



# 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

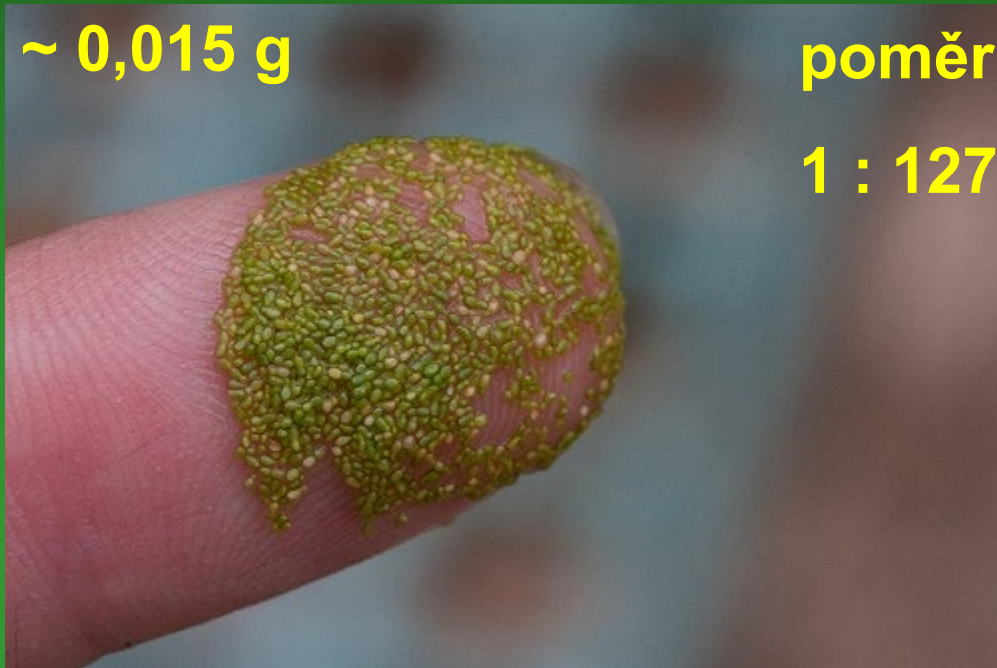
Nejobjemější – *Sequoiadendron giganteum* – jedinec s objemem 1487 m<sup>3</sup>  
– nazván General Sherman v = 83,8 m, Ø = 7,7 m, věk = 2300–2700 let, Sequoia  
National Park v Kalifornii

*Wolffia columbiana* (Araceae)

~ **0,015 g**

**poměr**

**1 : 127 miliard**



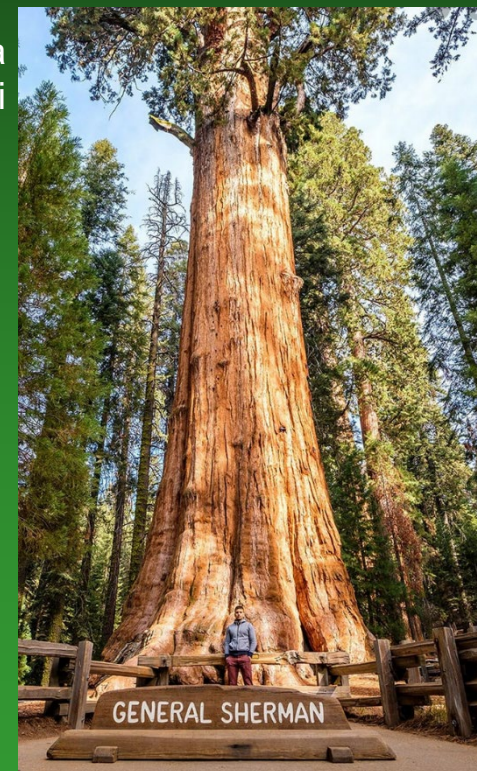
115,7 m

111 m



Hyperion

AZ Tower



~ **1900 tun**



# Jak vysoké jsou vyšší rostliny?

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

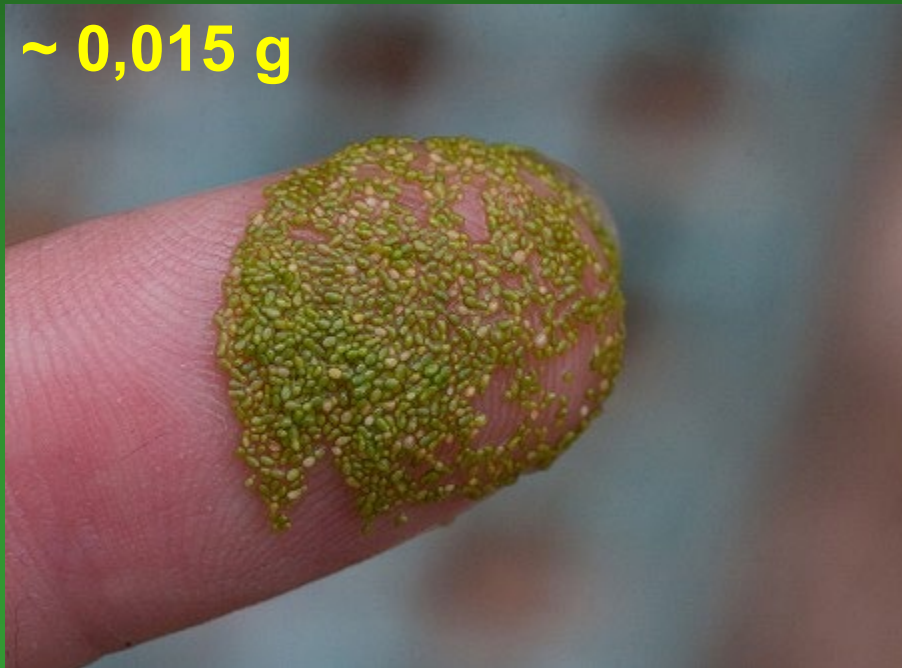
> **100 m** – gigantické jehličnany čel. *Taxodiaceae*

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*

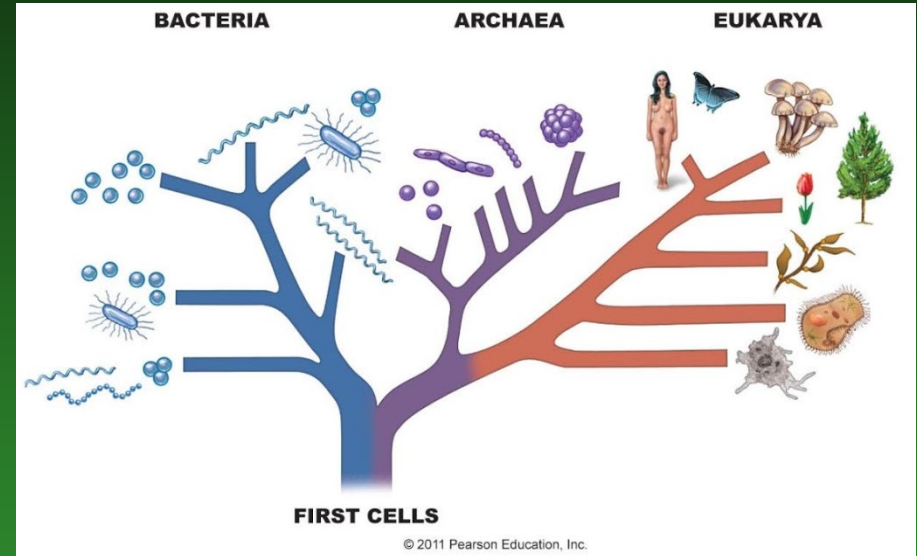
**Vyšší rostliny:  
jejich vznik  
a postavení ve fylogenetickém  
stromu života na Zemi**

# Vyšší rostliny ve stromu života

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

3 domény stromu života:

1. *Bacteria*
2. *Archaea*
3. *Eukarya*





# Vyšší rostliny ve stromu života

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

## 3 domény stromu života:

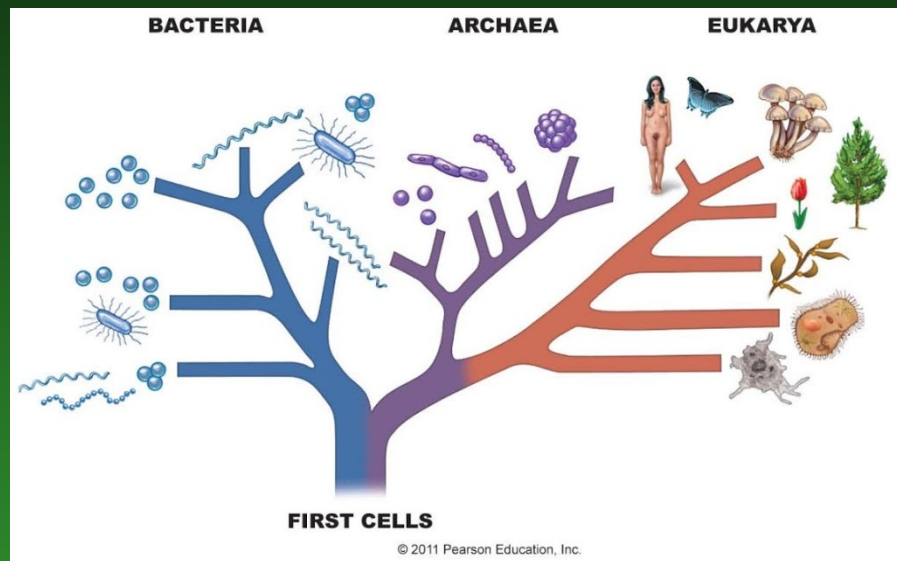
1. *Bacteria*

2. *Archaea*

3. *Eukarya*



Energie se tvoří na membráně – jedinou, kterou mají je cytoplazmatická a to limituje jejich velikost na malé buňky



# Vyšší rostliny ve stromu života

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

## 3 domény stromu života:

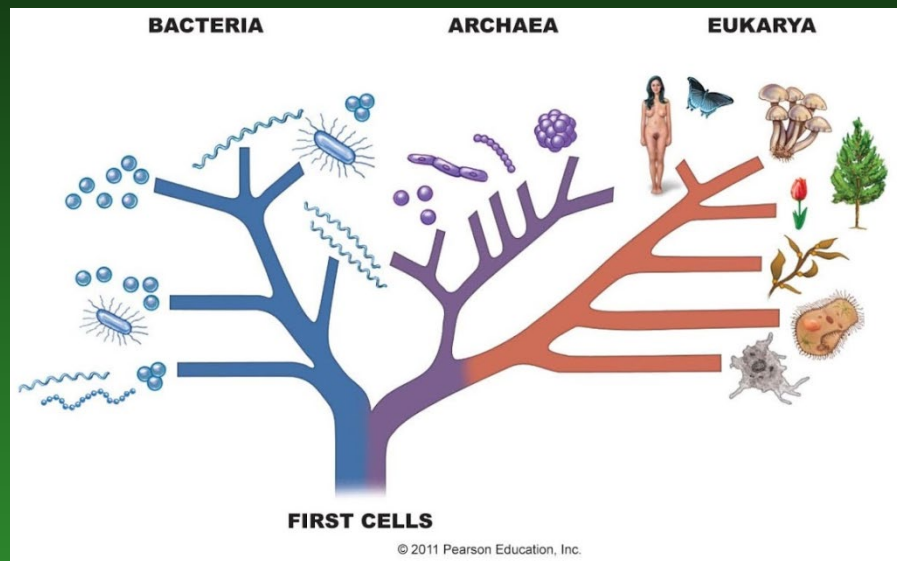
1. *Bacteria*

2. *Archaea*

3. *Eukarya* – membránami  
ohraňené organely:

mitochondrie,

Energie se tvoří na  
membráně – jedinou,  
kterou mají je  
cytoplazmatická a to  
limituje jejich velikost na  
malé buňky



# Vyšší rostliny ve stromu života

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

## 3 domény stromu života:

1. *Bacteria*

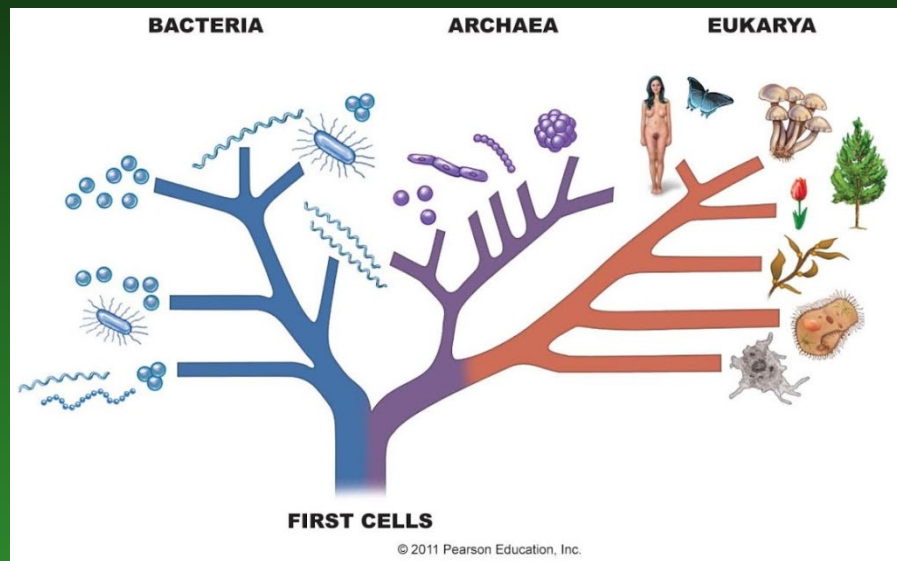
2. *Archaea*

3. *Eukarya* – membránami  
ohraňené organely:

mitochondrie,

Golgiho aparát,

Energie se tvoří na  
membráně – jedinou,  
kterou mají je  
cytoplazmatická a to  
limituje jejich velikost na  
malé buňky



# Vyšší rostliny ve stromu života

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

## 3 domény stromu života:

1. *Bacteria*

2. *Archaea*

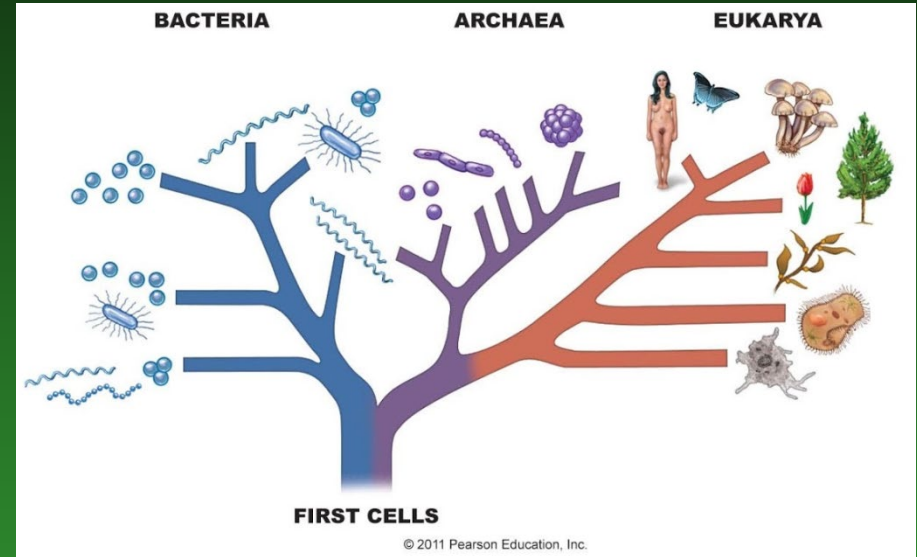
3. *Eukarya* – membránami  
ohraňené organely:

mitochondrie,

Golgiho aparát,

endoplasmatické retikulum a

Energie se tvoří na  
membráně – jedinou,  
kterou mají je  
cytoplazmatická a to  
limituje jejich velikost na  
malé buňky





# 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  
ohraňené organely:

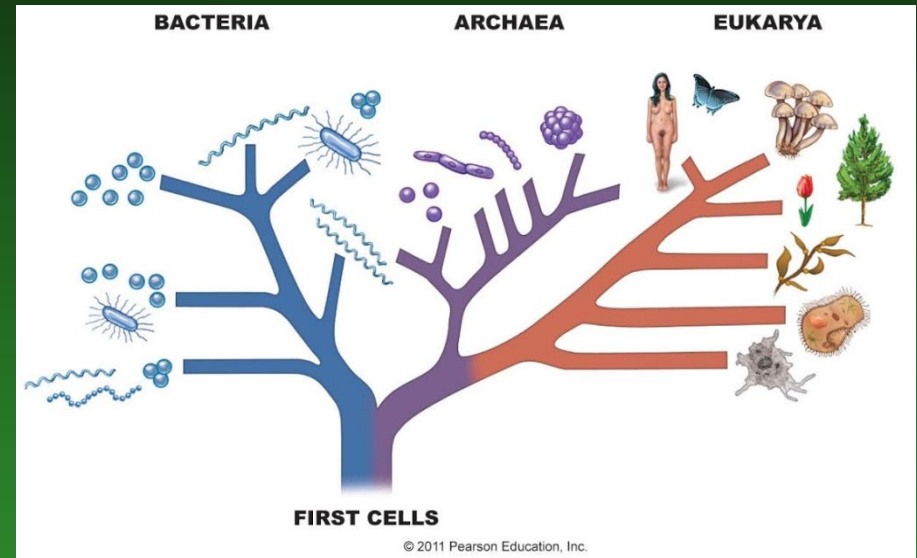
mitochondrie,

Golgiho aparát,

endoplasmatické retikulum a

jádro s chromosomy (= nuleoproteinovými  
strukturami organizujícími se během mitózy

Energie se tvoří na  
membráně – jedinou,  
kterou mají je  
cytoplasmatická a to  
limituje jejich velikost na  
malé buňky



# 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  
ohraňené organely:

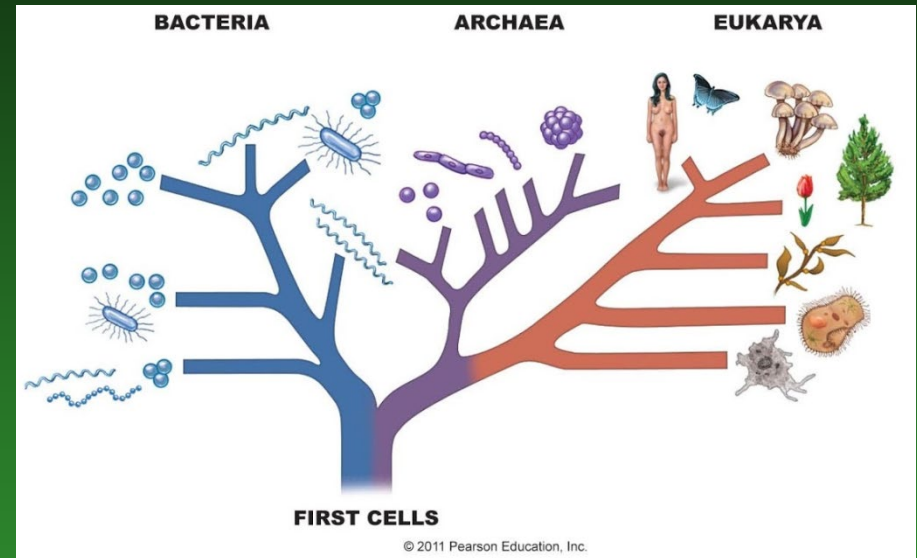
mitochondrie,

Golgiho aparát,

endoplasmatické retikulum a

jádro s chromosomy (= nukleoproteinovými  
strukturami organizujícími se během mitózy

Energie se tvoří na  
membráně – jedinou,  
kterou mají je  
cytoplasmatická a to  
limituje jejich velikost na  
malé buňky



Dvouvlákno lidské DNA má 2 m

Kdyby to bylo lano o tloušťce 1 cm měřila  
by 10 000 km

Bakterie mají genom 100x až 1000x kratší

# 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:

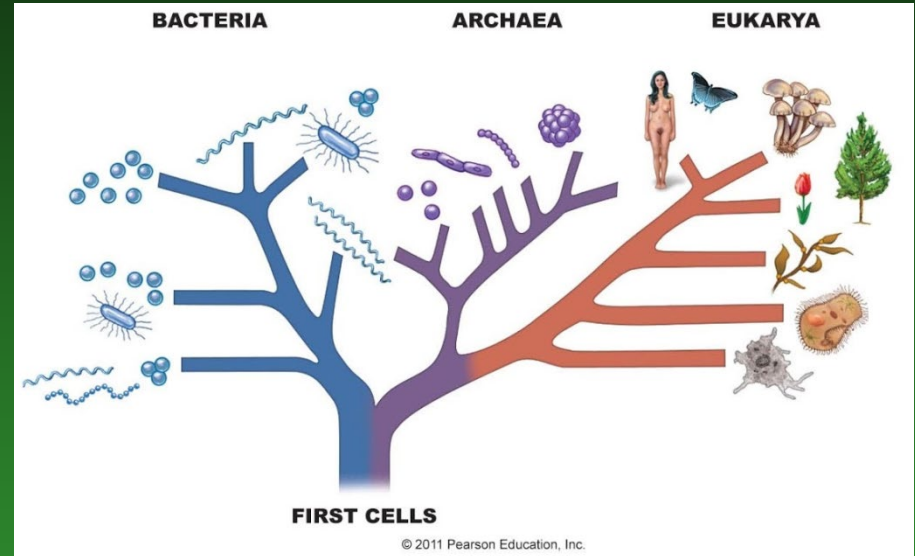
mitochondrie,

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**

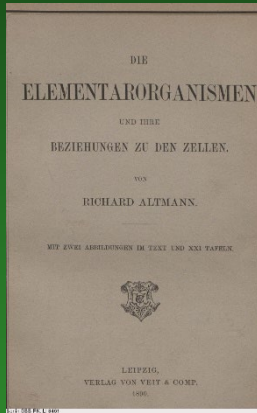
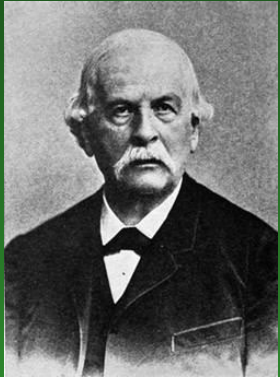
- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátila  $\alpha$ -proteobakterii



# Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

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

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



Richard Altmann  
(1852–1900)

1890

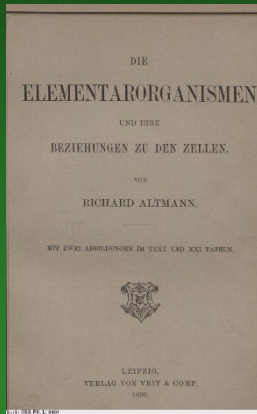
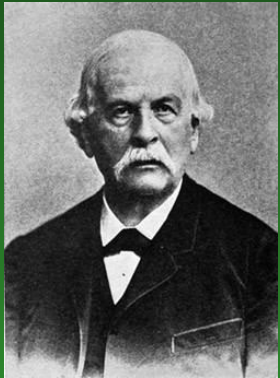
Německý patolog a histolog – v buňkách **pozoroval bioblasty**, granule, které se později ukázaly být mitochondriemi a považoval je za **samostatné organizmy** žijící trvale uvnitř buněk.

**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 uchvátila  $\alpha$ -proteobakterii



Richard Altmann  
(1852–1900)

1890

Německý patolog a histolog – v buňkách **pozoroval bioblasty**, granule, které se později ukázaly být mitochondriemi a považoval je za **samostatné organizmy** žijící trvale uvnitř buněk.



Lynn Margulis (1938–2011)

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

*J. Theoret. Biol.* (1967) 14, 225–274

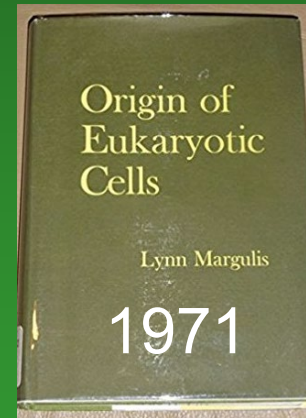
## On the Origin of Mitosing Cells

LYNN SAGAN

Department of Biology, Boston University  
Boston, Massachusetts, U.S.A.

