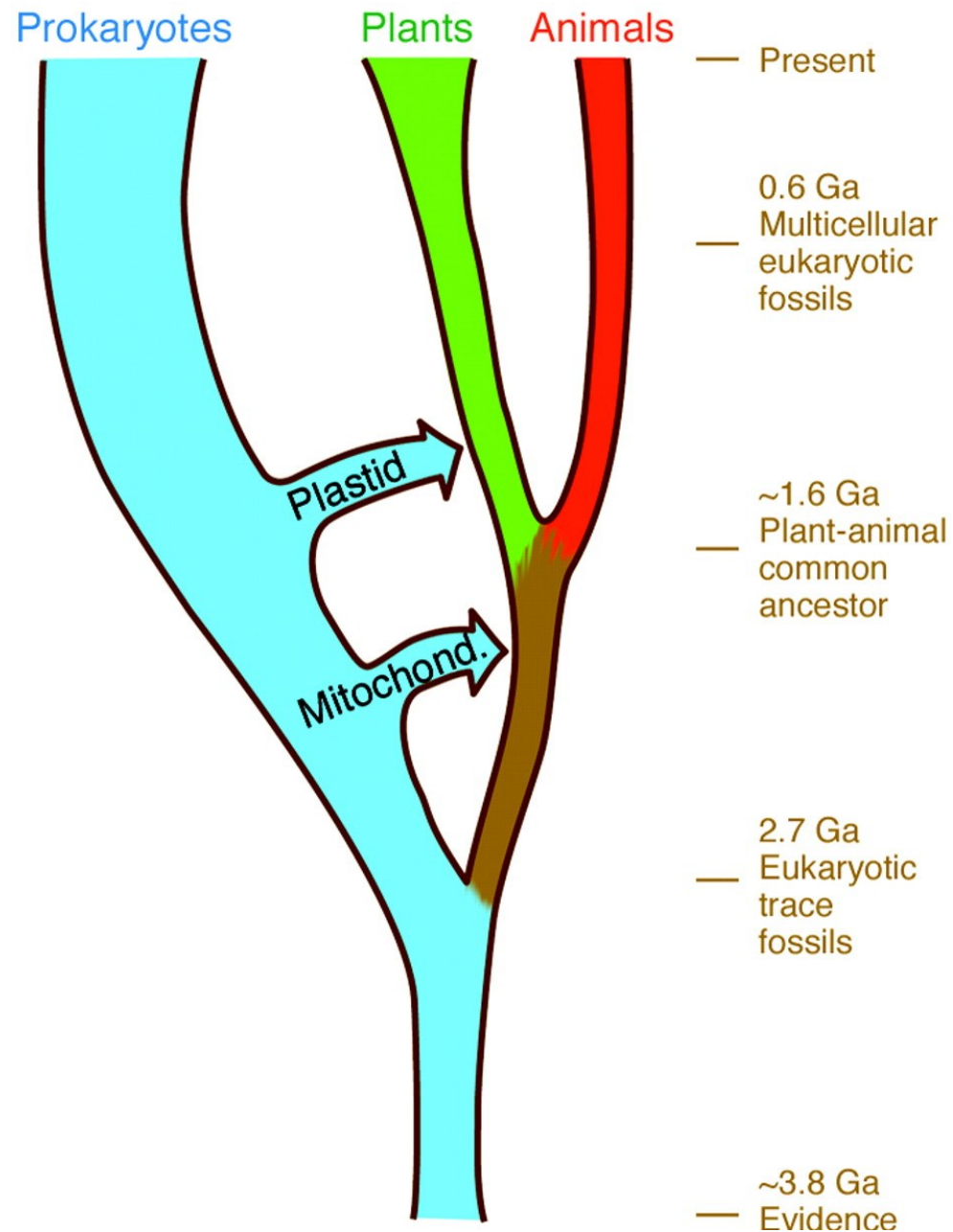




# Základní kroky v evoluci rostlin a živočichů



# ROSTLINY A ŽIVOČICHOVÉ aneb LOGIKA VÝVOJE

- rostliny a živočichové jsou složeni z odlišných typů buněk: tyto dvě říše divergovaly ze společného jednobuněčného eukaryotického předka
- každá říše si musela vyvinout své mechanismy buněčné diferenciaci a komunikace
- počet genů je u těchto říší obdobný: homologní i jsou do jisté míry i regulační geny zodpovědné za vývojové mechanismy
- obecné buněčné funkce rostlin a živočichů jsou shodné: struktura jádra, mitózy, meiózy a základní transkripční a translační mašinerie
- regulace prostorově-časové genové exprese jsou podobné, avšak homeotické geny kódující proteiny (se srovnatelnými vývojovými funkcemi) jsou odlišné
- některé transkripční faktory mají vysokou AMK-sekvenční homologii (homeoboxy, MADS boxy), mají však jiné funkce
- řada buněčných procesů včetně receptorů vnějších vlivů a mezibuněčných komunikací jsou zásadně odlišné

# VÝVOJOVÉ PROCESY U ROSTLIN A ŽIVOČICHŮ

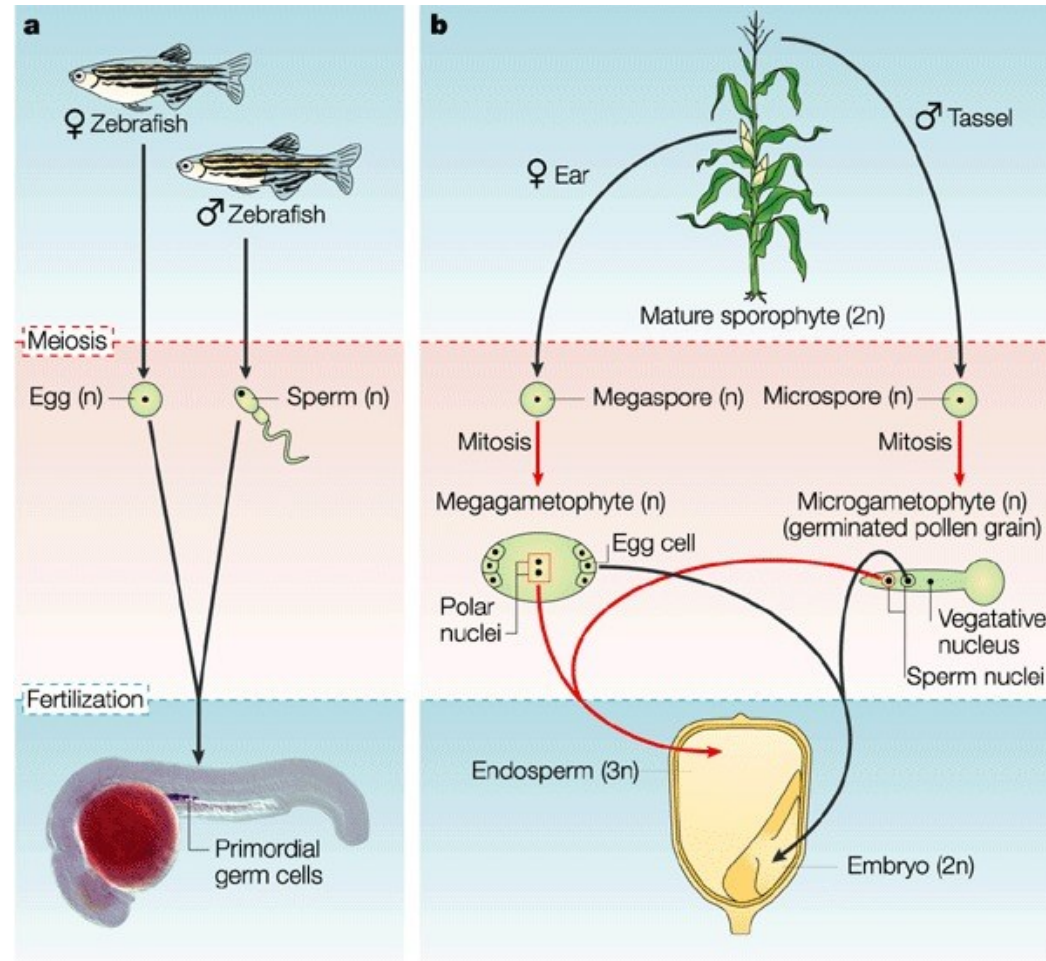
---

# VÝVOJOVÉ PROCESY U ROSTLIN A ŽIVOČICHŮ

zárodečná dráha

*zárodečné buňky vznikají  
ze somatických v pozdním vývoji*

*segreguje od somatické  
v časně embryogenezi*



# VÝVOJOVÉ PROCESY U ROSTLIN A ŽIVOČICHŮ

zárodečná dráha

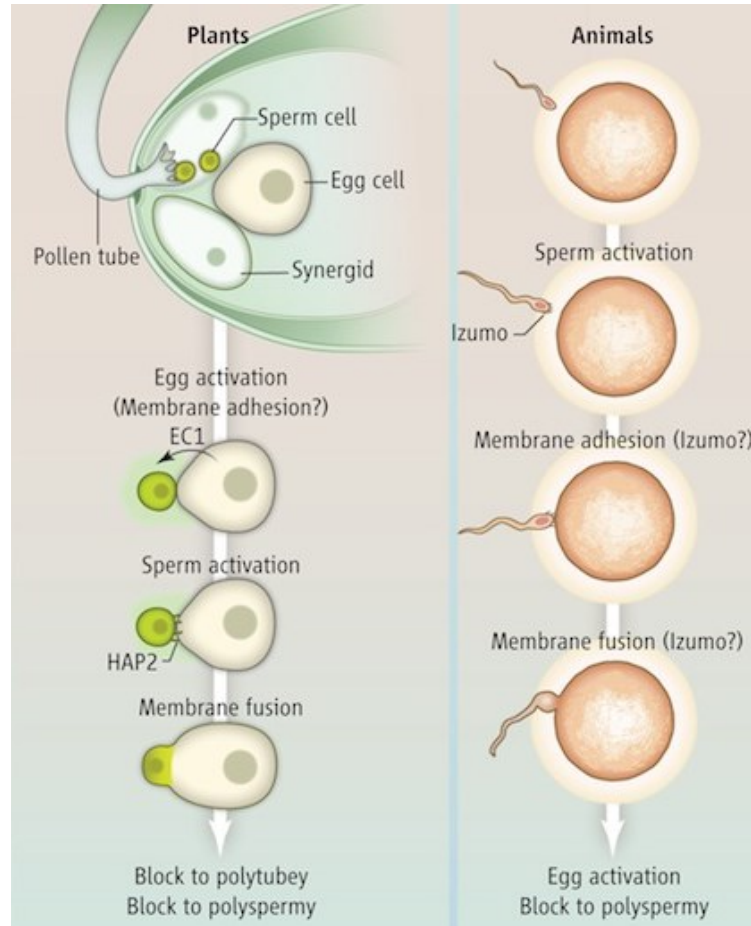
*zárodečné buňky vznikají  
ze somatických v pozdním vývoji*

*segreguje od somatické  
v časně embryogenezi*

oplození

*dvojitě ( zygota a endosperm )*

*jednoduché*



# VÝVOJOVÉ PROCESY U ROSTLIN A ŽIVOČICHŮ

zárodečná dráha

*zárodečné buňky vznikají  
ze somatických v pozdním vývoji*

*segreguje od somatické  
v časně embryogenezi*

oplození

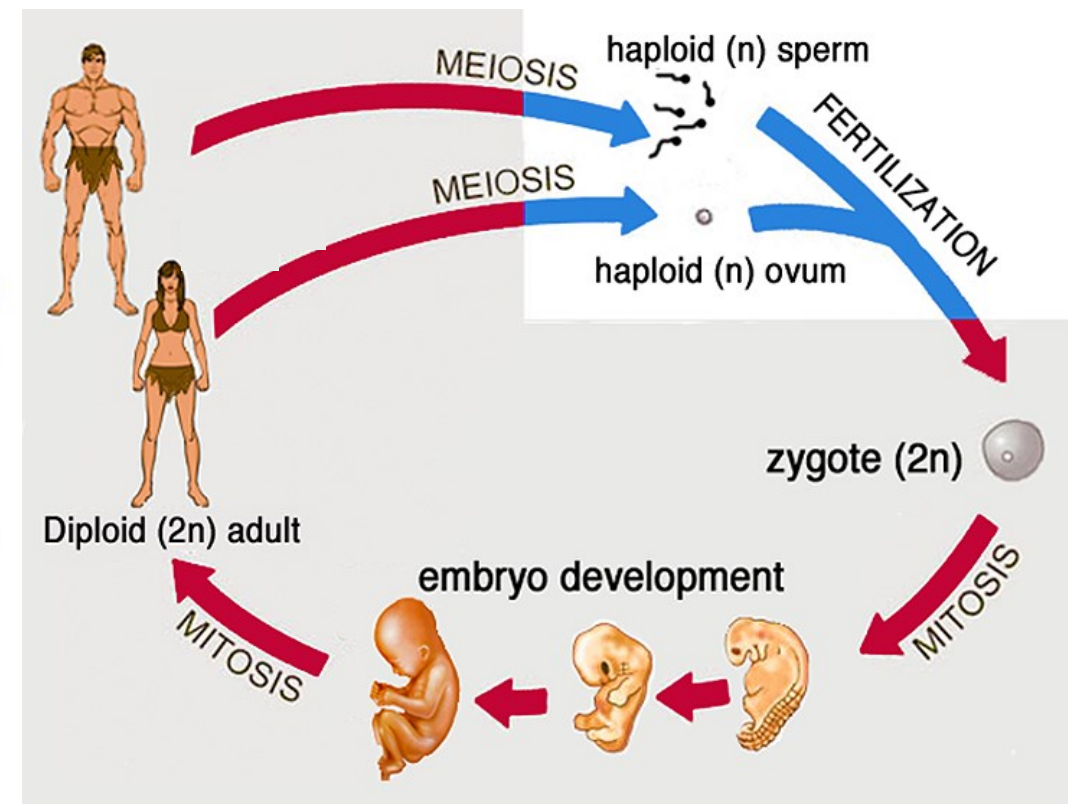
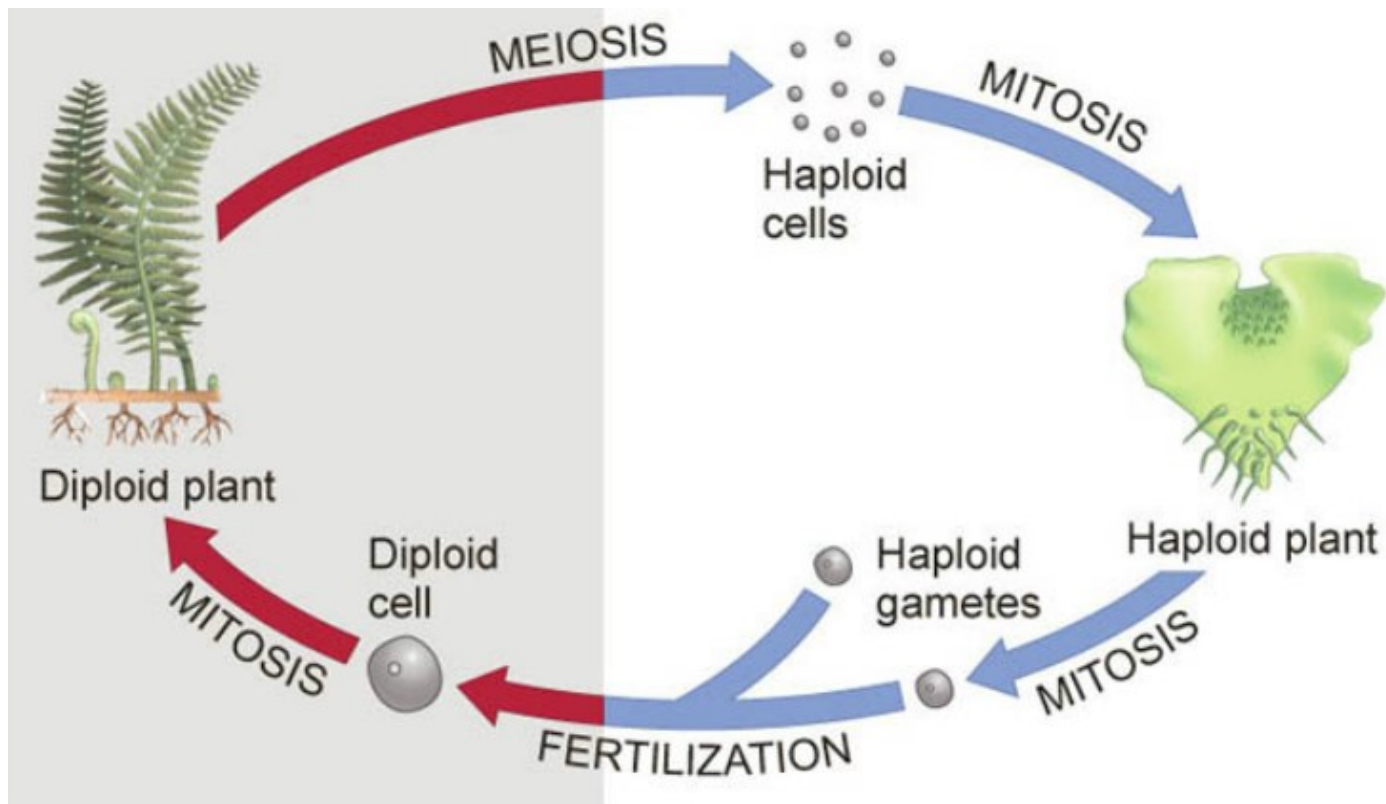
*dvojité ( zygota a endosperm )*

*jednoduché*

haploidní fáze

*několikabuněčný gametofyt*

*pouze gamety*



# VÝVOJOVÉ PROCESY U ROSTLIN A ŽIVOČICHŮ

zárodečná dráha

*zárodečné buňky vznikají  
ze somatických v pozdním vývoji*

*segreguje od somatické  
v časně embryogenezi*

oplození

*dvojitě ( zygota a endosperm )*

*jednoduché*

haploidní fáze

*několikabuněčný gametofyt*

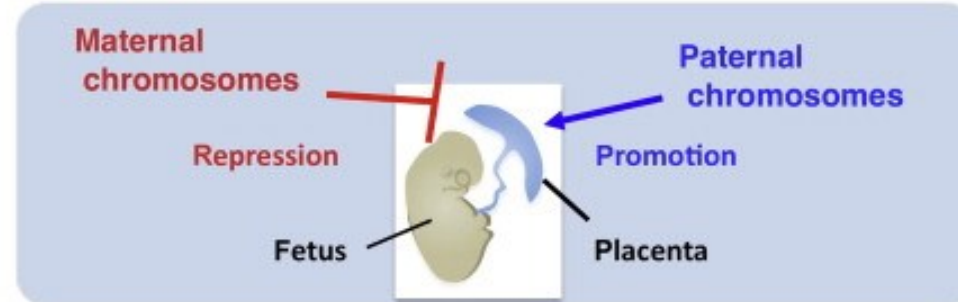
*pouze gamety*

imprinting

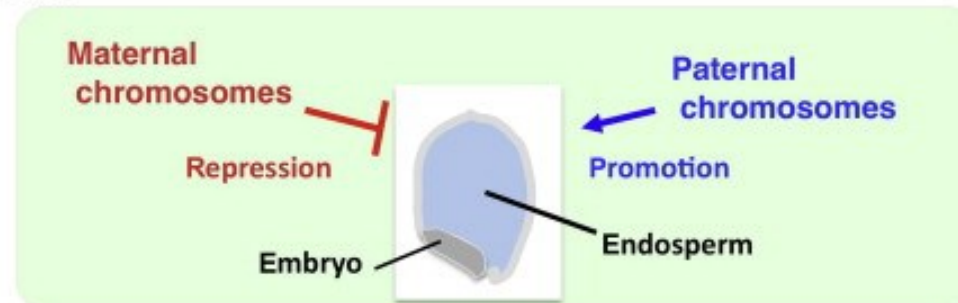
*ovlivňuje vývin endospermu*

*zásadně řídí embryogenezi*

Placental mammals



Plants





# VÝVOJOVÉ PROCESY U ROSTLIN A ŽIVOČICHŮ

**zárodečná dráha**

*zárodečné buňky vznikají  
ze somatických v pozdním vývoji*

*segreguje od somatické  
v časně embryogenezi*

**oplození**

*dvojitě ( zygota a endosperm )*

*jednoduché*

**haploidní fáze**

*několikabuněčný gametofyt*

*pouze gamety*

**imprinting**

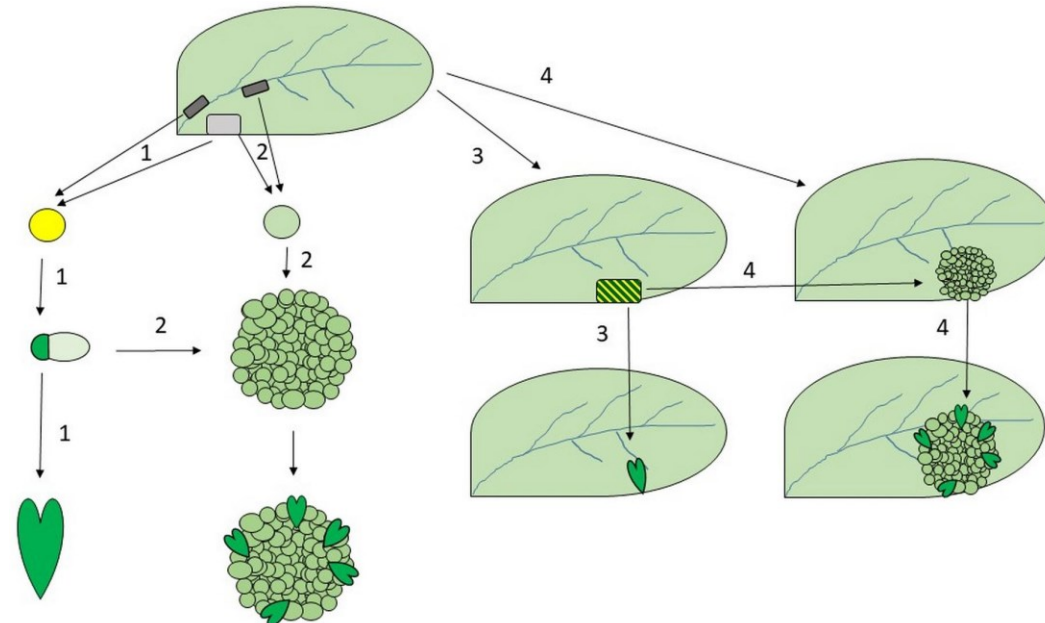
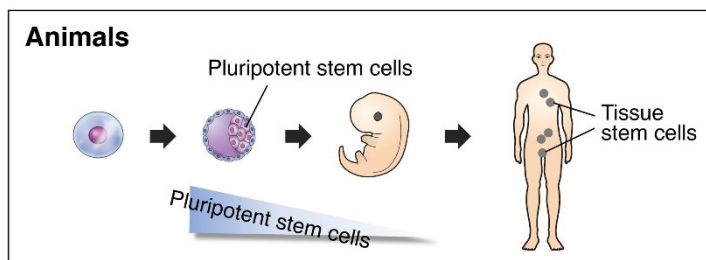
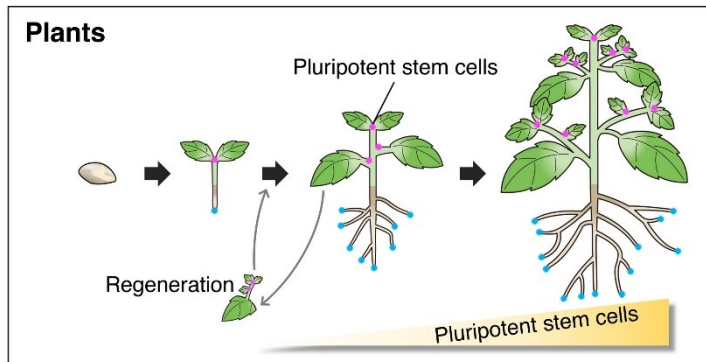
*ovlivňuje vývin endospermu*

