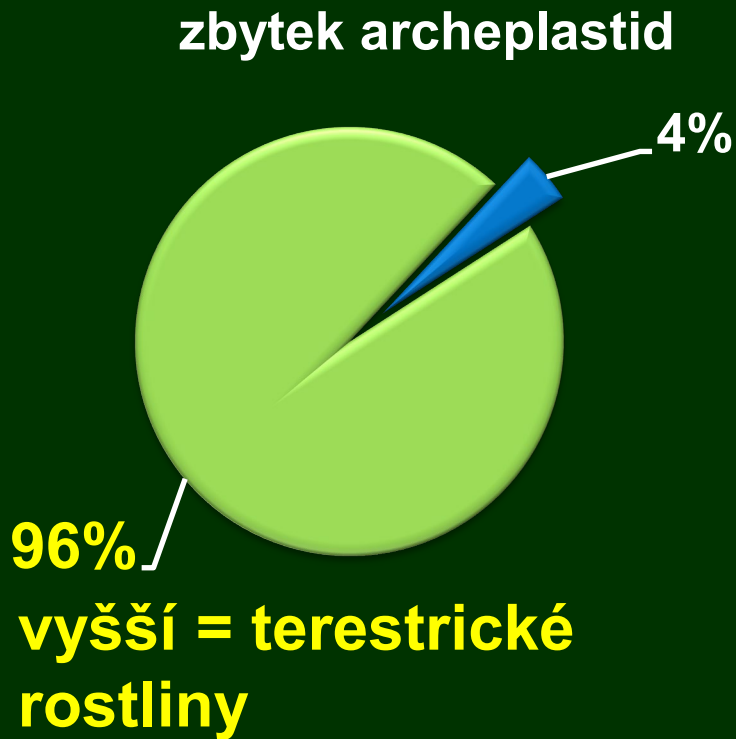


sklerenchym

floem

# Fylogenetický důsledek úspěšné terestrializace = velká druhová divergence vyšších rostlin

Rozložení **druhové** diverzity v  
říši *Archaeplastida*



Počty popsáných druhů v hlavních  
liniích říše *Archaeplastida*

<i>Glaucophyta</i>	10
<i>Rhodophyta</i>	6100
<i>Chlorophyta</i>	4050
<i>Charophyta</i>	2150

**vyšší rostliny 298000**

# Důsledek terestrializace – **evoluce komplexity a 3D**

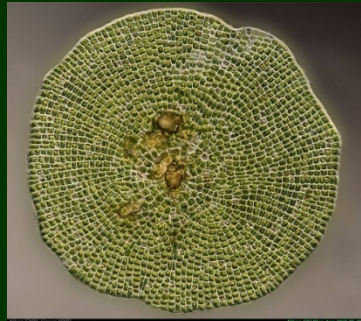
= „zesložitení“ struktury = vznik pletiv a orgánů tvořících tělo (cormus)