(Received 8 June 1966)

A theory of the origin of eukaryotic cells ("higher" cells which divide by classical mitosis) is presented. By hypothesis, three fundamental organelles: the mitochondria, the photosynthetic plastids and the (9 + 2) basal bodies of flagella were themselves once free-living (prokaryotic) cells. The evolu-



Lynn Margulis

1971

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

# Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

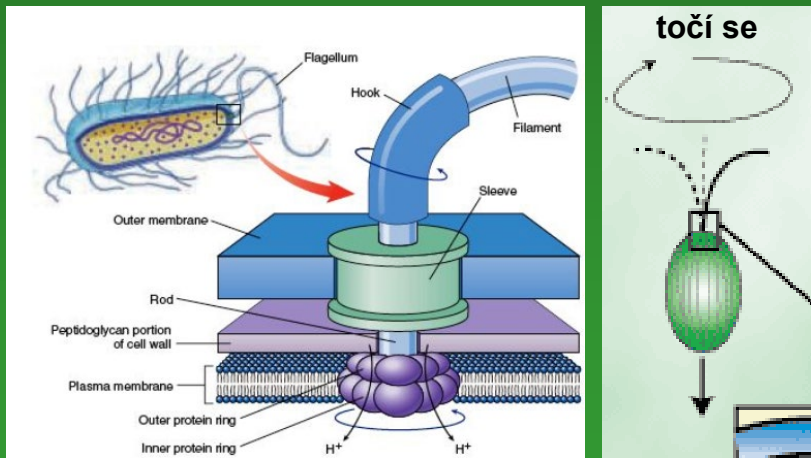
započala před 2,5 mld. let ??? – **základní kroky**

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

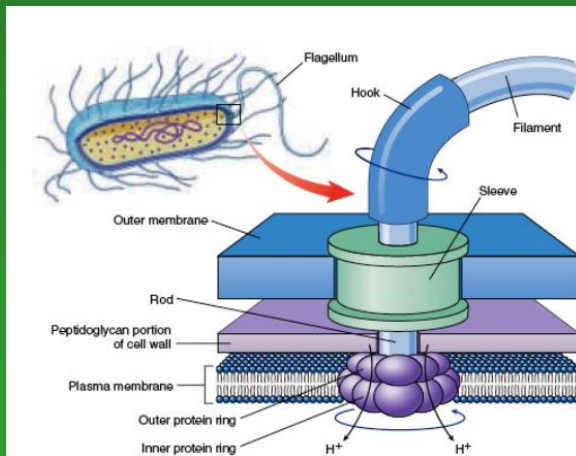


točí se

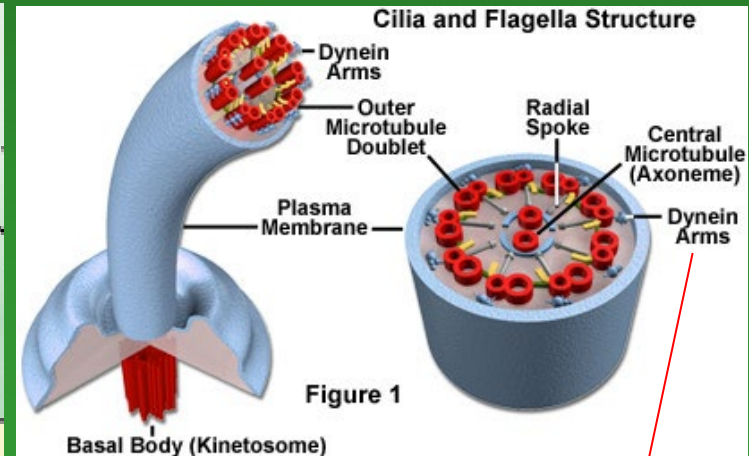
# Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

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)



točí se



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 došlo k prostorovému oddělení transkripce a translace



# 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 došlo k prostorovému oddělení transkripce a translace
- **evoluce meiózy a tím i sexu**

# Jak a kdy se vyvinula eukaryotní linie ?

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

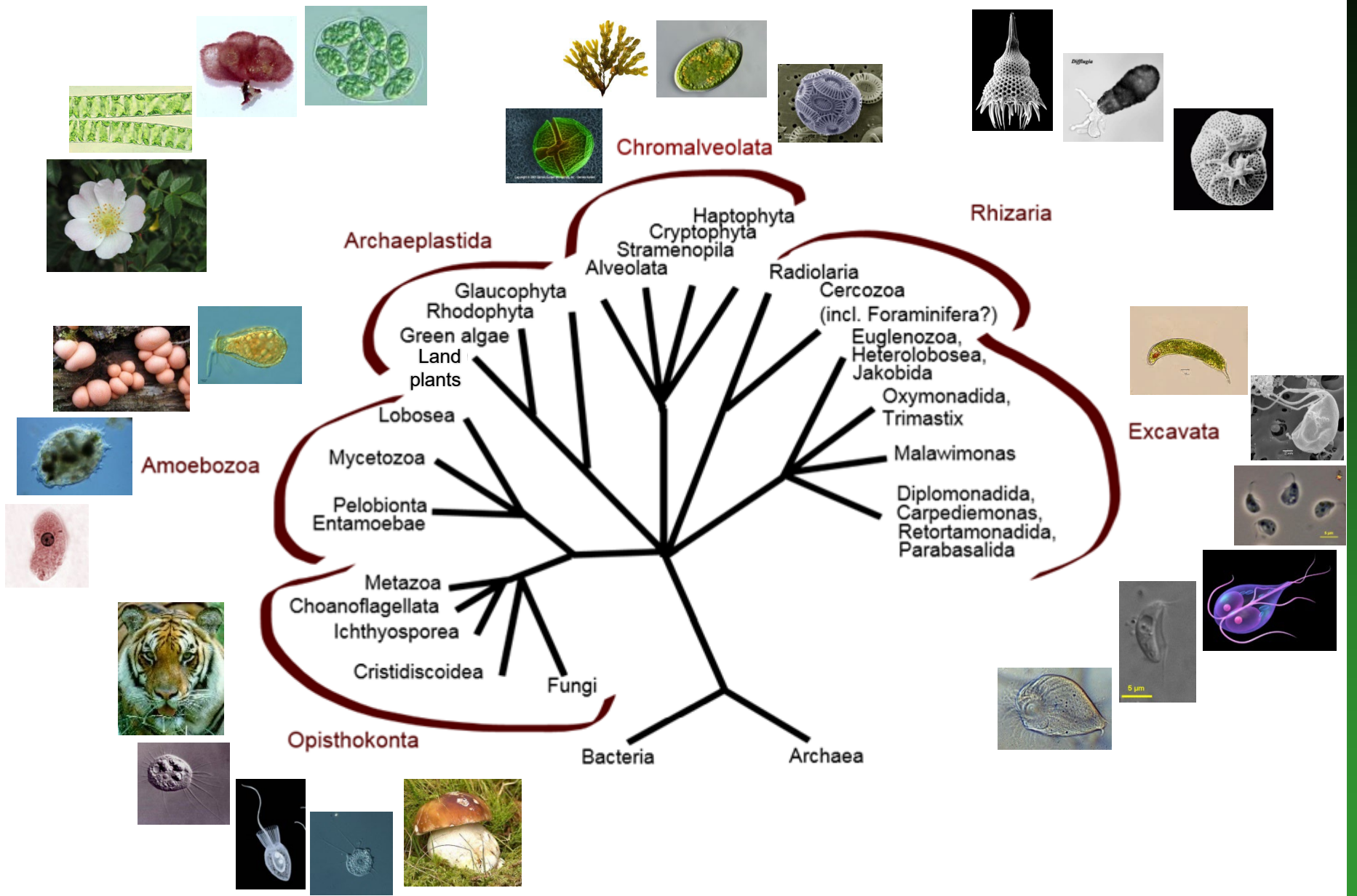
- **evoluce mitochondií** = archeální buňka fagocyticky uchvátila  $\alpha$ -proteobakterii
- **evoluce cytoskeletu** = tubuliny, aktin, myosin (z podobných proteinů přítomných u prokaryot)
- **evoluce eukaryotického bičíku** =  $9 \times 2 + 2$  (jednotná struktura přetvořením sensorické či jiné organely,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

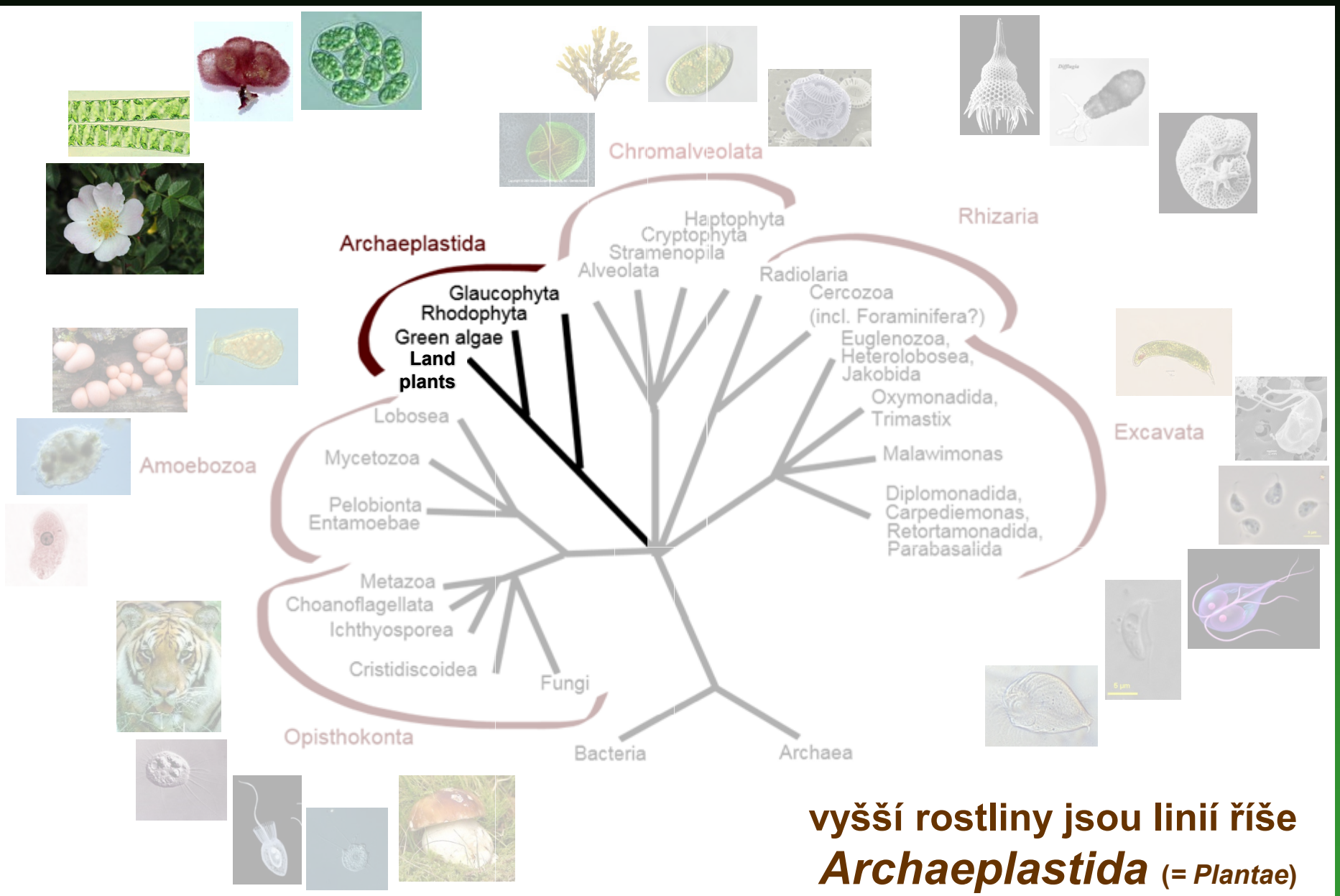
započala před 2,5 mld. let ??? – **základní kroky**

- **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 došlo k prostorovému oddělení transkripce a translace
- **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



# Evolve „chloroplastu“

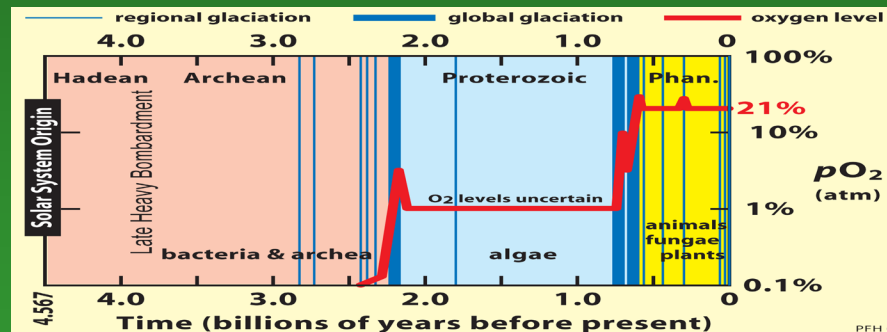
= **Velká kyslíková katastrofa – 2.4 bya**

= důsledek evoluce (oxygenní) fotosyntézy u sinic



## reduktivní atmosféra

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



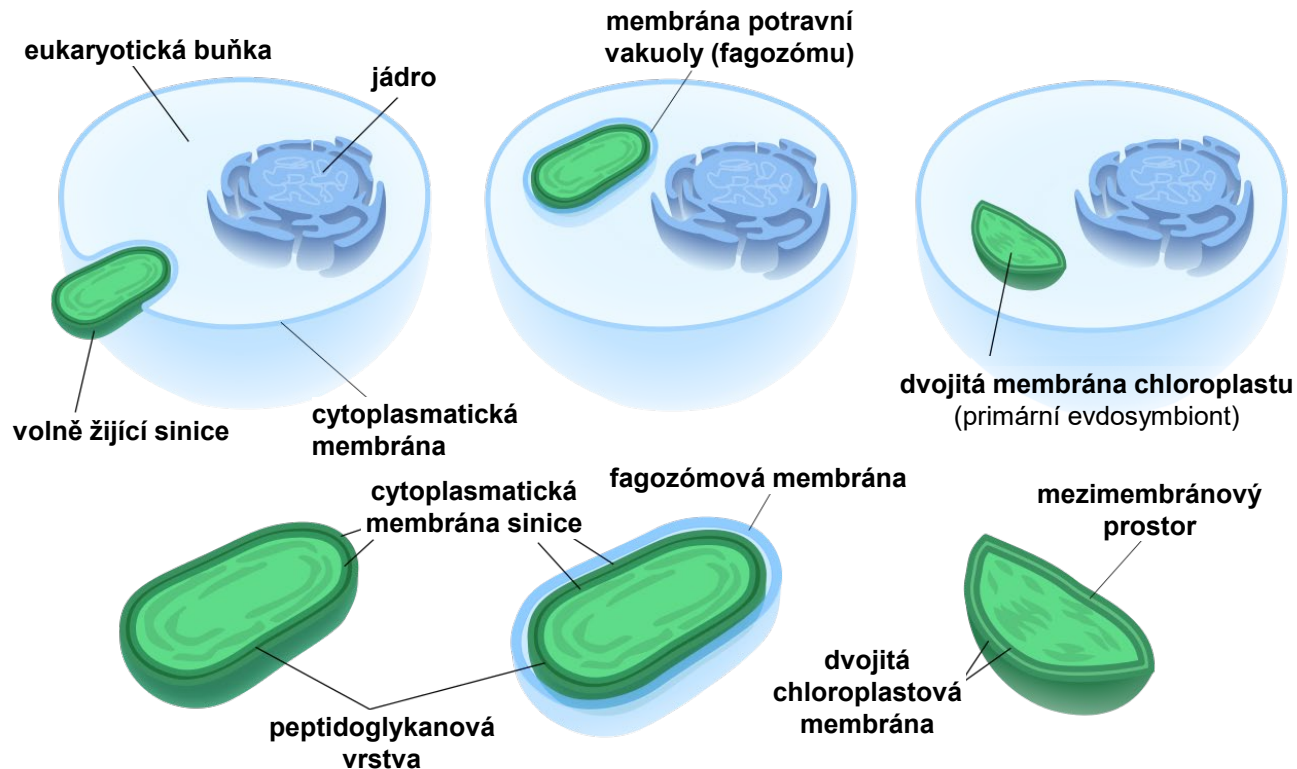
## oxydativní atmosféra

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 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



Andreas Franz Wilhelm Schimper  
(1856–1901)

Německý botanik, fytogeograf,  
ekolog

41. Jahrgang.

Nr. 7.

16. Februar 1888.

## BOTANISCHE ZEITUNG.

Redaction: A. de Bary. L. Just.

Inhalt. Orig.: A. F. W. Schimper, Ueber die Entwicklung der Chlorophyllkörner und Farbkörper. —  
Lill, C. et W. Barboj, Recherches sur L'evan. — Berthold, Ueber die Vertheilung der Algen im  
Golf von Neapel. — Neue Literatur. — Auszüge.

### Ueber die Entwicklung der Chlorophyllkörner und Farbkörper.

Von  
A. F. W. Schimper.

Hierzu Tafel I.

Die bisherigen Untersuchungen haben das Resultat ergeben, dass die Chlorophyllkörner durch das Zellplasma erzeugt werden. Ihre Substanz ist nach denselben zunächst im letzteren gleichmäßig vertheilt, und zwar entweder bereits chlorophyllhaltig oder oft ganz farblos, und scheidet sich später zu den bekannten kugelförmigen oder fadenförmigen Gebilden. Dieselbe Art der Entstehung habe ich in einer früheren Arbeit<sup>1)</sup> den Stärkebildnern zugeschrieben. Als ich jedoch dieses Jahr mit Hilfe besserer optischer Hilfsmittel und größter Vorsicht bei der Präparation die Entwicklung der Chlorophyllkörner und Stärkebildner einer neuen Untersuchung unterwarf, gelang es mir bald, die Anwesenheit derselben in viel jüngeren Organen als früher festzustellen. Inzwischen theilte mir Herr Professor Schmitz mit, dass bei den Algen eine Neubildung der Chlorophyllkörner aus dem Zellplasma nicht stattfindet, sondern dass sie ausschließlich aus einander, durch Theilung, entstehen. Die Sporen erhalten aus der Mutterpflanze Chlorophyllkörner, die durch Theilung sämtliche Chlorophyllkörner der aus ihnen entstehenden Pflanzen erzeugen. Die Befunde an den Algen machten es Herrn Prof. Schmitz wahrscheinlich, dass die höheren Pflanzen sich ebenso verhalten würden.

Ich theile im Folgenden meine Untersuchungen über diesen Gegenstand sowie über die Entwicklung der nicht grünen Farbkörper der höheren Pflanzen mit. Dieselben sind noch in mancher Hinsicht lückenhaft; in

<sup>1)</sup> Bot. Ztg. 1880.

einer umfassenden Monographie, die ich später zu bearbeiten gedenke, werde ich hoffentlich im Stande sein, eine vollständige Lösung der Frage zu geben.

I.  
Der Nachweis, dass die Chlorophyllkörner, resp. ihre farblosen Grundlagen, die Stärkebildner, nicht durch Differenzierung aus dem Plasma, sondern aus ähnlichen Gebilden durch Theilung entstehen, würde geliefert werden, wenn es gelingen sollte, ihre Anwesenheit 1) im Embryosack, 2) in der Eizelle, 3) in allen Meristemem, 4) in den Samen, und zugleich die Unmöglichkeit ihrer Entstehung auf anderem Wege als durch Theilung nachzuweisen. Es ist mir leider bis jetzt nicht gelungen, und sodann die Gründe anzudeuten, welche es mir höchst wahrscheinlich machen, dass sie auch für die Embryosacke und Eizellen Geltung haben.

Meine Untersuchungen haben ergeben, dass die Vegetationspunkte stets differenzierte Chlorophyllkörper, resp. ihre farblosen Grundlagen, enthalten; dass dieselben nicht durch Neubildung aus dem Zellplasma, sondern durch Theilung aus einander entstehen und dass sie alle Chlorophyllkörper und Stärkebildner der aus dem Scheitelmeristem sich entwickelnden Gewebe erzeugen.

Einer der interessantesten Fälle von grünen Vegetationspunkten ist derjenige der Wurzeln von *Azolla*, indem dieselben bereits in ihrer Scheitelzelle lebhaft grüne Chlorophyllkörner enthalten. Solche befinden sich

1883

Chlorofylová tělíska  
(chloroplasty) =  
autonomní (samostatně  
se množící) organizmy  
uvnitř rostlinných buněk



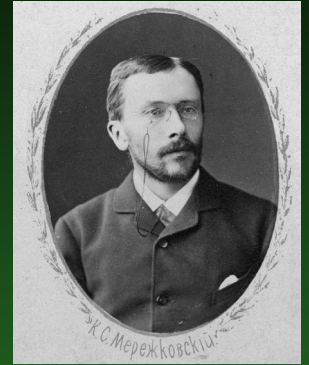
# Vznik archeplastid – ?1.8 bya



Andreas Franz Wilhelm Schimper  
(1856–1901)

Německý botanik, fytogeograf,  
ekolog

Konstantin Sergeevich  
Mereschkowski  
Константин Сергеевич  
Мережковский  
(alias William Adler)  
(1855–1921)

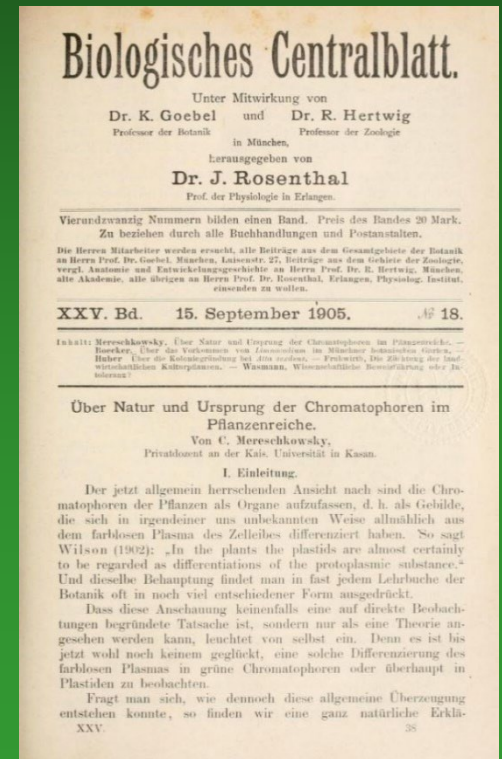


Ruský botanik, algolog,  
pedofil a antisemita



1883  
Chlorofylová tělíska  
(chloroplasty) =  
autonomní (samostatně  
se množící) organizmy  
uvnitř rostlinných buněk

1905  
chloroplasty  
vznikly ze sinic



Petr Bureš: Prezentace přednášky Fylogeneze a diverzita vyšších rostlin – Vyšší rostliny: vznik a hlavní znaky

## Vznik archeplastid – ?1.8 bya

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



## Vznik archeplastid – ?1.8 bya

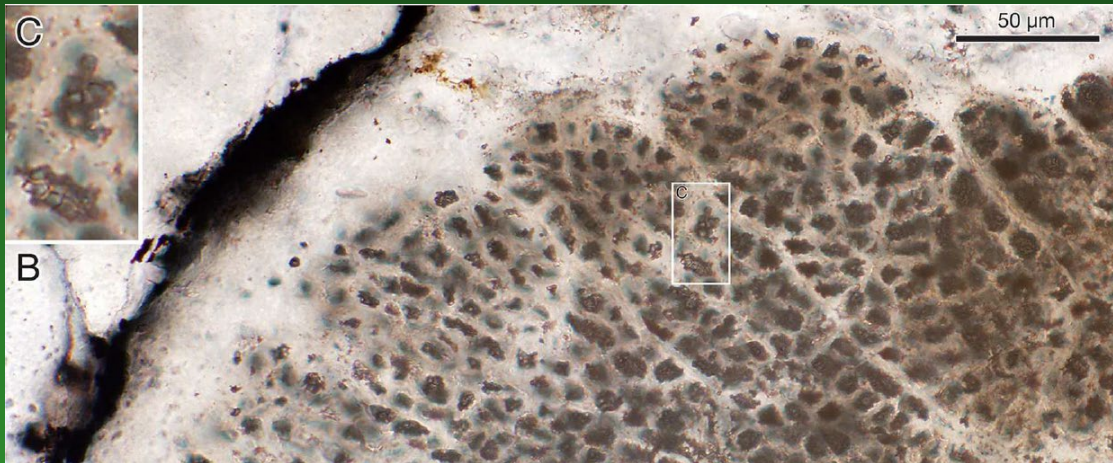
**Buněčné jádro dnešních Viridaeplantae  
= chiméra tří genomů:**

1. původní archeální genom buňky, která pohltila „budoucí mitochondrii“
2. genom pohlčené  $\alpha$ -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 zkameněných stromatolitech, starých 1,6 mld. let.