*zásadně řídí embryogenezi*

**diferencované buňky**

*totipotentní*

*osud progresivní a ireverzibilní*



# VÝVOJOVÉ PROCESY U ROSTLIN A ŽIVOČICHŮ

---

**zárodečná dráha**

*zárodečné buňky vznikají  
ze somatických v pozdním vývoji*

*segreguje od somatické  
v časně embryogenezi*

**oplození**

*dvojitě ( zygota a endosperm )*

*jednoduché*

**haploidní fáze**

*několikabuněčný gametofyt*

*pouze gamety*

**imprinting**

*ovlivňuje vývin endospermu*

*zásadně řídí embryogenezi*

**diferencované buňky**

*totipotentní*

*osud progresivní a ireverzibilní*

**tělní plán**

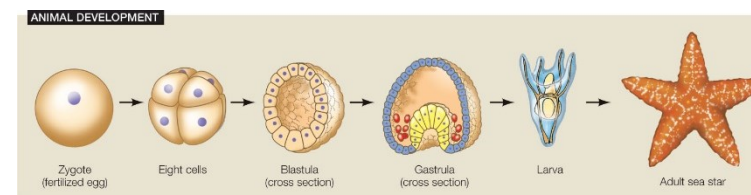
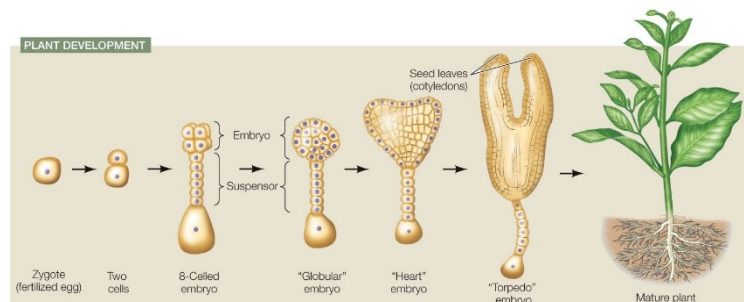
*založen až při postembryonálním  
vývinu meristému, vliv prostředí*

*vytvořen již v embryu,  
vývojový program determinován*



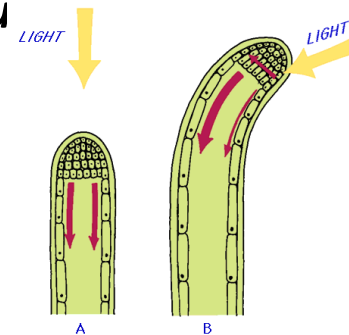
# VÝVOJOVÉ PROCESY U ROSTLIN A ŽIVOČICHŮ

zárodečná dráha	<i>zárodečné buňky vznikají ze somatických v pozdním vývoji</i>	<i>segreguje od somatické v časně embryogenezi</i>
oplození	<i>dvojitě ( zygota a endosperm )</i>	<i>jednoduché</i>
haploidní fáze	<i>několikabuněčný gametofyt</i>	<i>pouze gamety</i>
imprinting	<i>ovlivňuje vývin endospermu</i>	<i>zásadně řídí embryogenezi</i>
diferencované buňky	<i>totipotentní</i>	<i>osud progresivní a ireverzibilní</i>
tělní plán	<i>založen až při postembryonálním vývinu meristému, vliv prostředí</i>	<i>vytvořen již v embryu, vývojový program determinován</i>
tvorba tvarů	<i>podobné vývojové principy včetně specifikace osy, založení vývojových kompartmentů, homeotické geny zajišťují poziční identitu</i>	



# VÝVOJOVÉ PROCESY U ROSTLIN A ŽIVOČICHŮ

zárodečná dráha	<i>zárodečné buňky vznikají ze somatických v pozdním vývoji</i>	<i>segreguje od somatické v časně embryogenezi</i>
oplození	<i>dvojitě ( zygota a endosperm )</i>	<i>jednoduché</i>
haploidní fáze	<i>několikabuněčný gametofyt</i>	<i>pouze gamety</i>
imprinting	<i>ovlivňuje vývin endospermu</i>	<i>zásadně řídí embryogenezi</i>
diferencované buňky	<i>totipotentní</i>	<i>osud progresivní a ireverzibilní</i>
tělní plán	<i>založen až při postembryonálním vývinu meristému, vliv prostředí</i>	<i>vytvořen již v embryu, vývojový program determinován</i>
tvorba tvarů	<i>podobné vývojové principy včetně specifikace osy, založení vývojových kompartmentů, homeotické geny zajišťují poziční identitu</i>	
morfogeneze	<i>buněčný pohyb či lokomoce nejsou, závisí na rovině a rychlosti dělení</i>	<i>relativní pohyb buněk (gastrulace) buněčná migrace (zárodečné buňky)</i>

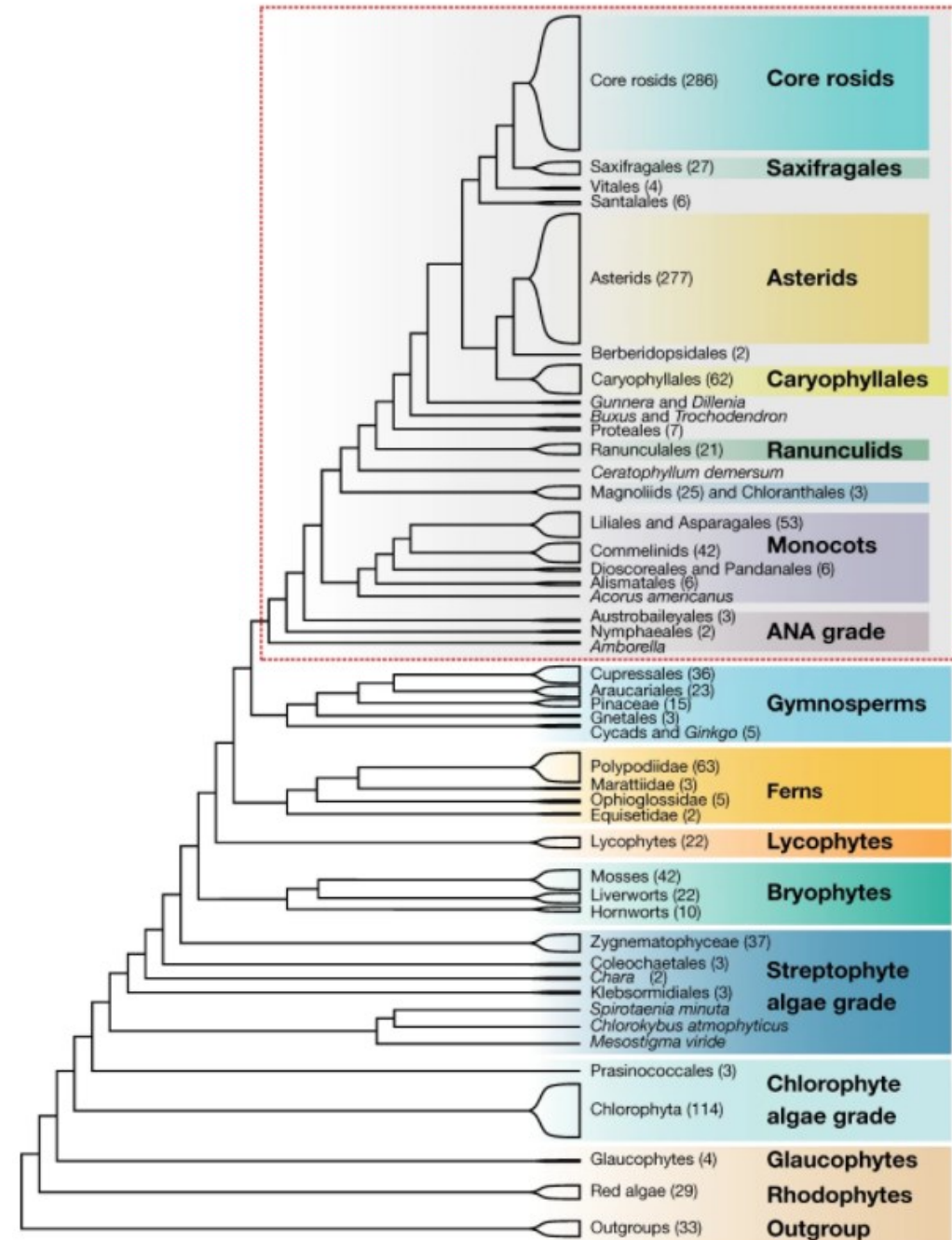
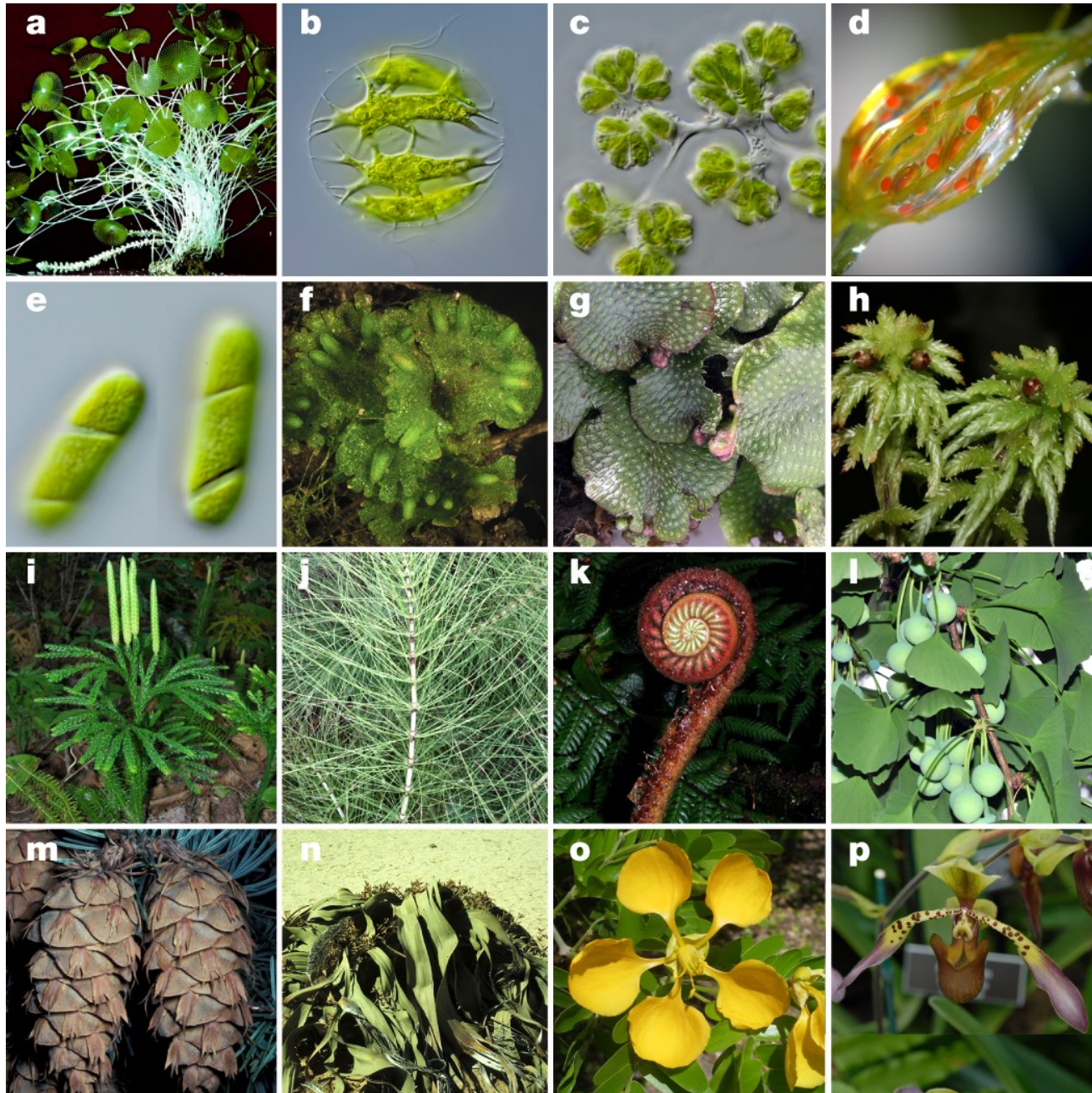


# VÝVOJOVÉ PROCESY U ROSTLIN

---

- (1) rigidní buněčná stěna (celulóza) brání migraci buněk i lokomočnímu pohybu
- (2) vývoj ovlivněn environmentálními faktory, vznikají fyziologické i genomové adaptace
- (3) formy těla vznikají na základě rozdílů v rychlostech buněčného dělení a buněčným dělením v odlišných rovinách
- (4) veškerý postembryonální růst (včetně tvorby orgánů) pochází z meristémů (kmenové buňky)
- (5) nemají pravou zárodečnou dráhu, tranzice vývoje vegetativního na generativní
- (6) výrazný regulativní vývoj, mezibuněčnými signály jsou mj. nízkomolekulární hormony
- (7) cytoplazmatické kanálky (plasmodesmata) spojují sousední buňky skrze stěny
- (8) jedním z mechanismů diference je i asymetrické buněčné dělení
- (9) jakákoli buňka dává vznik novému jedinci – totipotence: únik z determinovaného stavu?
- (10) dvě nezávislé skupiny strukturně odlišných homeotických genů odpovídají za specifikaci květních částí (MADS-boxové) a stonku i listů (homeoboxové), kolinearita genů neplatí

# DIVERZITA ROSTLIN



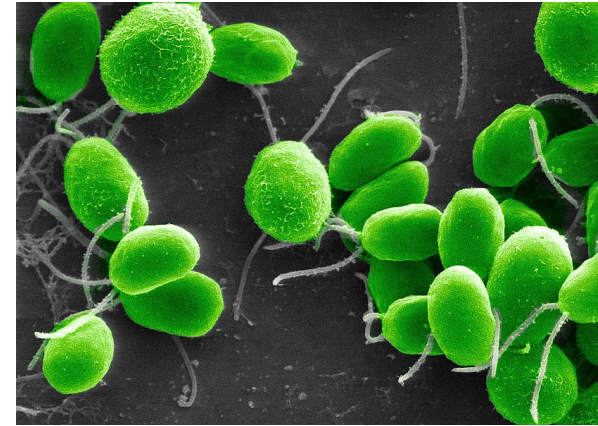
... jednobuněčná  
zelená eukaryota :



*Chlamydomonas*  
a *Volvox*

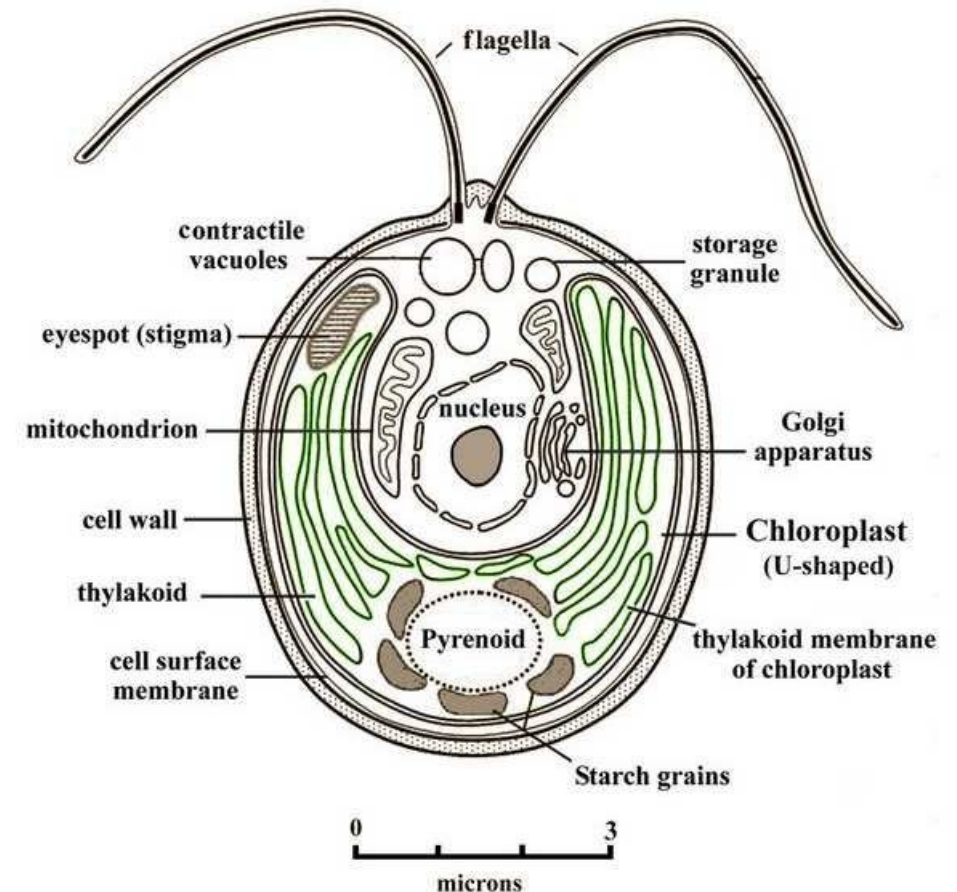
# *Chlamydomonas reinhardtii*

- eukaryotická, ale jde s ní manipulovat mikrobiologickými technikami
- snadná kultivace – fotosyntetická či heterotrofní
- mobilní, vykazuje rysy jednoduchého chování
- lze pěstovat v synchronní či asynchronní kultuře
- má rychlý mitotický cyklus, podrobuje se pohlavnímu rozmnožování
- propracovaná genetika – jaderné, plastidové i mitochondriální genomy mají vhodné markery
- všechny tři genomy mohou být transformovány
- dostupné knihovny mutantů a klonů DNA
- možné skladování v tekutém dusíku

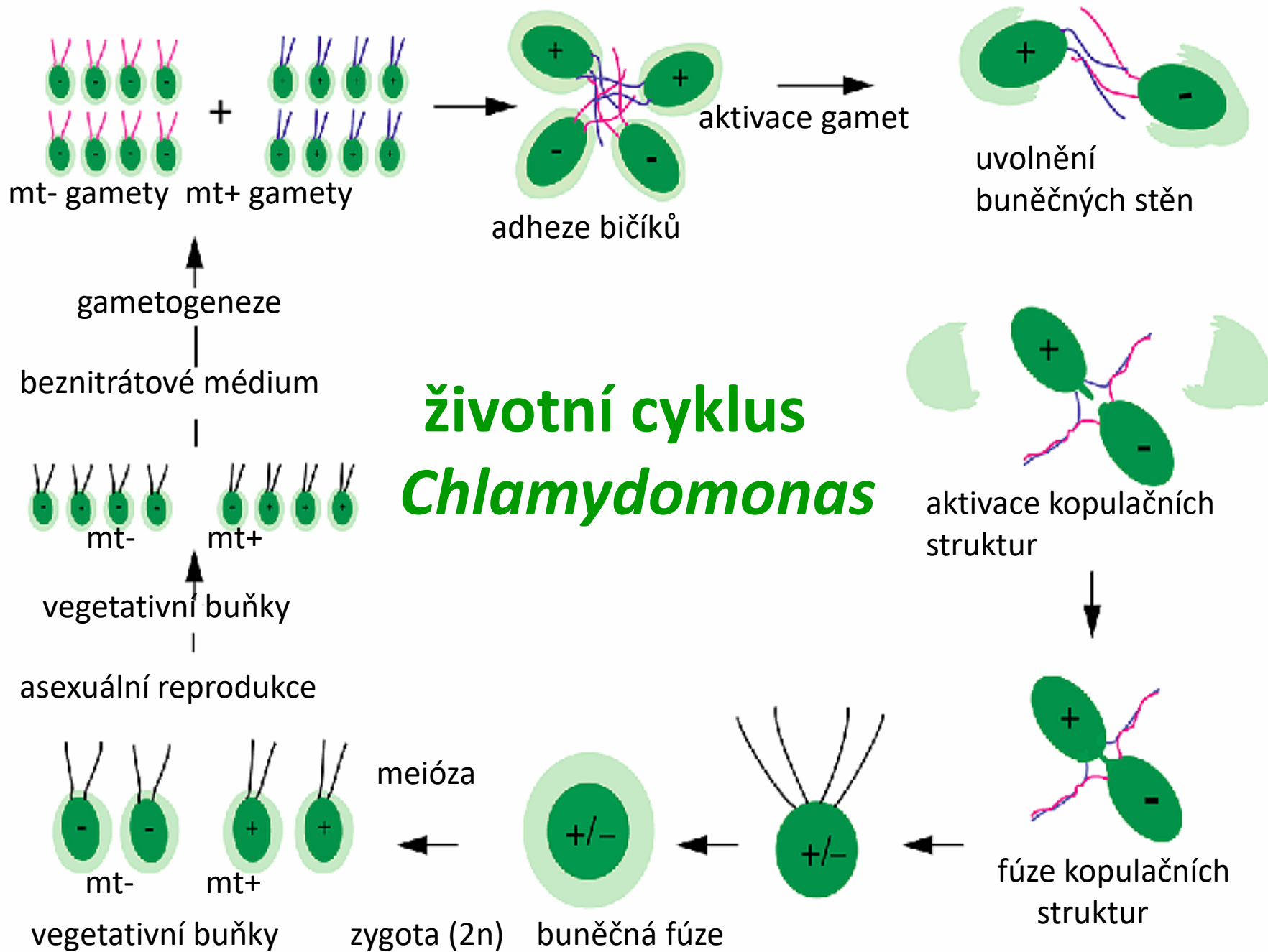


Ruth Sager  
February 7, 1918 — March 29, 1997

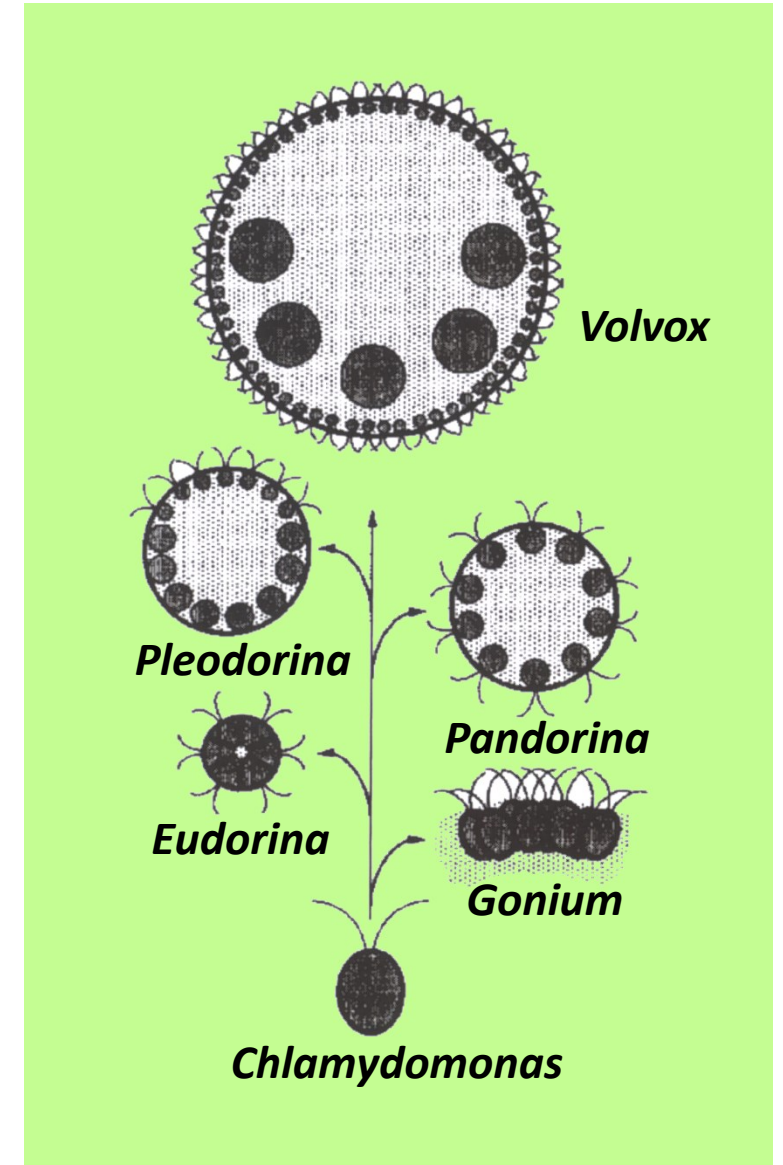
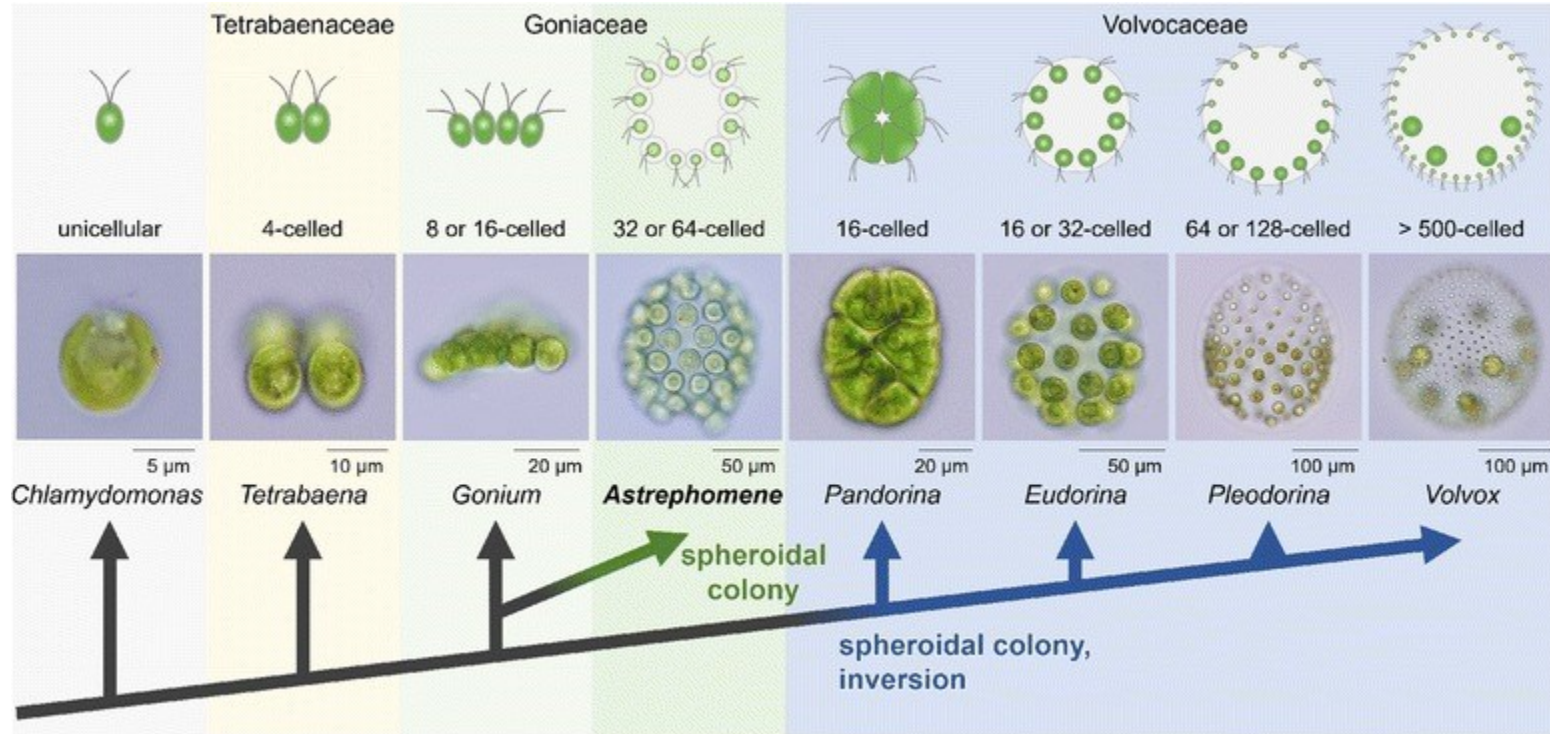
*Ruth Sager*







