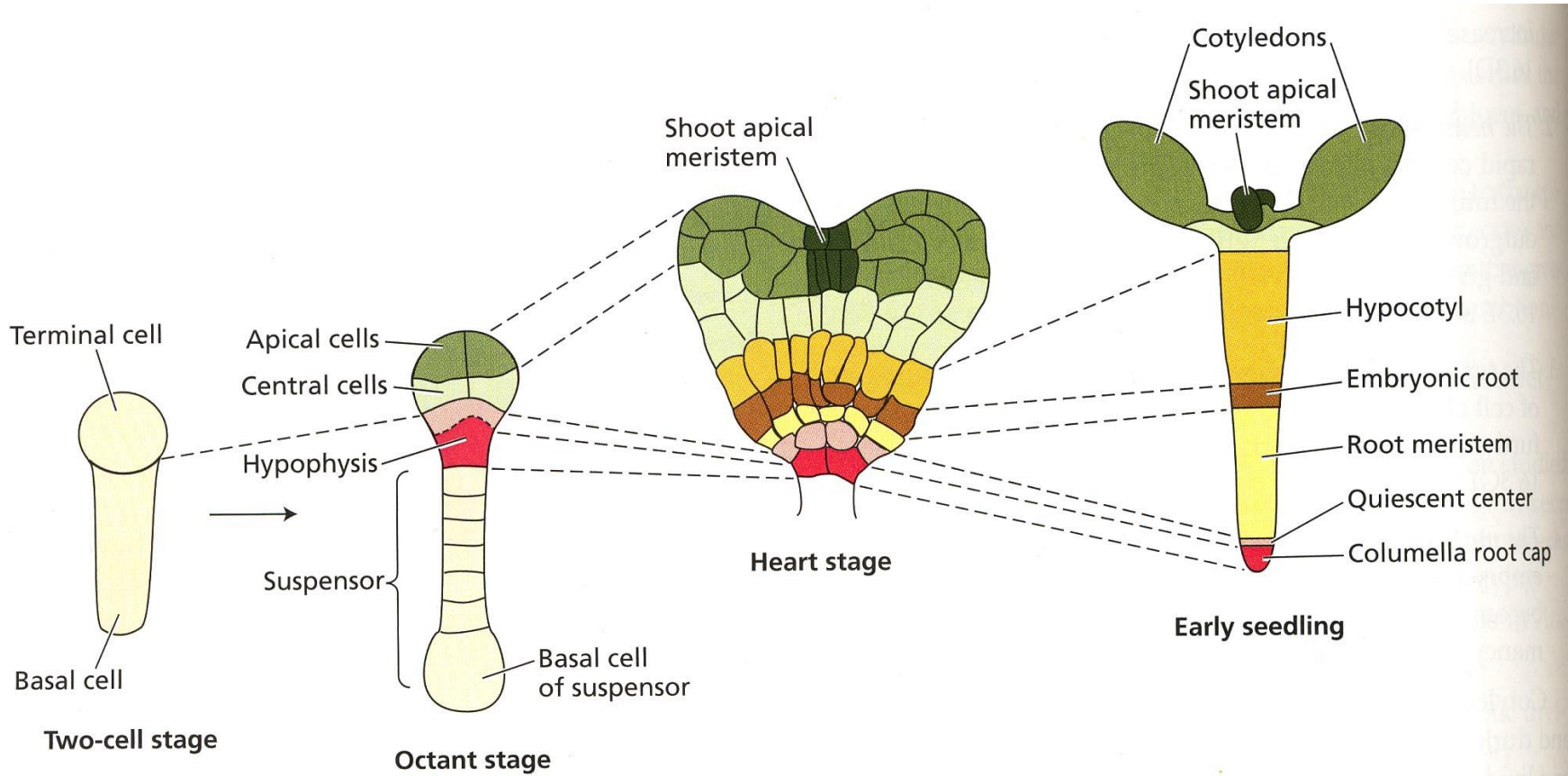
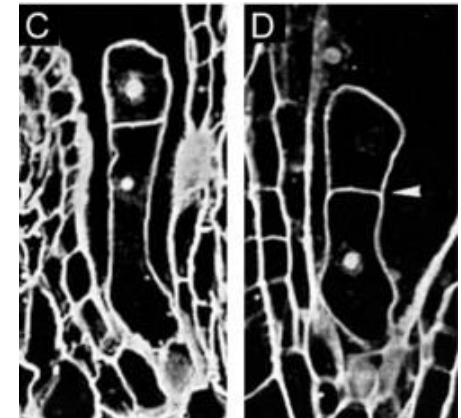
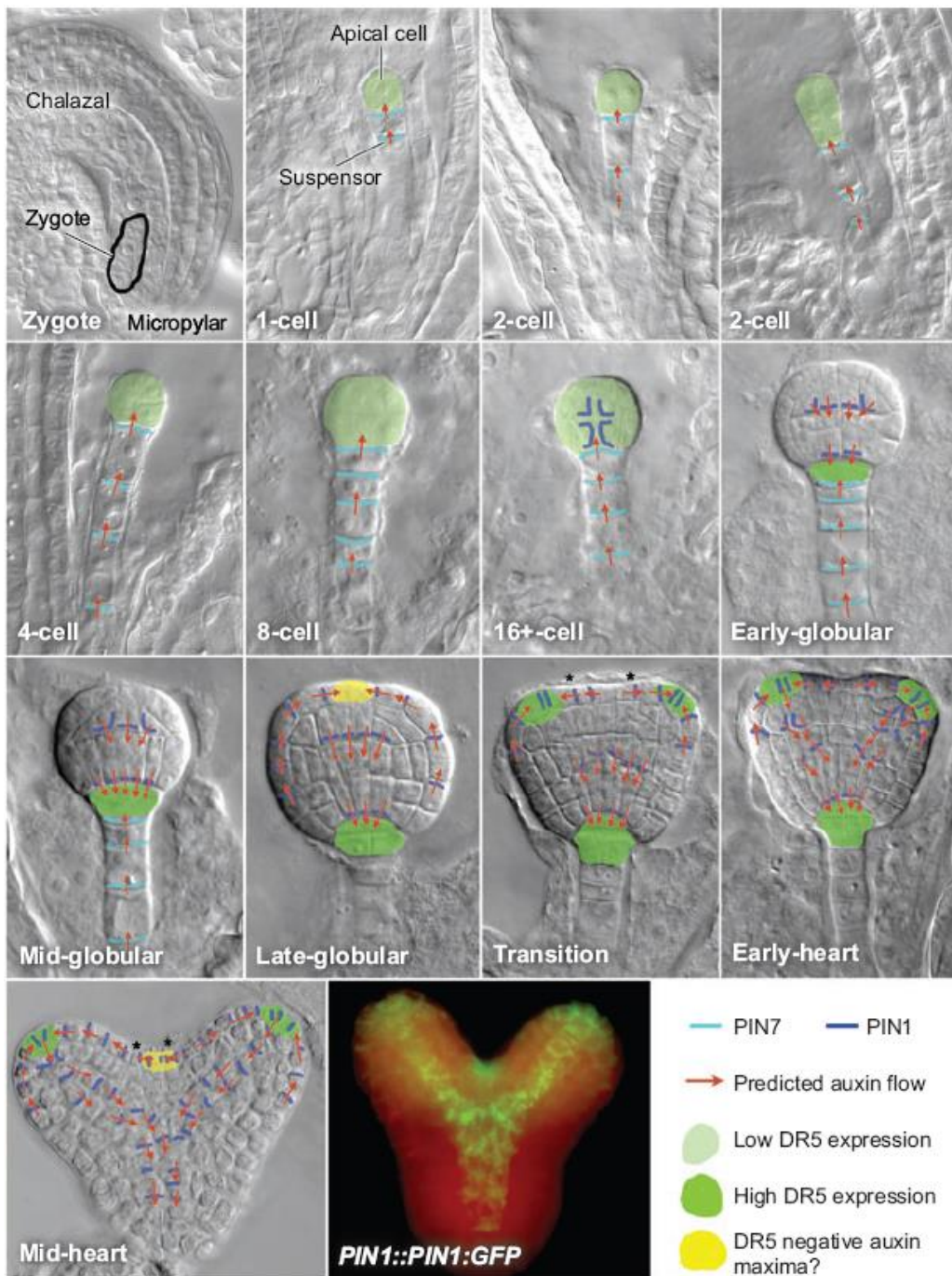
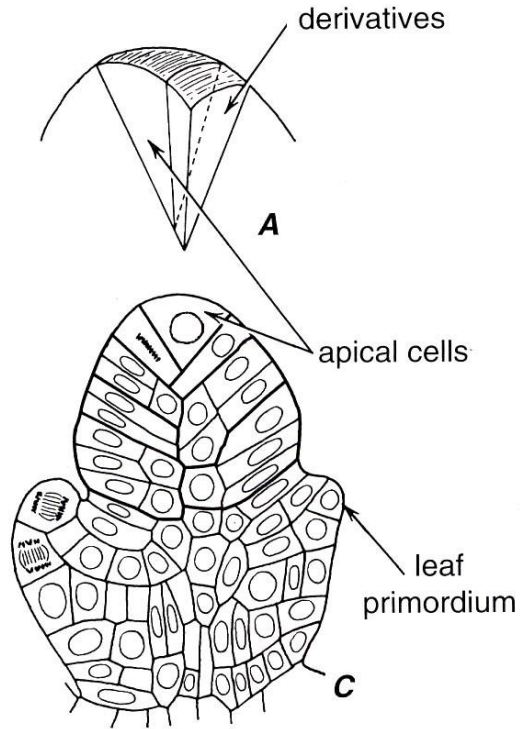
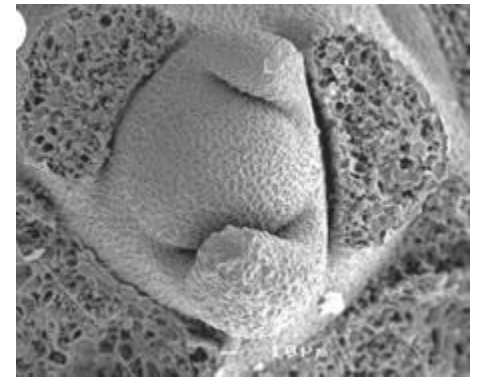