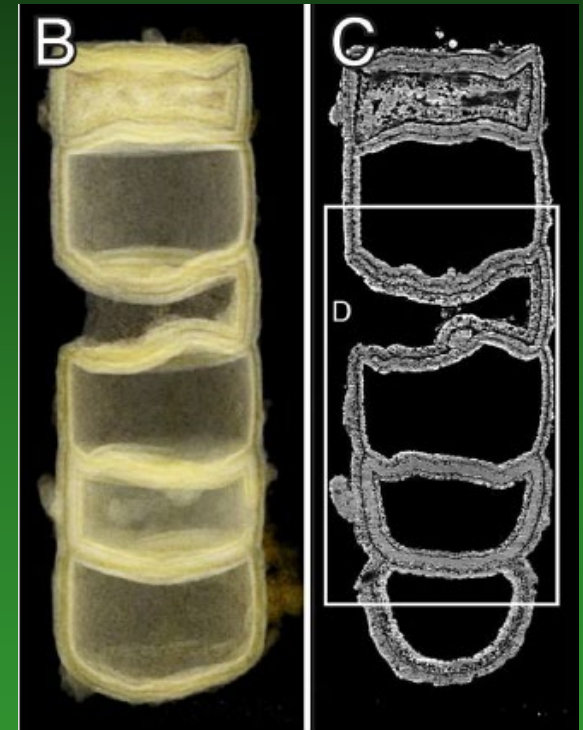
## *Ramathallus lobatus*



Lokalita nálezu  
na rozhraní  
indických států  
Uttar Pradesh  
a Madhya Pradesh



## *Rafatazmia chitrakootensis*



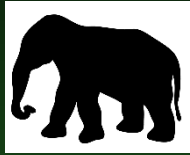
Three-dimensional preservation of cellular and subcellular structures suggests 1.6 billion-year-old crown-group red algae

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

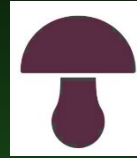
1 Department of Palaeobiology, Swedish Museum of Natural History, Stockholm, Sweden, 2 Nordic Center for Earth Evolution (NordCEE), Odense, Denmark; Copenhagen, Denmark; Stockholm, Sweden, 3 Department of Geosciences, Swedish Museum of Natural History, Stockholm, Sweden

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 *Biliphytae*

podříše *Viridaeplantae* - zelené rostliny

# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

říše *Archaeplastida* (=Plantae)

podříše *Biliphytae*

podříše *Viridaeplantae* - zelené rostliny

vývojová linie: Chlorophytae - zelené řasy

vývojová linie: *Streptophytae*





# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

říše *Archaeplastida* (=Plantae)

podříše *Biliphytae*

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 *Biliphytae*

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 *Biliphytae*

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

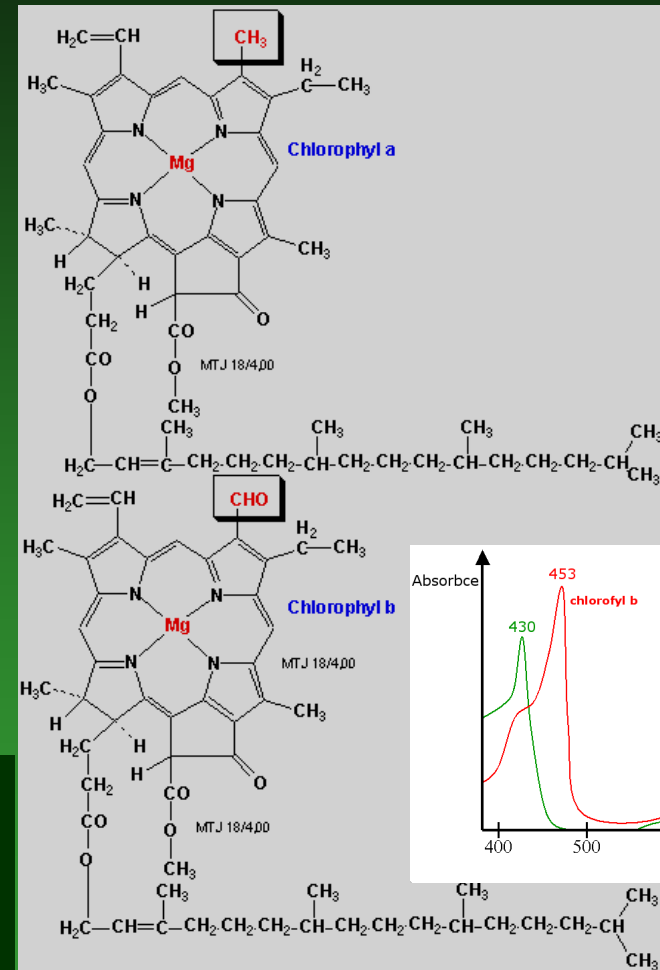
hlavní znaky:

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



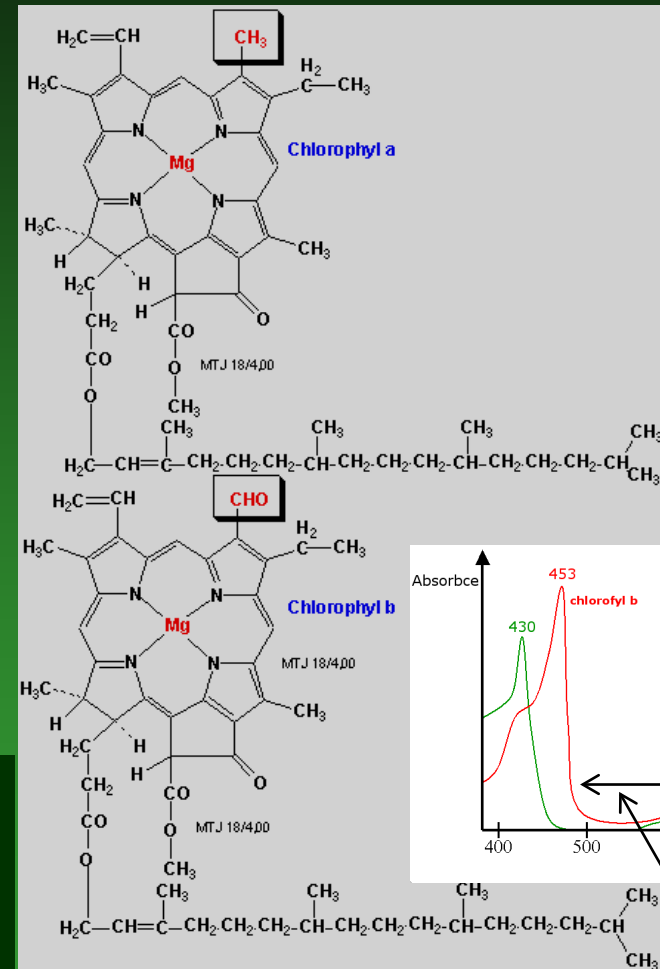
***Biliphytae* – jen chlorofyl a**

(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



***Biliphytae* – jen chlorofyl a**

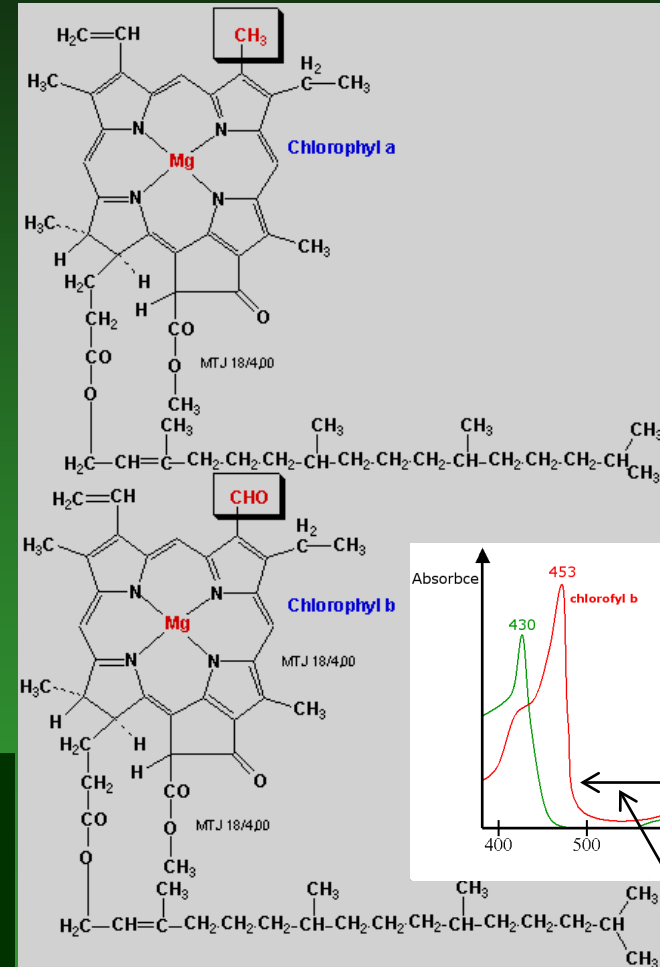
(dříve uváděný chlorofyl d u ruduch byla kontaminace sinicemi)

**– navíc mají i sinicové fykobiliny**



# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

Vedle chlorofylu a mají navíc (1) chlorofyl b



***Biliphytae* – jen chlorofyl a**

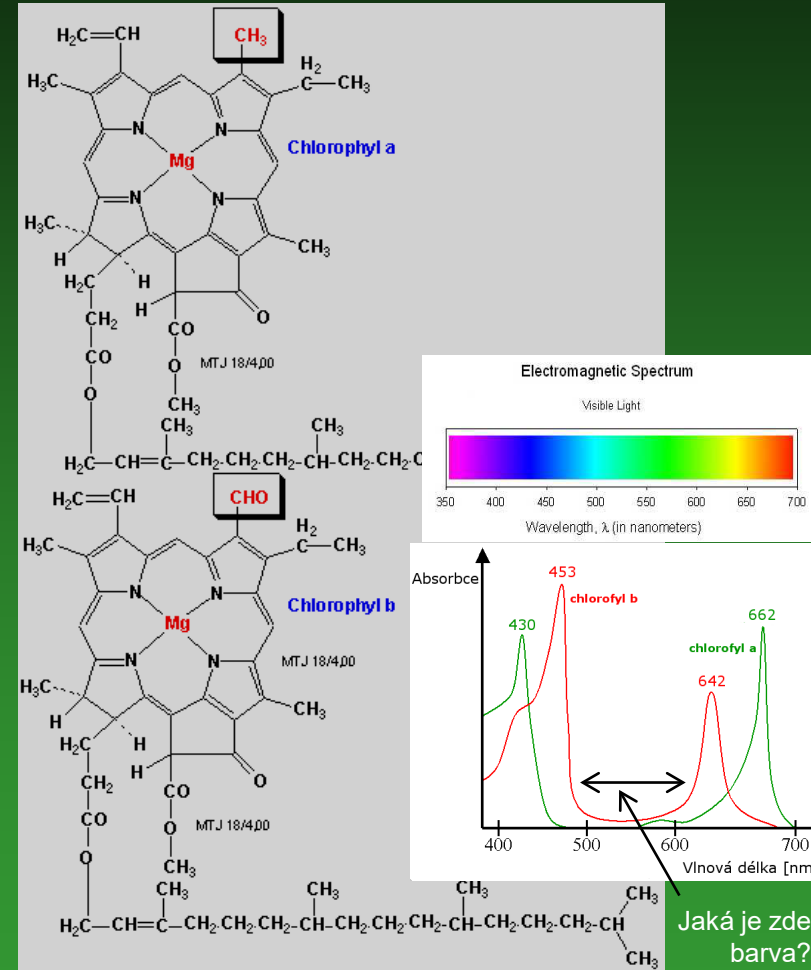
(dříve uváděný chlorofyl d u ruduch byla kontaminace sinicemi)

**– navíc mají i sinicové fykobiliny**

Ta, kterou chlorofyl nepohlcuje, ale odráží!

# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

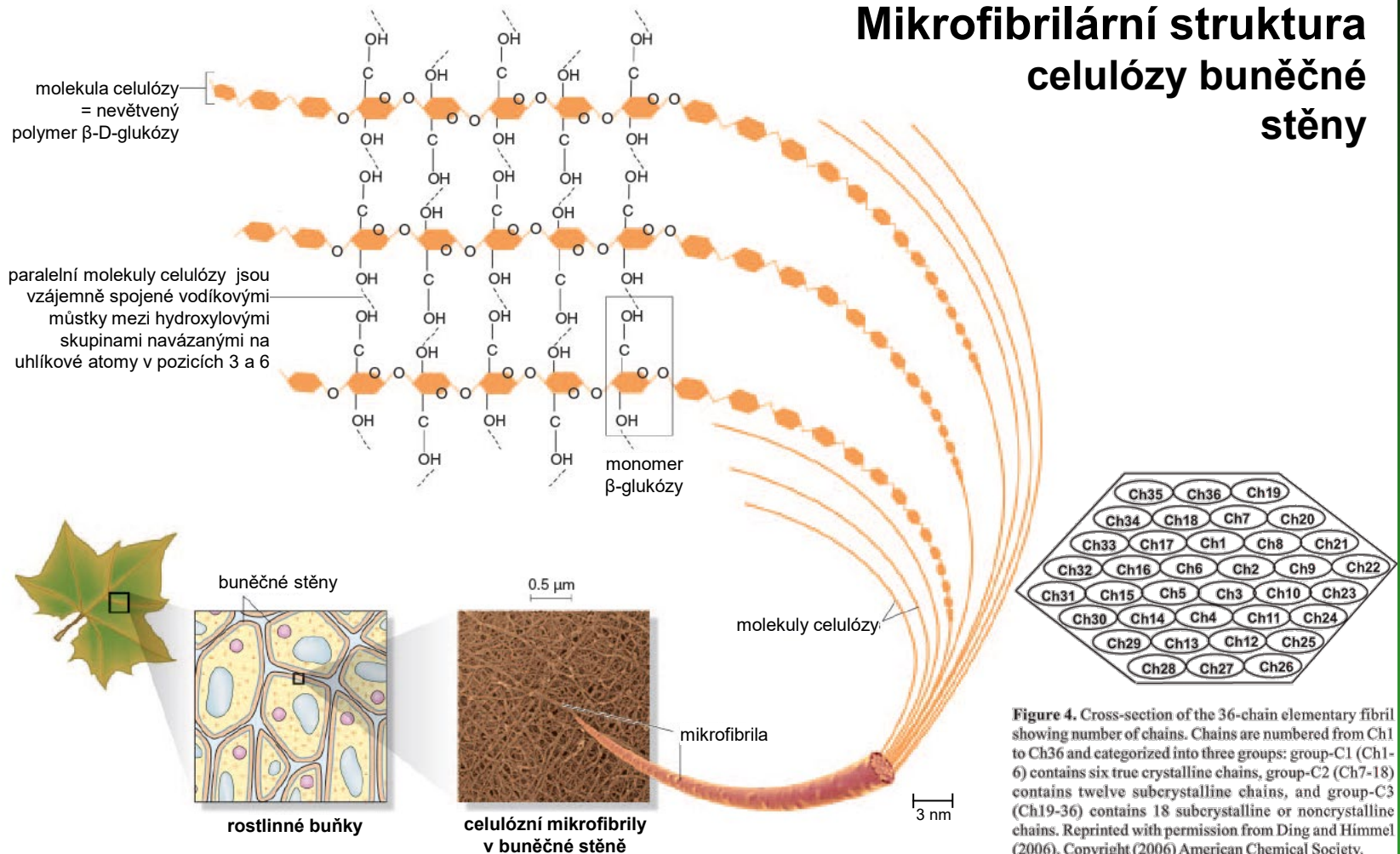
Vedle chlorofylu a mají navíc (1) chlorofyl b



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

# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

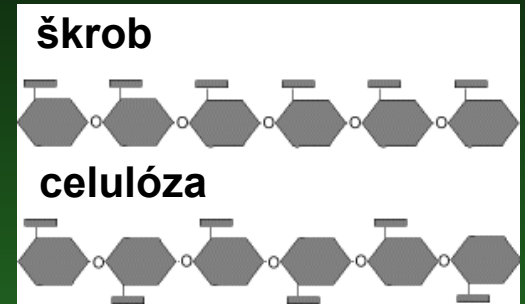
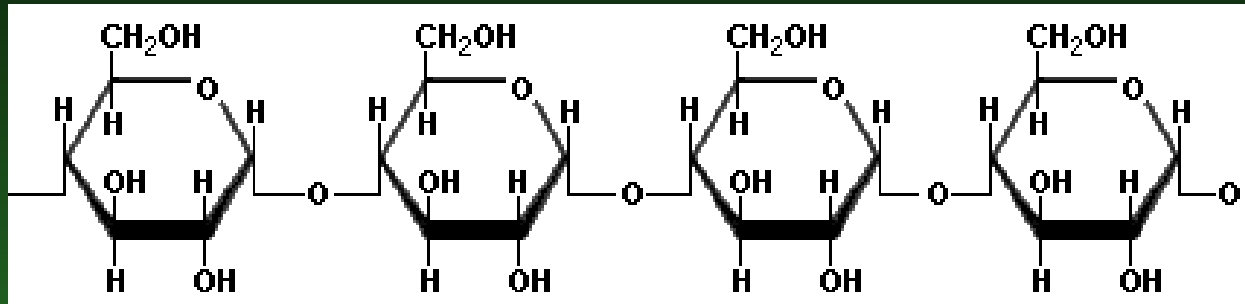
Stavební polysacharid = (2) celulóza – tvoří buněčnou stěnu



**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 biliphytae



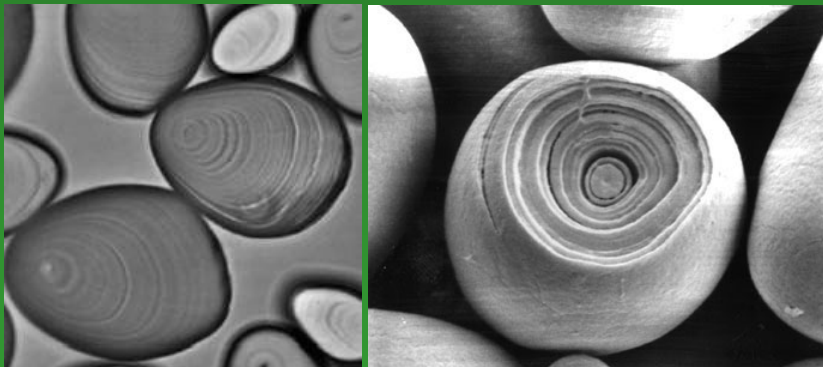
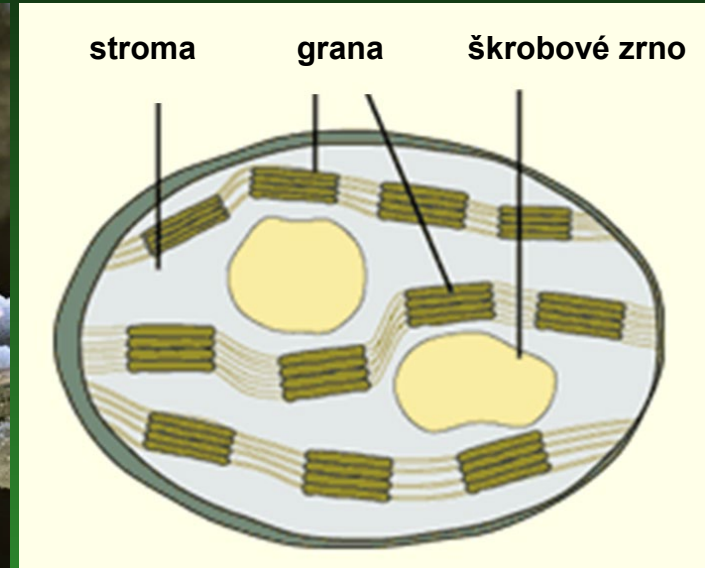
# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

## (4) chloroplasty obsahují škrobová zrna

chloroplasty rulíku zlomocného s jednotlivými škrobovými zrny



chloroplast



Zrna mají vrstevnatou strukturu

**Škrob biliphytae se v chloroplastech neukládá**

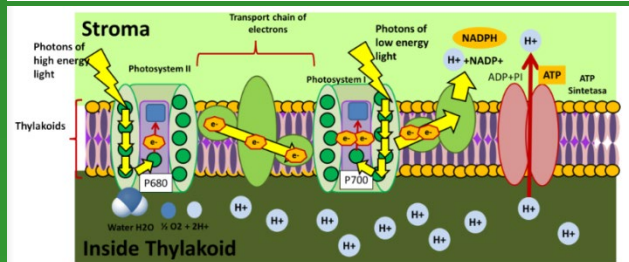
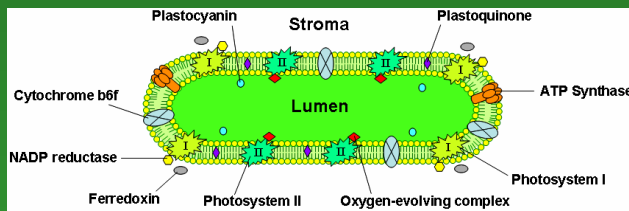
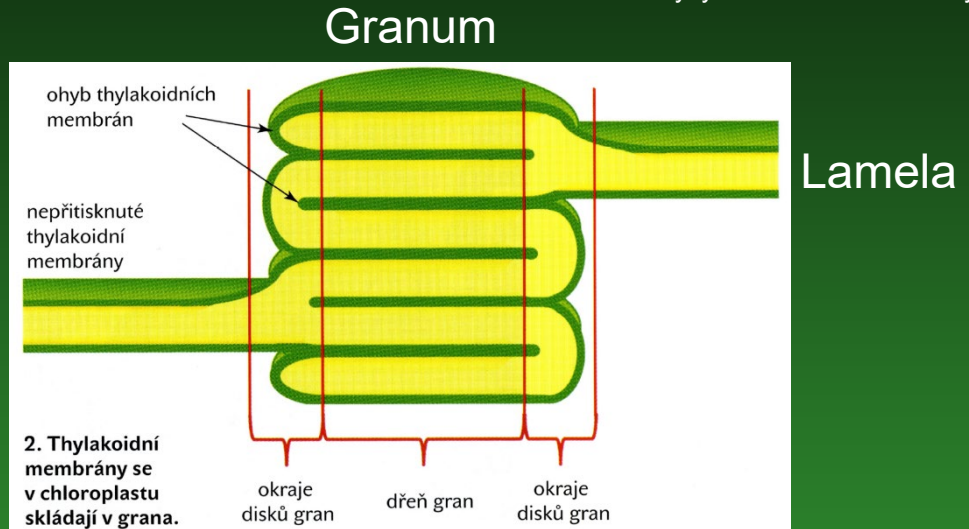
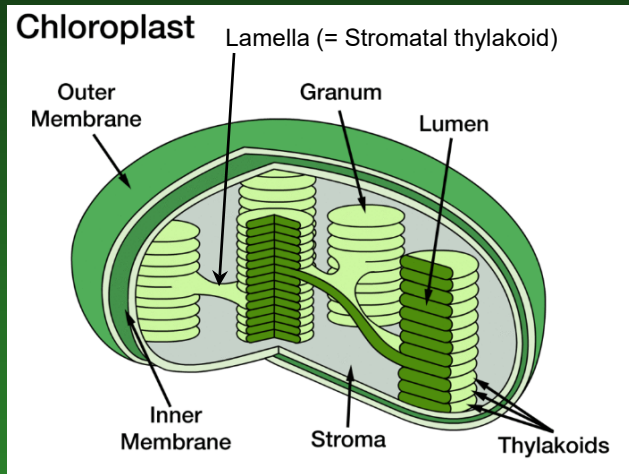
# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

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

(10–100/chloroplast)

5  $\mu\text{m}$

– membrány tylakoidů vážou chlorofyl



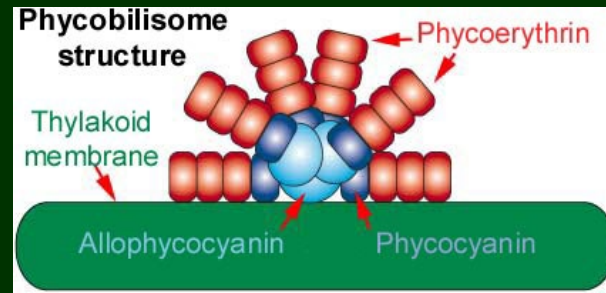
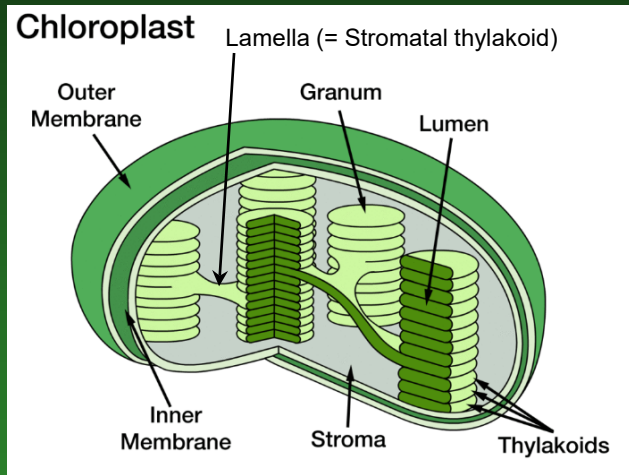


# Vznik podříše *Viridaeplantae* – 1.2–1.0 bya

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

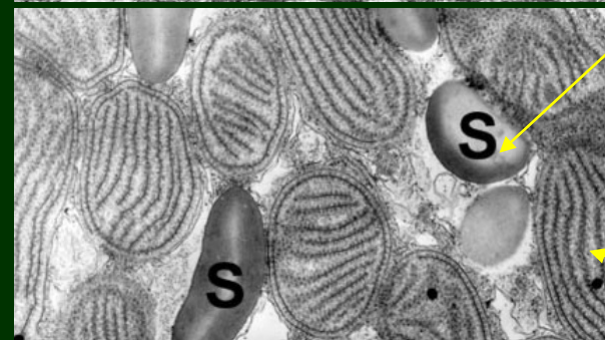
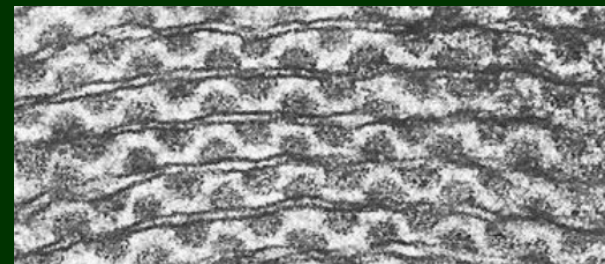
5  $\mu\text{m}$

– membrány tylakoidů vážou chlorofyl



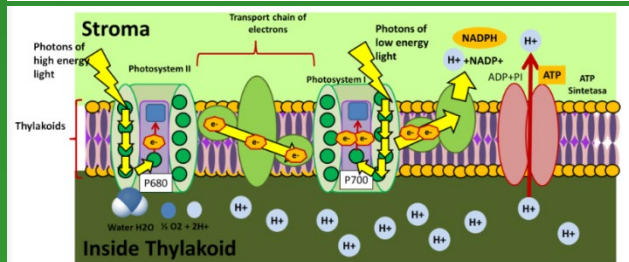
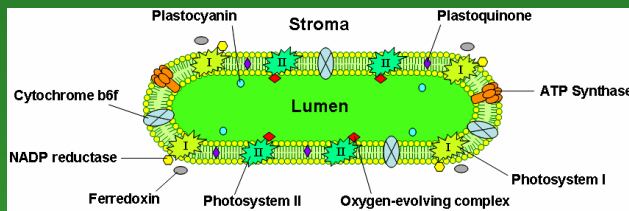
**glaukofyty a ruduchy:**

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



škrobové zrno v cytoplasmě mezi chloroplasty

chloroplast



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

říše *Archaeplastida* (=Plantae)

podříše *Biliphytae*

podříše *Viridaeplantae* - zelené rostliny

vývojová linie: *Chlorophytae* - zelené řasy

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

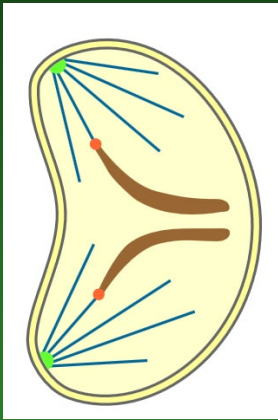
- (1) otevřená ortmitóza
- (2) fragmoplast v cytokinézi,
- (3) plazmodesmy mezi buňkami
- (4) oogamická rodozměna