# Evolvece mnohobuněčných organismů



# Vlastnosti modelu váleče

- ♠ studium ontogeneze a fylogeneze mnohobuněčnosti a buněčné diferenciaci
- ♠ základní tělní plán: asi 2000 biflagelátních somatických buněk a 16 asexuálních reprodukčních buněk ( gonidia )
- ♠ diferenciaci je buněčně autonomní
- ♠ centrálním rysem diferenciaci je asymetrická mitóza ( *cell size determines cell fate, large vs. small* )
- ♠ buněčná stěna *Chlamydomonas* se vyvinula ve strukturovanou extra-celulární glykoproteinovou matrix, která spojuje buňky do kolonie (spheroid)
- ♠ bičíkaté somatické buňky ( specializované k pohybu, fototaxi a chemotaxi ) se podrobují programované smrti
- ♠ neobvyklá kombinace rostlinných ( fotoautotrofie ) a živočišných ( pohyb a časná diferenciaci zárodečné dráhy ) znaků
- ♠ pozorování Antoni van Leeuwenhoeka (1700), kultivace *in vitro* a životní cyklus - Bill Darden (1966), identifikovány odlišné sexuální formy
- ♠ asexuální životní cyklus řízen světlem, trvá 2 dny a vzniká 16 nových jedinců → izogenní linie
- ♠ nepohlavní embryo tvořené na konci rýhování má už své vlastní somatické a zárodečné buňky
- ♠ pohlavní reprodukce je iniciována teplem, které vyvolá syntézu glykoproteinového feromonu v somatických buňkách: dormantní diploidní zygota
- ♠ vrchol „volvocinní“ větve zelených řas, jednobuněčná bičíkatá *Chlamydomonas*, koloniální *Eudorina* a *Pleodorina*, buněčně diferencovaný *Volvox*



**Antoni van Leeuwenhoek  
(1632-1723)**



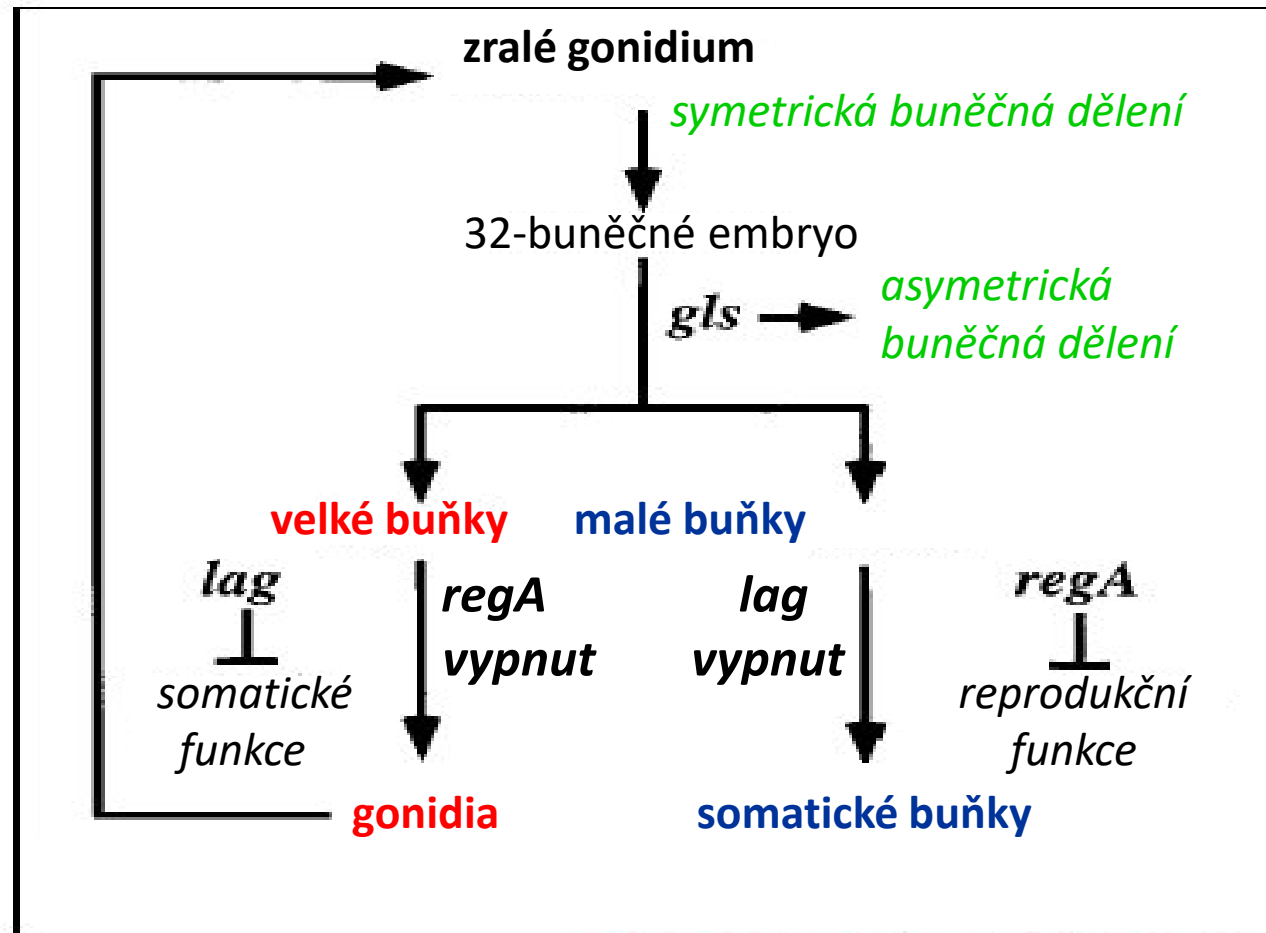
**David L. Kirk  
St. Louis**



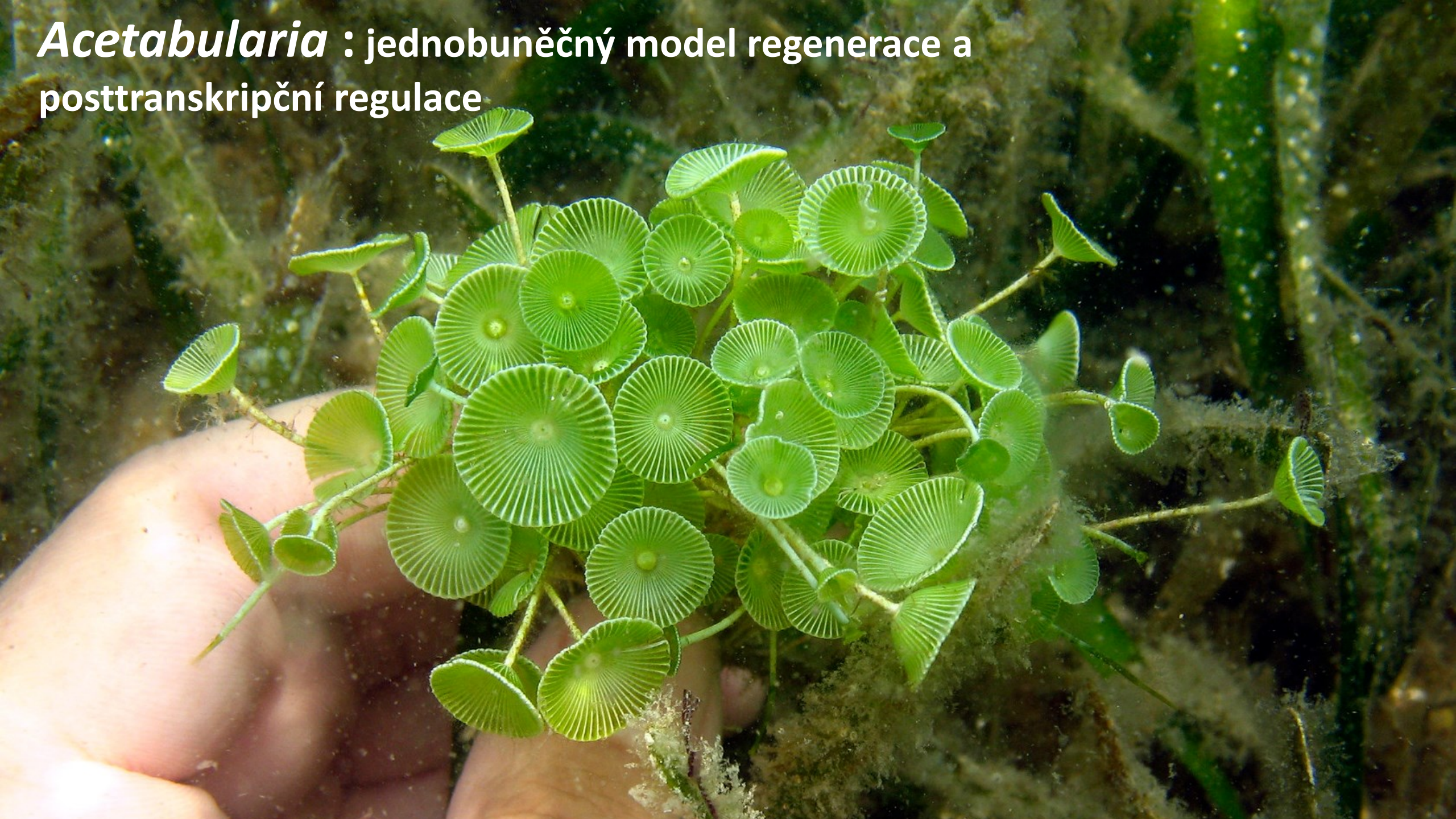
asexuální životní cyklus váleče ( *Volvox globator* )  
- asymetrická mitóza definuje zárodečnou dráhu  
- 16 gonidií a asi 2 000 bičíkovců, programovaná smrt

## Model řízení diferenciace zárodečné dráhy u *Volvox*

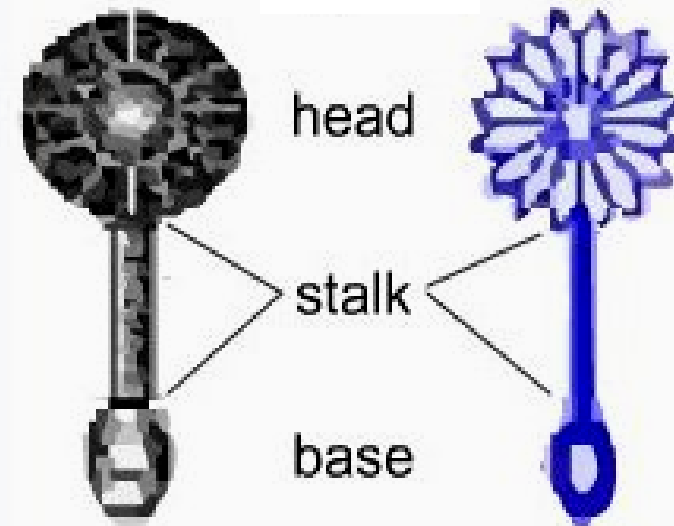
geny *gls* způsobují asymetrické dělení vedoucí ke tvorbě velkých (geny *lag* zapnuty, *regA* vypnuty) a malých buněk (*regA* zapnuty, *lag* vypnuty)



*Acetabularia* : jednobuněčný model regenerace a  
posttranskripční regulace

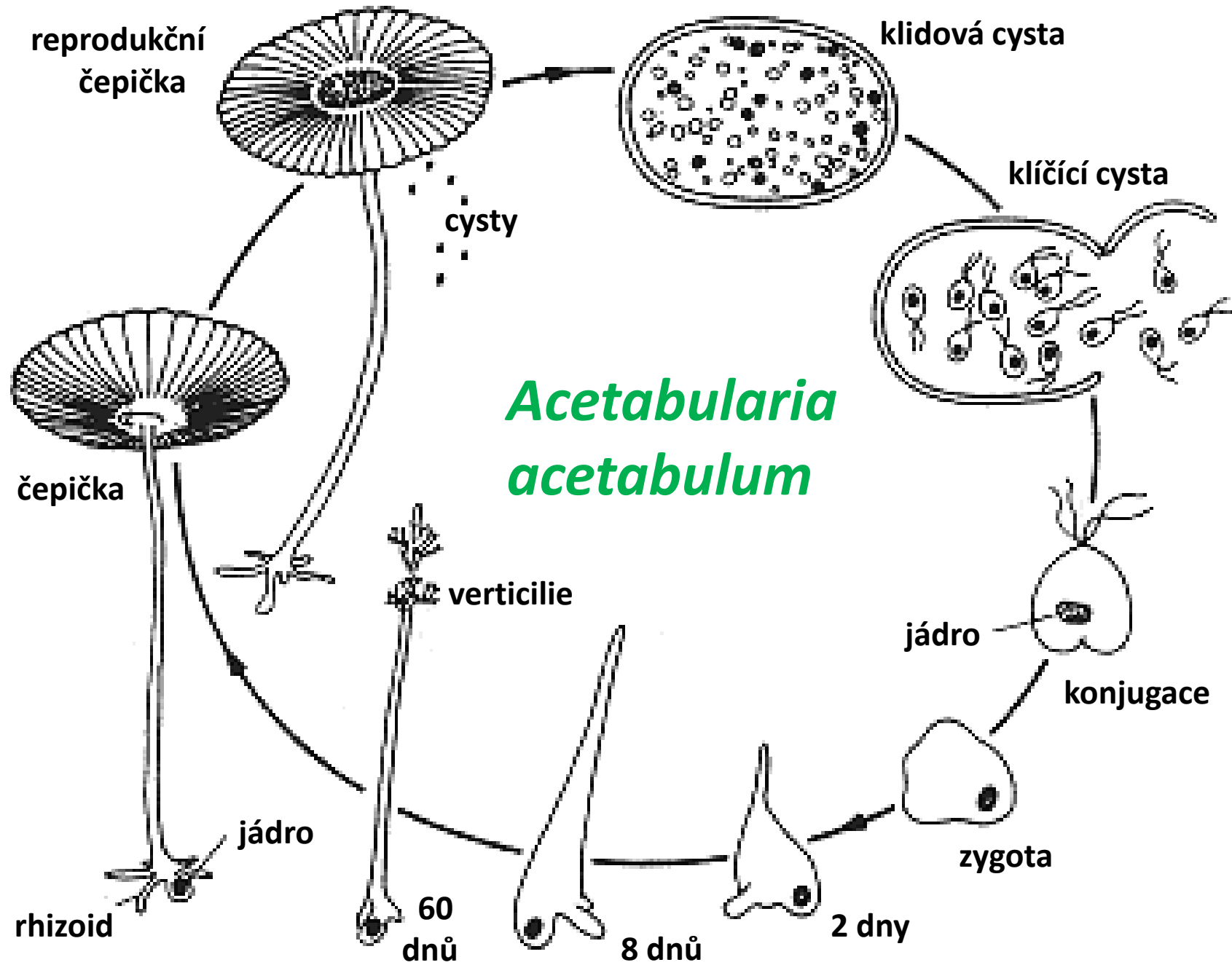


That the hereditary information was localized to nuclei was suggested by a number of observations, particularly the transplantation experiments of the **Joachim Hammerling** in the 1930's.



He used various species of *Acetabularia* that differed in the shape of their heads.

He showed that the information needed to control the morphology of the giant unicellular green alga *Acetabularia*, the mermaid's wineglass, was located within the region of the cell that contained the nucleus.



*Acetabularia  
acetabulum*

reprodukční  
čepička

klidová cysta

cysty

klíčící cysta

čepička

verticilie

jádro

konjugace

jádro

zygota

rhizoid

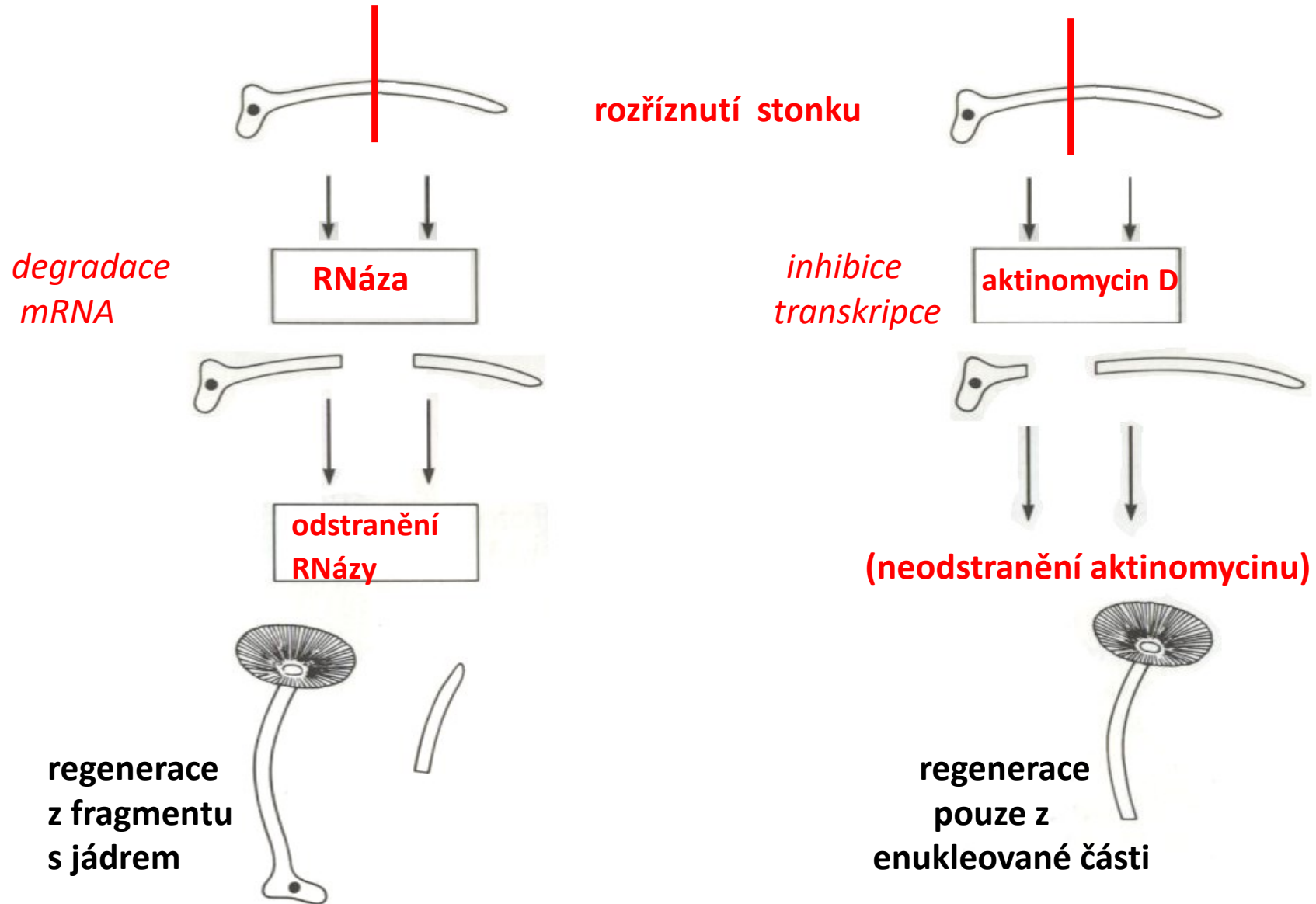
60  
dnů

8 dnů

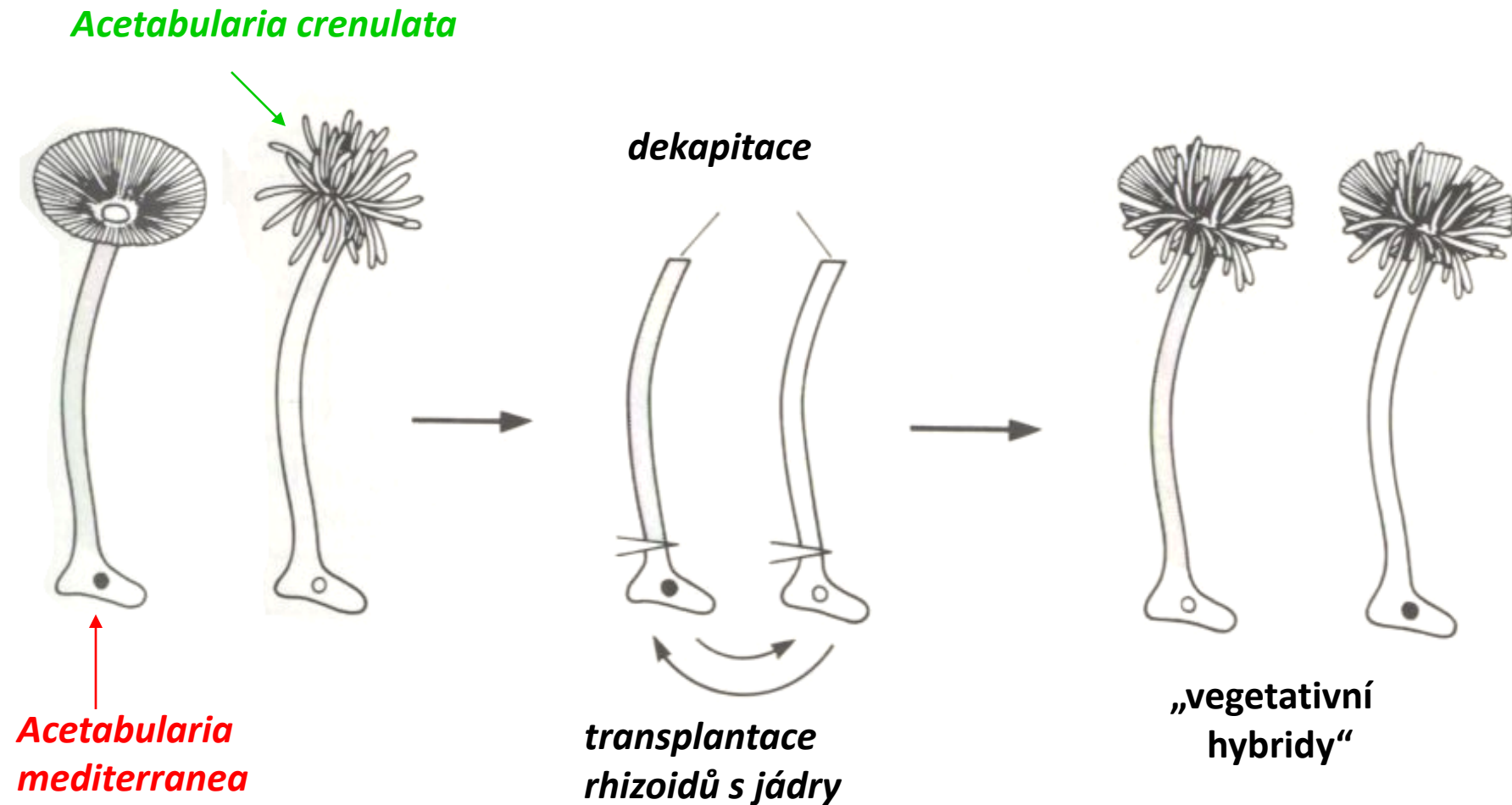
2 dny



# Řízení diferenciace na úrovni translace



# Vliv stávající cytoplasmy a syntézy nových mRNA na morfologii regenerované čepičky



mnohobuněčné nižší rostliny :

