



Fylogeneze a diverzita vyšších rostlin

Vyšší rostliny: vznik a hlavní znaky

Petr Bureš



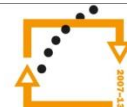
evropský
sociální
fond v ČR



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?

< 1 mm – na hladině plovoucí *Wolffia* příbuzná okřehků

> 100 m – gigantické jehličnany čel. *Taxodiaceae*

Nejvyšší *Sequoia sempervirens*): 115.72 m

General Sherman objemem největší sekvojový strom (*Sequoiadendron giganteum*)

roste v Sequoia National Park v Kalifornii.

výška = 83,8 m, průměr kmene = 7,7 m, objem = ca 1487 m³, věk = 2300 – 2700 let

Wolffia columbiana (*Araceae*)



**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*

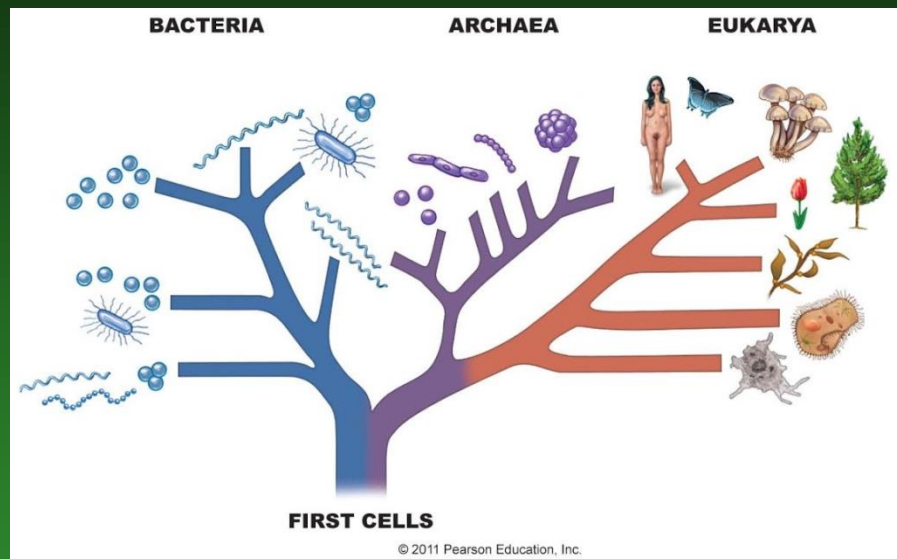
3. *Eukarya* – membránami
ohraňované organely:

mitochondrie,

Golgiho aparát,

endoplasmatické retikulum a

jádro 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:

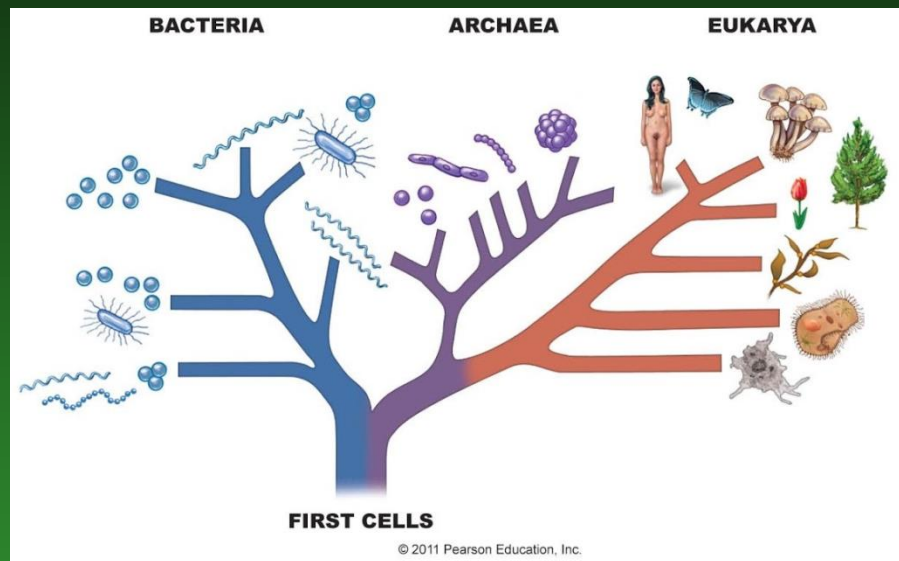
mitochondrie,

Golgiho aparát,

endoplasmatické retikulum a

jádro s chromosomy (= nukleoproteinovými
strukturami organizujícími se během mitózy

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



Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

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

- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátla α -proteobakterii

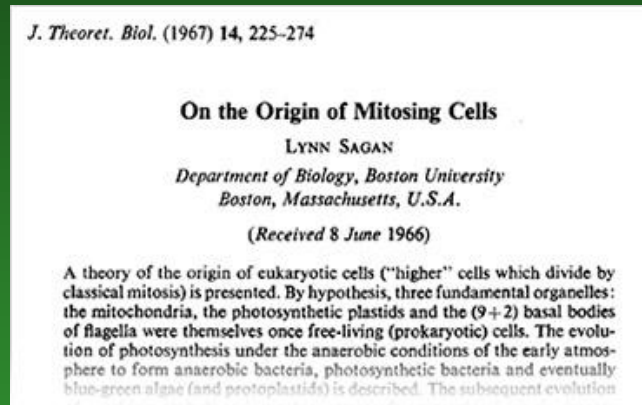
Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

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

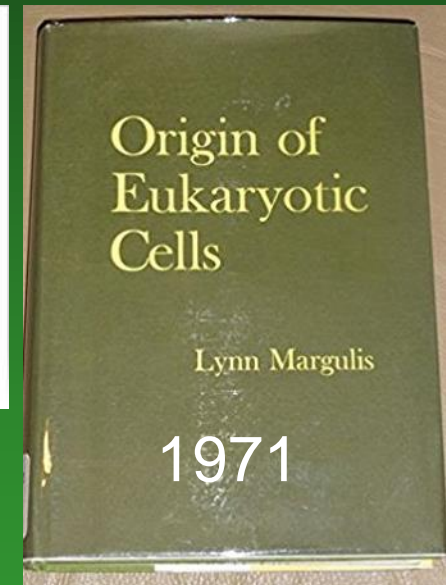
- **evoluce mitochondrií** = archeální buňka fagocyticky uchvátla α -proteobakterii



Lynn Margulis (1938–2011)



Americká biologka, která přesvědčila vědeckou komunitu o tom, že sériová endsymbióza byla základními kroky 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 mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátla α -**proteobakterii** (mohla být počátečním impulzem mohla nastat i později)

Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

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

- **evoluce mitochondrií** = archeální buňka fagocyticky uchvátla α -**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 α -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**

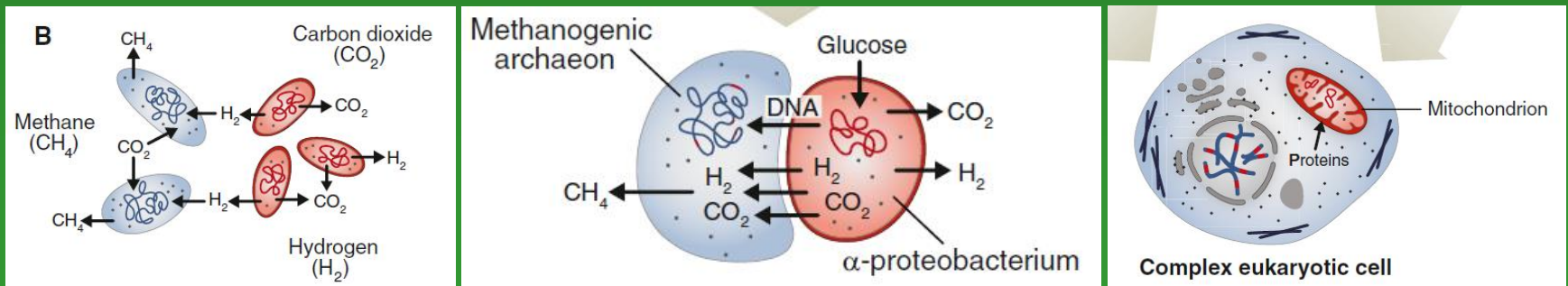
- **evoluce mitochondrií** = archeální buňka fagocyticky uchvátla α -**proteobakterii** (mohla být počátečním impulzem mohla nastat i později)

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 α -proteobakteriím

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

Pohlčení mohla předcházet symbióza při které se prohloubily metabolické vztahy



Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

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

- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátla α -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 α -proteobakterii
- **evoluce cytoskeletu** = tubuliny, aktin, myosin (z podobných proteinů přítomných u některých prokaryot)

Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

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

- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátila α -proteobakterii
- **evoluce cytoskeletu = tubuliny, aktin, myosin** (z podobných proteinů přítomných u některých prokaryot)
- **evoluce eukaryotického bičíku = 9x2+2**

Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

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

- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátla α -proteobakterii
- **evoluce cytoskeletu = tubuliny, aktin, myosin** (z podobných proteinů přítomných u některých 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 ?

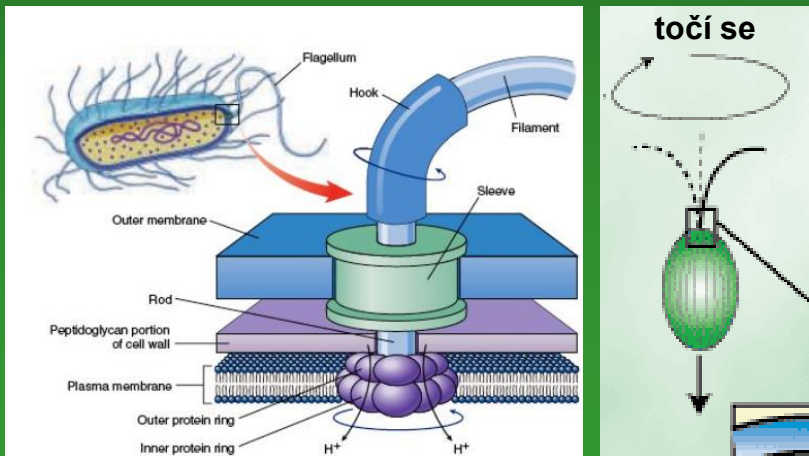
započala před 2,5 mld. let ??? – **základní kroky**

- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátla α -proteobakterii
- **evoluce cytoskeletu = tubuliny, aktin, myosin** (z podobných proteinů přítomných u některých 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 uchvátila α -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)

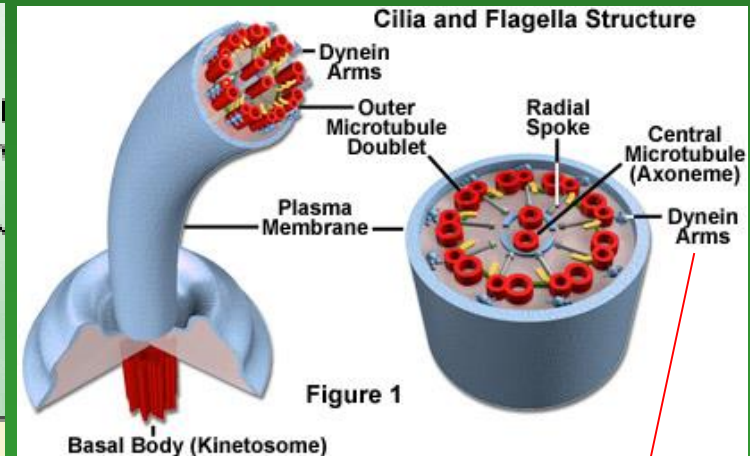
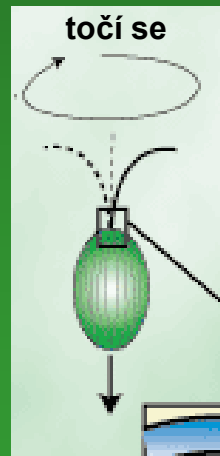
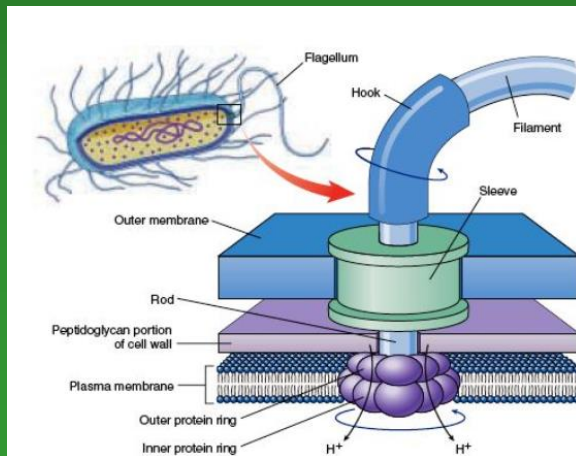


točí se

Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

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

- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátla α -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 uchvátla α -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 α -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**

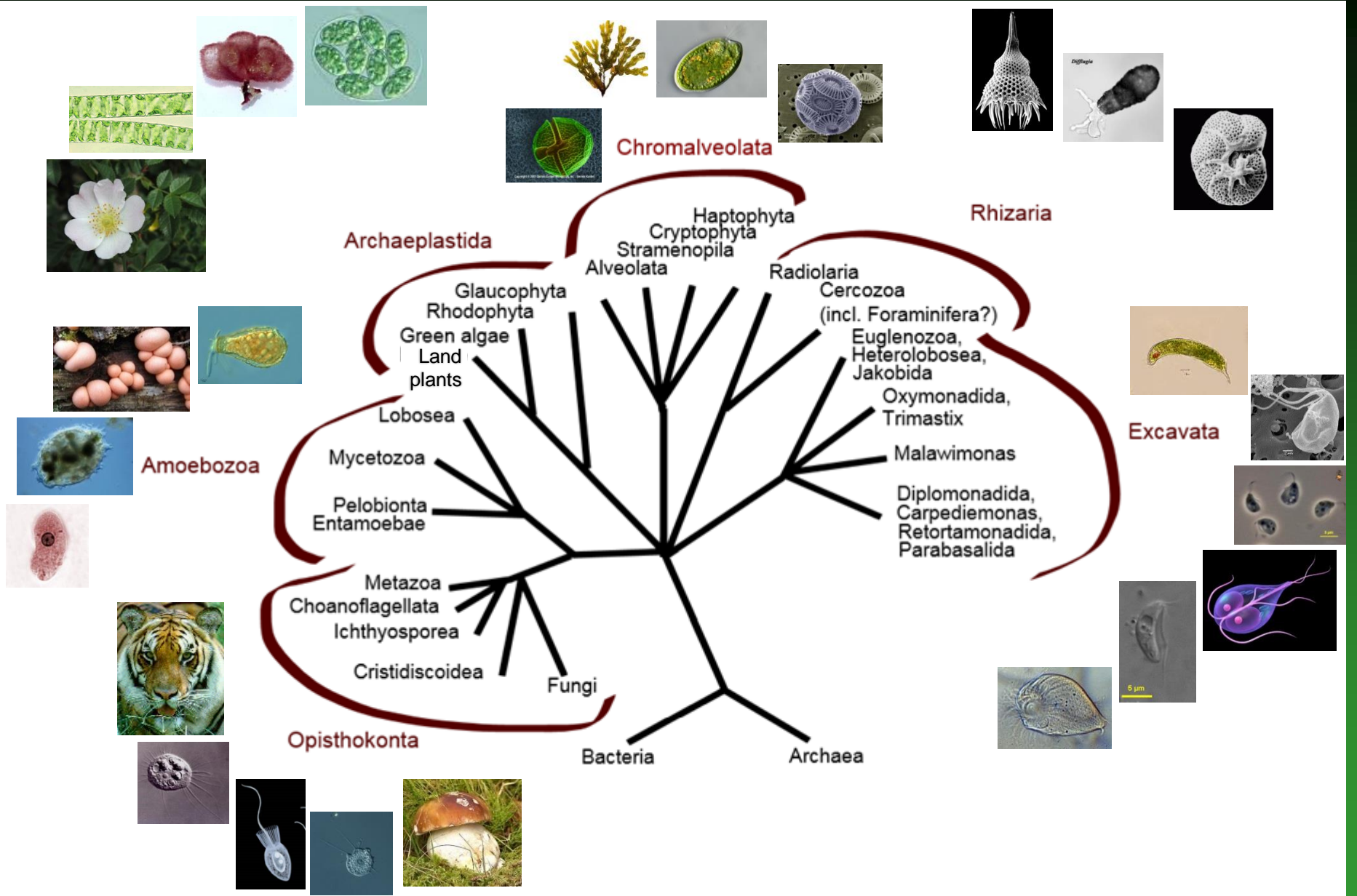
- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátila α -proteobakterii
- **evoluce cytoskeletu** = tubuliny, aktin, myosin (z podobných proteinů přítomných u prokaryot)
- **evoluce eukaryotického bičíku** = $9 \times 2 + 2$ (jednotná struktura přetvořením sensorické či jiné organely, přetvořením 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 ?

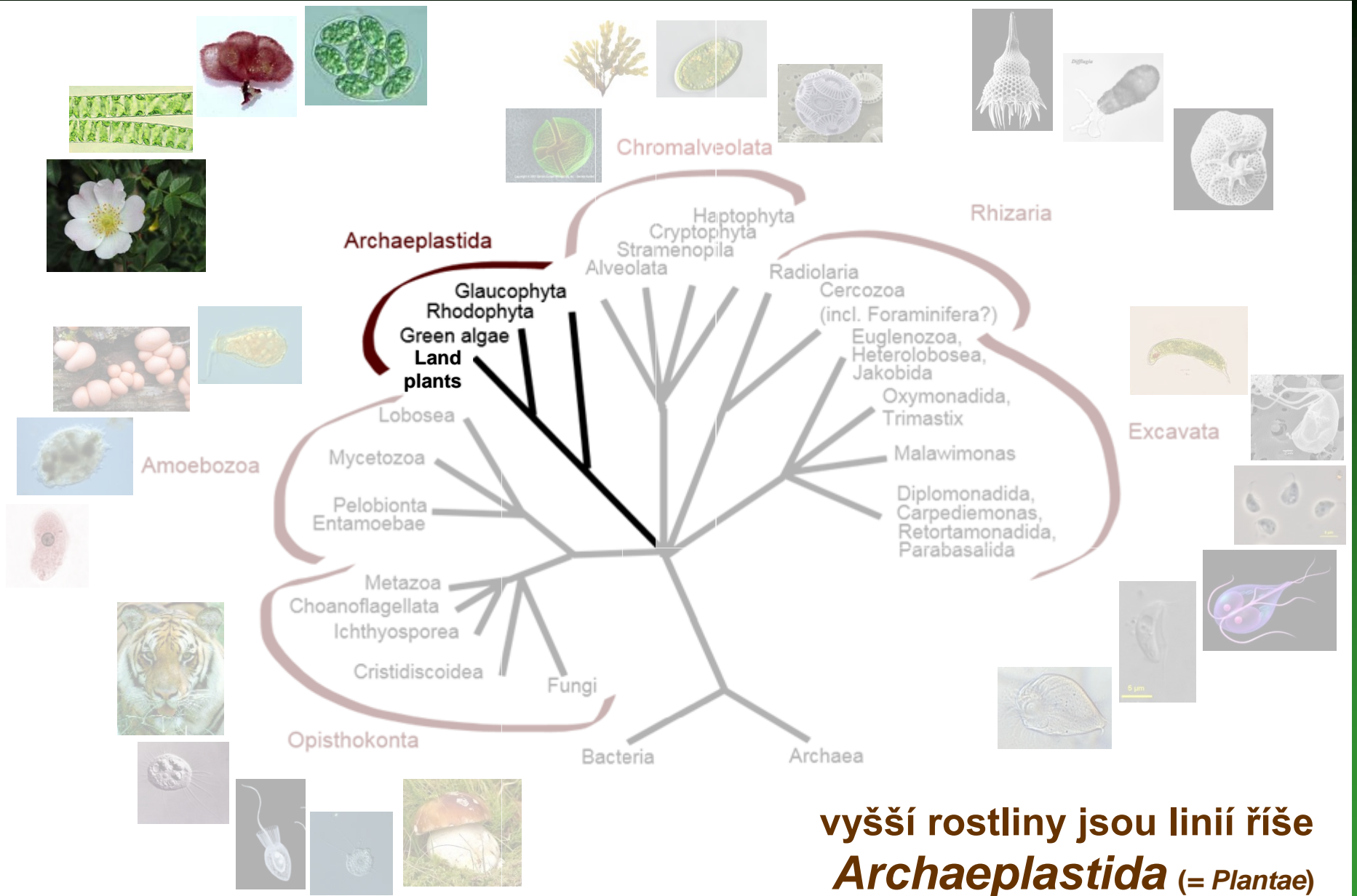
započala před 2,5 mld. let ??? – **základní kroky**

- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátla α -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“

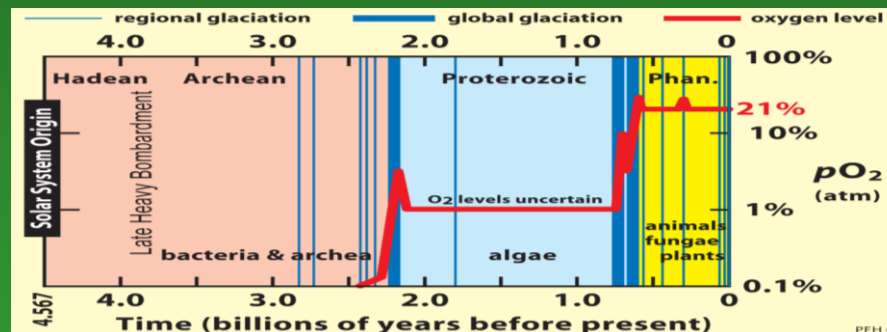
= **Velká kyslíková katastrofa – 2.4 bya**

= důsledek evoluce (oxygenní) fotosyntézy u sinic



reduktivní atmosféra

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



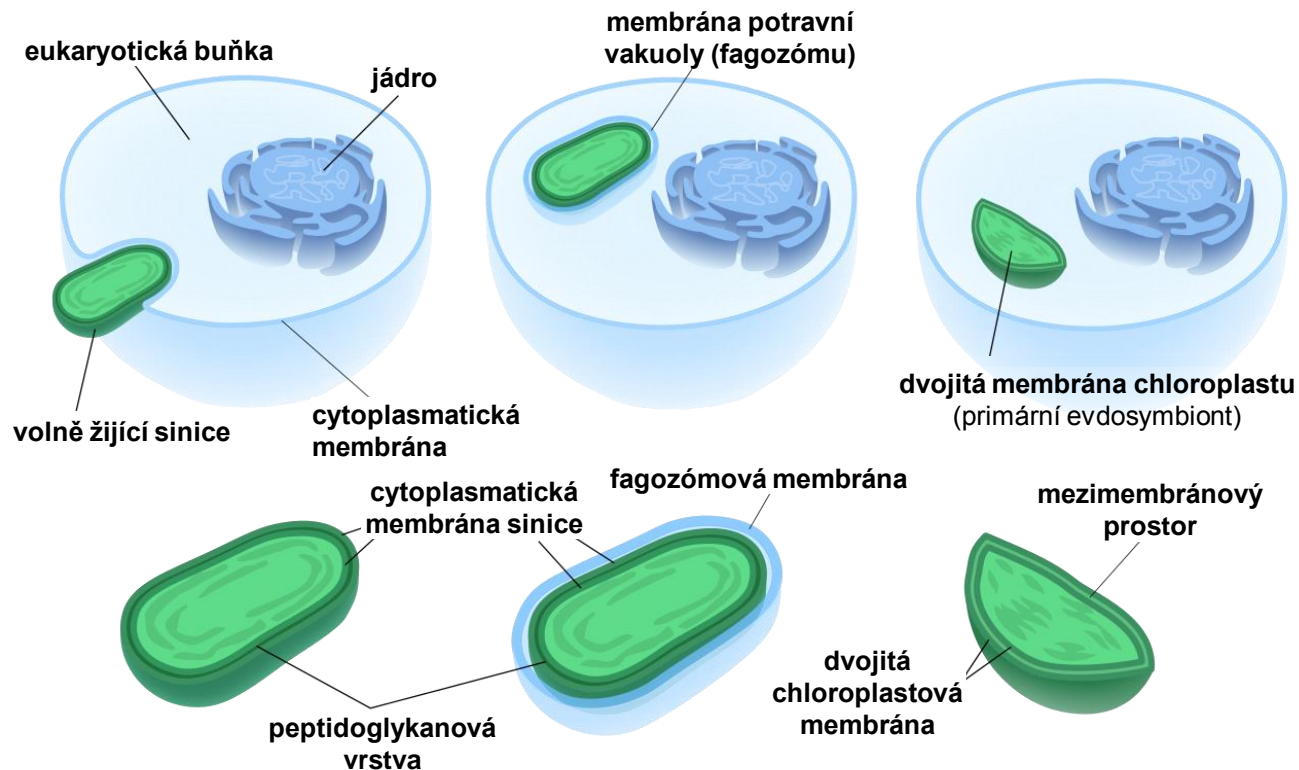
oxydativní atmosféra

sinice → kyslík
toxický pro anaerobní archea
rozkládá metan na H₂O a CO₂

Fotosyntéza vznikla u sinic před 2,5 mld. let – syntéza uhlovodíků pomocí Slunce úspěšně přežila v nezměněné formě dodnes. Kyslík = odpad fotosyntézy se srážel oxydací (např. v hematitových sedimentech). Když došly ionty železa, síry, ... ve vodě i na souši, začal O₂ unikat do atmosféry. Zabíjel konkurenční anaerobní archea, rozkládal skleníkově působící metan. Nastalo ochlazení, zalednění, masové vymírání. Koncentrace O₂ nepřesáhla 3%.