Vyšší rostliny zahrnují dvě vývojové linie v podříši *Viridaeplantae*

# Vznik streptofytní linie – 950–725 mya

## (1) Otevřená ortomitóza

### Uzavřená pleuromitóza

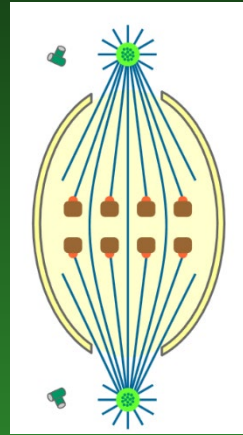


U zelených řas jen v bazální třídě *Prasinophyceae*

Pleuro = vřeténka nejsou kolmo na ekvatoriální rovinu dělení

Uzavřená = jaderná membrána neporušená

### Částečně otevřená ortomitóza

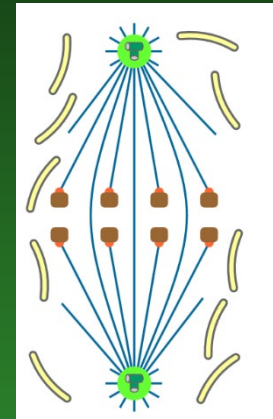


Ostatní *Chlorophyta*

Orto = vřeténka kolmo na ekvatoriální rovinu dělení

Částečně otevřená = v jaderné membráně polární okénka s centriolami

### Otevřená ortomitóza

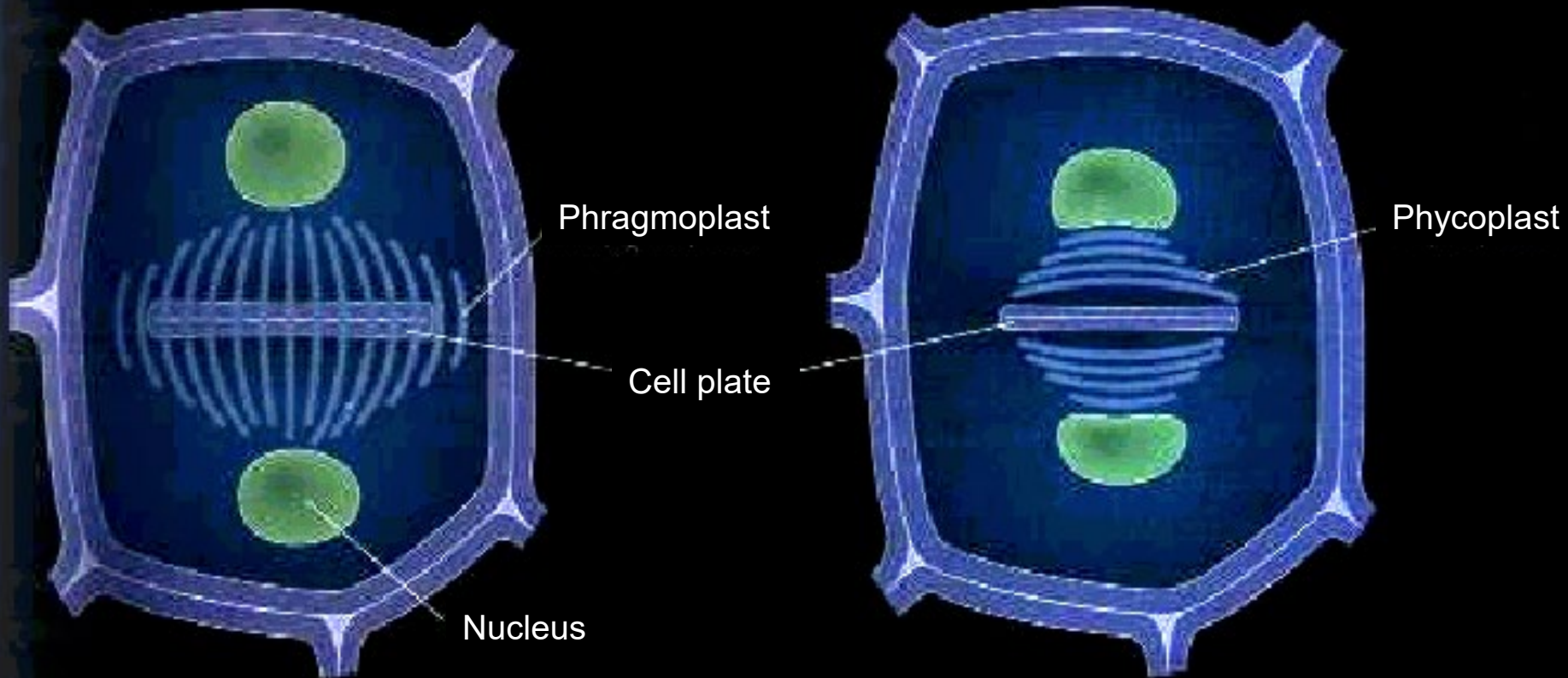


*Streptophytae*

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.

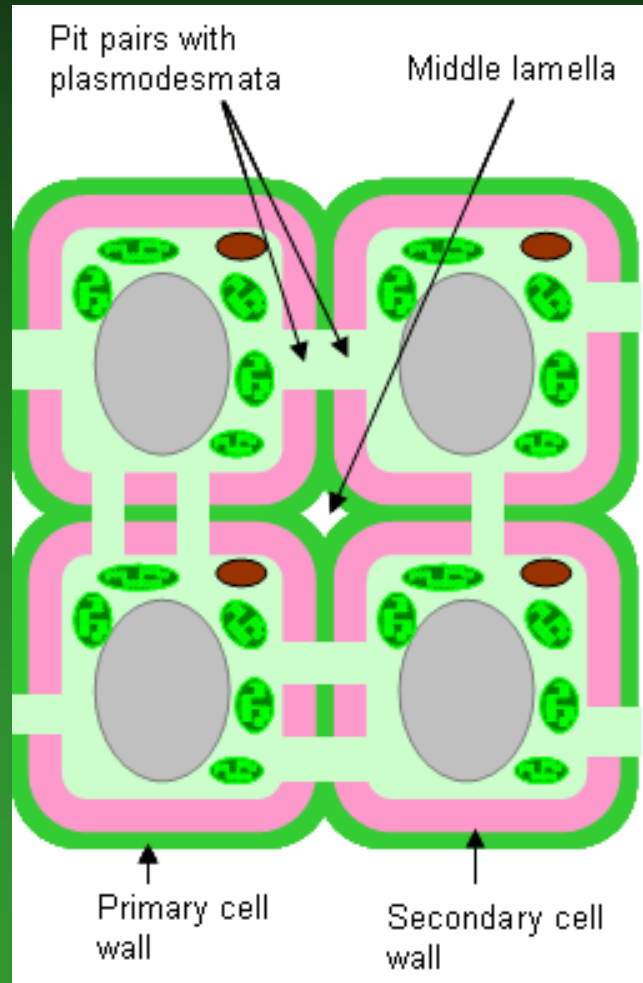


# Vznik streptofytní linie – 950–725 mya

**(3) plasmodesmy** (30–60 nm) tenké 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

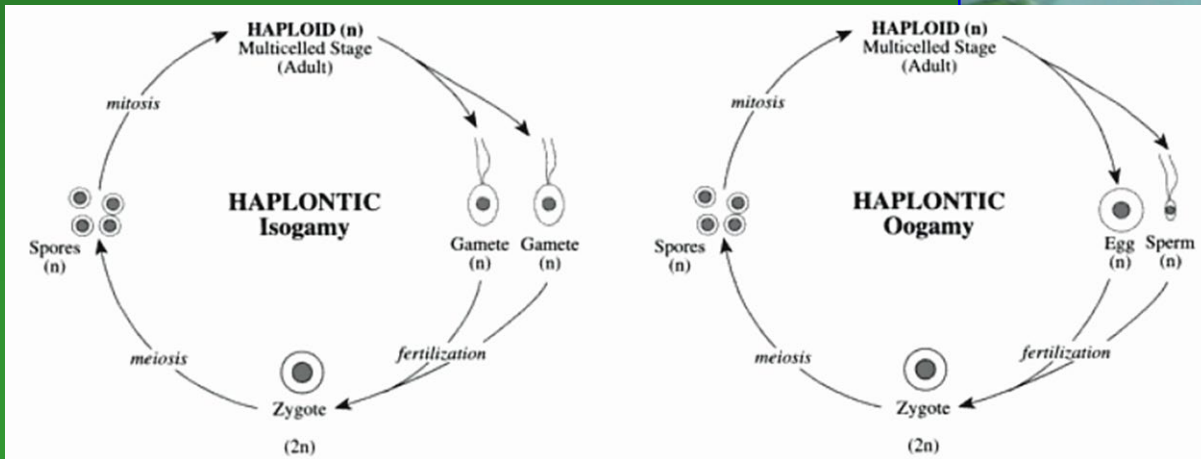
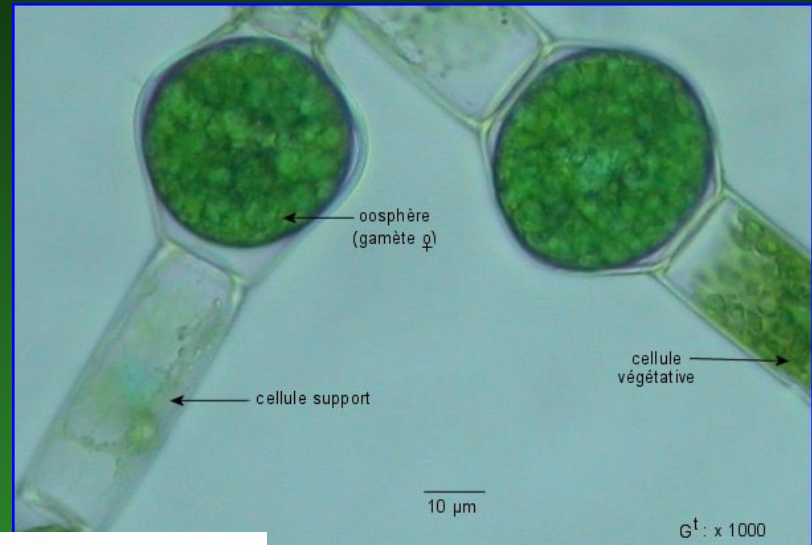
Transport bílkovin a fytohormonů je jimi aktivně regulován a nebyla by tedy bez nich diferencovaná mnohobuněčnost a funkční regulace



# 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



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

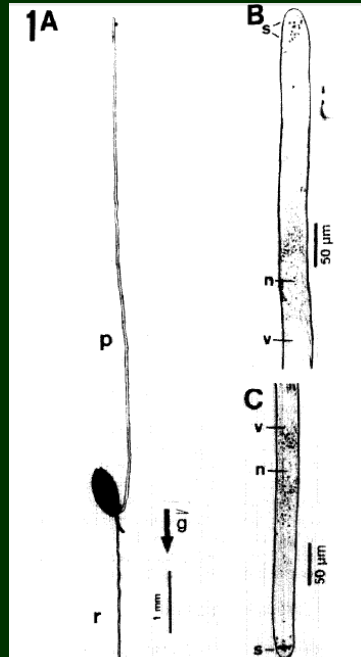


Fig. 1: An oospore of *Chara fragilis* Desv. (Fig. 1A) 3d after germination in darkness with a protonema (p) growing negatively gravitropic and a rhizoid (r) growing positively gravitropic. At higher magnifications of the tips of the protonema (Fig. 1B) and rhizoid (1C) the vacuole (v), nucleus (n) and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

Zprostředkuje jej  
gravitační sedimentace  
statolitů určující pozici  
proteinových  
přenašečů auxinů

# 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*



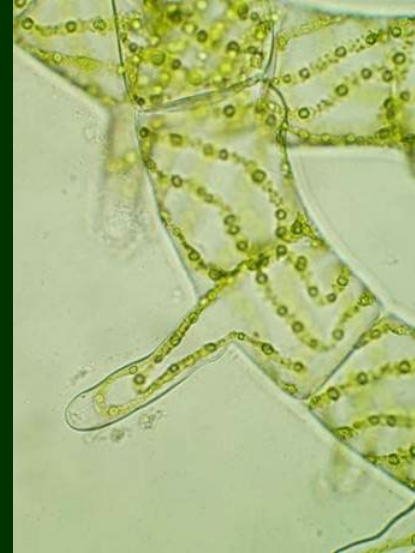
fosilní *Rhynia gwynne-vaughanii*

kořenové vlásky  
*Arabidopsis thaliana*



### Rhizoidy parožnatek

*Spirogyra, Zygnematales*



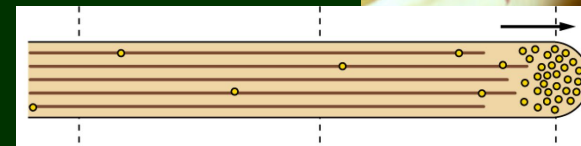
*Chara braunii*



*Chara baltica*



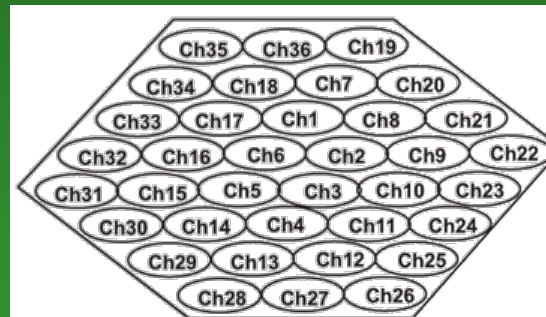
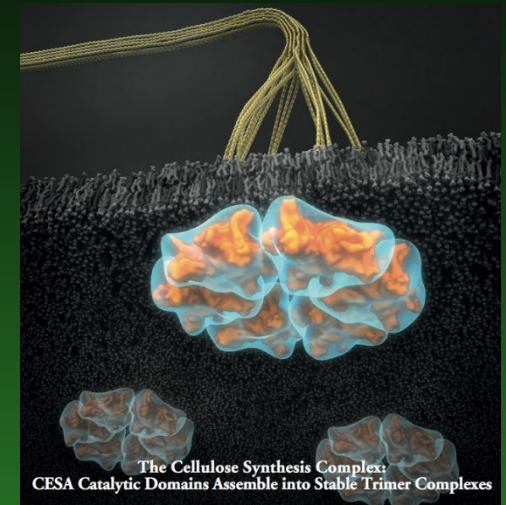
aktinový cytoskelet  
+ sekrece Golgiho  
váčků



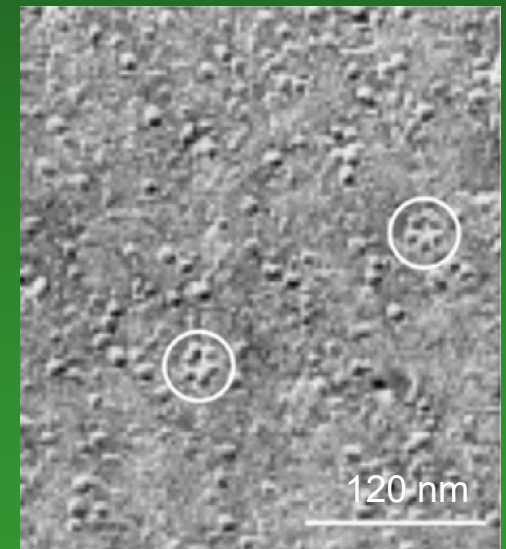


# Vznik streptofytní linie – 950–725 mya

## (7) Rozetovitý celulózo-syntetizující komplex na cytoplazmatické membráně



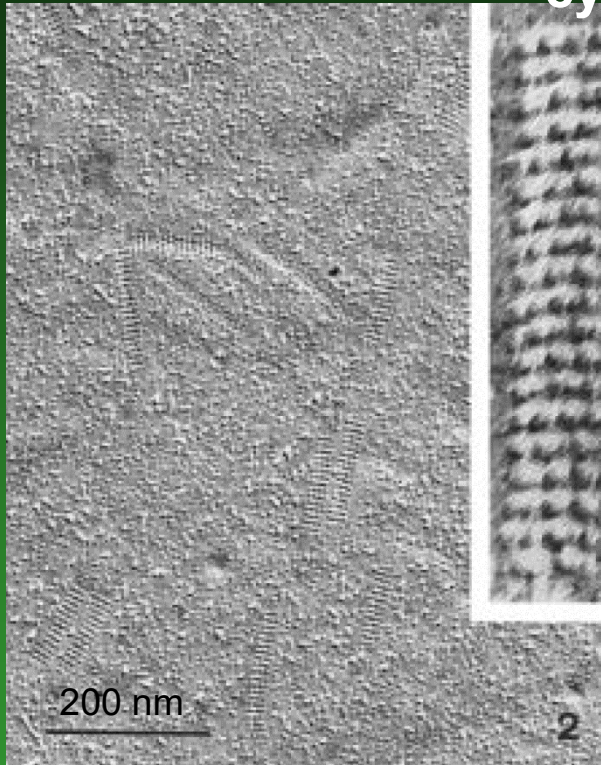
**Figure 4.** Cross-section of the 36-chain elementary fibril showing number of chains. Chains are numbered from Ch1 to Ch36 and categorized into three groups: group-C1 (Ch1-6) contains six true crystalline chains, group-C2 (Ch7-18) contains twelve subcrystalline chains, and group-C3 (Ch19-36) contains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



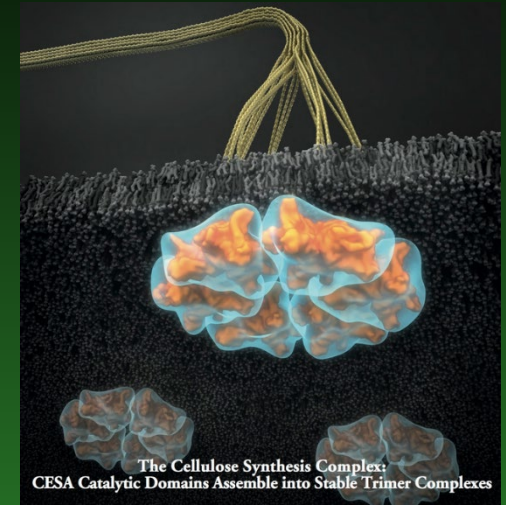
Rozetovitý celulózo-syntetizující komplex na cytoplazmatické membráně *Arabidopsis thaliana* – na snímku z elektronového mikroskopu

# Vznik streptofytní linie – 950–725 mya

(7) Rozetovitý celulózo-syntetizující komplex na cytoplazmatické membráně Chlorophyta a některá Rhodophyta mají celulózo-syntetizující komplex uspořádaný lineárně



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



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



Rozetovitý vznikl až u streptofyt

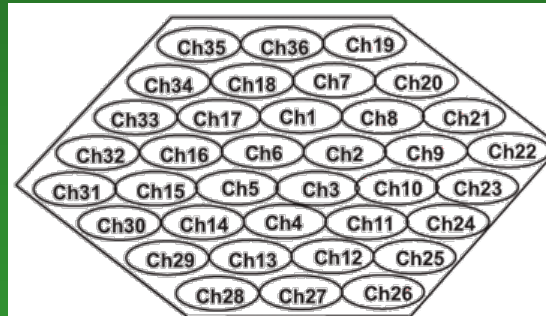
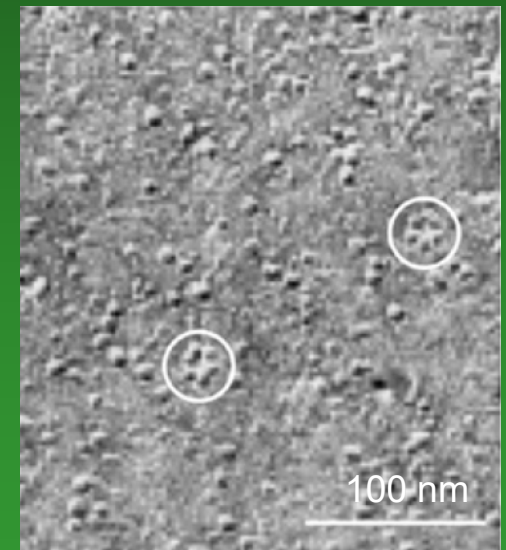


Figure 4. Cross-section of the 36-chain elementary fibril showing number of chains. Chains are numbered from Ch1 to Ch36 and categorized into three groups: group-C1 (Ch1-6) contains six true crystalline chains, group-C2 (Ch7-18) contains twelve subcrystalline chains, and group-C3 (Ch19-36) contains 18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

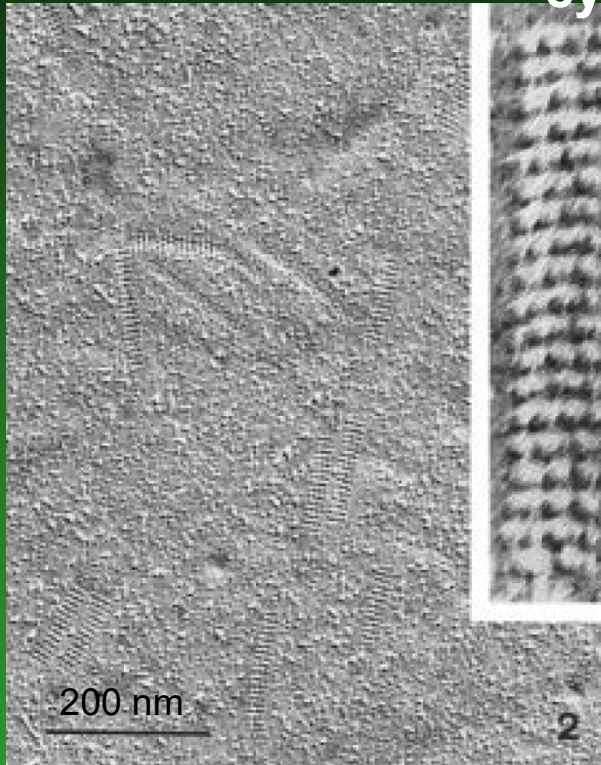


Rozetovitý celulózo-syntetizující komplex na cytoplazmatické membráně *Arabidopsis thaliana* – na snímku z elektronového mikroskopu

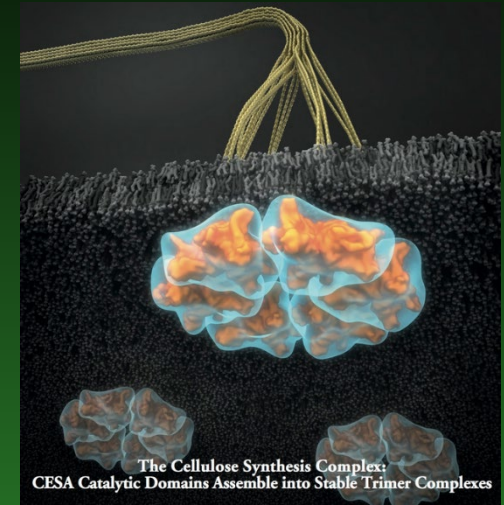


# Vznik streptofytní linie – 950–725 mya

(7) Rozetovitý celulózo-syntetizující komplex na cytoplazmatické membráně Chlorophyta a některá Rhodophyta mají celulózo-syntetizující komplex uspořádaný lineárně



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



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



Rozetovitý vznikl až u streptofyt

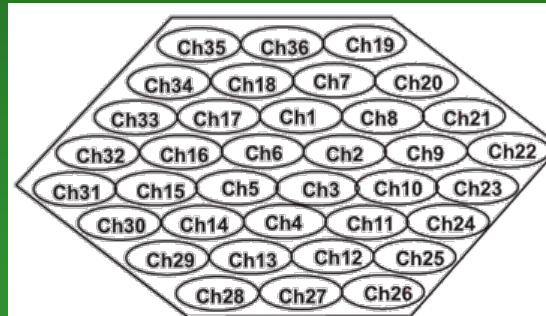
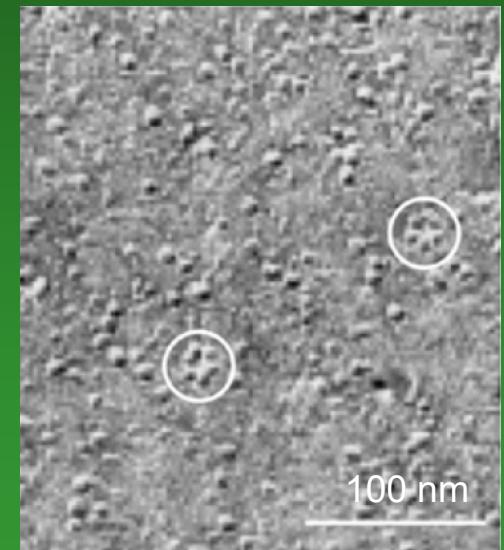


Figure 4. Cross-section of the 36-chain elementary fibril showing number of chains. Chains are numbered from Ch1 to Ch36 and categorized into three groups: group-C1 (Ch1-6) contains six true crystalline chains, group-C2 (Ch7-18) contains twelve subcrystalline chains, and group-C3 (Ch19-36) contains 18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