Signalizace a komunikace

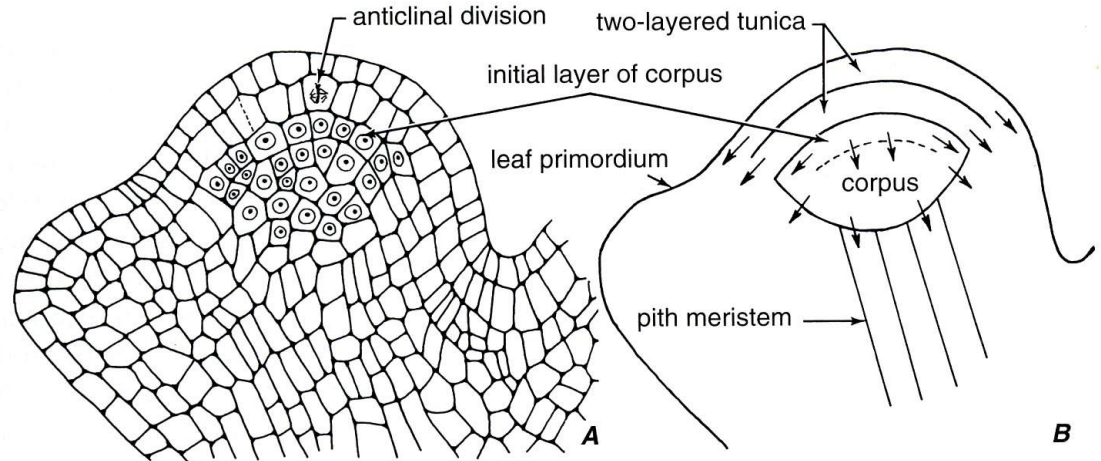




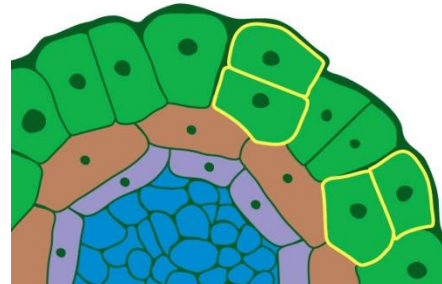
Meristémy – trvale dělivá pletiva



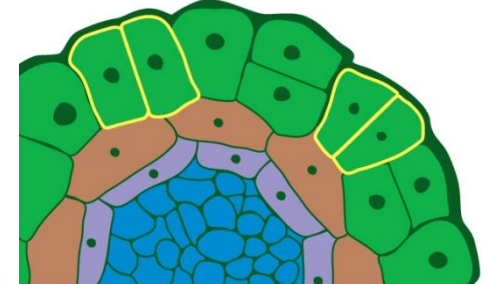
Equisetum shoot



Periklinální dělení

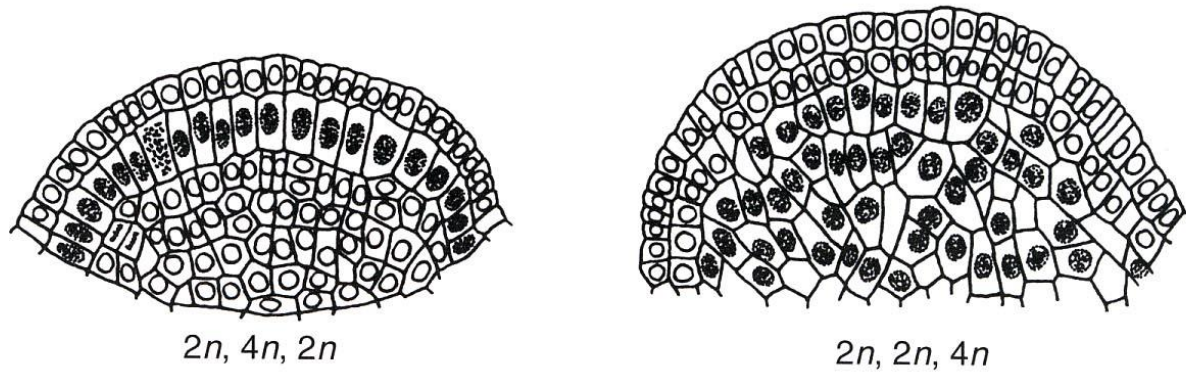
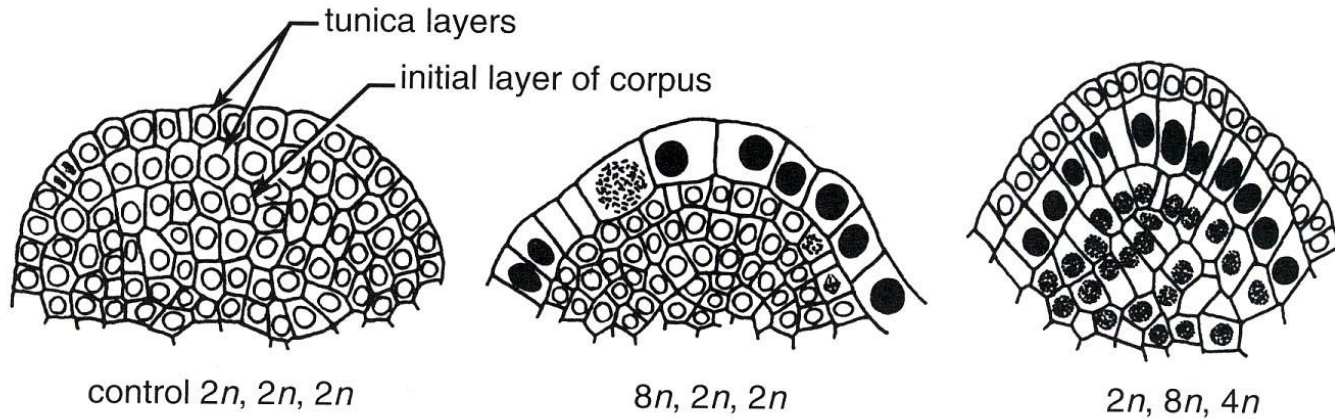