Vznik archeplastid – ? 1.8 bya

= **Vznik chloroplastu** s dvojitou membránou primárně endosymbioticky (= fagocytickým uchvácením sinice eukaryotickou protozoální heterotrofní buňkou)



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

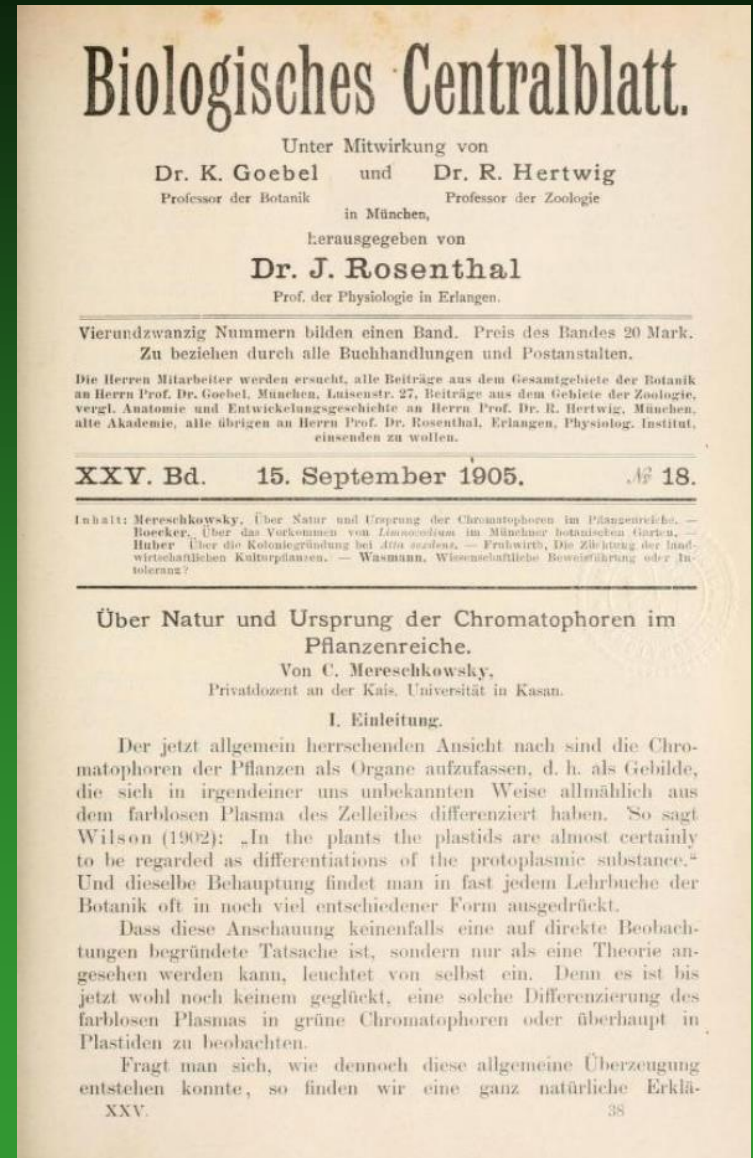
Chloroplast chaluh, rozsivek , ... – vznikl také sekundární endosymbiózou = fagocytickým uchvácením buňky červené řasy protozoální buňkou

Vznik archeplastid – ? 1.8 bya



Konstantin Sergeevich Mereschkowski
Константин Сергеевич Мережковский
(1855–1921)

Poprvé chápe chloroplasty
sinicové endosymbionty



Vznik archeplastid – ?1.8 bya

Podobně jako v případě mitochondriálního genomu se geny z původního genomu sinice postupně přestěhovaly z chloroplastu do jádra.

Vznik archeplastid – ?1.8 bya

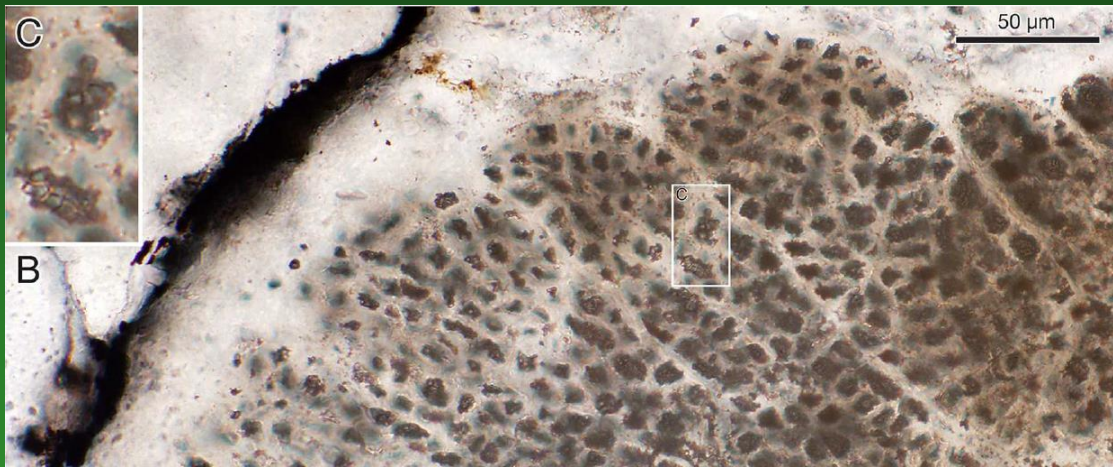
Výsledný genom dnešních Viridaeplantae je tak chimérou tří genomů:

- 1. genom původní archeobakterie, která pohltila „budoucí mitochondrii“**
- 2. genom α -proteobakterie, jenž dala vzniknout budoucí mitochondrii**
- 3. genom cyanobakterie (sinice), která dala vzniknout budoucímu chloroplastu**

Multicelularita archeplastid – 1.6 bya

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

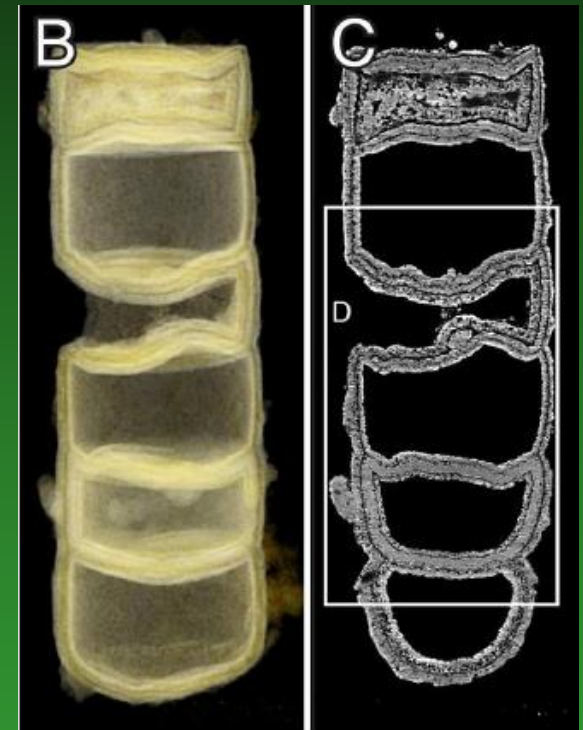
Ramathallus lobatus



Lokalita nálezu
na rozhraní
indických států
Uttar Pradesh
a Madhya Pradesh



Rafatazmia chitrakootensis



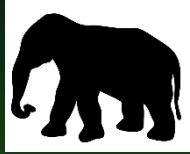
Three-dimensional preservation of cellular and subcellular structures suggests 1.6 billion-year-old crown-group red algae

Stefan Bengtson^{1,2*}, Therese Sallstedt^{1,2}, Veneta Belivanova^{1,2}, Martin Whitehouse^{2,3}

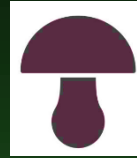
1 Department of Palaeobiology, Swedish Museum of Natural History, Stockholm, Sweden, 2 Nordic Center for Earth Evolution (NordCEE), Odense, Denmark; Copenhagen, Denmark; Stockholm, Sweden, 3 Department of Geosciences, Swedish Museum of Natural History, Stockholm, Sweden

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

„mimimesy–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*

Sesterská
k zeleným
roślinám

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*

Sesterská
k zeleným
roślinám

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

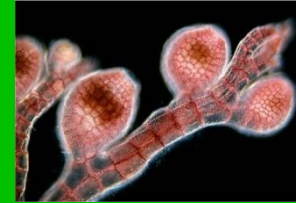


Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

říše *Archaeplastida* (=Plantae)

podříše *Biliphytobionta*

oddělení *Glaucophyta*
oddělení *Rhodophyta*



Sesterská
k zeleným
roślinám

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)

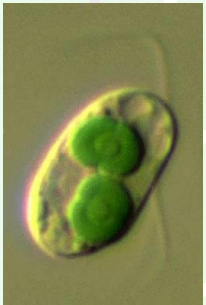
podříše *Biliphytobionta*

oddělení *Glaucophyta*

oddělení *Rhodophyta*

Glaucophyta

Jednobuněčné; chloroplasty ještě s původní sinicovou peptidoglykanovou vrstvou!
~10 druhů – sladkovodní, v moři zatím neobjeveny



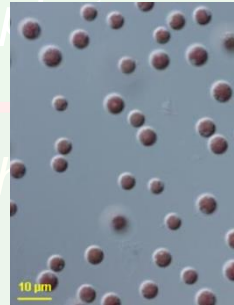
Cyanophora



Glaucocystis
autospóry v obalu
mateřské buňky

Rhodophyta

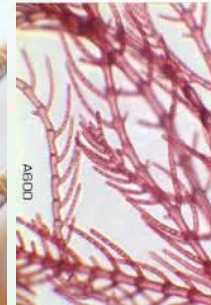
Jednobuněčné, vláknité až parenchymatické
~6100 druhů – hlavně mořské, vzácně sladkovodní nebo terestrické



Porphyridium



Bangia



Antithamnion



Porphyra

Sexualita častá, životní cykly různorodé

Sexualita není známa

Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

říše *Archaeplastida* (=Plantae)

podříše *Biliphytobionta*

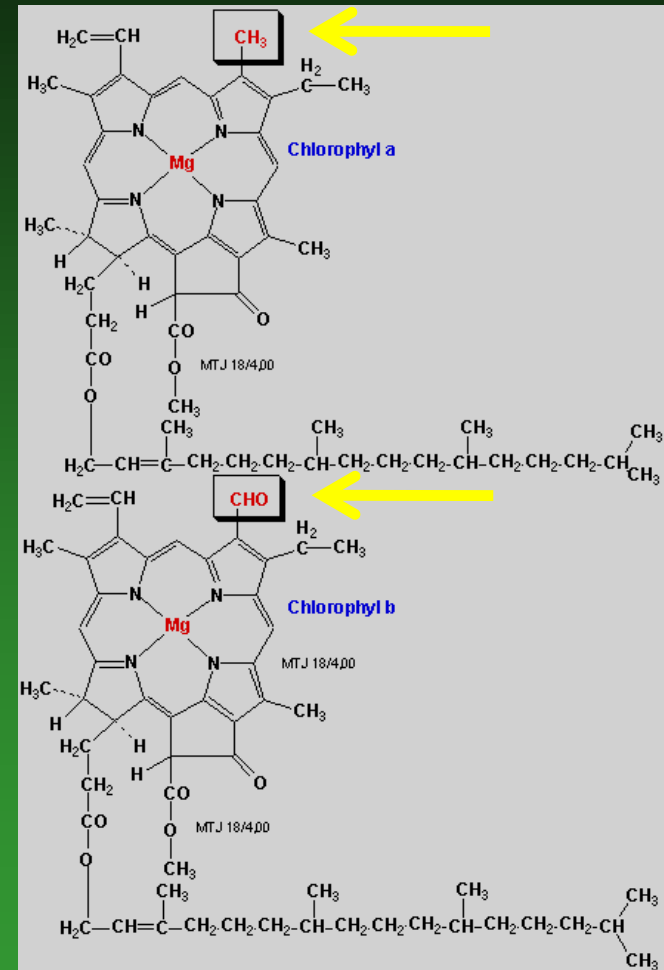
podříše *Viridaeplantae* (=Chlorobionta, Chloroplastida) – zelené rostliny = zelené řasy + parožnatky + vyšší rostliny

hlavní znaky:

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

Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

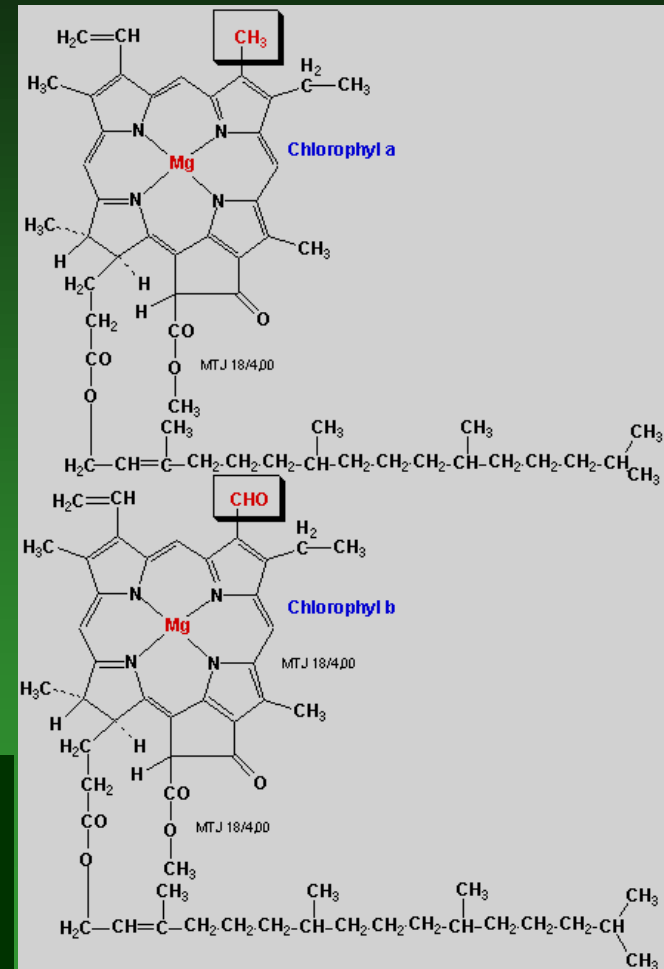
Vedle chlorofylu a mají také (1) chlorofyl b (nikoli jen a)



Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

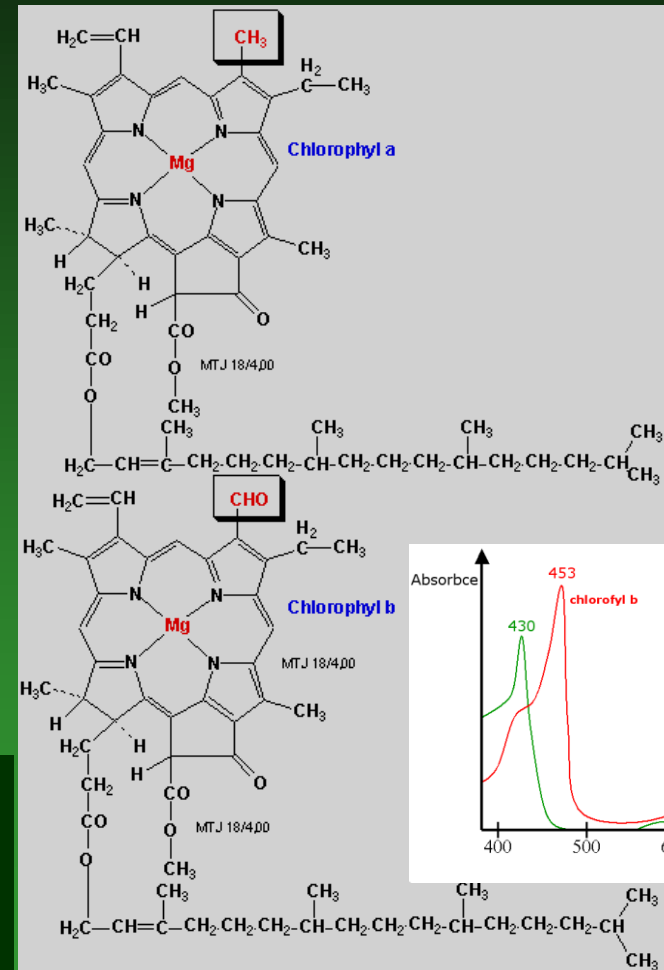
Vedle chlorofylu a ještě (1) chlorofyl b (nikoli jen a)

***Glaucophyta* a *Rhodophyta* – chlorofyl a**
(dříve uváděný chlorofyl d u ruduch byla kontaminace sinicemi)
– navíc mají i sinicové fykobiliny



Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

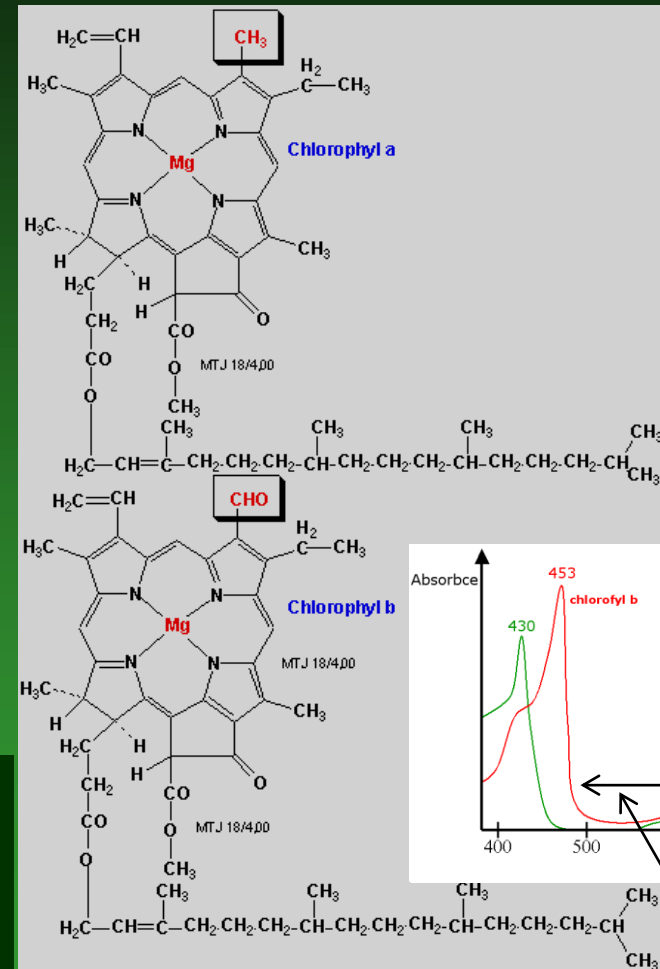
Vedle chlorofylu a ještě (1) chlorofyl b (nikoli jen a)



***Glaucophyta a Rhodophyta* – 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 ještě (1) chlorofyl b (nikoli c, d nebo jen a)



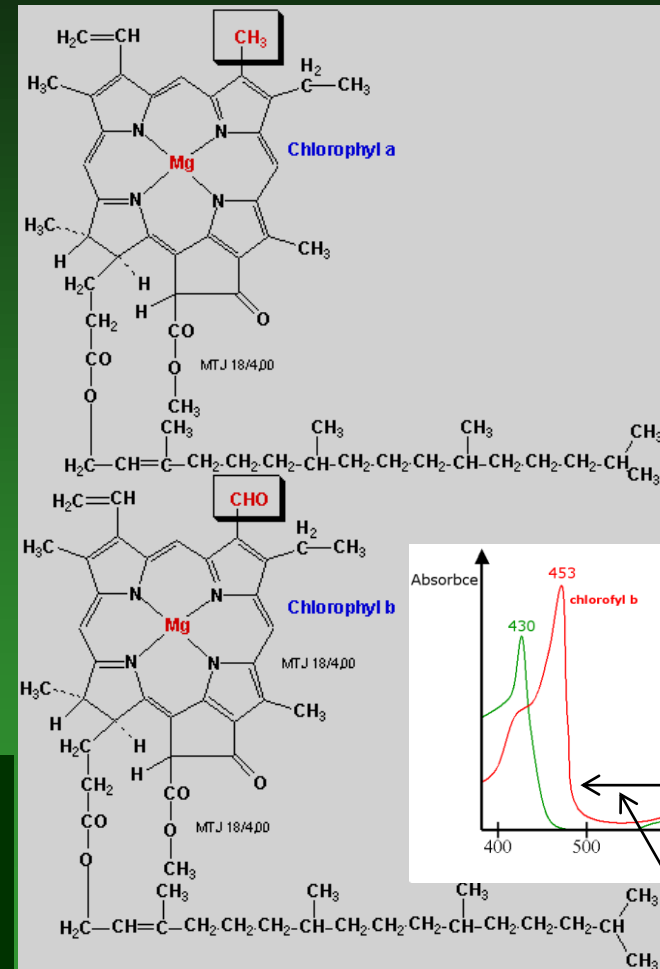
***Glaucophyta* a *Rhodophyta* – chlorofyl a**

(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 ještě (1) chlorofyl b (nikoli jen a)



***Glaucophyta* a *Rhodophyta* – chlorofyl a**

(dříve uváděný chlorofyl d u ruduch byla kontaminace sinicemi)

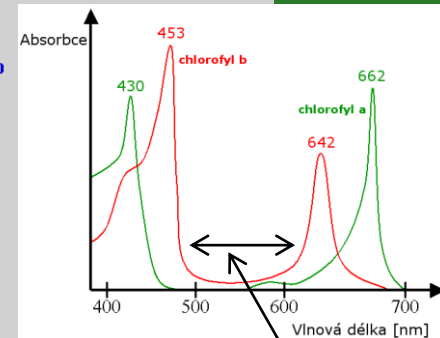
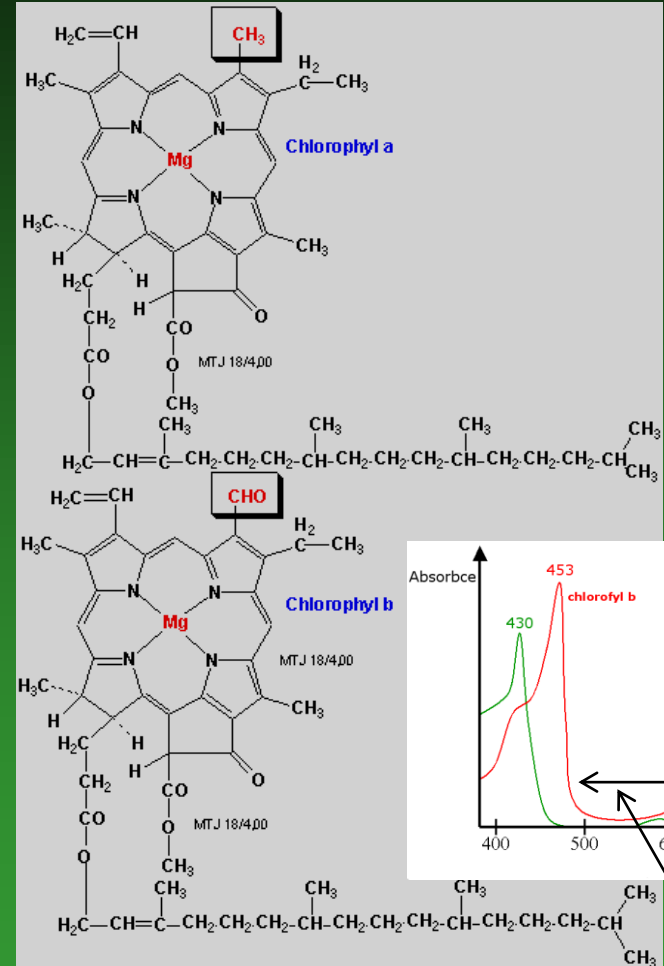
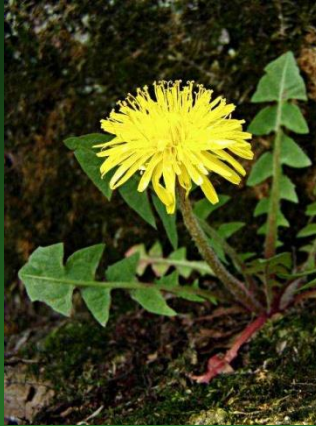
– navíc mají i sinicové fykobiliny

Jaká je zde barva?

Ta, kterou chlorofyl nepohlcuje, ale odráží!

Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

Vedle chlorofylu a ještě (1) chlorofyl b (nikoli jen a)



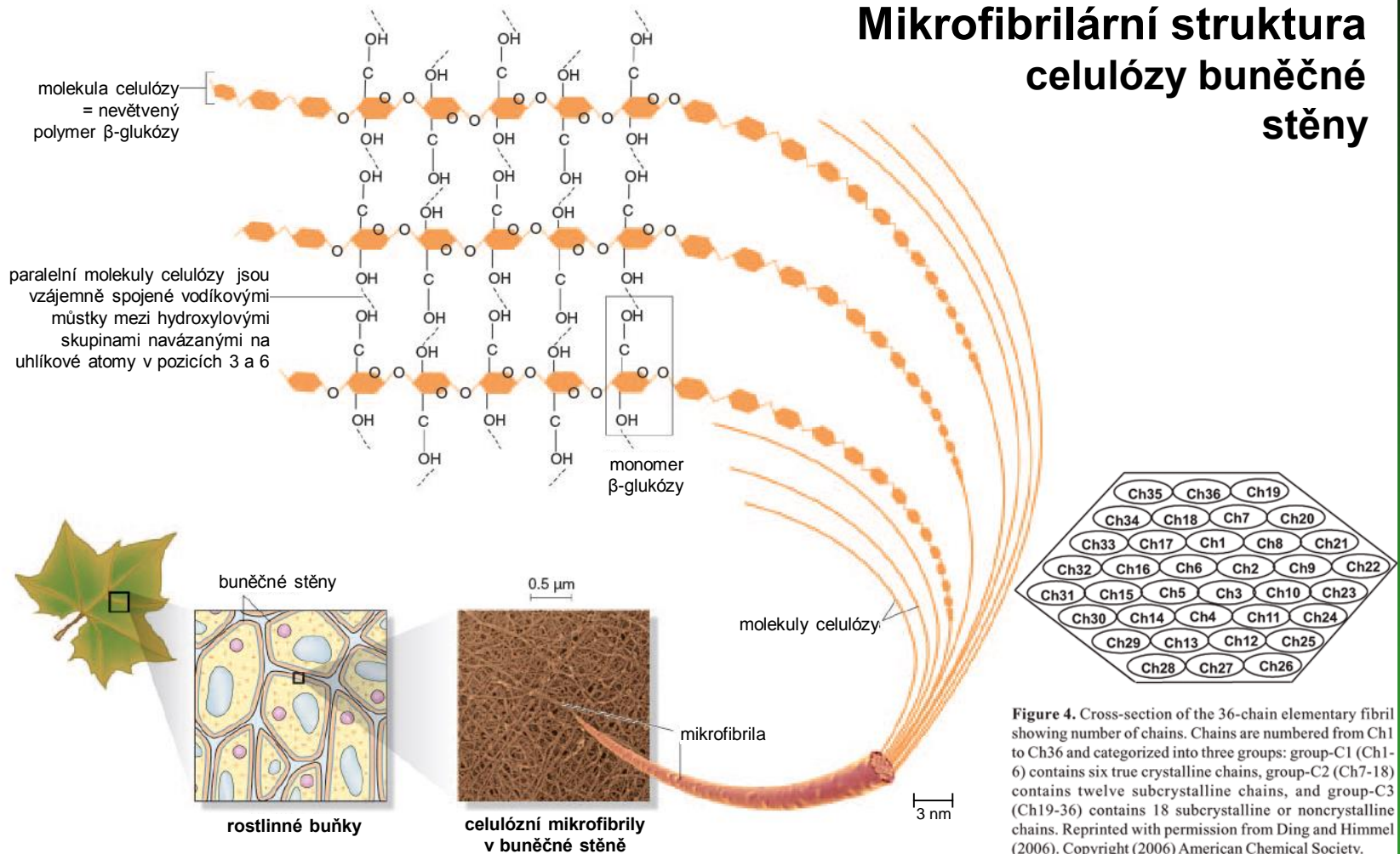
Jaká je zde barva?