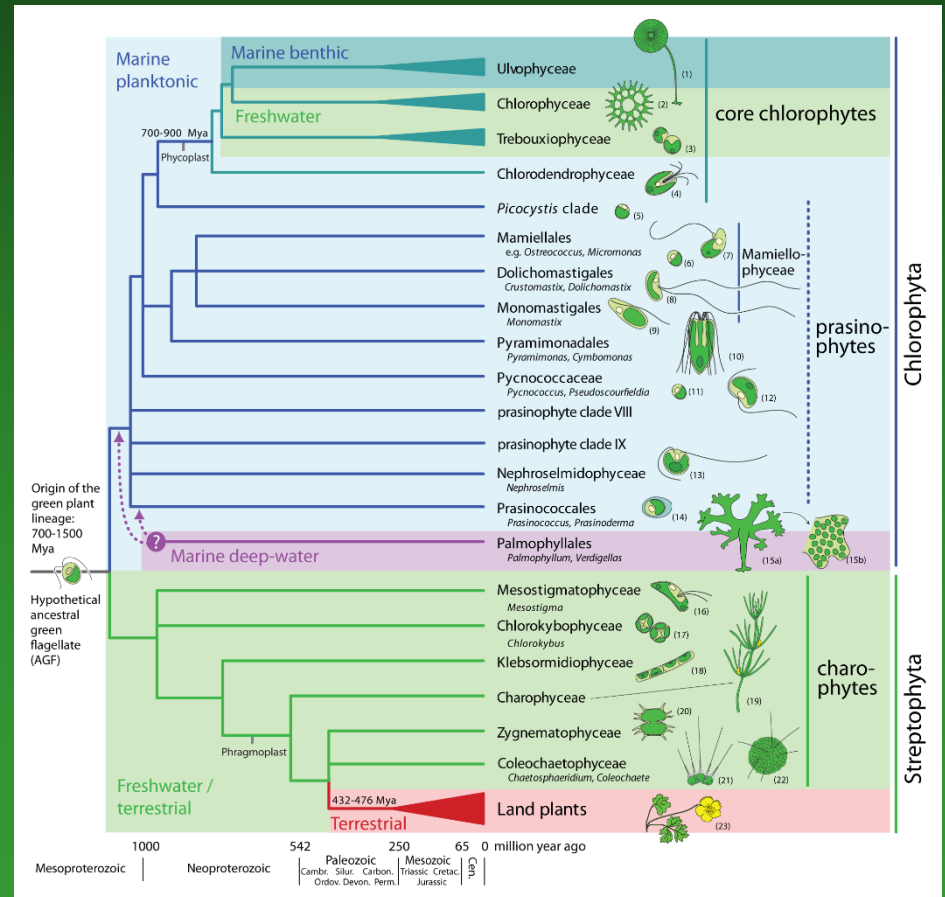


Rozetovitý celulózo-syntetizující komplex na cytoplazmatické membráně *Arabidopsis thaliana* – na snímku z elektronového mikroskopu

# 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. Wirhner, Joanne Kluessendorf & Donald G. Mikulic

Figure 1. *Pariscorpio venator* gen. et sp. nov., Beauden 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 500–480 mya



# Kdy začala terestrializace ?

Nejstarší makrofosílie vyšších rostlin – ryniofytní rostlina

*Cooksonia* –  
rozhraní střední - svrchní silur:

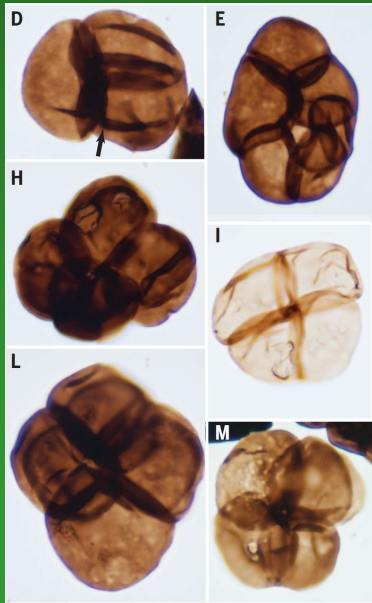
428–432 mya



# Kdy začala terestrializace ?

Nejstarší makrofosílie vyšších rostlin – ryniofytní rostlina  
*Cooksonia* –  
rozhraní střední - svrchní silur:

428–432 mya



Nejstarší mikrofosílie vyšších rostlin  
= tetrádní spóry ca 30  $\mu\text{m}$  v průměru se sporopoleninem  
spodní ordovik

480 mya



*Science* **373**, 792–796 (2021) 13 August 2021

**A fossil record of land plant origins from charophyte algae**

Paul K. Strother<sup>1\*</sup> and Clinton Foster<sup>2</sup>



život v mořích ordoviku



# Co muselo předcházet terestrializaci?

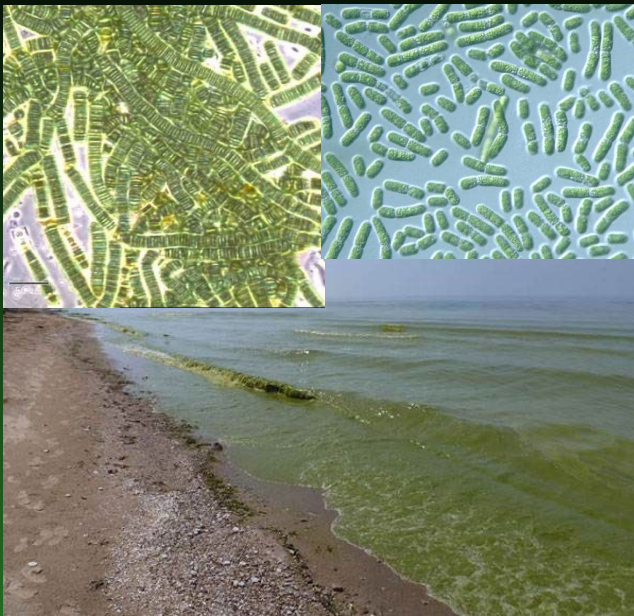
(= podmínky kolonizace souše vyššími rostlinami)



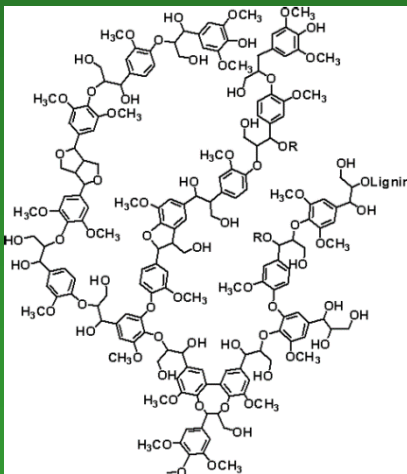
Copyright © Walter Myers

# (1) Vyšší koncentrace O<sub>2</sub> v atmosféře

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

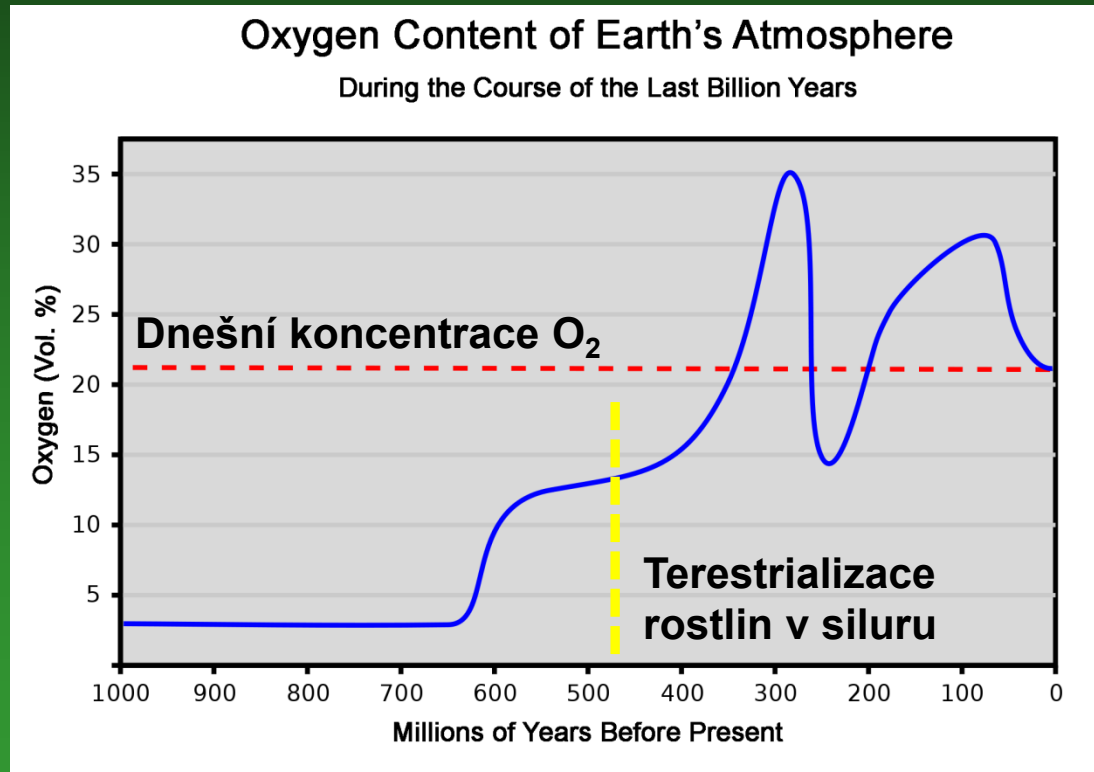


Kyslík vytvořily fotosyntézou  
sinice



**lignin**

= polyfenolický biopolymer

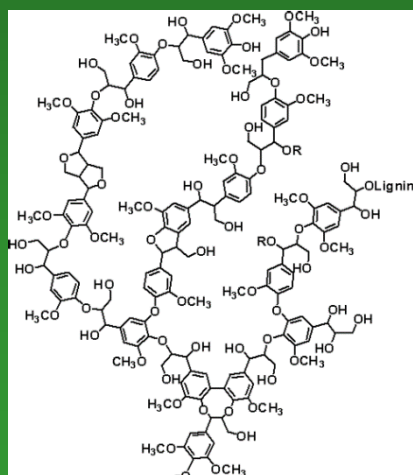


# (1) Vyšší koncentrace O<sub>2</sub> v atmosféře

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

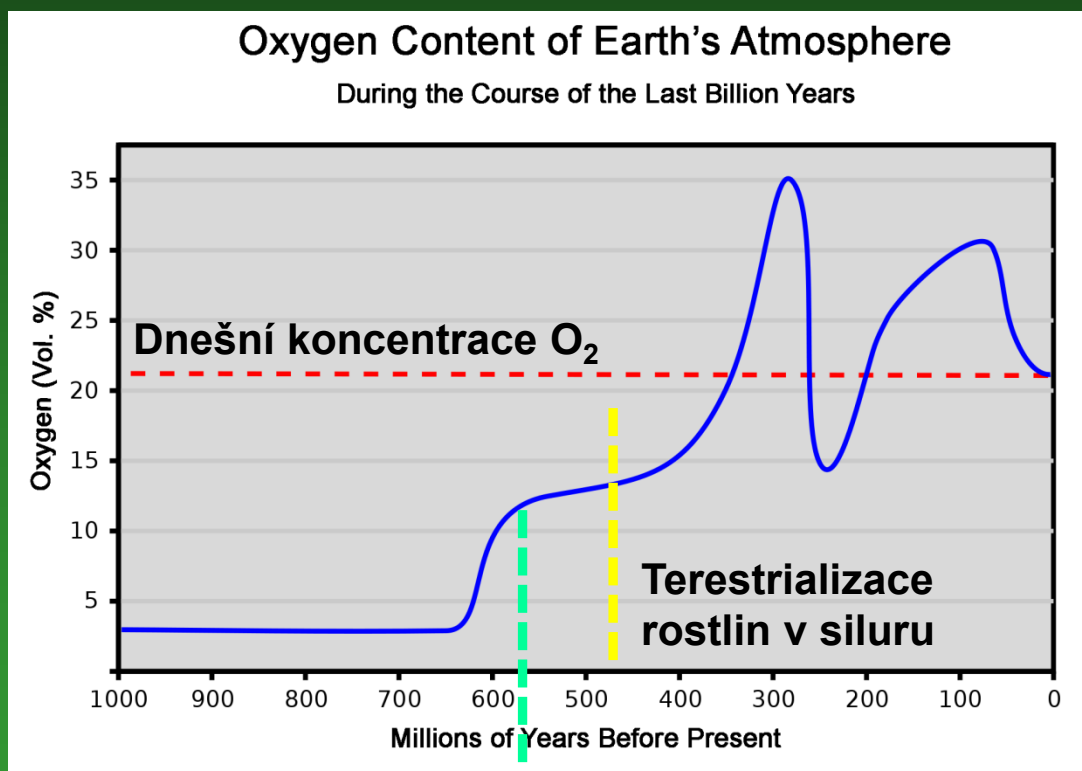


Kyslík vytvořily fotosyntézou  
sinice

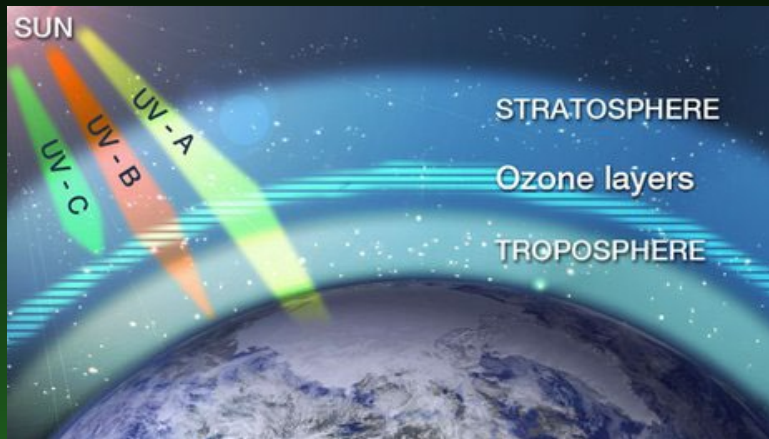


**lignin**

= polyfenolický biopolymer



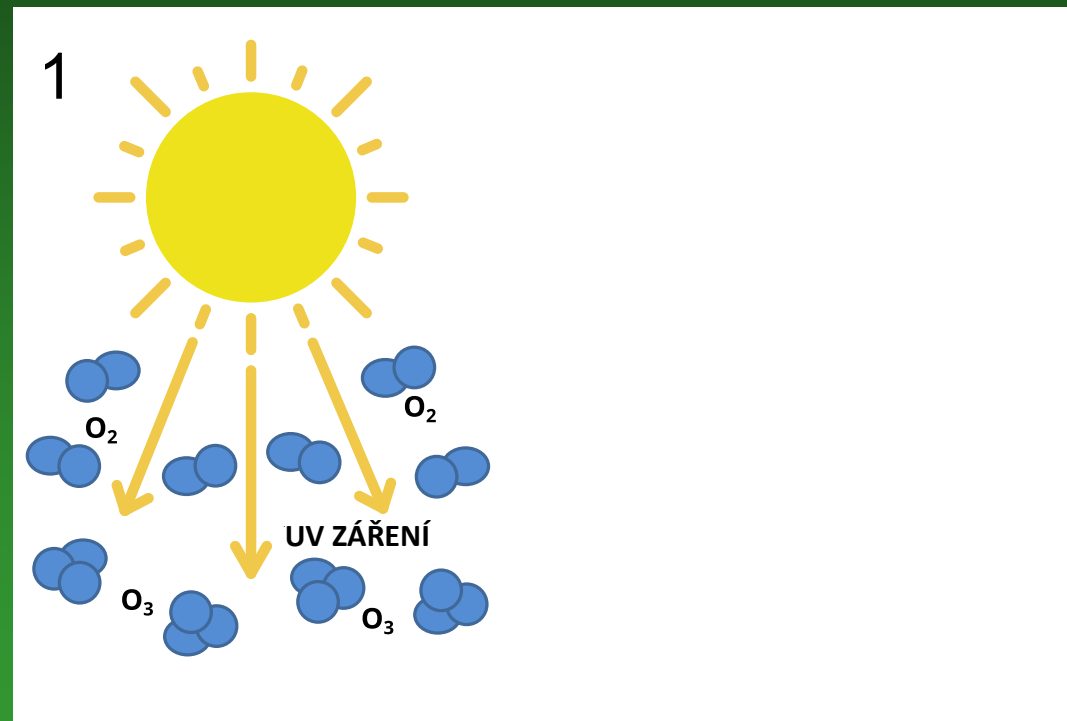
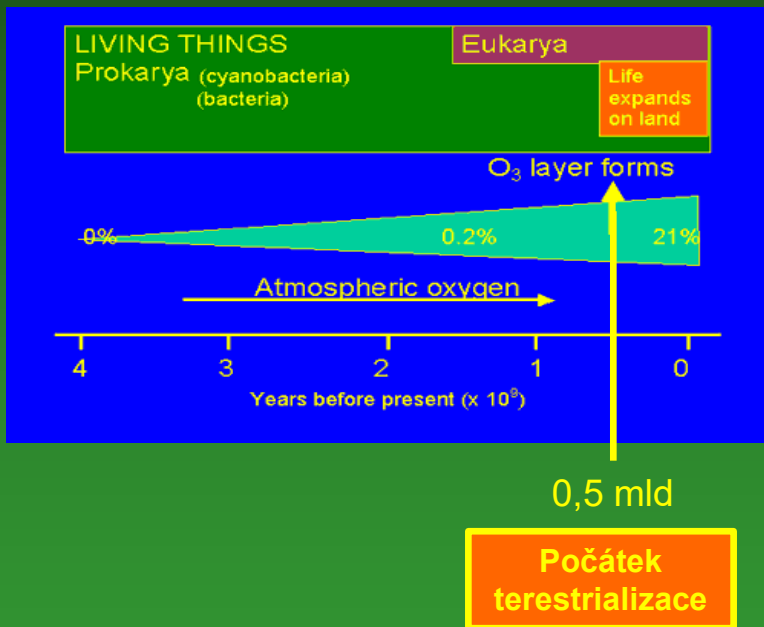
Kambrická exploze diverzity  
multicelularity živočichů



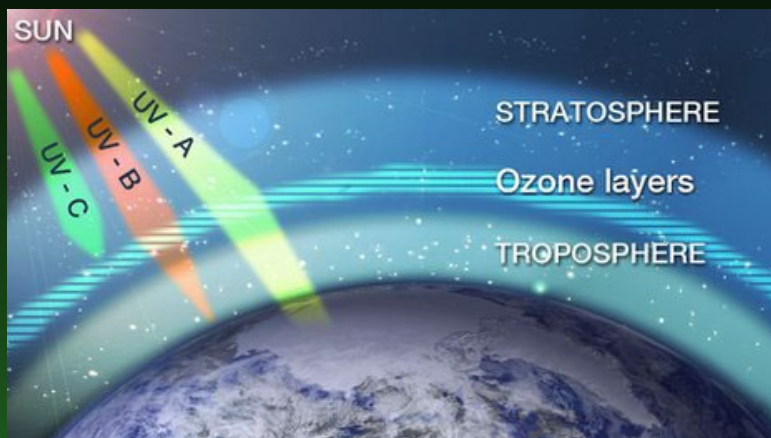
## (2) vytvoření ozónové vrstvy = ochrany před UV zářením



Ozon vzniká hlavně dvěma způsoby:



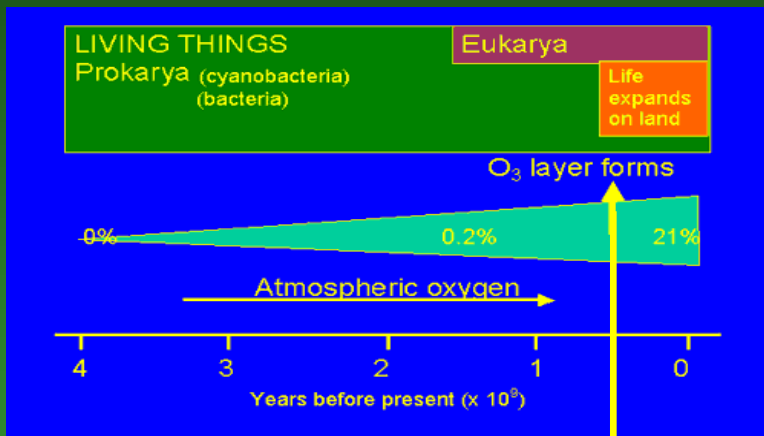




## (2) vytvoření ozónové vrstvy = ochrany před UV zářením

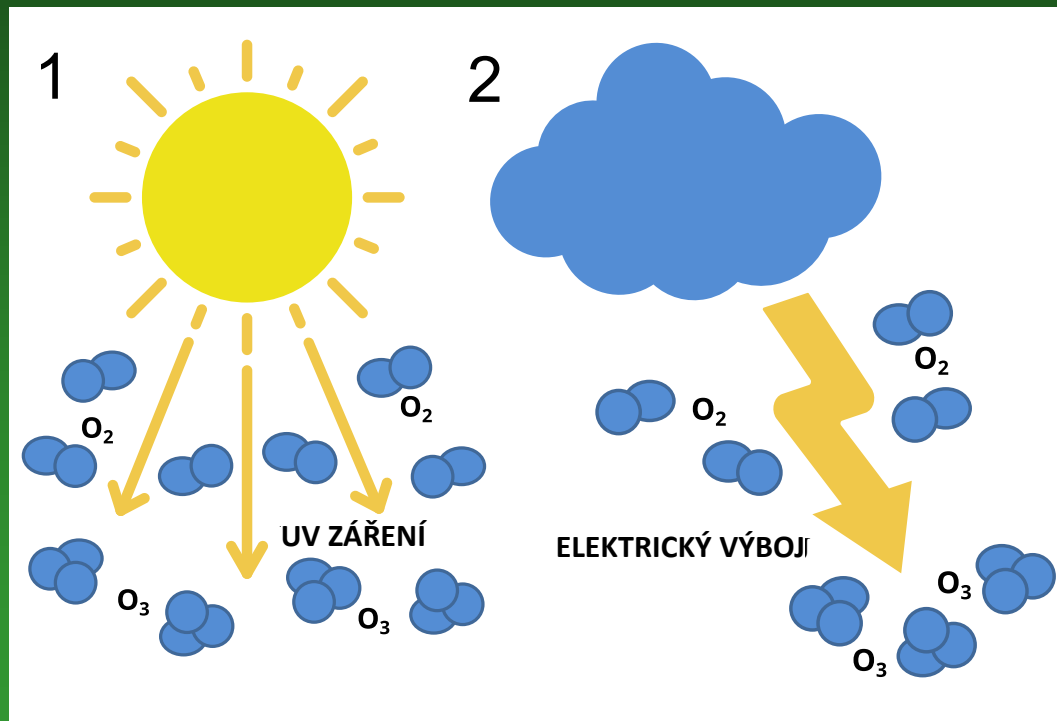


Ozon vzniká hlavně dvěma způsoby:

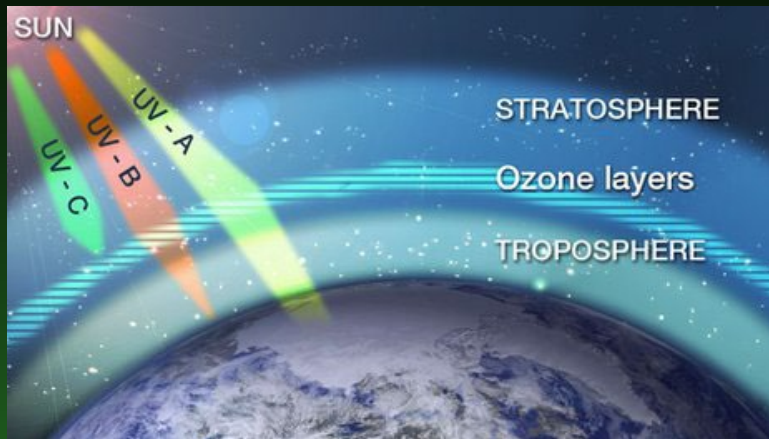


0,5 mld

Počátek terestrializace



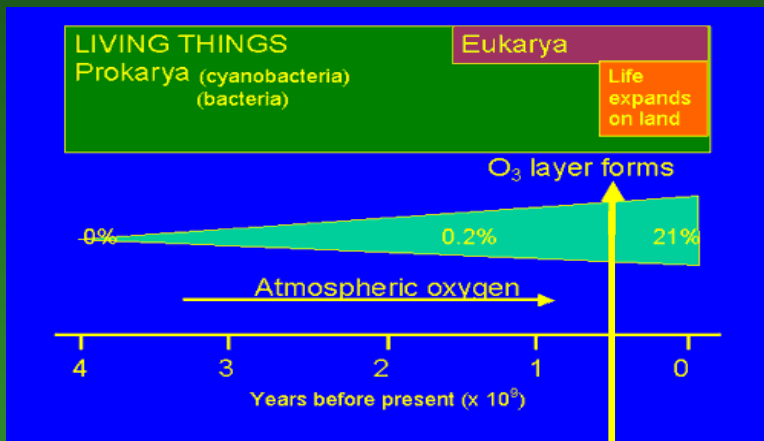




## (2) vytvoření ozónové vrstvy = ochrany před UV zářením

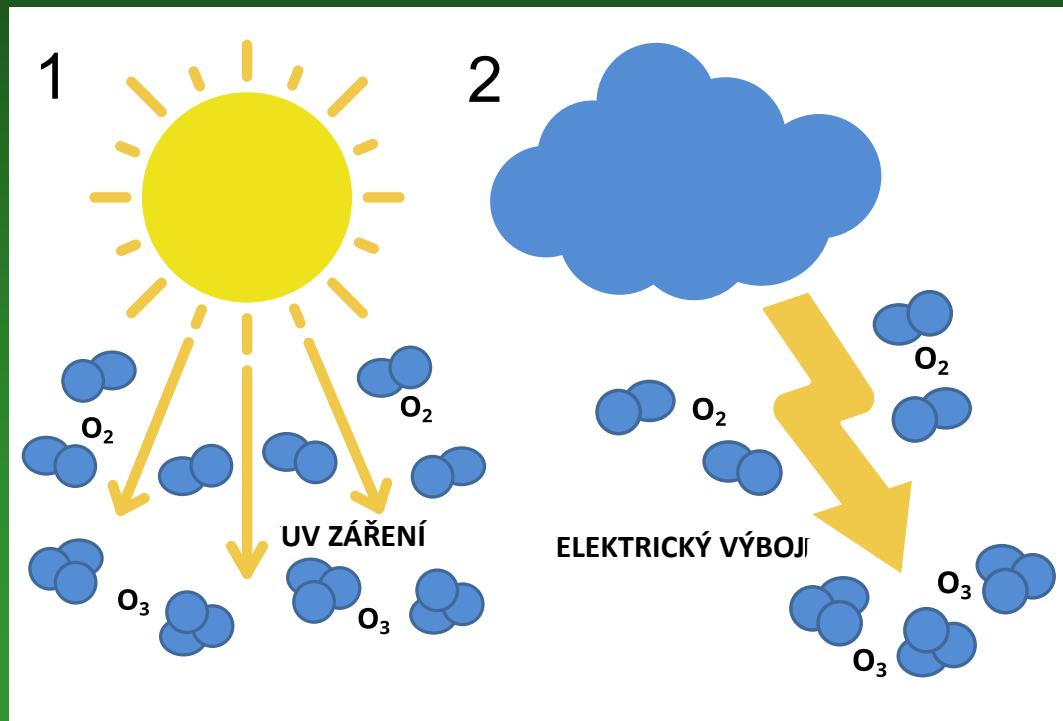


Ozon vzniká hlavně dvěma způsoby:



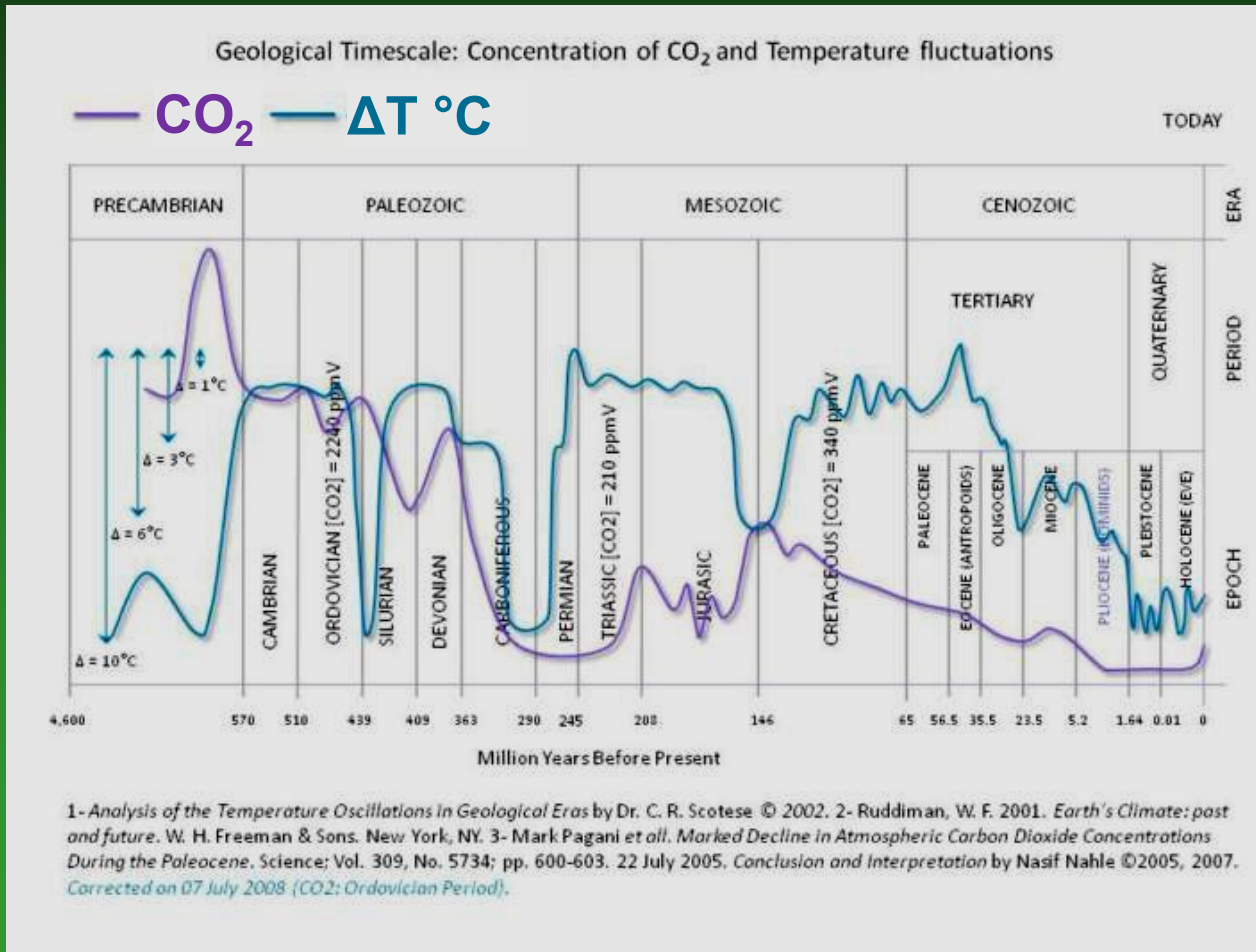
0,5 mld

Počátek terestrializace



Aerofytické řasy či sinice, nebo lišejníky mohly kolonizovat souš dříve než vyšší rostliny, ale ne o moc dříve, protože i ony potřebovaly ozónovou ochranu před UV-B, aby na zemi přežily

### (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 !

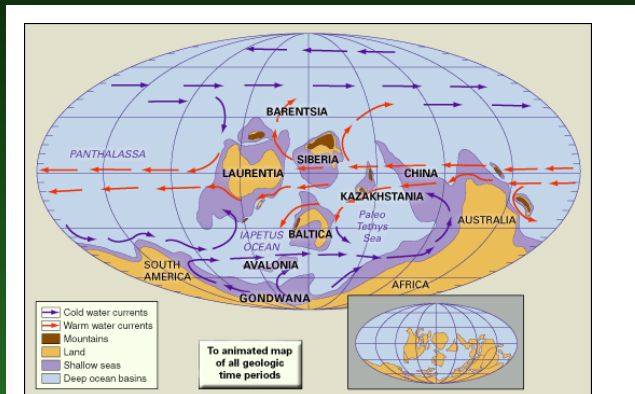
=> Větší fotosyntéza = víc biomasy = víc živin po jejím rozkladu

=> Kyselejší déšť = intenzivnější oxidace hornin

## (4) Vlhké klima

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

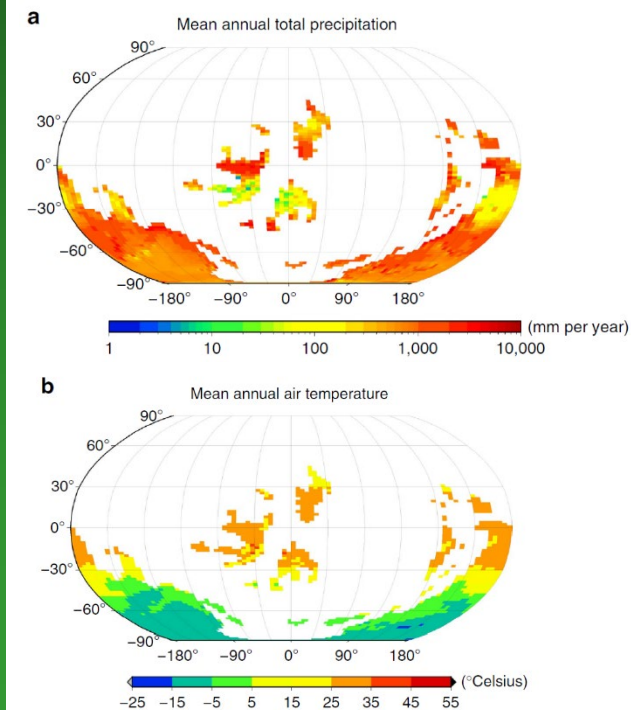
na J pólu velký kontinent Gondwana = na pólu velký ledovec



Mezi chladným ledovcem a horkým + vlhkým pobřežím = monzunové klima

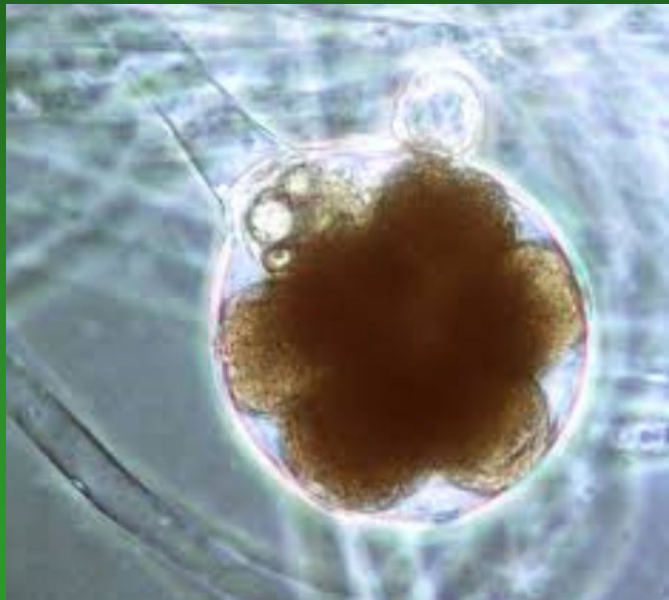
Dostatek srážek =  
zvětrávání hornin =  
půdotvorba

Vlhkost = ideální klima pro  
terestrializaci

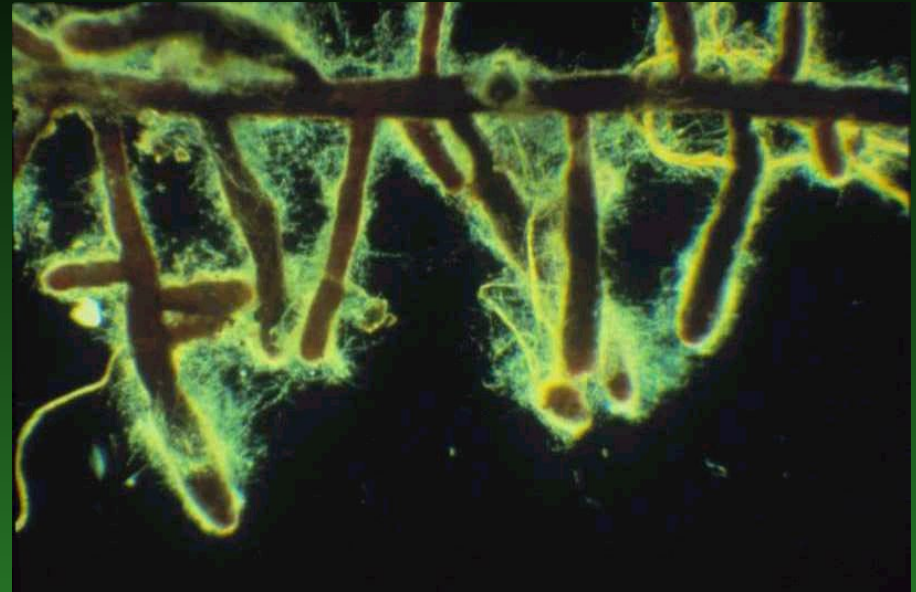


## (5) Symbióza řas s houbami

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



vodní Oomycota



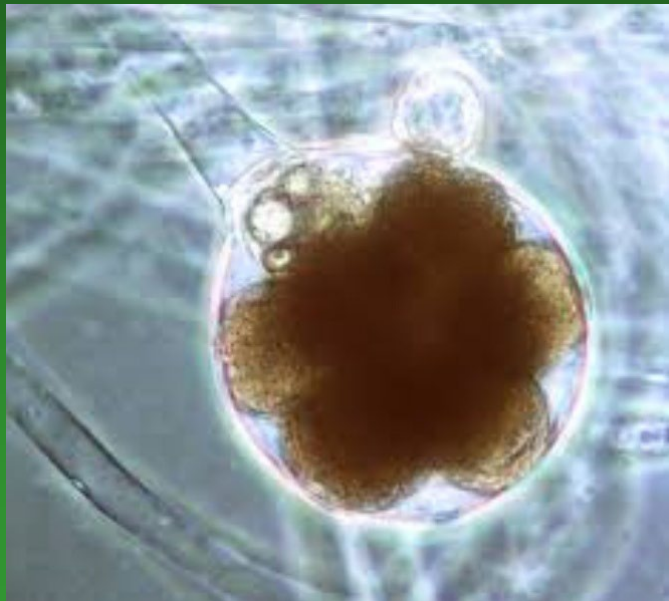
Mykorhiza provází všechny linie terestrických rostlin.

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.

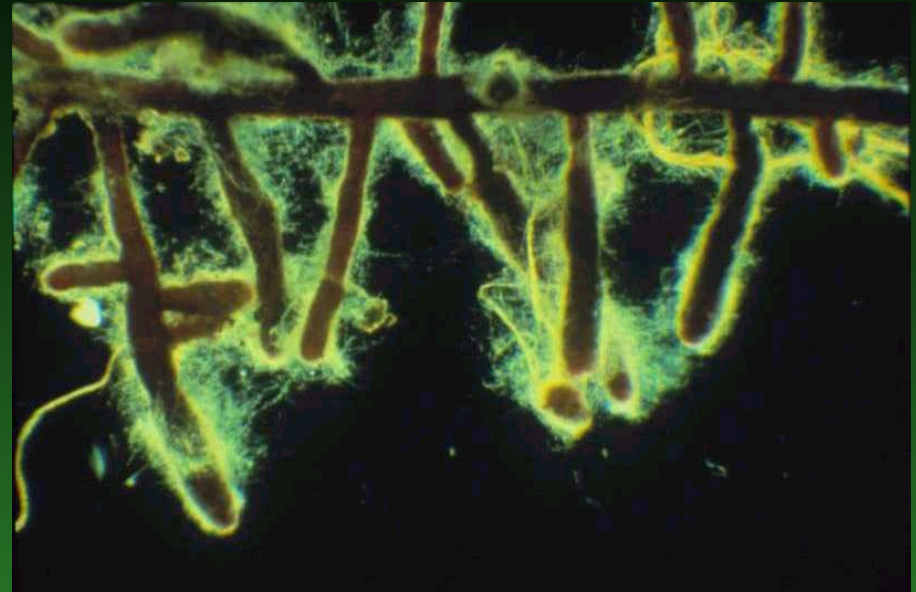


## (5) Symbióza řas s houbami

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.

**Houby nejsou starobylejší rostliny a živočichové; divergovaly (koevolvovaly) paralelně**



# 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?



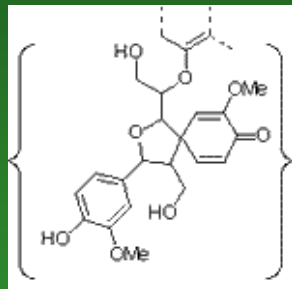
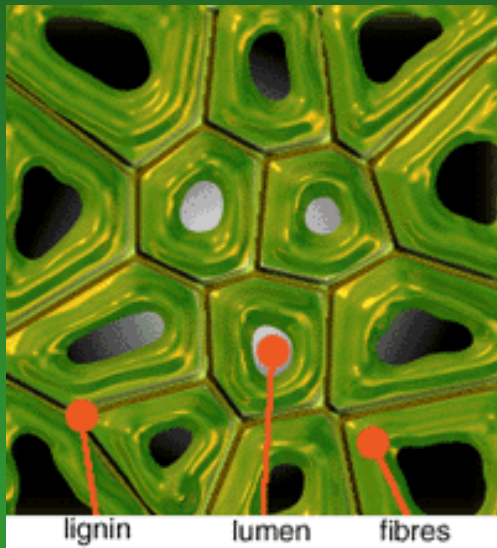
Působení gravitace, větru, sněhu, námrazy, býložravců

# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?

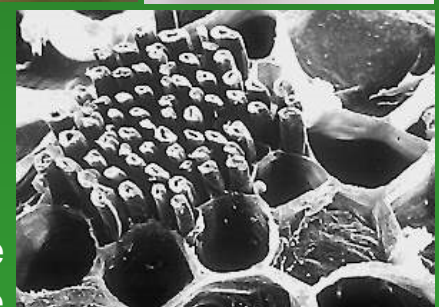
☹️ Působení gravitace, větru, sněhu, námrazy, býložravců

😊 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



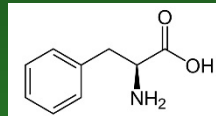
# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?

☹️ Působení gravitace, větru, sněhu, námrazy, býložravců

😊 Zvýšení konstrukční pevnosti

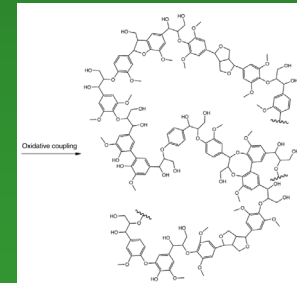
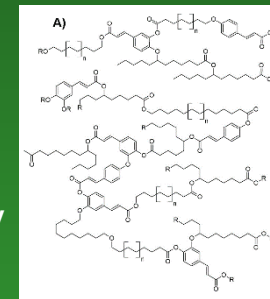
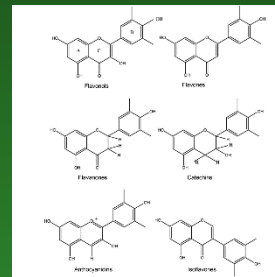
(1a) **lignin** – jeho biosyntéza vychází z metabolických drah na jejichž počátku je

L-fenylalanin

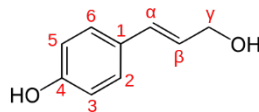


Fenylpropanoidy

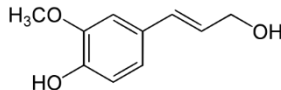
= deriváty fenylpropanu  
= prekurzory ligninu



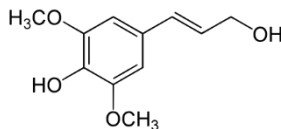
p-kumarylalkohol



koniferylalkohol



sinapylalkohol



– biosyntéza flavonoidů  
= ochrana před UV, antioxidanty

– biosyntéza sporopoleninu  
= ochrana spór před vysycháním

– biosyntéza ligninu  
= opora

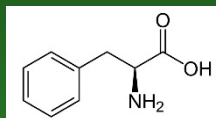
# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?

☹️ Působení gravitace, větru, sněhu, námrazy, býložravců

😊 Zvýšení konstrukční pevnosti

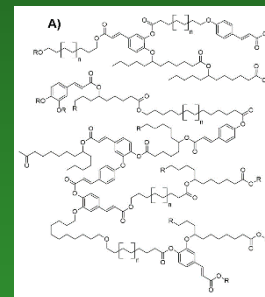
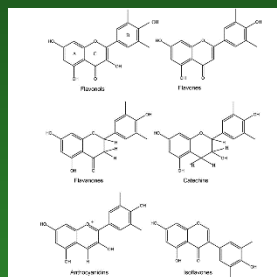
(1a) **lignin** – jeho biosyntéza vychází z metabolických drah na jejichž počátku je

L-fenylalanin

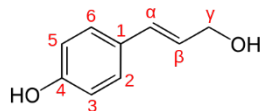


Fenylpropanoidy

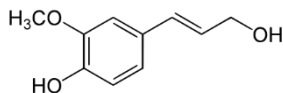
= deriváty fenylpropanu  
= prekurzory ligninu



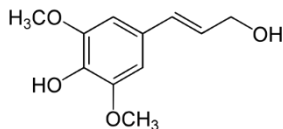
p-kumarylalkohol



koniferylalkohol



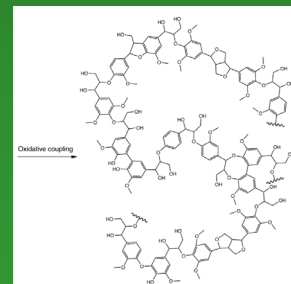
sinapylalkohol



– biosyntéza flavonoidů  
= ochrana před UV, antioxidanty

– biosyntéza sporopoleninu  
= ochrana spór před vysycháním

– biosyntéza ligninu  
= opora



Z metabolické dráhy pro ochranu před UV se vyvinula dráha pro tvorbu sporopoleninu a 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  $\text{CO}_2$  + ven  $\text{H}_2\text{O}$

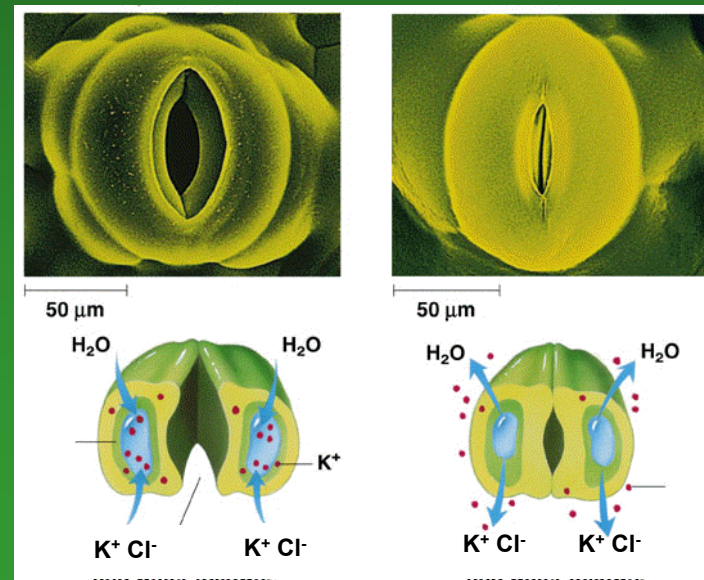


Průduchy:

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?

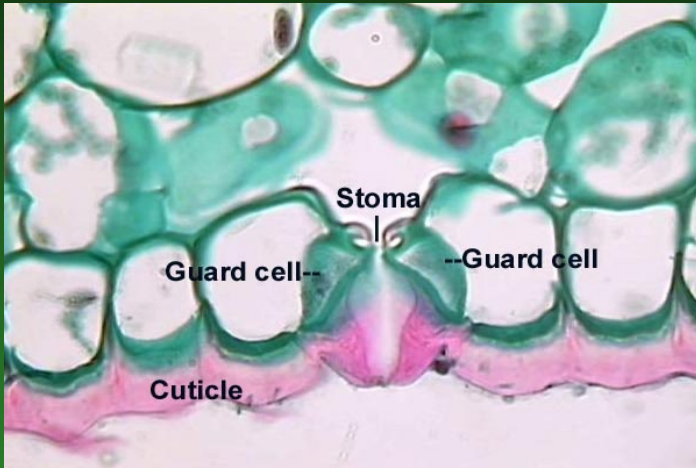


Sucho



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



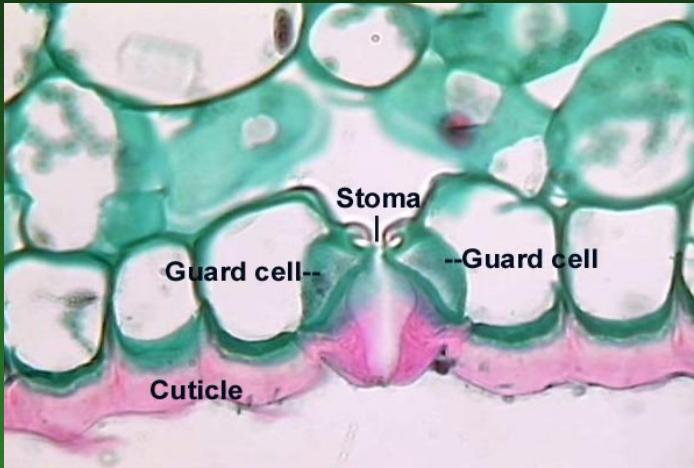
Kutikula

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.

– brání také rostlinu proti houbovým a bakteriálním patogenům

– zčásti působí i jako filtr proti UV záření

– homology genů pro syntézu kutinu poprvé patrně až u sesterské linie terestrických rostlin – Zygnematophyceae (u jiných Charofyt naopak nezjištěny)

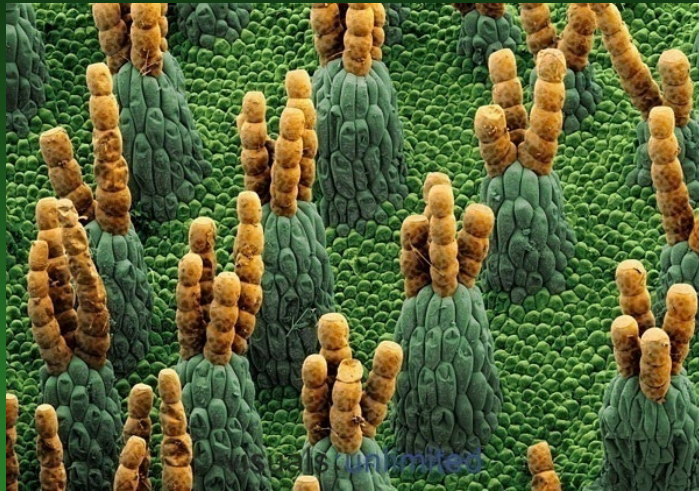




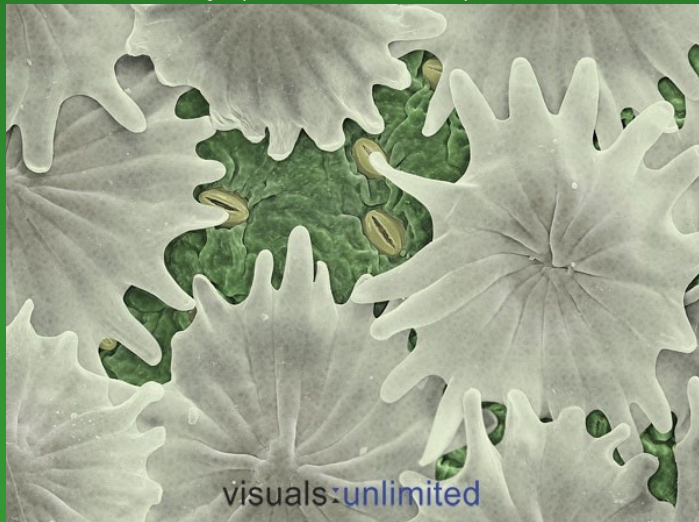
# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?