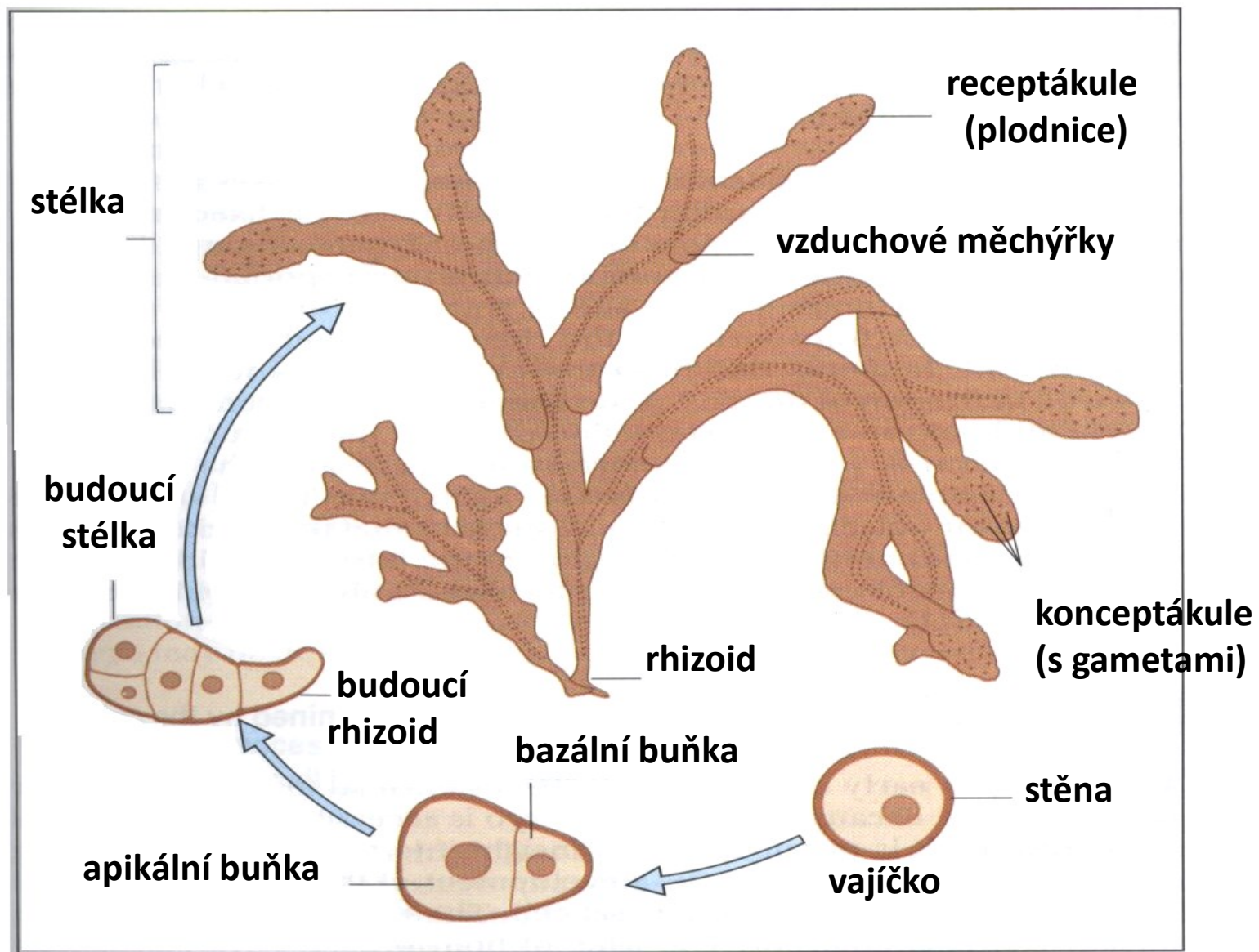


chaluhy

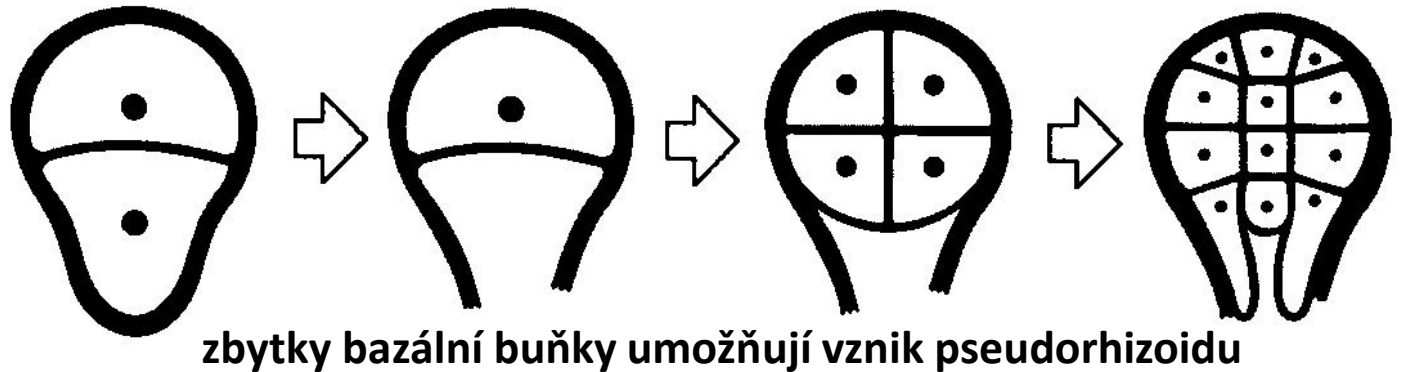
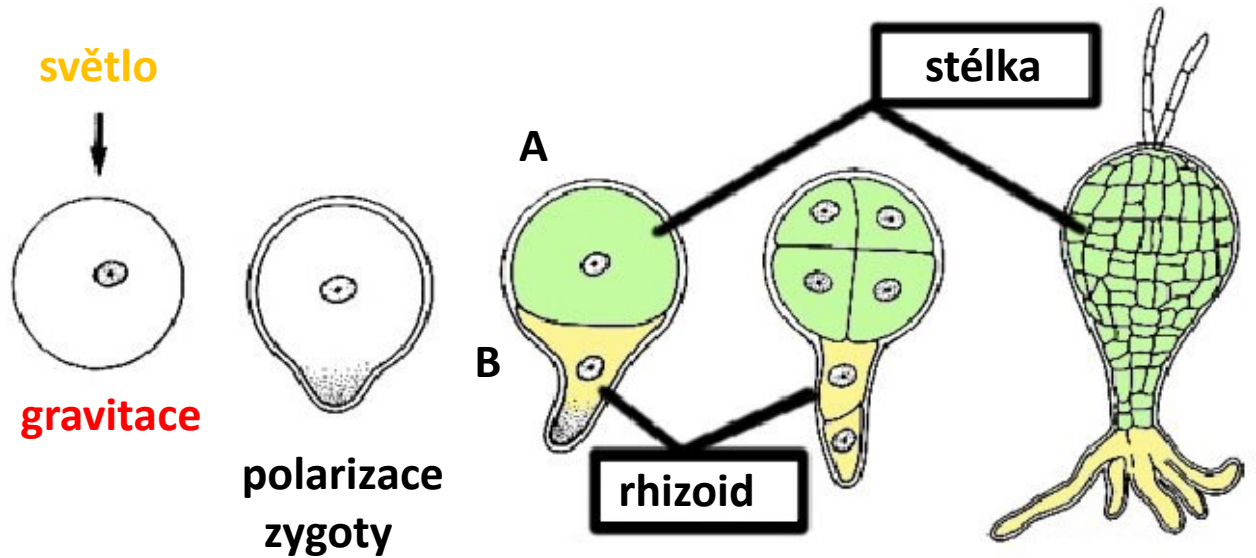
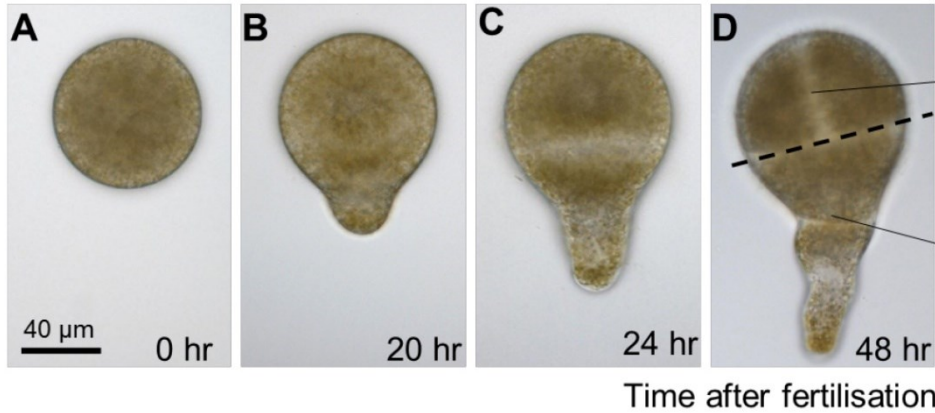


**BLADDER WRACK** ~ *Fucus vesiculosus*

# Životní cyklus modelové mnohobuněčné řasy: *Fucus vesiculosus*



# Fucus: model studia polarity zygoty



*játrovka*

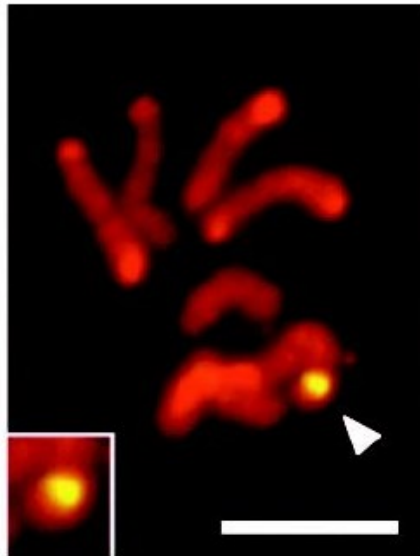


# *Marchantia polymorpha*

porostnice mnohotvará (dvoudomá)



$$n = 8A + X$$



Y



$$n = 8A + Y$$





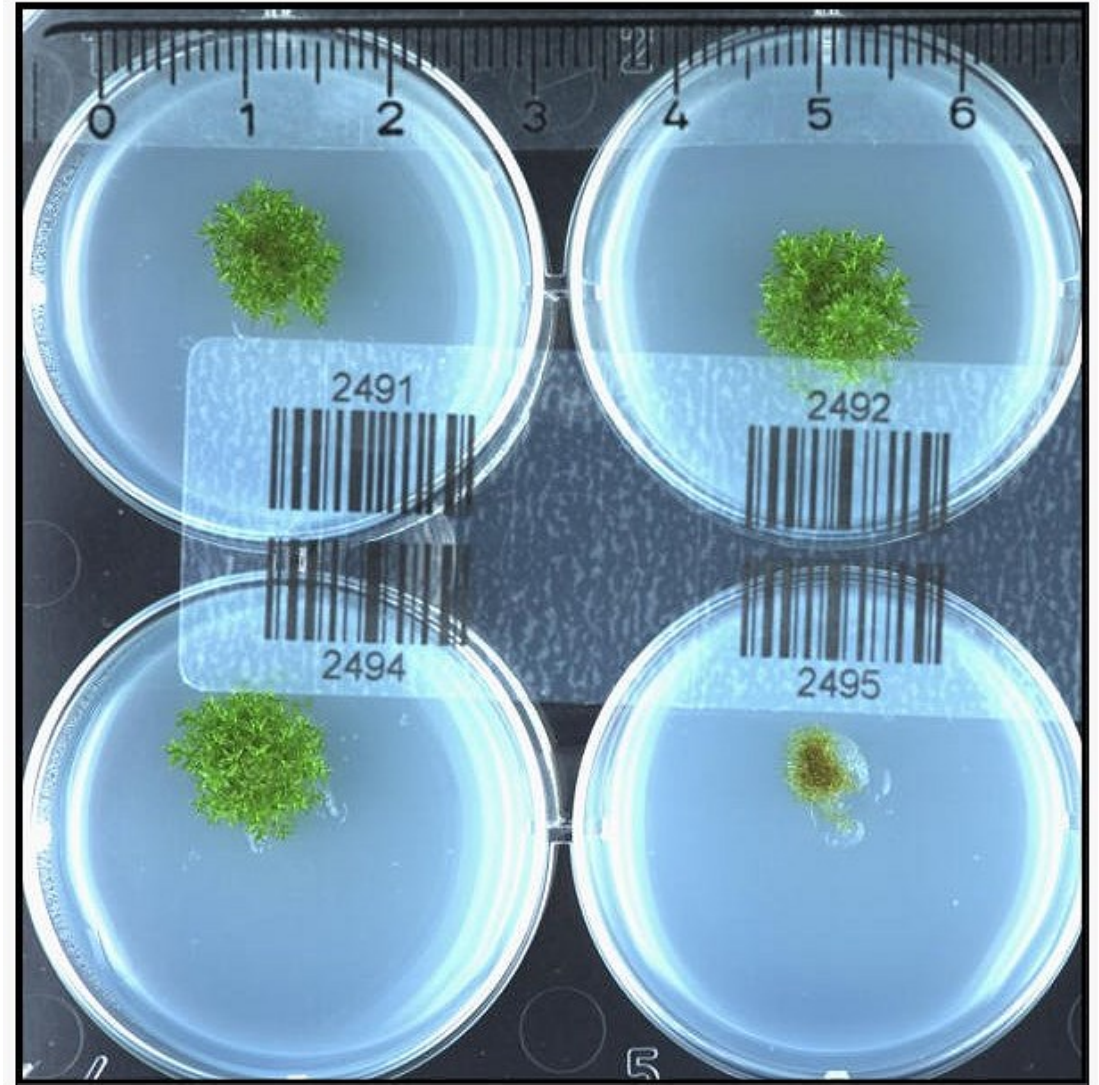
A close-up photograph of the moss Physcomitrium patens. The image shows several green, oval-shaped capsules (spores) attached to thin, reddish-brown stalks. The moss is growing on a dark, textured surface, possibly soil or a rock. The background is blurred, showing more of the moss and some green leaves.

**Mechy – zkrutek**  
*Physcomitrium patens*

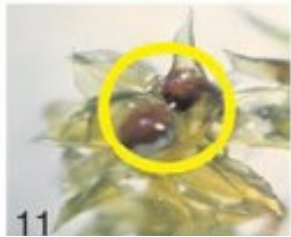
# *Physcomitrium patens*

n = 27 chrs, C = 0,46 pg DNA

haploidní „tělo“  
cílená integrace genů  
zelený model 21. st.



DIPLOID SPOROPHYTE



meiosa

diploidní fáze sporofyt

samičí a samčí gamety splývají v zygotu

Spores



(homo) spóry

HAPLOID GAMETOPHYTE

Primary chloronema



(chlor prvoklíček (Chloronemata))

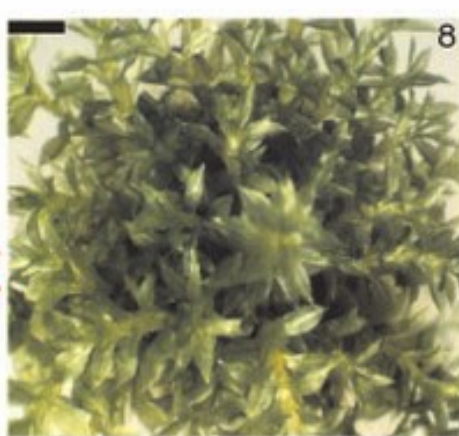
Chloronema



# životní cyklus jednodomého mechu



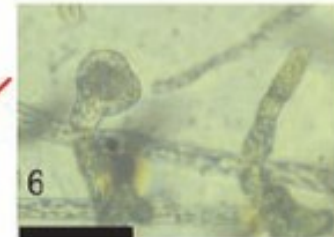
archegonia antheridia (male)



„jednodomý mech“



gametofor s rhizoidy

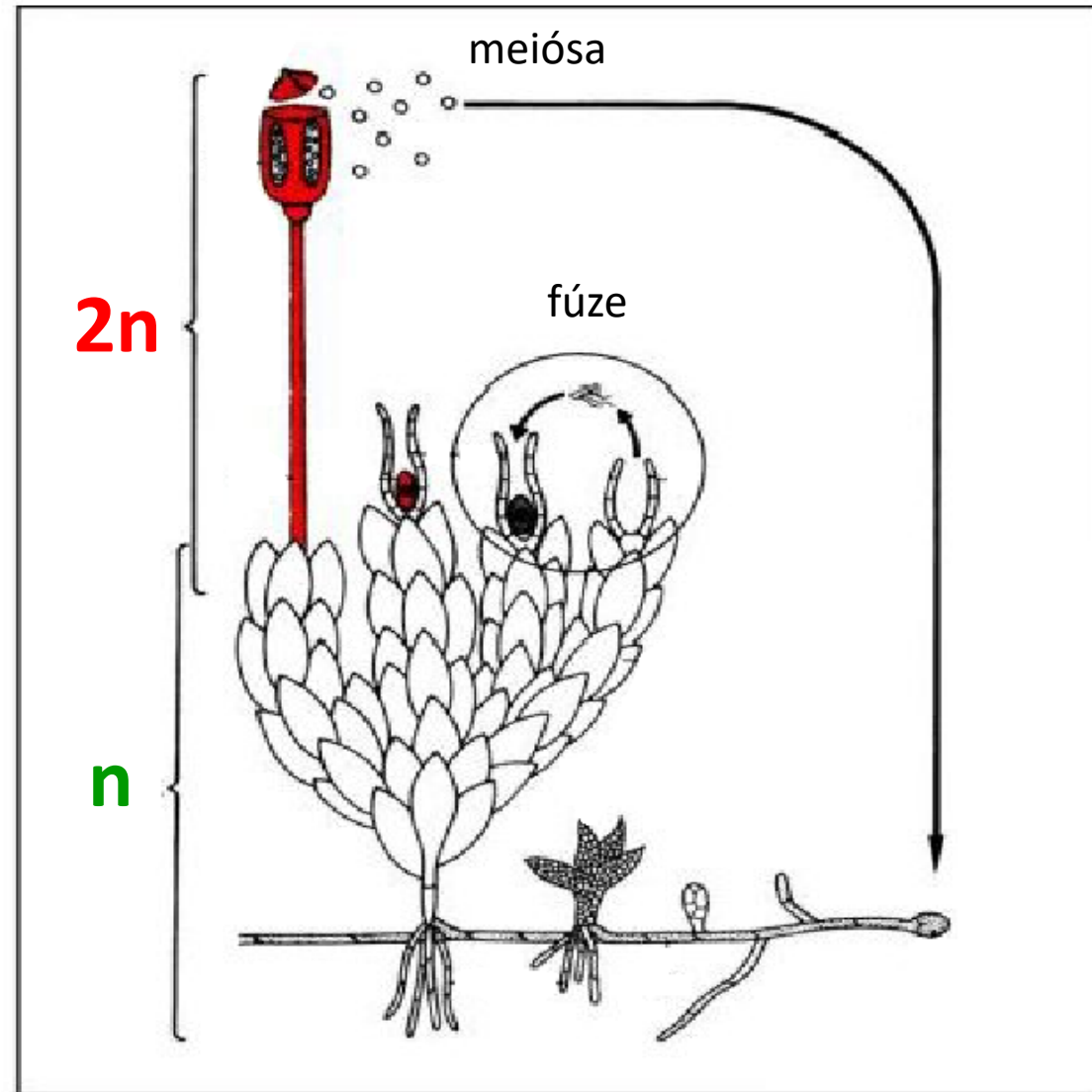


Young bud

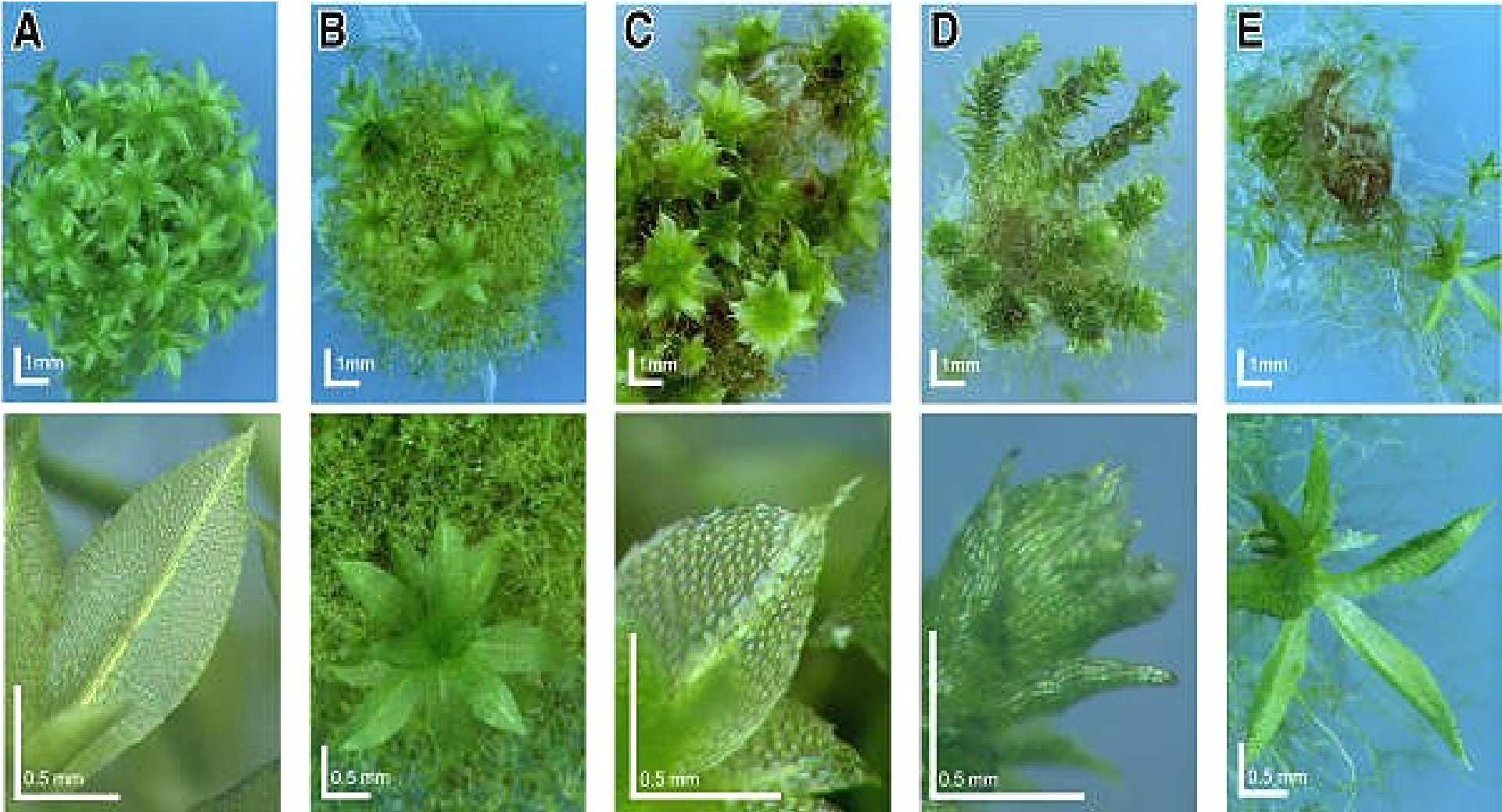
# The moss *Physcomitrella patens*: a new tool for plant science