vyšší rostliny proto nazývány též **Cormophyta**

Vodní prostředí = strukturně homogenní stélka řas



*Ulva, Chlorophyta*



*Coleochaete, Charophyta*



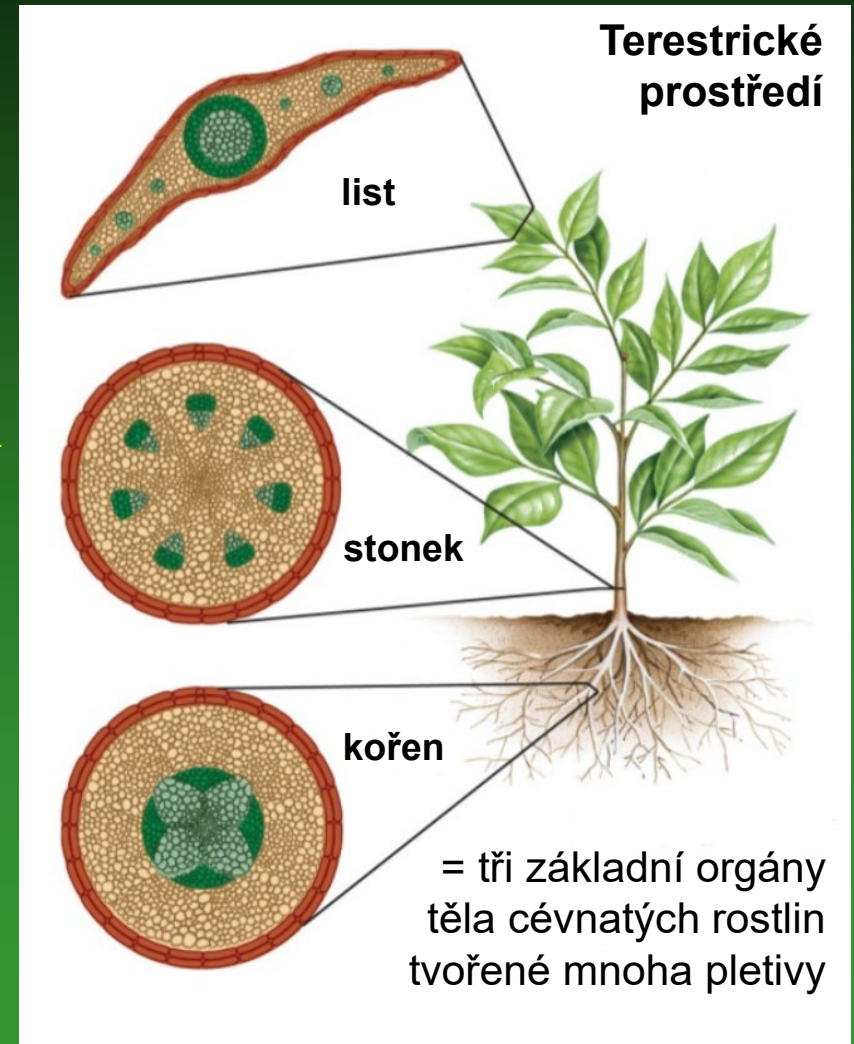
*Porphyra suborbiculata*  
Univ Tsukuba



*Dictyota, Phaeophyta*



*Porphyra, Rhodophyta*



# Důsledek terestrializace – **evoluce komplexity**

## Vztah mezi velikostí a komplexitou rostlinné stavby

### Největší bezcévné

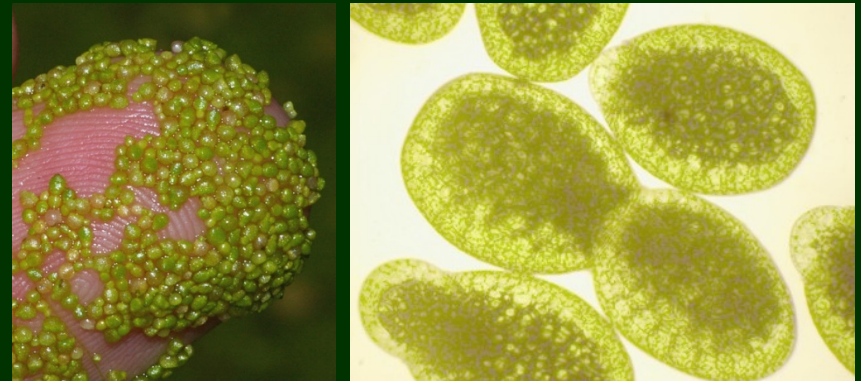
Drobné mechy ve vlhku „nepotřebují“ složitější anatomii. Avšak čím jsou větší, tím mají anatomickou stavbu složitější.



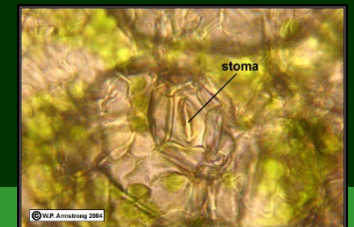
U největších mechů – ploníků – se vyvinuly „cévní svazky“ s „xylemem“ s hydroidami a „floemem“ s leptoidami.

### Nejmenší cévnaté

Rozměrnější plavuně, kaprad'orosty a semenné rostliny složitější vnitřní stavbu potřebují. Ve vodním prostředí však mohou velikost zmenšit a jejich vnitřní stavba se pak může zjednodušit.



Nejmenší „cévnaté“ rostliny – okřehky se ve vodě zmenšily natolik, že zredukovaly nebo ztratily kořeny a cévní svazky. Nejmenší z nich *Wolffia microscopica* je tvořena v nekvetoucím stavu jen polokulovitými bezkořennými tělisky téměř stejnocenného pletiva bez cévních svazků.



## Důsledek terestrializace – **evoluce životního cyklu**

Kromě vyšších (terestrických) rostlin mají všechny ostatní streptofyty haplo(bio)ntní životní cyklus:

jen zygota je diploidní, vše ostatní v cyklu je haploidní

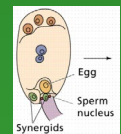
Haplodiplontní životní cyklus vznikl i u ruduch nebo zelených řas nebo u hnědých řas, u streptofytů, ale jen jednou při terestrializaci to sehrálo klíčovou roli

**V evoluci je důležitá i náhoda !**

# Důsledek terestrializace – **evoluce životního cyklu**



dominace sporofytu v životním cyklu u odvozenějších linií roste  
= role fází rodozměny se v evoluci postupně „překlápí“!