Chlorofyl chybí u parazitů a mykotrofně vyživovaných druhů

Ta, kterou chlorofyl nepohlcuje, ale odráží!

Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

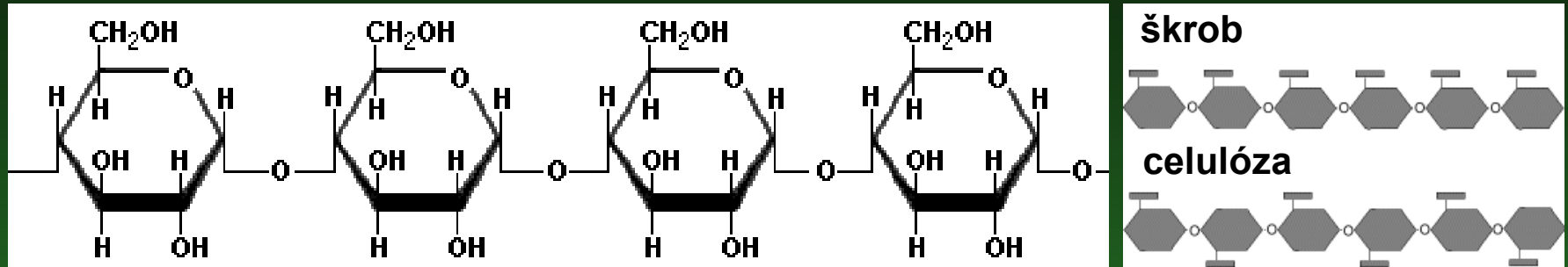
Stavební polysacharid = (2) celulóza – tvoří buněčnou stěnu



Celulózní exoskelet buňky = preadaptace na mnohobuněčnost a terestrializaci

Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

Zásobní polysacharid = (2) 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

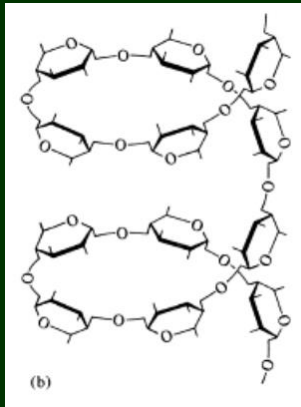
Zásobní polysacharid = (2) škrob = směs dvou typů molekul:

Škrob mají i glaukofyty nebo obrněnky; ruduchy mají florideový škrob

Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

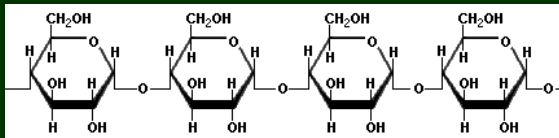
Zásobní polysacharid = (2) škrob = směs dvou typů molekul:

nevětvená = **amylóza**

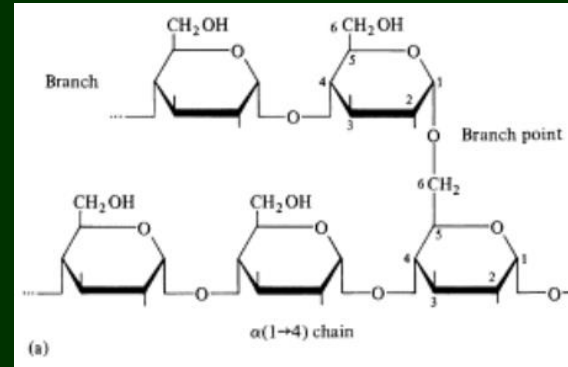


šroubovitá

lineární



větvená = **amylopektin**



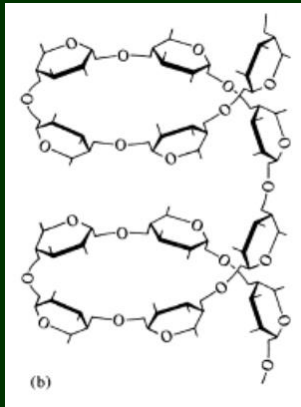
Jsou v hmotnostním poměru: **1 : 4** až **1 : 3**

Škrob mají i glaukofyty nebo obrněnky; ruduchy mají florideový škrob

Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

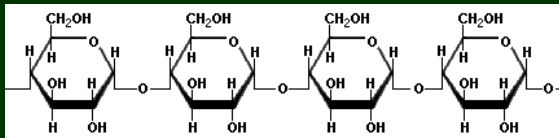
Zásobní polysacharid = (2) škrob = směs dvou typů molekul:

nevětvená = **amylóza**

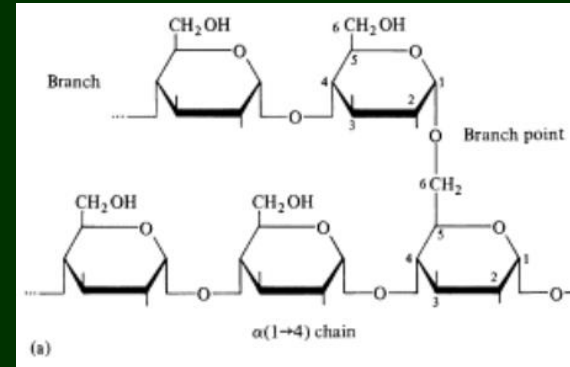


šroubovitá

lineární



větvená = **amylopektin**



Jsou v hmotnostním poměru: **1 : 4** až **1 : 3**

Florideový škrob ruduch = téměř **výhradně amylopektin**

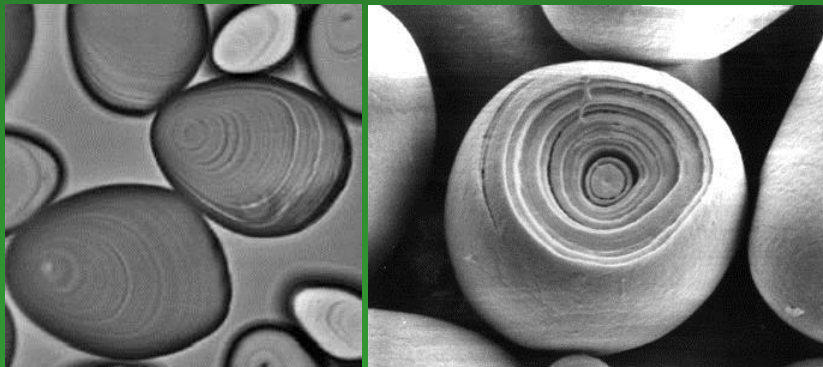
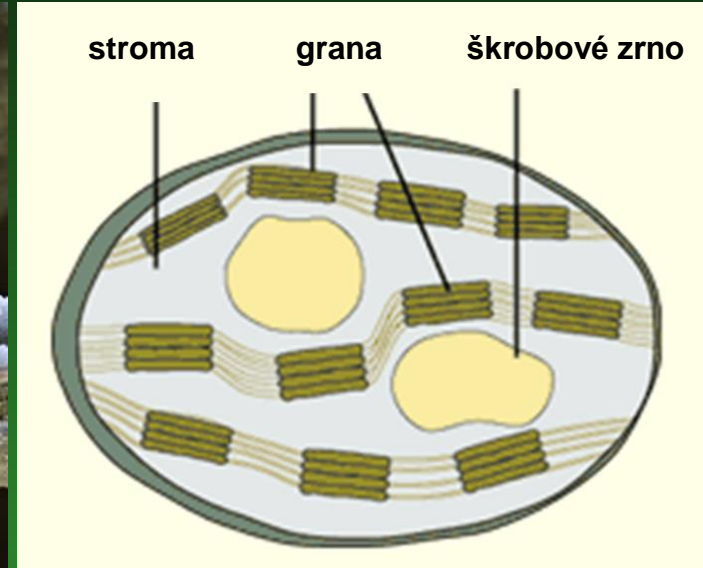
Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

(3) chloroplasty obsahují škrobová zrna

chloroplasty rulíku zlomocného s jednotlivými škrobovými zrny



chloroplast



Zrna mají vrstevnatou strukturu

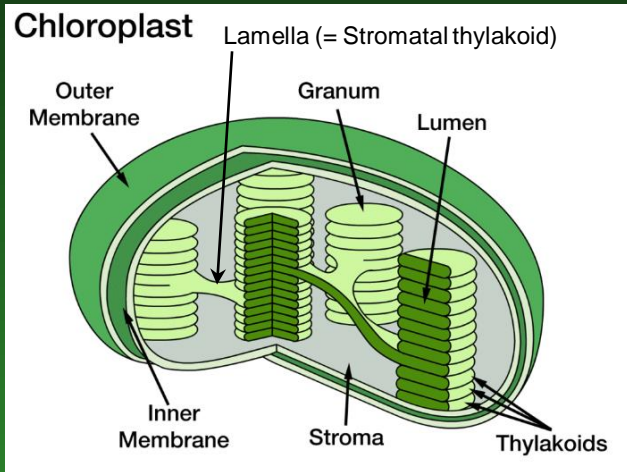
Škrob glaukofytů ani florideový škrob ruduch se v chroplastech neukládají

Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

(3) tylakoidní (nejvnitřnější) membrána tvoří lamely a grana (10–100/chloroplast)

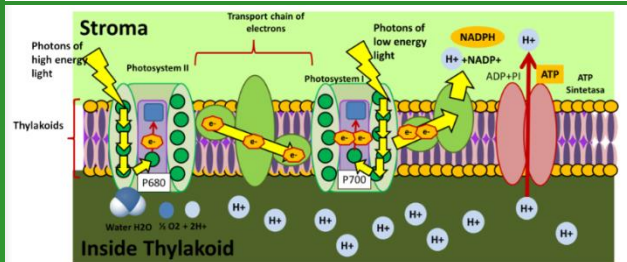
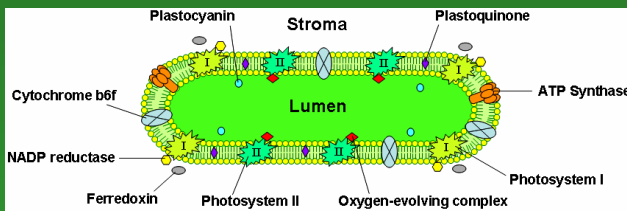
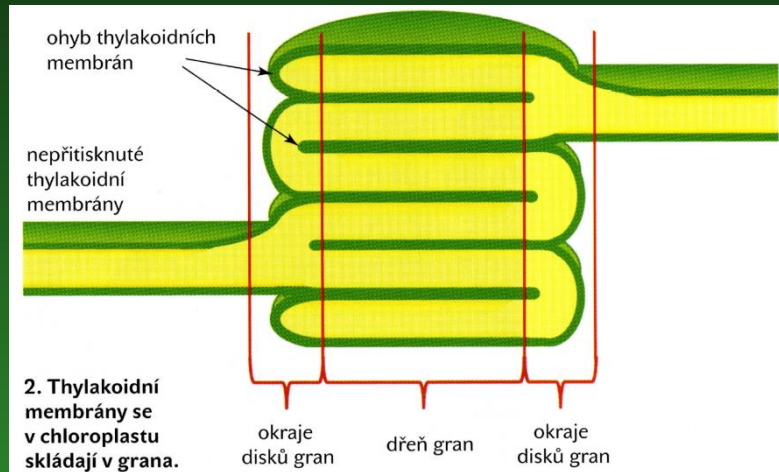
– membrány tylakoidů vážou chlorofyl

5 μm



Lamela

Granum

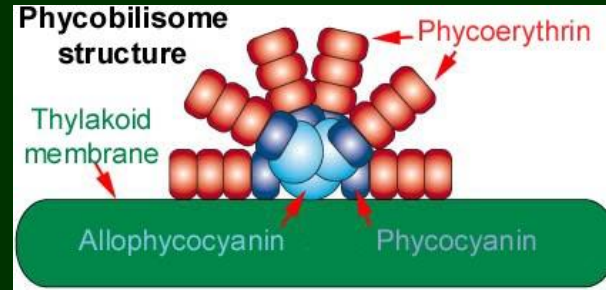
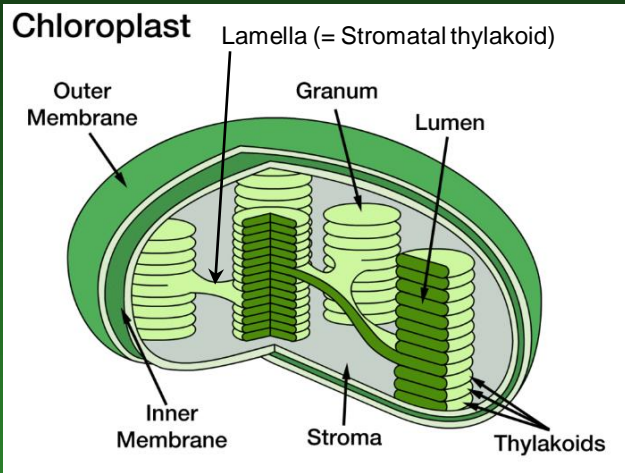


Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

(3) tylakoidní (nejvnitřnější) membrána tvoří lamely a grana (10–100/chloroplast)

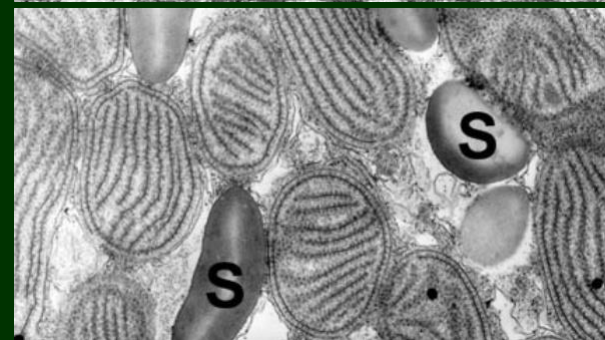
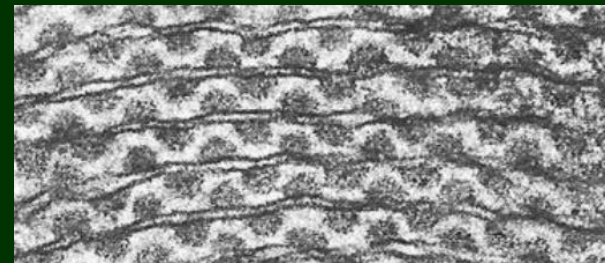
– membrány tylakoidů vážou chlorofyl

5 μm

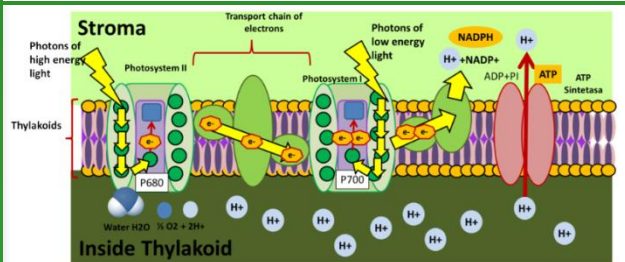
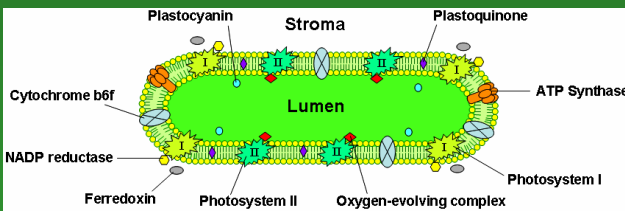


glaukofyty a ruduchy:

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

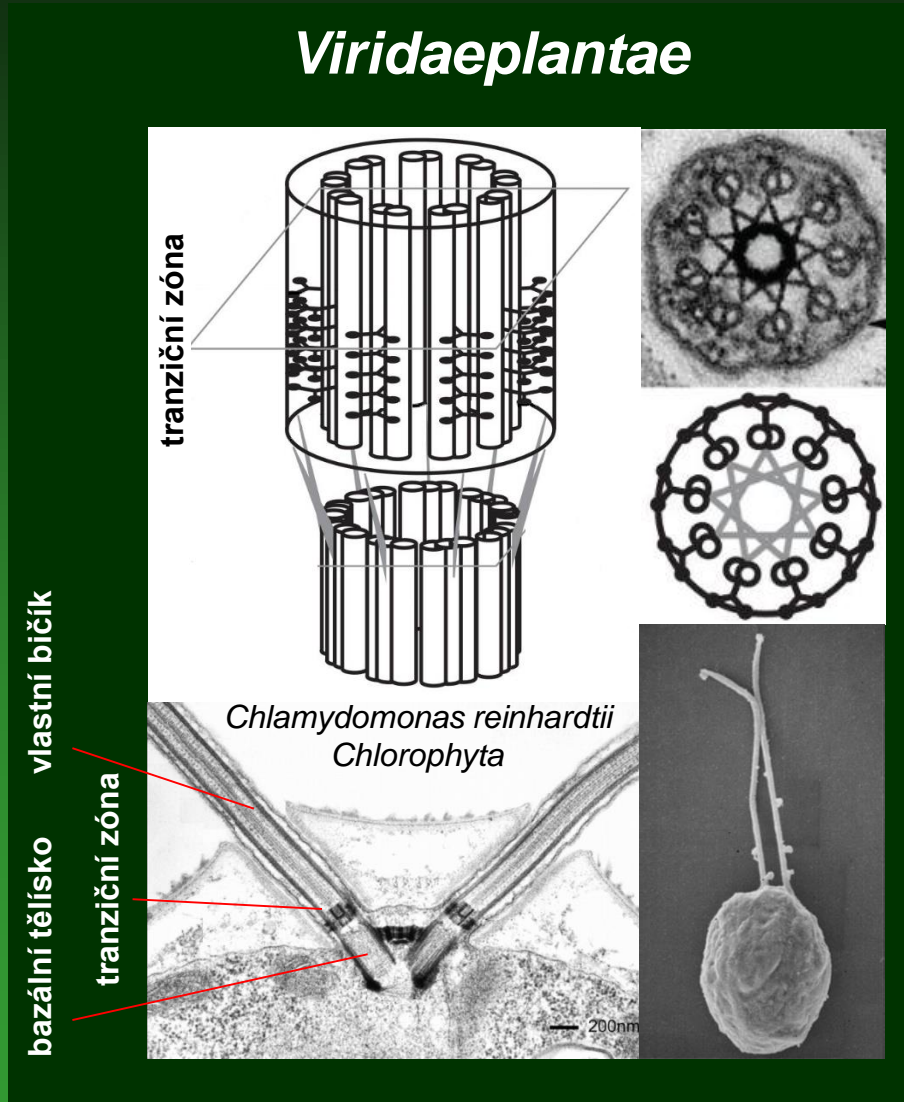


S = škrobová zrna v cytoplasmě mezi chloroplasty



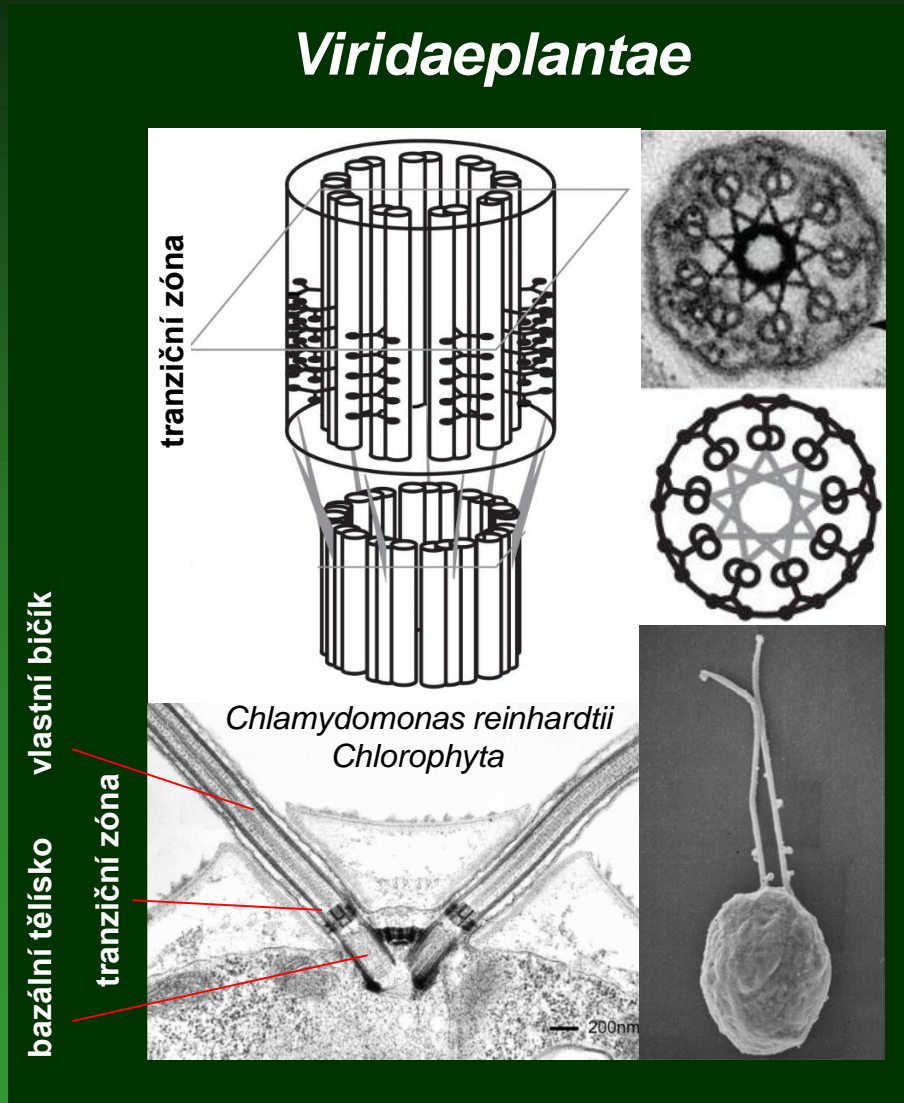
Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

(4) Tranziční zóna bičků = tvar devíticípé hvězdy

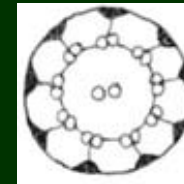


Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

(4) Tranziční zóna bičků = tvar devíticípé hvězdy



Biliphytobionta



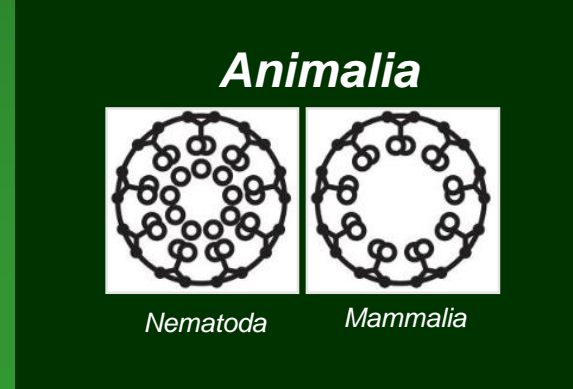
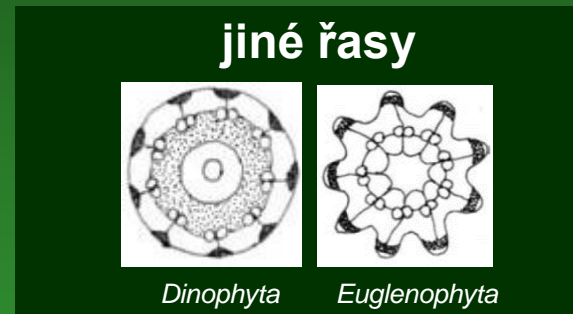
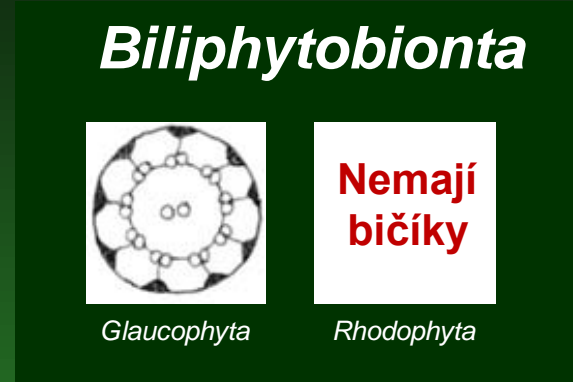
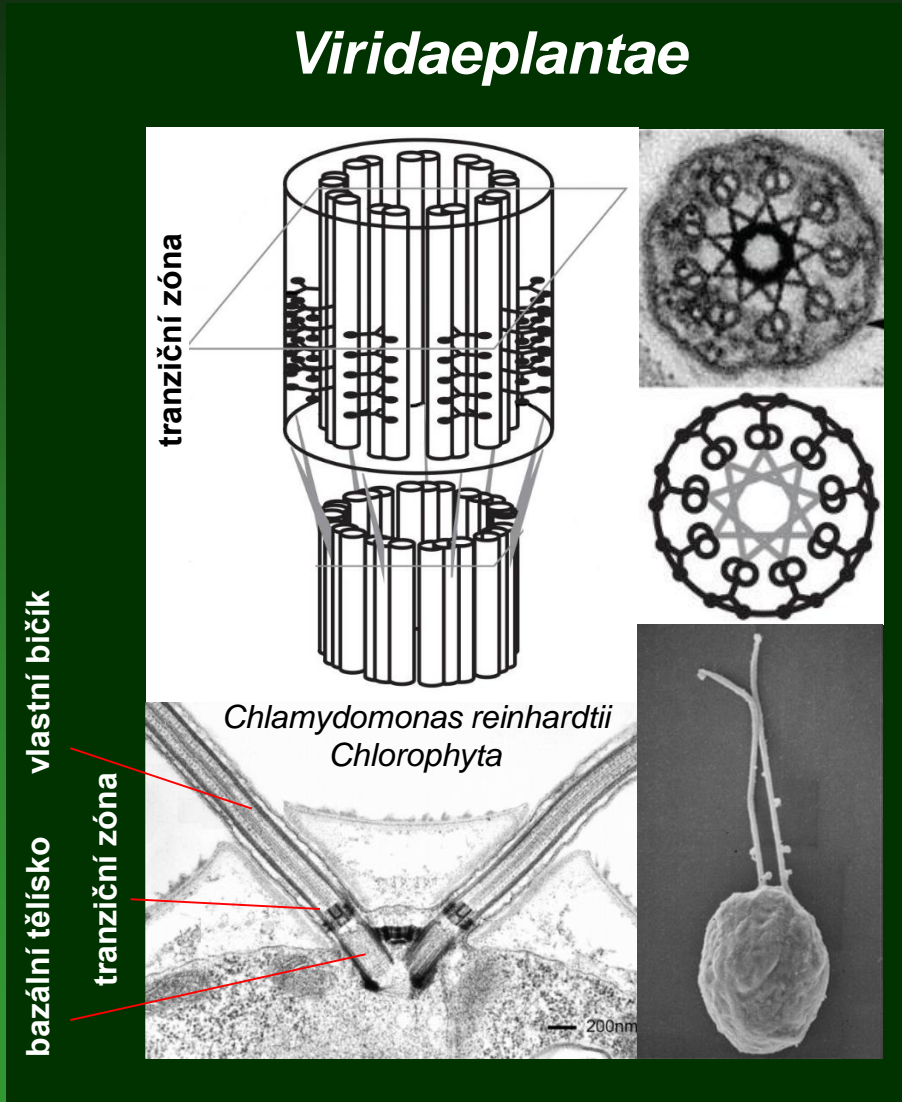
Glaucophyta