Didier G. Schaefer  
U de Lausanne



# Izolace mutací s fenotypovým projevem



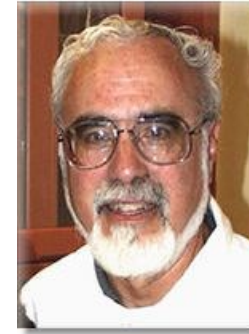
# *Ceratopteris richardii*

„C-fern“

kapradina rohatec

$n = 39$  chrs,  $C = 10$  pg

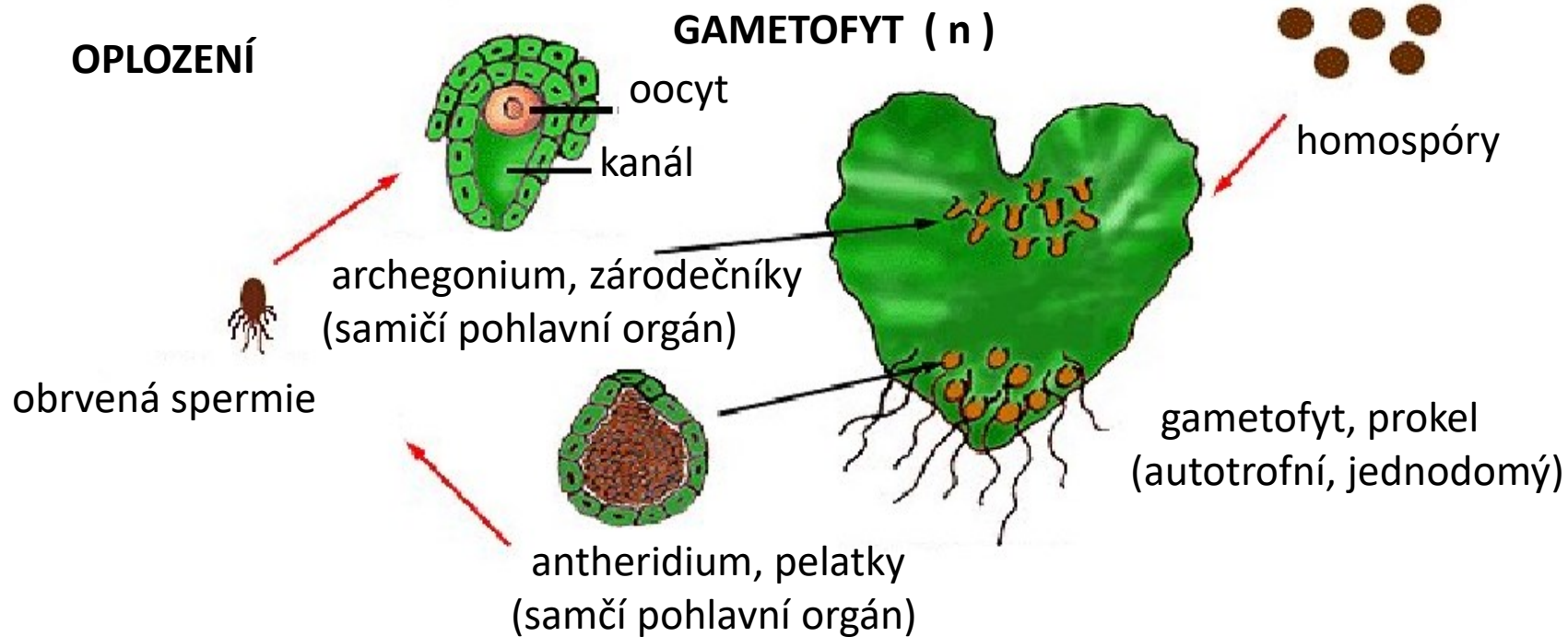
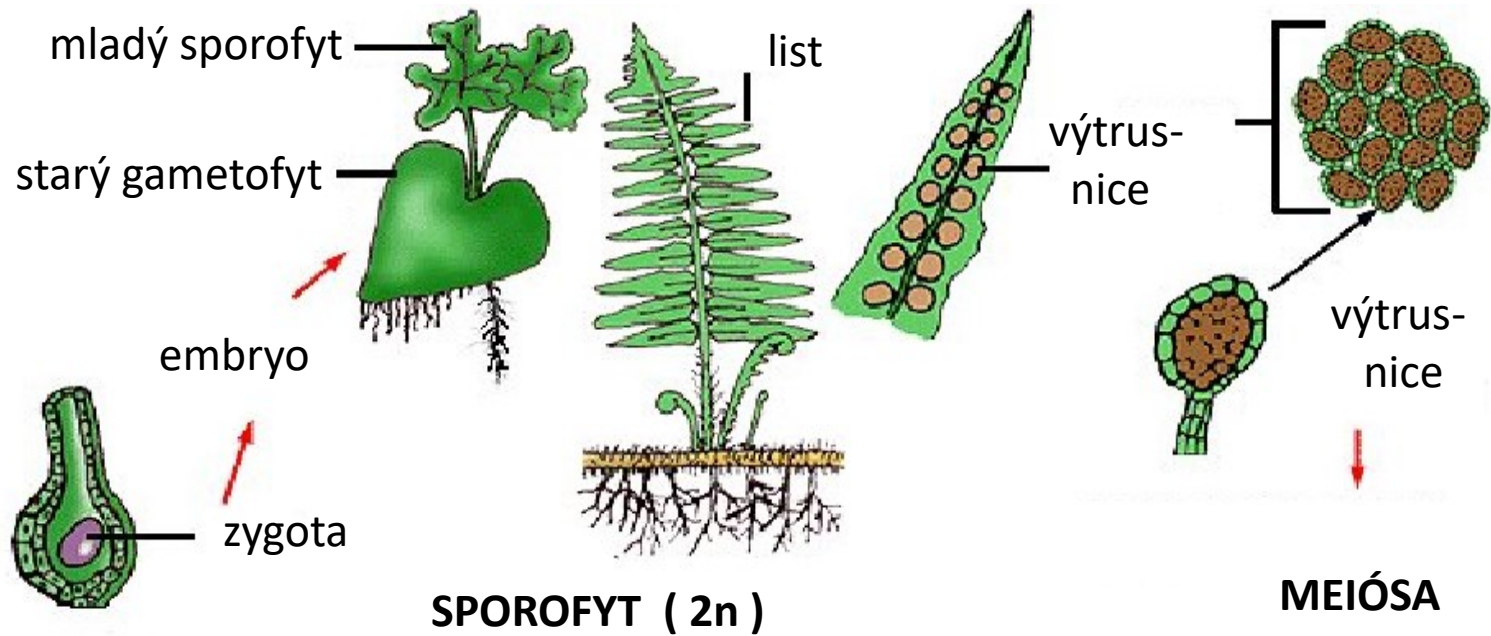
model hormonální sex-determinace (feromon ceratopterin)

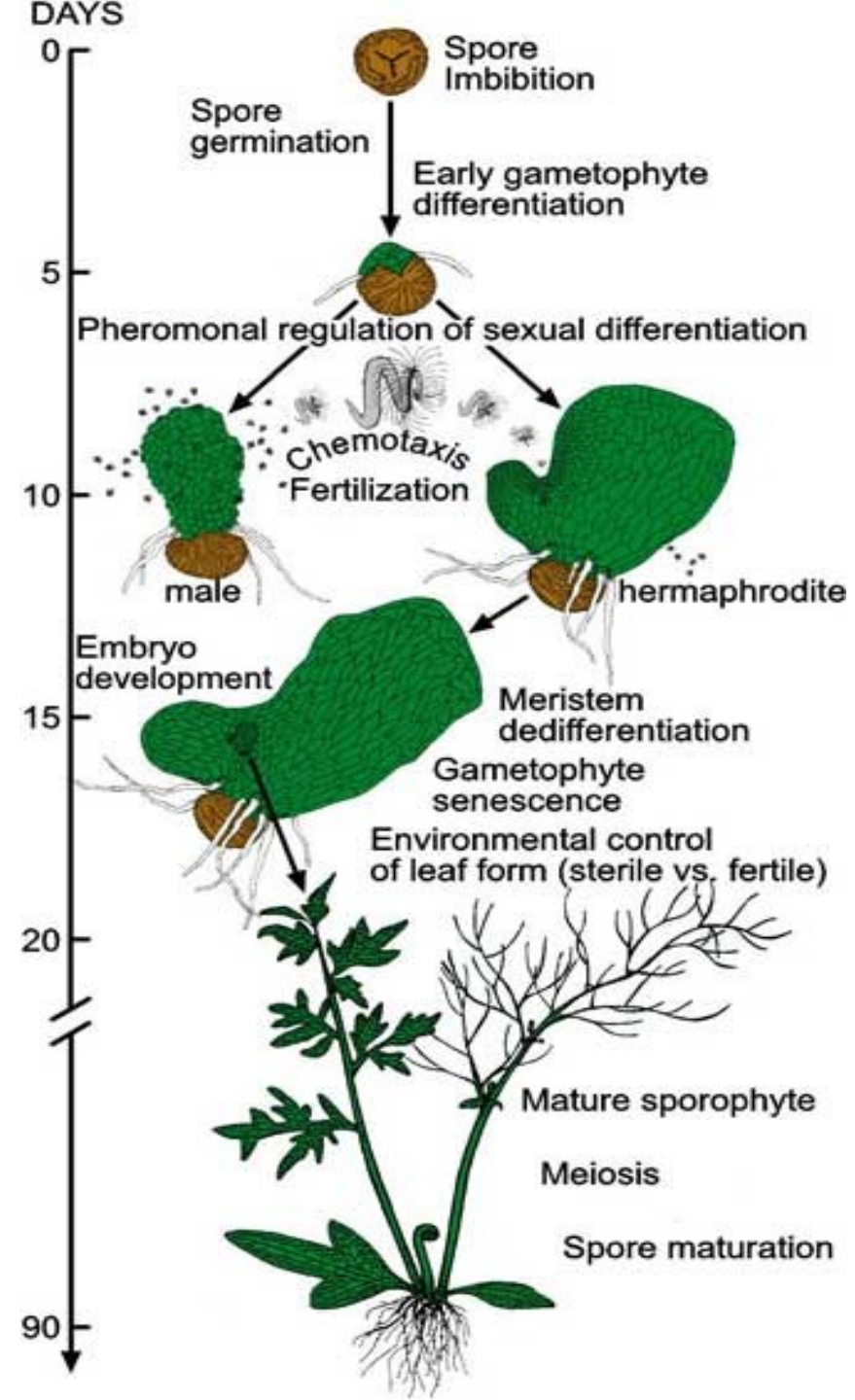
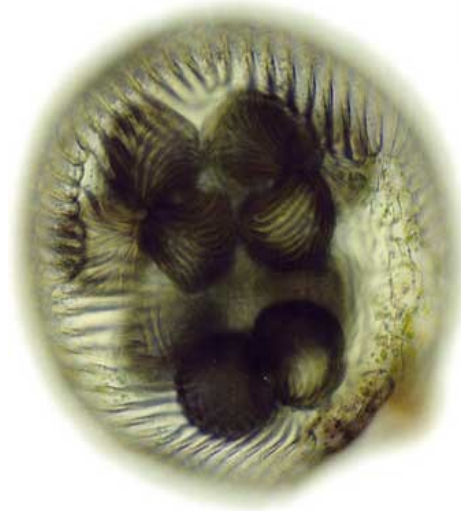
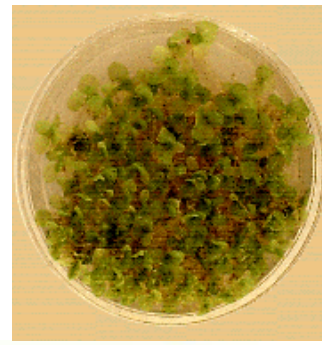
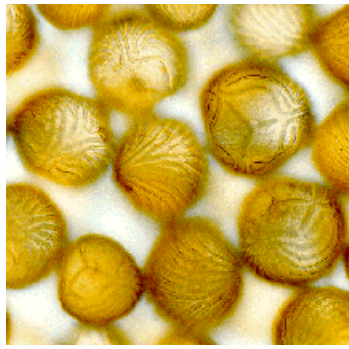


**Stan Roux**

*UT School of Biological Sciences  
Molecular Cell and Developmental Biology*

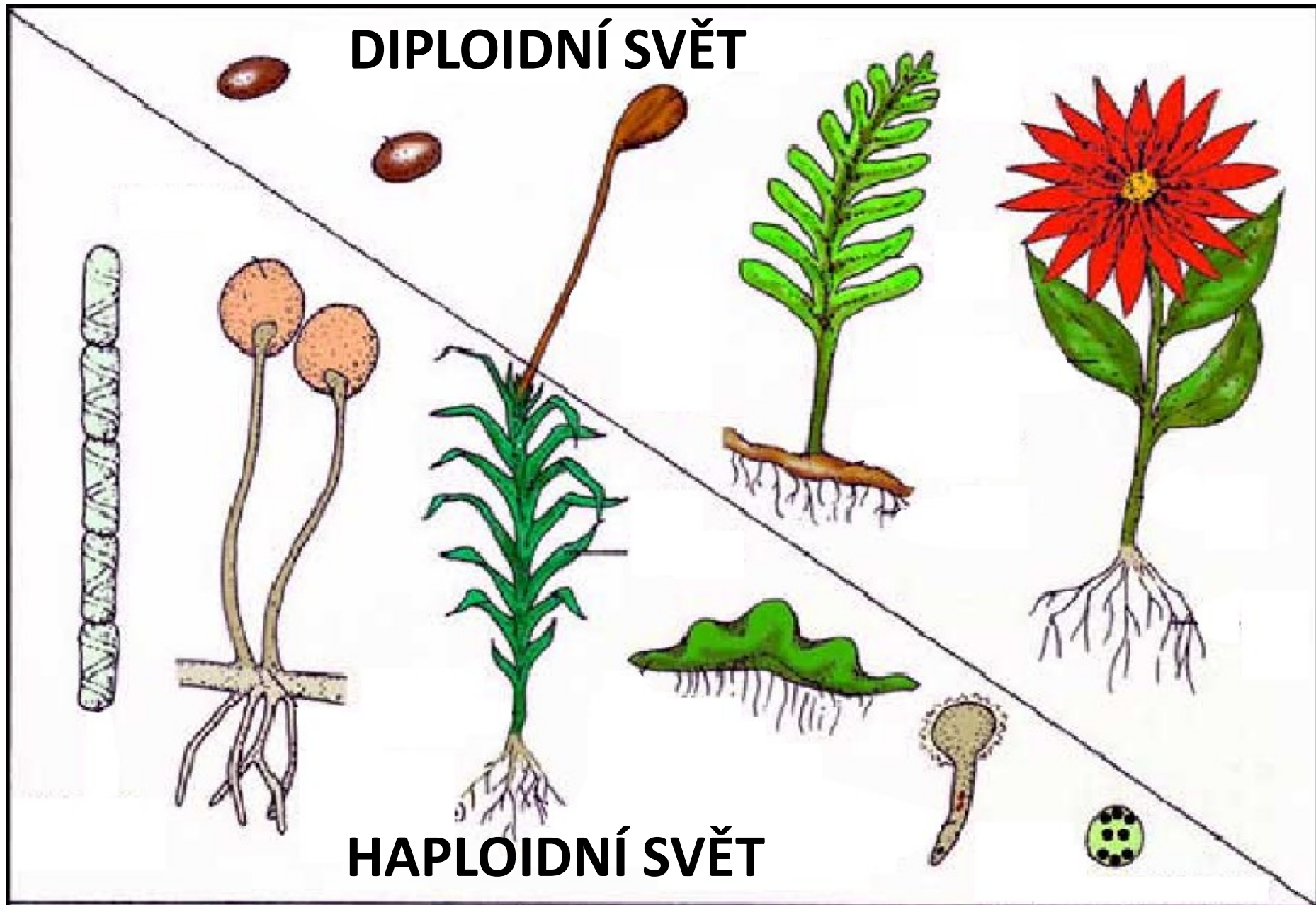








# DIPLOIDNÍ SVĚT



řasy

houby

mechy

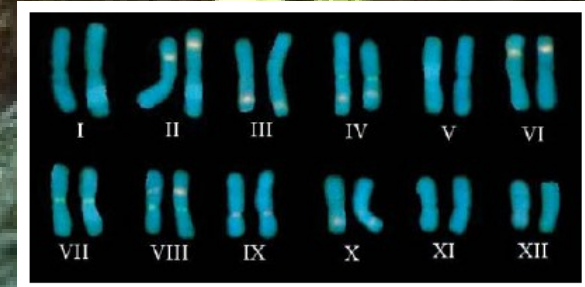
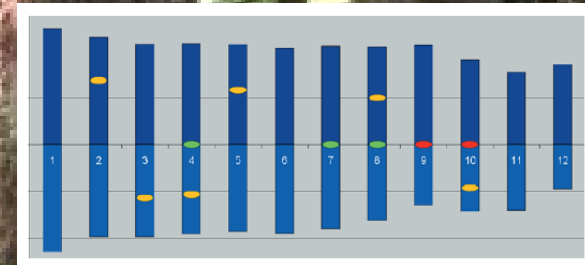
kapradiny

kvetoucí rostliny

# nahosemenné rostliny

... *Pinus taeda*, *Picea abies*

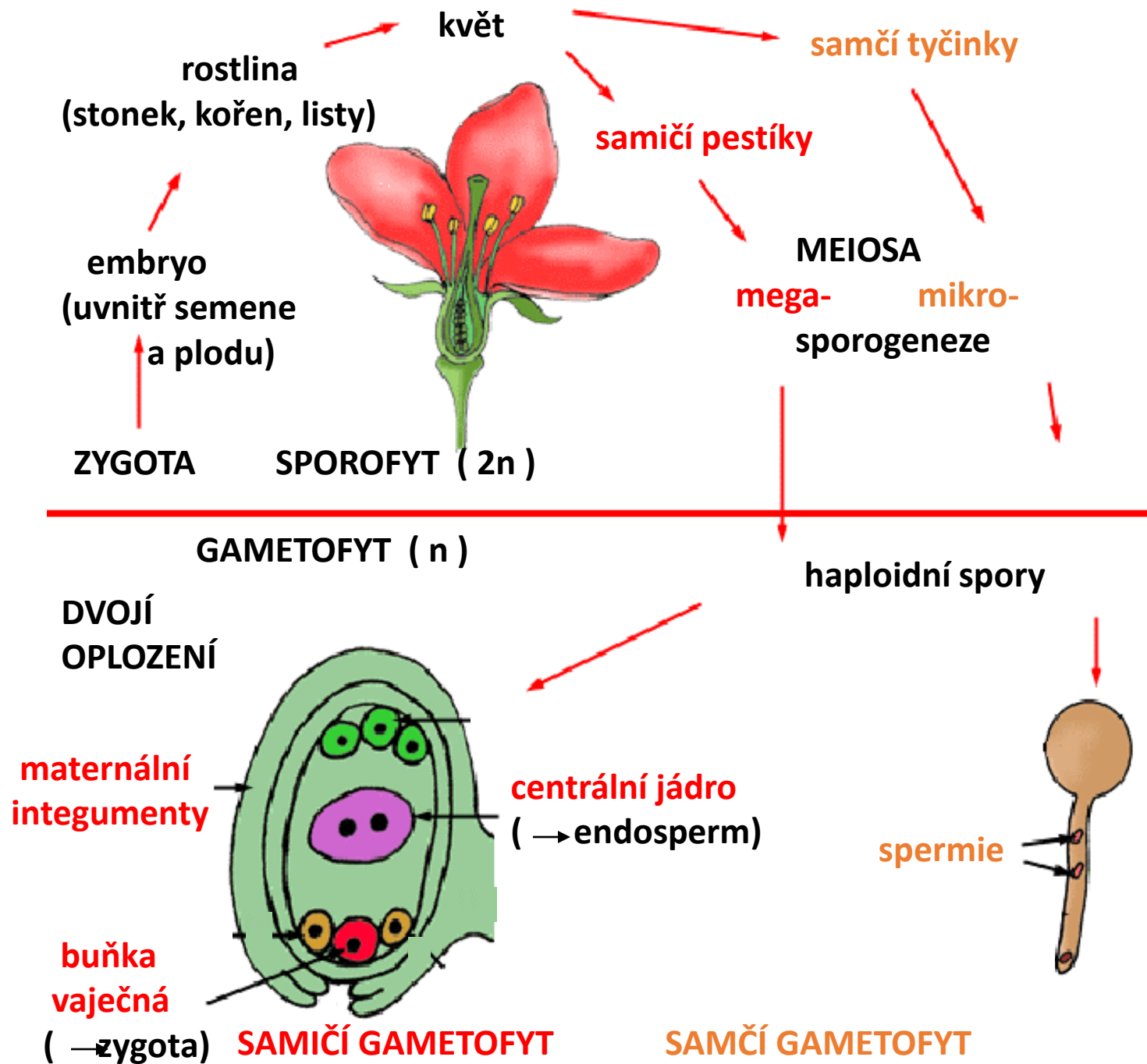
C > 15 pg DNA !



A close-up photograph of a plant with several bright pink flowers. The flowers have five petals and prominent stamens. The plant has green, lance-shaped leaves and thin, upright stems. The background is a soft-focus green, suggesting a natural outdoor setting.

