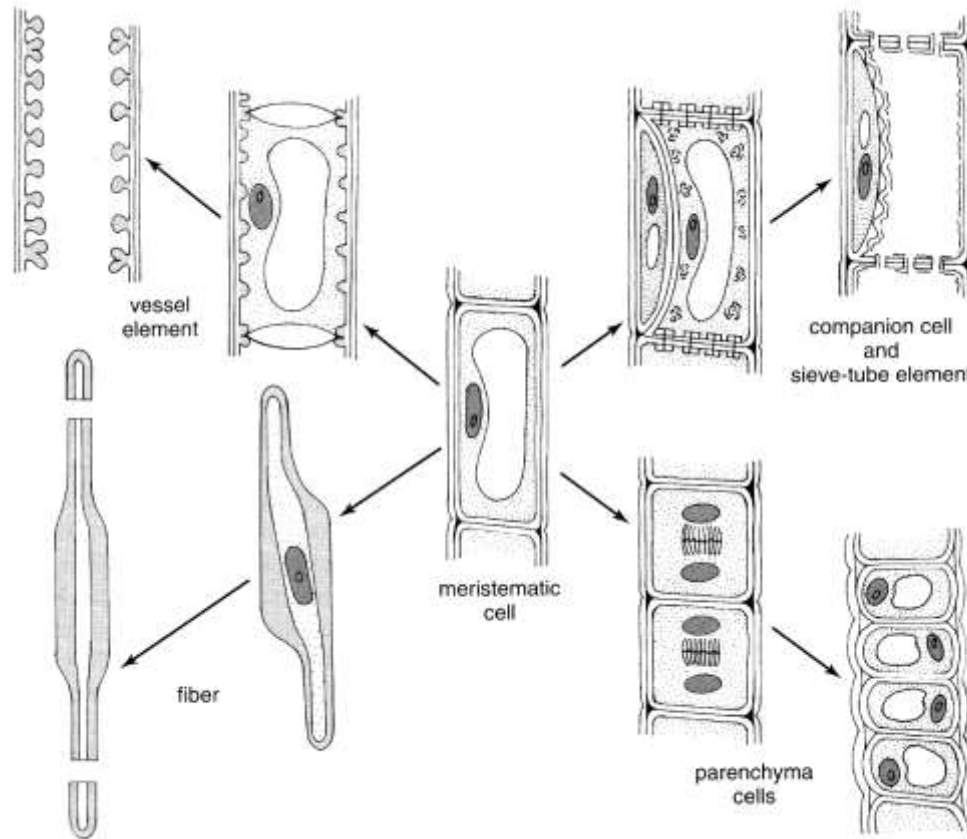
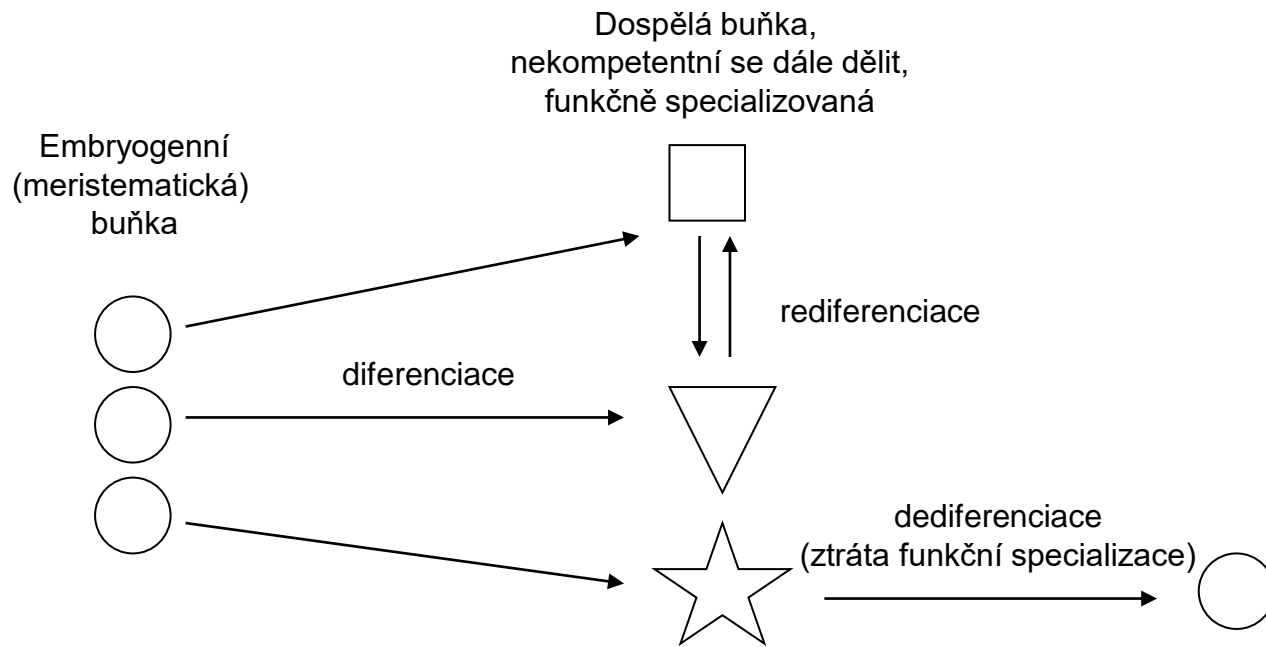


Morfogeneze rostlinné buňky

Morfogeneze = vývoj tvaru, změna tvarových vlastností





Diferenciace:

- růst buňky
- tvarová specializace
- funkční specializace
- často zvýšení ploidie (endoreduplikace)

Vratnost diferenciace:

- Dediferenciace (např. regenerace po poranění)
- Rediferenciace (např. přeměna mezofyl. buněk na vodivé elementy)
- Totipotence

Vývojová plasticita rostlin:

- Meristémy (trvale dělivá pletiva)
- Rediferenciace a regenerace buněk



Regenerace:

Vyžaduje: dediferenciaci, vstup do buněčného cyklu a další diferenciaci

Dvě dráhy regenerace z rostlinné buňky:

Organogeneze:

Formace vrstného vrcholu a
posléze kořene



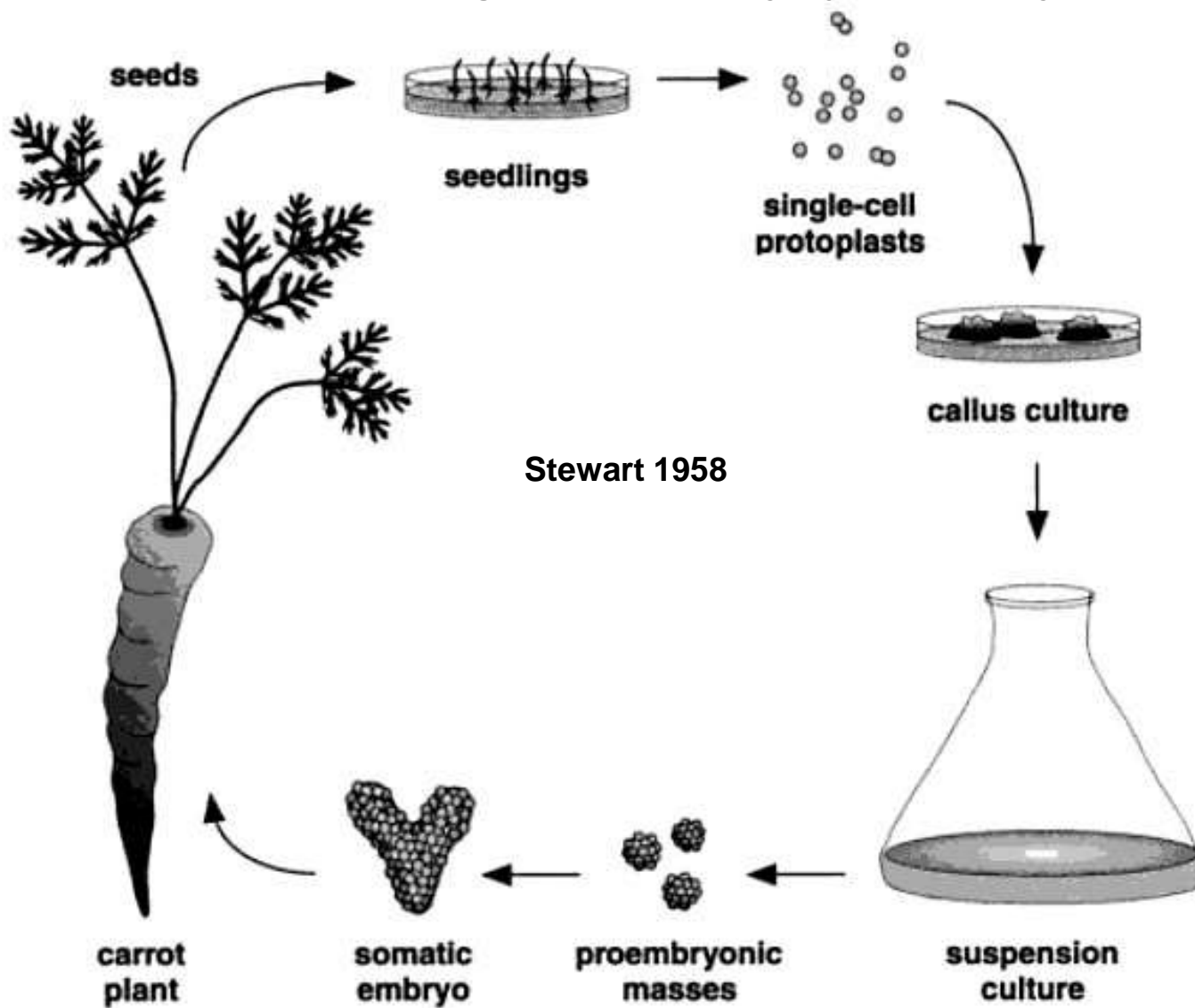
Embryogeneze:

Formace struktury embrya
(rekapitulace
embryogeneze)

Somatická embryogeneze



Důkaz totipotence – regenerace rostliny z jediné buňky



Vývoj tvaru orgánů rostliny a celého rostlinného těla:

- Neexistence morfogenetických pohybů → závislost na způsobu dělení a růstu buněk
- Dělení a růst ovlivněn:
 - pozicí buňky v pletivu
 - vnějšími signály
- Role programované buněčné smrti

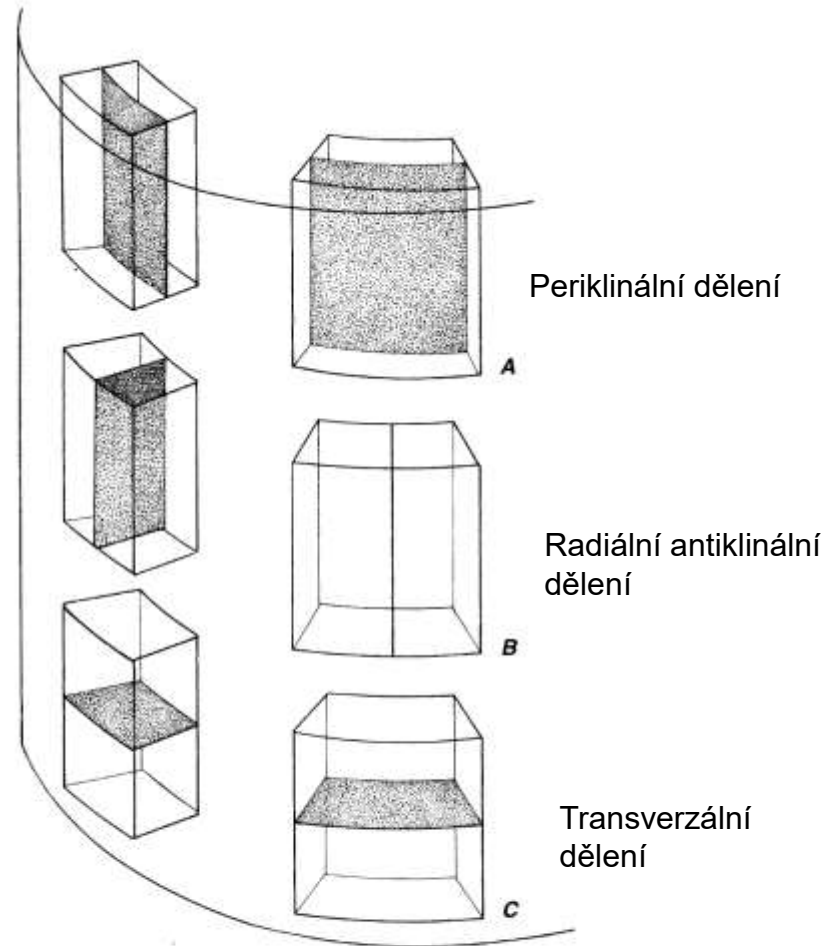
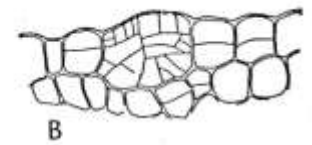
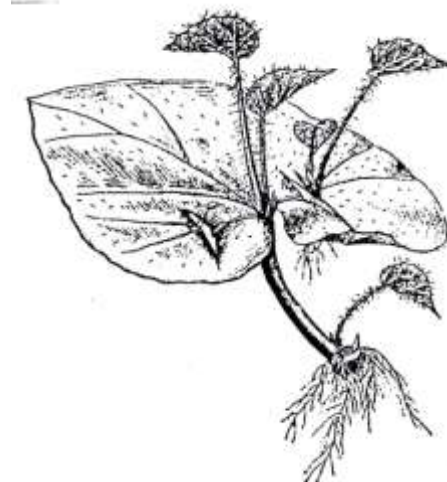
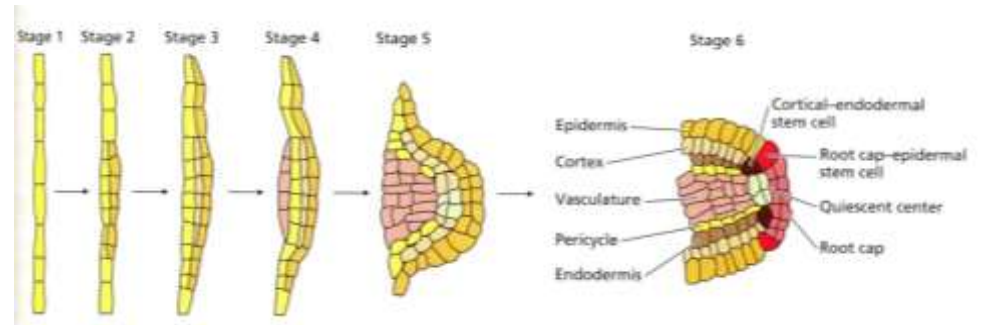
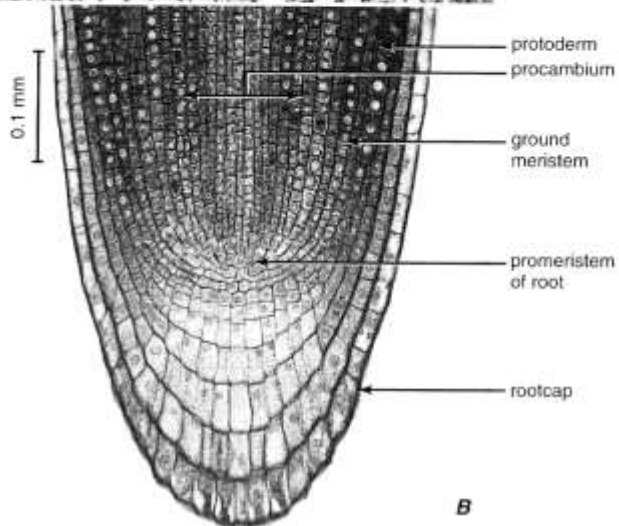
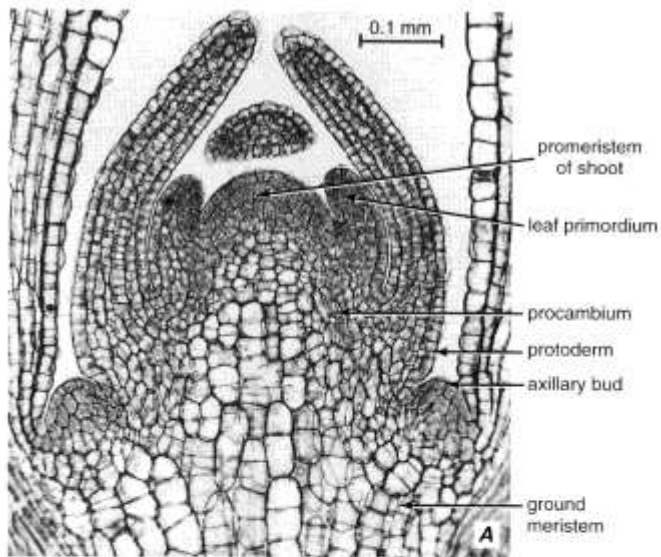


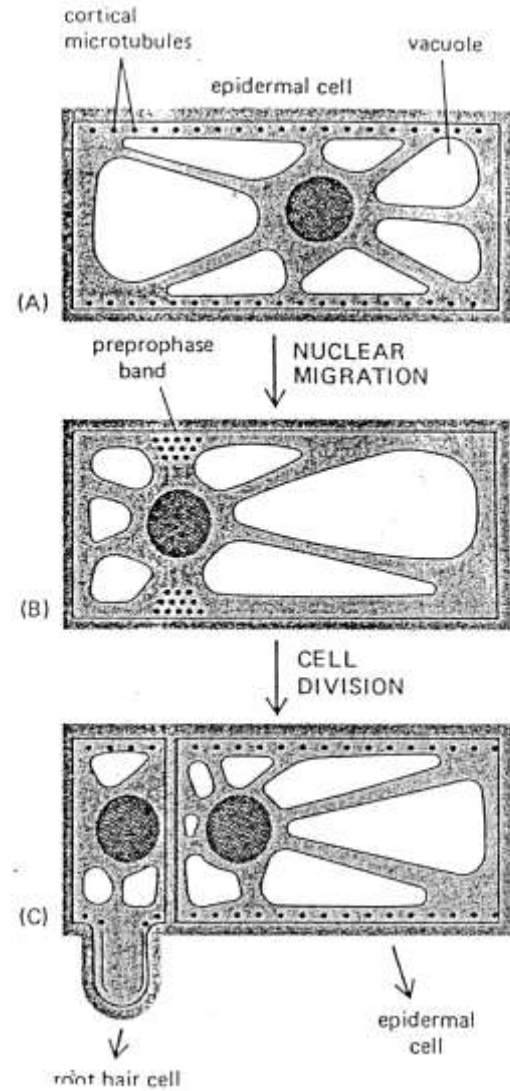
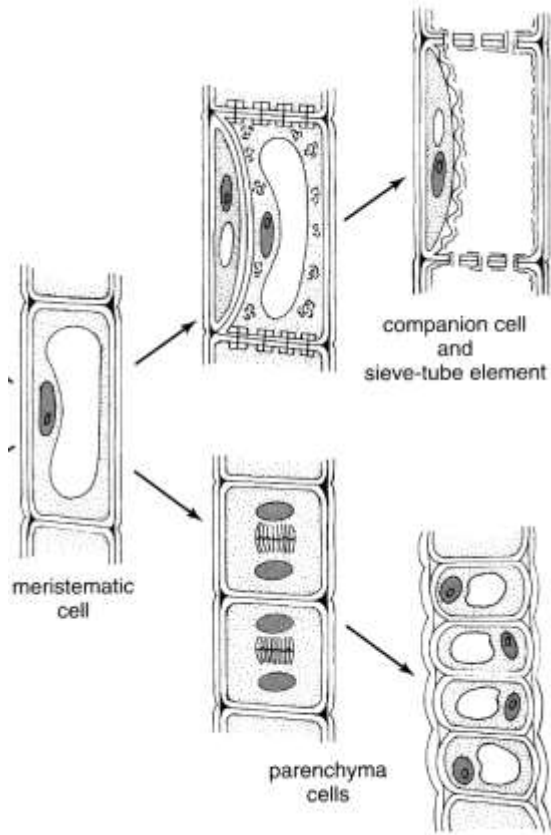
FIGURE 5.4

Diagrams illustrating planes of division in a cylindrical plant structure. **A**, periclinal (parallel with the surface). **B**, radial anticlinal (parallel with the radius). **C**, transverse (anticlinal division at right angles to the long axis).