# Důsledek terestrializace – **evoluce semennosti**

## Spóra vers. semeno

Obojí jsou tělíska představující klidové stadium, umožňující:

1. dobře přežít nepříznivé období



# Důsledek terestrializace – **evoluce semennosti**

## Spóra vers. semeno

Obojí jsou tělíska představující klidové stadium, umožňující:

1. dobře přežít nepříznivé období
2. efektivně se šířit v prostoru





# Důsledek terestrializace – **evoluce semennosti**

## Spóra vers. semeno

Obojí jsou tělíska představující klidové stadium, umožňující:

1. dobře přežít nepříznivé období
2. efektivně se šířit v prostoru

Po klidové fázi semene následuje sporofyt, po klidové fázi spóry následuje gametofyt



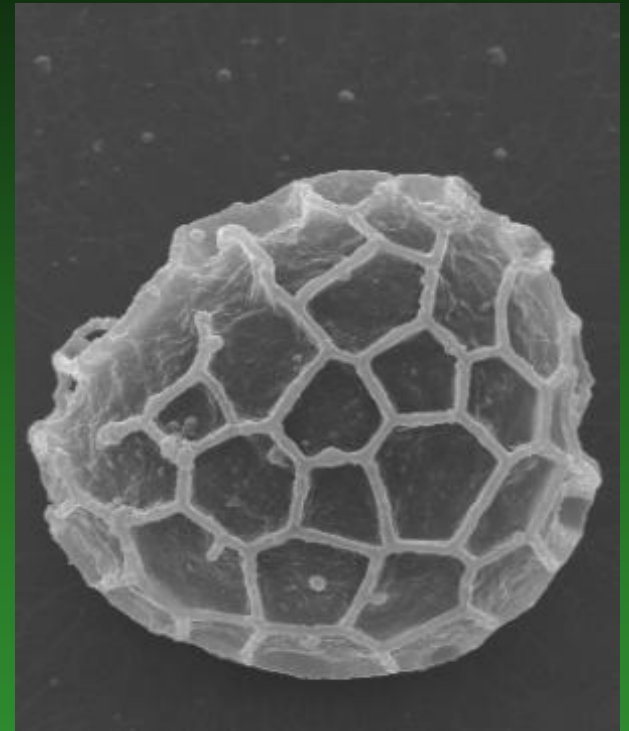
# Důsledek terestrializace – **evoluce semennosti**

## Spóra čili výtrus

= jednobuněčné rozmnožovací tělísko, vzniká meiózou ve sporangiu

Recentními výtrusnými vyššími rostlinami jsou

1. mechorosty      *Marchantiophyta*  
                         *Bryophyta*  
                         *Anthoceroophyta*
2. plavuně            *Lycopodiophyta*
3. kaprad'orosty    *Monilophyta*



spóra *Lycopodium clavatum*

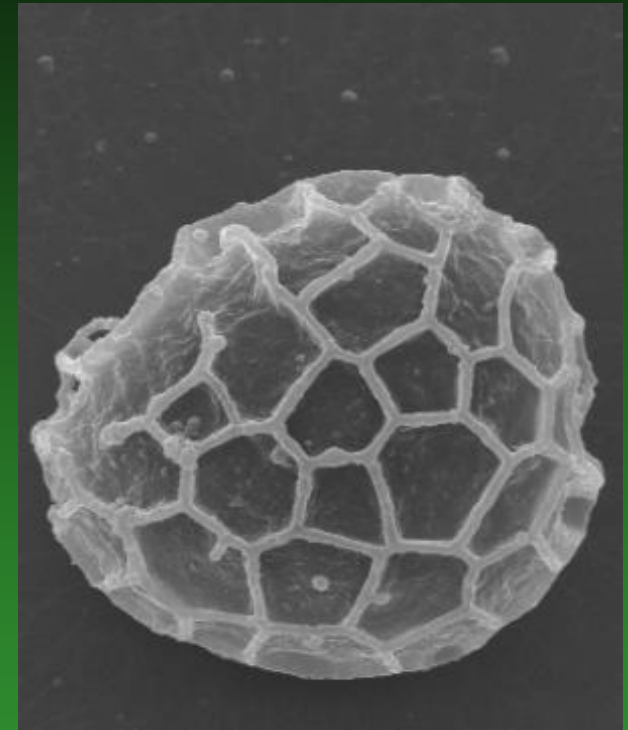
# Důsledek terestrializace – **evoluce semennosti**

## Spóra čili výtrus

= jednobuněčné rozmnožovací tělísko, vzniká meiózou ve sporangiu

Recentními výtrusnými vyššími rostlinami jsou

1. mechorosty      *Marchantiophyta*  
                         *Bryophyta*  
                         *Anthoceroophyta*
2. plavuně            *Lycopodiophyta*
3. kaprad'orosty    *Monilophyta*