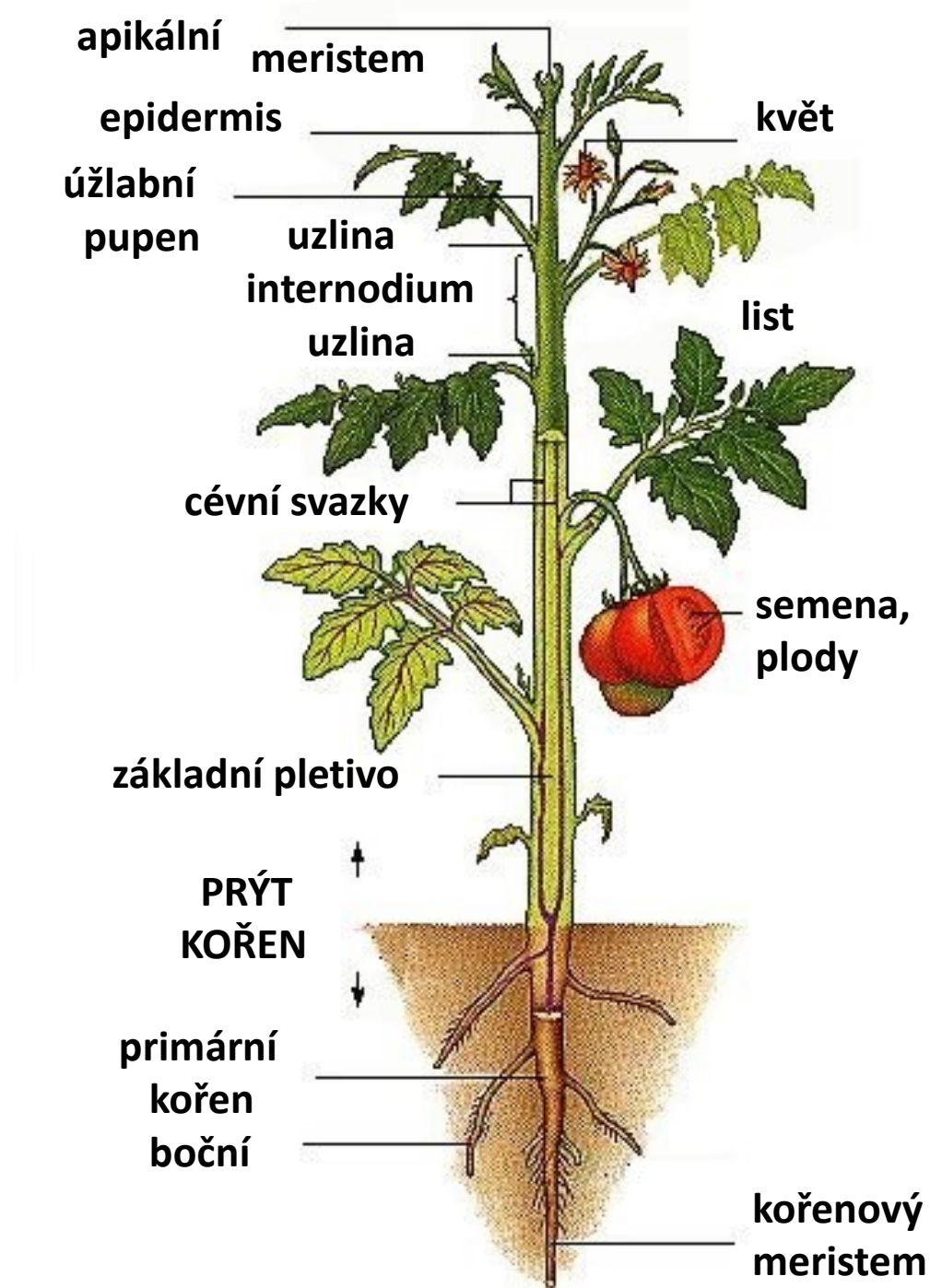
**krytosemenné rostliny**  
**dvojděložné**

# Střídání generací u krytosemenných rostlin



Rostliny mají  
segmentované  
tělo:

## FYTOMERY





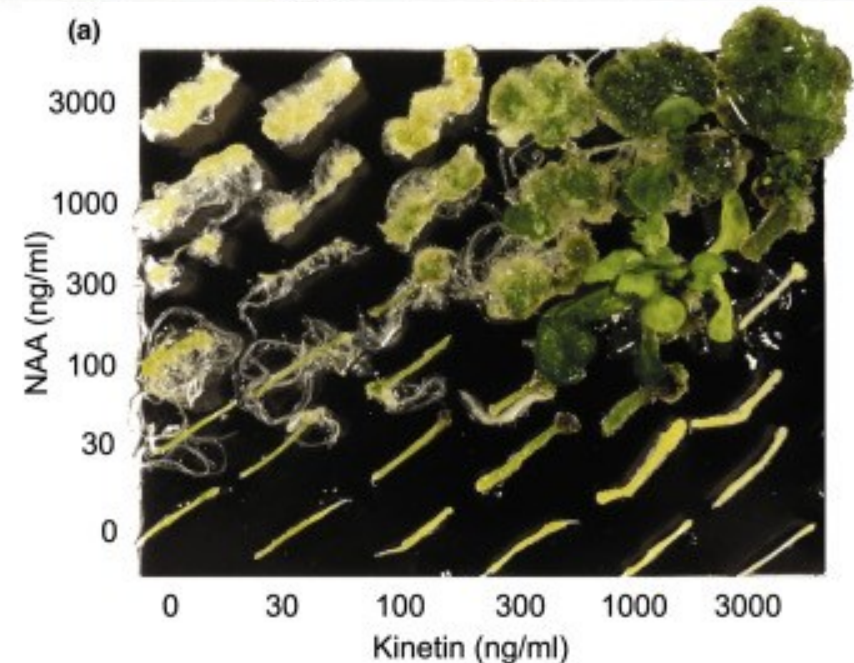
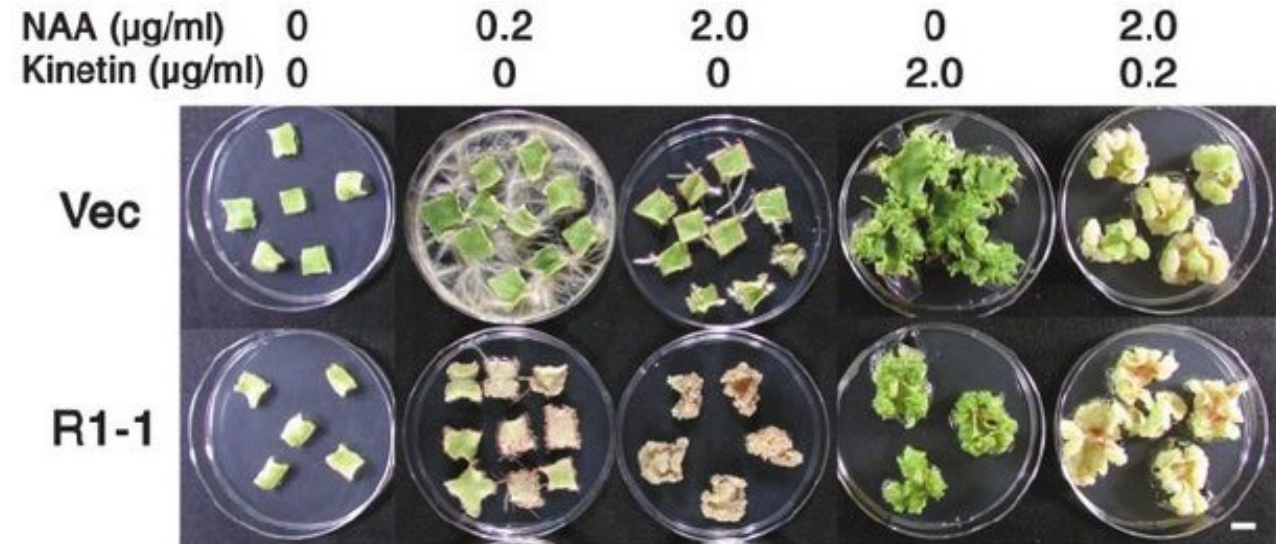
**Tabák**

...a další rostliny z  
čeledi *Solanaceae*



# Růstové faktory rostlin či fytohormony

- pleiotropní účinky, tvořeny v jednom pletivu a transportovány do jiného
- nízká koncentrace, velké účinky
  - 6  $\mu\text{g}$  auxinu / 1 kg ananasu
  - jehla na 20 metrů krychlových sena
- funkce jako stimulátor
  - pozitivní či negativní účinek
- stejné hormony mohou vyvolávat odlišné reakce – rozdíly v citlivosti



# Řízená organogeneze ve tkáňové kultuře tabáku



Folke Skoog  
(1908-2001)

explantát

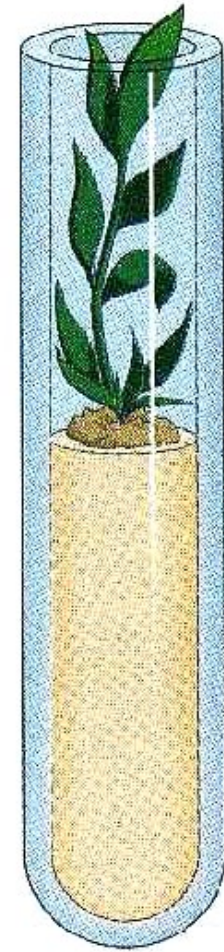
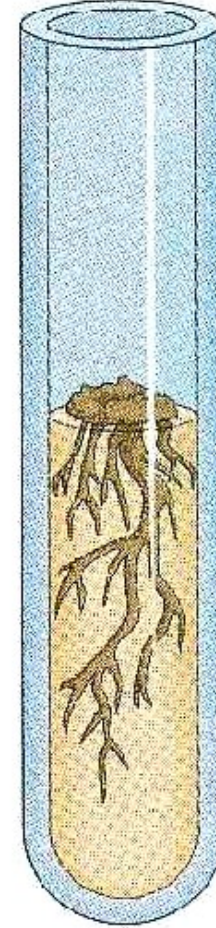
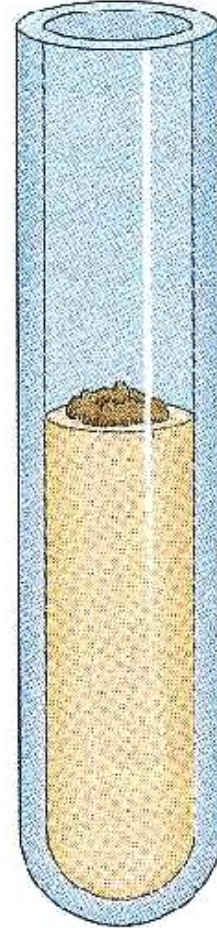
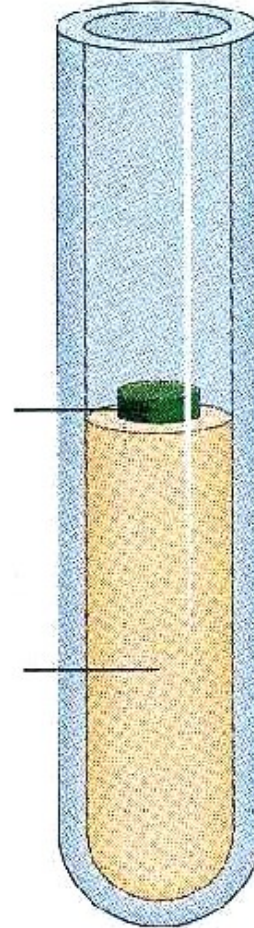
živný  
agar

žádný růst

kalus

kořeny

prýty



auxin

0

vysoká

vysoká

nízká

cytokinin

0

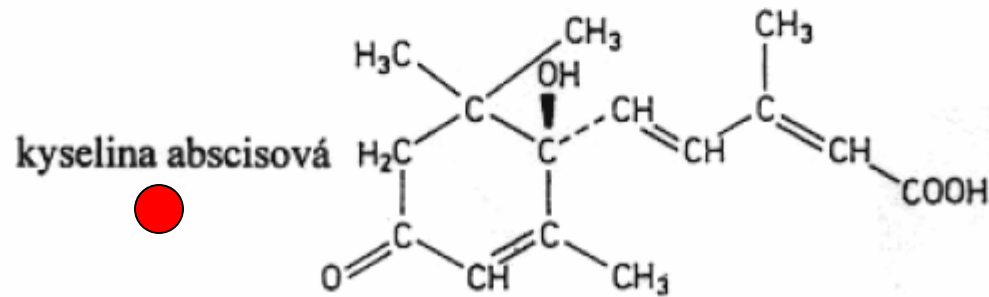
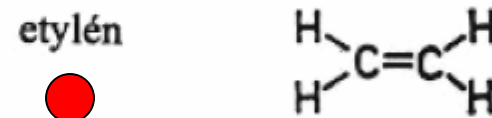
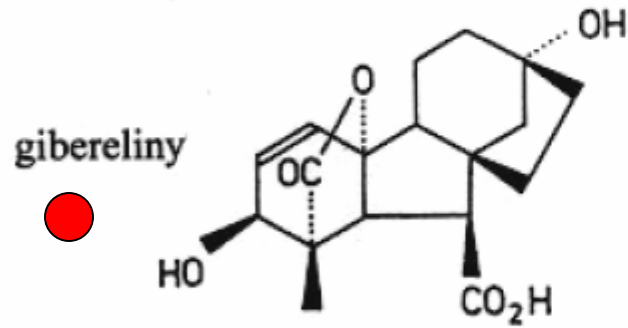
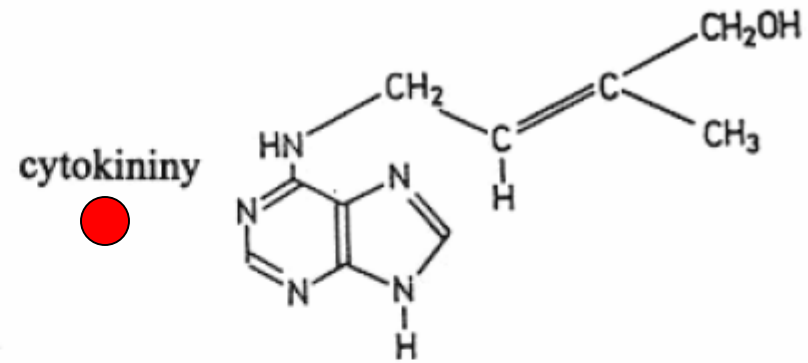
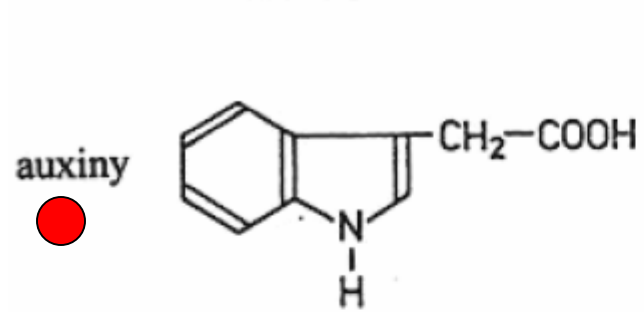
vysoká

nízká

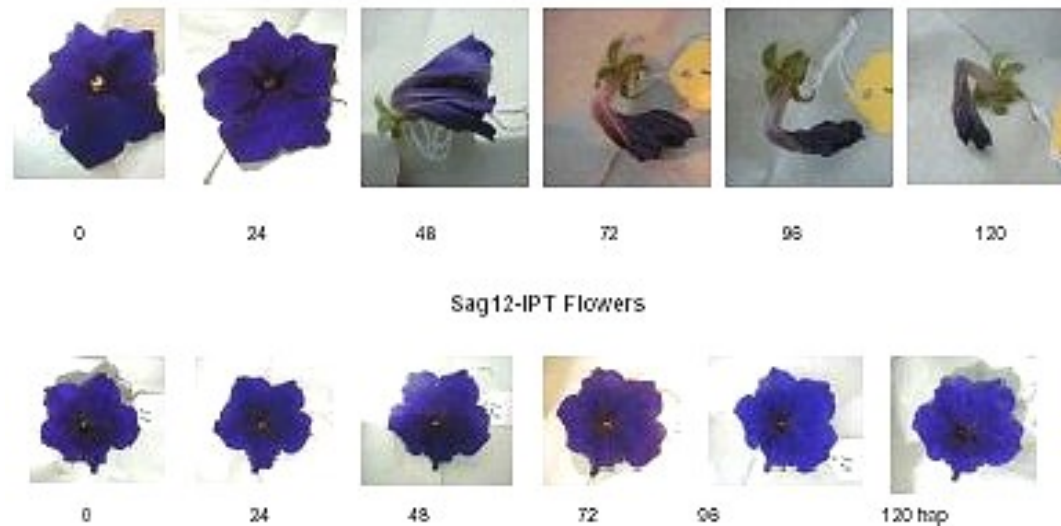
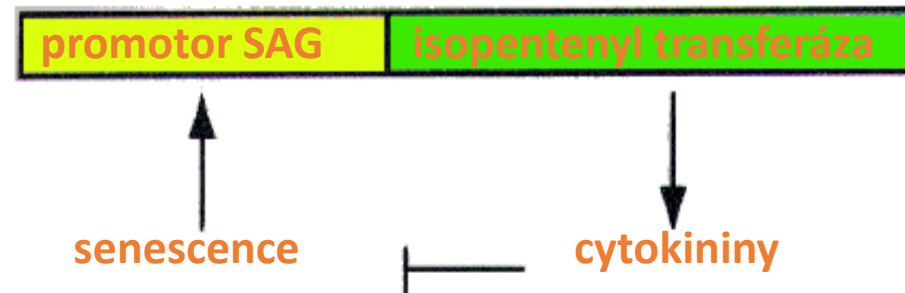
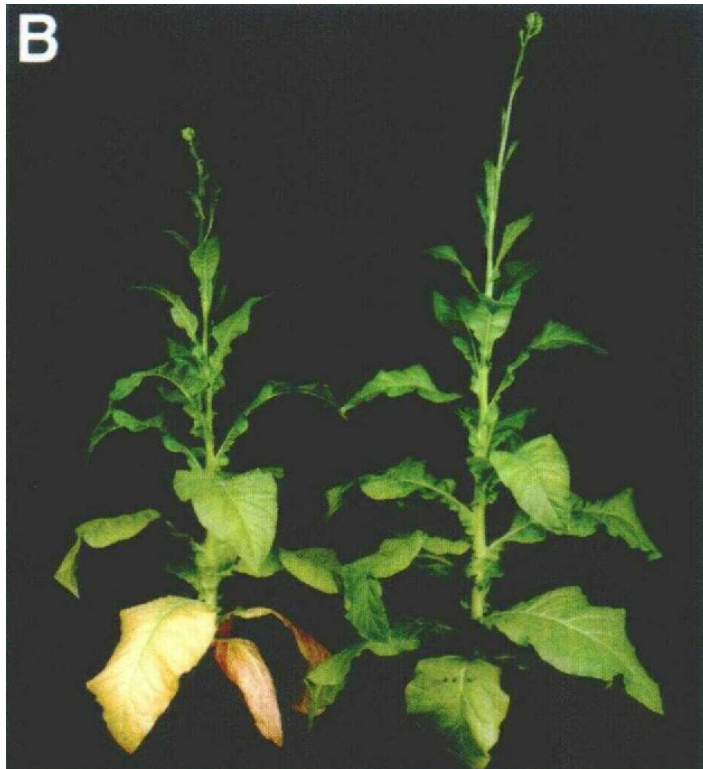
vysoká



# Hlavní skupiny rostlinných hormonů



# Růstové regulátory rostlin s pleiotropními účinky: cytokininy – hormony dělení buněk a mladosti

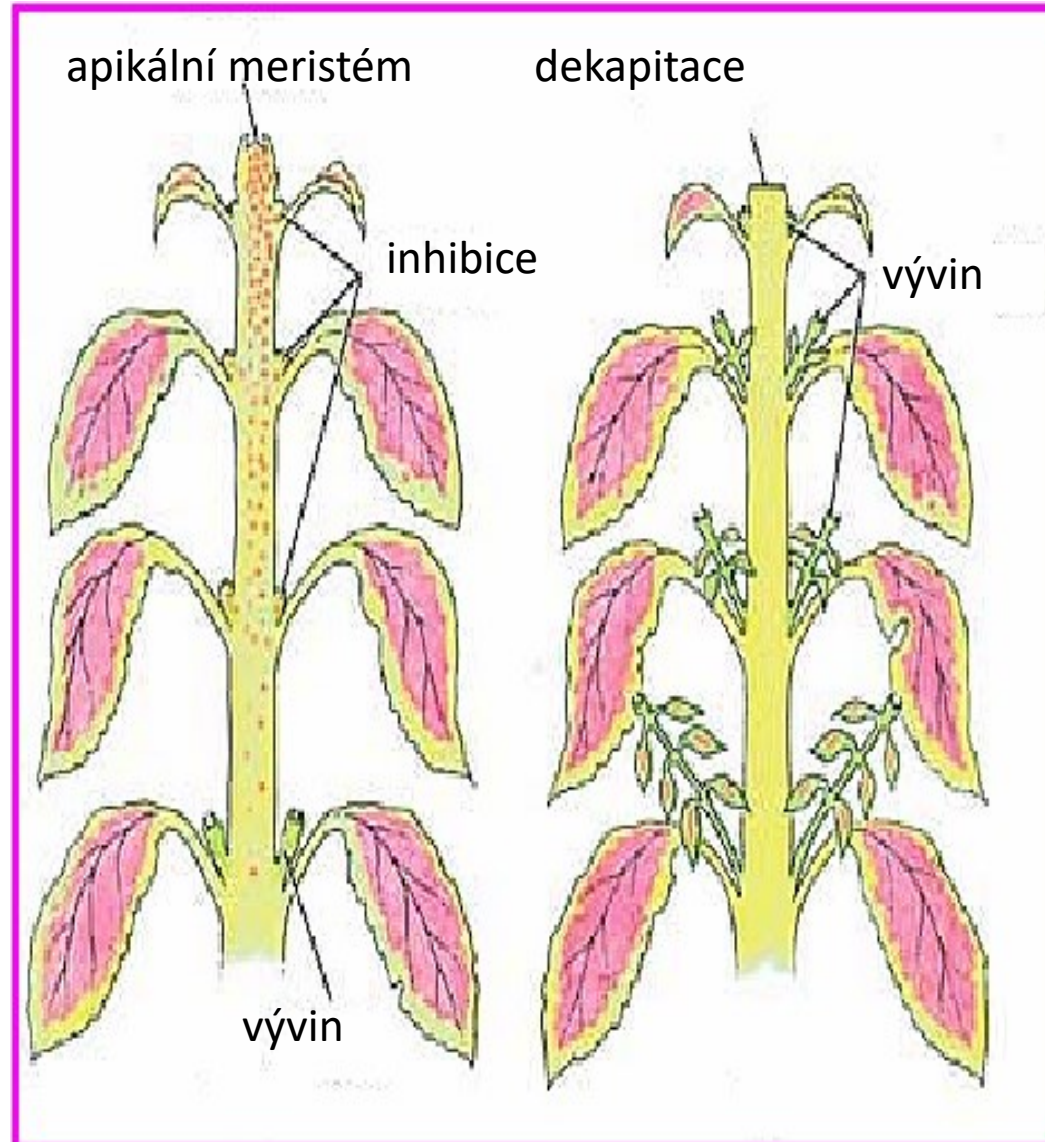


**Ric Amasino  
(Wisconsin 1995)**

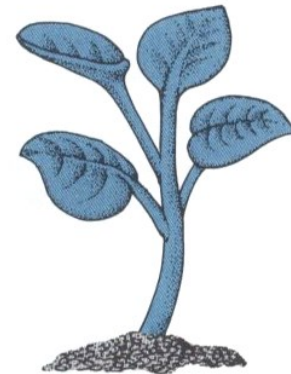
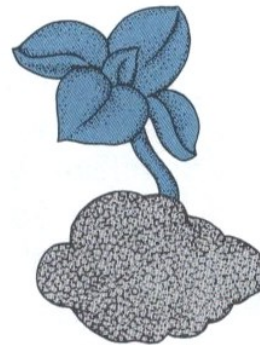
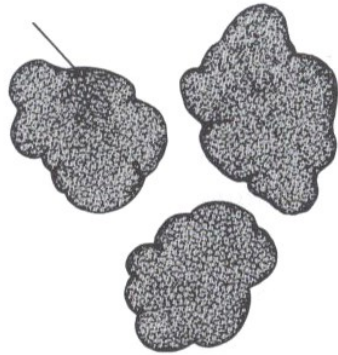
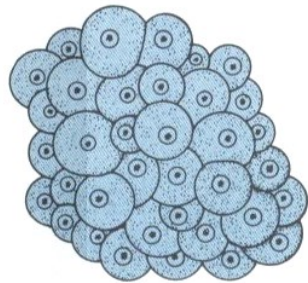
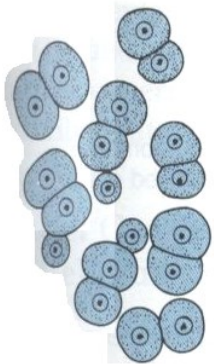
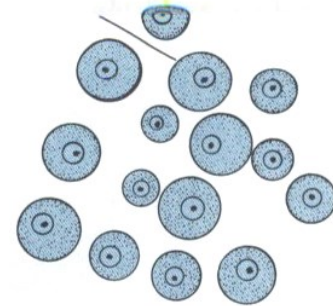
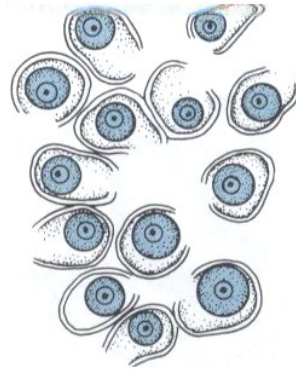
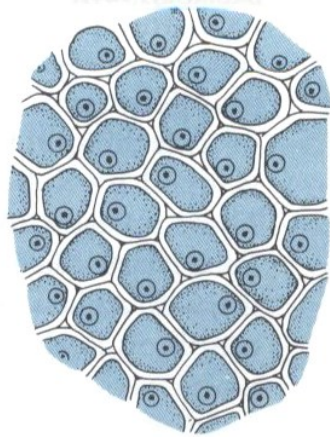
# Apikální dominance řízená auxinem

auxin tvořený v apikálu se šíří stonkem dolů, inhibující vývin úžlabních pupenů

koncentrace auxinu klesá směrem dolů, kde axilární pupeny se uvolňují z inhibice a vytvářejí laterální prýty