Tvar orgánů a rostliny je určován směrovaným dělením a růstem buněk

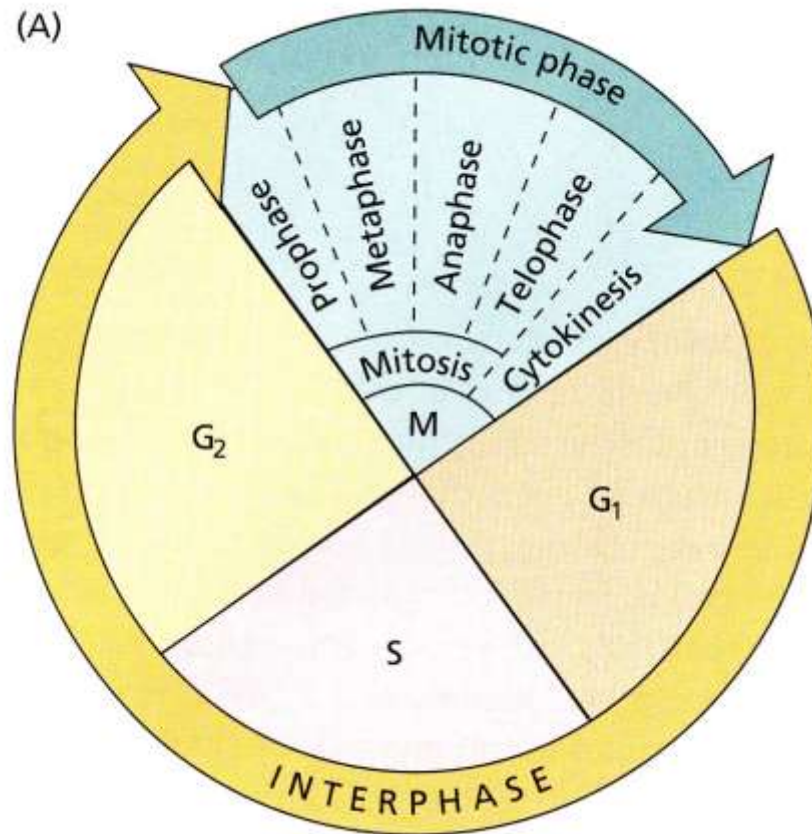


Ekvální a inekvální dělení



Buněčný cyklus

-sekvence událostí, během kterých buňka dělí sebe sama a svou genetickou informaci



Regulace buněčného cyklu

Cyklin-dependentní kinázy (CDK) aktivované sekvenčně v průběhu BC.

(*CDKA a CDKB: hlavní rostlinné CDK. CDKA: reguluje přechod do S fáze, CDKB: reguluje přechod do M fáze*)

Cykliny: - vazbou CDK jí aktivují (umožní fosforylaci CDK)

- změny koncentrace během BC; několik skupin specifických pro fázi BC.

- (*G1 cykliny: **D cykliny - CYCD**; M cykliny: **A a B cykliny – CYCA a CYCB***).

(*Velká rodina cca 50 rostlinných cyklinů*)

Další regulátory: - CDK-activation kinase (CAK) – aktivuje CDK fosforylací

- CDK inhibitory proteins (CKI)

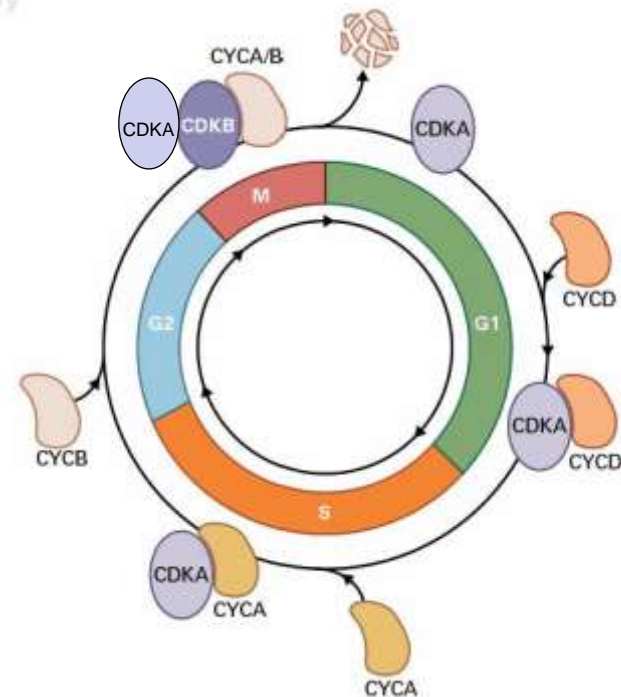
Jednosměrný průchod buněčným cyklem zajišťuje **degradace cyklinů** a dalších regulačních molekul

CDK	Cyclin
CDKA;1	CYCA1;1, 1;2
CDKB1;1, 1;2	CYCA2;1, 2;2, 2;3, 2;4 CYCA3;1, 3;2, 3;3, 3;4
CDKB2;1, 2;2	CYCB1;1, 1;2, 1;3, 1;4 CYCB2;1, 2;2, 2;3, 2;4 CYCB3;1
	CYCD1;1 CYCD2;1 CYCD3;1, 3;2, 3;3 CYCD4;1, 4;2 CYCD5;1 CYCD6;1 CYCD7;1

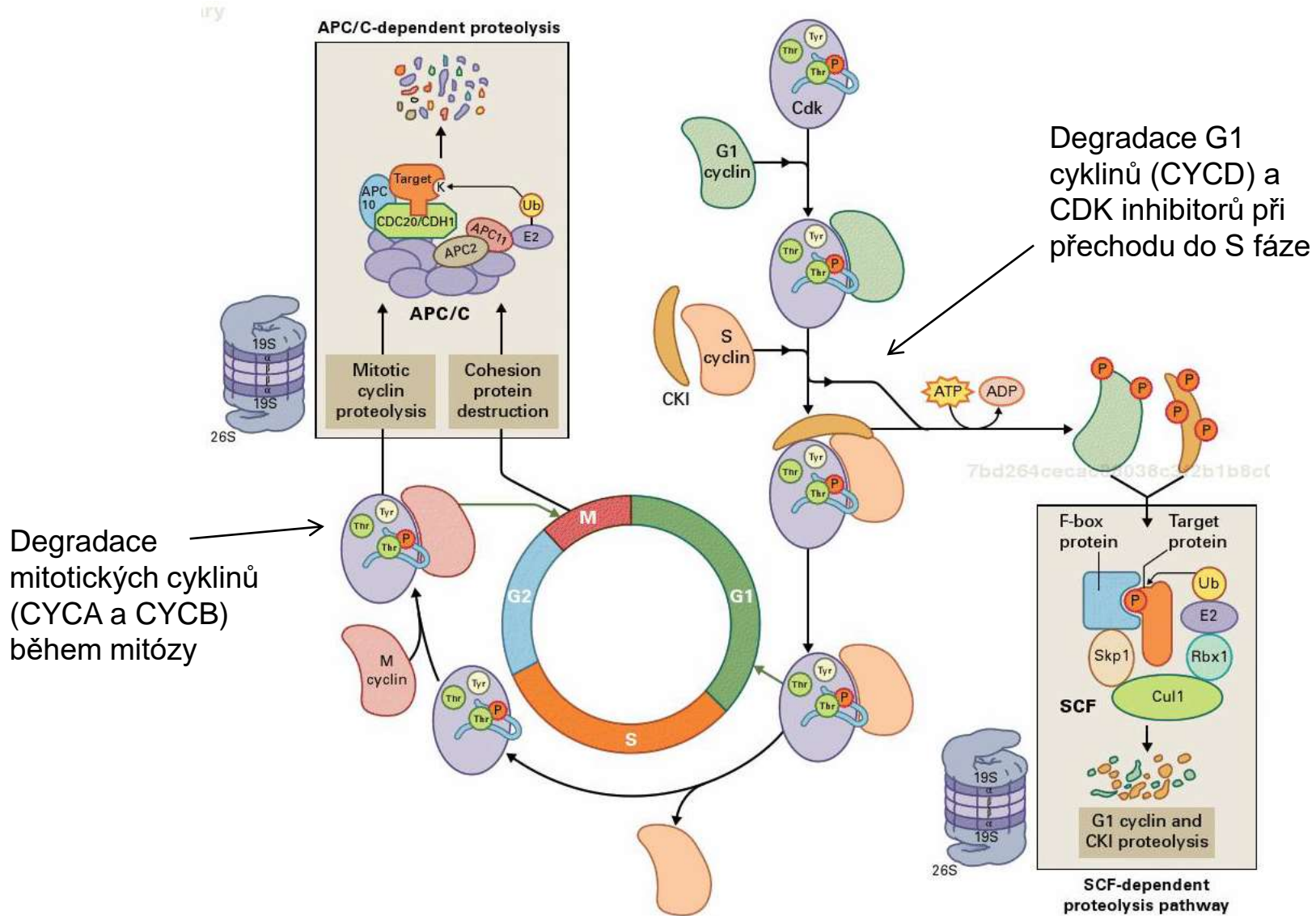
Regulace průběhu BC rostlin:

1. START (M/G1): nízká koncentrace cyklinu D, CDKA neaktivní
2. G1 fáze: růst a signalizace: syntéza **cyklinu D**, **aktivace CDKA** vazbou cyklinu D a aktivační fosforylací pomocí CAK →
3. Přechod do S fáze, degradace D cyklinu a **syntéza A cyklinu**, vazba na CDK → replikace DNA
4. G2 fáze: syntéza **cyklinu B** a aktivace **CDKB** B cyklinem →
5. Mitóza (M fáze)
6. M/G1 fáze: **degradace cyklinů A a B**, inaktivace CDK

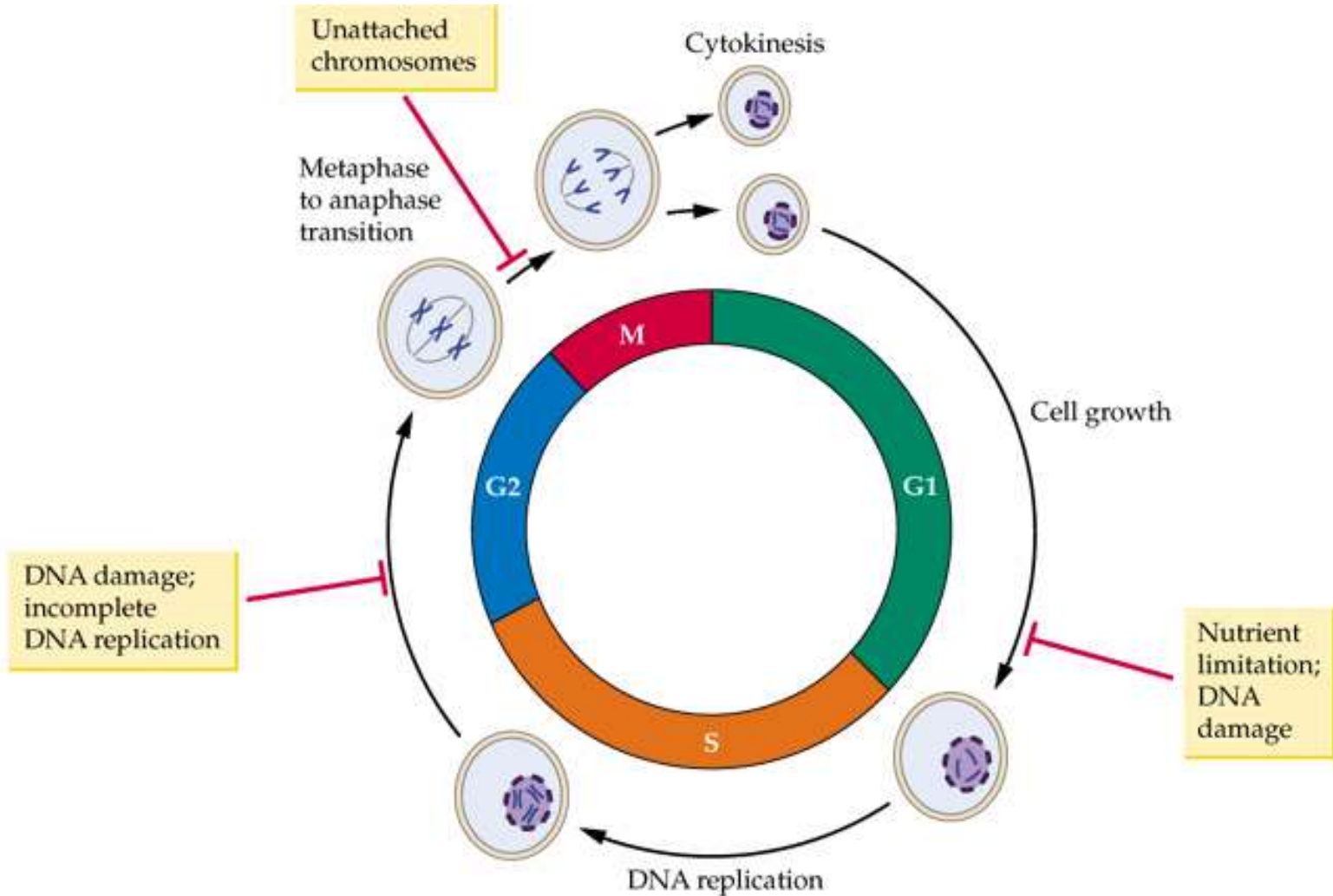
CDK	Cyclin
CDKA;1	CYCA1;1, 1;2 CYCA2;1, 2;2, 2;3, 2;4 CYCA3;1, 3;2, 3;3, 3;4
CDKB1;1, 1;2	CYCB1;1, 1;2, 1;3, 1;4 CYCB2;1, 2;2, 2;3, 2;4 CYCB3;1
CDKB2;1, 2;2	CYCD1;1 CYCD2;1 CYCD3;1, 3;2, 3;3 CYCD4;1, 4;2 CYCD5;1 CYCD6;1 CYCD7;1



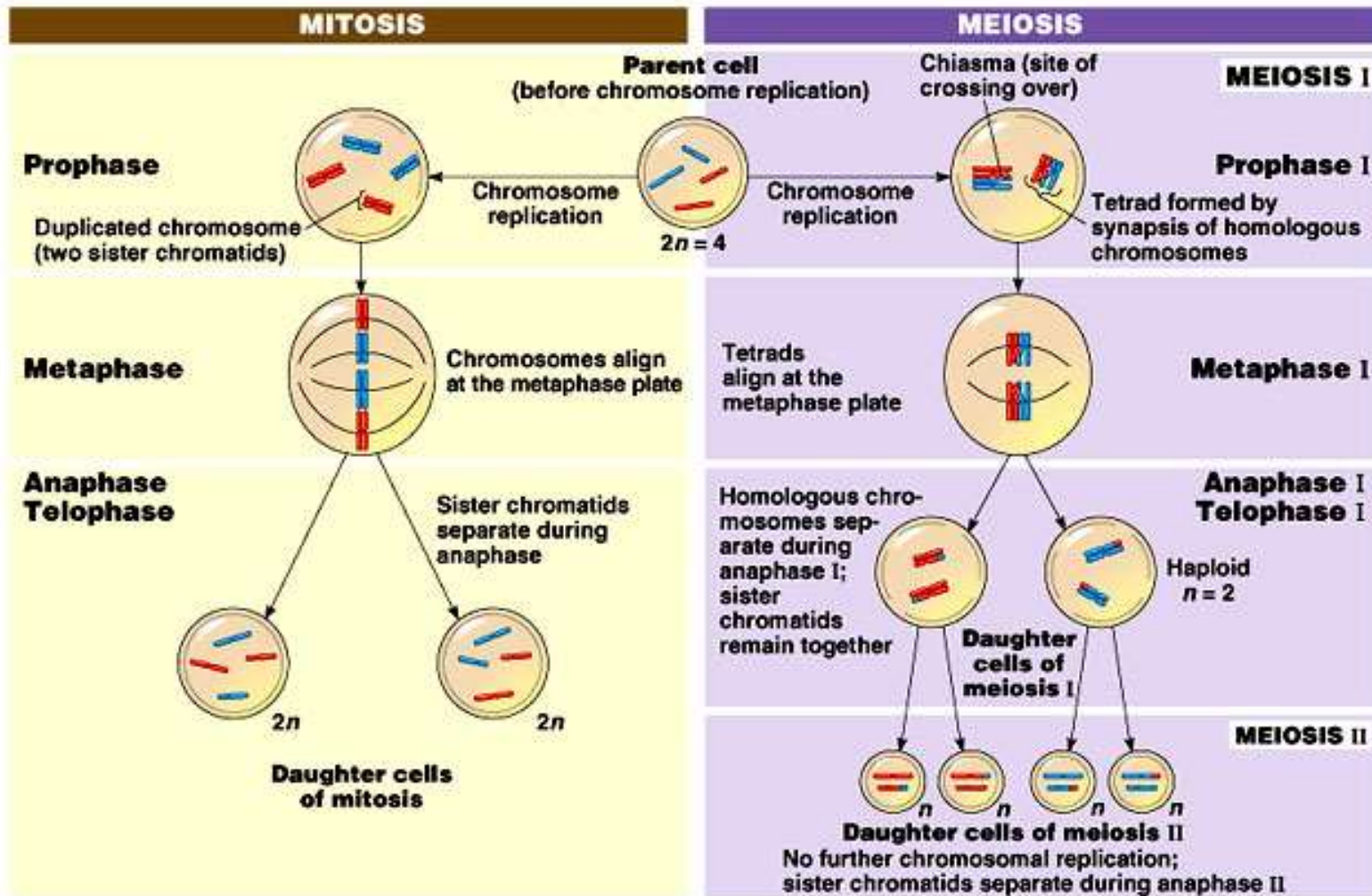
Degradace proteinů zajišťuje jednosměrný průběh buněčného cyklu



Buněčný cyklus - kontrolní body



Mitóza a meióza



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

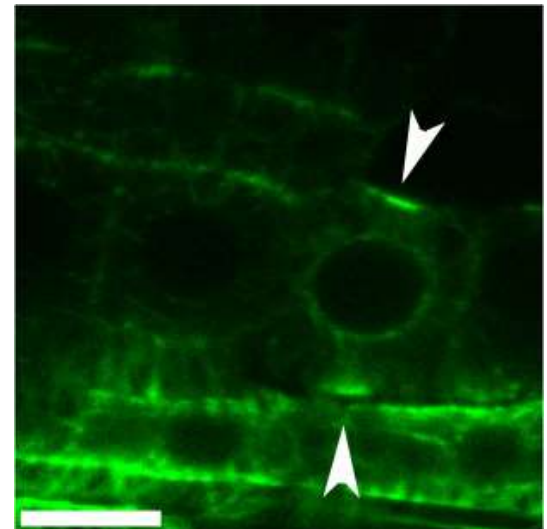
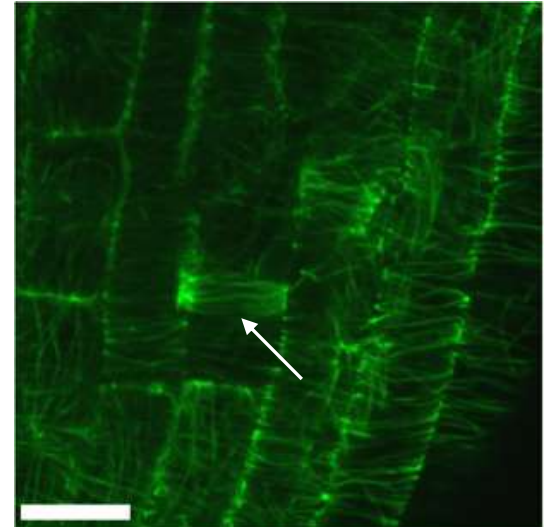
Předprofázový prsteneček

Tvořen během G2 fáze v kortikální vrstvě u cévnatých rostlin

10-100 **mikrotubulů** v kortikální oblasti, tvořen transformací cMT

Mizí v okamžiku přechodu do mitózy

Určení pozice budoucí přepážky během buněčného dělení



Předprofázový prstenec

Vývoj PPB souvisí s nutností **kontrolovat vývoj** složitých 3D pletiv.