Rhodophyta

Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

(4) Tranziční zóna bičků = tvar devíticípé hvězdy

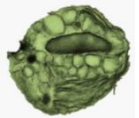


Z moře do sladkých vod = vznik streptofytní linie – 950–725 mya

Chlorophytae

= parafyletická skupina zahrnující:

1. jednobuněčné řasy



Ostreococcus tauri = nejmenší známý eukaryot – 0,8 μm – mořský planktonní, objevený 1994. (*Prasinophyceae*)

2. řasy tvořící pohyblivé i nepohyblivé kolonie

3. vláknité řasy

4. řasy se složitějšími (3D) stélkami (Ulvophyceae)

- ve slaných i sladkých vodách, popř. i na souši (aerofytické zelené řasy)

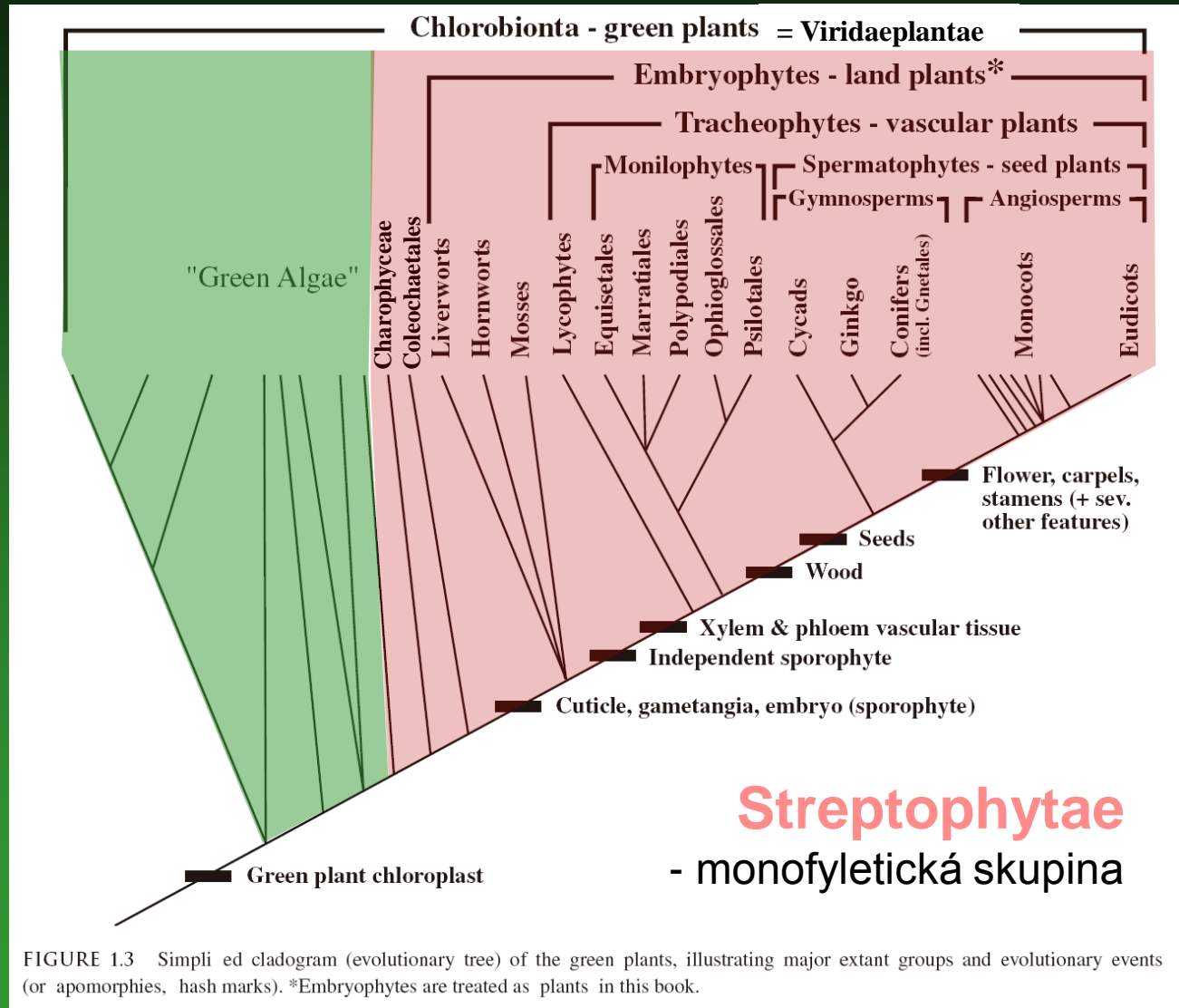
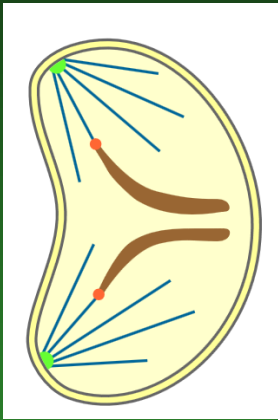


FIGURE 1.3 Simplified cladogram (evolutionary tree) of the green plants, illustrating major extant groups and evolutionary events (or apomorphies, hash marks). *Embryophytes are treated as plants in this book.

Vznik streptofytní linie – 950–725 mya

(1) Otevřená ortomitóza

Uzavřená pleuromitóza

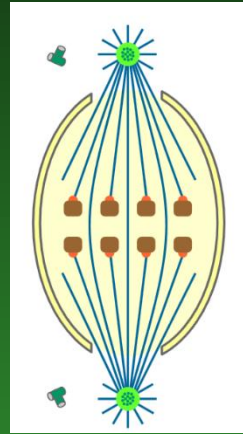


U zelených řas jen v bazální třídě *Prasinophyceae*

Pleuro = vřeténka nejsou kolmo na ekvatoriální rovinu dělení

Uzavřená = jaderná membrána neporušená

Částečně otevřená ortomitóza

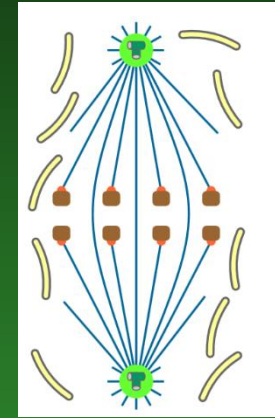


Ostatní *Chlorophyta*

Orto = vřeténka kolmo na ekvatoriální rovinu dělení

Částečně otevřená = v jaderné membráně polární okénka s centriolami

Otevřená ortomitóza

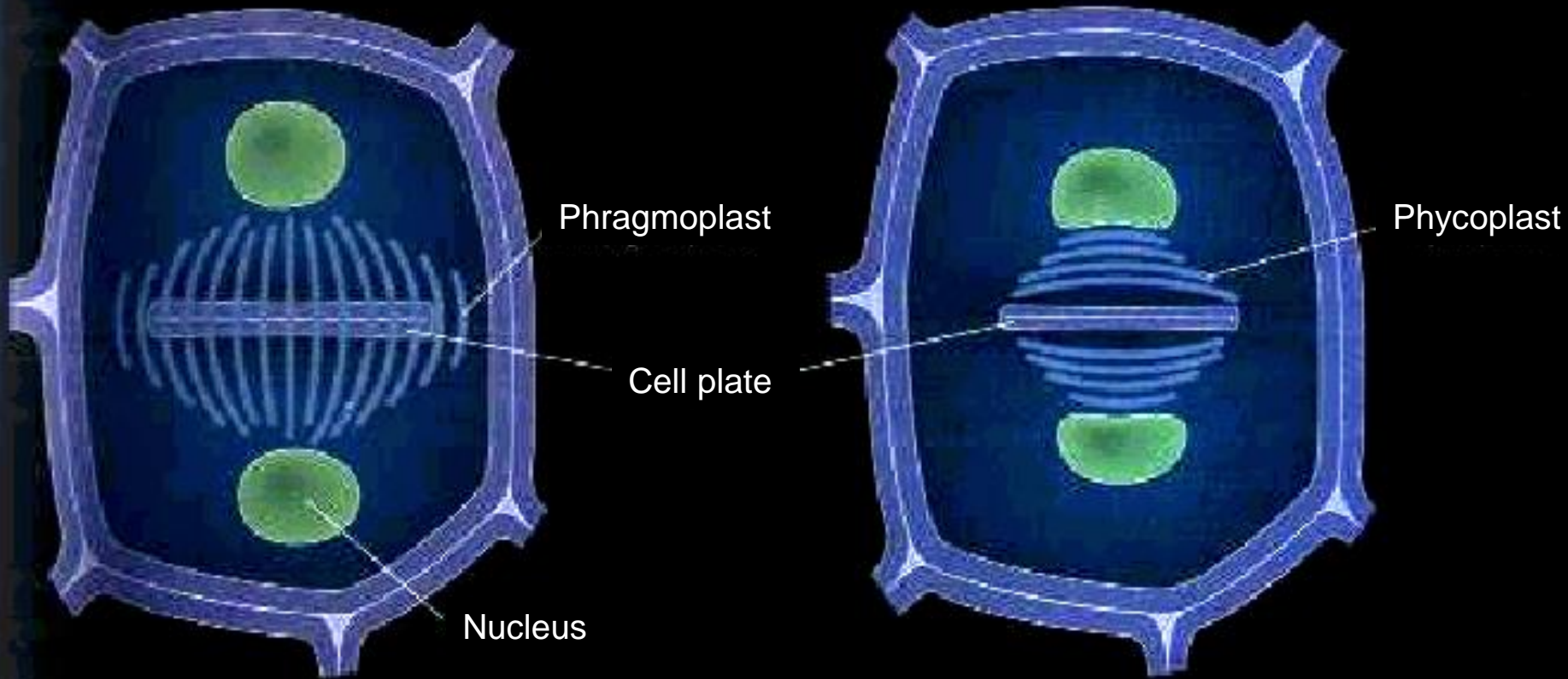


Streptophytae

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; při cytokinezi přisouvají polysacharidy do centrifugálně vznikající střední lamely mezi dceřinými buňkami.

Fykoplast – mikrotubuly dělicího vřeténka kolabují, orientují se kolmo na spojnici dceřinných jader

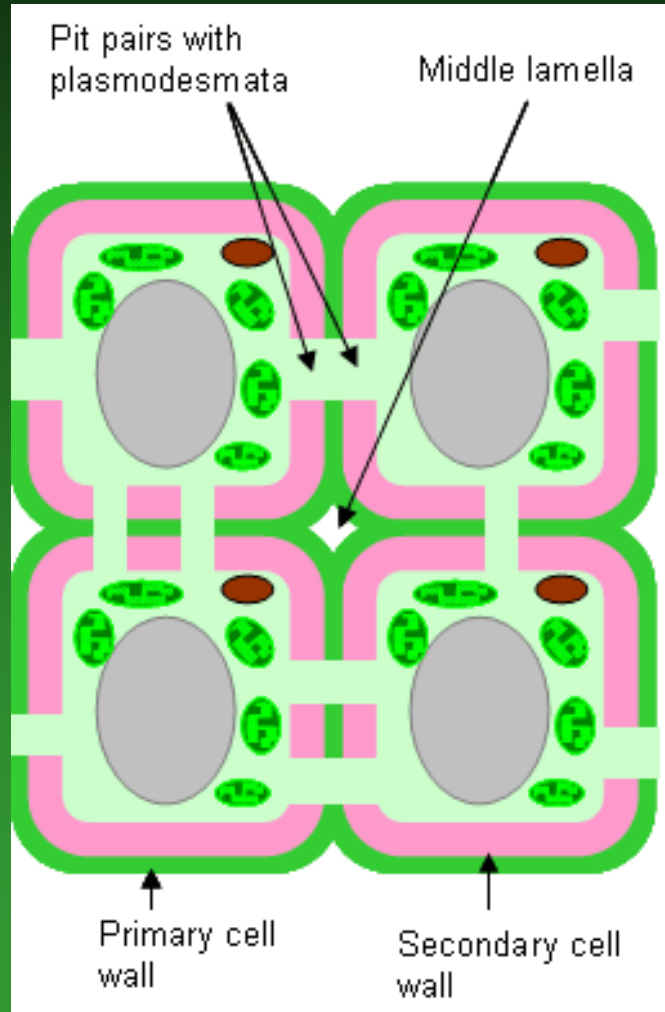
Fragmoplast - mikrotubuly se zachovávají souběžně se spojnici dceřinných jader

Vznik streptofytní linie – 950–725 mya

(3) plasmodesmy primární plasmodesmy jsou otvory (40–60 nm) po mikrotubulech vřeténka (fragmoplastu) ve střední lamele, sekundární vznikají později. Procházejí jimi endoplasmatické retikulum, jsou ohraničeny membránou.

Kompenzovaly nedokonalost vodivých pletiv prvních rostlinných kolonizátorů souše

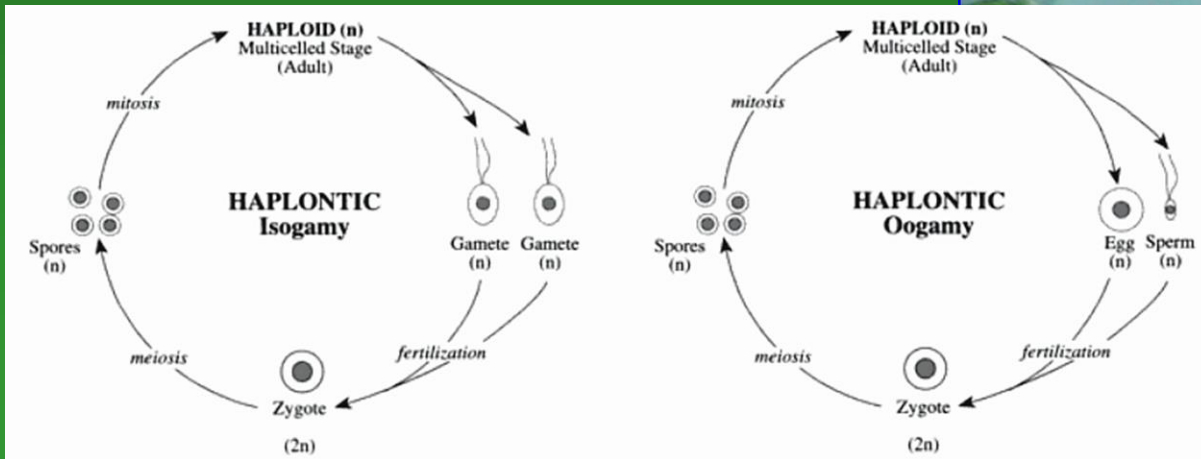
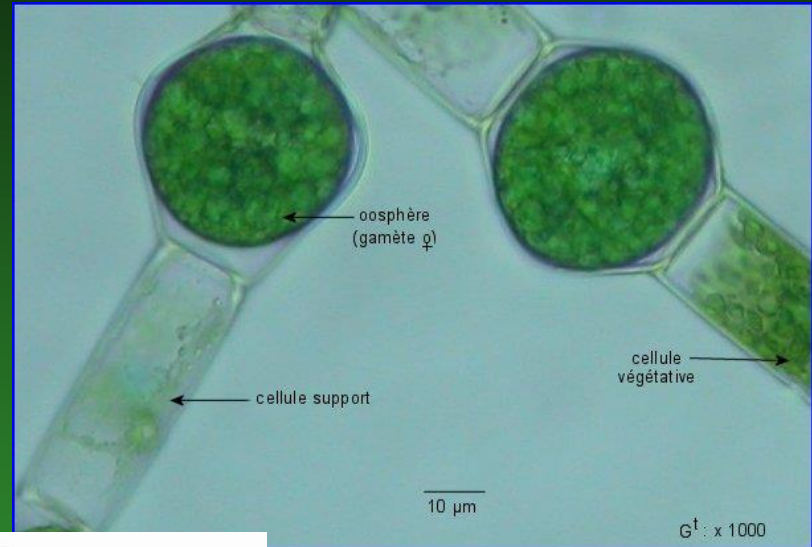
Transport bílkovin a fytohormonů je jimi aktivně regulován a nebyla by tedy bez nich diferencovaná mnohobuněčnost a funkční regulace



Vznik streptofytní linie – 950–725 mya

(4) Oogamie = samičí gameta - oosféra je 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



Adv. Space Res. Vol. 21, No. 8/9, pp. 1183–1186, 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

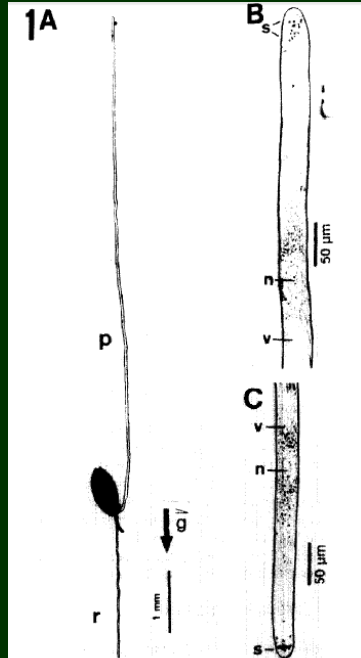


Fig. 1: An oospore of *Chara fragilis* Desv. (Fig. 1A) 3d after germination in darkness with a protonema (p) growing negatively gravitropic and a rhizoid (r) growing positively gravitropic. At higher magnifications of the tips of the protonema (Fig. 1B) and rhizoid (1C) the vacuole (v), nucleus (n) and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



fosilní *Rhynia gwynne-vaughanii*

kořenové vlásky
Arabidopsis thaliana



Rhizoidy parožnatek

Spirogyra, Zygnematales



Chara braunii



Chara baltica



Vznik streptofytní linie – 950–725 mya

(7) Rozetovitý celulózo-syntetizující komplex

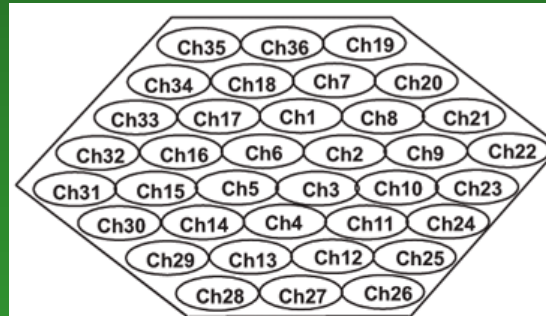
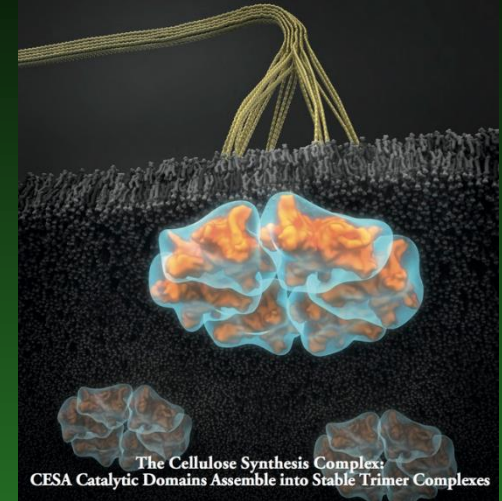
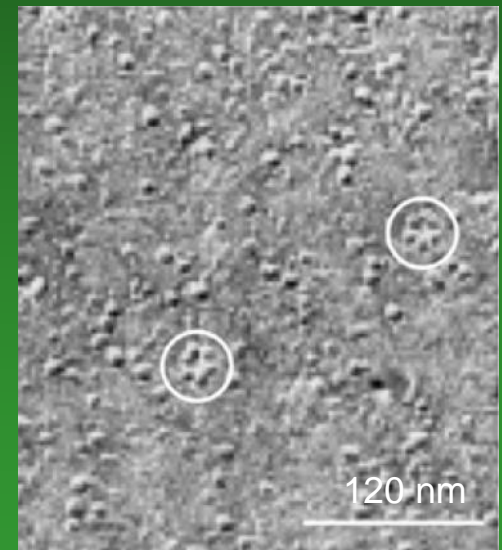


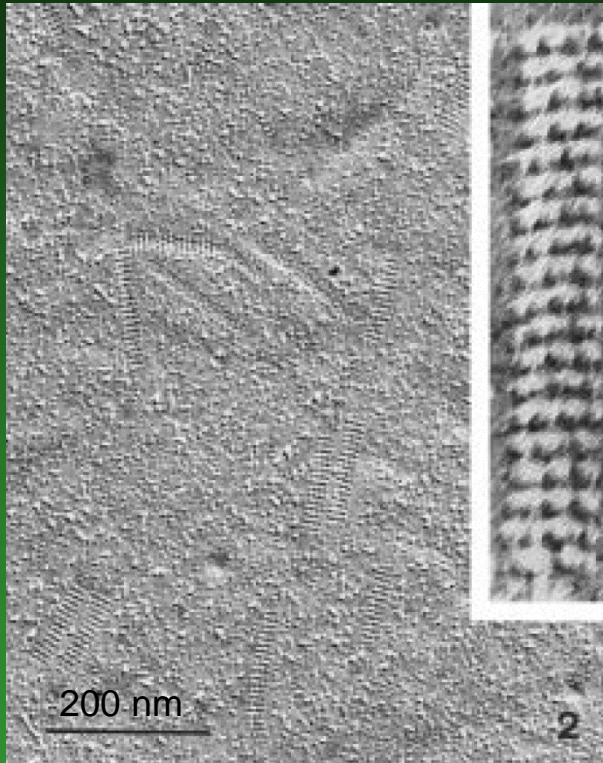
Figure 4. Cross-section of the 36-chain elementary fibril showing number of chains. Chains are numbered from Ch1 to Ch36 and categorized into three groups: group-C1 (Ch1-6) contains six true crystalline chains, group-C2 (Ch7-18) contains twelve subcrystalline chains, and group-C3 (Ch19-36) contains 18 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

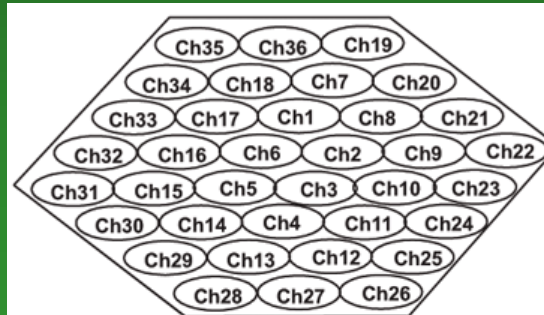
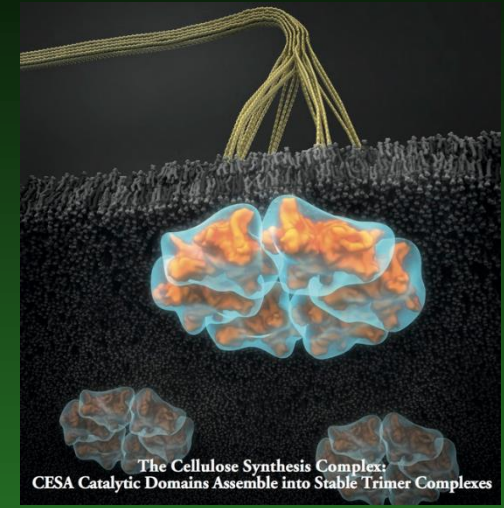
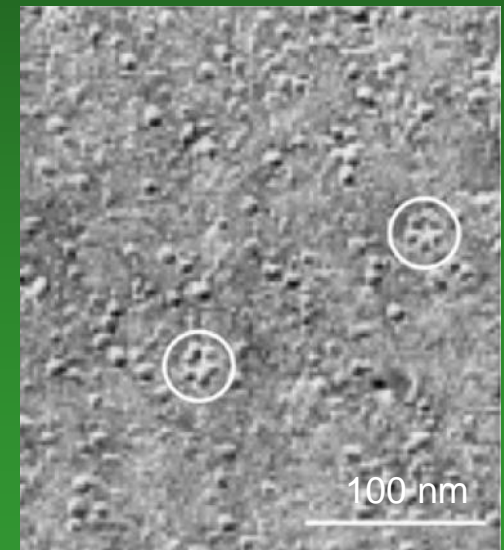


Figure 4. Cross-section of the 36-chain elementary fibril showing number of chains. Chains are numbered from Ch1 to Ch36 and categorized into three groups: group-C1 (Ch1-6) contains six true crystalline chains, group-C2 (Ch7-18) contains twelve subcrystalline chains, and group-C3 (Ch19-36) contains 18 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

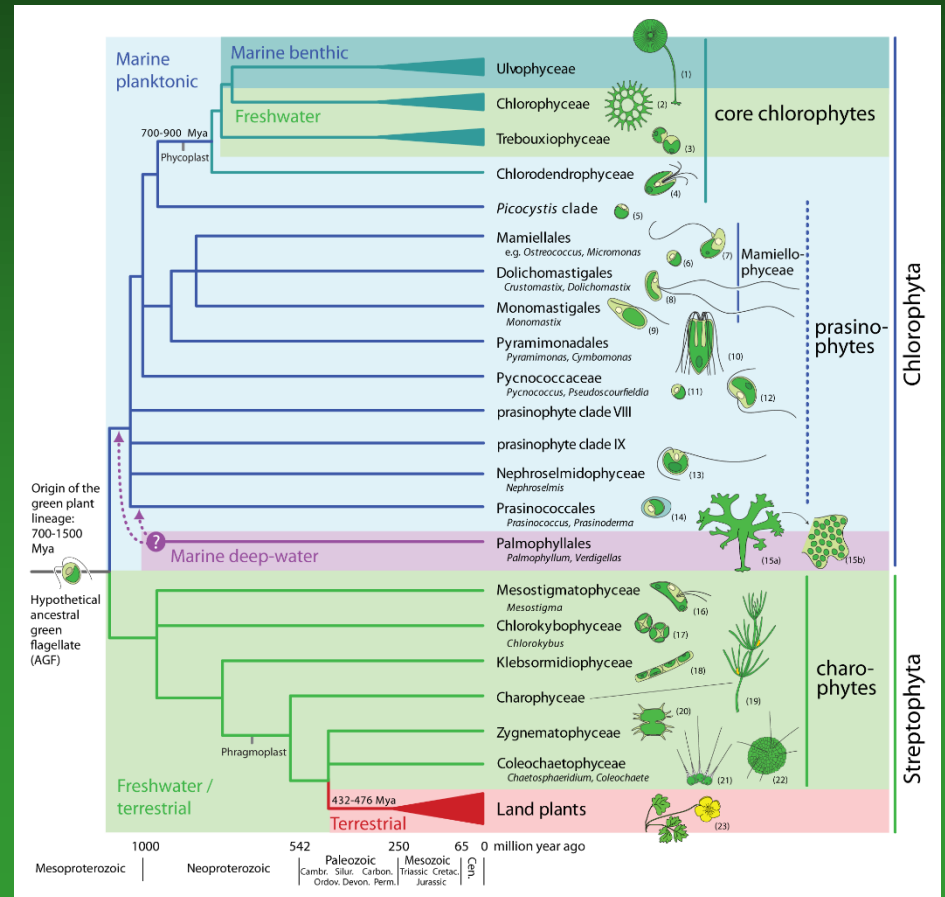


Rozetovitý celulózo-syntetizující komplex na cytoplasmatické membráně *Arabidopsis thaliana* – na snímku z elektronového mikroskopu

Současné molekulární studie naznačují, že bezprostředně sesterskou linií vyšších rostlin by mohly být

spíše *Zygnematophyceae*

než dříve podezříváné *Coleochaetophyceae*



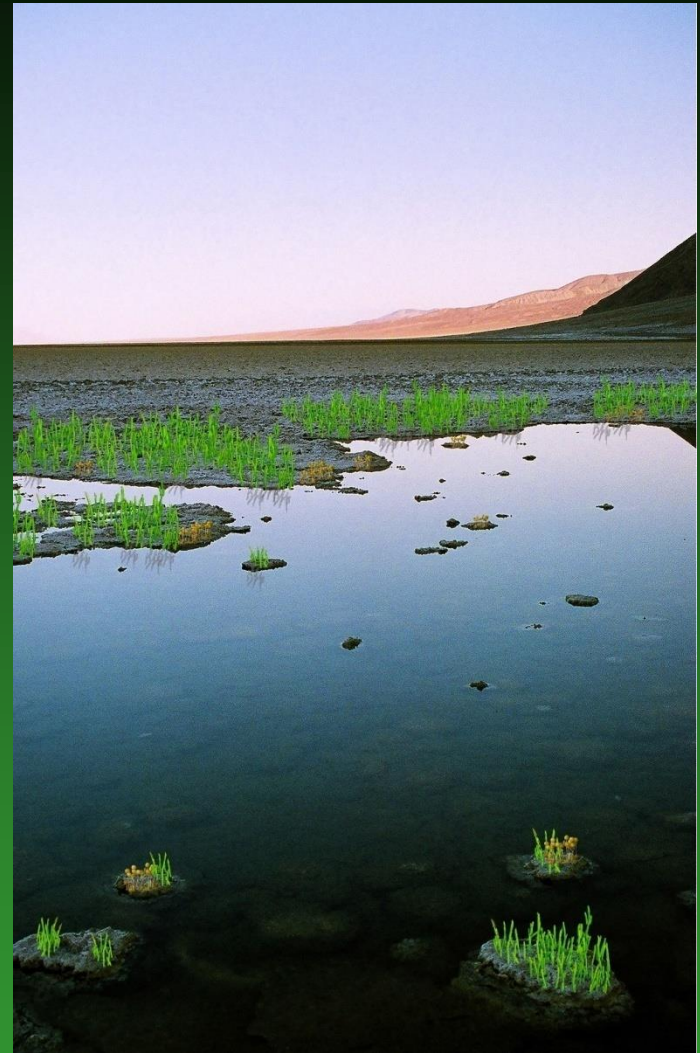
Vznik vyšších rostlin =

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



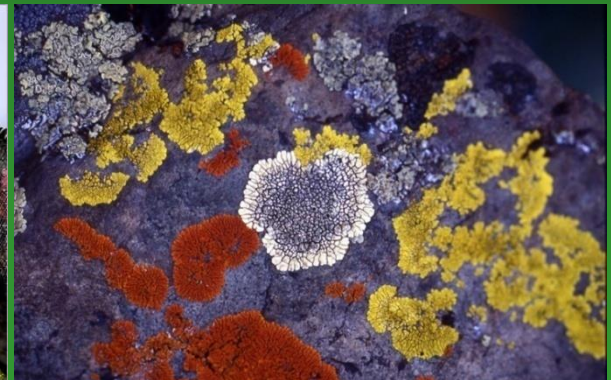
Vznik vyšších rostlin

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



Kdy začala terestrializace ?