Antiklinální dělení



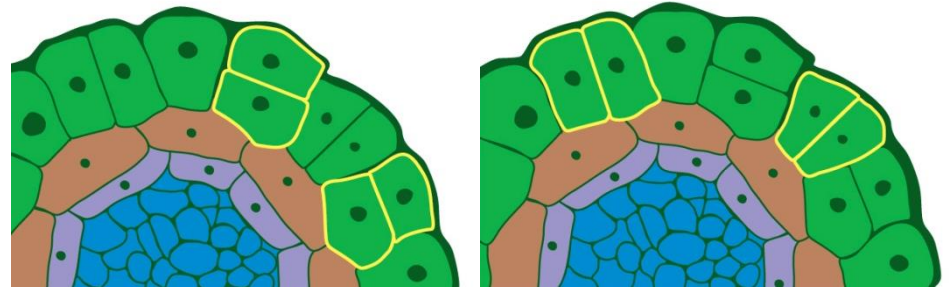
http://www.mun.ca/biology/desmid/brian/BIOL3530/DEVO_07/ch07f05.jpg

Klonální historie buněk apikálního meristému



Periklinální dělení

Antiklinální dělení



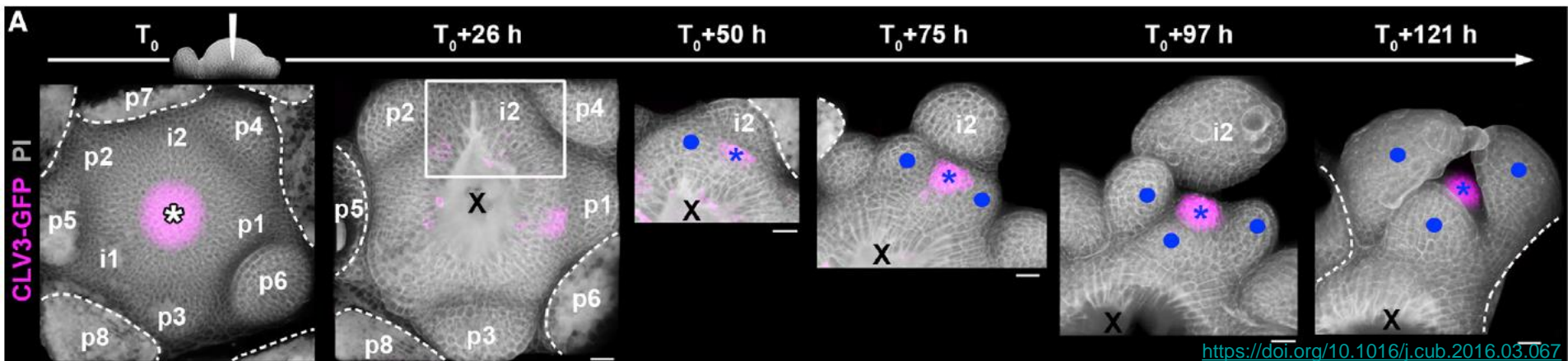
http://www.mun.ca/biology/desmid/brian/BIOL3530/DEVO_07/ch07f05.jpg

ale:

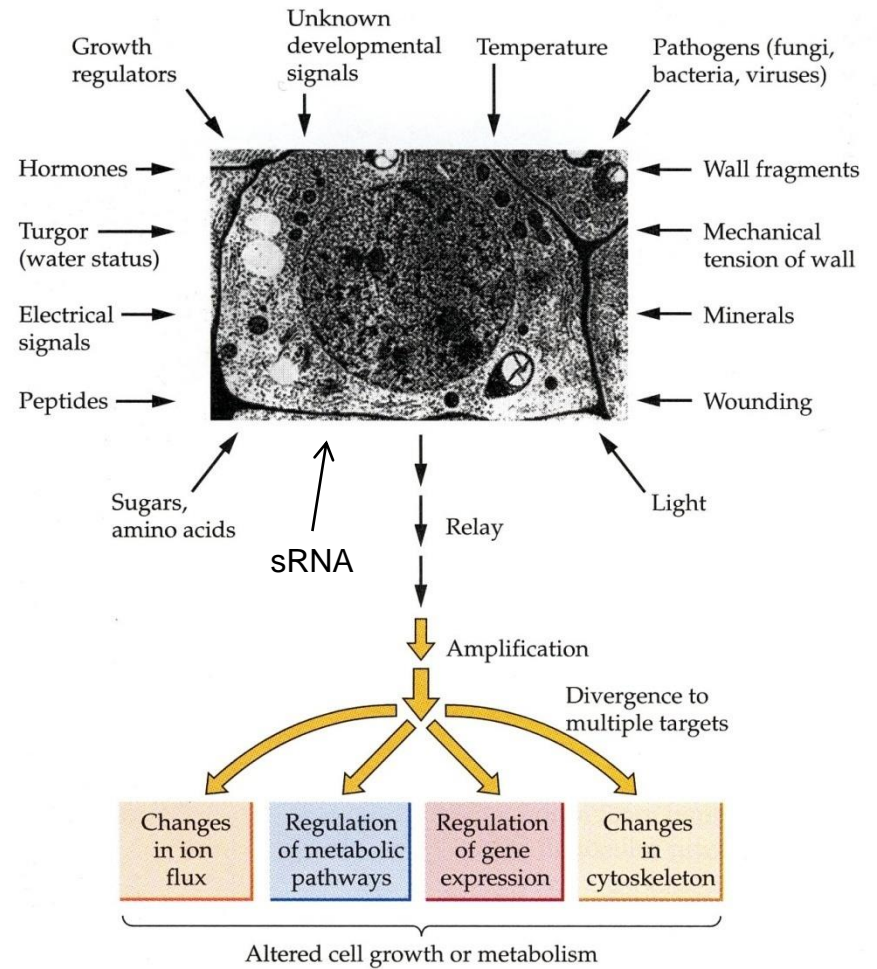
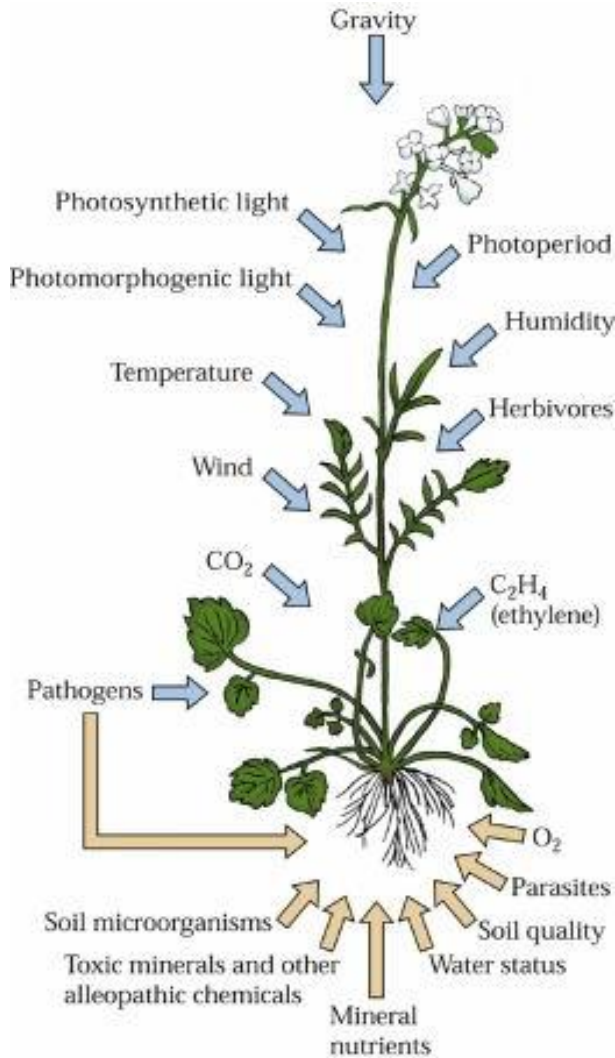
Poziční informace, kterou získává každá buňka v rostlinném organismu, je pro osud buněk mnohem důležitější než jejich klonální historie.