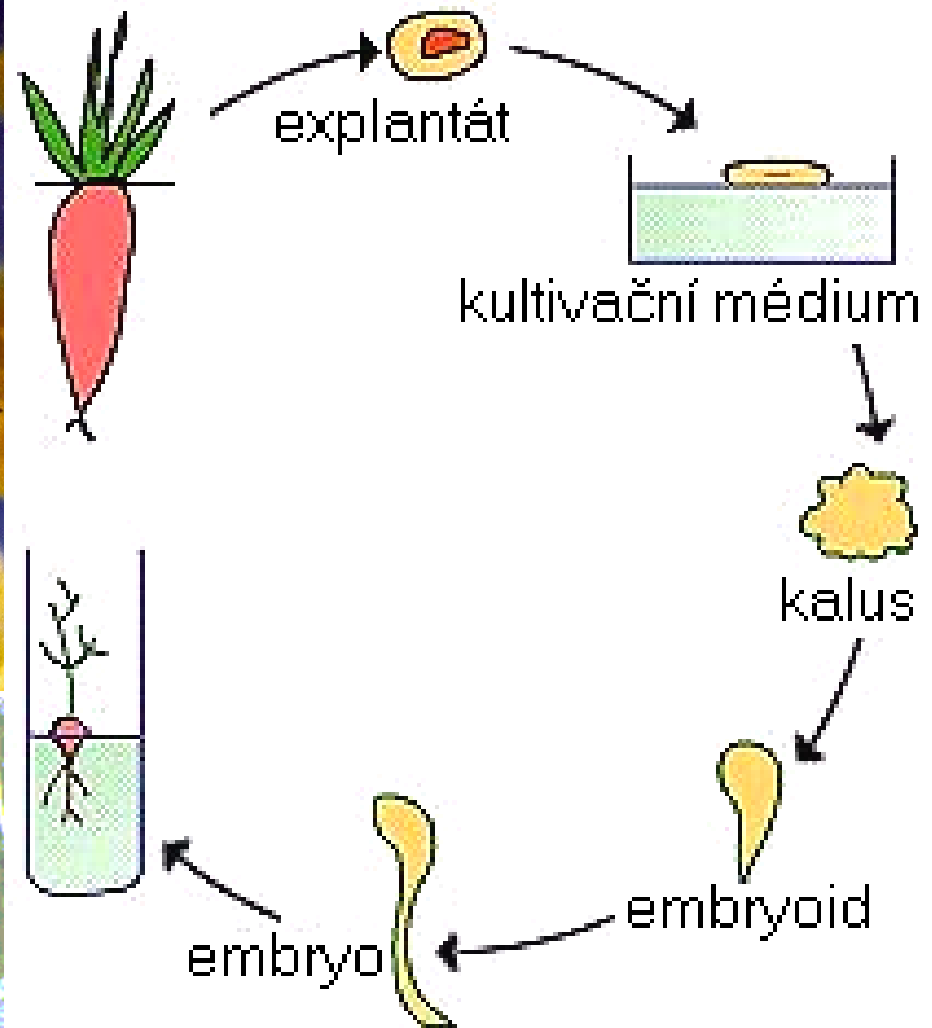
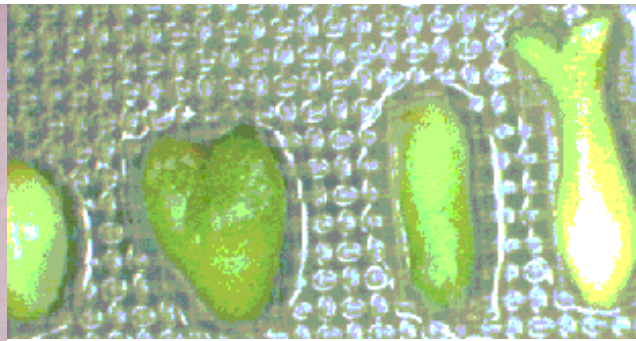
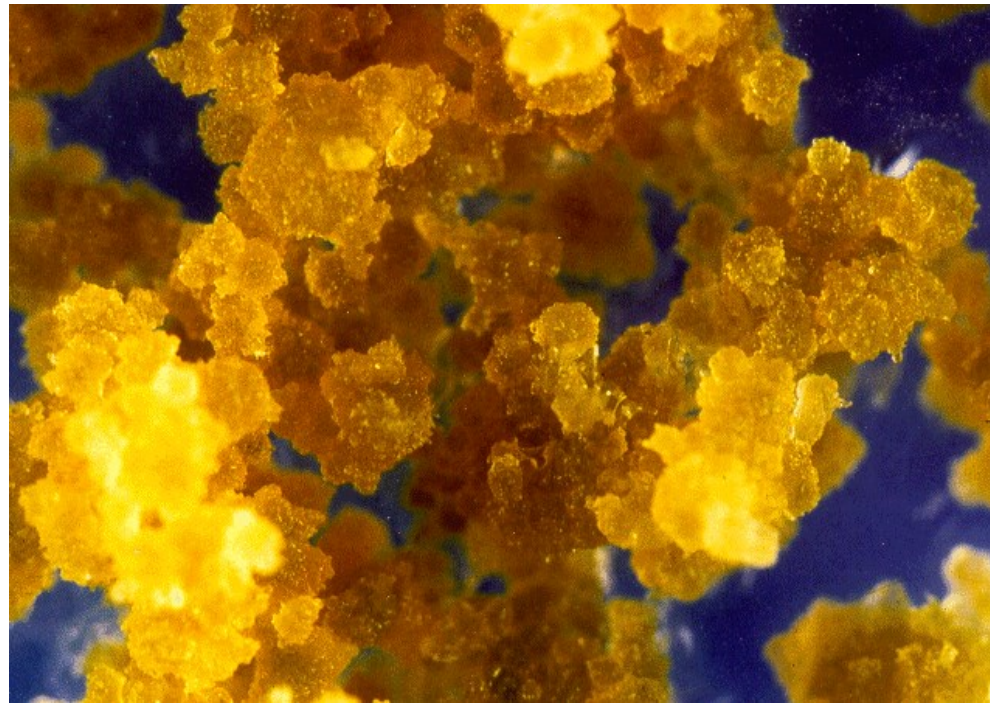