Kdy začala terestrializace ?

Před 500–450 mya

Kdy začala terestrializace ?

Nejstarší makrofosílie vyšších
rostlin – ryniofytní rostlina

Cooksonia –
rozhraní střední - svrchní silur:

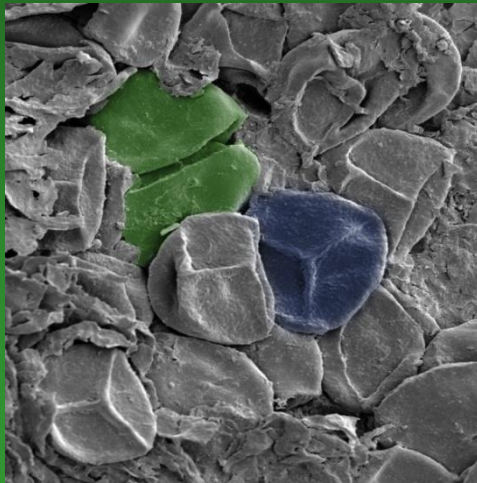
428 mya



Kdy začala terestrializace ?

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

428 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 μm across

Kdy skončila terestrializace ?

Kdy skončila terestrializace ?
Nelze jednoznačně říct – snad koncem karbonu, kdy
vrcholila éra plavuní, přesliček a kapradin?

Kdy skončila terestrializace ?

Nelze jednoznačně říct – snad koncem karbonu, kdy vrcholila éra plavuní, přesliček a kapradin?

Trvala tedy skoro 200 milionů let a ještě pak intenzivně pokračovala

Kdy skončila terestrializace ?

Nelze jednoznačně říct – snad koncem karbonu, kdy vrcholila éra plavuní, přesliček a kapradin?

Trvala tedy skoro 200 milionů let a ještě pak intenzivně pokračovala

Podobně významná evolučně divergentní událost =
kambrická exploze (542 mya)
= vznik většiny mnohobuněčných živočišných linií v
kambrickém oceánu trvala
jen několik desítek milionů let

Co muselo předcházet terestrializaci?

(= podmínky kolonizace souše vyššími rostlinami)



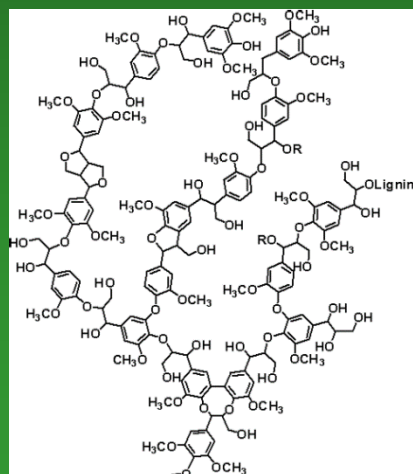
Copyright © Walter Myers

(1) Vyšší koncentrace O_2 v atmosféře

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

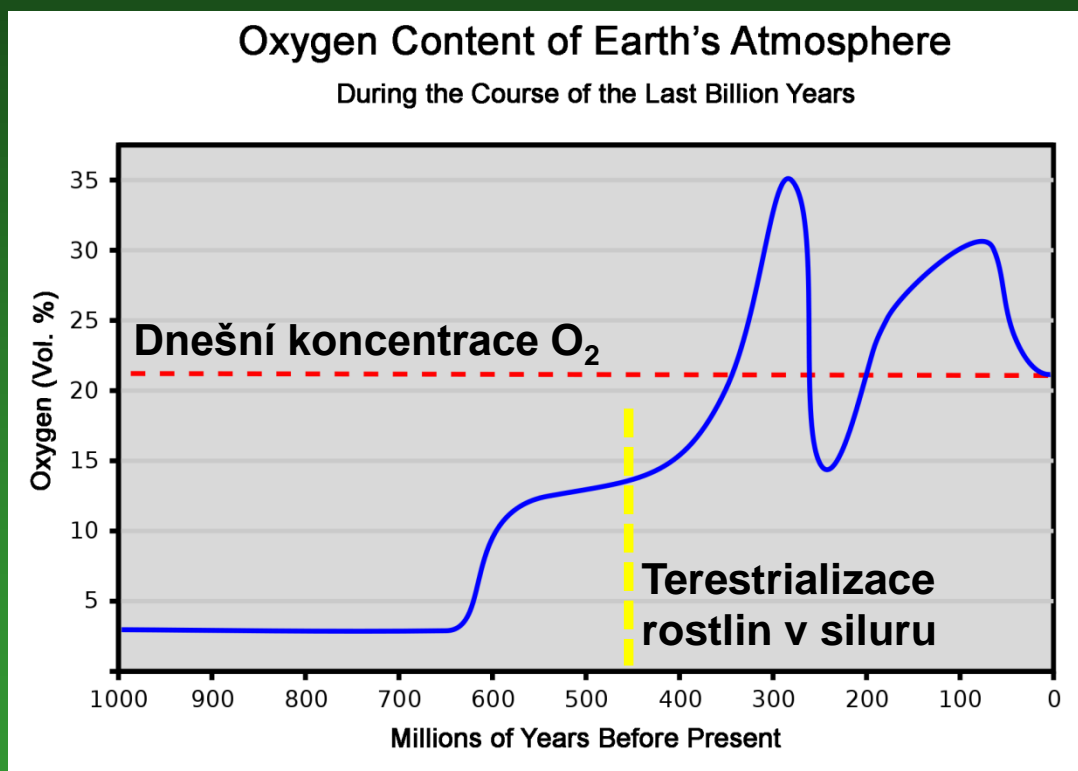


Kyslík vytvořily fotosyntézou
sinice



lignin

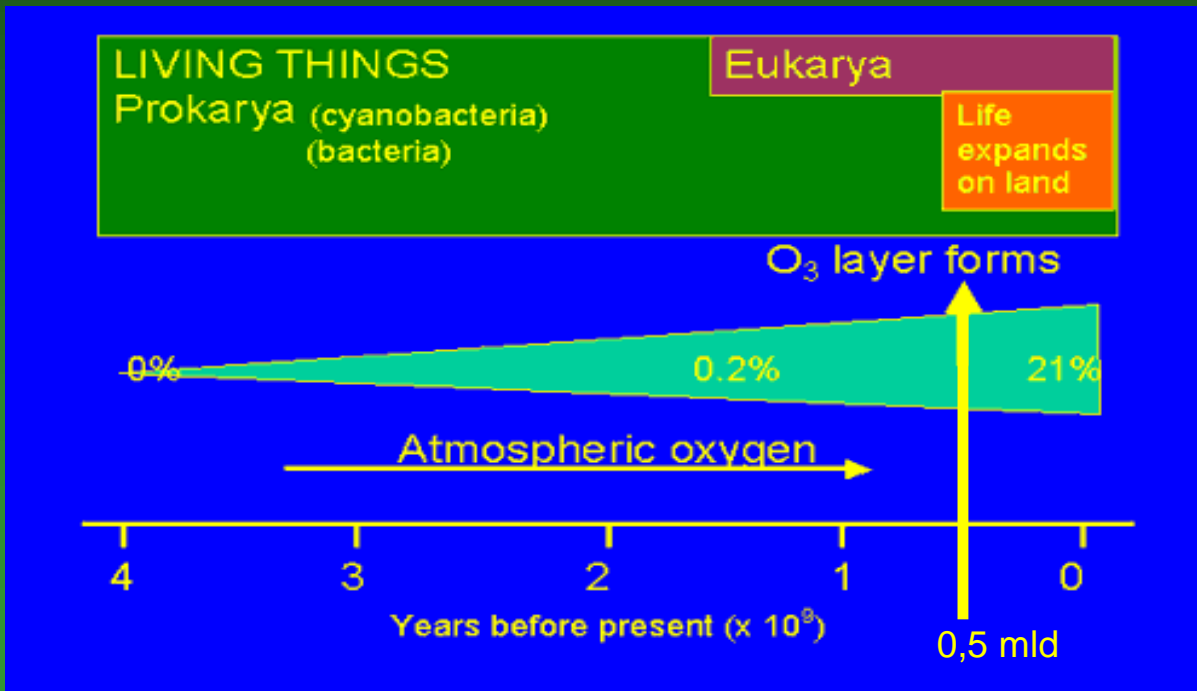
= polyfenolický biopolymer



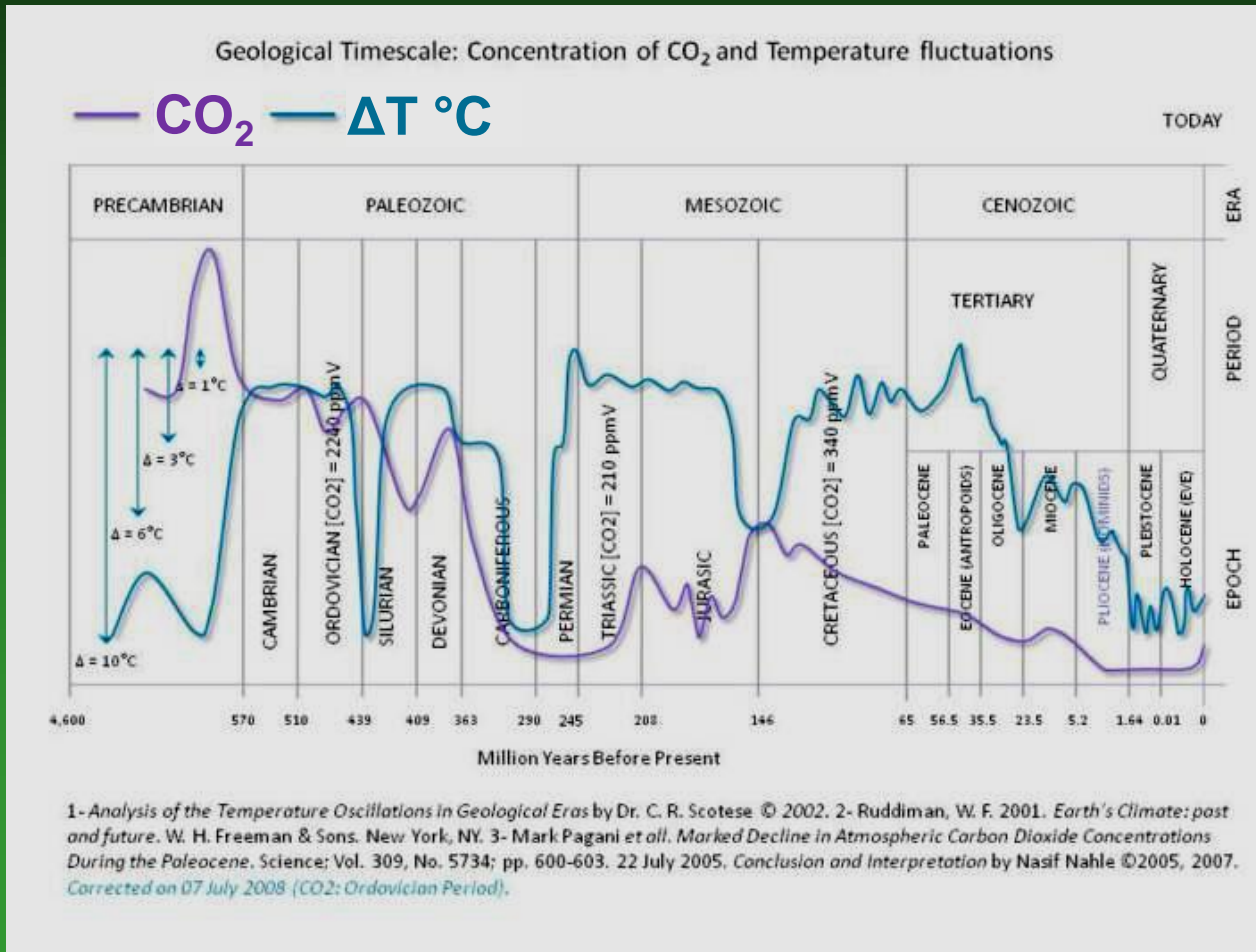


(2) vytvoření ozónové vrstvy = ochrany před UV zářením

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



(3) Růst koncentrace atmosférického CO₂ => vznik půd činností mikroorganismů



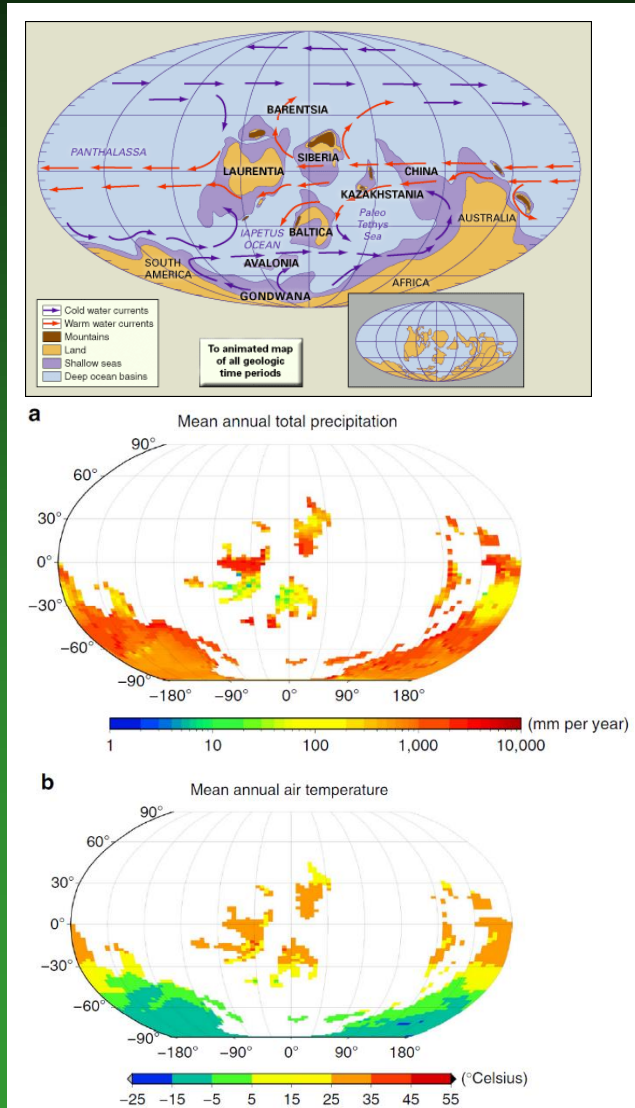
V kambriu až siluru
bylo CO₂ 18x víc
než dnes !

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

⇒ Kyselejší déšť =
intenzivnější
oxydace hornin

(4) Vlhké klima

skleníkový efekt CO_2 = celkově teplejší a vlhčí klima
na J pólu velký kontinent Gondwana = na pólu velký ledovec



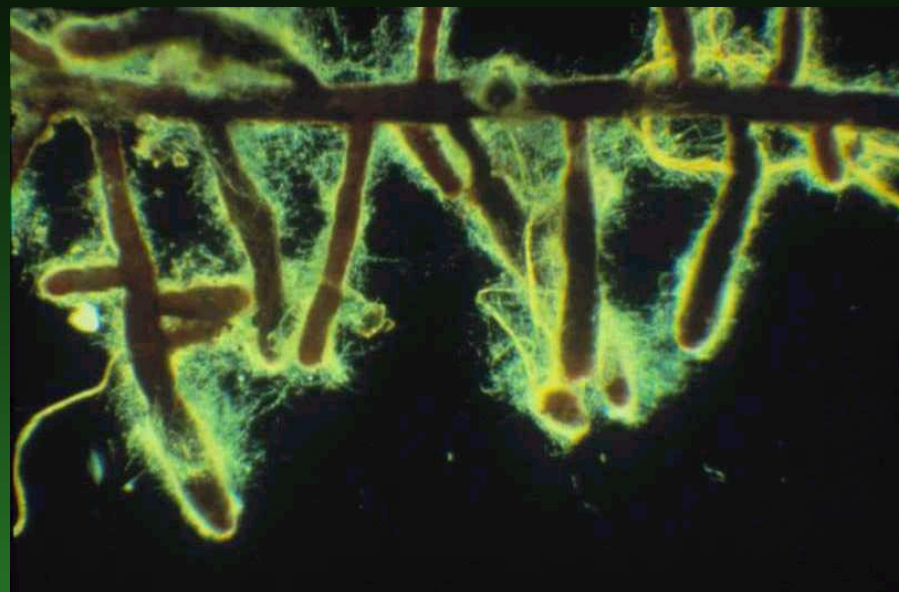
Mezi chladným ledovcem a horkým + vlhkým pobřežím = monzunové klima

Dostatek srážek =
zvětrávání hornin =
půdotvorba

Vlhkost = ideální klima pro
terestrializaci

(5) Symbióza řas s houbami

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



vodní Oomycota

Mykorhiza však 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.

(5) Symbióza řas s houbami

Jiná forma řasové a houbové symbiózy – lišejníky – také úspěšně kolonizovaly souš
Pomohly velmi při tvorbě půdy – prostředí – z něhož rostliny dovedou živiny získávat

Zemi kolonizovaly Charophyta, resp. jednobuněčné nebo vláknité Zygnematophyceae. To, co z těchto terestrických forem „zbylo“, jsou dnešní vyšší rostliny.

Dnešní Zygnematophyceae jsou ty, co zůstaly ve vodě, nebo se do ní vrátily.



Fosilie permských lišejníků



Recentní lišejník

Symbióza řas s živočichy nebo prvky? = zotročení rostliny

Nezmaři, živočišné houby, trepky a slunivky v sobě mají endosymbiotické zelené řasy. Jak taková symbióza končí vidíme u krásnoočka: zelenou řasu „sežralo“ a udělalo si z ní chloroplast

Cnidaria
Opisthokonta



nezmar
(*Hydra*)

Porifera
Opisthokonta



houba rybníční
(*Spongilla lacustris*)

Ciliata
Chromalveolata



trepka
(*Paramecium*)

Heliozoa
Rhizaria



osténka
(*Acanthocystis turfacea*)

Euglenozoa
Excavata



krásnoočko
(*Euglena gracilis*)

Řasa žije v živočichovi = „opak“ endomykorrhizy – kdy žije houba v rostlině, ale zčásti i volně vně v kontaktu se substrátem, z něhož zpřístupňuje anorganické živiny rostlině, a rostlina jí za to dává látky uhlíkaté

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?

-  přístup ke světlu
-  snadnější přístup k CO₂
-  staly se klíčovým faktorem při evoluci diverzity vlastního prostředí, opylovačů, ale i herbivorů a parazitů
-  možnost využívat vítr jako efektivní vektor šíření (dia)spór na velké vzdálenosti a nástroj kolonizace v „boji o životní prostor“

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?



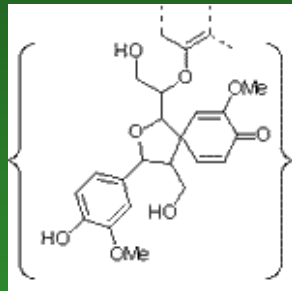
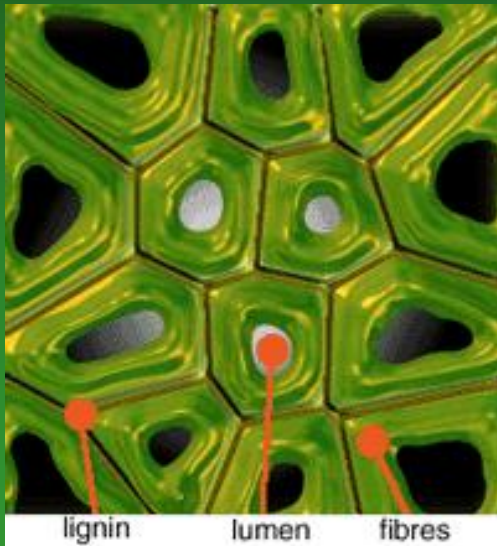
Působení gravitace, větru, sněhu, námrazy, býložravců

Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?

☹️ Působení gravitace, větru, sněhu, námrazy, býložravců

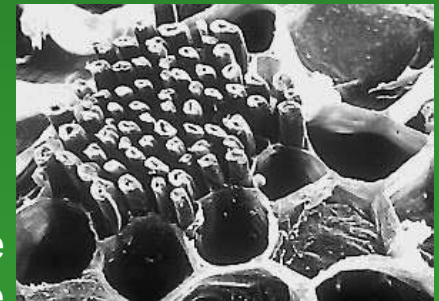
😊 Zvýšení konstrukční pevnosti

(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

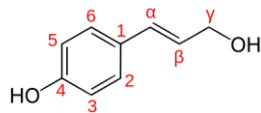
😊 Zvýšení konstrukční pevnosti

(1a) **lignin** – jeho biosyntéza vychází z metabolických drah na jejichž počátku je L-fenylalanin katalyzován phenylalanine ammonia-lyázou (PAL)

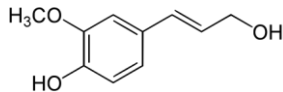
Fenylpropanoidy

= deriváty fenylpropanu
= prekurzory ligninu

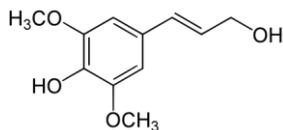
p-kumarylalkohol



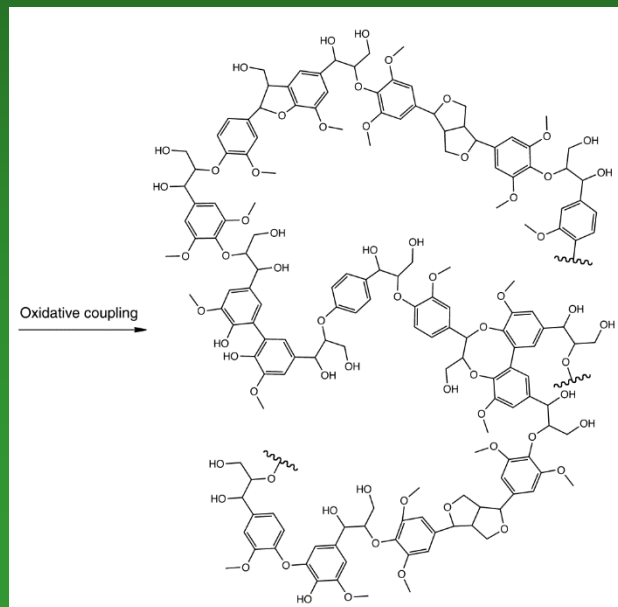
koniferylalkohol



sinapylalkohol



Lignin



Z těchto metabolických drah se u streptofyt vyvinuly:

- biosyntéza flavonoidů
= ochrana před UV
- biosyntéza sporopoleninu
= ochrana spór před vysycháním
- genová duplikace
→ modifikace
→ nová funkce
- biosyntéza ligninu

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 CO_2 + ven H_2O

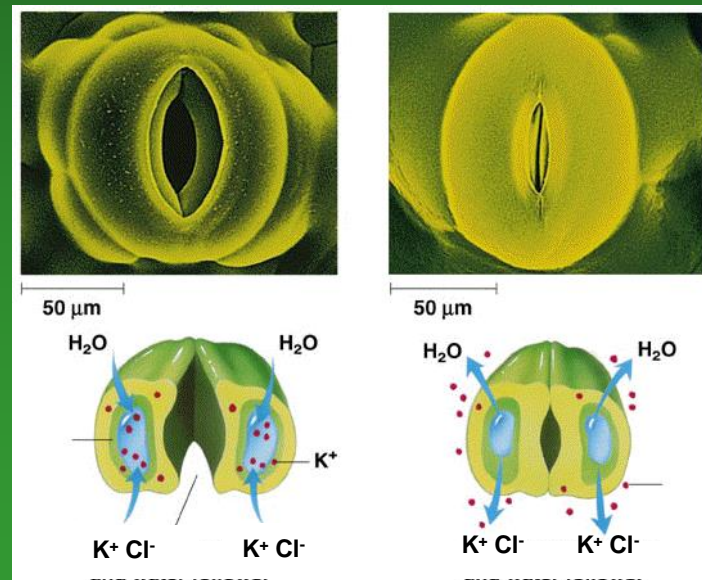


Průduchy:

Nemají plasmodesmy = nekomunikují s okolními buňkami

Mají chloroplasty (jiné epidermální buňky zpravidla ne)

Otvírají a zavírají se turgorem řízeným protonovou pumpou K^+ a Cl^- iontů



Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?