Chybí u většiny **bezcévnatých** rostlin
(protonema x gametofyt některých mechů)

U cévnatých se vyskytuje všude tam, kde na dělení jádra bude **navazovat dělení buňky**.
(x endosperm; sporogeneze a samčí i samičí meióza)

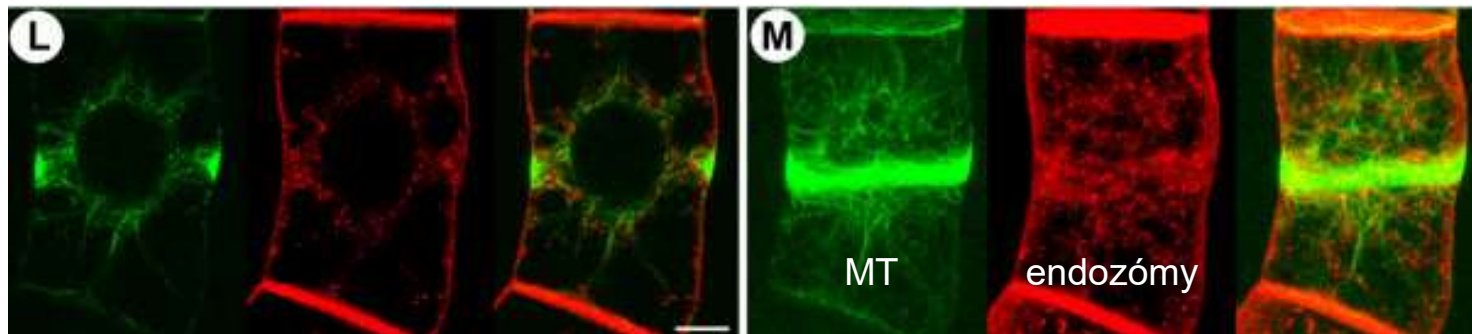
Evolučně odvozená struktura využívající **konzervované dráhy**

Předprofázový prstenec -funkce

MT PPB umisťují do kortikální oblasti (PM) soubor molekul, které definují oblast nazývanou **cortical division zone (CDZ).**

Identita CDZ je udržována v průběhu celé mitózy a je **rozeznána fragmoplastem během cytokineze jako místo, kde nová buněčná přepážka fúzuje s mateřskou BS.**

→ **precizní kontrola pozice buněčné přepážky dělicí se rostlinné buňky**



Předprofázový prstenec – TANGLED1

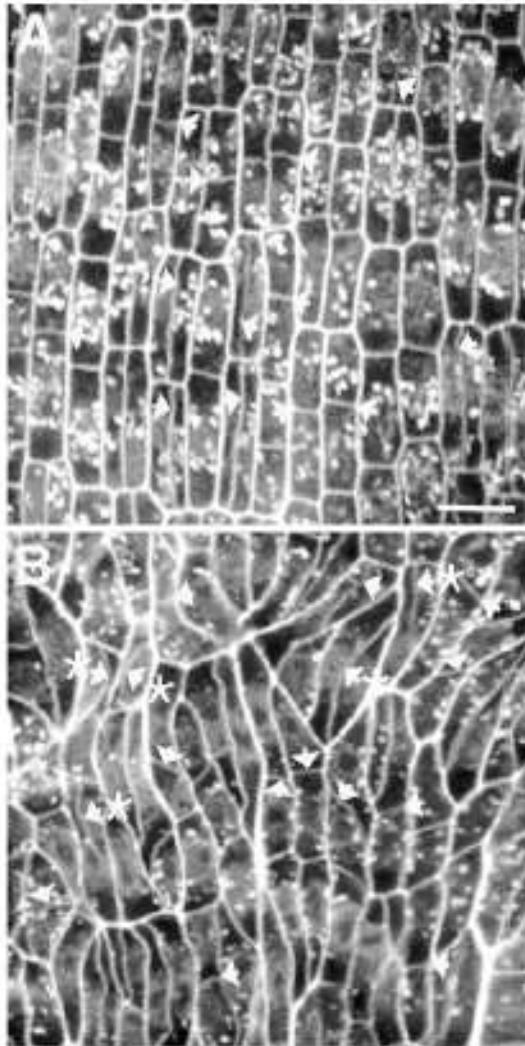
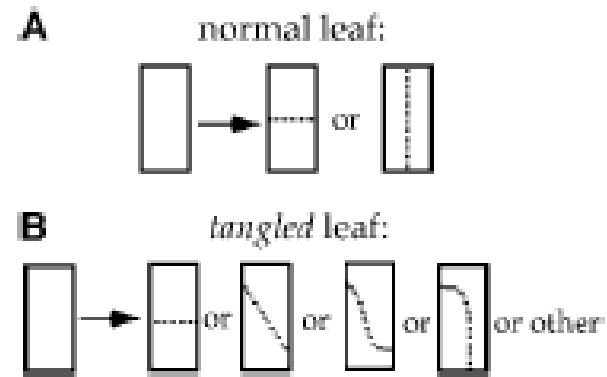


Figure 2. Orientations of Recently Formed Epidermal Cell Walls in Maize Leaf Primordia.

Mutace *tangled1* identifikována poprvé u kukuřice:
PPB tvořené pravidelně, buněčné přepážky během buněčného dělení umisťovány **nepravidelně**.



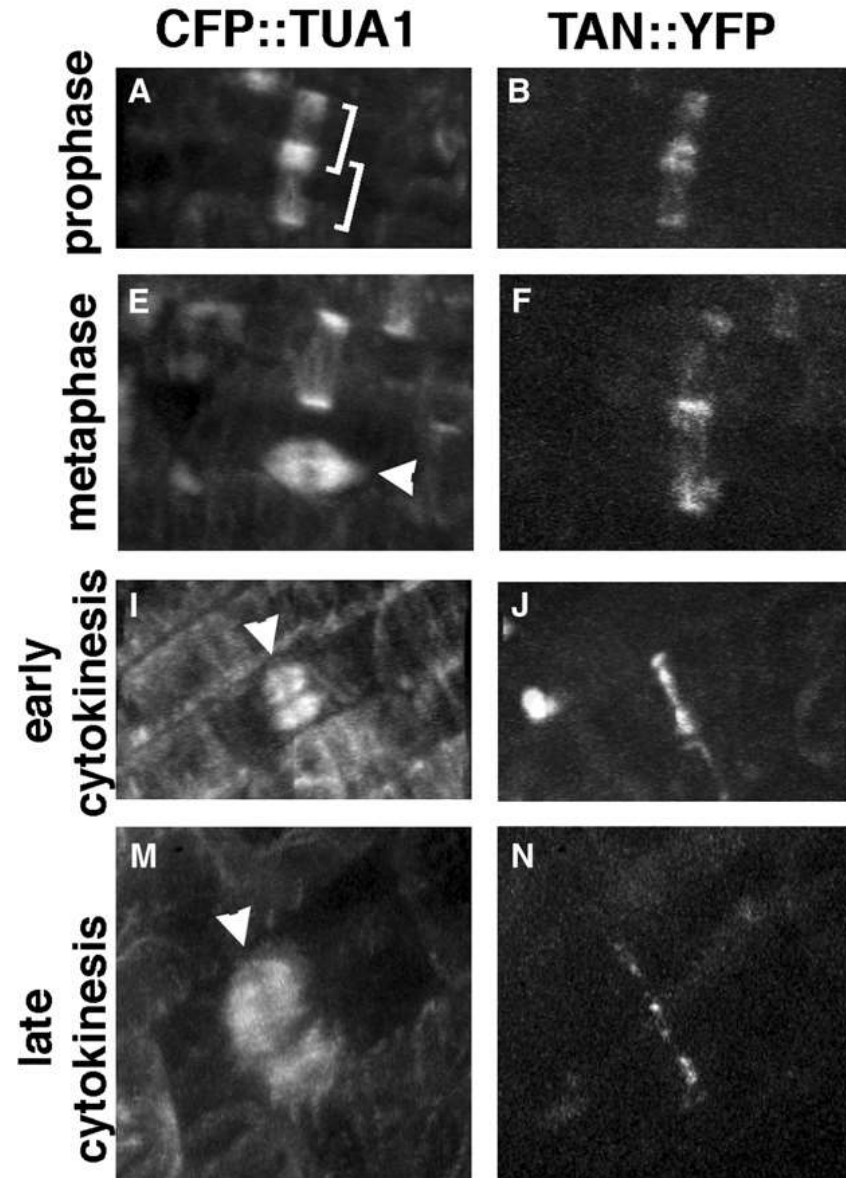
The Plant Cell, Vol. 10, 1875–1888, November 1998

Předprofázový prstenec – TANGLED1

Protein TANGLED1 identifikován i u dalších rostlin

Malý bazický protein, vázající MT

Je lokalizován v místě PPB, ale **zůstává** v této pozici i po depolymeraci PPB během celé mitózy a buněčného dělení → paměťová stopa

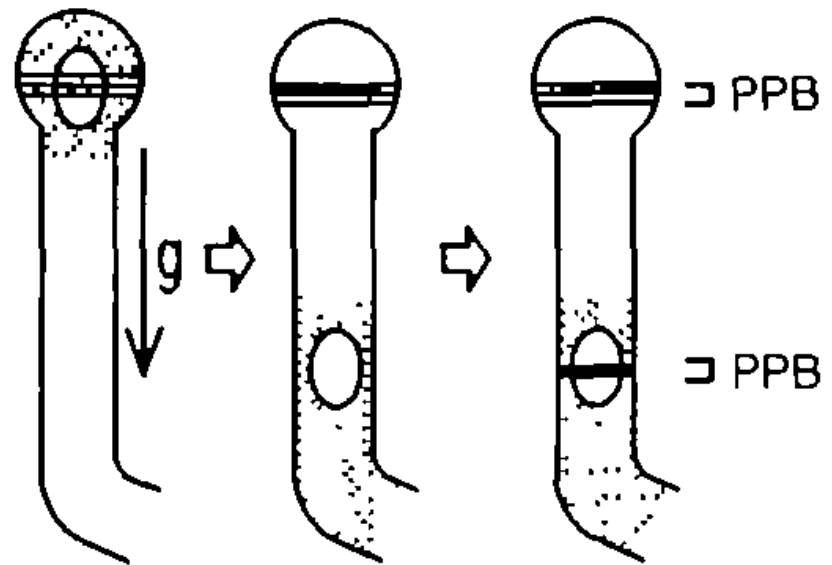


Current Biology 17, 1827–1836, November 6, 2007

Předprofázový prstenec a jádro

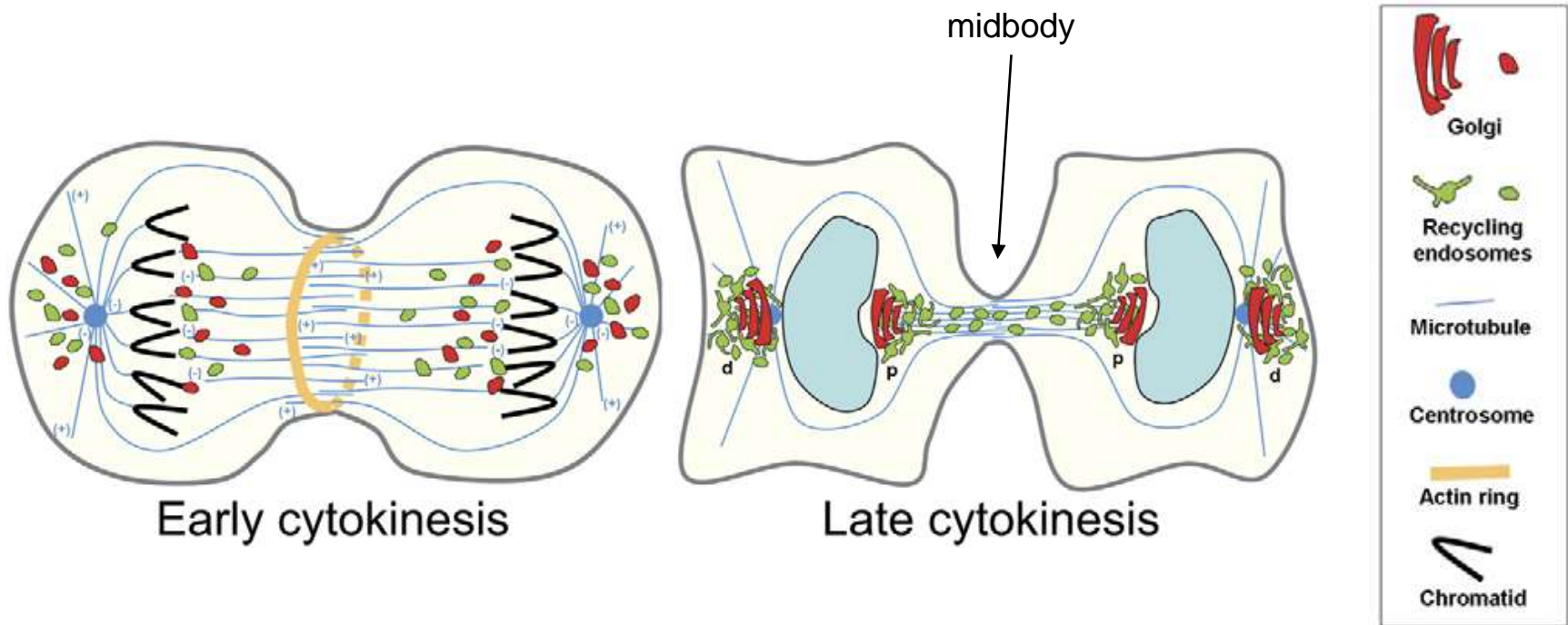
Role PPB a jeho dynamika je funkčně spojena s jádrem:

Přemístění jádra centrifugací mimo oblast vytvořeného PPB má za následek vytvoření dalšího PPB v nové pozici jádra, a narušenou dynamiku původního PPB v protonematech kapradiny *Adiantum*



Protonema kapradiny *Adiantum*

Buněčné dělení - živočišné buňky a buňky hub



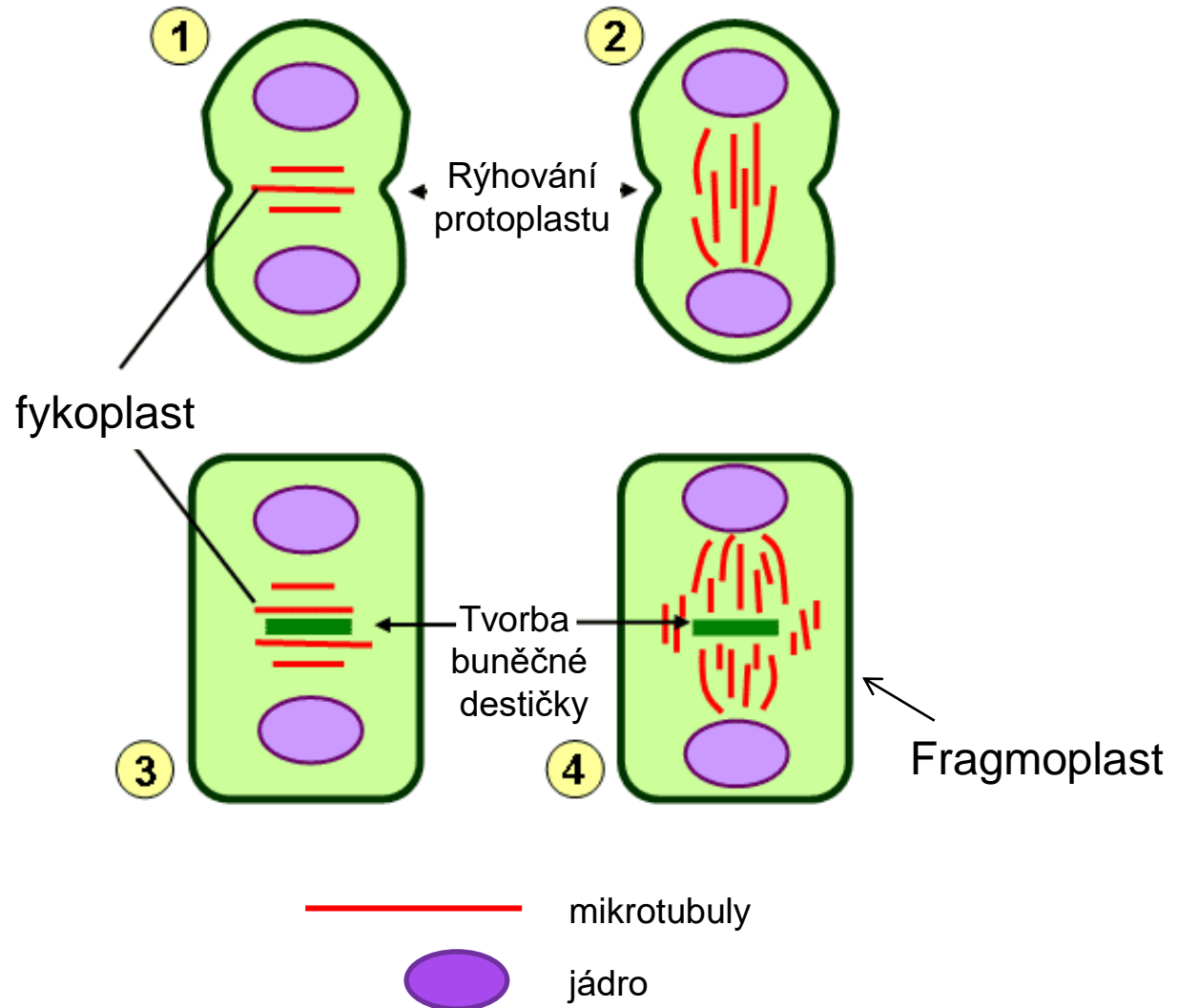
Evoluce struktur dělicího aparátu rostlin

Buněčné dělení zelených řas zahrnuje různé způsoby:

rýhování protoplastu (cleavage furrow),

tvorbu **fykoplastu**,

tvorbu **fragmoplastu**.

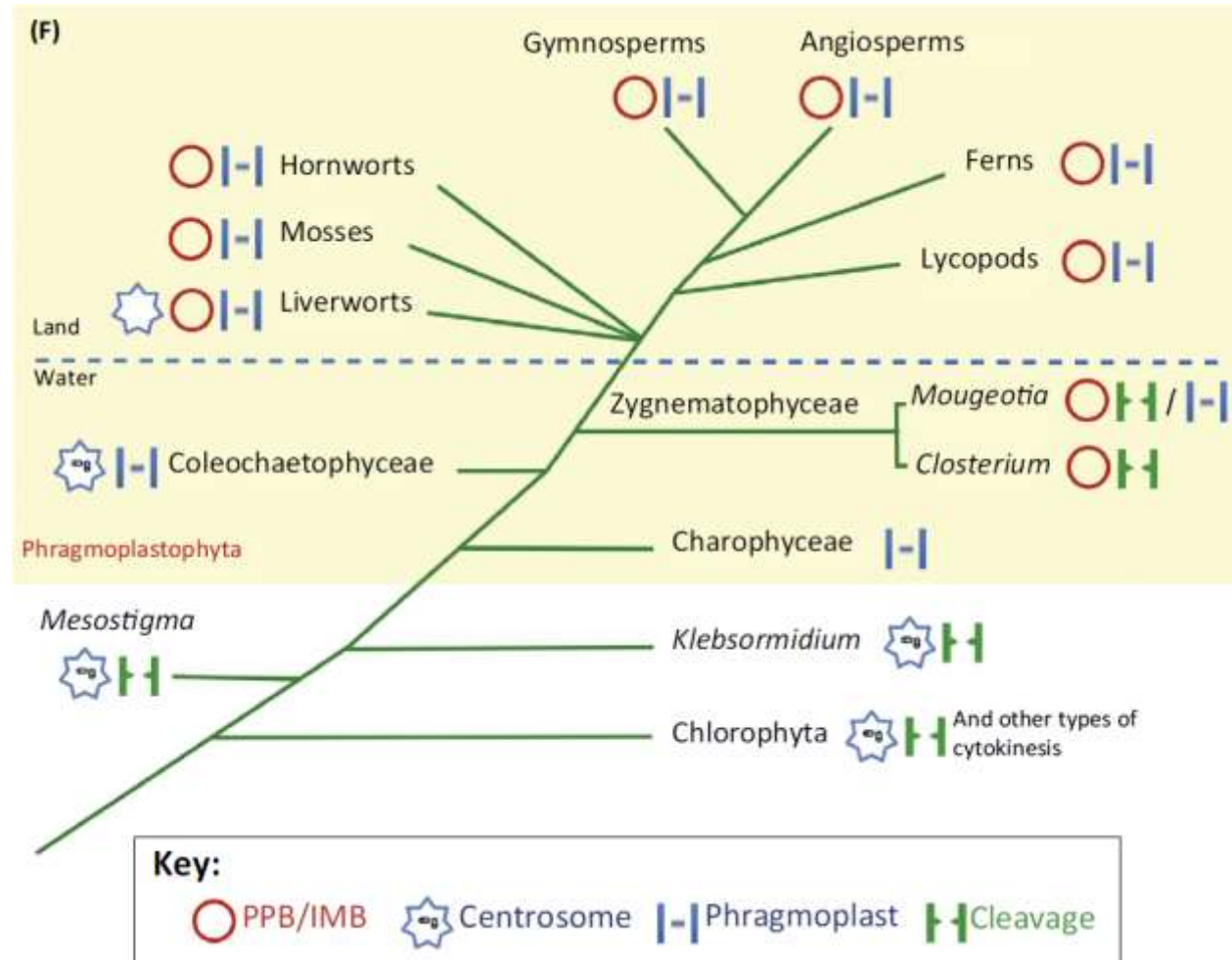


Evolve structure dělicího aparátu rostlin fragmoplast

Fragmoplast vzniká před oddělením charofytních řas.