spóra *Lycopodium clavatum*

**„Gametofyt může ve spóře počkat na správný okamžik!“**

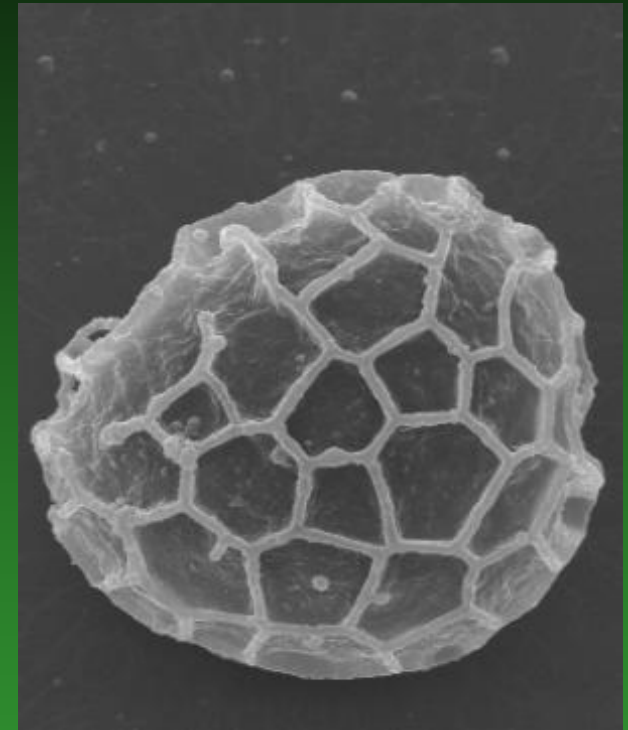
# Důsledek terestrializace – **evoluce semennosti**

## Spóra čili výtrus

= jednobuněčné rozmnožovací tělísko, vzniká meiózou ve sporangiu

Recentními výtrusnými vyššími rostlinami jsou

1. mechorosty     *Marchantiophyta*  
                      *Bryophyta*  
                      *Anthoceroophyta*
2. plavuně        *Lycopodiophyta*
3. kaprad'orosty *Monilophyta*



spóra *Lycopodium clavatum*

**„Gametofyt může ve spóře počkat na správný okamžik!“**

Spóry vyšších rostlin jsou uzpůsobeny k šíření vzduchem = mají obal impregnovaný sporopoleninem (tím se liší od spór řas).

# Důsledek terestrializace – **evoluce semennosti**

## Semeno

= mnohobuněčný rozmnožovací orgán,

vzniklý z oplozeného vajíčka

na povrchu má osemení (testa)

uvnitř má živná pletiva (perisperm popř. endosperm)  
a zárodek (embryo).

Recentními semennými rostlinami jsou

4. nahosemenné a

5. krytosemenné



# Důsledek terestrializace – **evoluce semennosti**

## Semeno

= mnohobuněčný rozmnožovací orgán,

vzniklý z oplozeného vajíčka

na povrchu má osemení (testa)

uvnitř má živná pletiva (perisperm popř. endosperm)  
a zárodek (embryo).

Recentními semennými rostlinami jsou

4. nahosemenné a

5. krytosemenné

**„Sporofyt může v semeni počkat na správný okamžik!“**



# Důsledek terestrializace – **terestrické ekosystémy**

## **Vyšší rostliny tvoří jejich kostru**

Biomasa – terestrické ekosystémy  
rostliny : živočichové  
1000 : 1



Biomasa – mořské ekosystémy:  
rostliny : živočichové  
1 : 30



# Důsledek terestrializace – **terestrické ekosystémy**

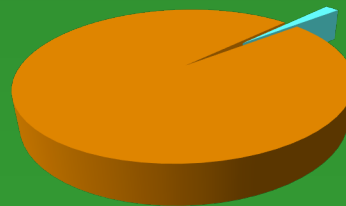
## **Vyšší rostliny tvoří jejich kostru**