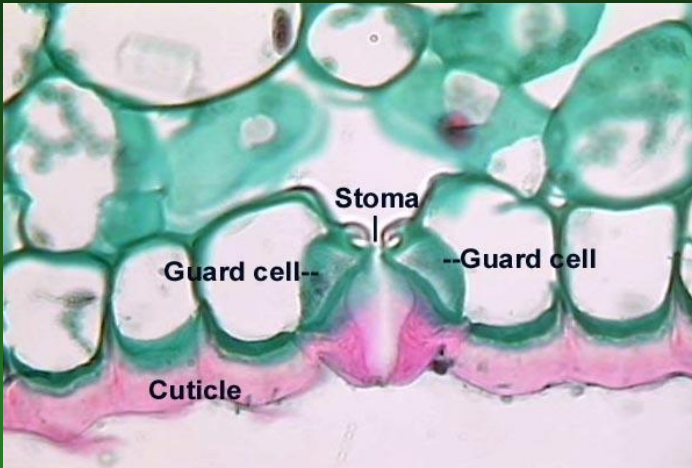


Sucho

Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?



Sucho



Kutikula

tenká (1–15 μm) 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?

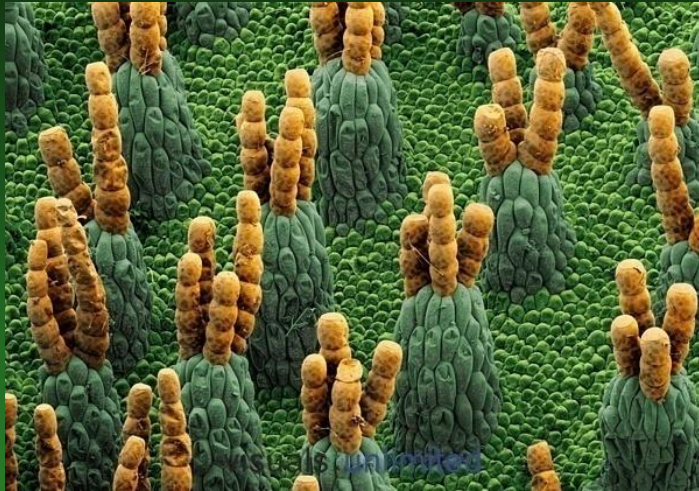


Sucho

Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?



Sucho



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



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

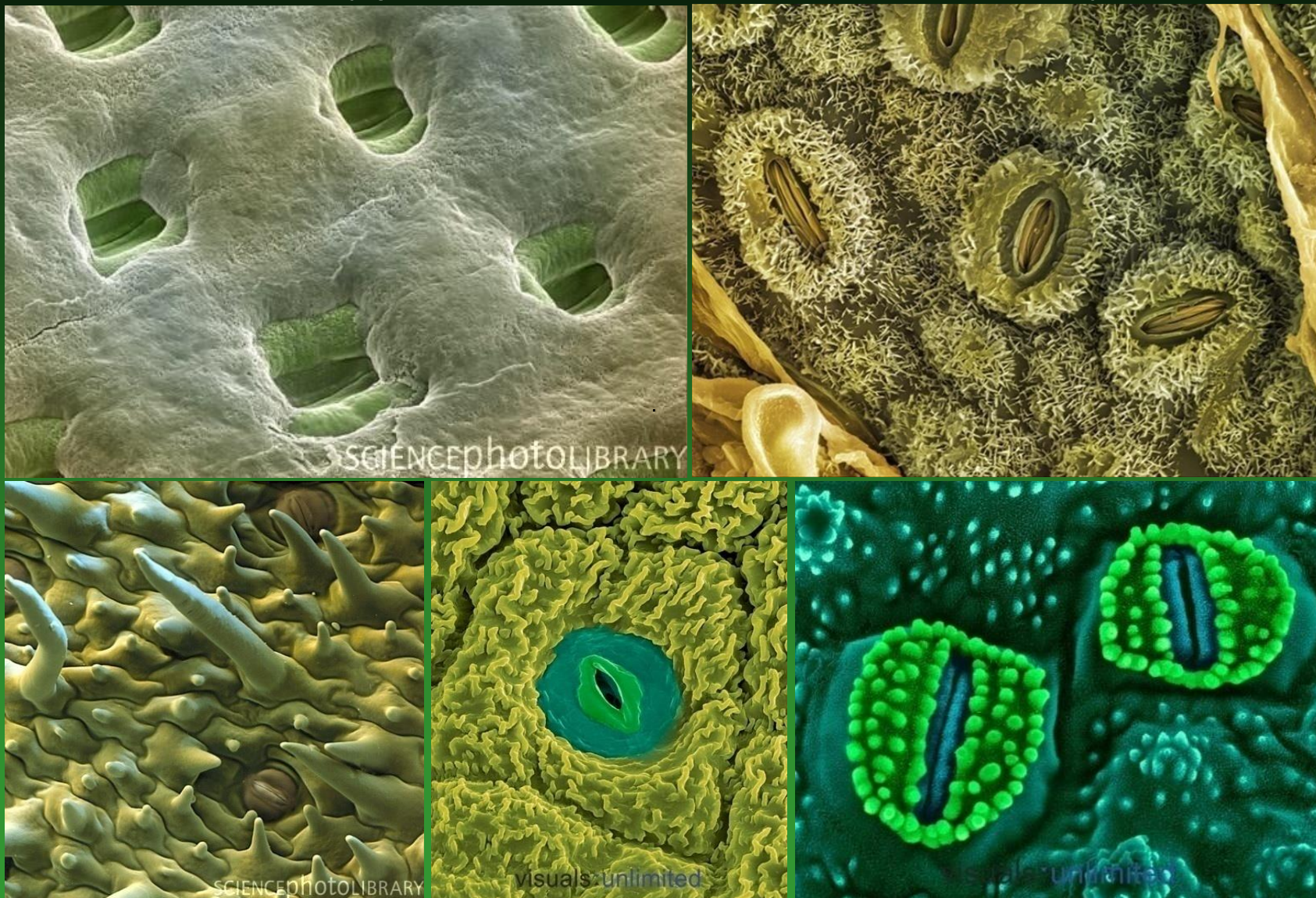


Trichomy – vytvářejí vyšší vrstvu nepohyblivého vzduchu „boundary layer“ nad průduchy = adaptace snižující výpar



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

Kutikula a průduchy jedle, dubu, opuncie, brukve a přesličky



Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?



Sucho

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
parožnatek



Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?



Sucho

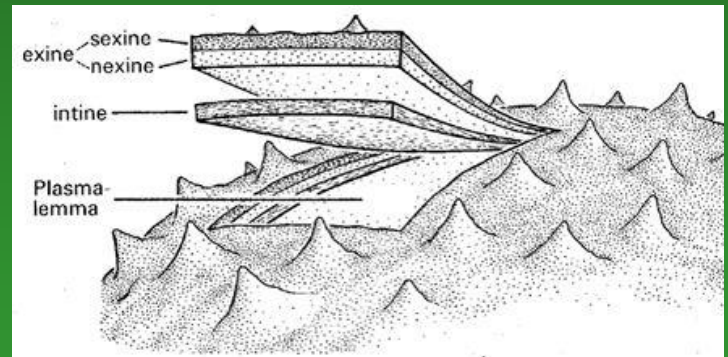
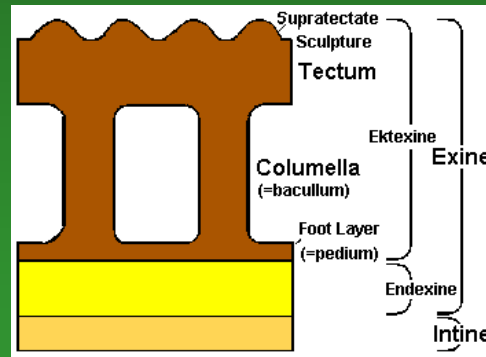
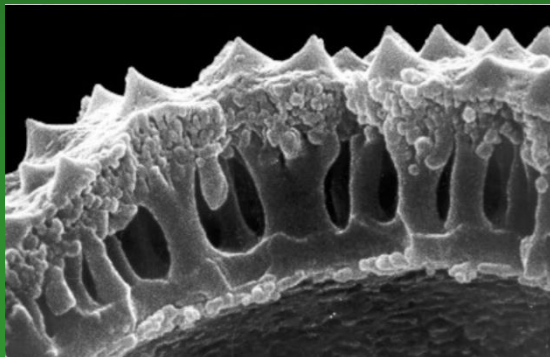


Rezistentní obal spór / pylu

– dvouvrstevný

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

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

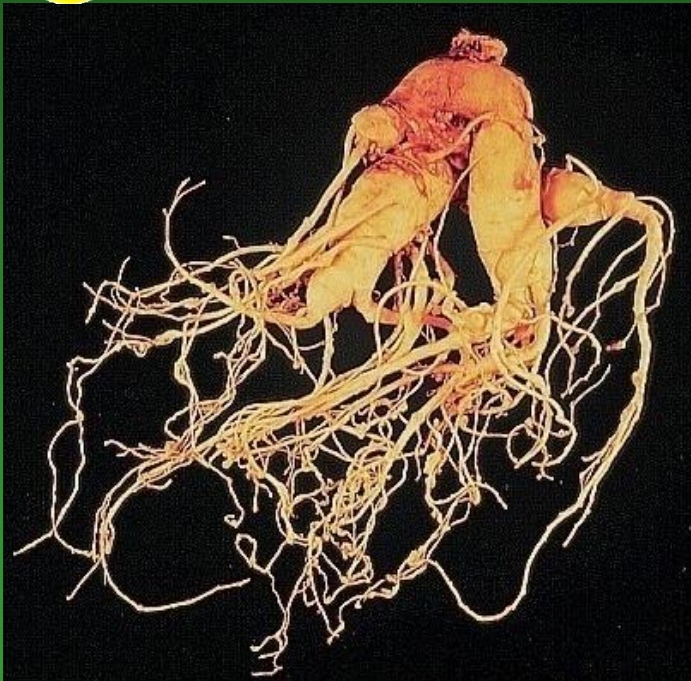
Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?

☹️ ztráta možnosti přijímat živiny celým povrchem těla

příjem a vedení živin ve vodním roztoku z půdy zajišťují

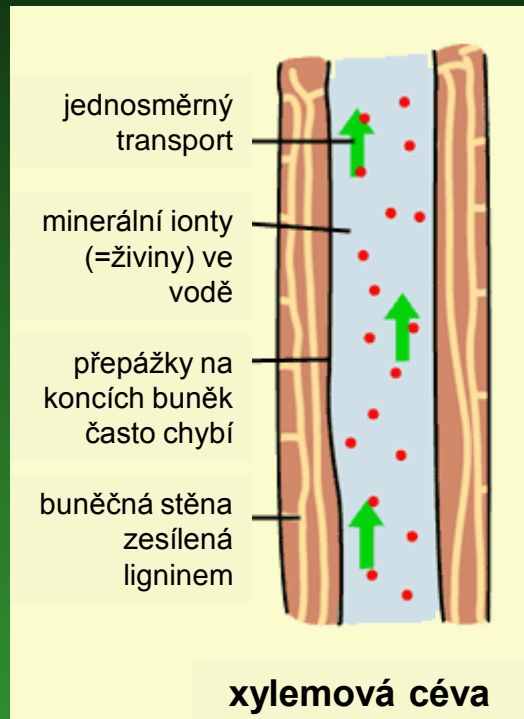
😊 kořeny a kořenové vlášení (nemají kutikulu) / rhizoidy

😊 vodivá pletiva



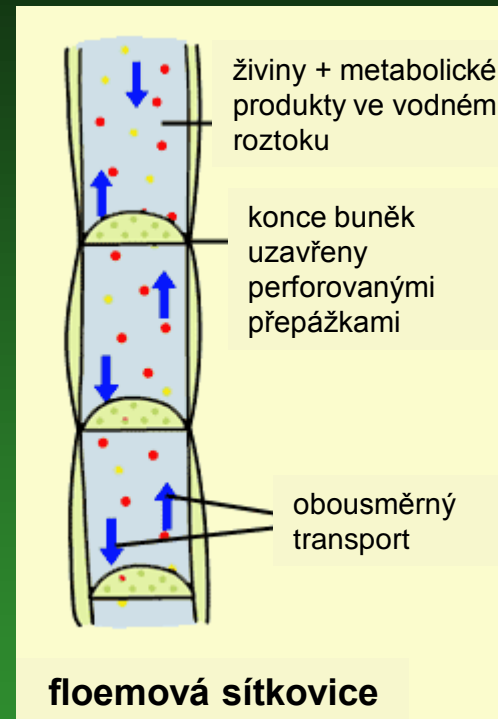
Dvě části cévních svazků

dřevní



xylem

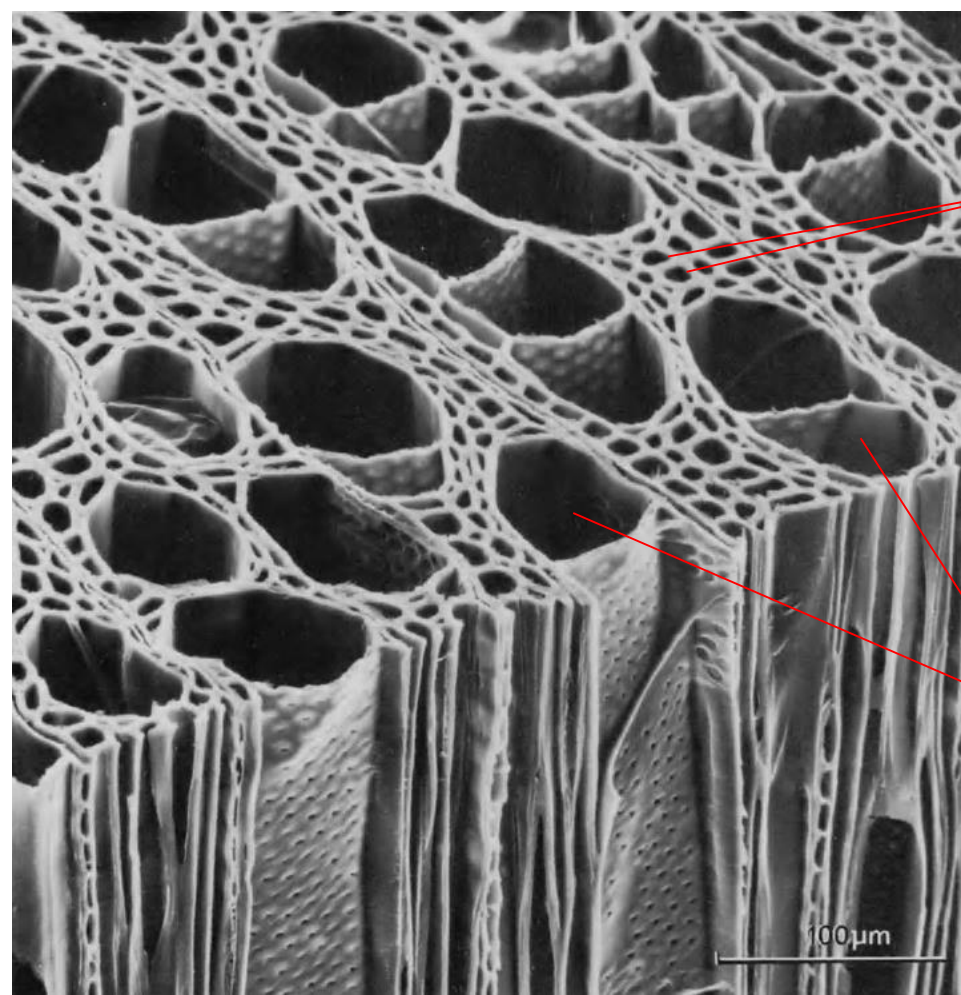
lýková



floem

Tracheidy (cévice) i tracheje (cévy) jsou buňky mrvé, u nichž došlo po dokončení výztuže stěny k autolýze protoplastu, jsou však vyplněny vodním roztokem. Pokud by došlo k jejich zavzdušnění (vzduchové embolii), stávají se nefunkčními. Naproti tomu sítkovice mají zbytek protoplastu.

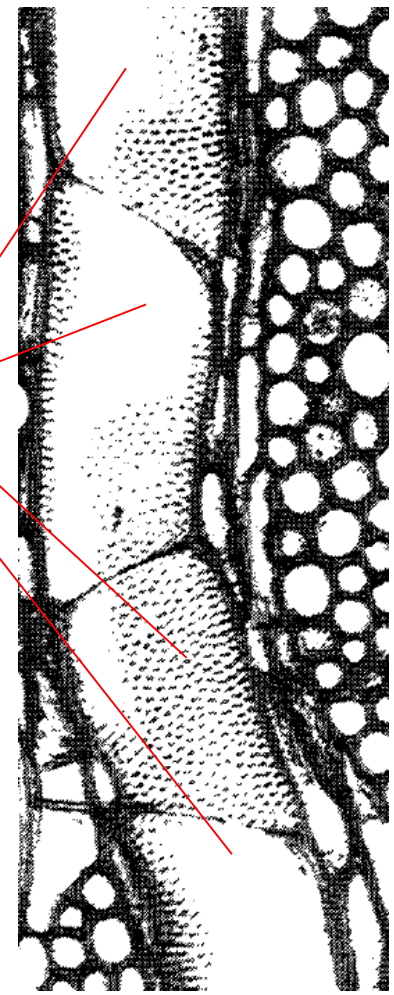
Struktura xylemu



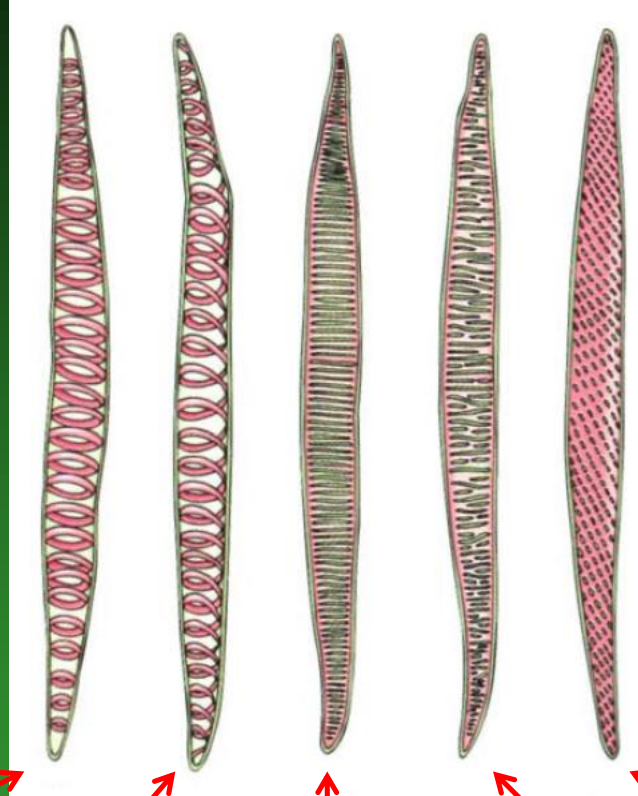
tracheidy

tracheální
články
tvořící
tracheu

trachey
(tracheje)



Typy sekundární výztuže tracheid / trachejí



Prstencová

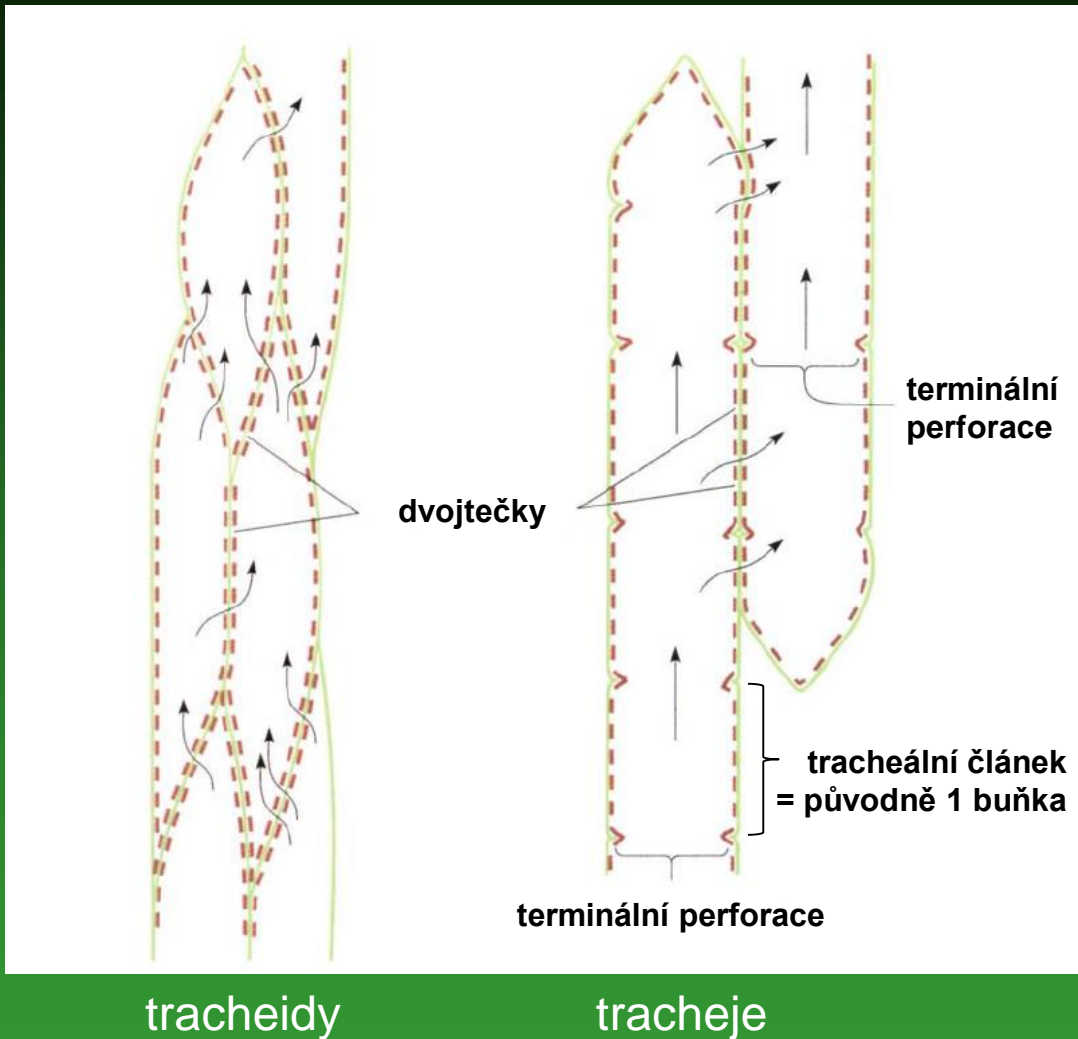
Spirální

Žebříčková

Síťnatá

Perforovaná

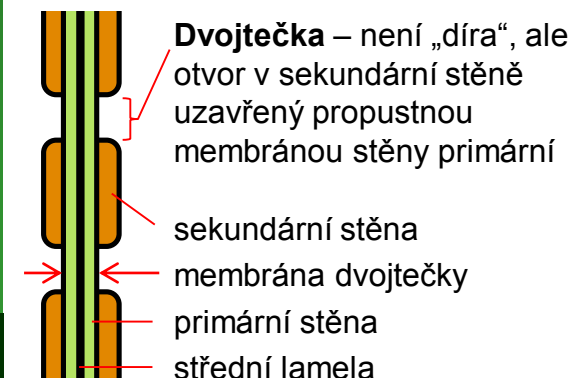
Struktura xylemu



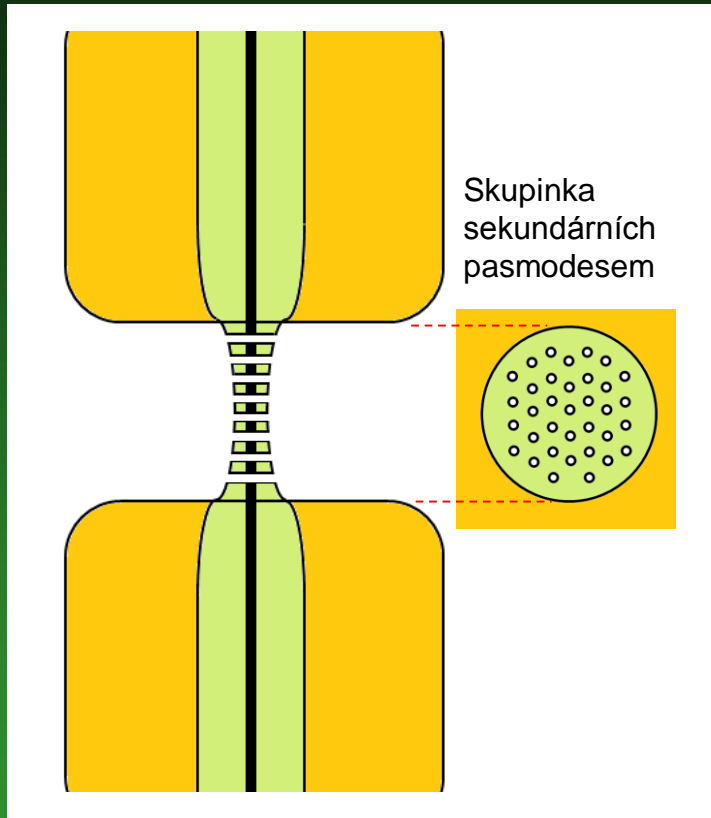
Při výšce rostliny 1 m a délce tracheidy 1 mm musí roztok minimálně 1000x přes membránu

1. **Tracheidy** – tím jak nemají koncové napojení musí to jít i **vzestupně přes dvojtečky**.
Bočně přes dvojtečky.