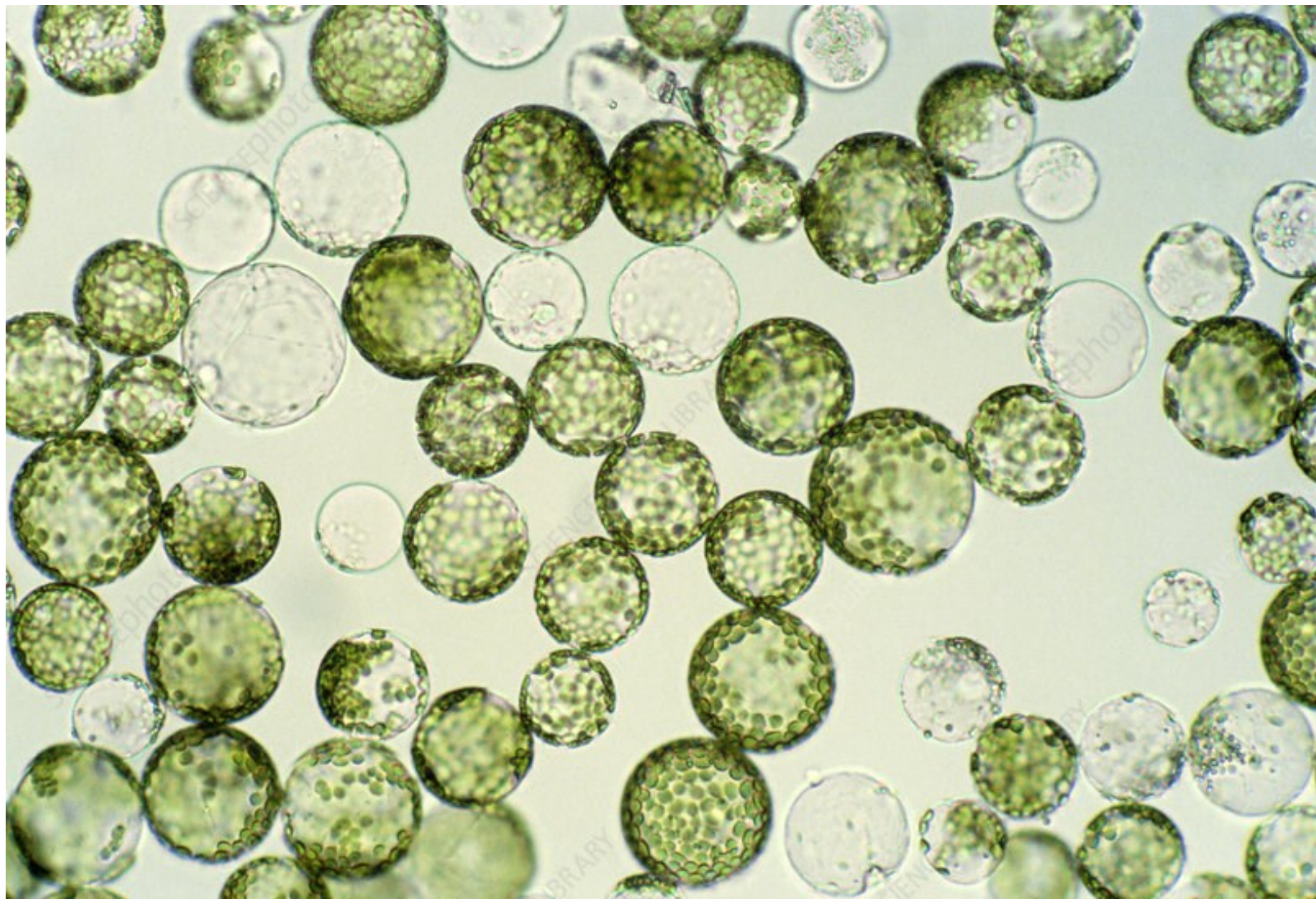
# ROSTLINNÉ BUŇKY JSOU TOTIPOTENTNÍ

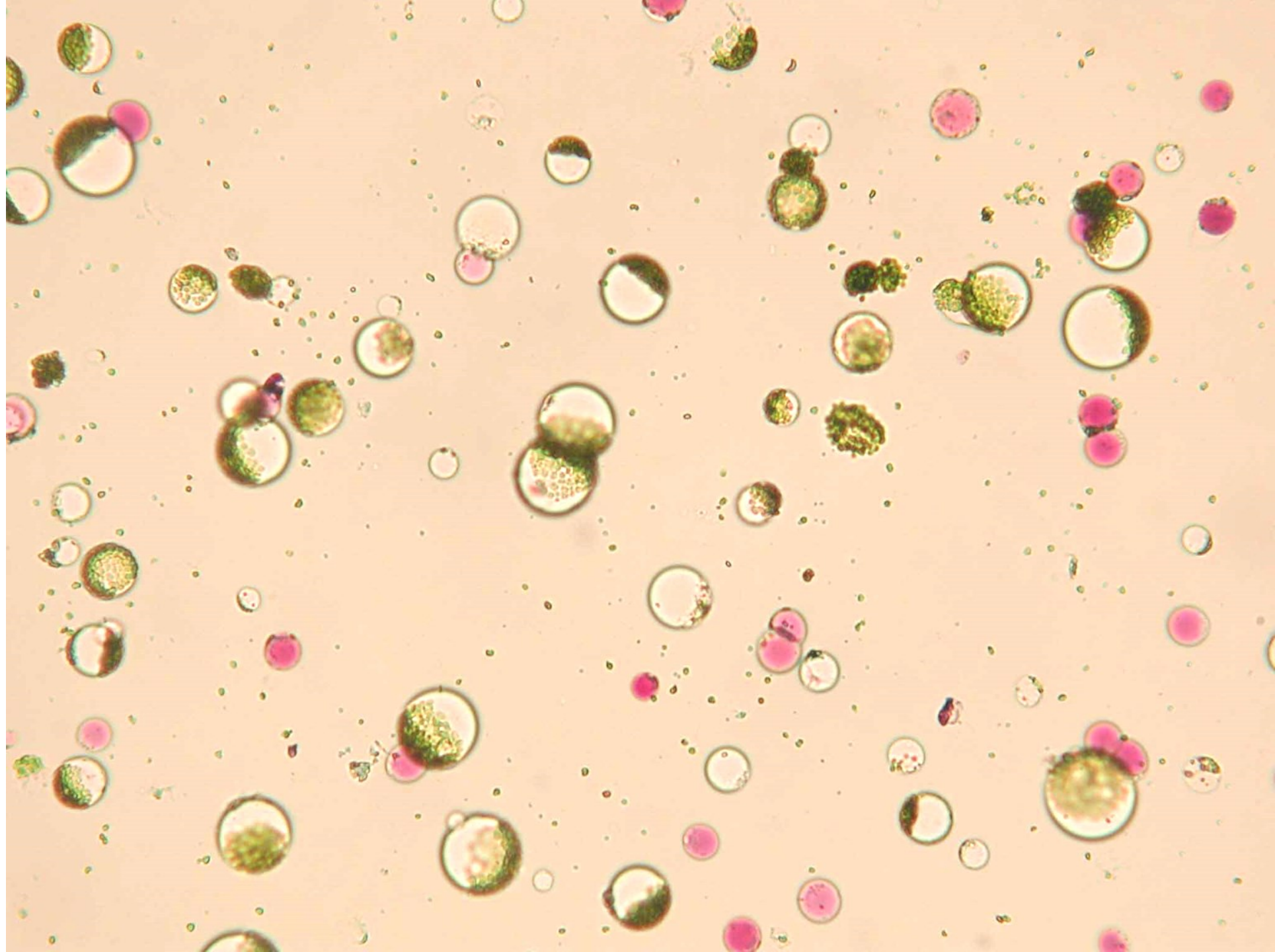


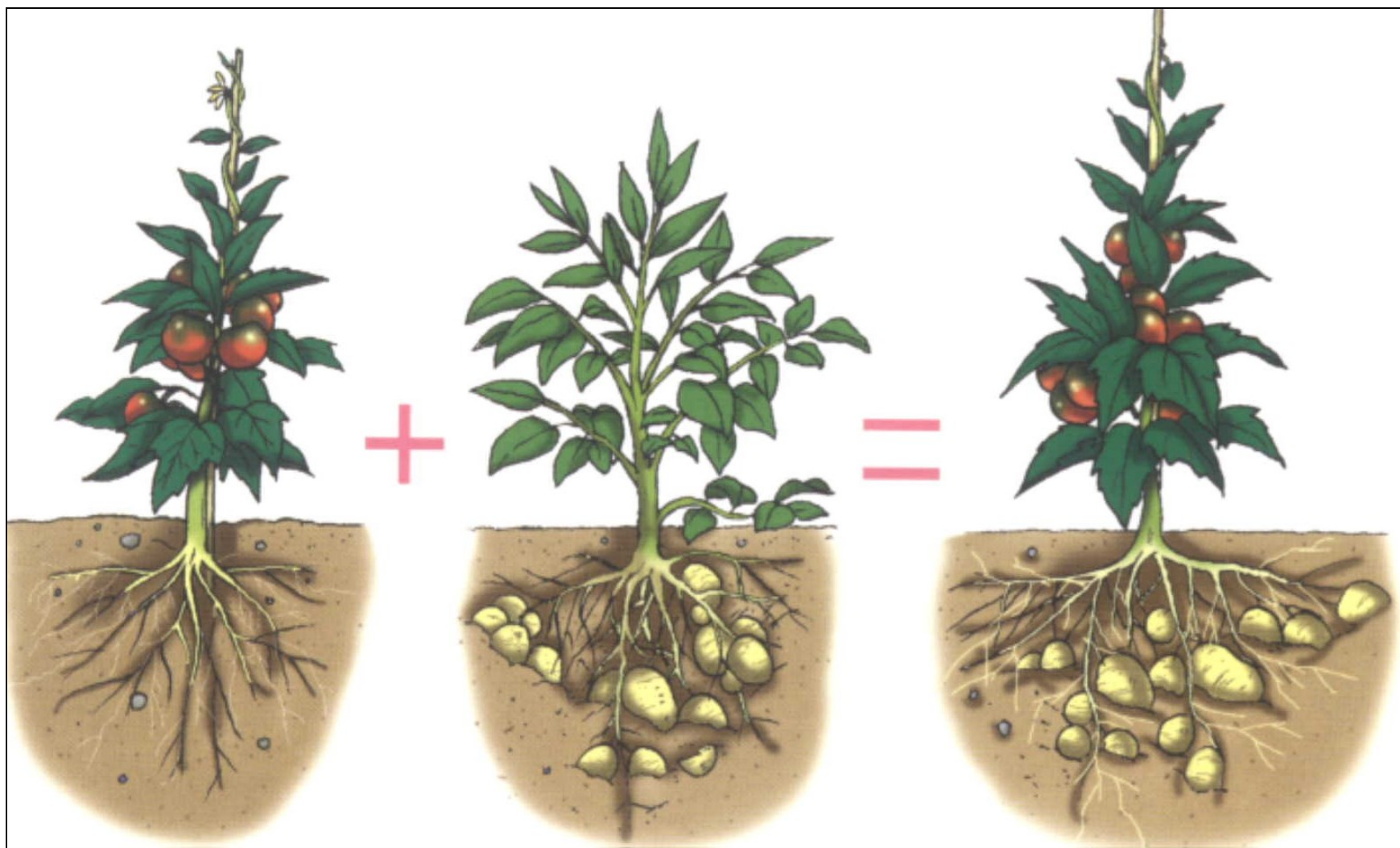
# Reprodukce bez sexu - klonování

vegetativní množení *in vitro* provázeno somaklonální variabilitou









**TOMATO**  
rajče

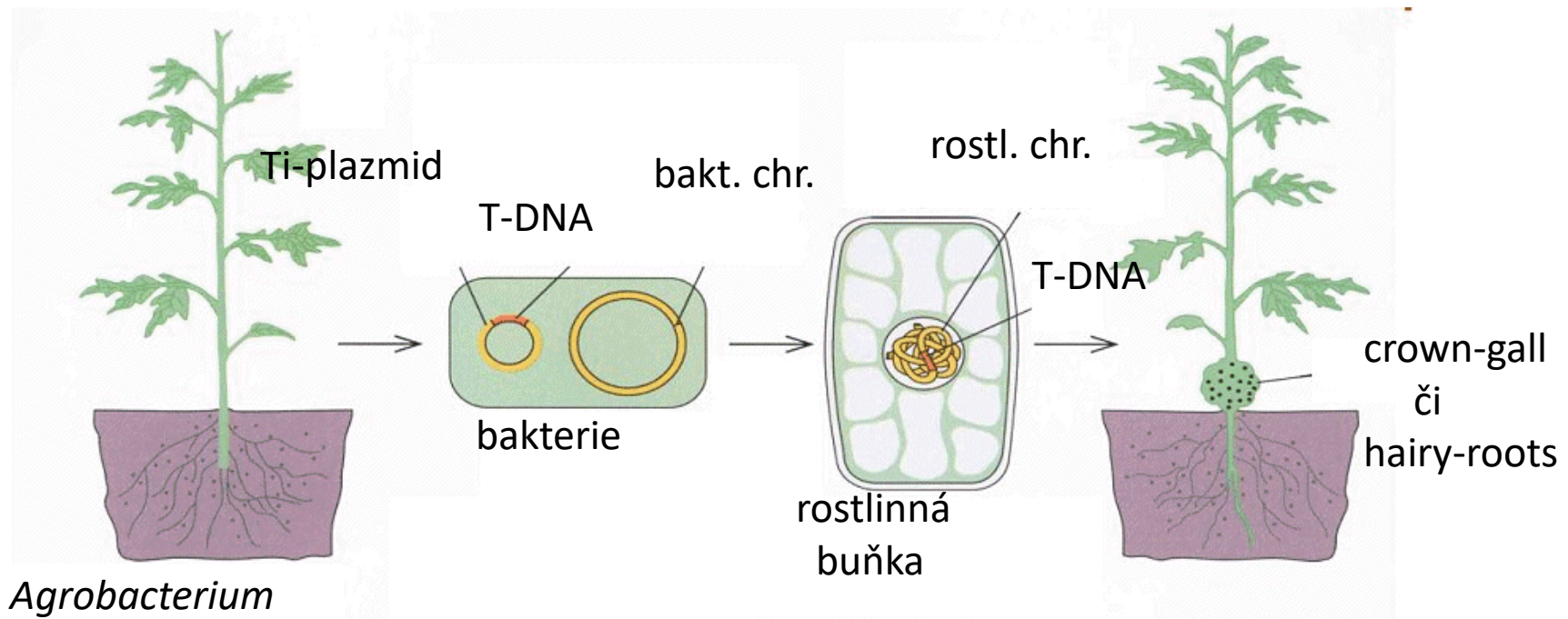
+

**POTATO**  
brambor

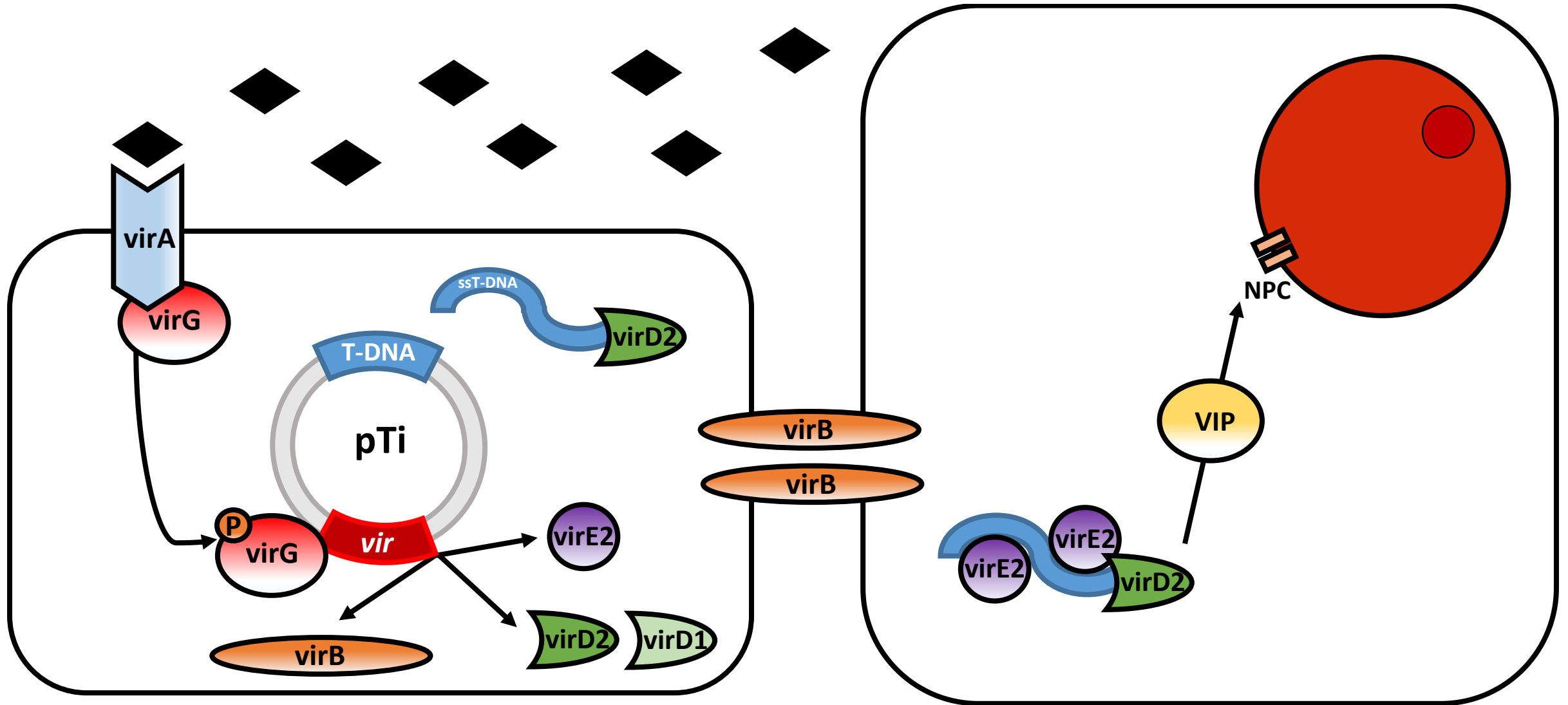
=

**POMATO**  
brajče





# *Agrobacterium tumefaciens*

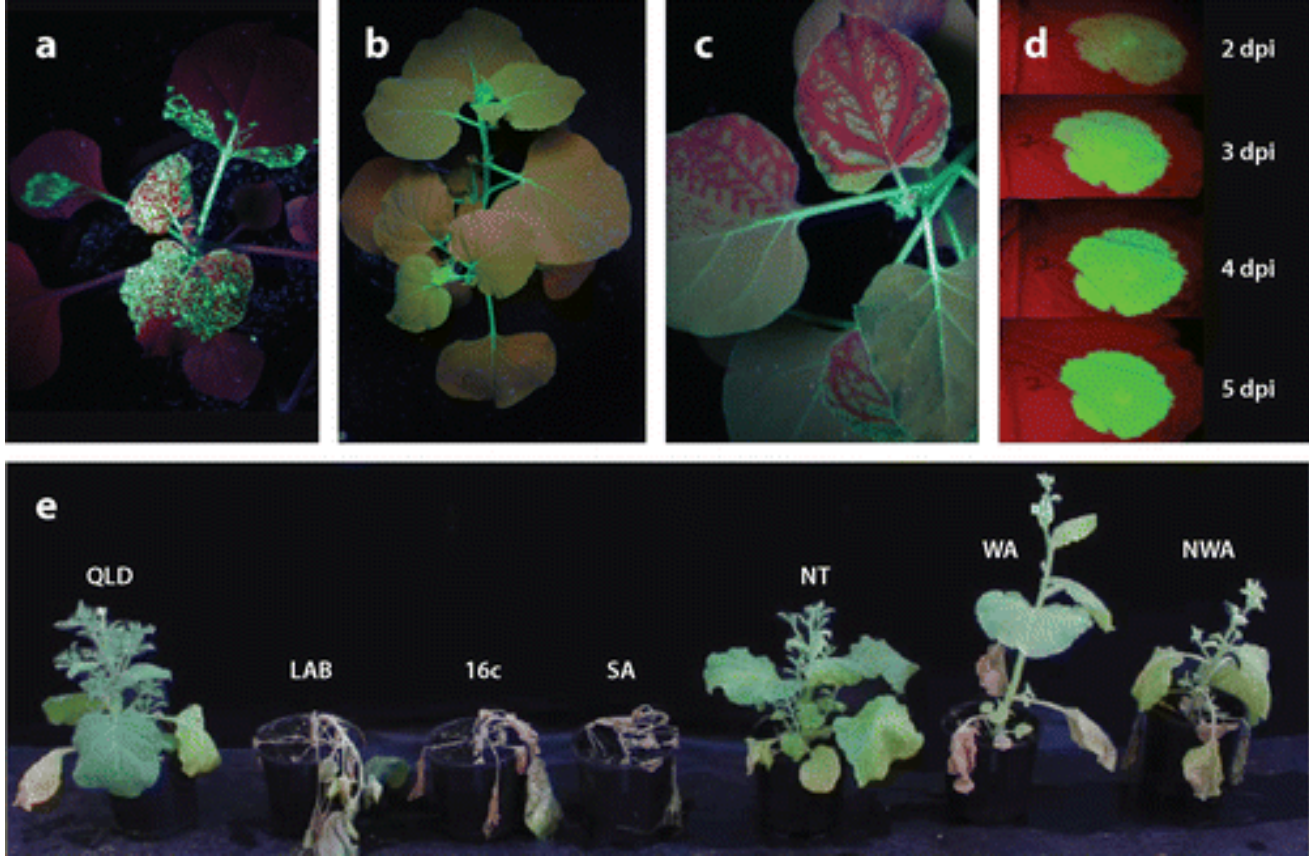
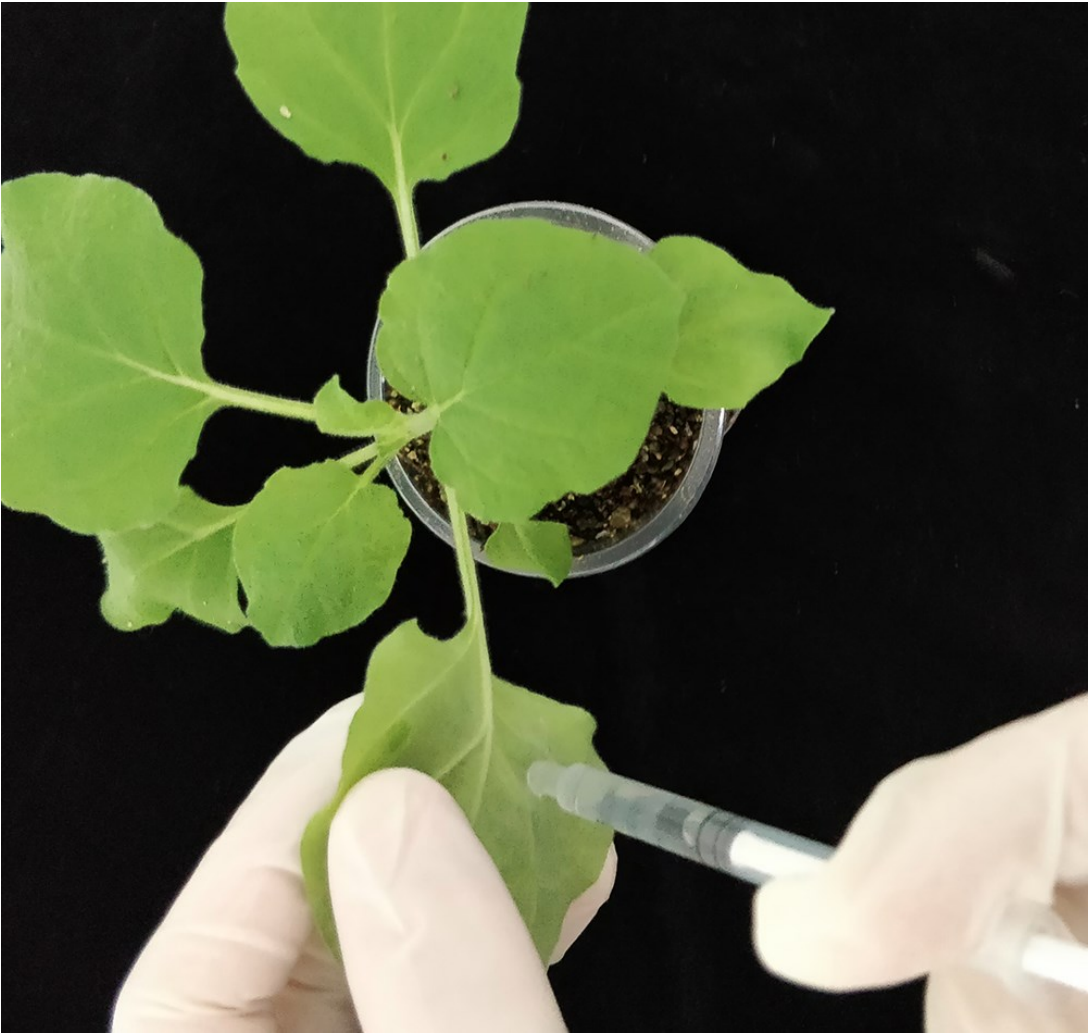


*Agrobacterium* cell

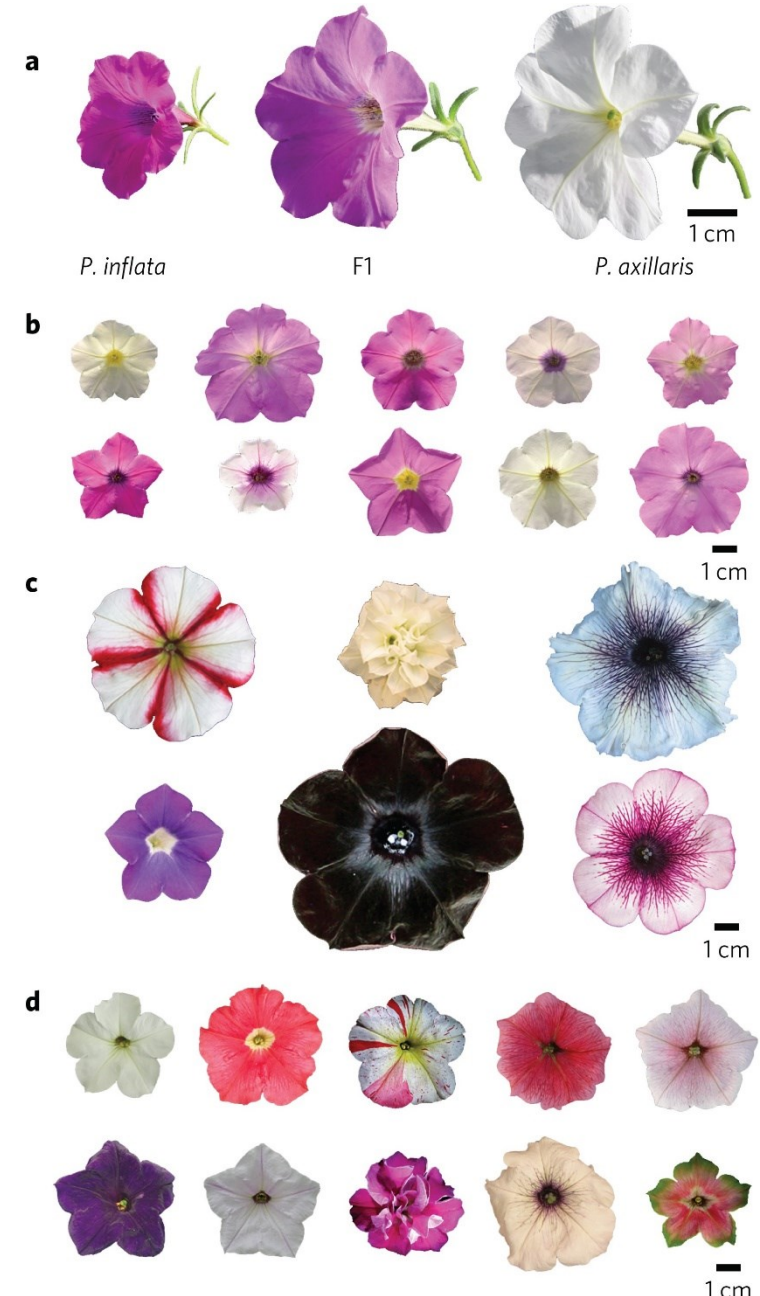
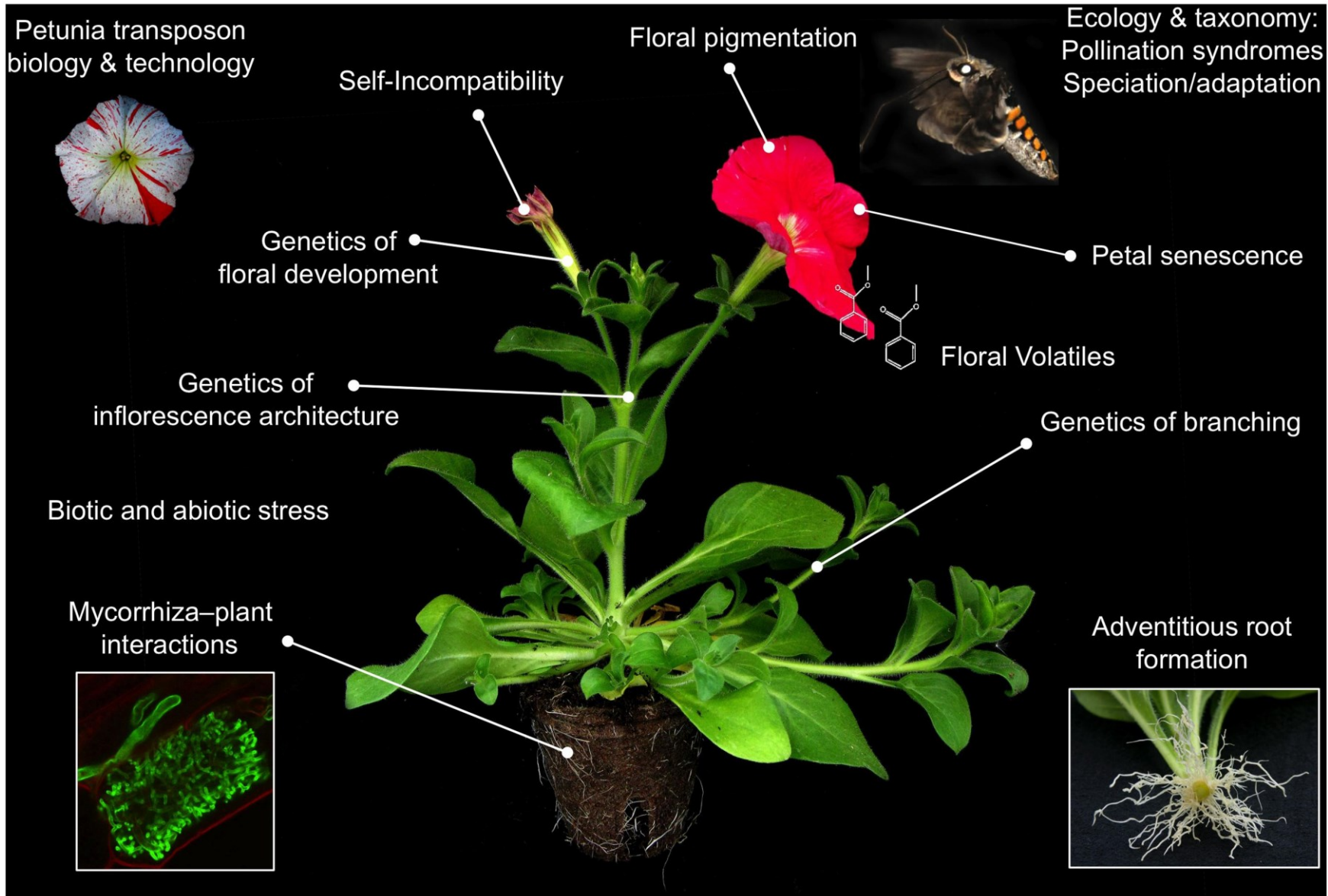
Plant cell

Tinland et al., 1995  
Pitzschke and Hirt, 2010

# *Nicotiana benthamiana*



# Petunia

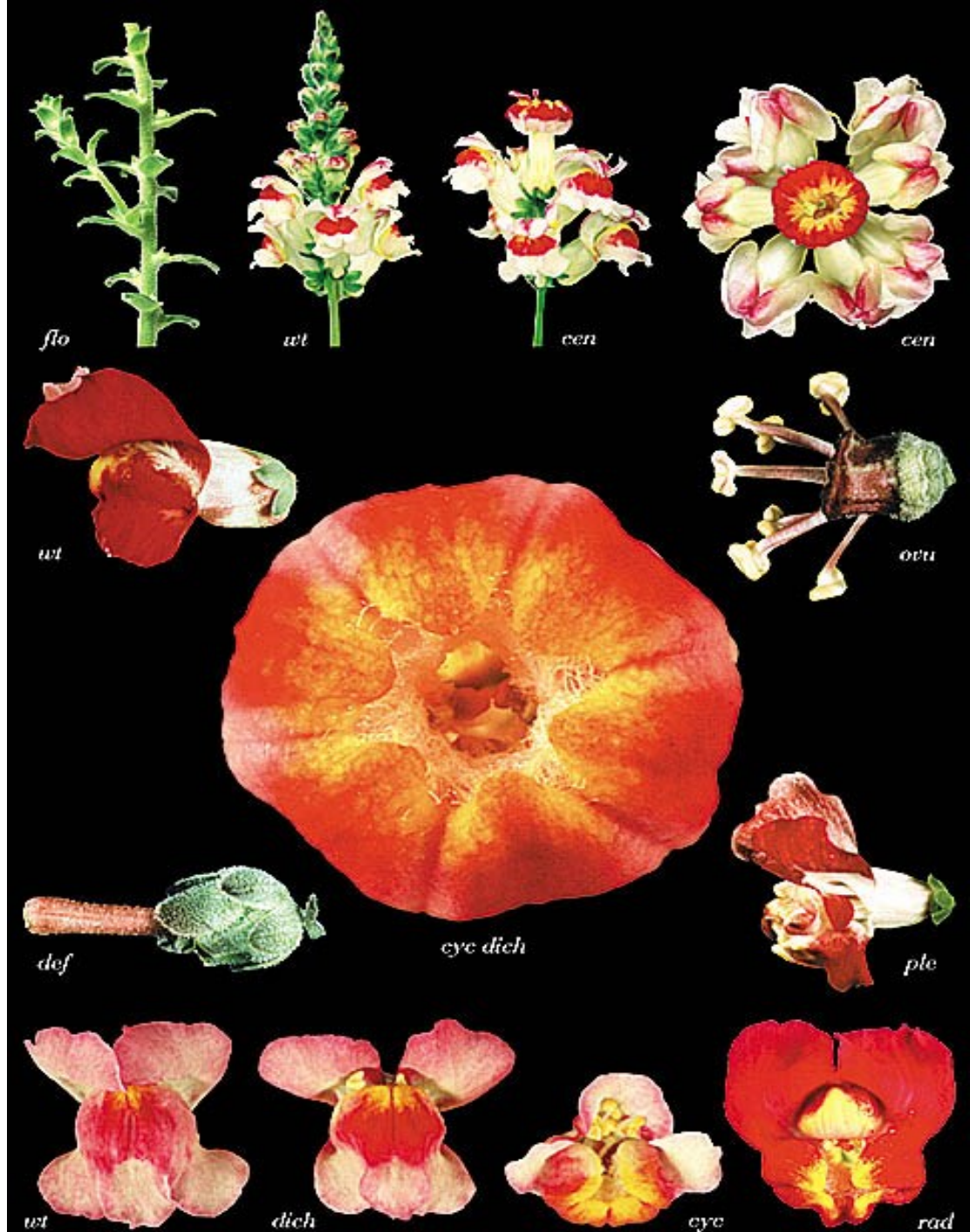


# *Lotus japonicus*



# Hledík – model květního vývoje

*Antirrhinum majus*





*Linaria*

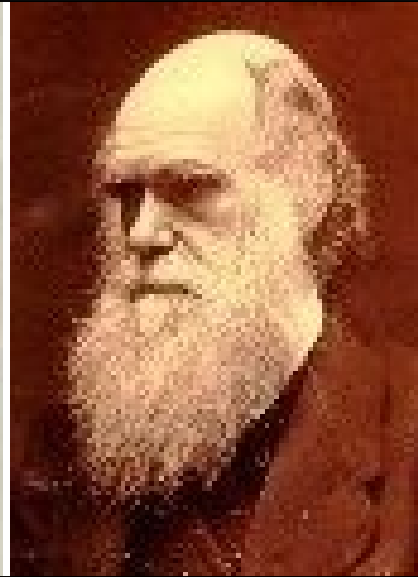
# Vznik a dědičnost rostlinných monster: (epi)mutace



Carl Linnaeus  
(1707–1778)



Jean-Baptiste Lamarck  
(1744–1829)



Charles Darwin  
(1809–1882)



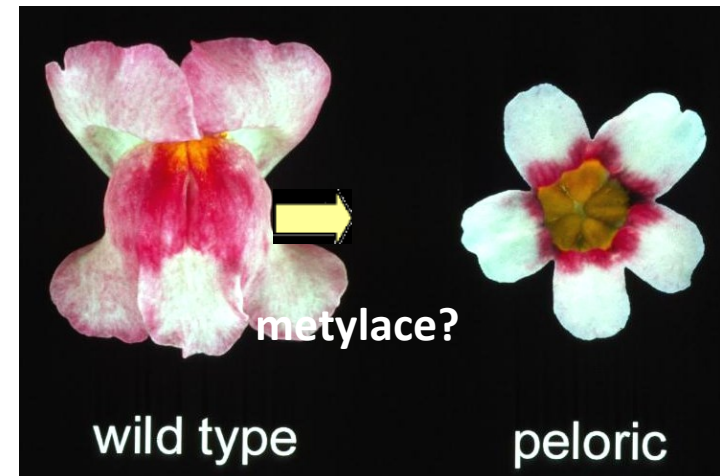
Enrico Coen  
(1999)

**Linnaeus** ... pelorie u Inice, historicky první doložená mutace? (1744)

**Lamarck** ... dědičnost získaných znaků (*Philosophie Zoologique* 1801)

**Darwin** ... křížení normálních a pelorických forem v F2 127:37 (*Variation of Animals and Plants under Domestication* 1868)

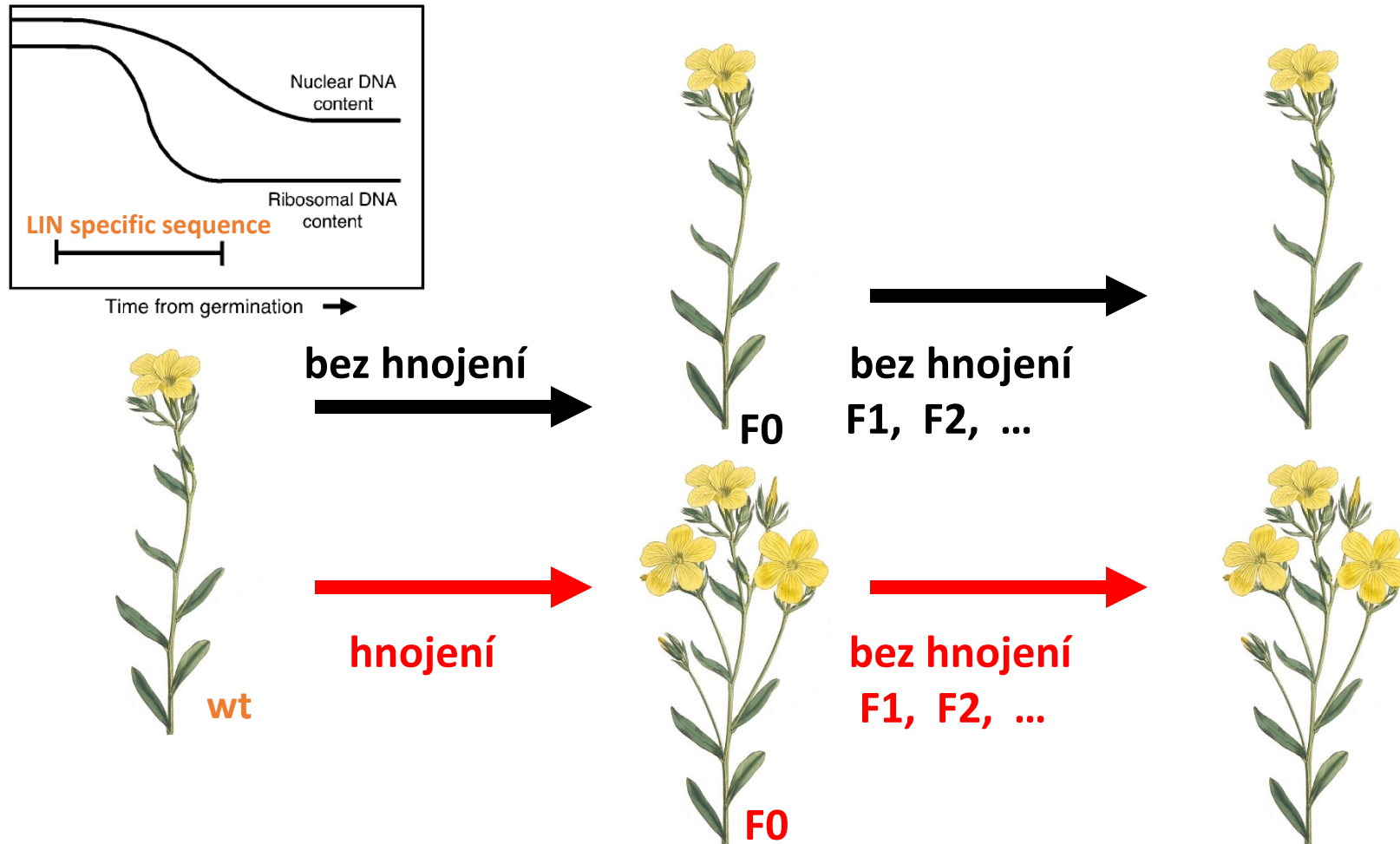
**Coen** ... hypermetylace homologu genu *cycloidea*





# Meiotický přenos epigenetického stavu (fenotypu) aneb environmentální indukce dědičných změn

- genotropy u *Inu* (vliv podnebí a hnojení na větvení)



„Ice Plant“

# *Mesembryanthemum crystallinum*

( kosmatec krystalový, 2děložné, ř. Caryophyllales )

- studium abiotického stresu, odolnosti vůči soli, fotosyntézy
- v různých fázích života a za odlišných vnějších okolností mění morfortyp i fyziologii
- model flexibility
- C = 0,39 pg DNA,  
n = 9 chrs





semenáček, fotosyntéza C3,  
sukulentní kotyledony,  
nízká tolerance k NaCl,  
jádra 2C



juvenilní, fotosyntéza C3,  
vyšší tolerance k NaCl,  
velké primární listy,  
jádra 2C-16C



dospělá, přechod fotosyntézy z C3 na CAM, vysoká  
tolerance k NaCl, měchýřkové buňky,  
velké primární listy,  
jádra 2C-32C



kvetoucí, fotosyntéza CAM, měchýřkové buňky,  
vysoká tolerance k NaCl, malé sekundární listy, jádra  
2C-64C



semena-plodící, fotosyntéza CAM, jen měchýřkové  
buňky, vysoká tolerance k NaCl, žádné listy, jádra  
2C-256C



epidermální měchýřkové buňky  
(epidermal bladder cells)  
jádra 256C



dospělá rostlina  
po 2týdenním solném stresu,  
dosud velké primární listy



dospělá rostlina  
po 5týdenním solném stresu,  
tvoří úzké sekundární listy



John Cushman  
Nevada

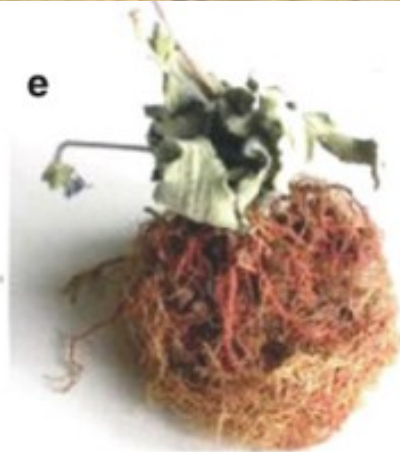


# *Craterostigma plantagineum*

(*Scrophulariaceae*,  
dvojděložné)



Unstressed, fully hydrated



Desiccated



Rehydrated

- studium tolerance  
k desikaci  
(znovuvzkřížení)