Poziční informace je získávána pomocí komunikace mezi buňkami – signalizací.

Ablace apikálního meristému *Arabidopsis* má za následek vytvoření nového apikálního meristému v sousedství ablatovaných buněk



Typy signálů: externí a interní



Příjem a zpracování signálu

- Přenos signálu zahrnuje: **příjem** signálu, **zesílení** signálu, **přenos** signálu, specifickou **aktivaci buněčné odpovědi**.

Specifická odpověď:

-degradace proteinových represorů a regulace genové exprese

-regulace metabolismu

-změna toku iontů

-změny v organizaci cytoskeletu atd.

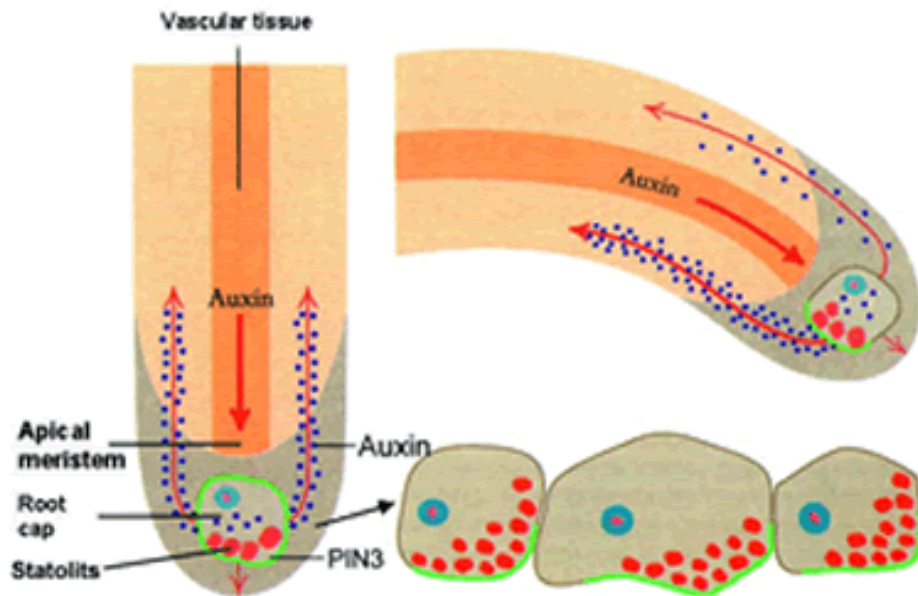
- Odpovědi mohou být rychlé (vteřiny až minuty) či pomalé (hodiny až dny)

- Příjem a zpracování signálu nemusí nutně proběhnout ve stejné buňce

- Odpověď na stejný signál nemusí být stejná u všech rostlin a všech buněk

Stejný signál může mít různé následky v různých částech rostliny – tok a hromadění auxinu

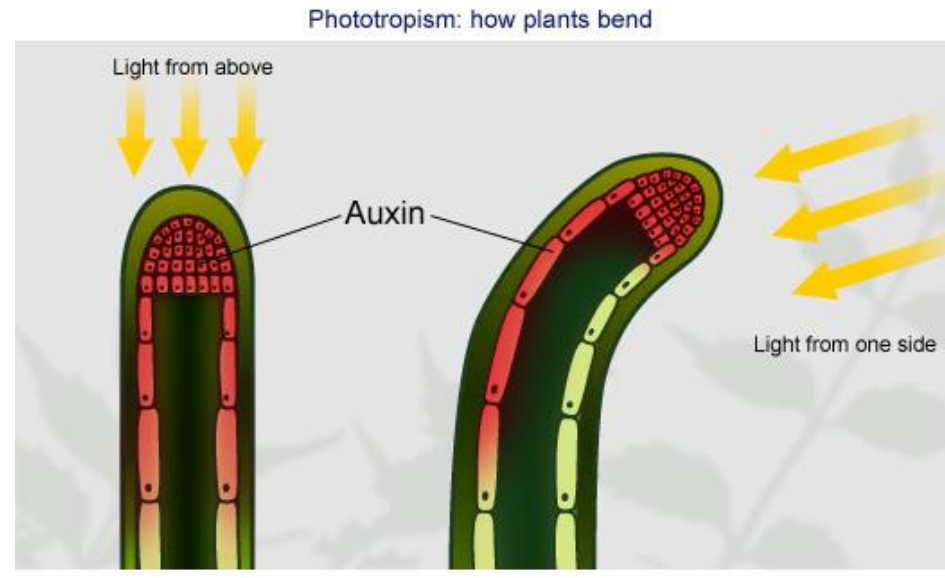
Pozitivní gravitropismus kořene



Model of root gravitropism. Auxin is provided to the root tip through the stele, is laterally distributed symmetrically away from the columella and is transported upward through the lateral root cap and epidermis to the elongation zone of the root. After reorientation of the root, statoliths in the columella sediment to the lower side of the cells (inset), PIN3 is relocated and facilitates auxin transport to the lower side of the root. From there, auxin is transported to the elongation zone, where it inhibits cell elongation, resulting in downward bending of the root.