Biomasa – terestrické ekosystémy  
rostliny : živočichové  
1000 : 1

Biomasa – mořské ekosystémy:  
rostliny : živočichové  
1 : 30



**Terestrická biomasa**  
**550 miliard tun**



**Oceanická biomasa**  
**10 miliard tun**



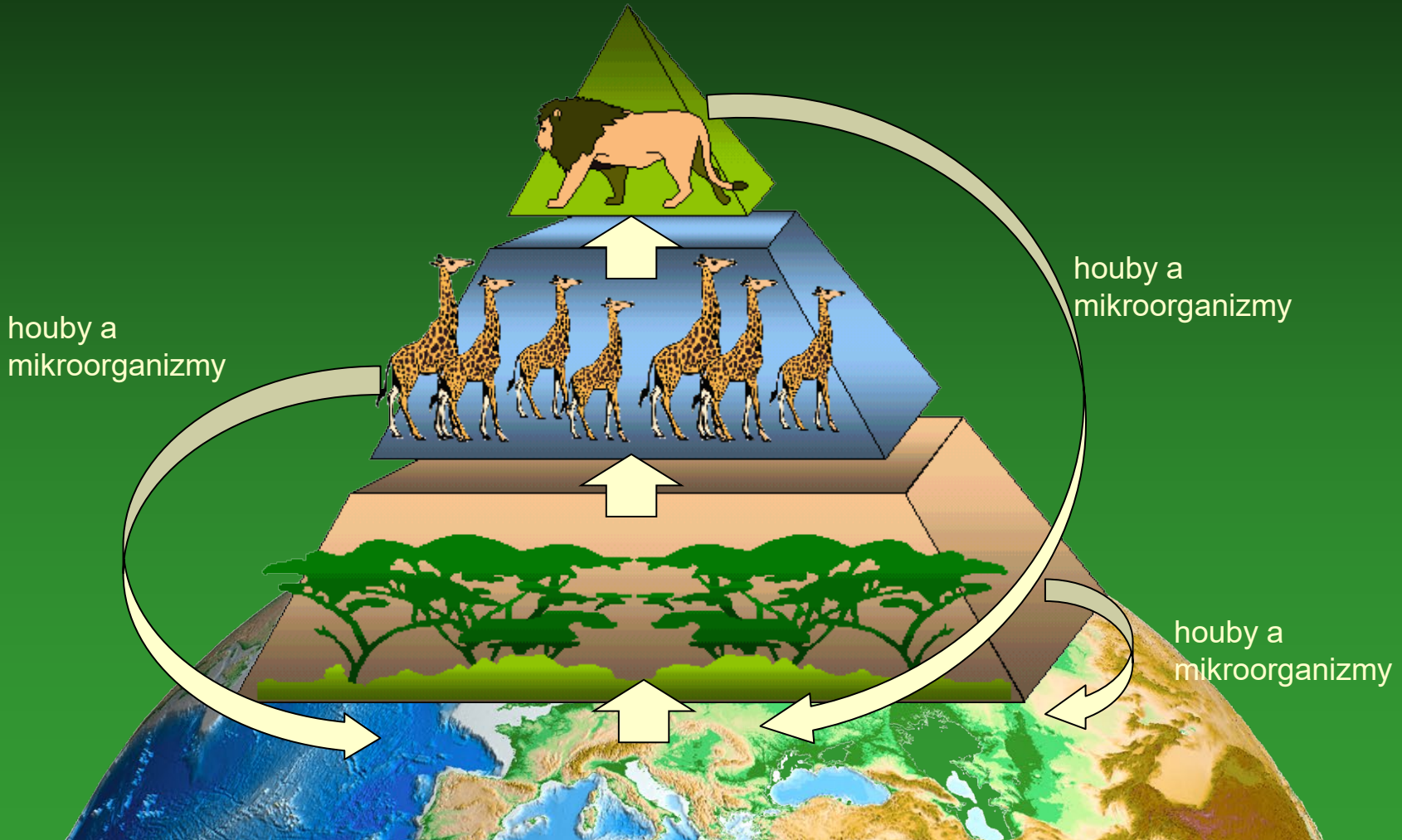
# Důsledek terestrializace – **terestrické ekosystémy**