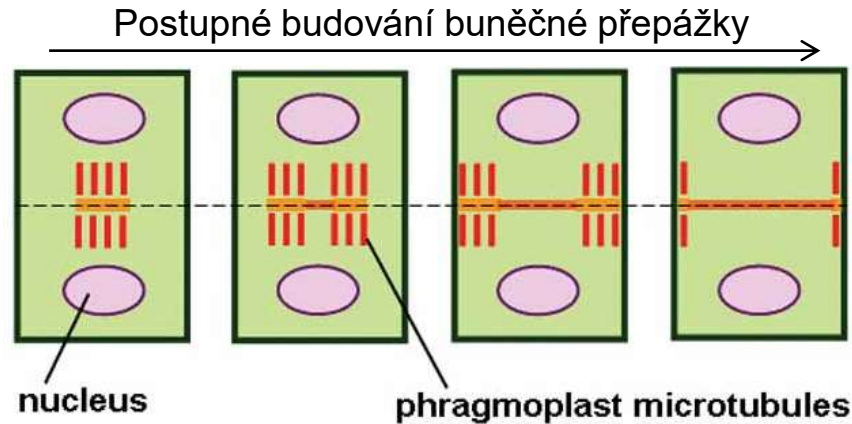
Přechod k fragmoplastu je spojen s postupnou ztrátou centrozómu a bazálních tělísek

Suchozemské rostliny využívají výlučně fragmoplast.

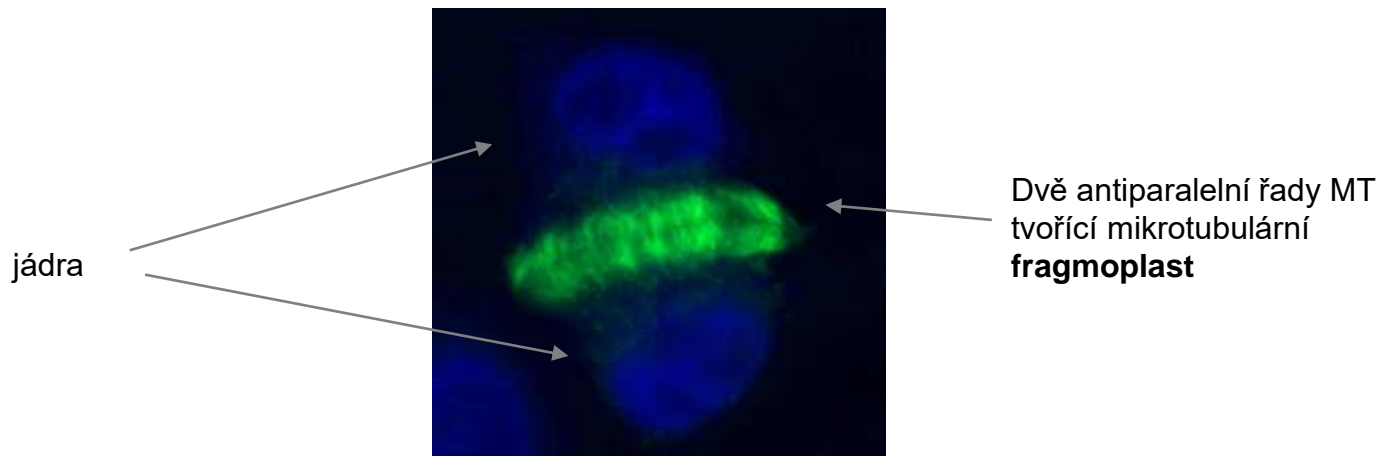


Buněčné dělení - rostlinné buňky

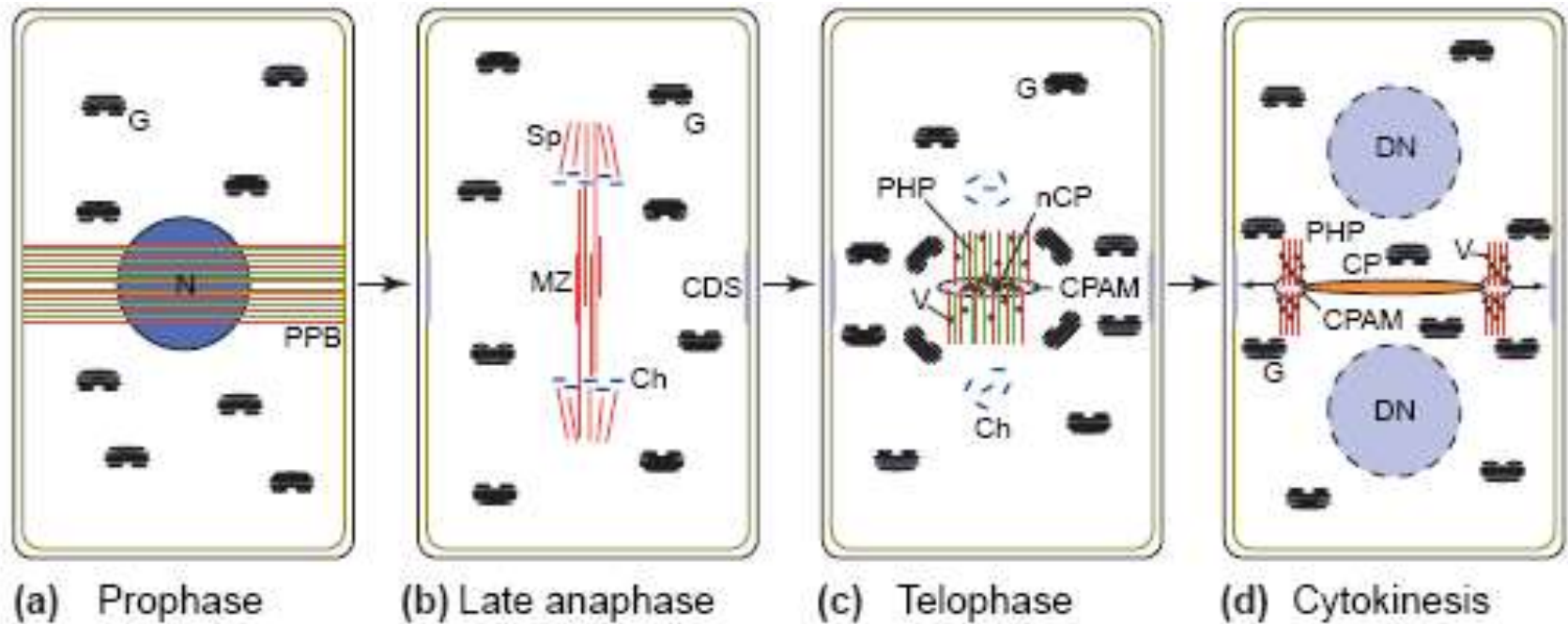
Fragmoplast – specializovaná rostlinná struktura, zajišťující lokalizovanou fúzi váčků v místě vzniku buněčné stěny během buněčného dělení.



http://www.wikipremed.com/image.php?img=040402_68zzzz288700_Phragmoplast_68.jpg&image_id=288700



Buněčné dělení



TRENDS in Cell Biology

Figure 1. Somatic cytokinesis. **(a) Prophase:** The plane of cell division is determined by a transient cortical preprophase band (PPB) of co-aligned bundles of microtubules (red) and actin filaments (green) that forms at the level of the nucleus (N) and marks the future cortical division site (CDS). **(b) Late anaphase:** Remnants of the mitotic spindle nucleate the formation of phragmoplast microtubules in the midzone (MZ) between the two sets of daughter chromosomes (Ch). **(c) Telophase:** The phragmoplast (PHP) consists of two antiparallel bundles each of microtubules (red) and actin filaments (green) whose plus-ends terminate in the cell-plate assembly matrix (CPAM) in which the nascent cell plate (nCP) is formed by homotypic fusion of vesicles (V). Golgi stacks (G) accumulate near the plane of division. **(d) Cytokinesis:** Lateral translocation of the PHP microtubules causes the cell plate (CP) to expand and, eventually, fuse with the plasma membrane at the cortical division site (arrows). DN, forming daughter nuclei. (Illustration adapted, with permission, from Ref. [54].)

TRENDS in Cell Biology Vol.15 No.5 May 2005

Buněčné dělení – funkce fragmoplastu

(F)

Fusion of Golgi-derived vesicles

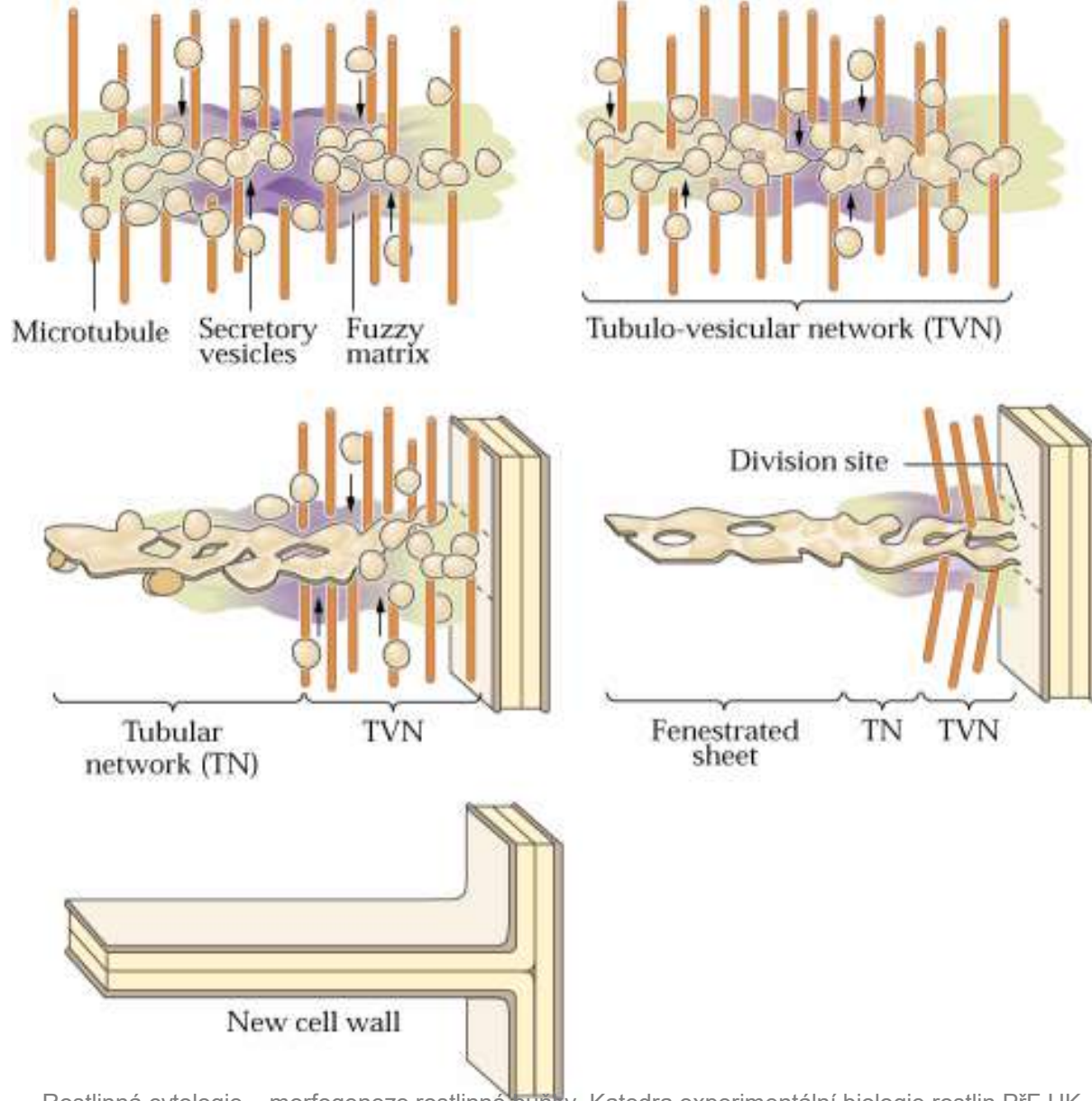
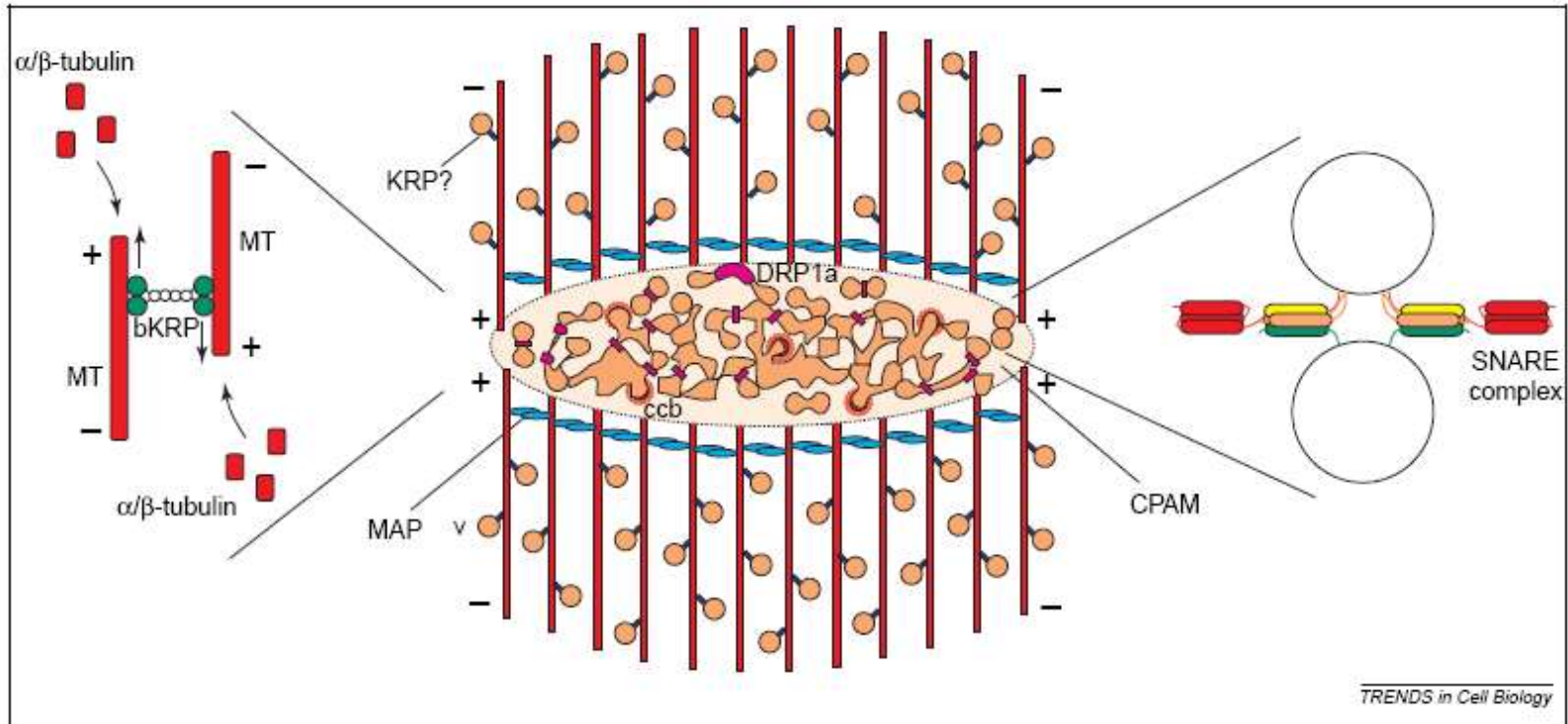


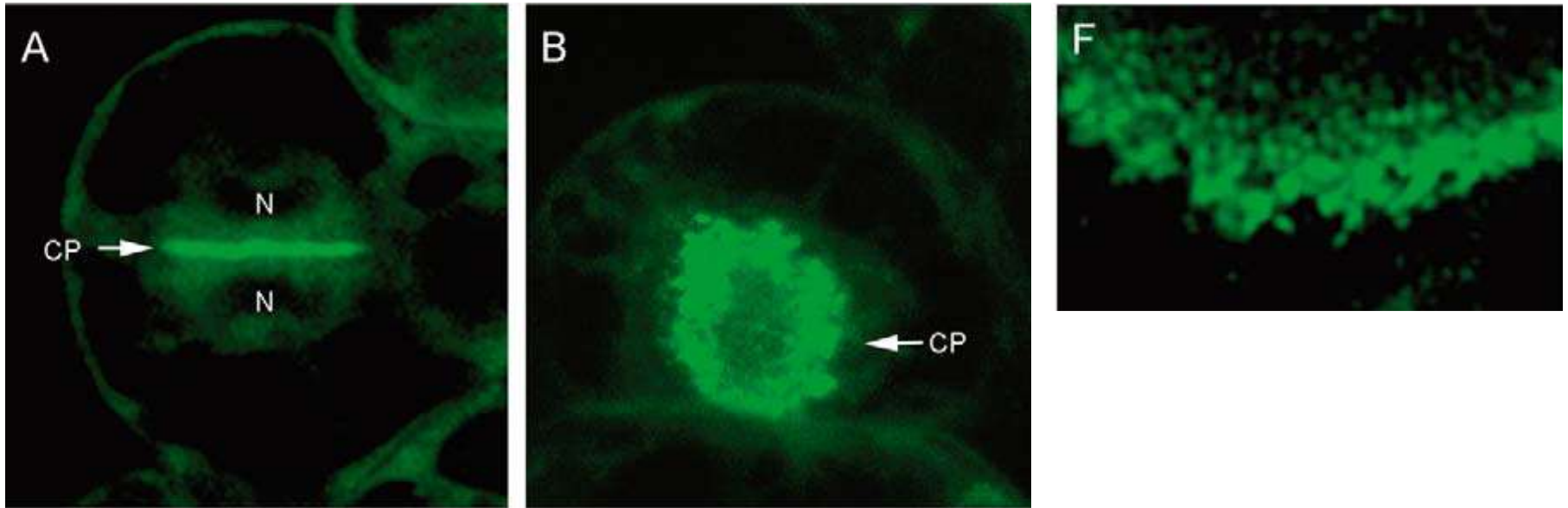
Table 1. Cytokinesis-associated genes in *Arabidopsis*

Gene	Protein class	Localization	Function	Refs
Membrane-associated functions				
<i>KN</i>	Syntaxin (Qa-SNARE)	Division plane, cell plate	Vesicle fusion	[28]
<i>SNAP33</i>	SNAP25 homolog	Cell plate, plasma membrane	Vesicle fusion	[29]
<i>NPSN11</i>	Qb-SNARE	Cell plate	Vesicle fusion	[31]
<i>KEU</i>	SM protein	Not analyzed	Vesicle fusion	[32,33]
<i>DRP1A</i> (At5g42080)	Dynammin-related GTPase	Cell plate	Membrane constriction	[6,24]
<i>DRP2A</i> (At1g10290)	Dynammin-related GTPase	Golgi, cell plate, plasma membrane	Clathrin-coated vesicle budding	[25]
Cytoskeleton-associated functions				
<i>TON2</i> or <i>FS</i>	Regulatory subunit of pp2a	Not analyzed	Formation of preprophase band	[49]
<i>TON1</i>	Unknown	Not analyzed	Formation of preprophase band	[49]
<i>TAN</i> homolog (At3g05330)	Microtubule-associated protein	Spindle, phragmoplast	Phragmoplast orientation?	[50]
At5g55230	MAP65-1	All MT arrays	MT-cross-linking protein	[10,51]
<i>PLE</i> (At5g51600)	MAP65-3	Spindle midzone, phragmoplast	MT cross-linking protein	[12]
At2g38720	MAP65-5	Cell plate (plasmodesmata)	MT cross-linking protein	[51]
At1g27920	MAP65-8	Phragmoplast, nuclear surface	MT cross-linking protein	[51]
At3g47690	AtEB1a	All MT arrays	MT end-binding protein	[51,52]
At5g67270	AtEB1c	Spindle, phragmoplast	MT end-binding protein, regulation of cytokinesis?	[51]
<i>TKRP125</i> homolog (At2g36200)	Plus-end-directed bipolar kinesin	Phragmoplast	Phragmoplast stability	[4]
<i>DcKRP120-2</i> homolog (At3g45850)	Plus-end-directed bipolar kinesin	Phragmoplast	Phragmoplast stability?	[4]
<i>PAKRP1</i> (At14g14150)	Phragmoplast-associated kinesin-related protein	Interzonal microtubules, phragmoplast	Phragmoplast stability	[19]
<i>PAKRP1L</i> (At3g23670)	Phragmoplast-associated kinesin-related protein	Interzonal microtubules, phragmoplast	Phragmoplast stability	[20]
<i>PAKRP2</i> (At14g14330)	Phragmoplast-associated kinesin-related protein	Phragmoplast	Not analyzed	[53]
<i>ZWI</i> or <i>KCBP</i> (At5g65930)	Knesin-like calmodulin-binding protein	Phragmoplast	Phragmoplast stability?	[22]
<i>GEM1</i> or <i>MOR1</i>	MAP215 family protein	All MT arrays	MT-crosslinking protein, pollen cytokinesis	[14]
<i>HIK</i> or <i>NACK1</i>	Knesin-related protein	Phragmoplast	MT destabilization	[36,37]
<i>TES</i> or <i>NACK2</i>	Knesin-related protein	Not analyzed	MT destabilization	[44]
<i>ANP1-3</i> or <i>NPK1</i>	MAP kinase kinase kinase	Phragmoplast	MT destabilization	[38]
<i>ANQ1</i> or <i>NQK1</i>	MAP kinase kinase	Not analyzed	MT destabilization	[39]
<i>ATM1</i> (At3g19960)	Myosin VIII	Mature cell plate	Cell-plate expansion?	[51]
Other functions				
<i>CALS1</i> (At1g05570)	Callose synthase 1	Cell plate	Callose deposition	[24]
At4g32830	Aurora-like serine-threonine kinase	Spindle, cell plate	Regulation of cytokinesis?	[51]