<http://www.psb.ugent.be/auxin-projects/286-endocytosis-and-recycling-in-plants>

Pozitivní fototropismus stonku

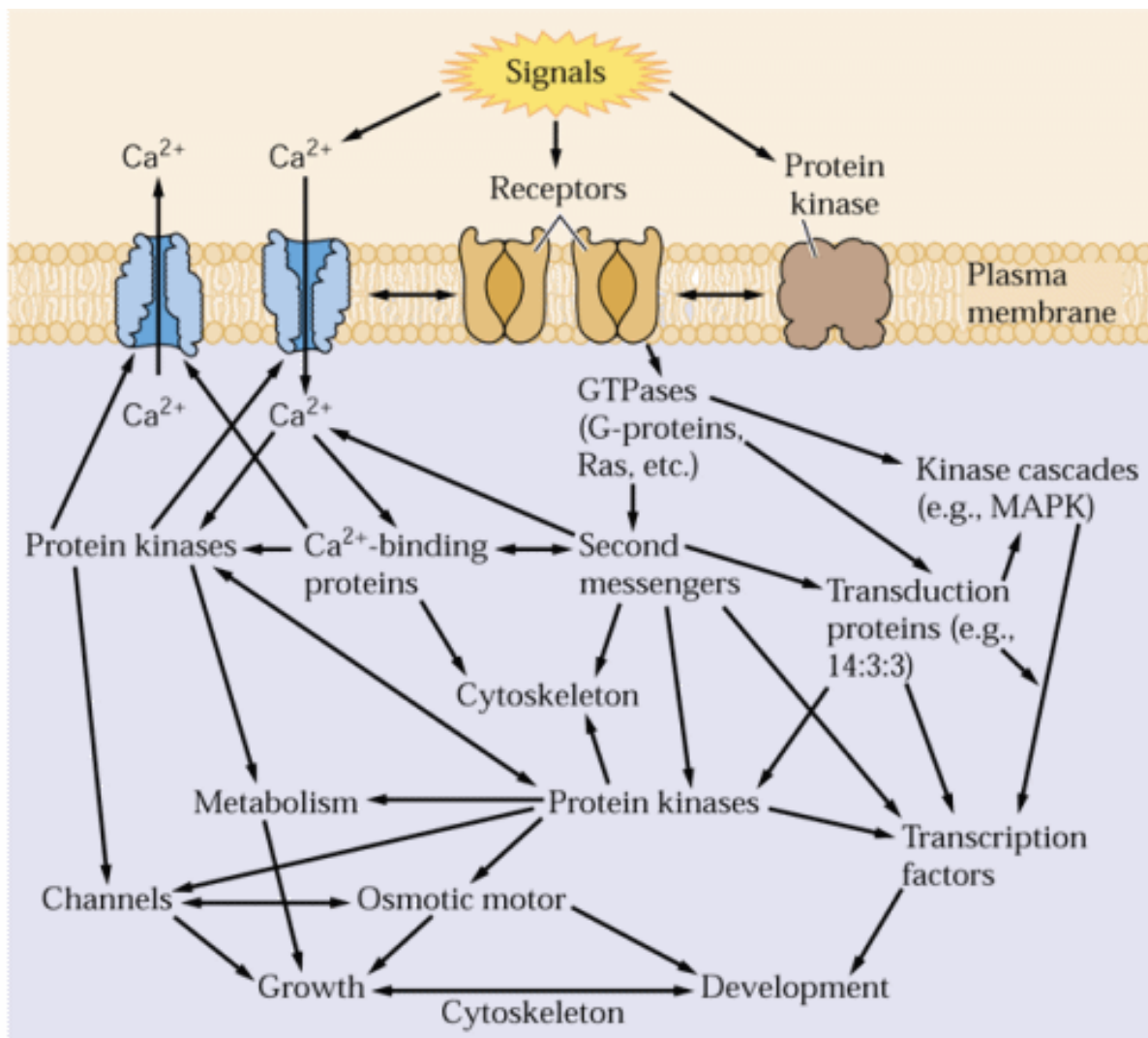


The plant hormone auxin causes plant cells to elongate. When a shoot is directly under light, auxin produced in the growing tip spreads equally down both sides of the plant. If light is from one side only, auxin collects on the shady side causing the cells on that side to elongate. That lopsided elongation produces a bend in the plant stem.

<http://www.abc.net.au/science/articles/2010/09/30/3025894.htm>

Interakce mezi signálními kaskádami – „crosstalk“

- zajištění specifické odpovědi na širokou škálu působících signálů



Receptory

Receptor je protein, který váže specifické molekuly (ligandy), a spouští buněčnou odezvu na tyto ligandy.

Typy receptorů:

- Proteiny (enzymová aktivita, vazba dalších proteinů)
- Barviva – pigmenty asociované s proteinovou molekulou
- Iontový kanál

Umístění receptorů:

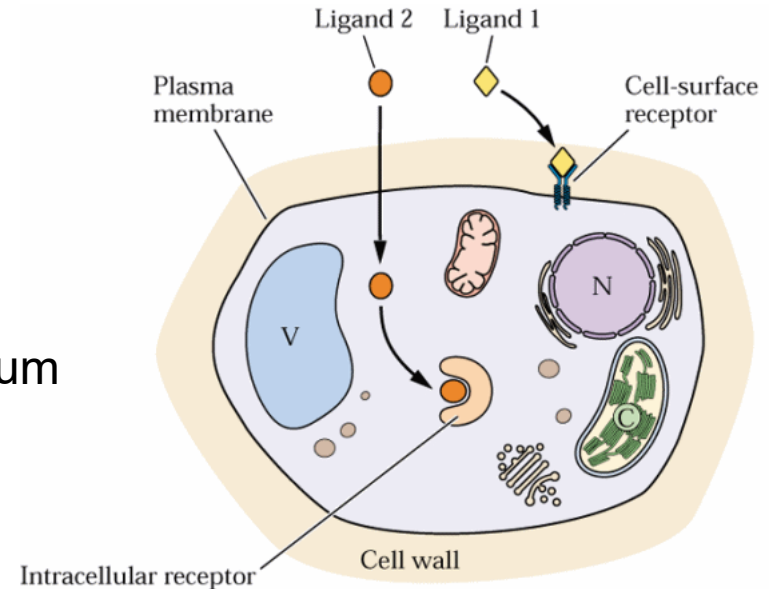
Na membránách: -Plazmatická membrána

-Endoplazmatické retikulum

V cytosolu:

-Cytoplazma

-Jádro



Porovnání signalizace u rostlin a živočichů

Mnohobuněčnost vyvinuta nezávisle u rostlin a živočichů → podobné dráhy pro vnitrobuněčnou komunikaci, rozdílné dráhy pro mezibuněčnou komunikaci

Ca²⁺ a NO signalizace rozšířená

cAMP x **cGMP**

Receptory spojené s **G-proteiny**: rozšířené povrchové receptory u živočichů
X

Receptory spojené s **enzymy** (Ser/Thr kinázy) na PM rostlinných buněk

Dvoukomponentní signální systém: znám u bakterií a rostlin, nikoliv u živočichů

Fotoreceptory u rostlin

Proteinové kinázy a jejich kaskády - základní složky buněčné signalizace

Proteinové kinázy – nejrozšířenější způsob regulace genové exprese.

Proteinové kinázy katalyzují reverzibilní transfer γ -fosfátu z ATP na Ser, Thr (serin/threonin), Tyr (tyrosin kináza) či His (histidin kináza) cílového proteinu → změna aktivity proteinu.

Jedna kináza může fosforylovat velké množství dalších molekul → amplifikace signálu.

Aktivita kináz je balancována aktivitou **fosfatáz**, které naopak fosfát z proteinů odstraňují.

Proteinové kinázy a jejich kaskády - základní složky buněčné signalizace

Proteinové kinázy představují nejrozšířenější typ signálních molekul na plazmatické membráně rostlin.

Receptor na membráně spojen s enzymem – kinázou: receptorová kináza (**Receptor-like kinases - RLK**)

-600 proteinů v Arabidopsis, 1100 v rýži

-receptorové kinázy typu serin/threonin, histidin-kinázy dvoukomponentního systému (tyrosin kinázy v rostlinách vzácné)

-Rostlinně specifické kinázy, jejichž aktivita je regulována vazbou **kalmodulinu**.

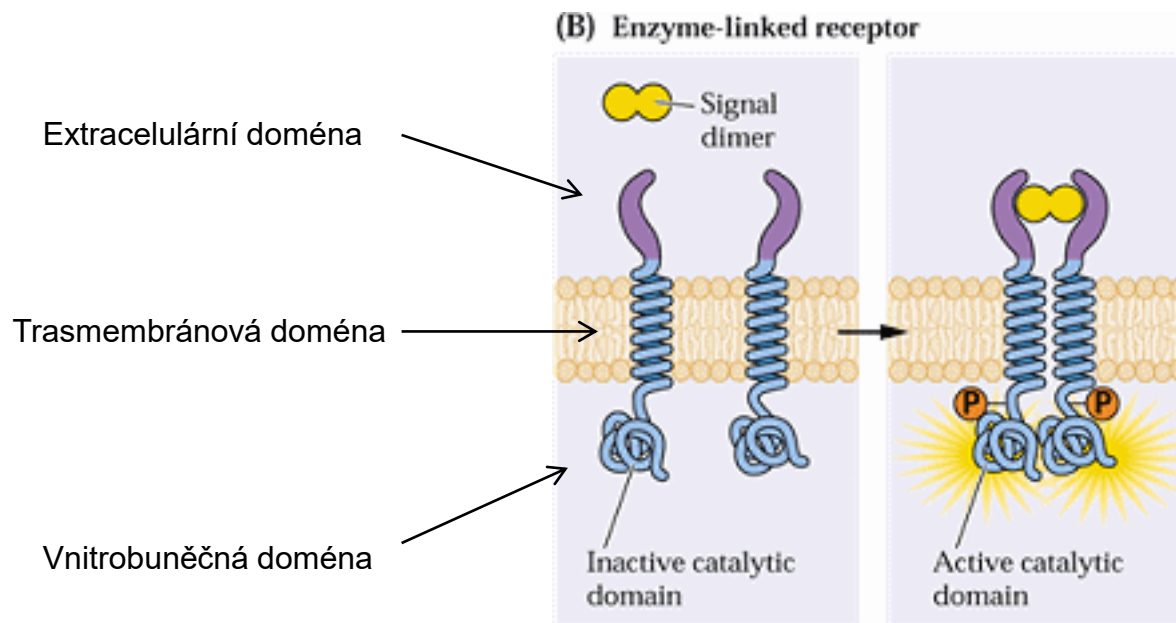
-MAP kinázy

-Receptorové kinázy se účastní širokého rozmezí procesů

Receptorové kinázy (RLK)