2. **Tracheje** „za sebou“ tvoří dlouhé „roury“, ale ne přes celou rostlinu. Chvilí může jít roztok **vzestupně přes koncové perforace**, ale čas od času i **přes dvojtečky**.
Bočně jen přes dvojtečky.



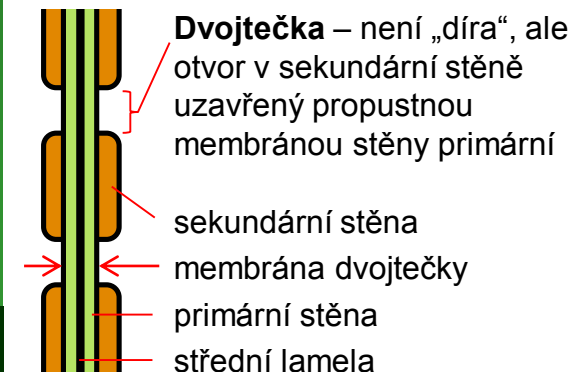
Struktura xylemu



Primární stěna – celulózní – tvoří se po mitotickém vzniku buňky

Sekundární stěna – lignifikovaná – ukládá se na primární stěnu buňky důsledkem metabolických procesů v buňce

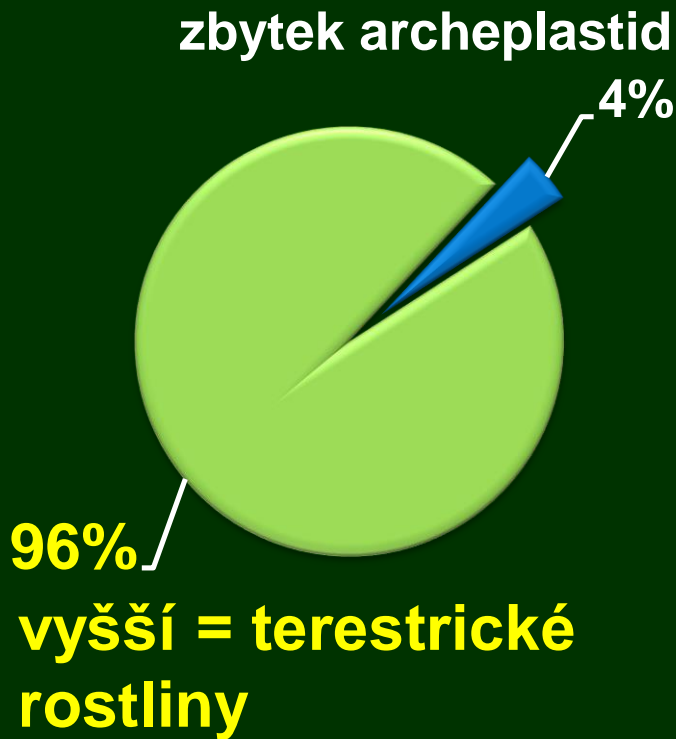
Dvojtečky – vznikají naproti sobě v sousedních buňkách



Při výšce rostliny 1 m a délce tracheidy 1 mm musí roztok minimálně 1000x přes membránu

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**

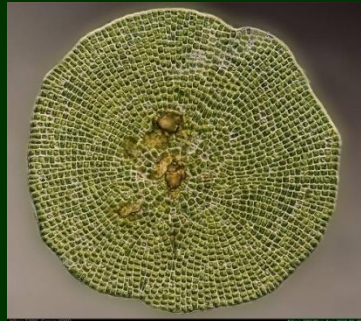
= „zesložiténí“ struktury = vznik pletiv a orgánů tvořících tělo (cormus)

vyšší rostliny proto nazývány též **Cormophyta**

Vodní prostředí = strukturně homogenní stélka řas



Ulva, Chlorophyta



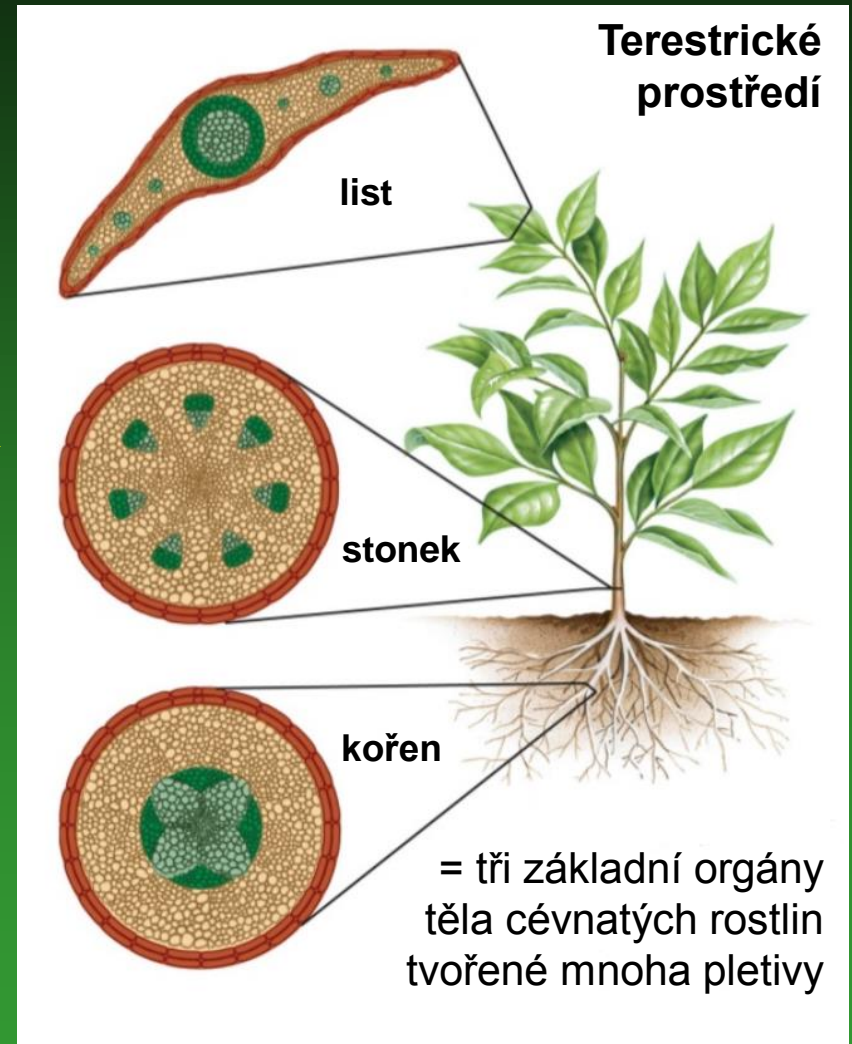
Coleochaete, Charophyta



Dictyota, Phaeophyta



Porphyra, Rhodophyta



Důsledek terestrializace – **evoluce komplexity**

Vztah mezi velikostí a komplexitou rostlinné stavby

Největší bezcévné

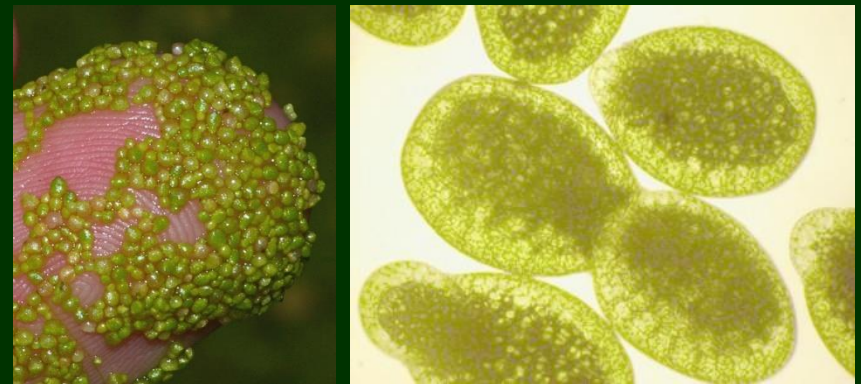
Drobné mechy ve vlhku „nepotřebují“ složitější anatomii. Avšak čím jsou větší, tím mají anatomickou stavbu složitější.



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 tělísky 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 tetrestrializaci 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 životního cyklu**



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

| | mechorosty | plavuně kapradiny | semenné rostliny |
|----------------------------------|------------|----------------------|---------------------|
| opakovaně na sobě tvoří sporofyt | A | N | N |
| gametofyt | | | |
| sporofyt | | | |

Důsledek terestrializace – **evoluce životního cyklu**



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

| | mechorosty | plavuně kapradiny | semenné rostliny |
|---|------------|----------------------|---------------------|
| opakovaně na sobě tvoří sporofyt gametofyt dlouhověkost / nezávislost výživy | A | N | N |
| | A | A | N |
| sporofyt | | | |

Důsledek terestrializace – **evoluce životního cyklu**



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

| | mechorosty | plavuně kapradiny | semenné rostliny |
|---|------------|----------------------|---------------------|
| opakovaně na sobě tvoří sporofyt | A | N | N |
| gametofyt dlouhověkost / nezávislost výživy | A | A | N |
| nedeterminovaný růst | A | A | N |
| sporofyt | N | A | A |

Důsledek terestrializace – **evoluce životního cyklu**



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

| | mechorosty | plavuně kapradiny | semenné rostliny |
|---|------------|----------------------|---------------------|
| opakovaně na sobě tvoří sporofyt | A | N | N |
| gametofyt dlouhověkost / nezávislost výživy | A | A | N |
| nedeterminovaný růst | A | A | N |
| může být oboupohlavný | A | A | N |
| sporofyt | | | |

Důsledek terestrializace – **evoluce životního cyklu**



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

| | | mechorosty | plavuně kapradiny | semenné rostliny |
|---|--|------------|----------------------|---------------------|
| opakovaně na sobě tvoří sporofyt | | A | N | N |
| gametofyt dlouhověkost / nezávislost výživy | | A | A | N |
| nedeterminovaný růst | | A | A | N |
| může být oboupohlavný | | A | A | N |
| sporofyt nedeterminovaný růst | | N | A | A |

Důsledek terestrializace – **evoluce životního cyklu**



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

| | | mechorosty | plavuně kapradiny | semenné rostliny |
|---|--|------------|----------------------|---------------------|
| opakovaně na sobě tvoří sporofyt | | A | N | N |
| gametofyt dlouhověkost / nezávislost výživy | | A | A | N |
| nedeterminovaný růst | | A | A | N |
| může být oboupohlavný | | A | A | N |
| nedeterminovaný růst | | N | A | A |
| sporofyt dlouhověkost / nezávislost výživy | | N | A | A |

Důsledek terestrializace – **evoluce životního cyklu**



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

| | | mechorosty | plavuně kapradiny | semenné rostliny |
|-----------|-----------------------------------|------------|----------------------|---------------------|
| gametofyt | opakovaně na sobě tvoří sporofyt | A | N | N |
| | dlouhověkost / nezávislost výživy | A | A | N |
| | nedeterminovaný růst | A | A | N |
| | může být oboupohlavný | A | A | N |
| sporofyt | nedeterminovaný růst | N | A | A |
| | dlouhověkost / nezávislost výživy | N | A | A |
| | může být jednopohlavný | N | N | A |

Důsledek terestrializace – **evoluce životního cyklu**



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

| | | mechorosty | plavuně kapradiny | semenné rostliny |
|-----------|-----------------------------------|------------|----------------------|---------------------|
| gametofyt | opakovaně na sobě tvoří sporofyt | A | N | N |
| | dlouhověkost / nezávislost výživy | A | A | N |
| | nedeterminovaný růst | A | A | N |
| | může být oboupohlavný | A | A | N |
| sporofyt | nedeterminovaný růst | N | A | A |
| | dlouhověkost / nezávislost výživy | N | A | A |
| | může být jednopohlavný | N | N | A |
| | opakovaně na sobě tvoří gametofyt | N | N | A |

Důsledek terestrializace – **evoluce životního cyklu**



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

| | | mechorosty | plavuně kapradiny | semenné rostliny |
|-----------|-----------------------------------|------------|----------------------|---------------------|
| gametofyt | opakovaně na sobě tvoří sporofyt | A | N | N |
| | dlouhověkost / nezávislost výživy | A | A | N |
| | nedeterminovaný růst | A | A | N |
| | může být oboupohlavný | A | A | N |
| sporofyt | nedeterminovaný růst | N | A | A |
| | dlouhověkost / nezávislost výživy | N | A | A |
| | může být jednopohlavný | N | N | A |
| | opakovaně na sobě tvoří gametofyt | N | N | A |

I nejvíce redukovaný gametofyt krytosemenných je však tvořen více buňkami!

Důsledek terestrializace – **evoluce životního cyklu**



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

| | | mechorosty | plavuně kapradiny | semenné rostliny |
|-----------|-----------------------------------|------------|----------------------|---------------------|
| gametofyt | opakovaně na sobě tvoří sporofyt | A | N | N |
| | dlouhověkost / nezávislost výživy | A | A | N |
| | nedeterminovaný růst | A | A | N |
| | může být oboupohlavný | A | A | N |
| sporofyt | nedeterminovaný růst | N | A | A |
| | dlouhověkost / nezávislost výživy | N | A | A |
| | může být jednopohlavný | N | N | A |
| | opakovaně na sobě tvoří gametofyt | N | N | A |

I nejvíce redukovaný gametofyt krytosemenných je však tvořen více buňkami!

Směřuje evoluce k protipólu rodozměny koleochét a parožnatek, kde byla sporofytem jen zygota?

Důsledek terestrializace – **evoluce životního cyklu**



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

| | | mechorosty | plavuně kapradiny | semenné rostliny |
|-----------|-----------------------------------|------------|----------------------|---------------------|
| gametofyt | opakovaně na sobě tvoří sporofyt | A | N | N |
| | dlouhověkost / nezávislost výživy | A | A | N |
| | nedeterminovaný růst | A | A | N |
| | může být oboupohlavný | A | A | N |
| sporofyt | nedeterminovaný růst | N | A | A |
| | dlouhověkost / nezávislost výživy | N | A | A |
| | může být jednopohlavný | N | N | A |
| | opakovaně na sobě tvoří gametofyt | N | N | A |

I nejvíce redukovaný gametofyt krytosemenných je však tvořen více buňkami!

Směřuje evoluce k protipólu rodozměny koleochét a parožnatek, kde byla sporofytem jen zygota?

Je jejím cílem, aby gametofytem byly jen samotné gamety, jako u živočichů?

Důsledek terestrializace – **evoluce životního cyklu**



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

| | | mechorosty | plavuně kapradiny | semenné rostliny |
|-----------|-----------------------------------|------------|----------------------|---------------------|
| gametofyt | opakovaně na sobě tvoří sporofyt | A | N | N |
| | dlouhověkost / nezávislost výživy | A | A | N |
| | nedeterminovaný růst | A | A | N |
| | může být oboupohlavný | A | A | N |
| sporofyt | nedeterminovaný růst | N | A | A |
| | dlouhověkost / nezávislost výživy | N | A | A |
| | může být jednopohlavný | N | N | A |
| | opakovaně na sobě tvoří gametofyt | N | N | A |

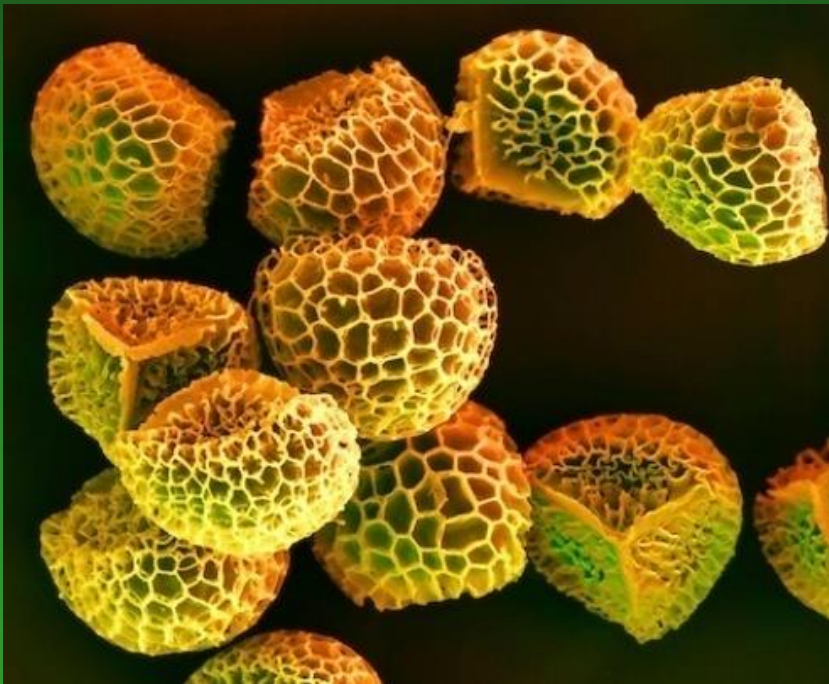
**Ne, evoluce žádný cíl nemá, ale její trajektorie mají svou příčinu!
Budoucí příčiny však nelze predikovat!**

Důsledek terestrializace – **evoluce semennosti**

Spóra vers. semeno

Obojí jsou tělíska představující klidové stadium, umožňující:

1. dobře přežít nepříznivé období

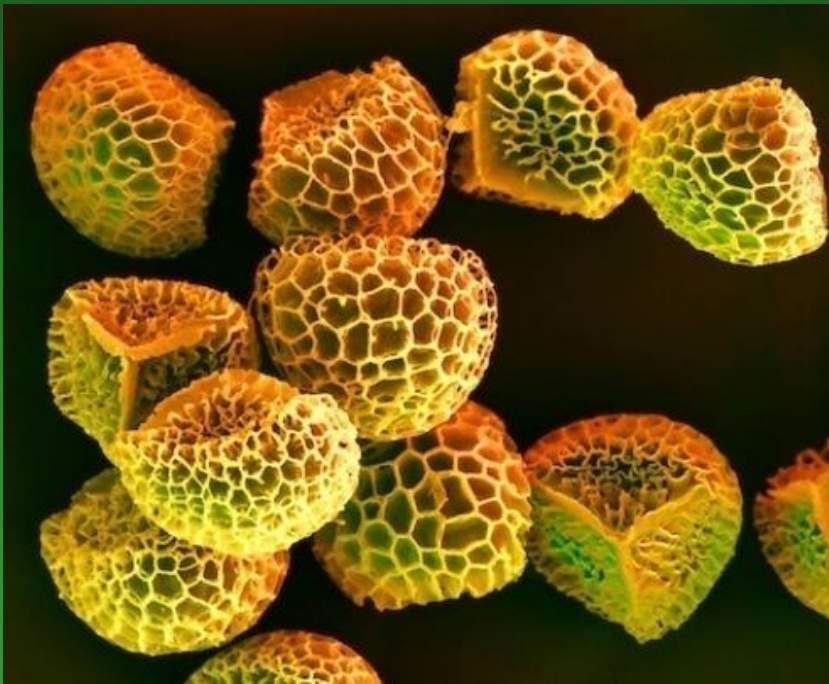


Důsledek terestrializace – **evoluce semennosti**

Spóra vers. semeno

Obojí jsou tělíska představující klidové stadium, umožňující:

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



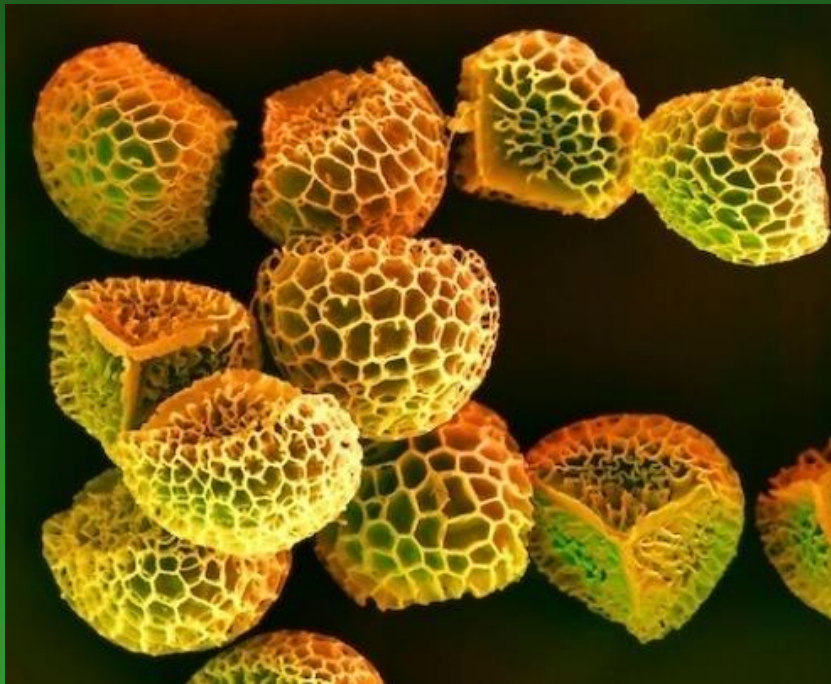
Důsledek terestrializace – **evoluce semennosti**

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



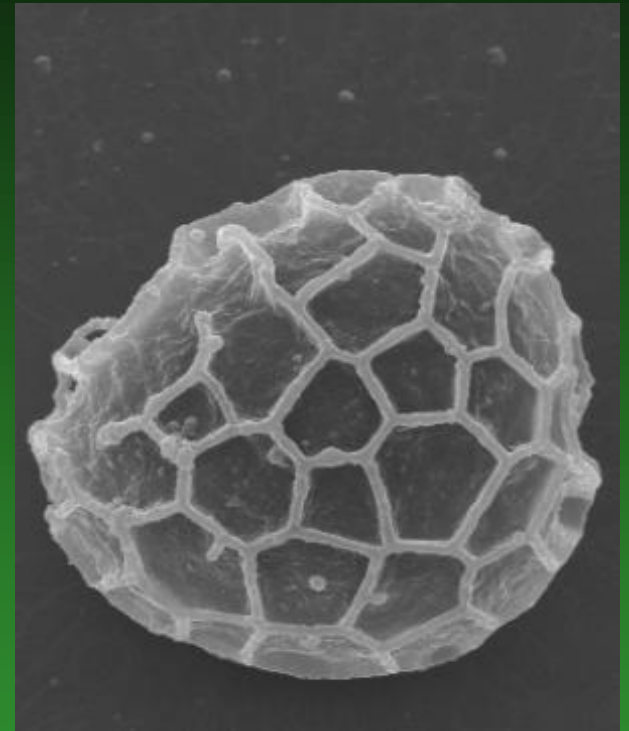
Důsledek terestrializace – **evoluce semennosti**

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*

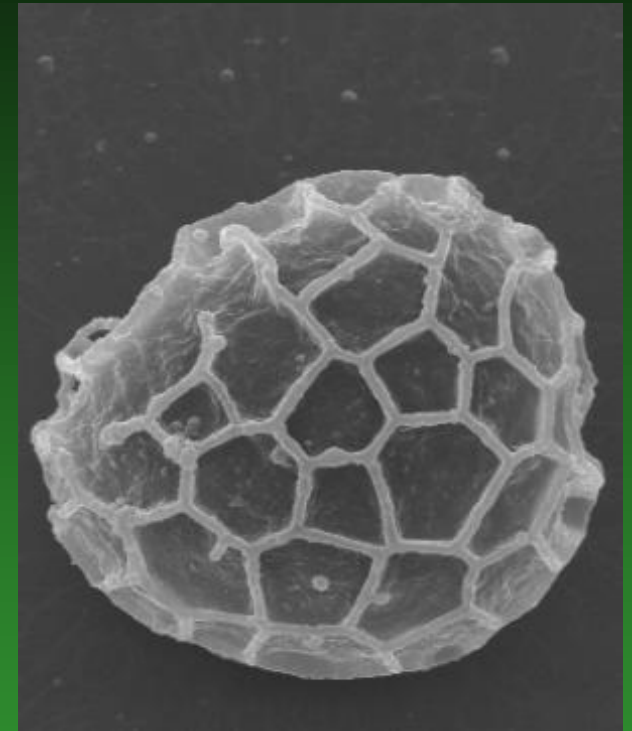
Důsledek terestrializace – **evoluce semennosti**

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!“

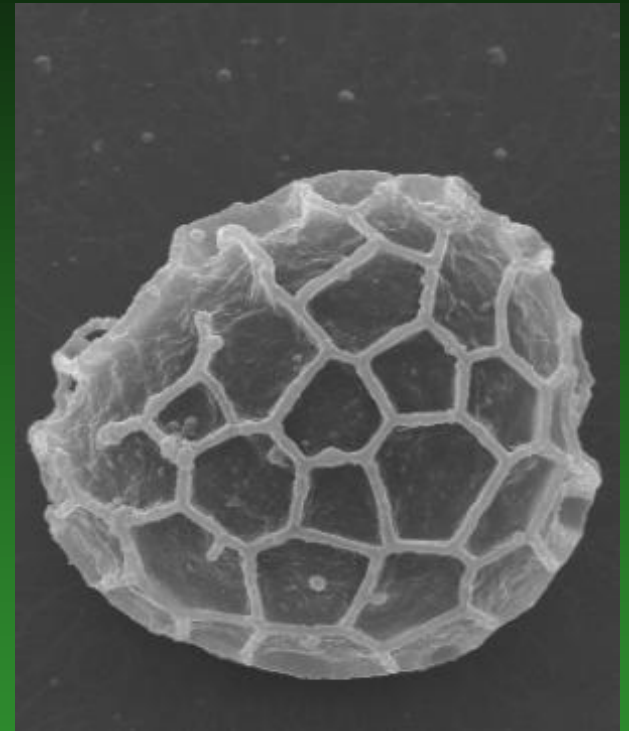
Důsledek terestrializace – **evoluce semennosti**

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 – **evoluce semennosti**

Semeno

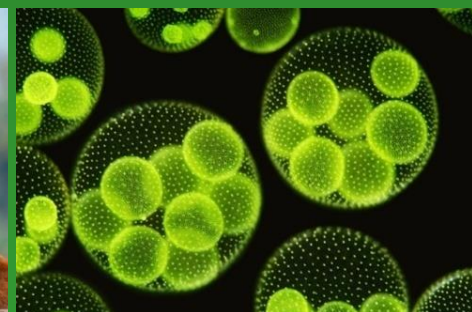
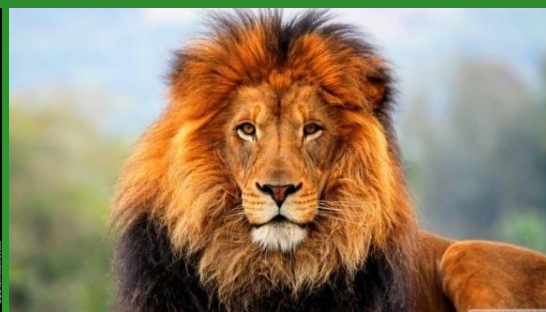
= konglomerát čtyř genomů tří generací:

1. osemení = obal vajíčka = „babička“ ($2n$) = sporofyt mateřské rostliny
2. perisperm = nucellus = „partenogenetická dcera“ (n) = gametofyt mateřské rostliny
- 3-4. embryo a endosperm = „vnouče“ ($2n$) a jeho „dvojče“ ($3n$) = nová generace, dceřiná rostlina a sekundární živné pletivo



Důsledek terestrializace – druhová divergence

> **298 tisíc popsaných druhů** – po živočiších nejbohatší evoluční linie
~ **16 % globální druhové diverzity**



Počty popsaných druhů

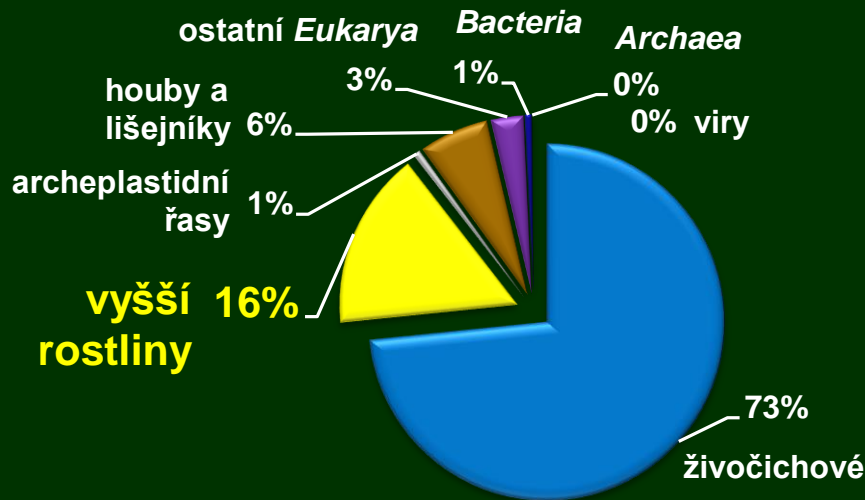
| | |
|------------------------|----------------|
| živočichové | 1 360 000 |
| vyšší rostliny | 298 000 |
| archeplastidní řasy | 12 300 |
| houby a lišejníky | 116 000 |
| ostatní <i>Eukarya</i> | 54 000 |
| <i>Bacteria</i> | 10 300 |
| <i>Archaea</i> | 500 |
| viry | 2 100 |

Důsledek terestrializace – druhová divergence

> **298 tisíc popsaných druhů** – po živočiších nejbohatší evoluční linie
~ **16 % globální druhové diverzity**

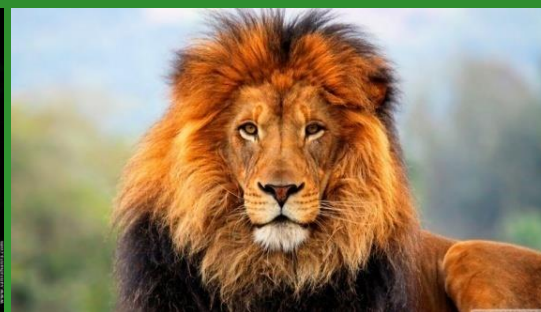
Chapman A.D.: Numbers of Living Species in Australia and the World, Canberra, 2009.