Buněčné dělení



Buněčné dělení FRAGMOPLASTIN = dynamin-related protein



Dynaminy:

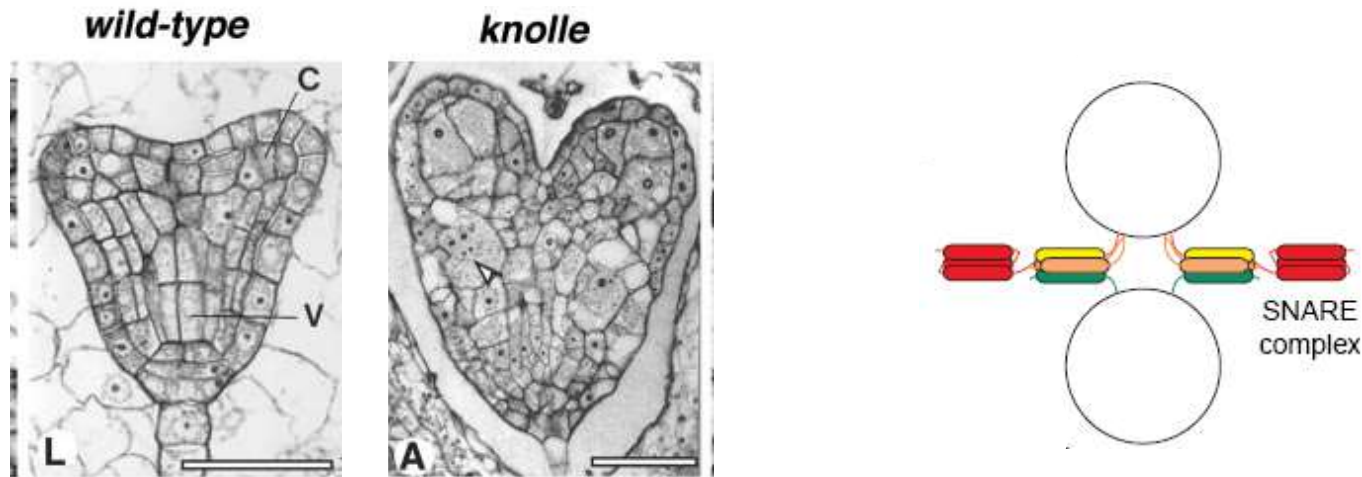
- konzervované proteiny
- GTPázy (štěpí GTP)
- role v odškrcování váčků a dynamice membránového systému
- **fragmoplastin** zajišťuje formování planární buněčné desky regulací přeskupování membrány v místě vzniku buněčné desky

Plant Molecular Biology **53**: 297–312, 2003

Buněčné dělení

mutace *knolle* – porucha cytokineze

KNOLLE = syntaxin



KNOLLE:

- Rostlinně specifický syntaxin (QaSNARE)
- KNOLLE je exprimován během M fáze buněčného cyklu a je lokalizován jen v buněčné desce
- podílí se na fúzi váčků během tvorby buněčné desky

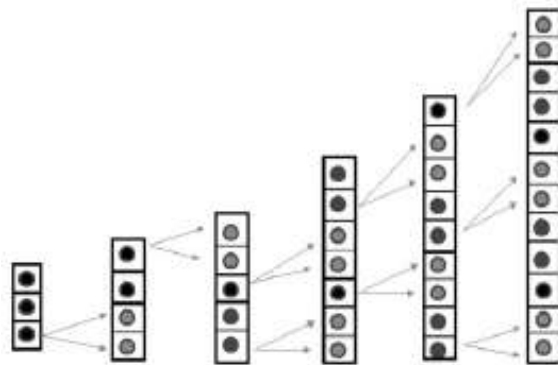
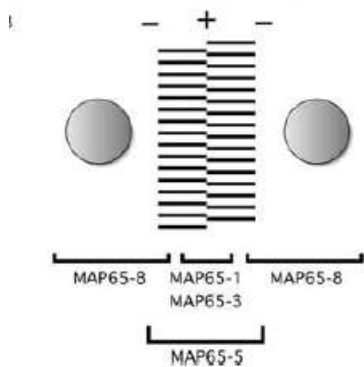
Buněčné dělení mutace *pleiade* – porucha cytokineze PLEIADE=MAP65-3

WT Arabidopsis

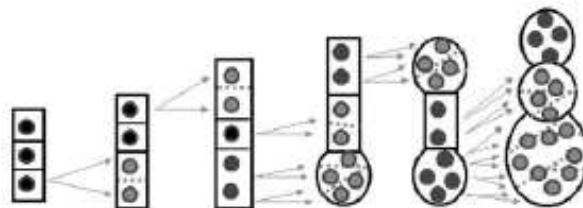


pleiade

Phragmoplast (telophase)



WT



Mutantní rostliny s defekty v cytokinezi

Růst rostlinných buněk - typy růstu

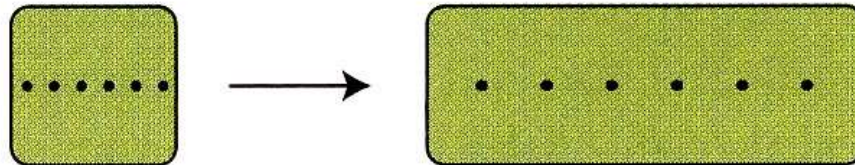
Apikální růst

Marks on
cell surface

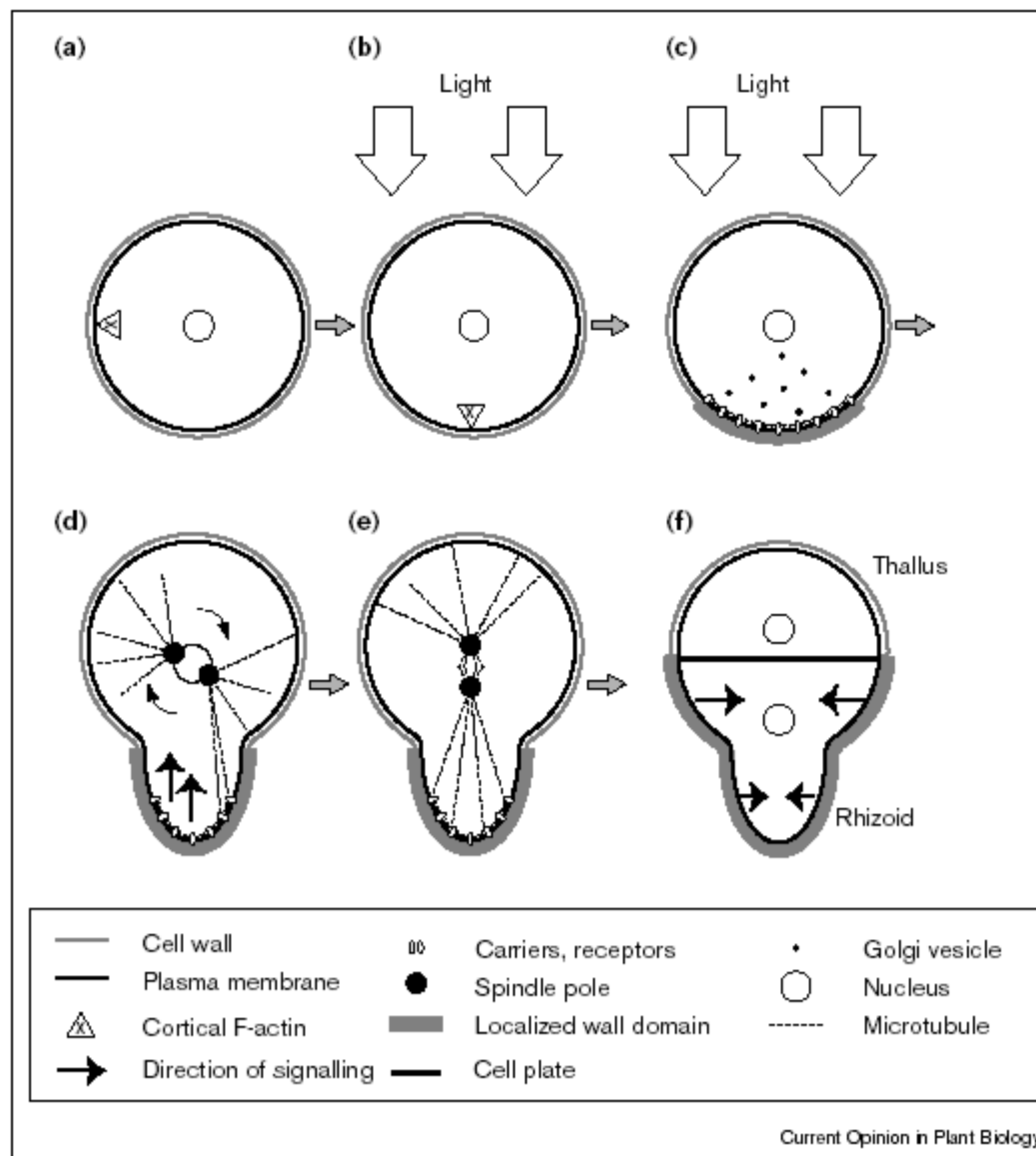
Cell expansion



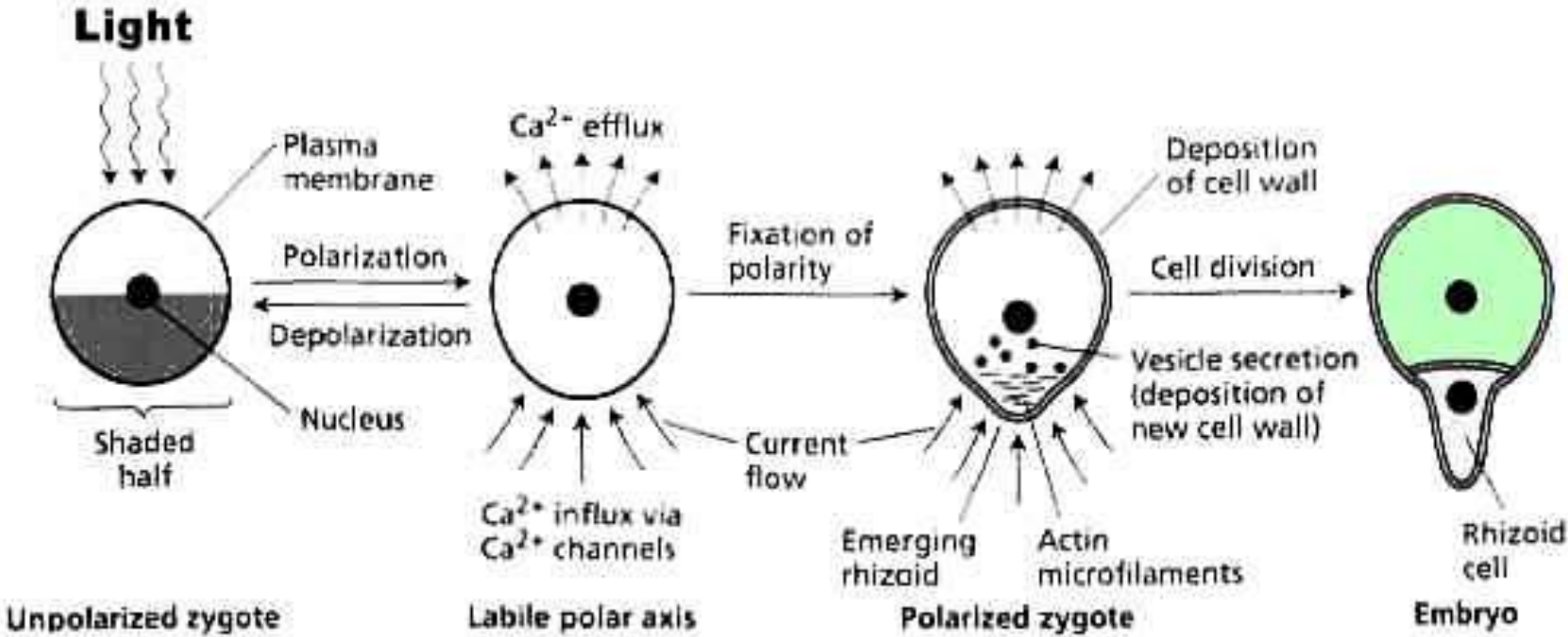
Difúzní růst



Apikální růst



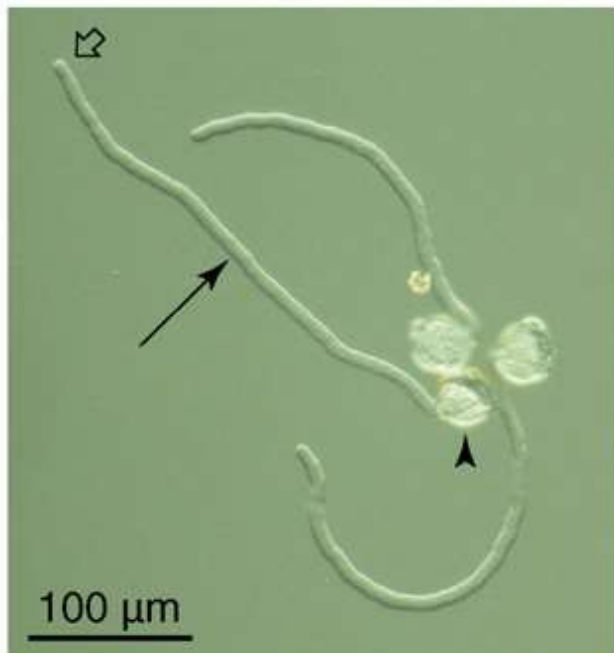
Apikální růst



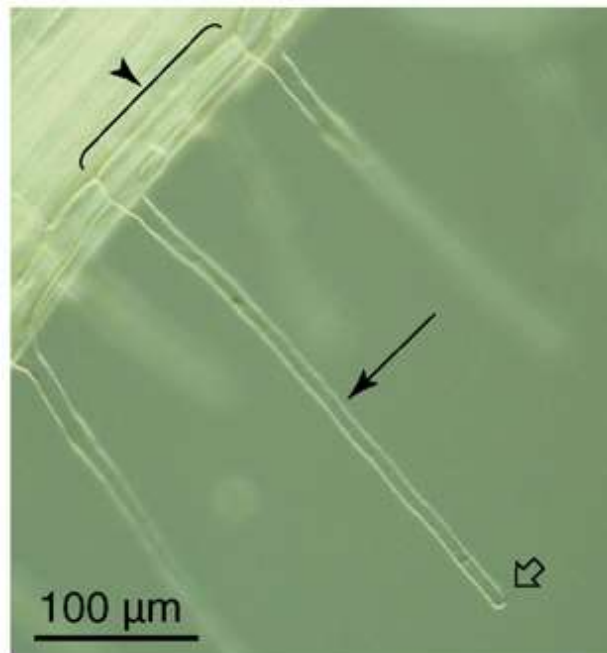
Apikální růst:

Např. pylové láčky, kořenové vlásky, rhizoidy řas.

(a) Tobacco pollen tubes



(b) Arabidopsis root hairs



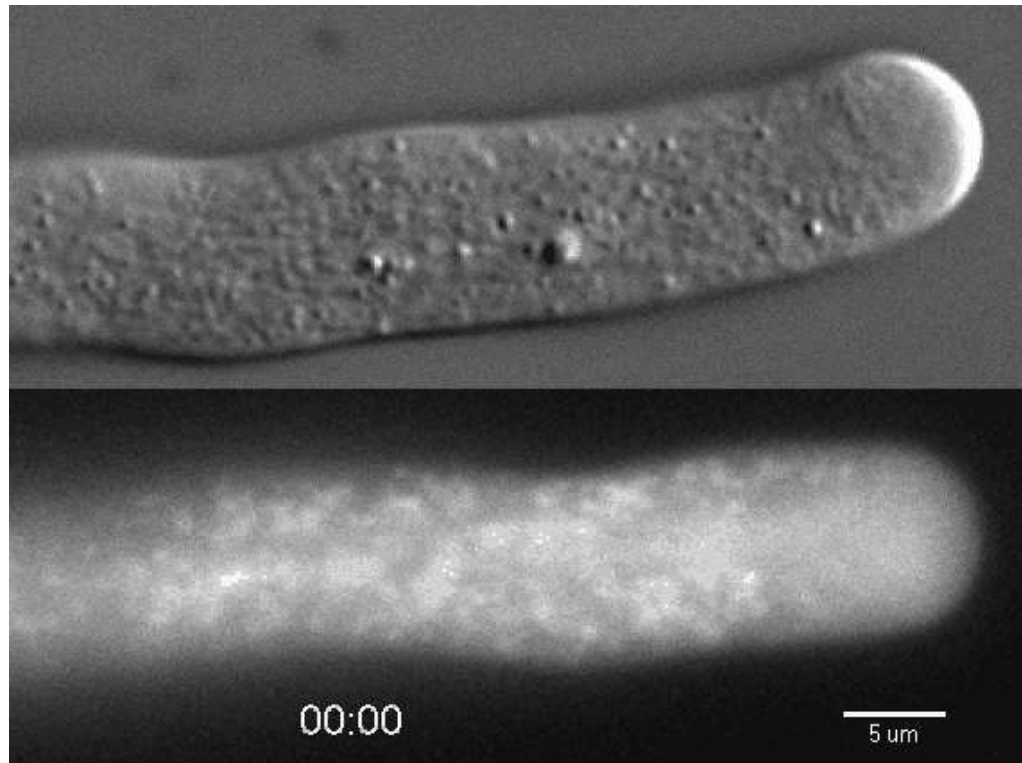
Apikální růst

Apikálně rostoucí buňky představují vysoce **polarizovaný systém**

Polarita růstu je dána **cíleným transportem váčků** do apikální zóny, kde fúzíjí s BS.

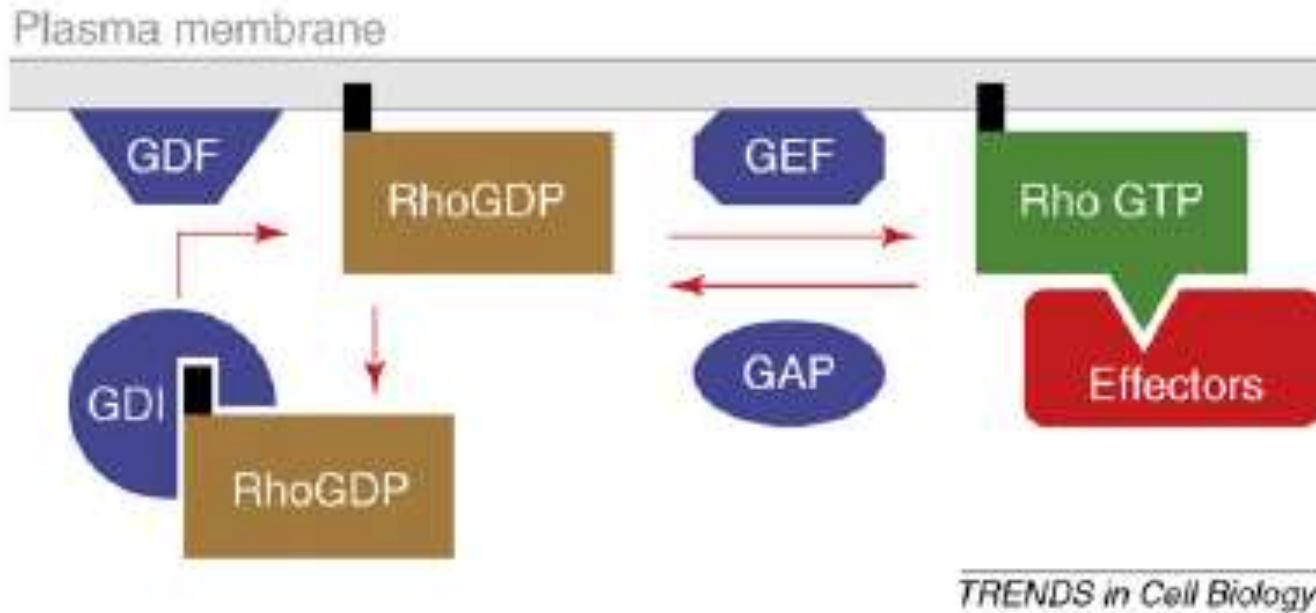
Charakteristická je **oscilace** růstu.