Sucho



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



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



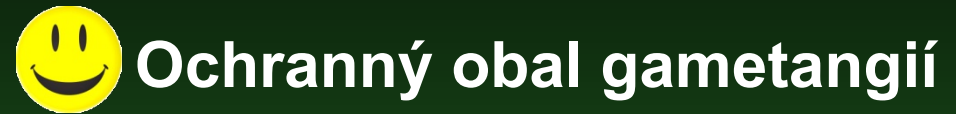
**Trichomy** – vytvářejí vyšší vrstvu nepohyblivého vzduchu „boundary layer“ nad průduchy = adaptace snižující výpar



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



# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?



= vrstva buněk, která se tvorbou gamet ani oplození neúčastní – homologická s epidermis;



antheridium



archegonium



Poprvé už u  
parožnatek





# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?



Sucho

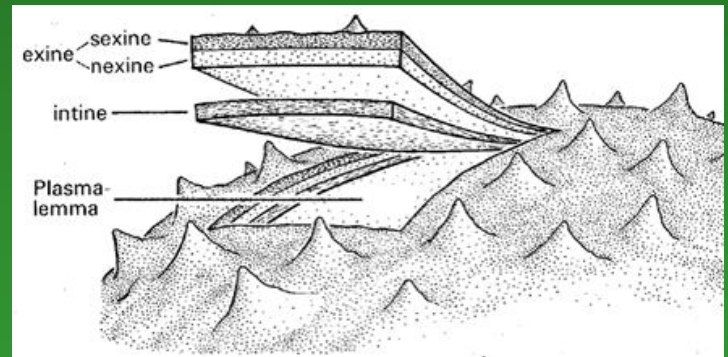
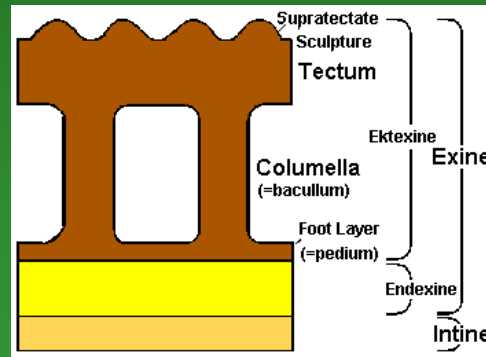
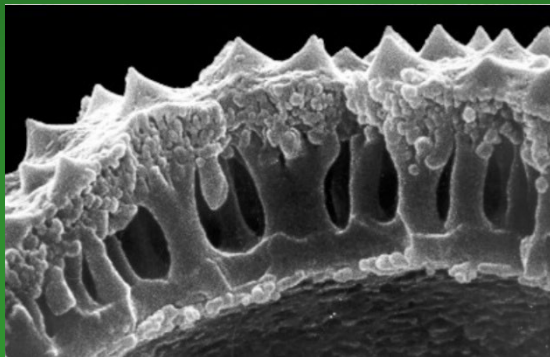


Rezistentní obal spór / pylu

– dvouvrstevný

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

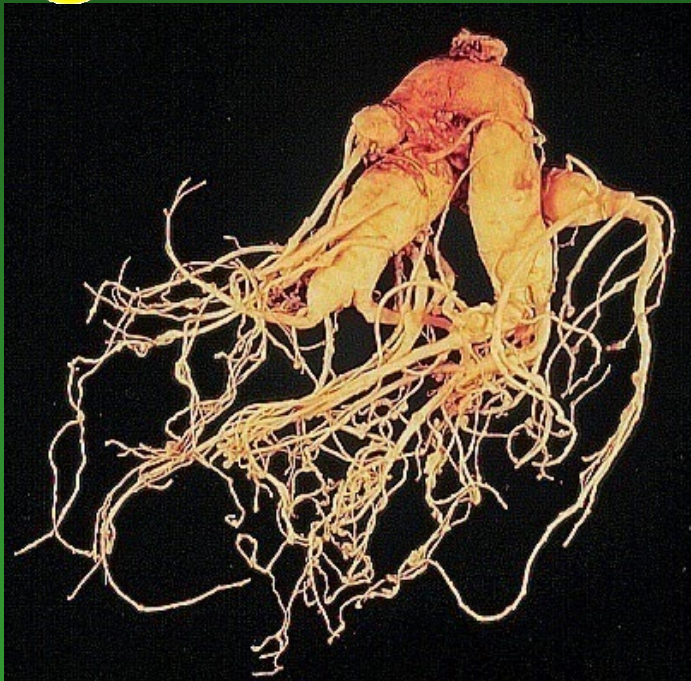
# Jak se rostliny s podmínkami souše vyrovnaly?

☹️ 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

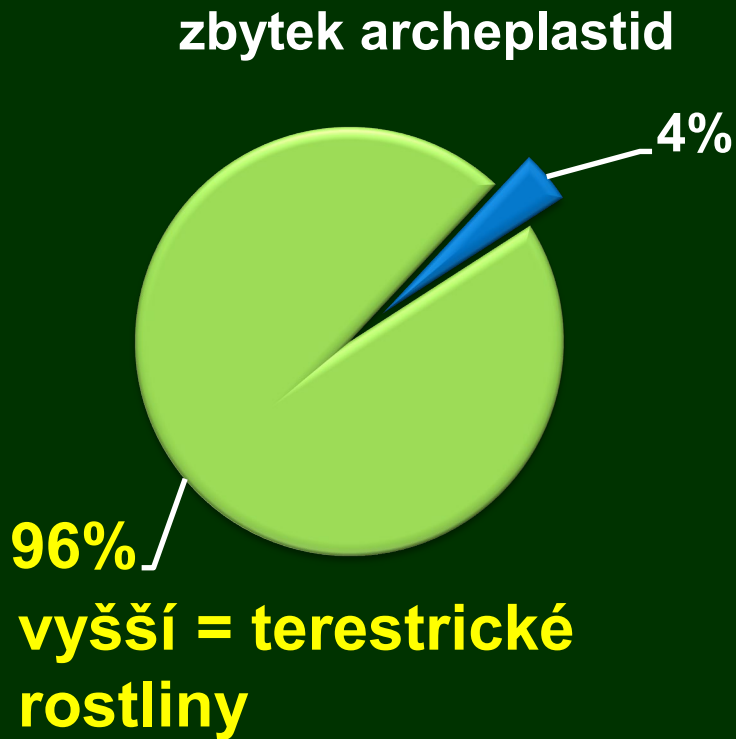


sklerenchym

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**

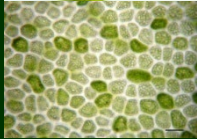


# Důsledek terestrializace – **evoluce komplexity a 3D**

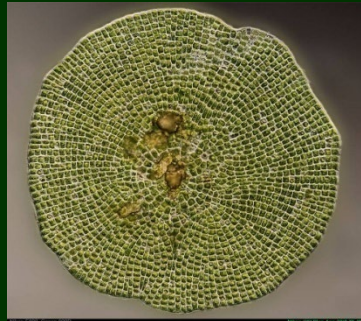
= „zesložitení“ struktury = vznik pletiv a orgánů tvořících tělo (cormus)

vyšší rostliny proto nazývány též **Cormophyta**

Vodní prostředí = strukturně homogenní stélka řas



*Ulva, Chlorophyta*



*Coleochaete, Charophyta*



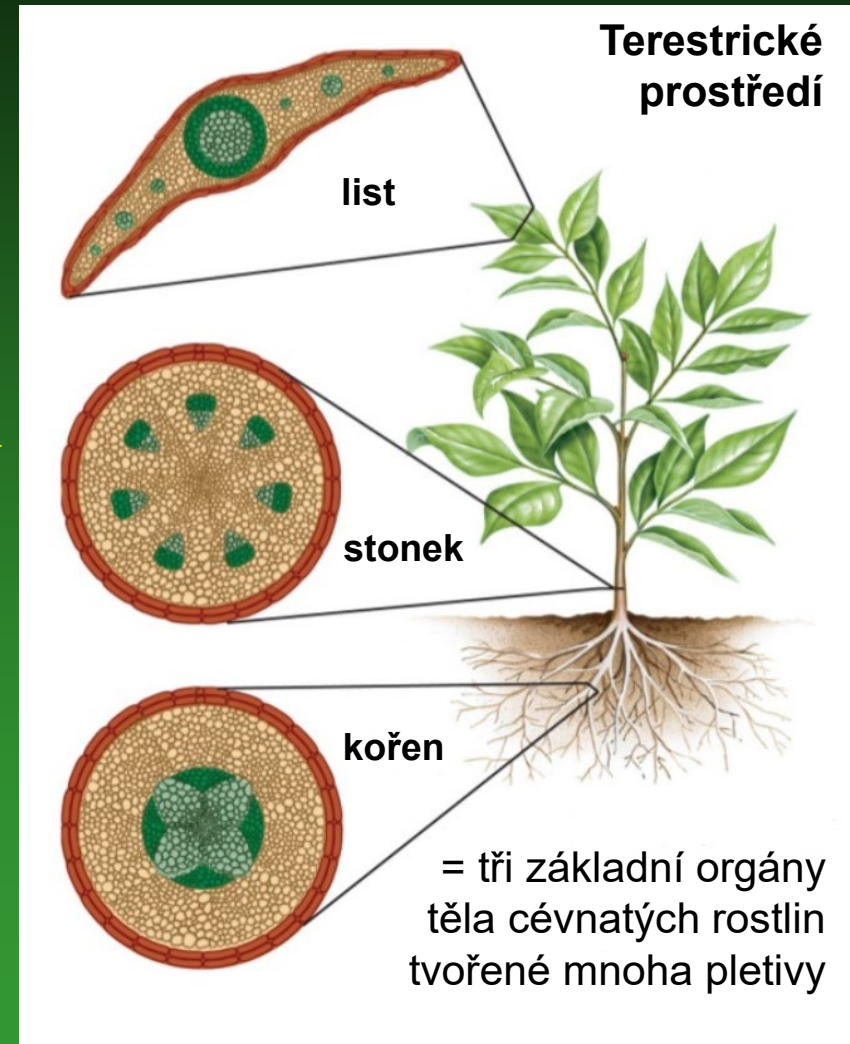
*Porphyra suborbiculata*  
Univ Tsukuba



*Dictyota, Phaeophyta*



*Porphyra, Rhodophyta*



# Důsledek terestrializace – **evoluce komplexity**

## Vztah mezi velikostí a komplexitou rostlinné stavby

### Největší bezcévné

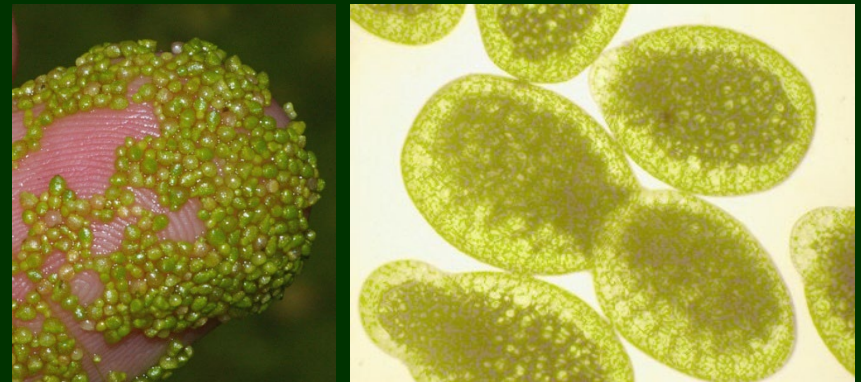
Drobné mechy ve vlhku „nepotřebují“ složitější anatomii. Avšak čím jsou větší, tím mají anatomickou stavbu složitější.



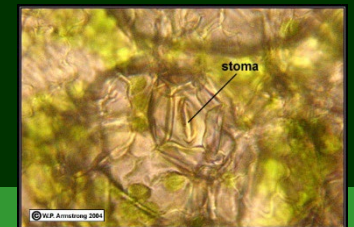
U největších mechů – ploníků – se vyvinuly „cévní svazky“ s „xylemem“ s hydroidami a „floemem“ s leptoidami.

### 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 – okřešky 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

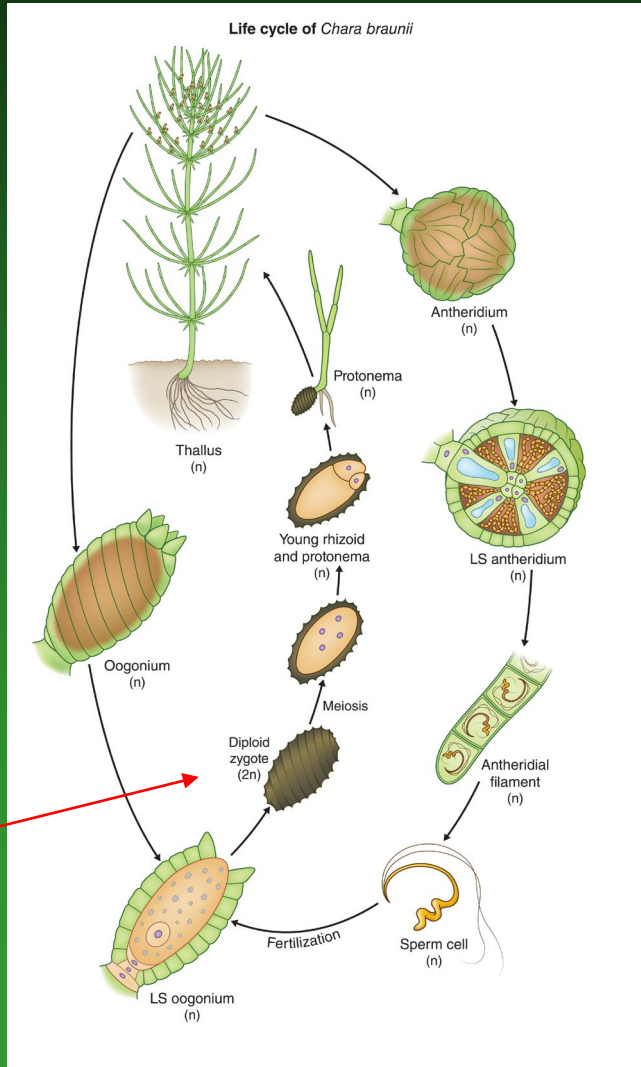
Haplodiplontní životní cyklus vznikl i u ruduch nebo zelených řas nebo u hnědých řas, u streptofytů, ale jen jednou při tetrestrializaci to sehrálo klíčovou roli

**V evoluci je důležitá i náhoda !**



# Důsledek terestrializace – **evoluce životního cyklu**

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

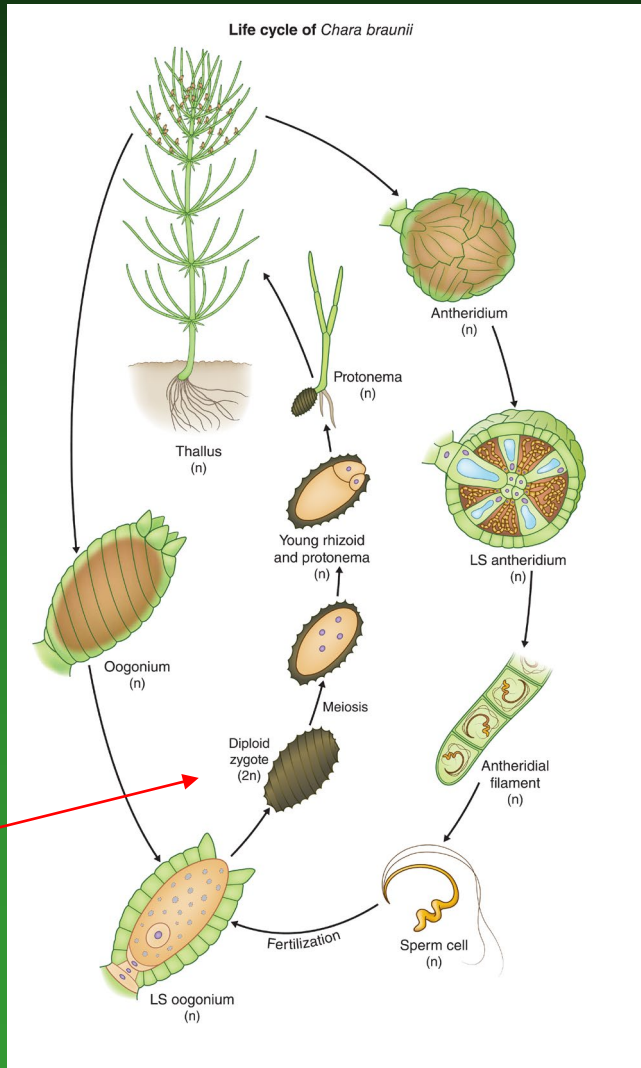


Sesterská linie  
parožnatek má v  
životním cyklu  
diploidní jen zygotu



# Důsledek terestrializace – **evoluce životního cyklu**

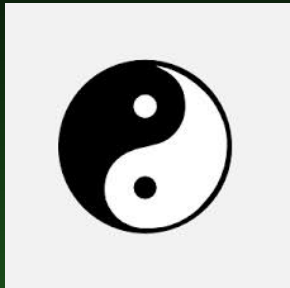
dominace sporofytu v životním cyklu u odvozenějších linií roste  
= role fází rodozměny se v evoluci postupně „překlápí“!



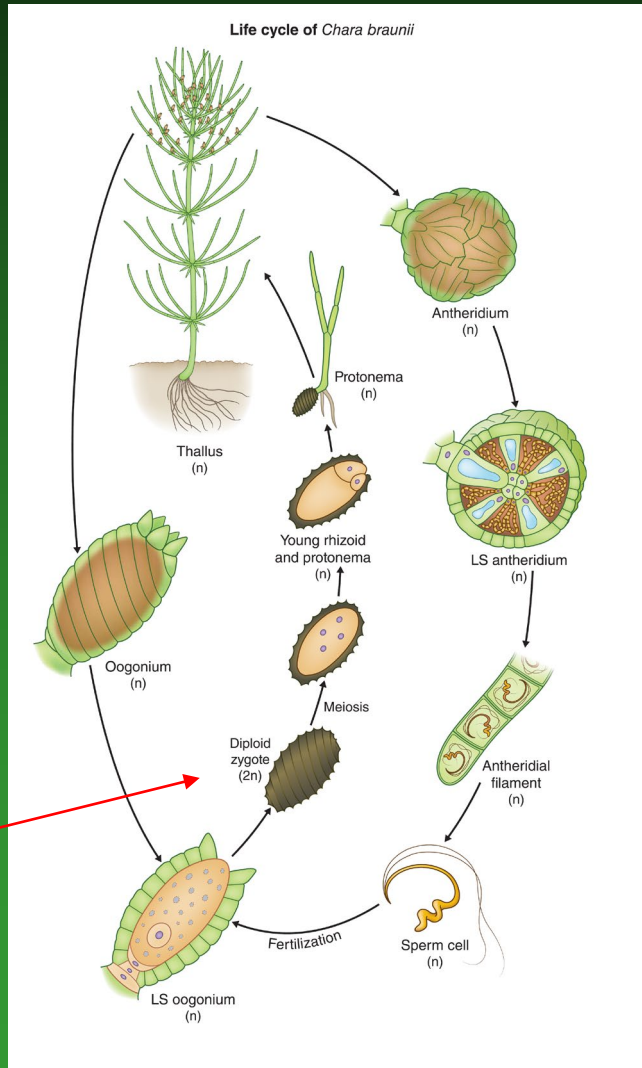
Sesterská linie  
parožnatek má v  
životním cyklu  
diploidní jen zygotu

Zygota obalena  
sporopoleninem se  
šíří, teprve pak  
meioza

# Důsledek terestrializace – **evoluce životního cyklu**



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



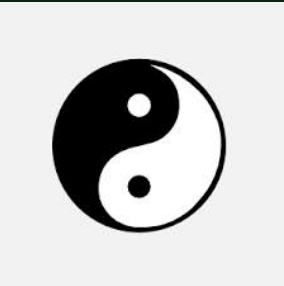
Pokud by se zygota  
několikrát mitoticky dělila a  
teprve pak meioticky  
vytvořila (mnohem více)  
spór,

mohla by to být selektivní  
výhoda při šíření, zejména v  
terestrickém prostředí

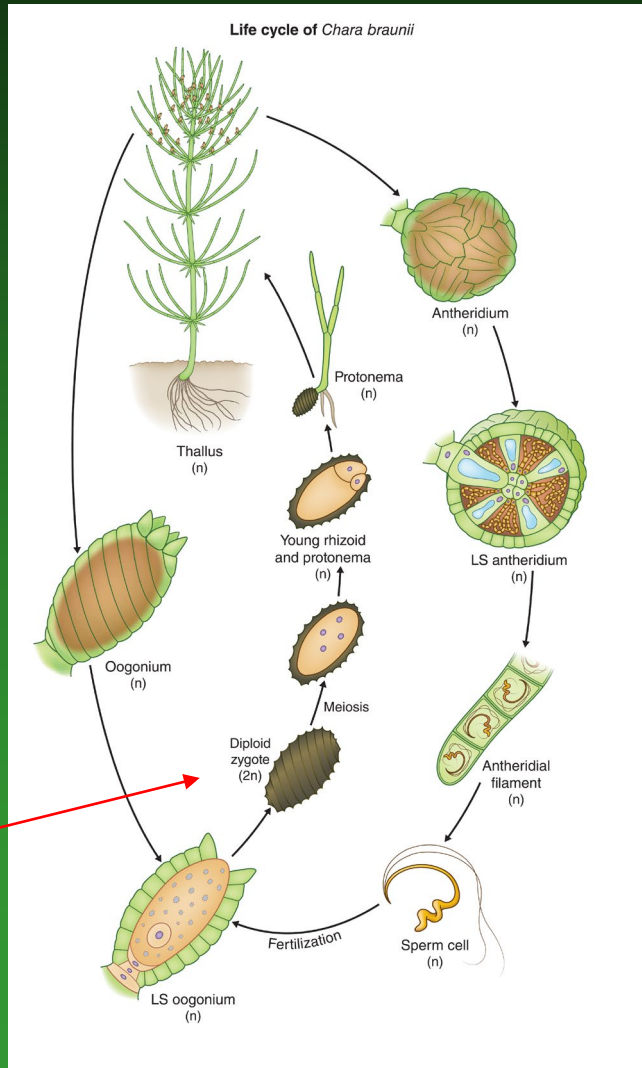
Sesterská linie  
parožnatek má v  
životním cyklu  
diploidní jen zygotu

Zygota obalena  
sporopoleninem se  
šíří, teprve pak  
meioza

# Důsledek terestrializace – **evoluce životního cyklu**

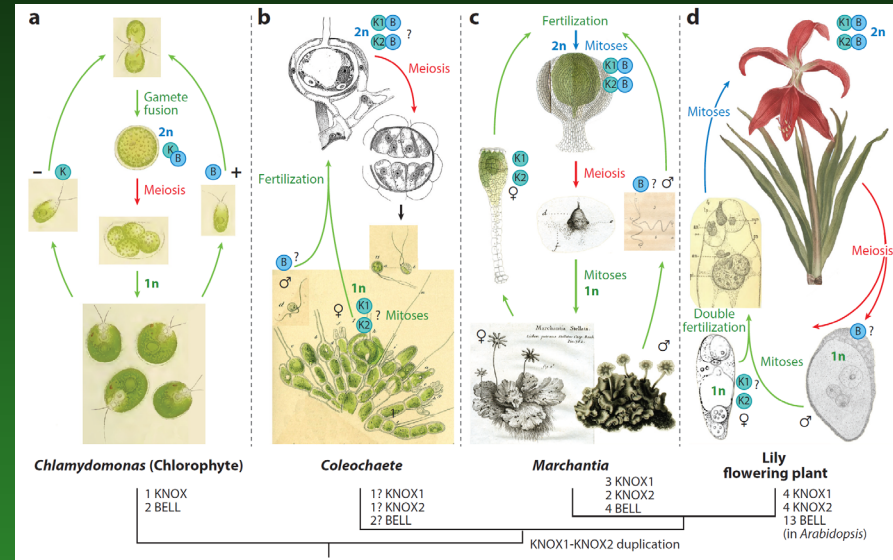


dominace sporofytu v životním cyklu u odvozenějších linií roste  
= role fází rodozměny se v evoluci postupně „překlápí“!



Sesterská linie parožnatek má v životním cyklu diploidní jen zygotu

Zygota obalena sporopoleninem se šíří, teprve pak meioza



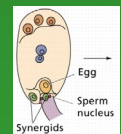
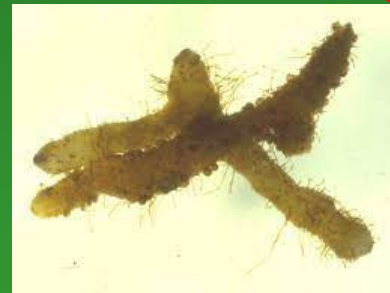
Už u zelených řas regulují vznik sporofytu/zygoty stejné strukturální geny:  
KNOX (exprimuje se v samičí gametě)  
BELL (exprimuje se v samčí gametě).

Při splynutí gamet vznikne kombinací těchto dvou podjednotek heterodimer, který jako transkripční faktor nasedne na regulační oblast genu jehož expresí je spuštěn „program“ pro tvorbu zygoty a případný její další diferenciaci ve sporofyt nebo meiotické dělení.