**Jsou základnou potravní pyramidy** = zdrojem potravy býložravců, predátorů a člověka

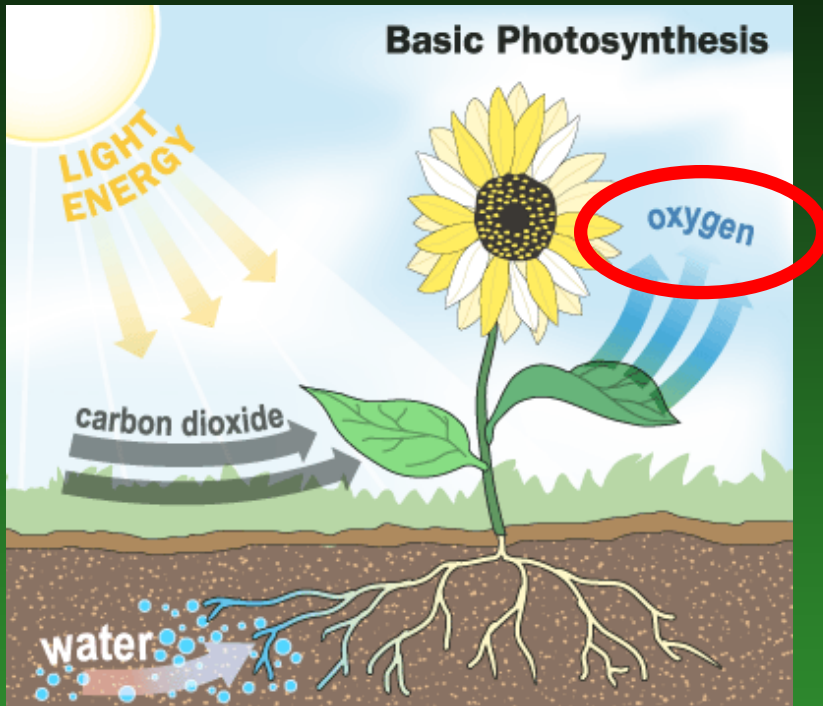


# Důsledek terestrializace – **terestrické ekosystémy**

**Vyšší rostliny = základna potravní pyramidy** = zdroj potravy býložravců, predátorů a člověka



## Důsledek terestrializace – **stabilita atmosféry**



**Mají zásadní podíl na tvorbě kyslíku v atmosféře**

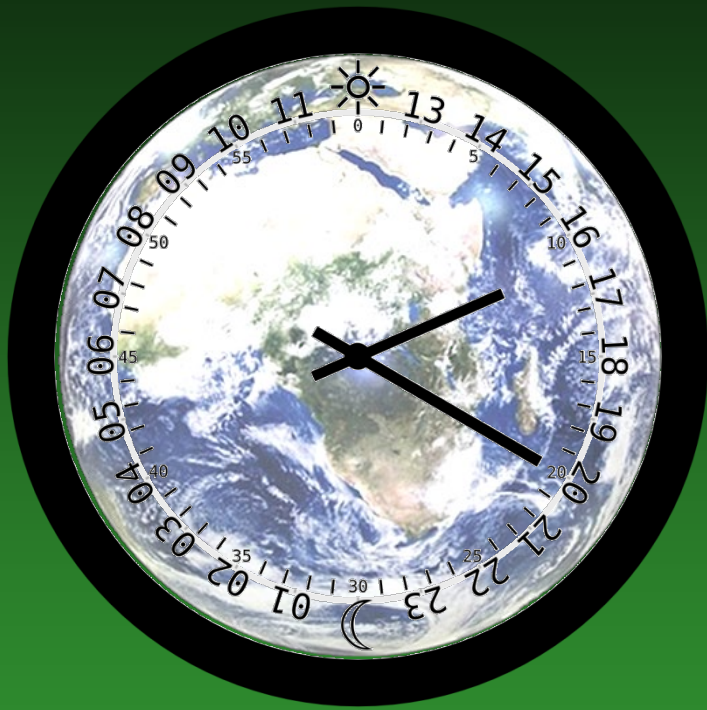
Na druhé straně vzrůst podílu kyslíku v atmosféře, vlivem řas a sinic, byl limitujícím faktorem terestrializace a tedy i vzniku vyšších rostlin a diverzifikace terestrických živočichů, především obojživelníků, plazů, savců a hmyzu.

# Vyšší rostliny ve vztahu k člověku

## Měly klíčovou roli ve vývoji lidské civilizace



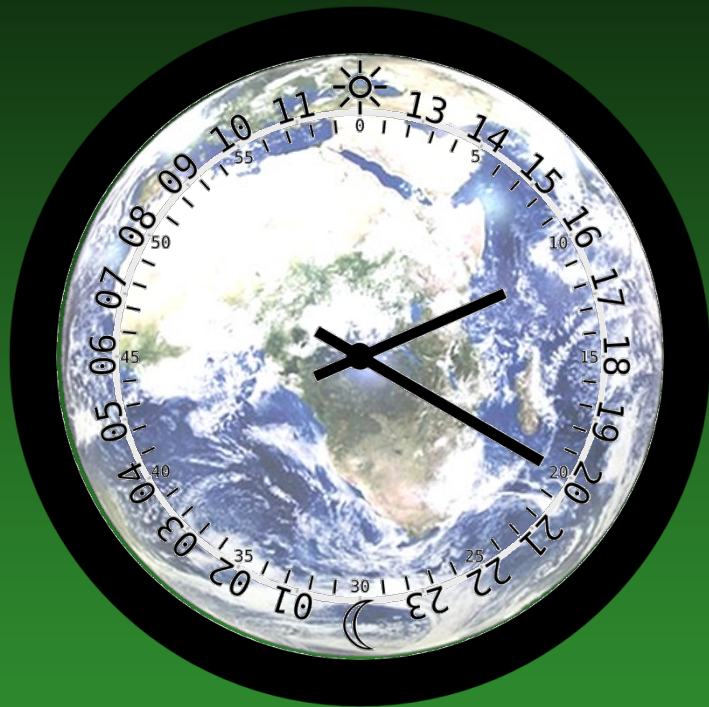
# Shrnutí na časové škále: **věk Země 4,5 mld. let = 24 hodin**



**21:30**      **vyšší rostliny**      **480 mil. BC.**

**terestrializace  
rostlin**

# Shrnutí na časové škále: **věk Země 4,5 mld. let = 24 hodin**



2:40

zemská kůra

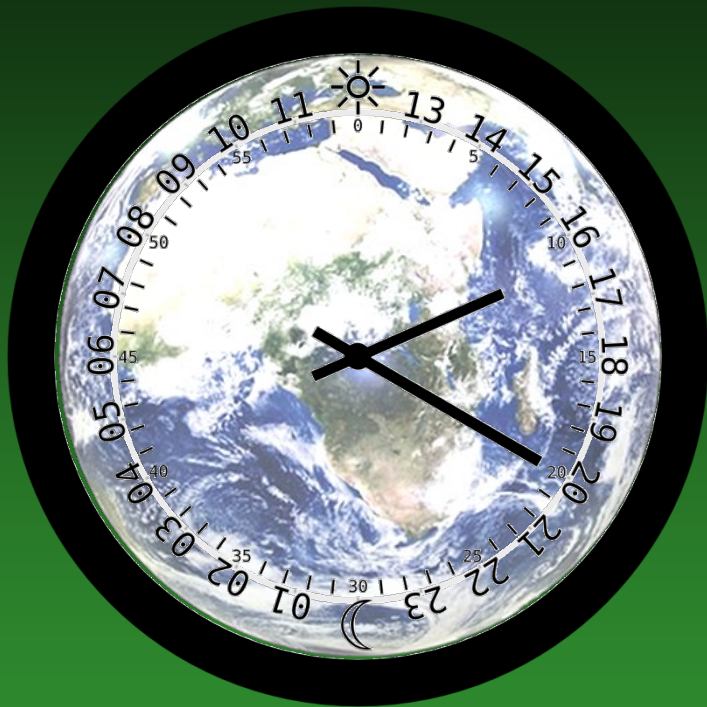
4 mld. BC.