Roli v udržování růstu a jeho polarity hraje **aktinový cytoskelet, tok Ca^{2+} iontů a Rop-GTPázy** (Rop GTPázy = Rho-of-plants).



Apikální růst

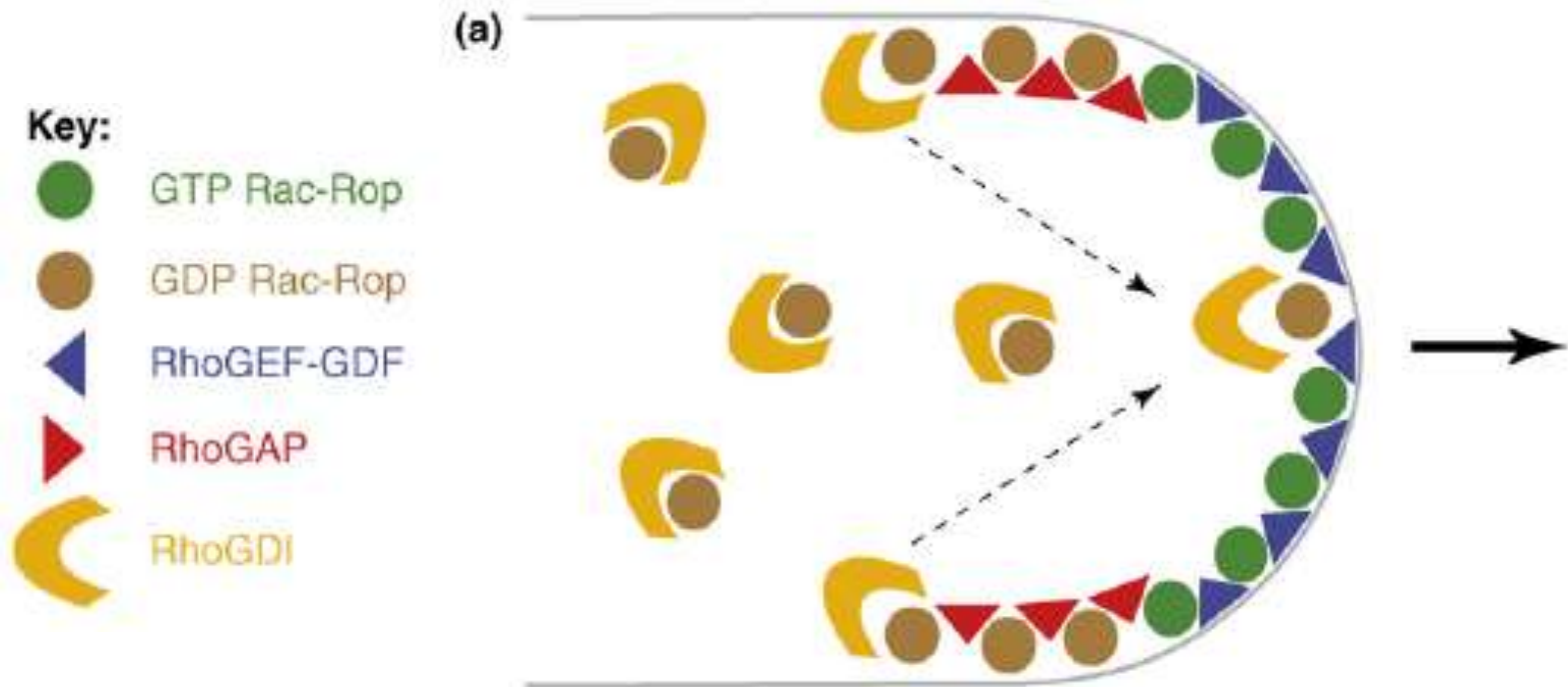
- funkční cyklus malých GTPáz



GAP: GTPase activating protein
GDI: guanine nucleotide dissociation inhibitor
GEF: guanine nucleotide exchange factor
GDF: Rho-GDI displacement factor

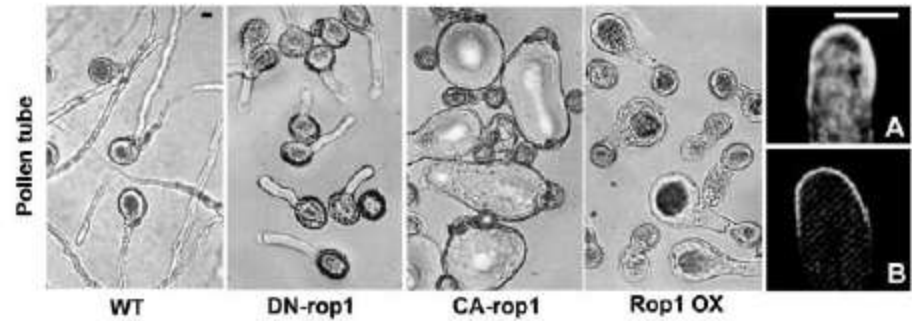
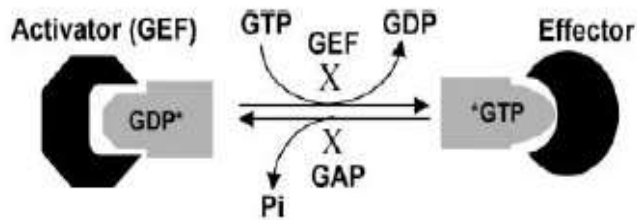
Apikální růst

- Rop GTPáza jako centrální regulátor polarity apikálně rostoucí buňky



Apikální růst

- Rop GTPáza jako centrální regulátor polarity apikálně rostoucí buňky

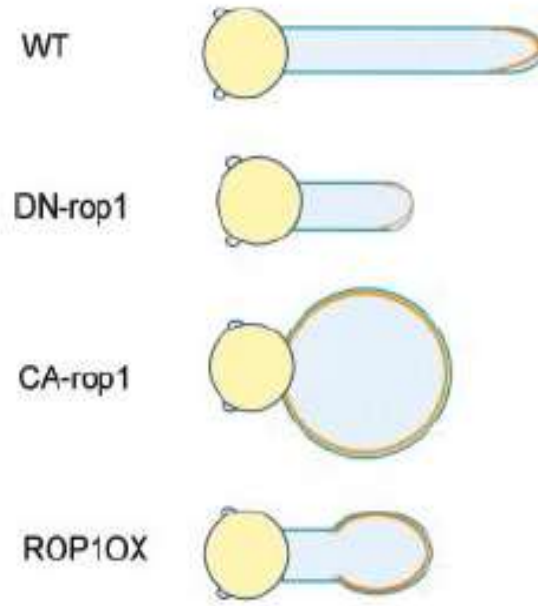


DN-rop mutants

- Permanently bind GDP or nucleotide-free
- Sequester activator (GEF) when overexpressed
- Examples:
 - ROP1/ROP2/ROP4/ROP6: T20N, A121D
 - ROP5: T20N

CA-rop mutants

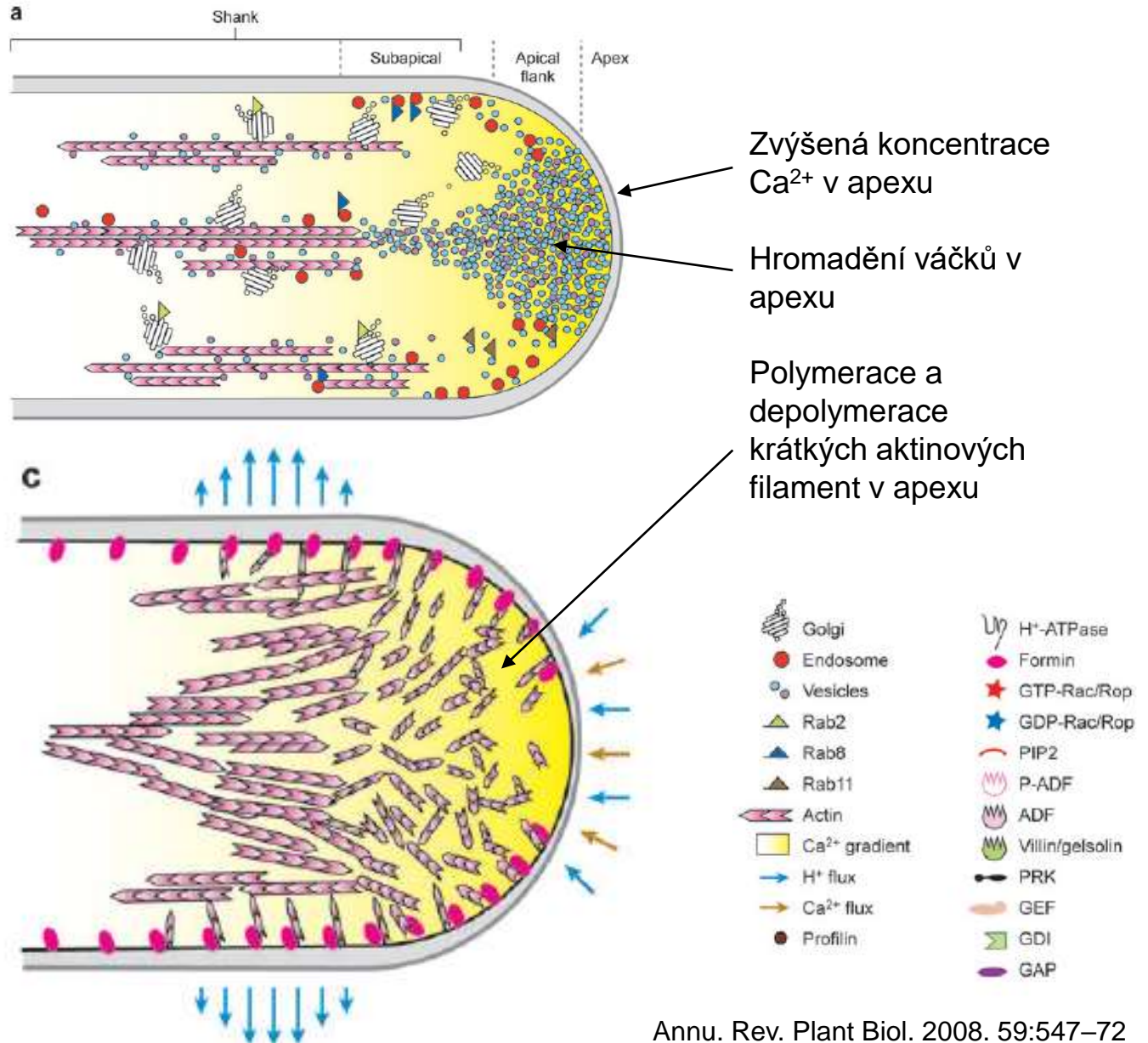
- Permanently bind GTP
- Insensitive to GAP
- Constitutively activate effectors when expressed in cells
- Examples:
 - ROP1/ROP2/ROP4/ROP6: G15V or Q64L
 - ROP5: G15V or Q64E



Gu V. et al. Journal of Experimental Botany 2003

Yang Z. The Plant Cell S375-S388 2002

Apikální růst

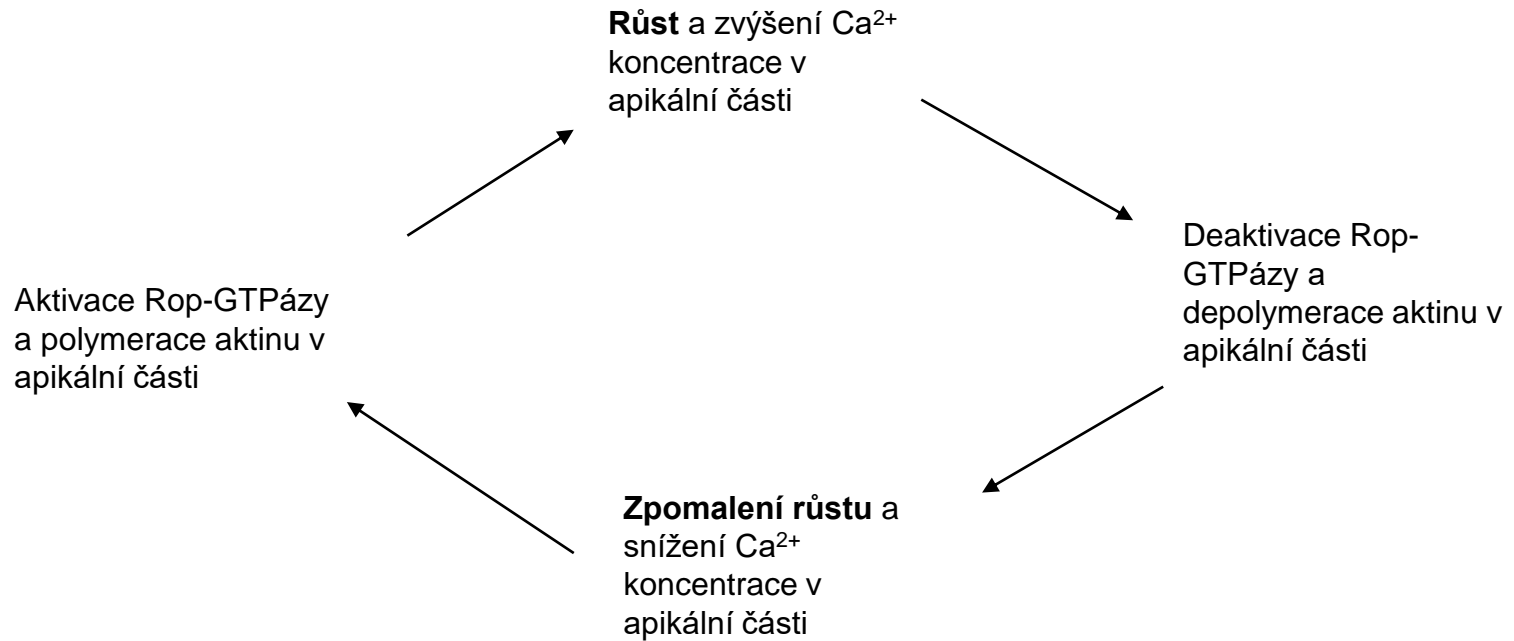


Annu. Rev. Plant Biol. 2008. 59:547–72

Apikální růst



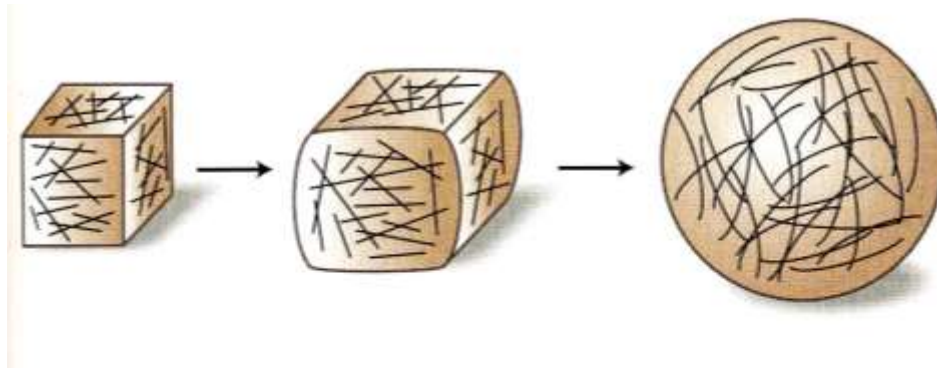
<https://www.youtube.com/watch?v=Q1YEQd9iAZA>



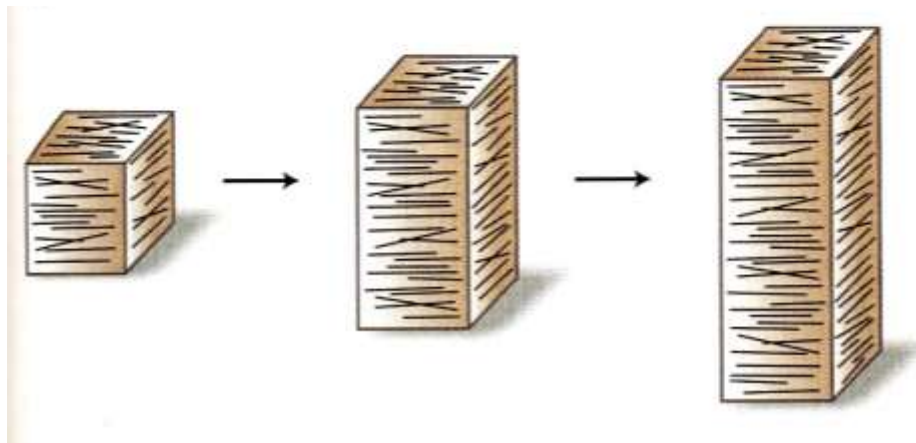
Difúzní růst

Směr expanze difúzním růstem rostlinných buněk je dán strukturou buněčné stěny:

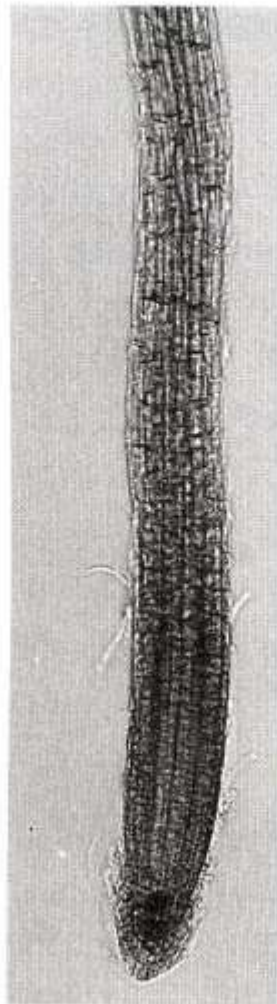
Náhodně orientované celulózní mikrofibrily:



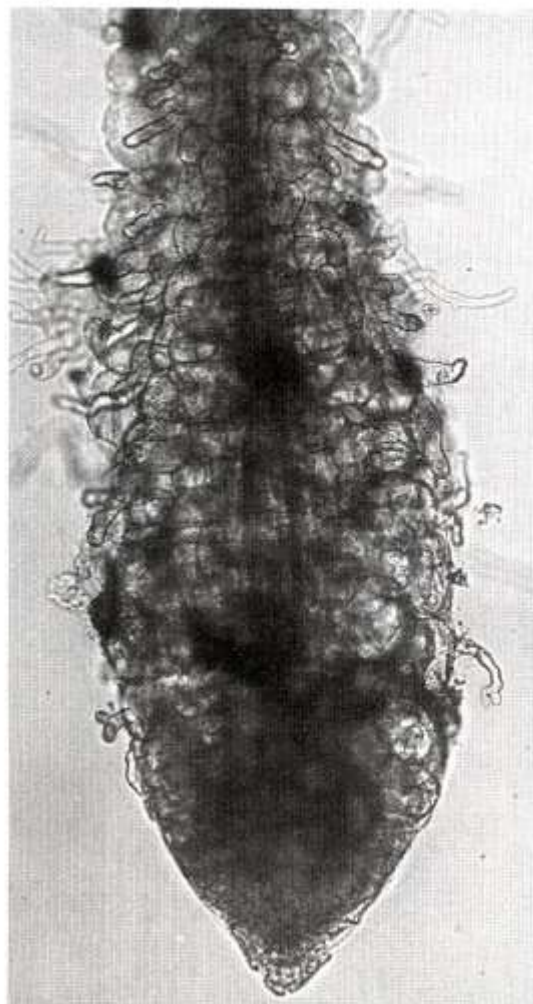
Transverzálně orientované celulózní mikrofibrily:



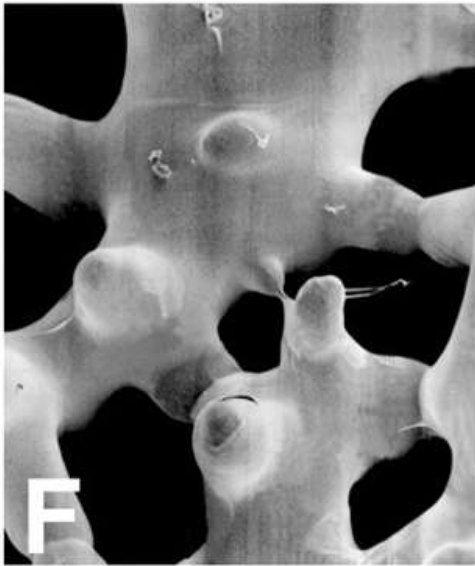
Control
(no drug
treatment)