RLK mají extracelulární doménu (vazba ligandu), transmembránovou doménu a intracelulární kinázovou doménu

Po aktivaci podstupují dimerizaci podjednotek receptoru a následnou autofosforylaci, tedy aktivaci.

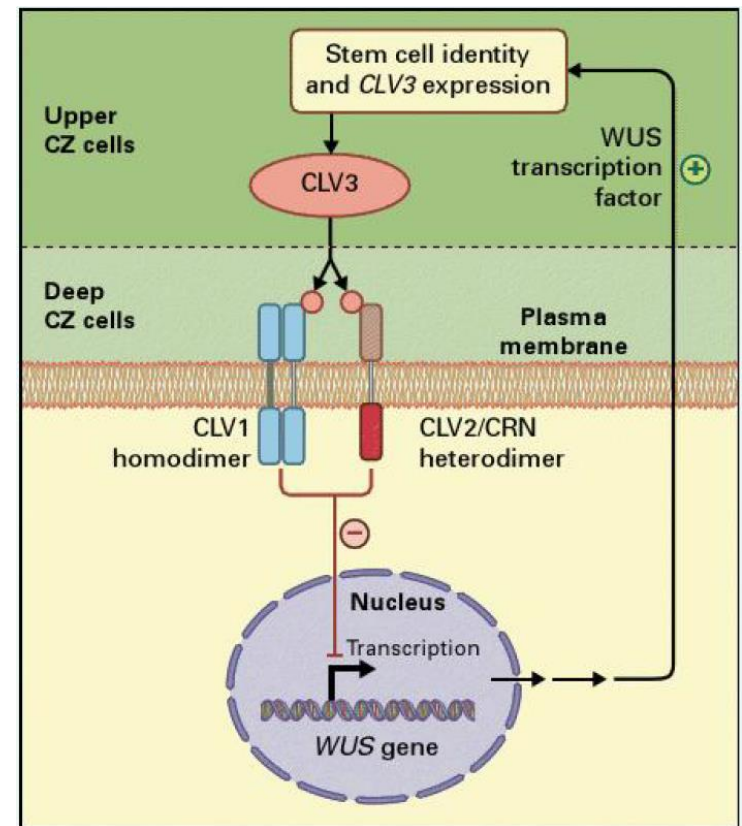
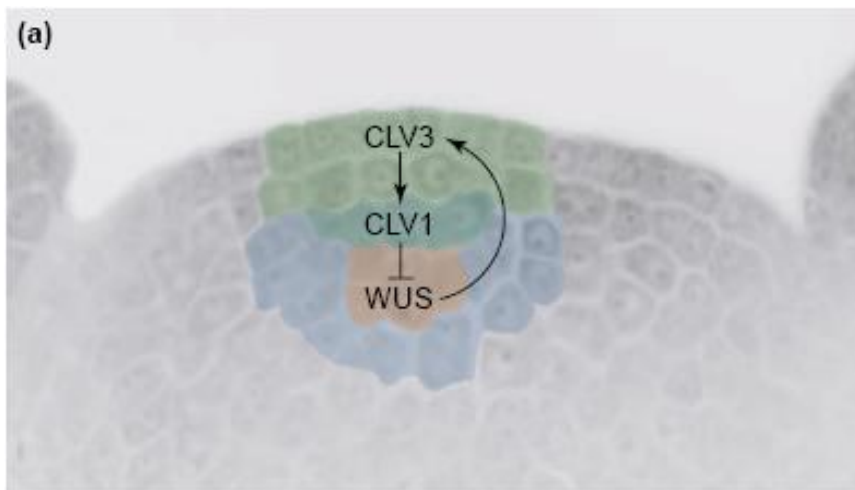


Receptorové kinázy (RLK)

CLAVATA / WUSCHEL signalizace a udržování meristému

Absence proteinů CLAVATA 1, 2 nebo 3 = zvětšování meristému

Absence proteinu WUSCHEL = neschopnost udržovat meristéum



WUS: transkripční faktor

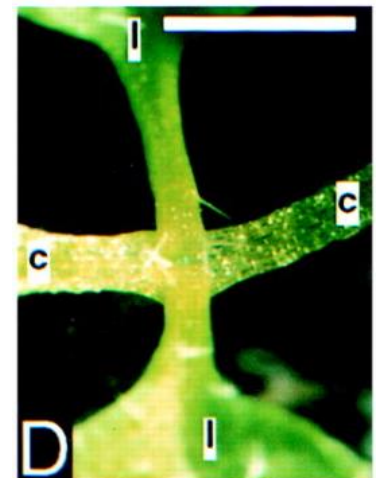
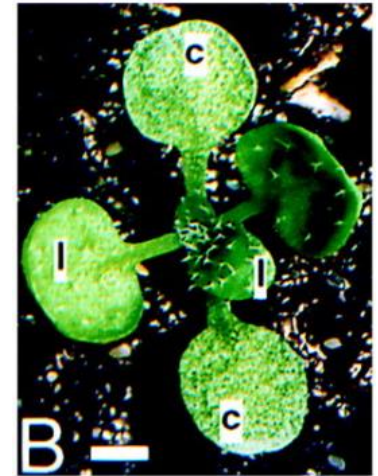
CLV1,2: receptory spojené s enzymem (kinázy)

CLV3: signální peptid (13 kDa)