21:30

vyšší rostliny 480 mil. BC.

terestrializace  
rostlin

# Shrnutí na časové škále: **věk Země 4,5 mld. let = 24 hodin**



2:40

zemská kůra

4 mld. BC.

5:20

vznik života

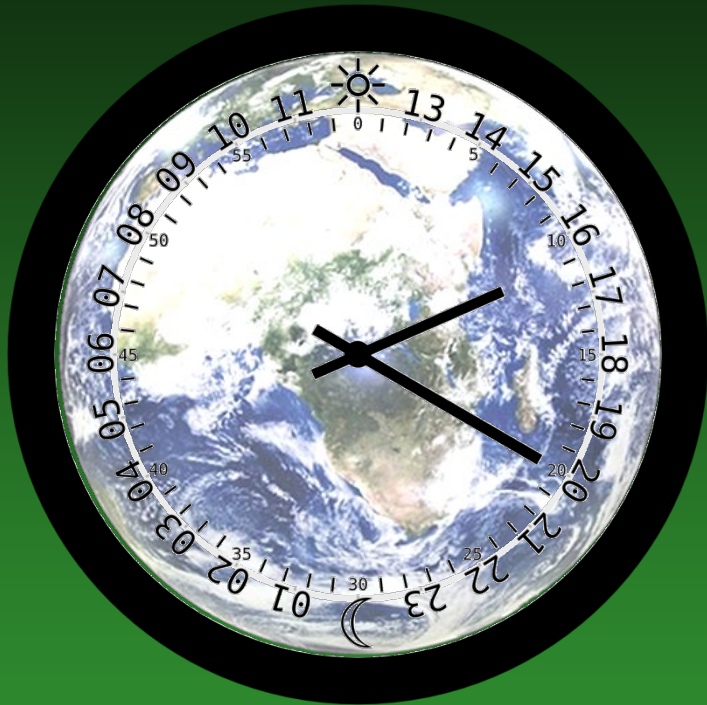
3,5 mld. BC.

21:30

vyšší rostliny 480 mil. BC.

terrestrializace  
rostlin

# Shrnutí na časové škále: **věk Země 4,5 mld. let = 24 hodin**



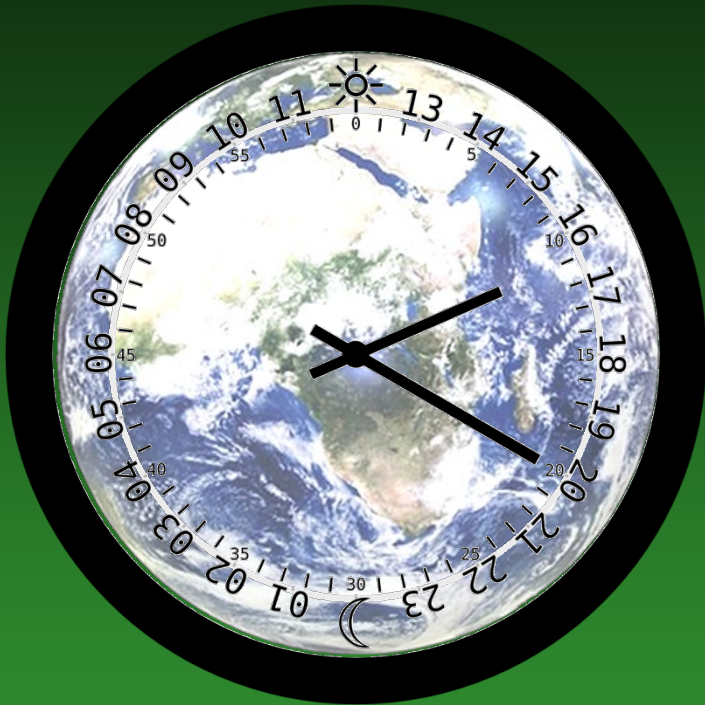
2:40	zemská kůra	4 mld. BC.
5:20	vznik života	3,5 mld. BC.
10:40	<i>Eukarya</i>	2,5 mld. BC.