1 μ M Oryzalin



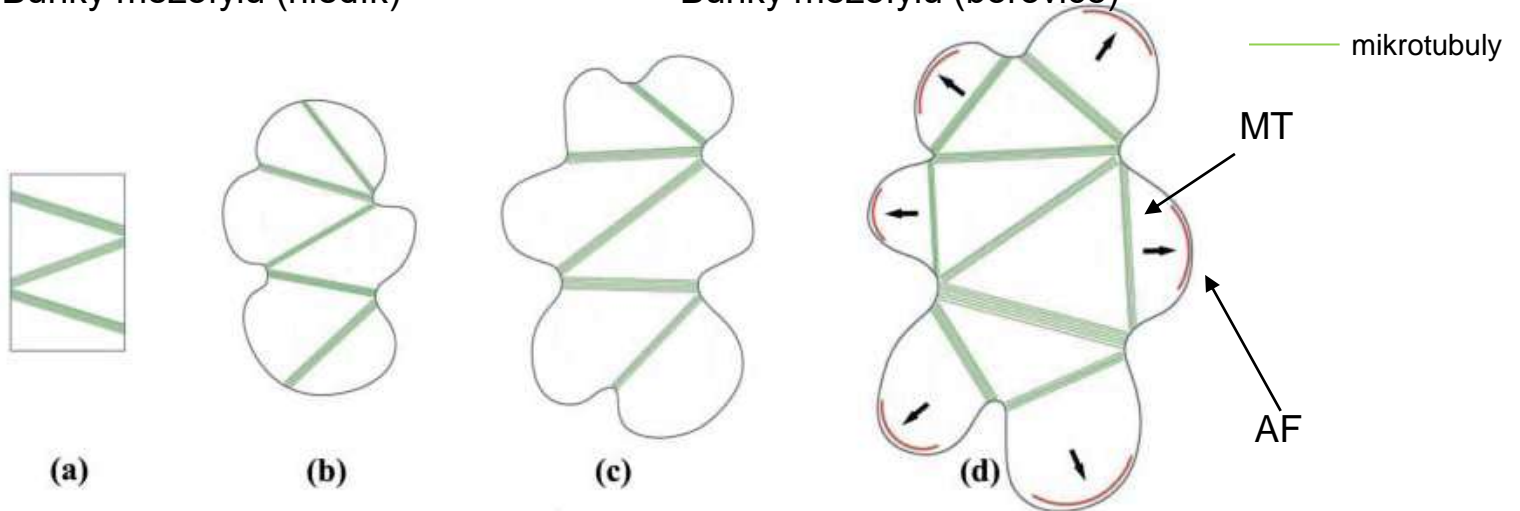
Nepravidelné tvary buněk



Buňky mezofylu (hledík)

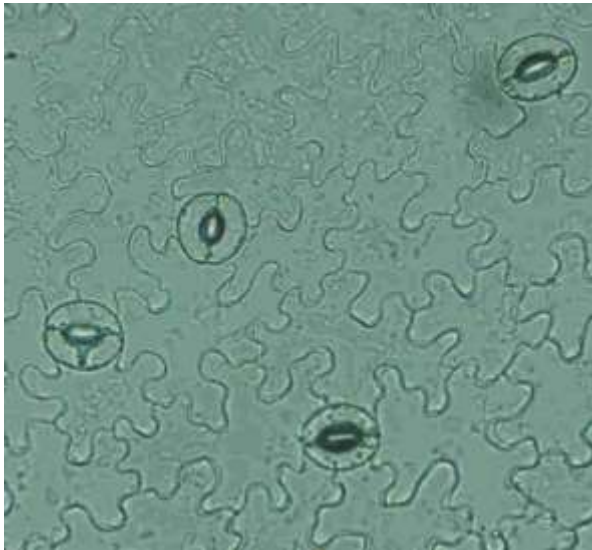


Buňky mezofylu (borovice)

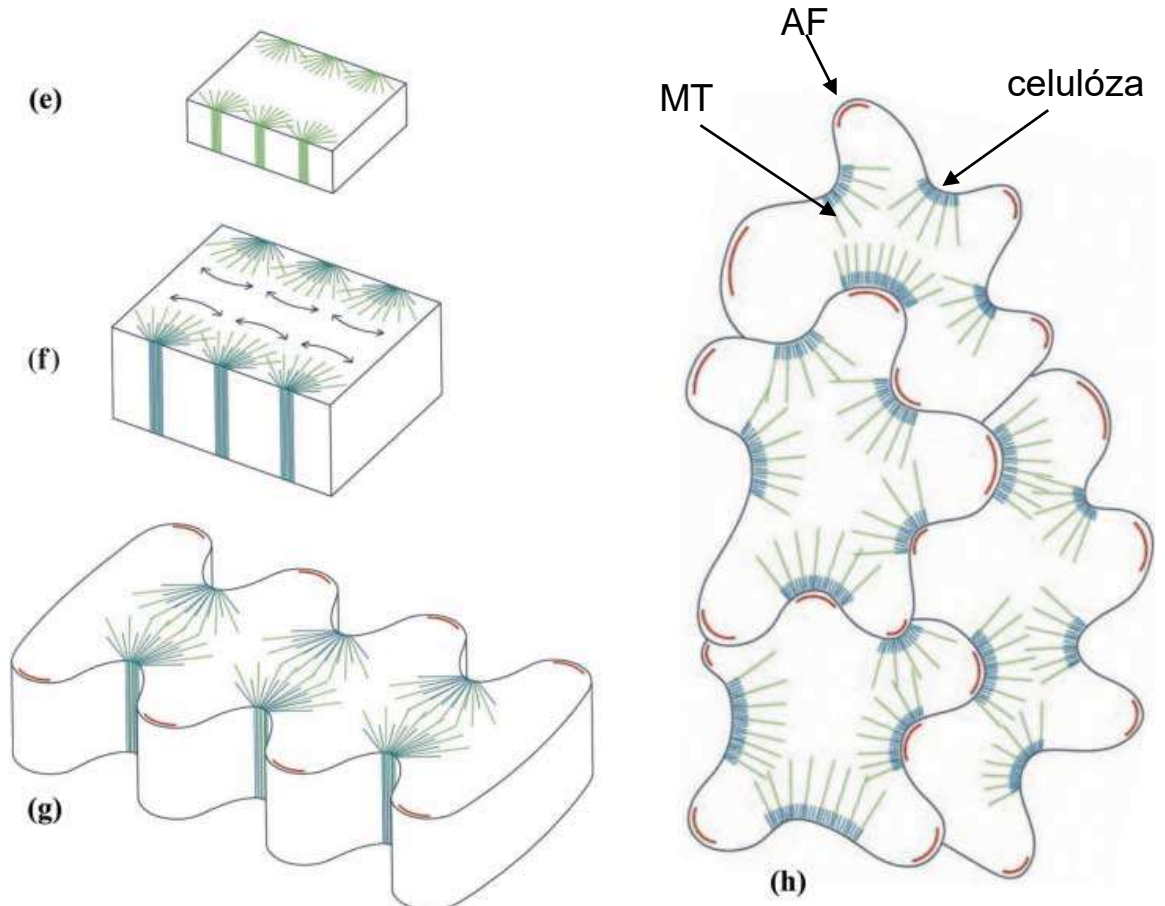


New Phytologist (2005) 167:721–732

Nepravidelné tvary buněk

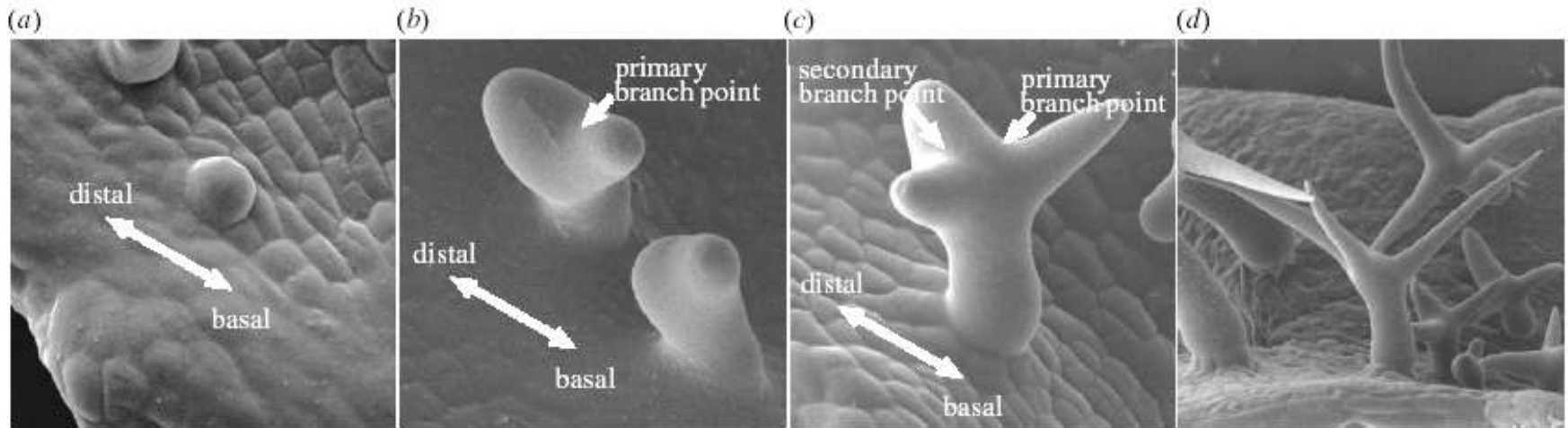


Pokožkové buňky (salát - *Lactuca*)



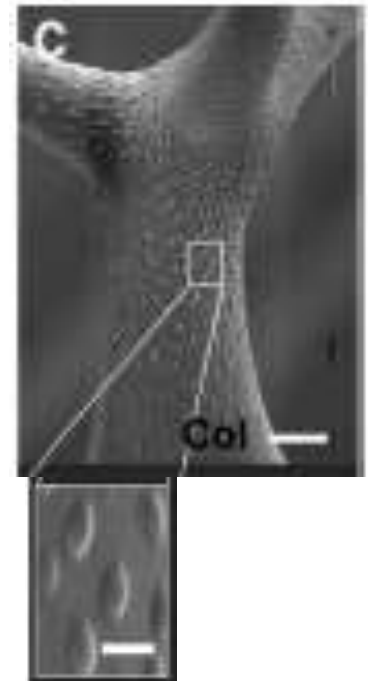
Nepravidelné tvary buněk

- vývoj trichomu *Arabidopsis thaliana*



Fáze vývoje trichomů *A.t.*:

1. Izodiametrická expanze buňky v rovině epidermis – difúzní růst (mikrotubuly)
2. Dělení buňky kolmo k rovině epidermis. Elongace buňky v apikální části – aktin
3. Iniciace větvení - mikrotubuly
4. Růst tupých větví - aktin
5. Zašpičatění větví
6. Po skončení růstu získává buněčná stěna „bradavičnatý“ vzhled



Programovaná buněčná smrt (PCD)

-PCD = programmed cell death

-fyziologický děj, jehož nástup a průběh je organismem regulován

-probíhá dle programu s jasným sledem událostí morfologických a biochemických

-vyžaduje **proteosyntézu**, **energii**, aktivaci **specifických genů** a **specifických signálních drah**.

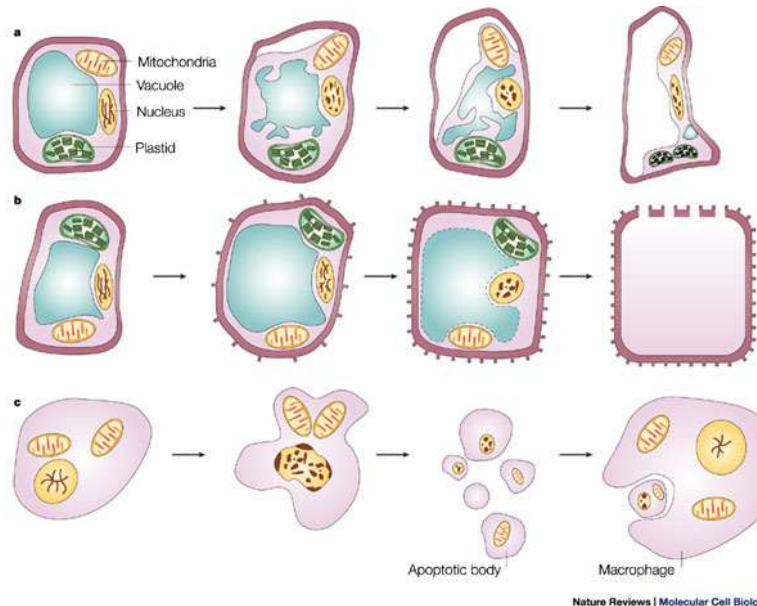
PCD nacházíme v eukaryotních organismech v mnoha podobách. Různé typy PCD jsou řízeny vlastním genetickým programem.

(Apoptóza: druh PCD známý především u živočichů; některé charakteristické znaky pro apoptózu u rostlin **nenacházíme**.)

Signalizace během PCD se účastní Ca^{2+} ionty, NO, ROS (reaktivní formy kyslíku) a cytochrom c

Programovaná buněčná smrt (PCD)

- Regulace rostlinné PCD **fytohormony** (etylén, gibereliny, cytokininy)
- Účast specifických **proteáz** – kaspáz (živočichové) a **metakaspáz** (rostliny)
- Rozklad buněčného obsahu a závěrečné fáze PCD – typy:
 - Prasknutí tonoplastu, vylití hydrolytických enzymů a rozklad všech složek protoplastu
 - Odbourávání organel a cytoplazmy v autofagických vakuolách (autofagozomy), obsahujících hydrolytické enzymy.



Příklad: odumírání suspensoru

Příklad: vznik xylému

Příklad apoptotické smrti

Nature Reviews | Molecular Cell Biology

Nature Reviews Molecular Cell Biology 5, 305-315 (April 2004)

Programovaná buněčná smrt (PCD)

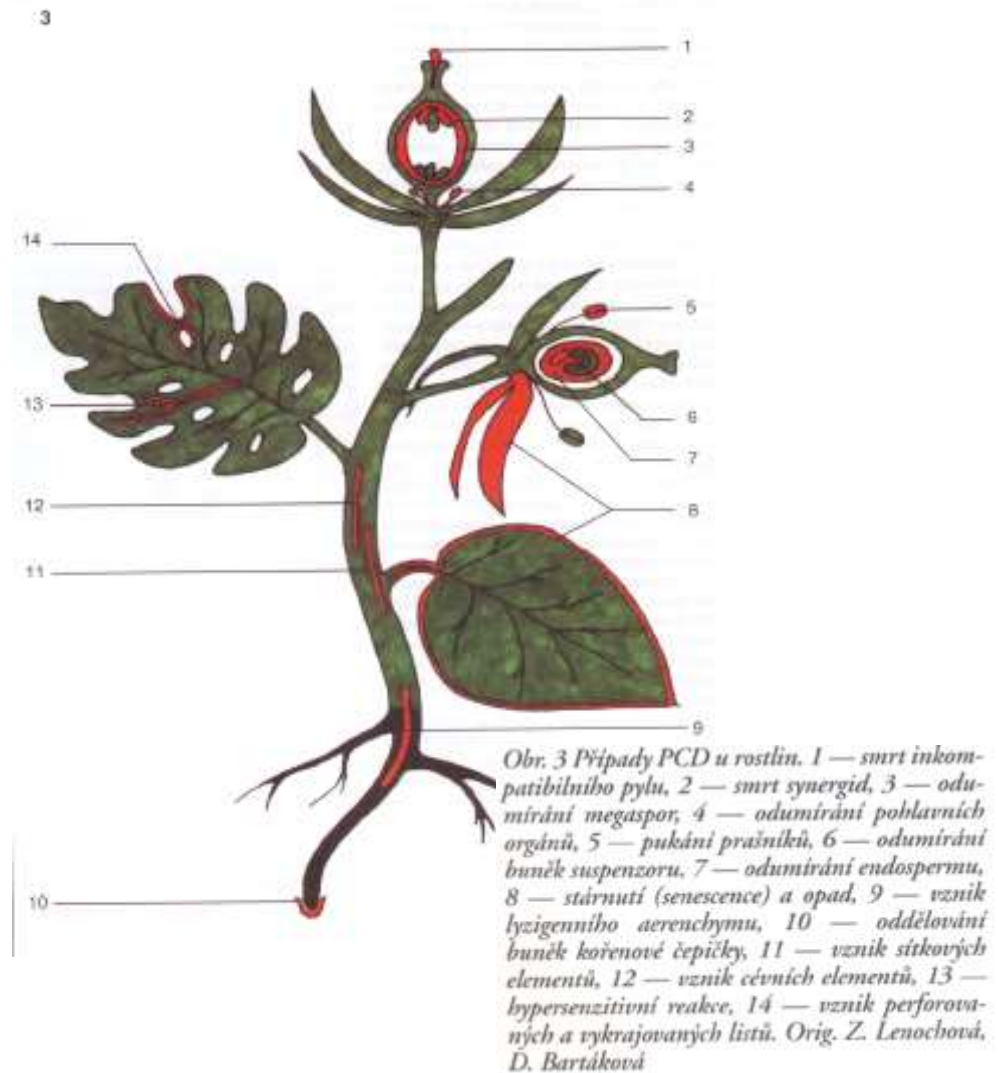
PCD u rostlin:

-je **normální součástí vývoje** rostliny:

Například: PCD v generativních orgánech; odumírání suspensoru, endospermu; vznik cévních elementů, sítkových elementů; vznik pryskyřičných kanálků; vznik některých typů perforovaných listů; senescence.

-nebo je spouštěna jako **odpověď na působení vnějších faktorů**

Například hypersenzitivní reakce; vznik aerenchymu.



Lenochová, Kuthanová a Votrubová 2004, Živa 5:194-197

Odumírání endospermu

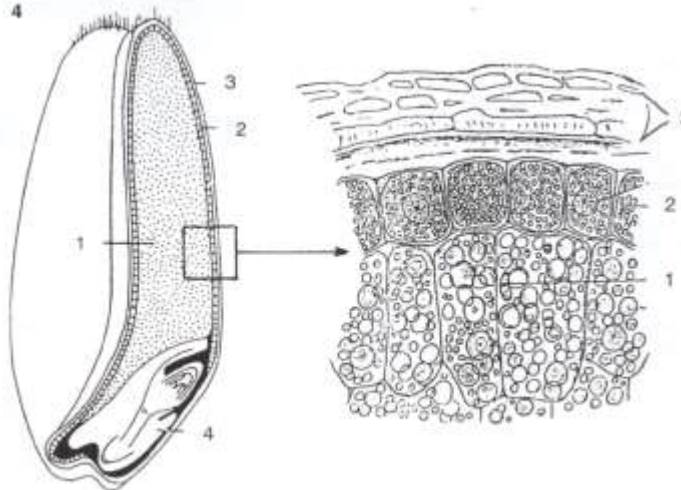
Endosperm: vyživovací pletivo v semeni. Odumírá během prvních fází vývoje mladé rostliny poté, co jsou spotřebovány rezervní látky obsažené v jeho buňkách.

PCD endospermu obilek trav:

Endosperm obilky je tvořen buňkami škrobového endospermu, který je obklopen buňkami aleuronové vrstvy se zásobními proteiny.

Buňky aleuronové vrstvy zůstávají živé i během dozrávání obilky. Buňky škrobového endospermu podléhají zvláštnímu typu PCD – po uložení škrobu odumírají, ale nedochází k rozložení jádra ani organel („mumifikovaný“ stav).

Klíčení: buňky aleuronové vrstvy uvolňují enzymy, které škrob ve škrobovém endospermu rozkládají a mobilizují tak pro klíčení. Po mobilizaci veškerých zásob hynou též buňky aleuronové vrstvy taktéž procesem PCD.