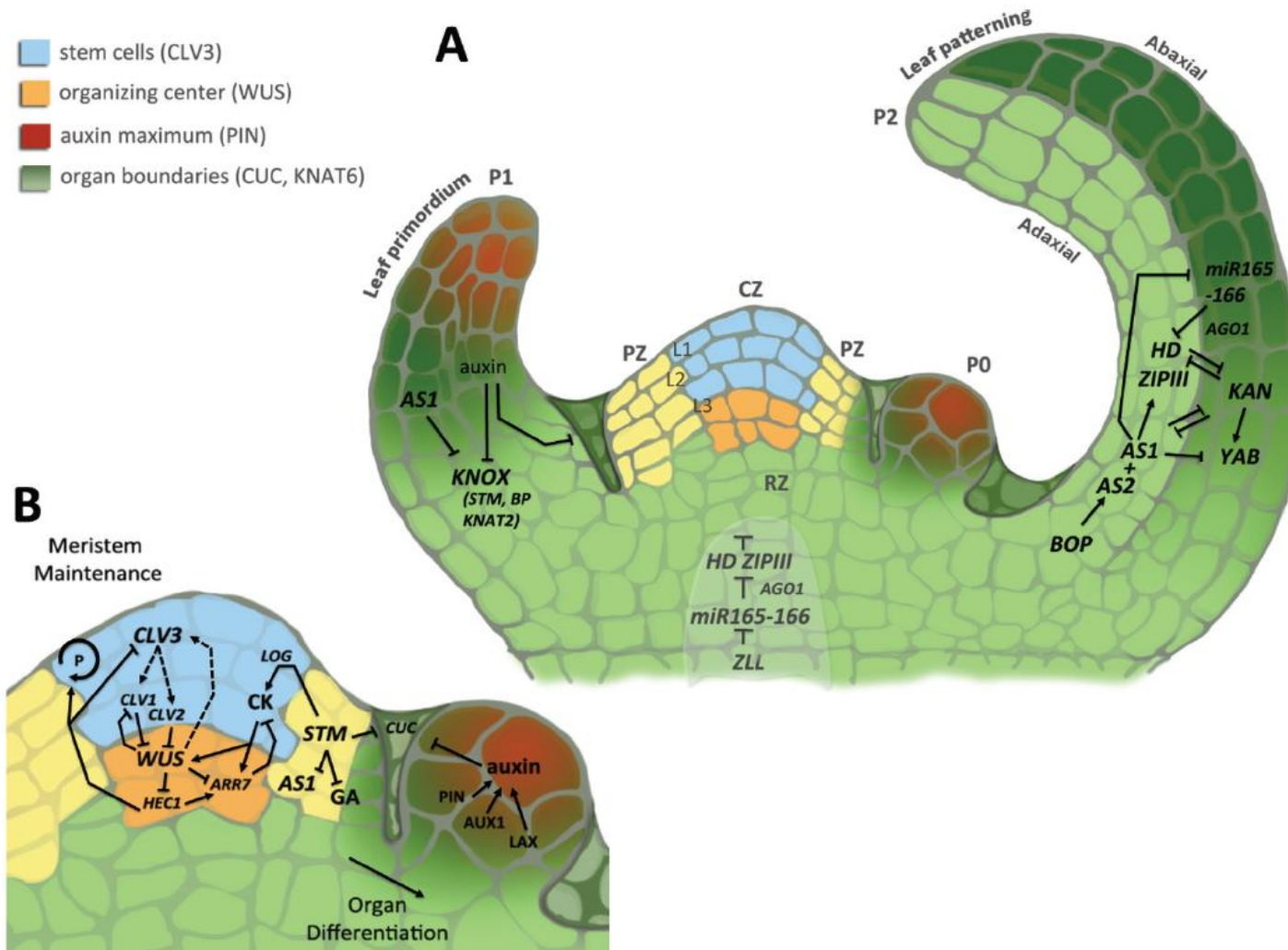
Zpětnovazebná smyčka WUS-CLV1-3 zajišťuje stabilní velikost a funkci meristému

Absence proteinů CLAVATA 1, 2 nebo 3 = zvětšování meristému

Absence proteinu WUSCHEL = neschopnost udržovat meristém



CLAVATA / WUSCHEL signalizace je zapojena v dalších signálních drahách, kontrolujících např. formování laterálních orgánů



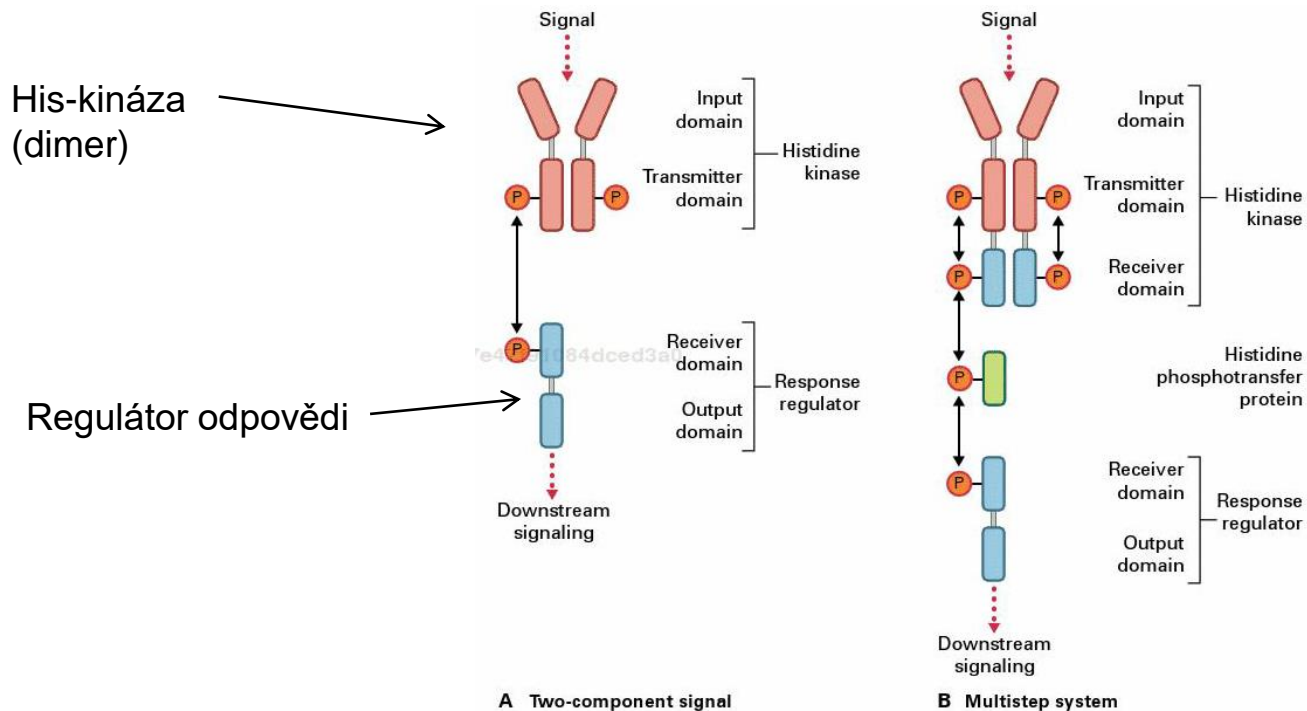
Typy receptorů – receptor spojený s enzymem

Histidin kináza a signalizace v rostlinných buňkách

Dvoukomponentní systém – receptorová His-kináza známá z bakterií

Odvozený vícekomponentní systém signalizace přítomen u prokaryot, **rostlin** a hub (nikoliv u živočichů), pravděpodobně zmnožením základních komponent dvoukomponentního systému

- Receptor pro **etylén** na membráně ER, receptor pro **cytokininy** na PM

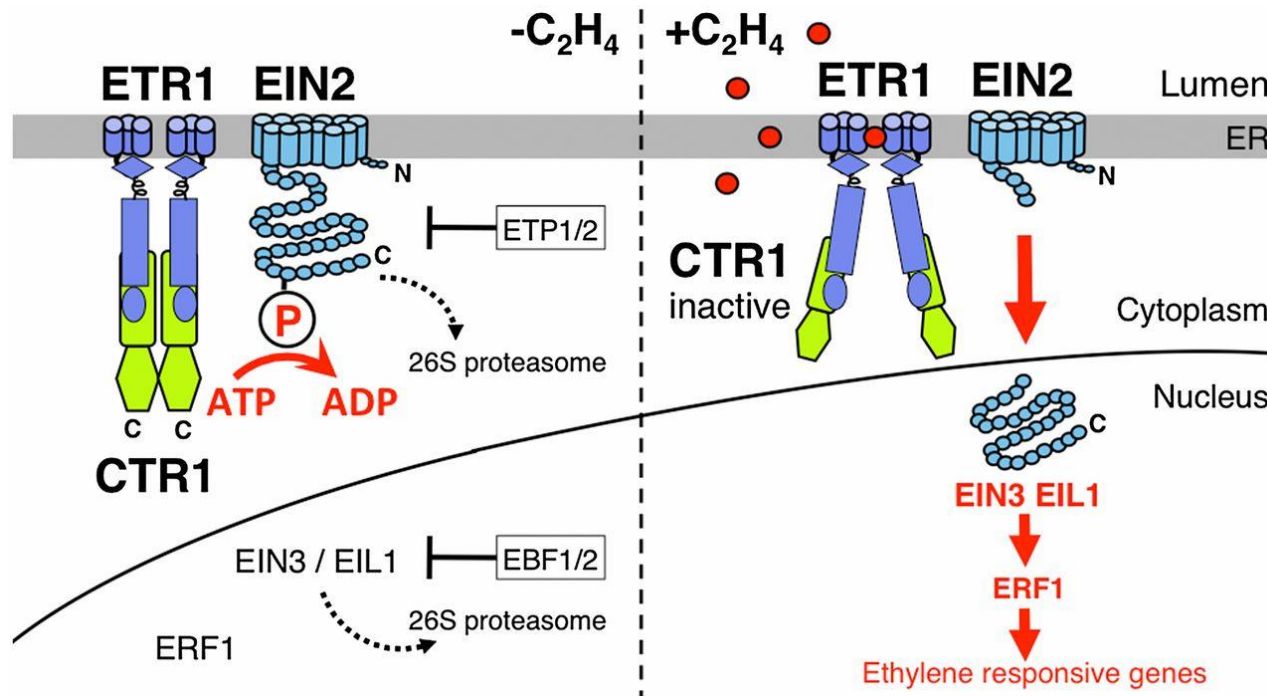


Model of ethylene signaling.