**21:30 vyšší rostliny 480 mil. BC.**

**terestrializace  
rostlin**



# Shrnutí na časové škále: **věk Země 4,5 mld. let = 24 hodin**



terrestrializace  
rostlin

**21:30 vyšší rostliny 480 mil. BC.**

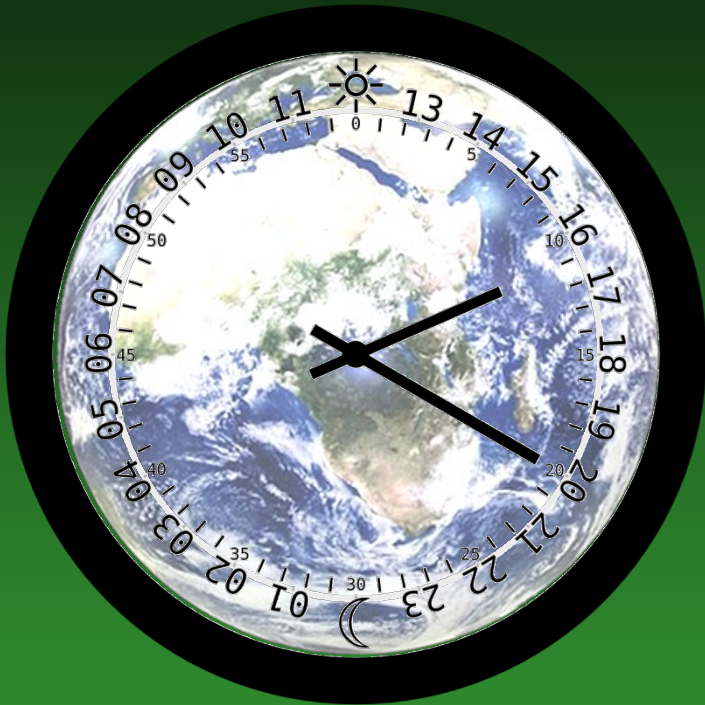
2:40 zemská kůra 4 mld. BC.

5:20 vznik života 3,5 mld. BC.

10:40 *Eukarya* 2,5 mld. BC.

11:12 kyslíková atmosféra 2,4 mld. BC.

# Shrnutí na časové škále: **věk Země 4,5 mld. let = 24 hodin**



2:40	zemská kůra	4 mld. BC.
5:20	vznik života	3,5 mld. BC.
10:40	<i>Eukarya</i>	2,5 mld. BC.
11:12	kyslíková atmosféra	2,4 mld. BC.
14:20	<i>Archaeplastida</i>	1,8 mld. BC.
<b>21:30</b>	<b>vyšší rostliny</b>	<b>480 mil. BC.</b>

terestrializace  
rostlin



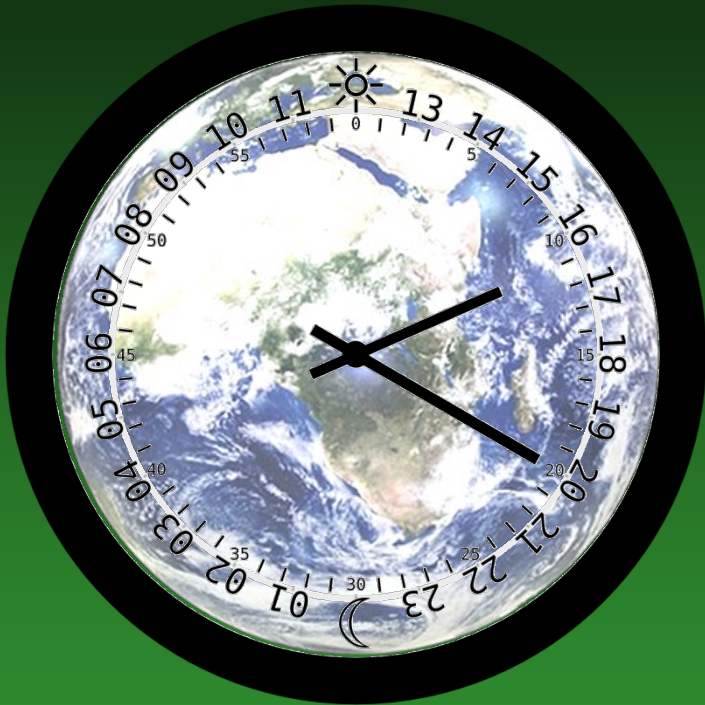
# Shrnutí na časové škále: **věk Země 4,5 mld. let = 24 hodin**



2:40	zemská kůra	4 mld. BC.
5:20	vznik života	3,5 mld. BC.
10:40	<i>Eukarya</i>	2,5 mld. BC.
11:12	kyslíková atmosféra	2,4 mld. BC.
14:20	<i>Archaeplastida</i>	1,8 mld. BC.
17:40	<i>Viridaeplantae</i>	1,2 mld. BC.
<b>21:30</b>	<b>vyšší rostliny</b>	<b>480 mil. BC.</b>

terestrializace  
rostlin

# Shrnutí na časové škále: **věk Země 4,5 mld. let = 24 hodin**



**terrestrializace  
rostlin**

2:40	zemská kůra	4 mld. BC.
5:20	vznik života	3,5 mld. BC.
10:40	<i>Eukarya</i>	2,5 mld. BC.
11:12	kyslíková atmosféra	2,4 mld. BC.
14:20	<i>Archaeplastida</i>	1,8 mld. BC.
17:40	<i>Viridaeplantae</i>	1,2 mld. BC.
<b>21:30</b>	<b>vyšší rostliny</b>	<b>480 mil. BC.</b>
23:59:56	<i>Homo sapiens</i>	200 tis. BC.