Podíl na globální diverzitě druhů



Počty popsaných druhů

| | |
|-----------------------|----------------|
| živočišové | 1 360 000 |
| vyšší rostliny | 298 000 |
| archeplastidní řasy | 12 300 |
| houby a lišejníky | 116 000 |
| ostatní Eukarya | 54 000 |
| Bacteria | 10 300 |
| Archaea | 500 |
| viry | 2 100 |



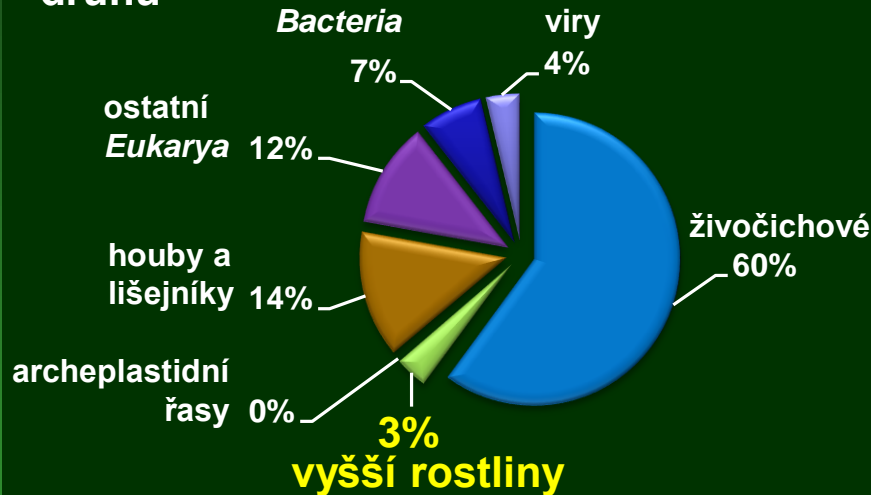
Důsledek terestrializace – druhová divergence

> 391 tisíc odhadovaných druhů

~ 3 % odhadnuté globální diverzity

Chapman A.D.: Numbers of Living Species in Australia and the World, Canberra, 2009.

Podíl na odhadnuté globální diverzitě druhů



Odhad existujících druhů

| | |
|-----------------------|----------------|
| živočichové | 6 566 000 |
| vyšší rostliny | 391 000 |
| archeplastidní řasy | 27 500 |
| houby a lišejníky | 1 525 000 |
| ostatní Eukarya | 1 271 500 |
| Bacteria | 750 000 |
| Archaea | ??? |
| viry | 400 000 |



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**

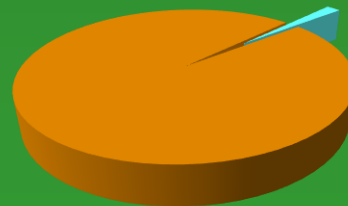
Vyšší rostliny tvoří jejich kostru

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**

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

Biomasa bakterií není započítána!

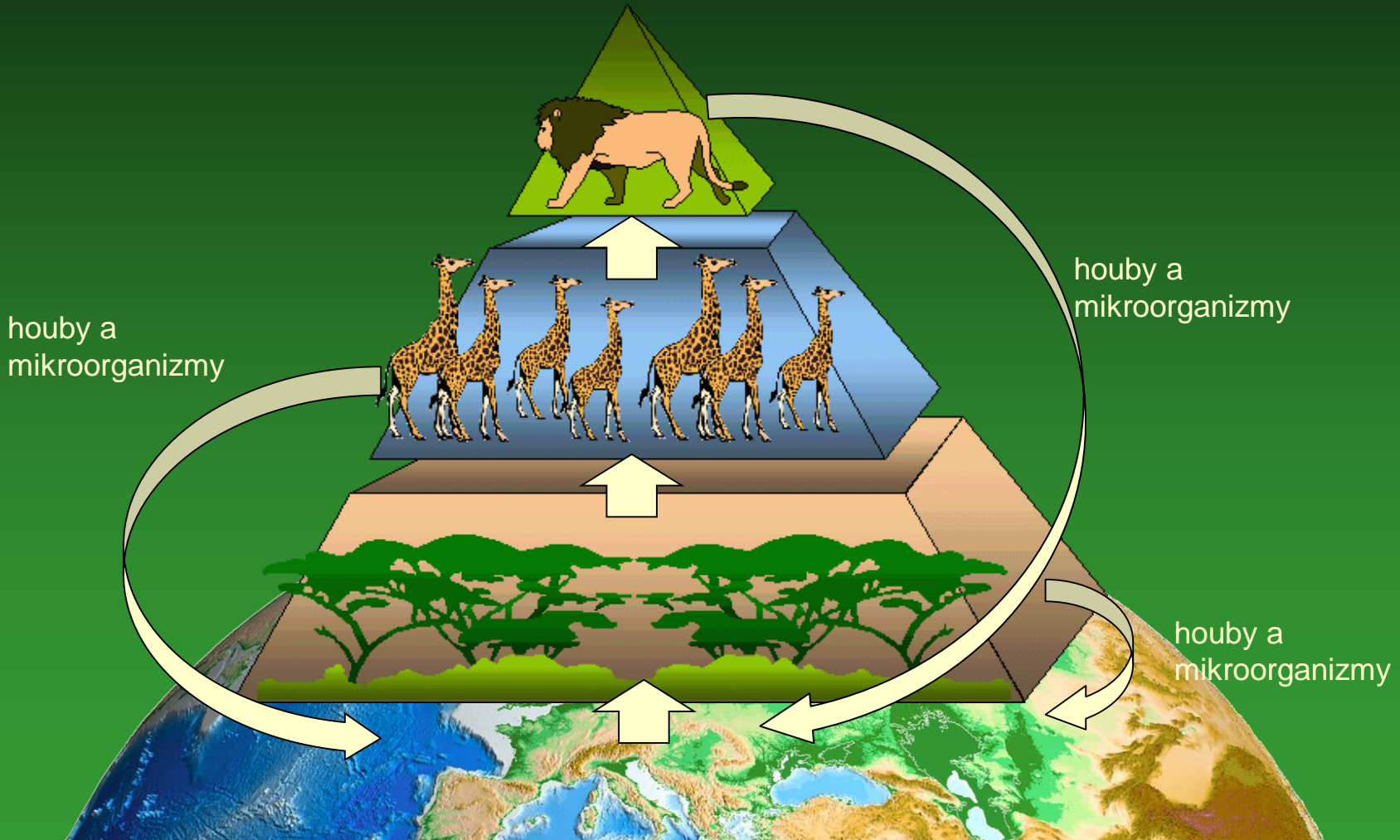
Důsledek terestrializace – **terestrické ekosystémy**

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

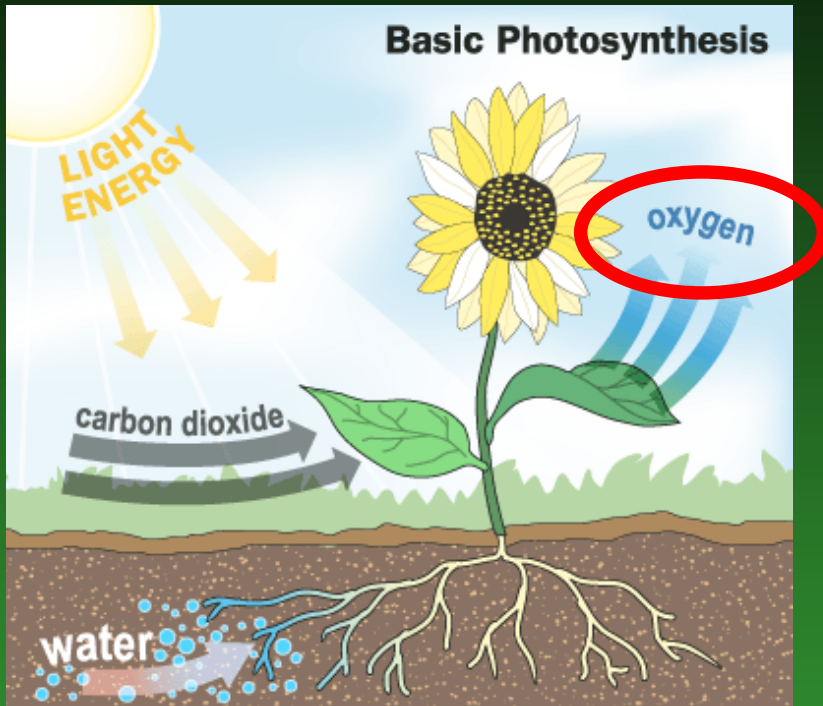


Důsledek terestrializace – **terestrické ekosystémy**

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



Důsledek terestrializace – **stabilita atmosféry**

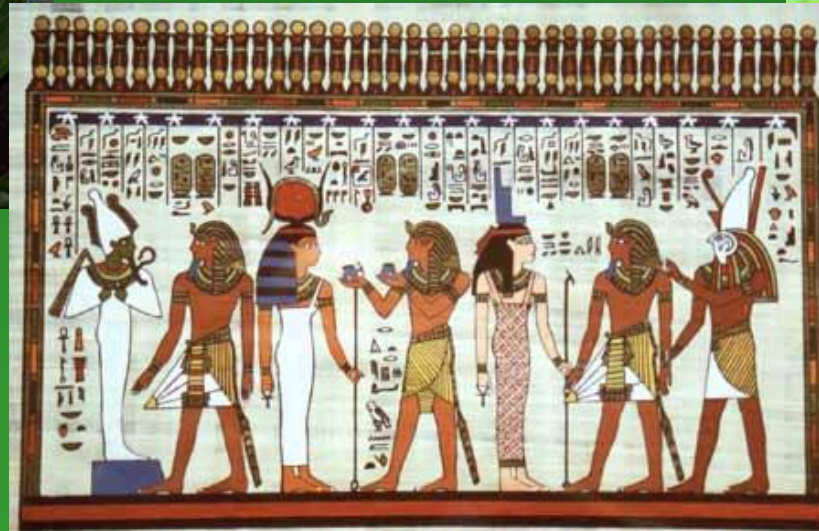
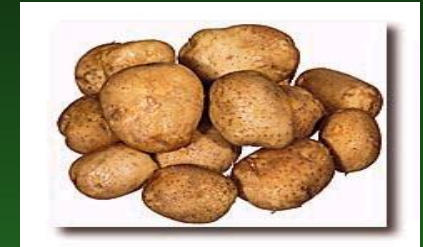


Mají zásadní podíl na tvorbě kyslíku v atmosféře

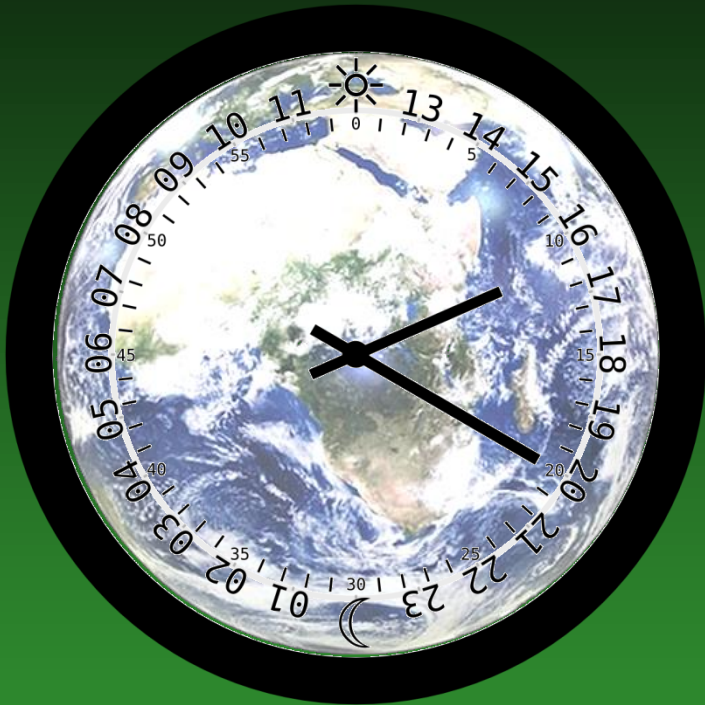
Na druhé straně vzrůst podílu kyslíku v atmosféře, vlivem řas a sinic, byl limitujícím faktorem terestrializace a tedy i vzniku vyšších rostlin a diverzifikace terestrických živočichů, především obojživelníků, plazů, savců a hmyzu.

Vyšší rostliny ve vztahu k člověku

Měly klíčovou roli ve vývoji lidské civilizace



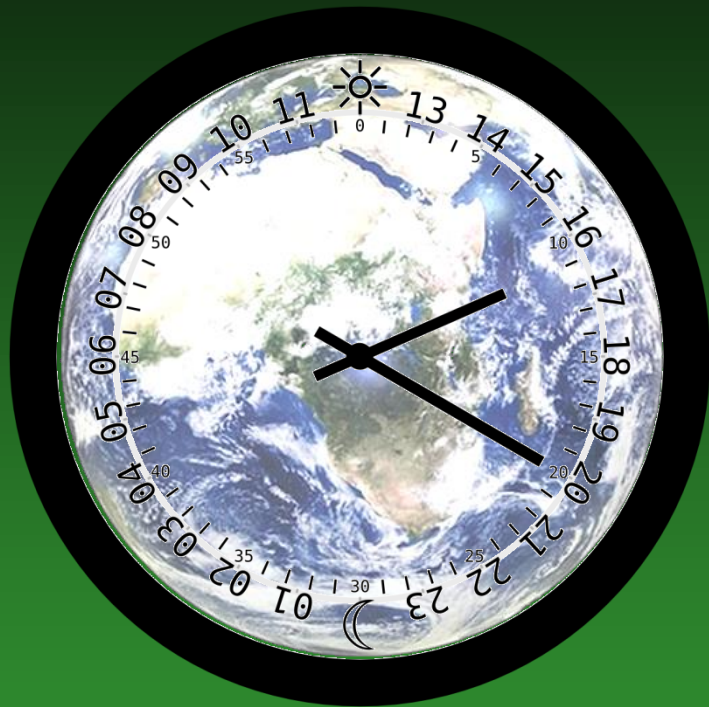
Shrnutí na časové škále: **věk Země 4,5 mld. let = 24 hodin**



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

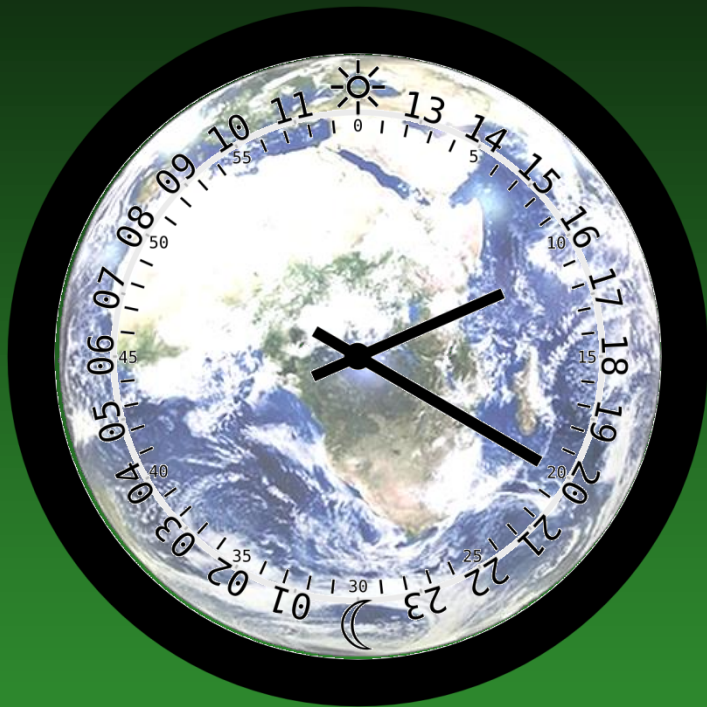
4 mld. BC.

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.

terestrializace
rostlin

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



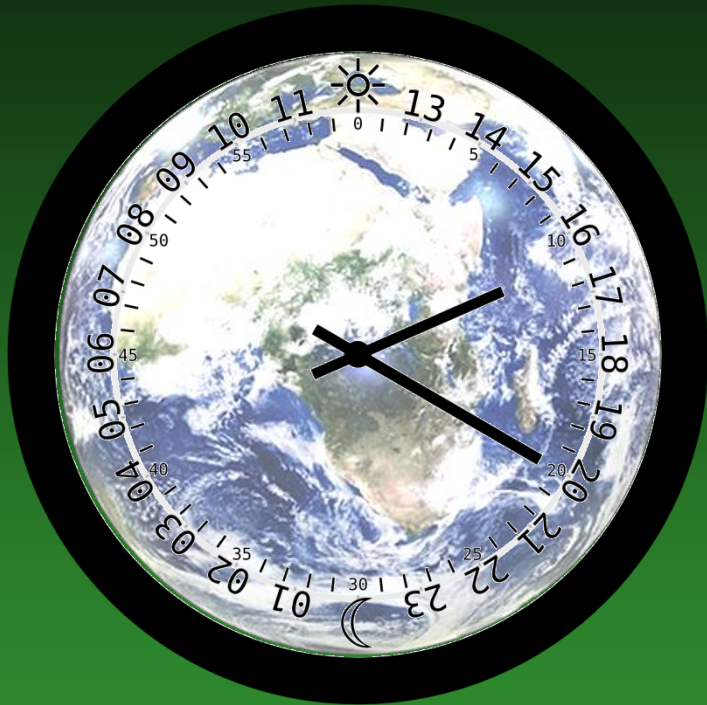
| | | |
|-------|----------------|--------------|
| 2:40 | zemská kůra | 4 mld. BC. |
| 5:20 | vznik života | 3,5 mld. BC. |
| 10:40 | <i>Eukarya</i> | 2,5 mld. BC. |

21:30 vyšší rostliny 480 mil. BC.

terestrializace
rostlin



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

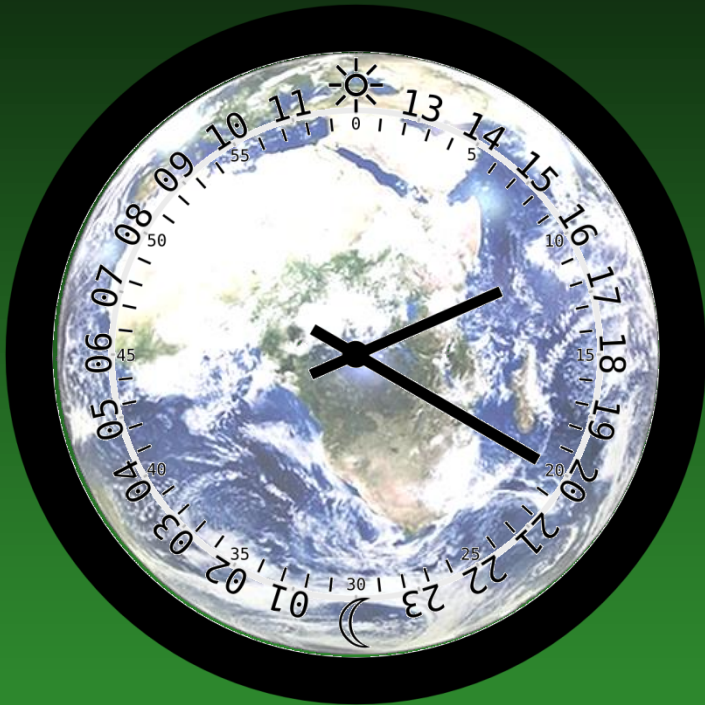


| | | |
|-------|---------------------|--------------|
| 2:40 | zemská kůra | 4 mld. BC. |
| 5:20 | vznik života | 3,5 mld. BC. |
| 10:40 | <i>Eukarya</i> | 2,5 mld. BC. |
| 11:12 | kyslíková atmosféra | 2,4 mld. BC. |

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

terestrializace
rostlin

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

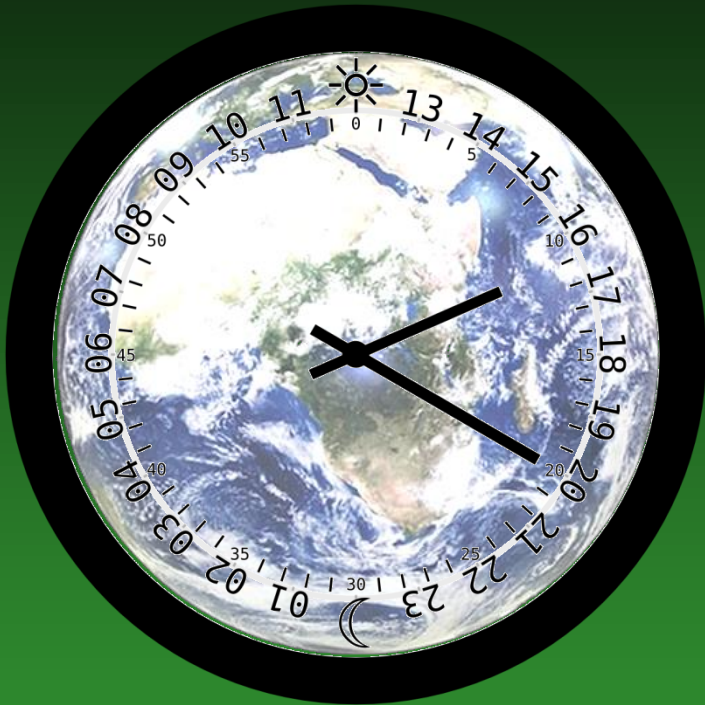


| | | |
|--------------|-----------------------|---------------------|
| 2:40 | zemská kůra | 4 mld. BC. |
| 5:20 | vznik života | 3,5 mld. BC. |
| 10:40 | <i>Eukarya</i> | 2,5 mld. BC. |
| 11:12 | kyslíková atmosféra | 2,4 mld. BC. |
| 14:20 | <i>Archaeplastida</i> | 1,8 mld. BC. |
| 21:30 | vyšší rostliny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

terestrializace
rostlin



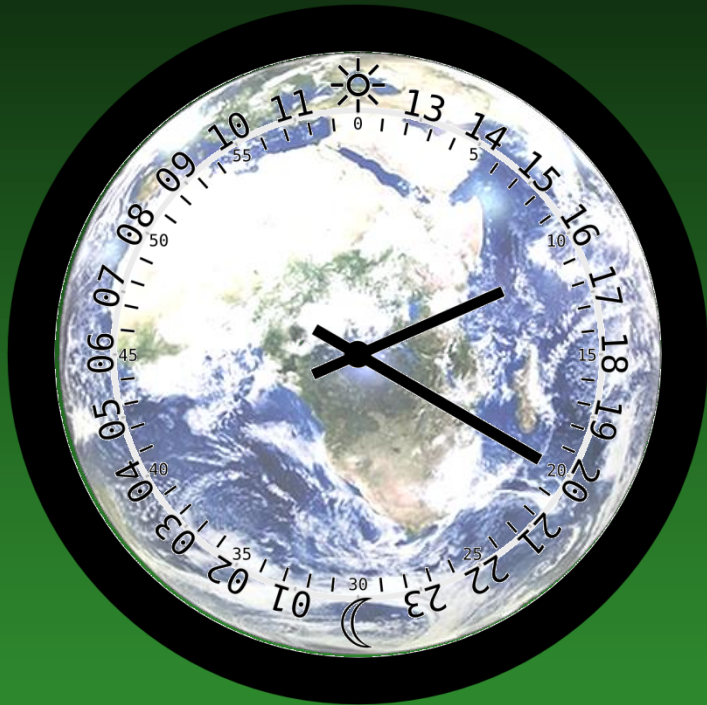
Shrnutí na časové škále: **věk Země 4,5 mld. let = 24 hodin**



| | | |
|--------------|-----------------------|---------------------|
| 2:40 | zemská kůra | 4 mld. BC. |
| 5:20 | vznik života | 3,5 mld. BC. |
| 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. |
| 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. |
| 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. |
| 21:30 | vyšší rostliny | 480 mil. BC. |
| 23:59:56 | <i>Homo sapiens</i> | 200 tis. BC. |

terestrializace
rostlin