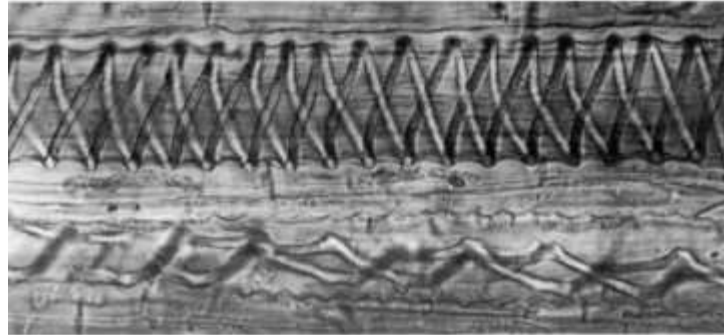


*Obr. 4 Schéma stavby obilky trav. Vlevo podélný řez obilkou pšenice (*Triticum aestivum*), vpravo detail jejich povrchových vrstev. 1 — škrobový endosperm, blavní zásobní pletivo, ve kterém probíhá při zrání obilky zvláštní způsob programované buněčné smrti — PCD (bližší viz text), 2 — buňky aleuronové vrstvy, které obsahují zásobní proteiny a během klíčení produkují enzymy rozkládající jak látky v buňkách škrobového endospermu, tak v aleuronové vrstvě; po odbourání zásob rovněž podléhají PCD, 3 — osemení a oplodí obilky, 4 — embryo. Orig. O. Votrubová, D. Bartáková*

Vznik cévních elementů

Cévní elementy (tracheidy a tracheální elementy - TE): specializované buňky pro transport vody a rozpuštěných látek rostlinou

Plné funkčnosti dosahují až po odumření.



Indukce PCD začíná s diferenciací buněk budoucích TE. Na počátku stojí regulace pomocí **fytohormonů** (auxin, cytokinin a brasinosteroidy).

Indukce diferenciace začíná expresí **transkripčních faktorů VND6 a VND7** (VASCULAR-RELATED NAC DOMAIN).

Syntéza sekundární BS a proces **PCD** jsou kontrolovány stejnou signální drahou.

Cílem je provést programovanou buněčnou smrt **narušením integrity tonoplastu** a uvolnění hydroláz do cytoplazmy.

Indukce genů kontrolujících syntézu sekundární BS a PCD

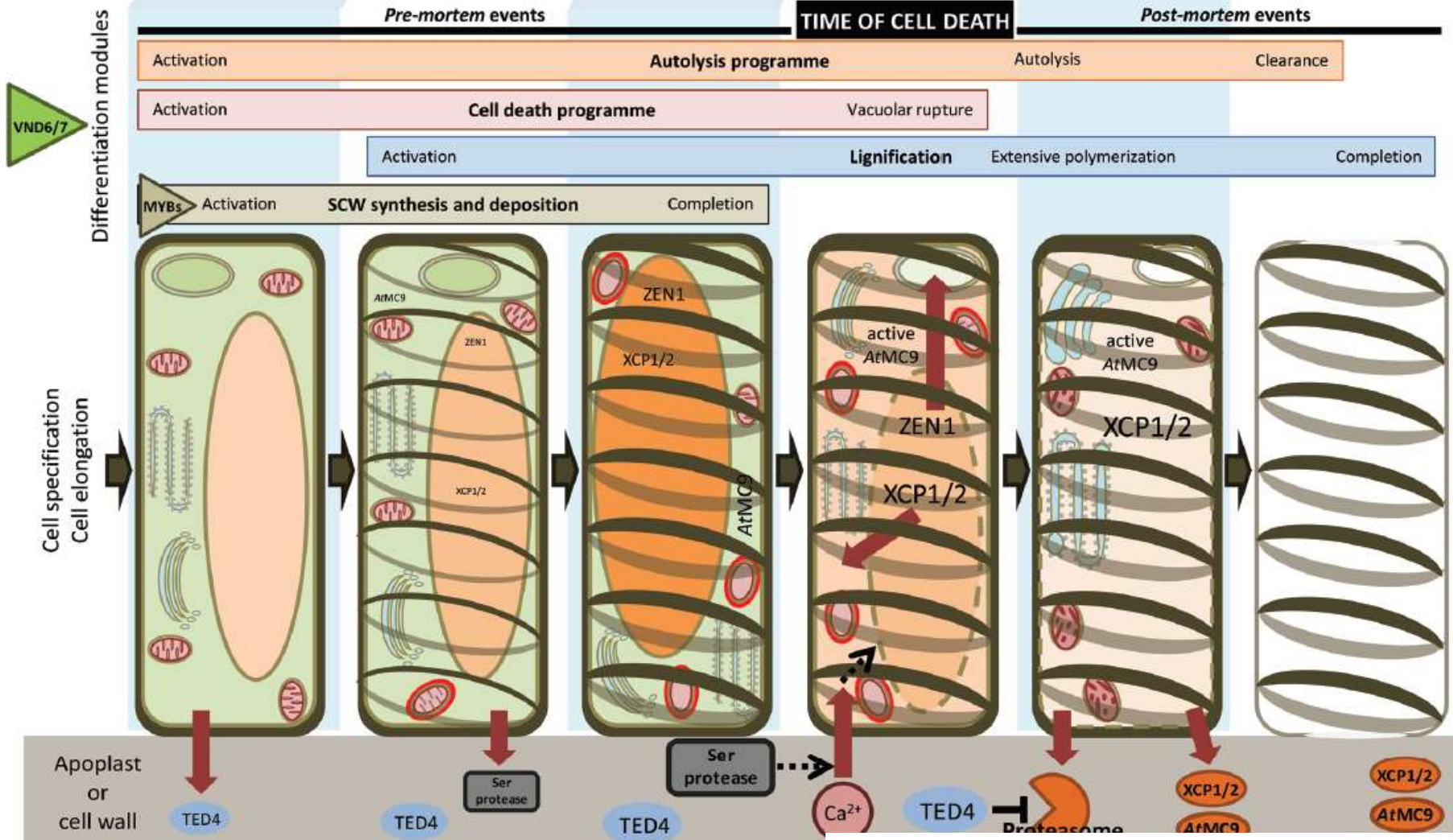
Zvýšená exprese genů kontrolujících syntézu sekundární BS a PCD, indukce lignifikace

Snížení exprese genů kontrolujících syntézu sekundární BS. Syntéza hydroláz do vakuoly

Vypuštění hydroláz do cytoplazmy, acidifikace cytoplazmy

Degradace cytoplazmy a organel

Částečná hydrolýza primární BS

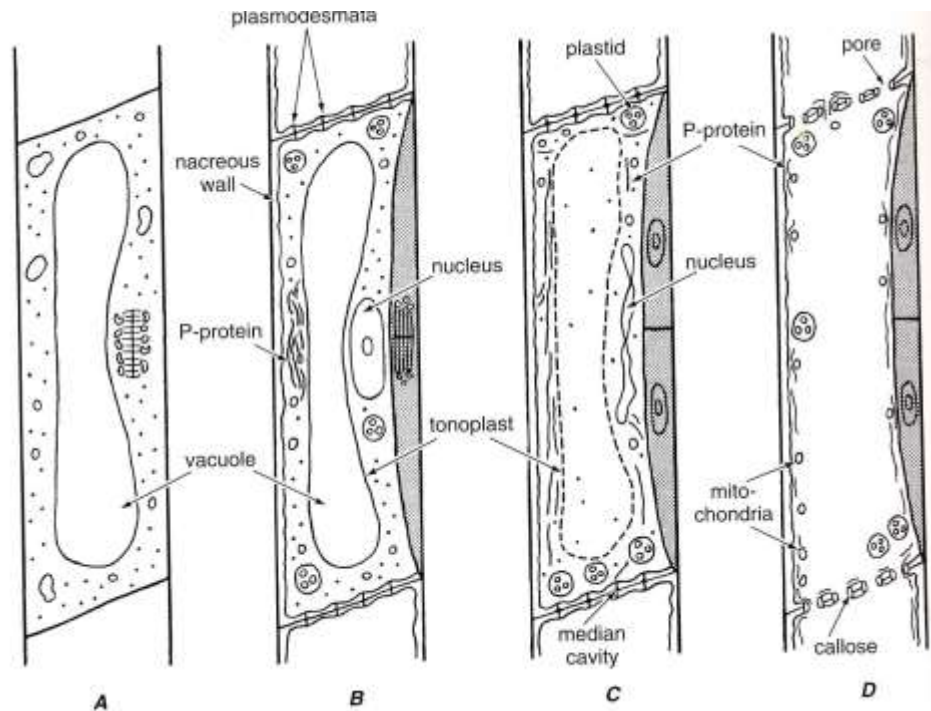




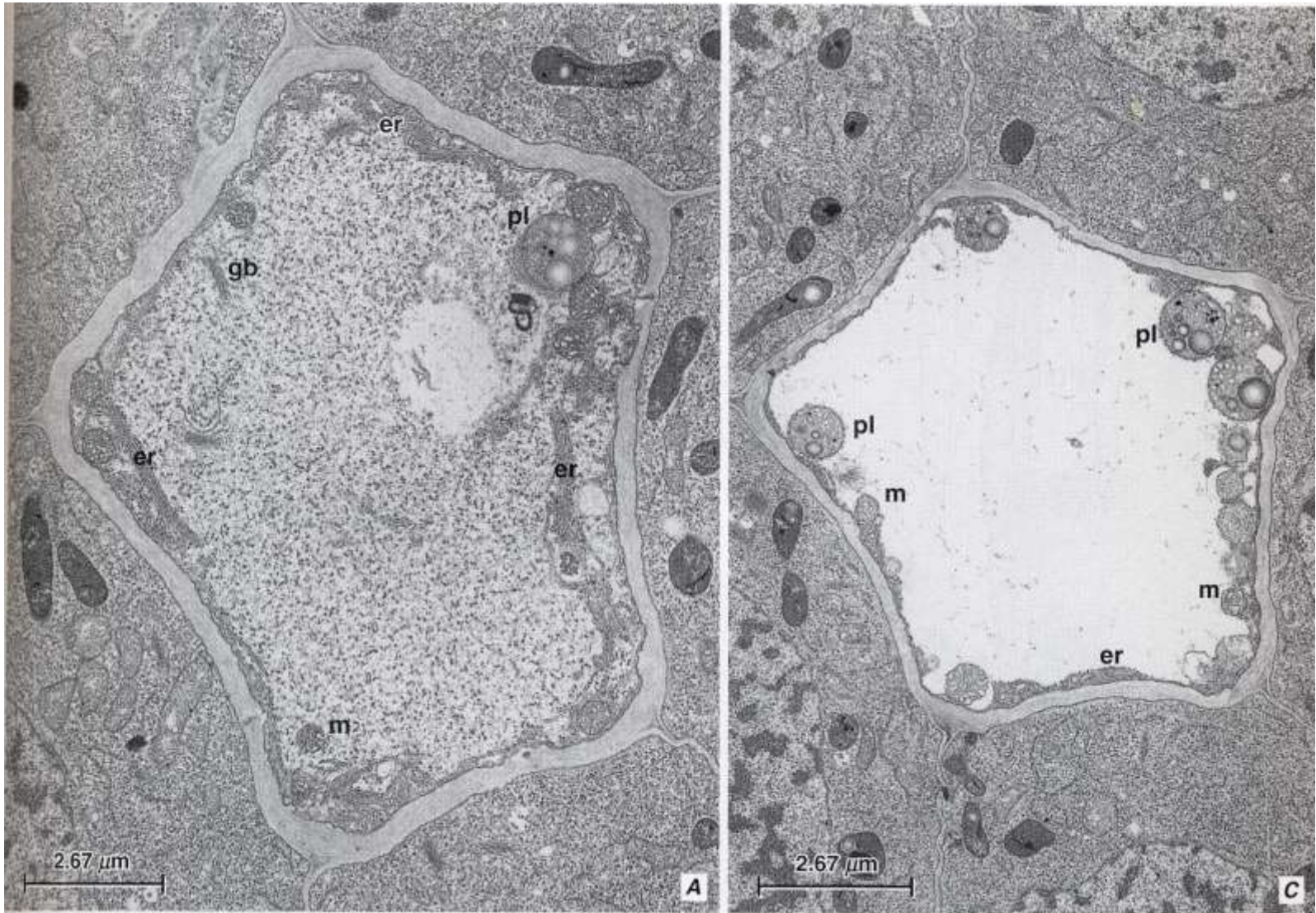
Vznik sítkových elementů

Sítkové elementy (SE): základní stavební jednotka **floému**, pletiva pro rozvod asimilátů po rostlině.

Během vývoje SE dochází k odbourání některých buněčných struktur, včetně jadra = nedokončená PCD. V tomto stavu SE fungují a odumírají až po dokončení jejichž funkčnosti – zpravidla po jedné vegetační sezóně.



Vznik sítkových elementů



Příčný řez buňkou vyvíjejícího se (A) a plně vyvinutého (C) sítkového elementu tabáku.

SENESCENCE

Senescence: Je to většinou pomalý a přesně regulovaný proces, během kterého jsou živiny a další látky odváděny ze stárnoucích pletiv do živých částí rostliny. PCD se uplatňuje v konečných fázích.

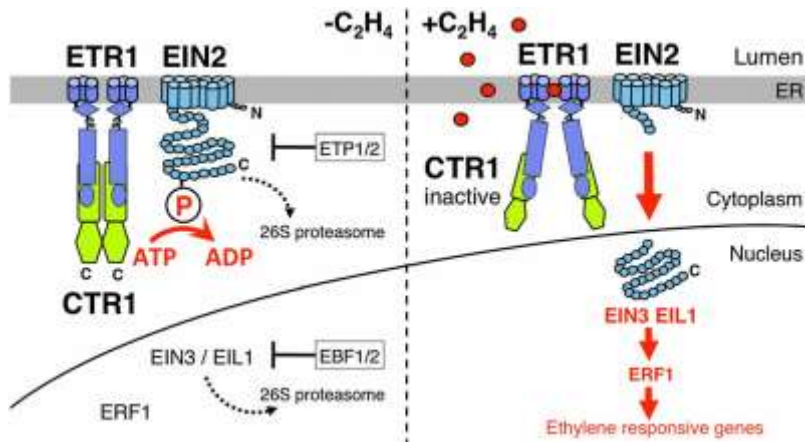
Proces senescence dobře popsán u listů. Během **senescence listů** dochází:

- k rozkladu bílkovin a chlorofylu
- k transportu metabolitů do živých částí rostliny
- chloroplasty se mění nevratně na gerontoplasty
- rychlost fotosyntézy klesá
- zvyšuje se rychlost dýchání (poskytuje energii pro další procesy).
- aktivovány specifické metabolické cesty
- v konečných fázích dochází k odumření buněk způsobem, který nese znaky PCD.

Regulace procesu senescence fytohormony: **etylén** urychluje senescenci, **cytokininy** inhibují procesy vedoucí k senescenci.

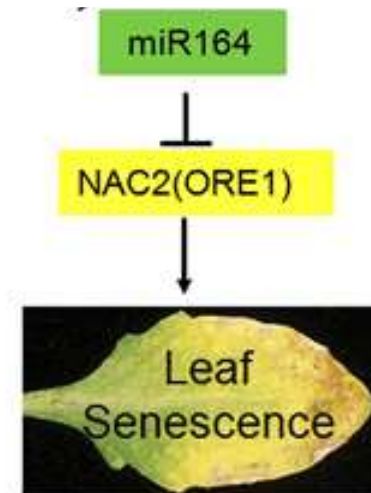
SENESCENCE

Příklad regulační dráhy zahrnující etylén a TF PCD



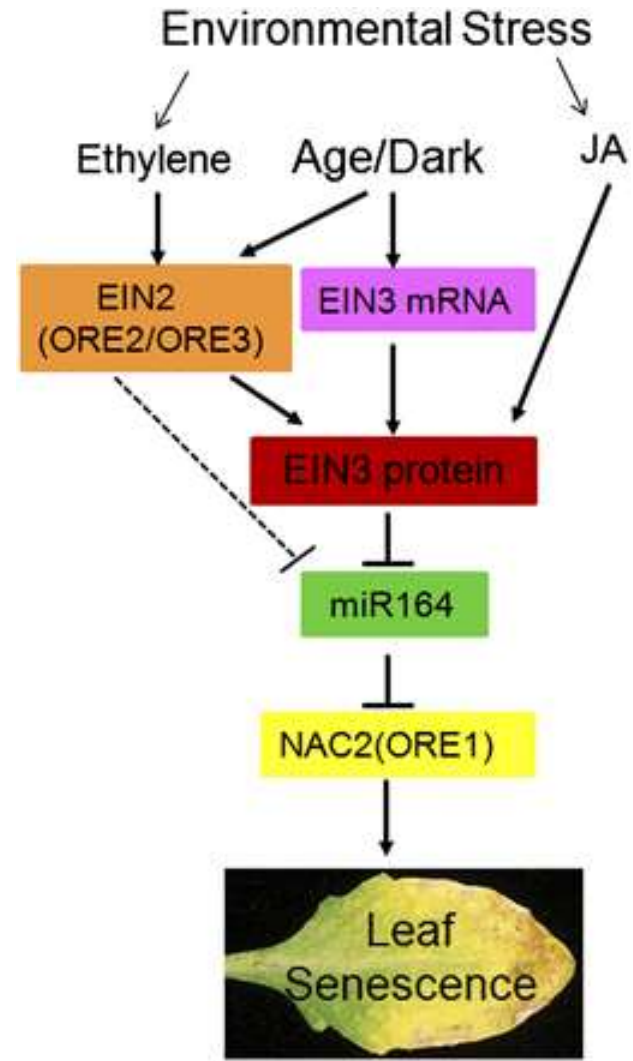
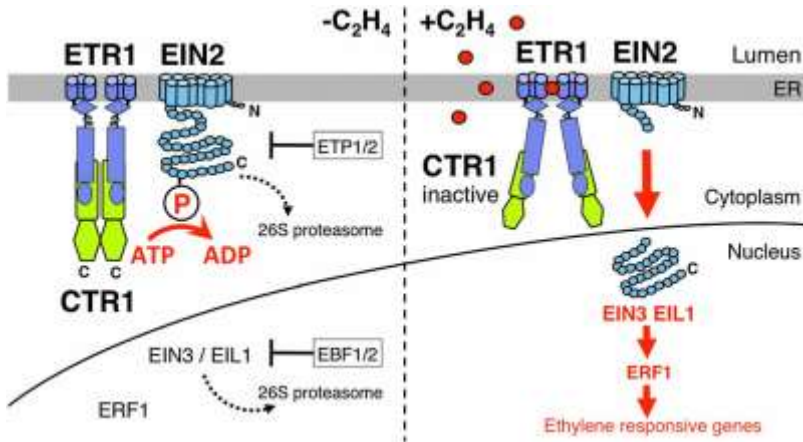
miRNA: jednovláknové řetězce nekódující RNA o délce 21-23 nukleotidů, které se podílejí na regulaci genové exprese. miRNA jsou částečně komplementární k určitým molekulám mRNA vyskytujícím se v buňce a jsou schopné regulovat (konkrétně snižovat) tímto výrobu proteinů, které tyto mRNA kódují. (Wiki)

ORESARA1: NAC transkripční faktor, pozitivně reguluje senescenci (oresara = dlouhověký (kor.))



SENESCENCE

Příklad regulační dráhy zahrnující etylén a TF PCD

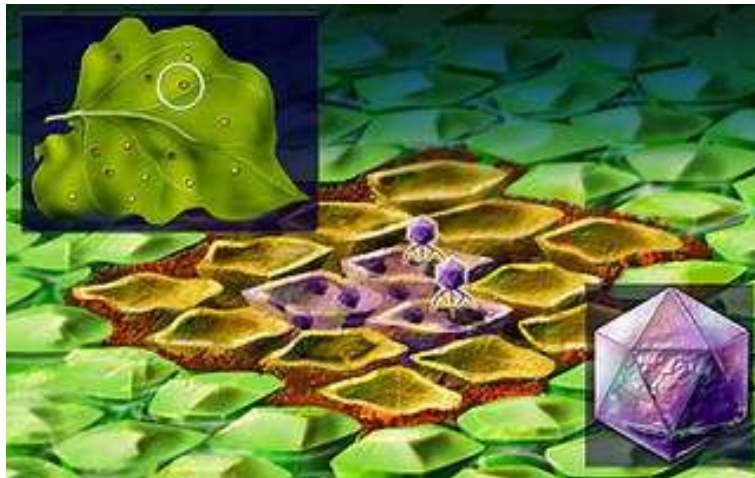


ORESARA1: NAC transkripční faktor, pozitivně reguluje senescenci (oresara = dlouhověký (kor.))

Hypersenzitivní reakce

Odpověď rostliny na napadení nekompatibilním patogenem.

V okolí průniku patogena do rostliny rychle odmírají buňky procesem PCD → vznik ostrůvků mrtvých buněk, které brání v propagaci patogena.



Přehled témat:

Regenerace, diferenciace buněk

Buněčný cyklus a mechanismy regulace

Mitóza a meióza

Mechanismus dělení rostlinné buňky: PPM, fragmoplast

Mechanismus apikálního a difúzního růstu rostlinných buněk

PCD, příklad regulační dráhy vzniku cévních elementů

Senescence, příklad regulace pomocí dráhy ORESARA