# 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



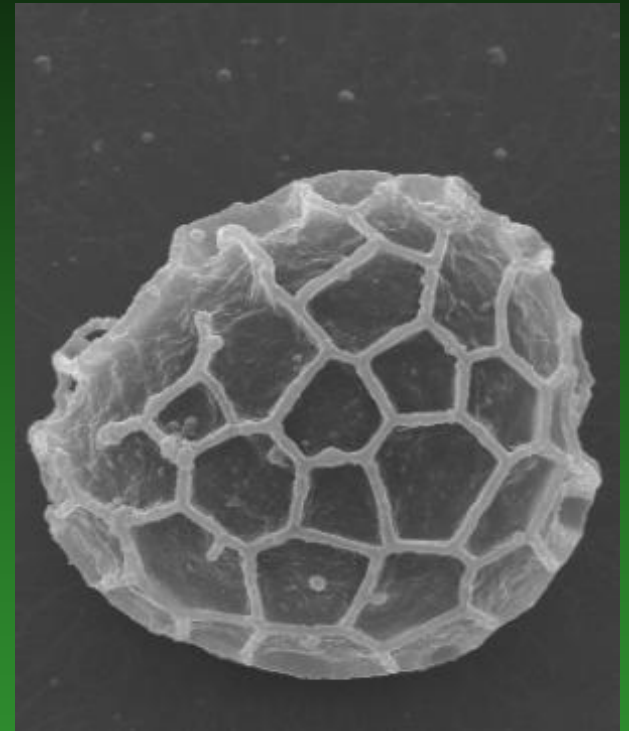
# Důsledek terestrializace – **evoluce semennosti**

## 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*



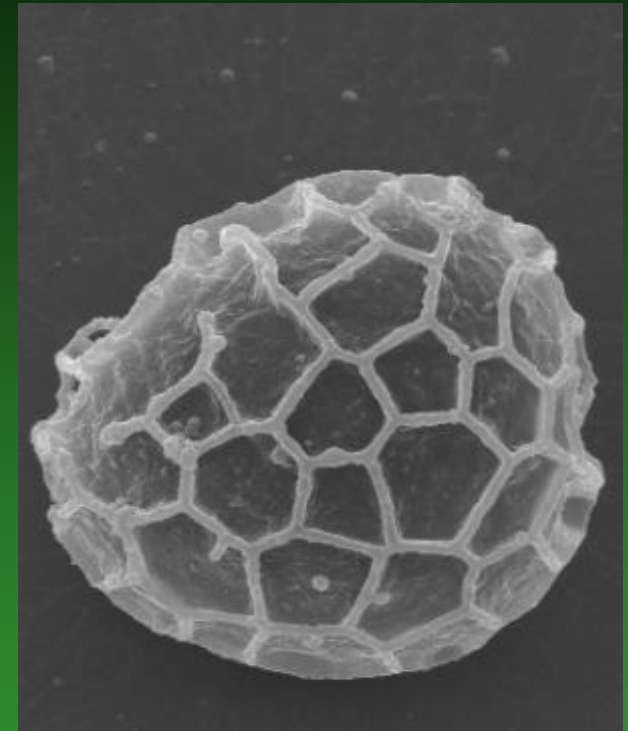
# Důsledek terestrializace – **evoluce semennosti**

## 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!“

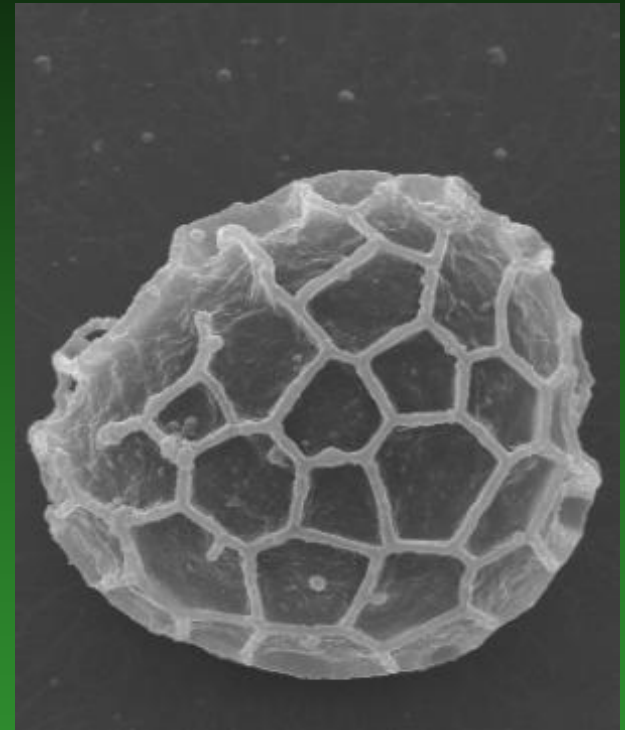
# Důsledek terestrializace – **evoluce semennosti**

## 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**

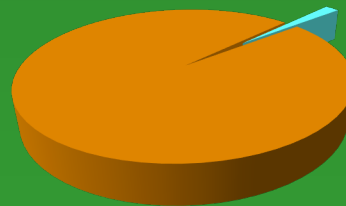
## **Vyšší rostliny tvoří jejich kostru**

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**

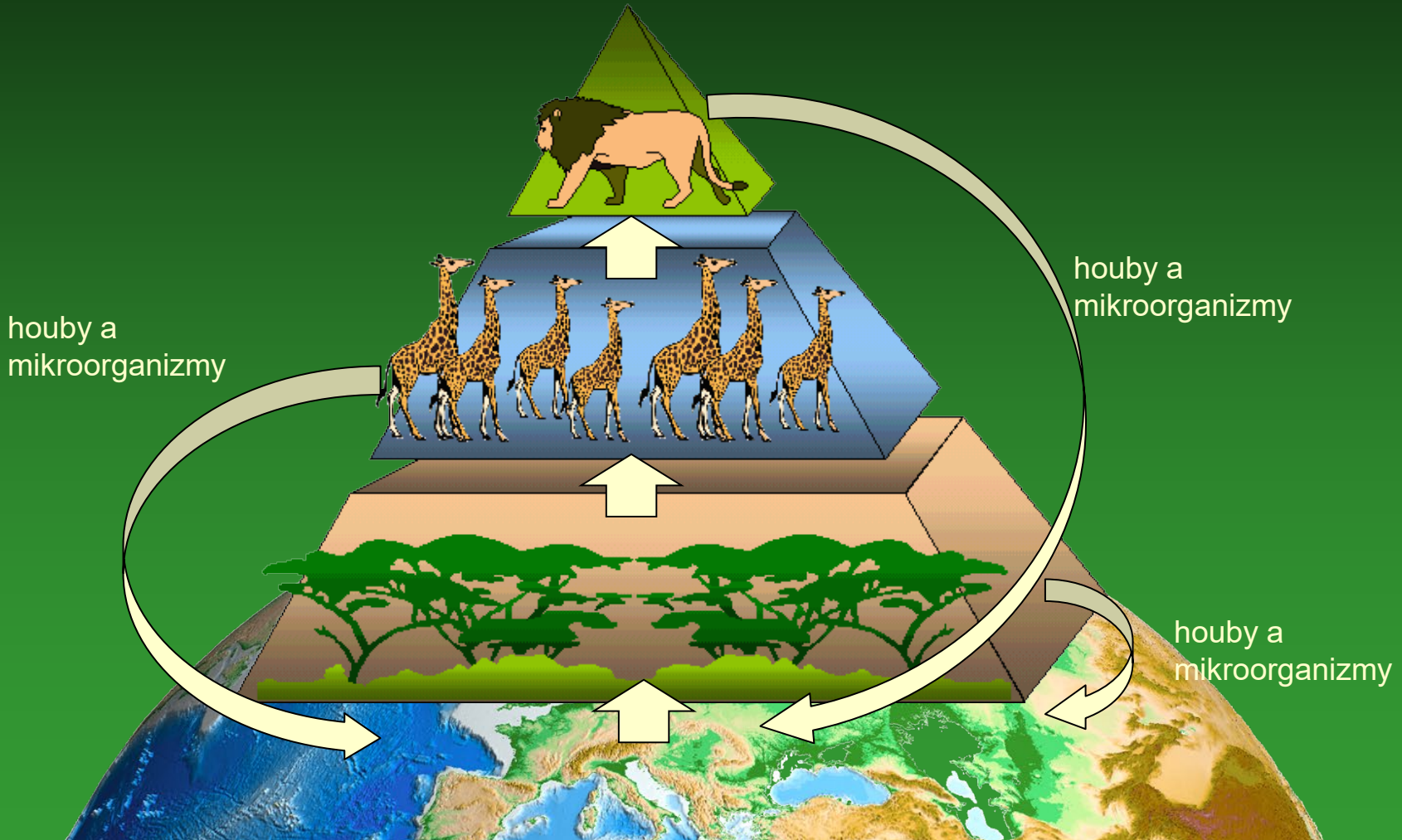
**Jsou základnou potravní pyramidy** = zdrojem potravy býložravců, predátorů a člověka





# Důsledek terestrializace – **terestrické ekosystémy**

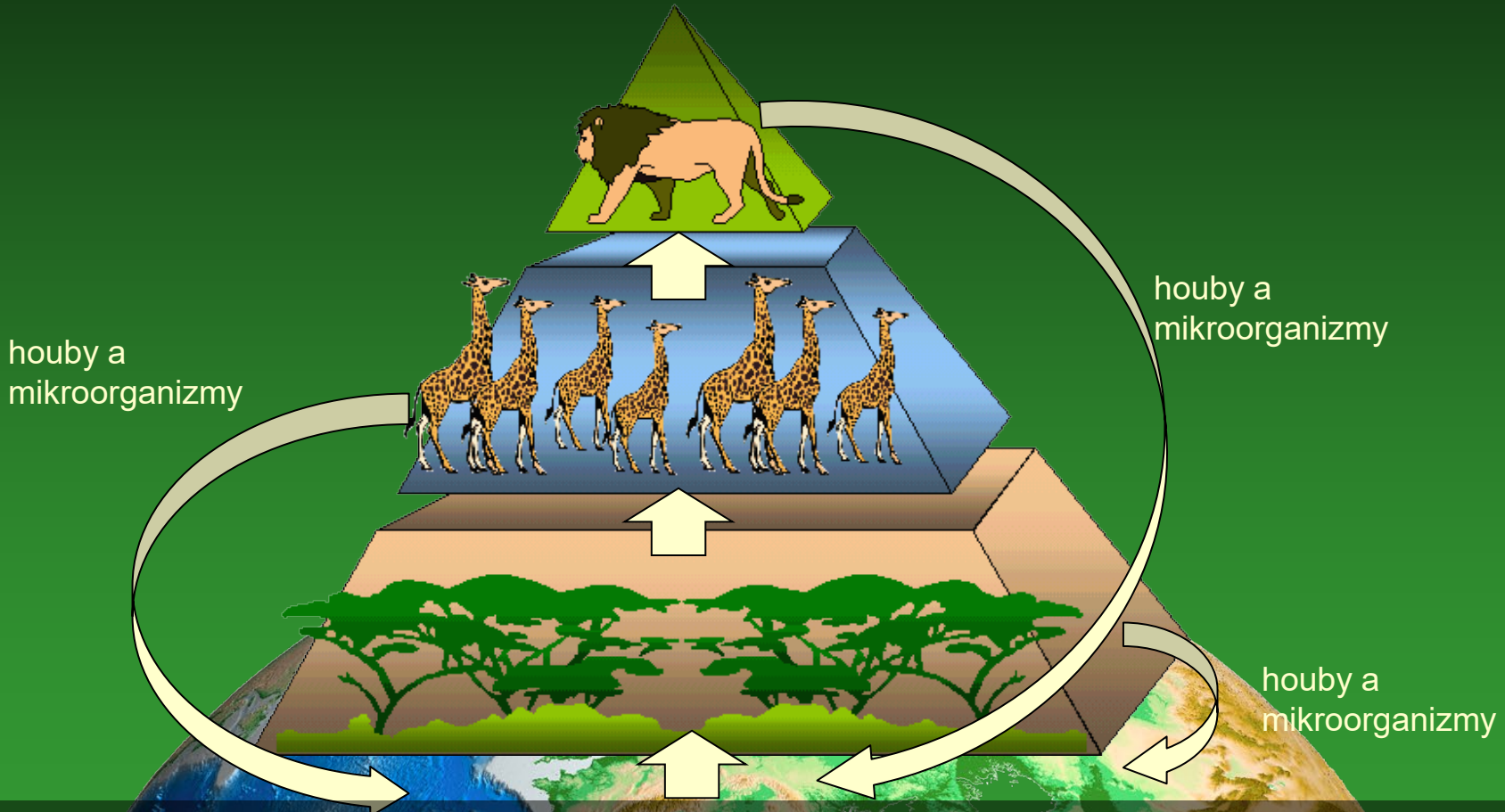
**Vyšší rostliny = základna potravní pyramidy** = zdroj potravy býložravců, predátorů a člověka





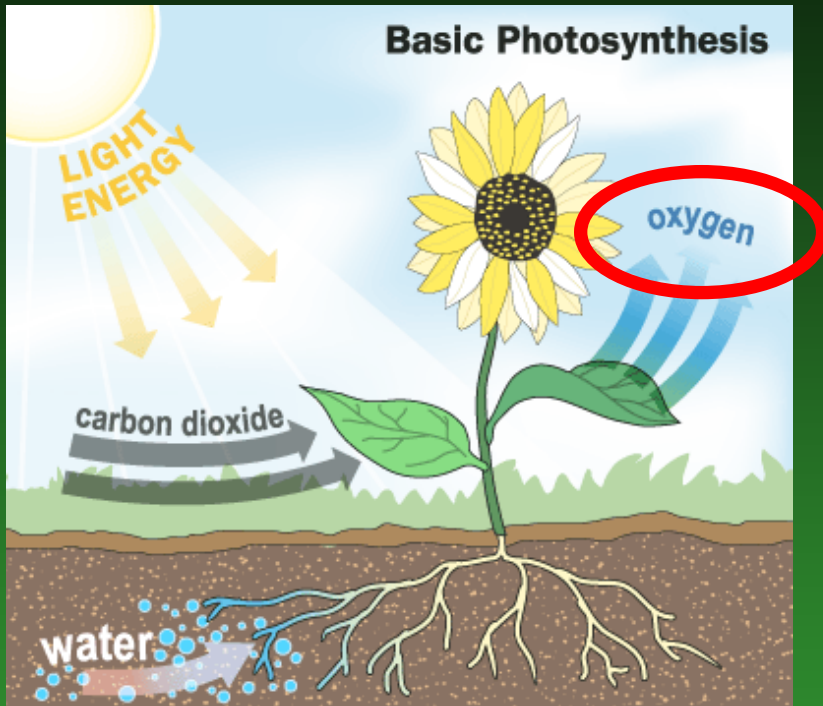
# Důsledek terestrializace – **terestrické ekosystémy**

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



**Terestrializace rostlin globálně změnila atmosférické a hydrologické cykly a transformovala erozní procesy kontinentů**

## Důsledek terestrializace – **stabilita atmosféry**



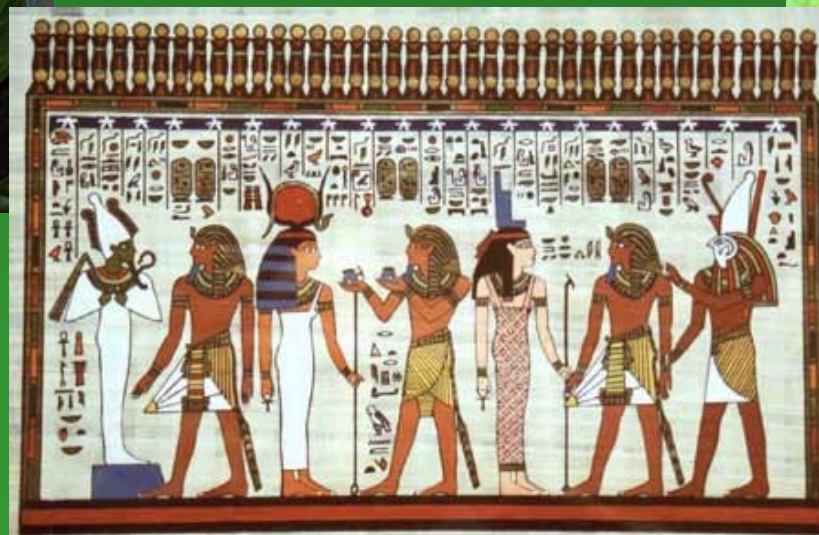
**Mají zásadní podíl na tvorbě kyslíku v atmosféře**

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.

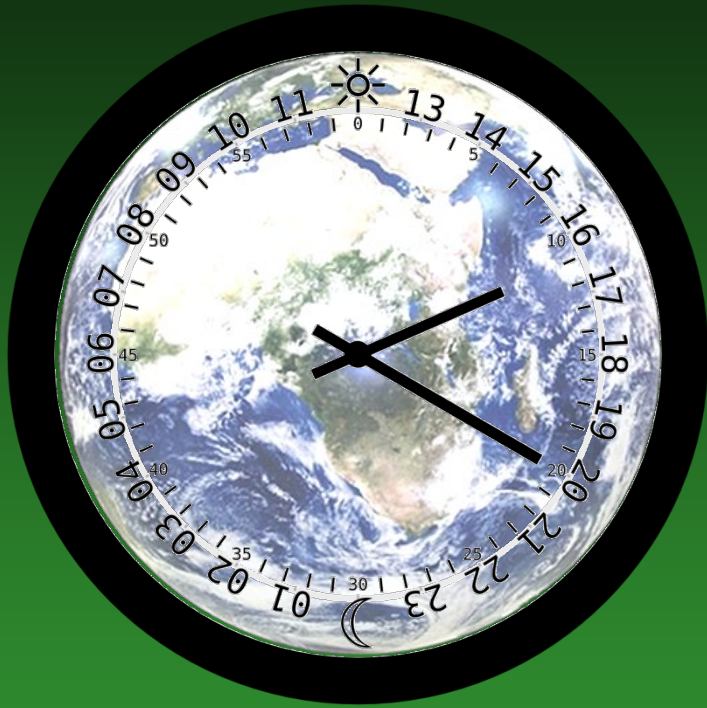


# Vyšší rostliny ve vztahu k člověku

## Měly klíčovou roli ve vývoji lidské civilizace



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

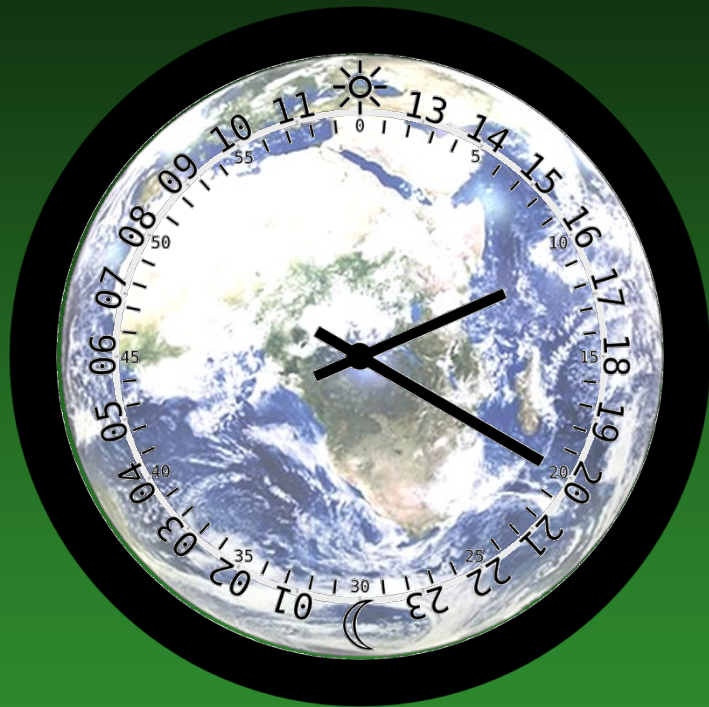


**21:30**      **vyšší rostliny**      **480 mil. BC.**

**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.

terrestrializace  
rostlin

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



2:40 zemská kůra 4 mld. BC.

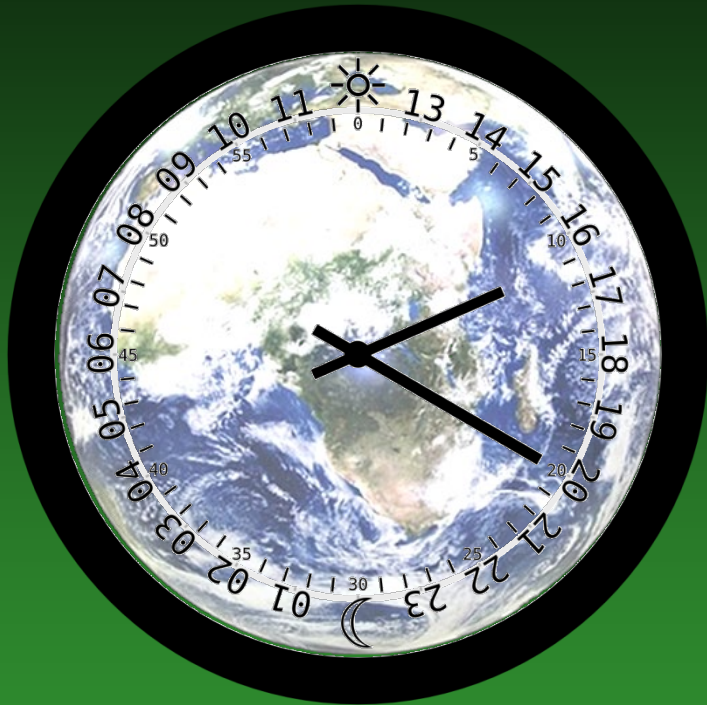
5:20 vznik života 3,5 mld. BC.

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.

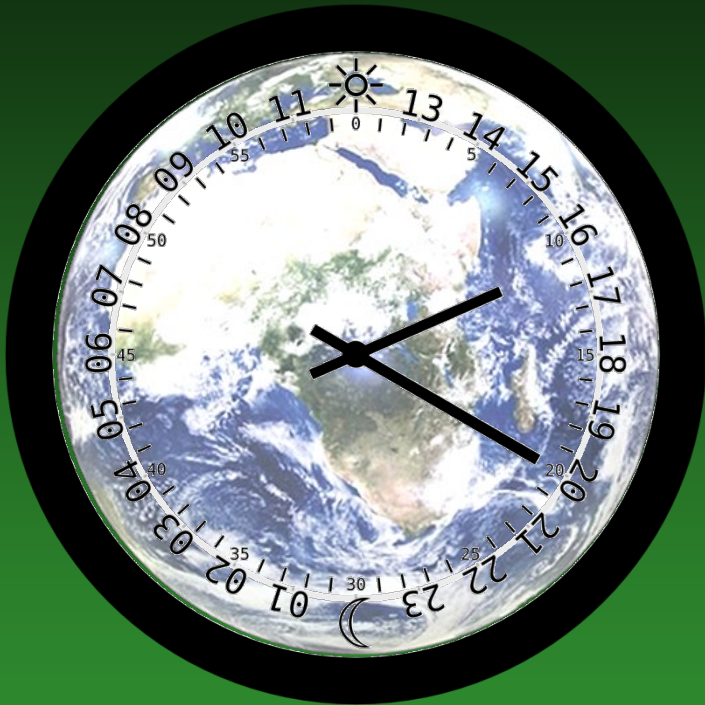
5:20 vznik života 3,5 mld. BC.

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

**21:30 vyšší rostliny 480 mil. BC.**

**terrestrializace  
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**

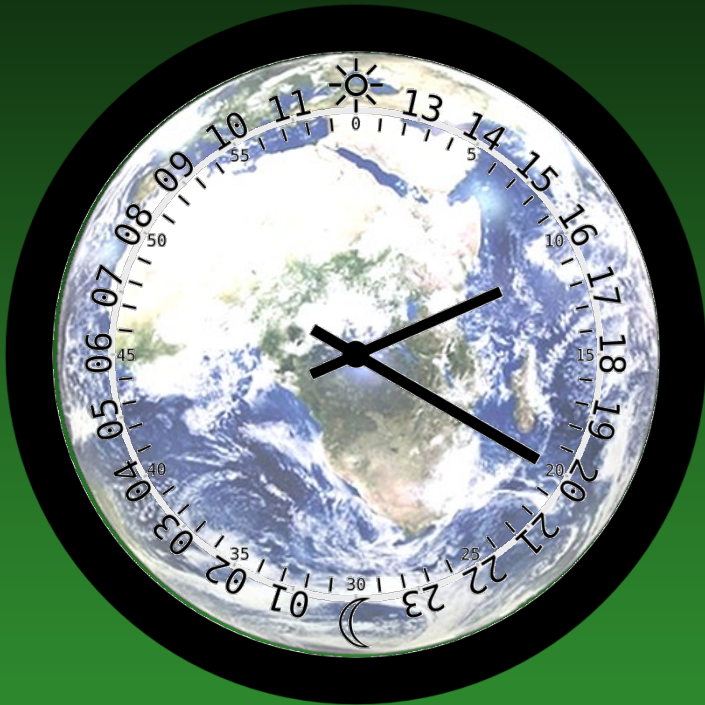


2:40	zemská kůra	4 mld. BC.
5:20	vznik života	3,5 mld. BC.
10:40	<i>Eukarya</i>	2,5 mld. BC.
11:12	kyslíková atmosféra	2,4 mld. BC.
14:20	<i>Archaeplastida</i>	1,8 mld. BC.
<b>21:30</b>	<b>vyšší rostliny</b>	<b>480 mil. BC.</b>

terestrializace  
rostlin



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



**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>

# 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.