Receptor pro **etylén** na membráně ER v nepřítomnosti etylénu aktivuje CTR1. CTR1 fosforyluje C-terminální peptid proteinu EIN2, který je díky tomu degradován.

(ETR1, CTR1 a EIN2 tvoří zřejmě proteinový komplex na PM).

V přítomnosti etylénu je etylénový receptor **inaktivován**, CTR1 se stává neaktivním. C-terminální peptid EIN2 není degradován, ale translokován do jádra, kde indukuje expresi genů pro etylénovou odpověď.



Ju C et al. PNAS 2012;109:19486-19491

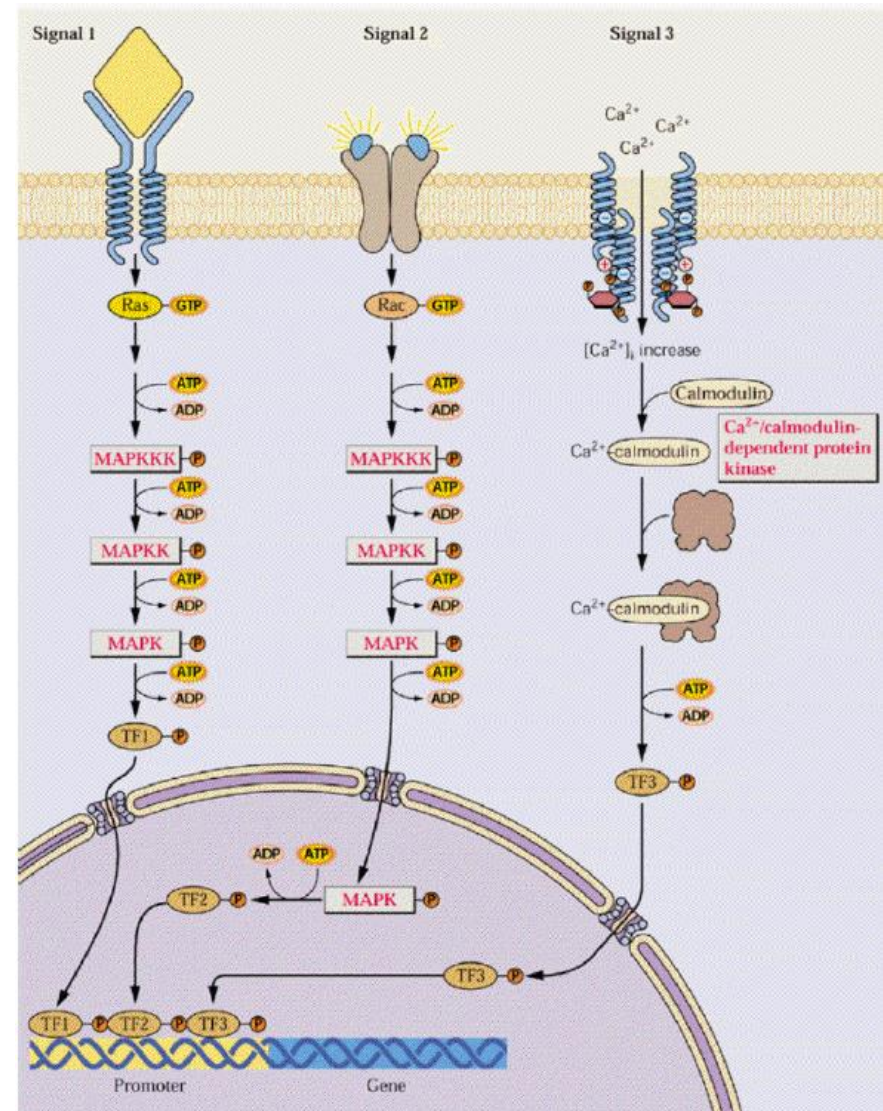
Proteinové kinázy a jejich kaskády - základní složky buněčné signalizace

MAPK (mitogen-aktivované kinázy) vytvářejí kaskádu, jež slouží k přenosu a zesílení signálu v buňce.

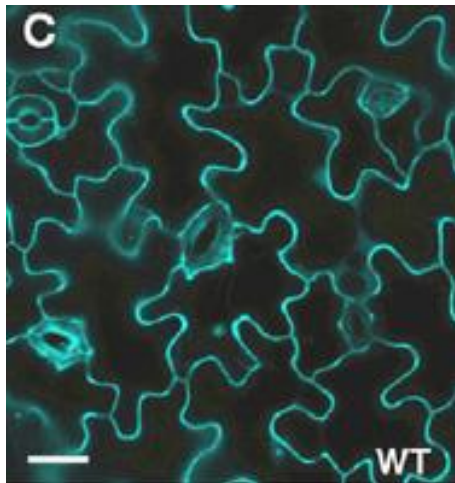
60 druhů MAPKKK, 10 MAPKK a 20 MAPK v Arabidopsis:

- Tisíce možných kombinací kaskády
- Model přesýpacích hodin

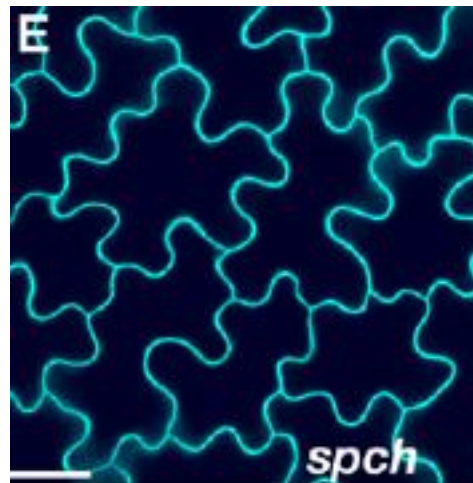
U rostlin se MAPK kaskáda uplatňuje např. v kontrole polarity dělení buněk, regulaci asymetrického dělení během embryogeneze a tvorby průduchů, a v odpovědi na abiotický a biotický stres.



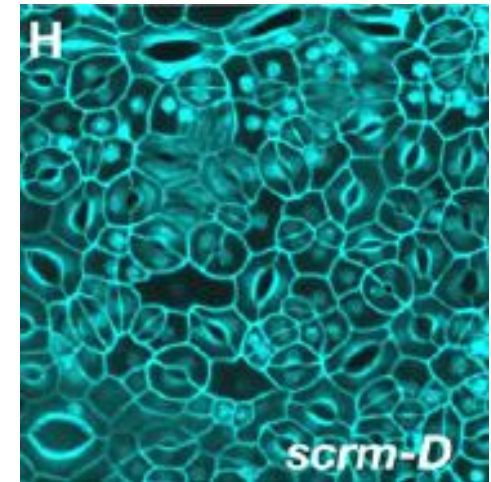
MAPK dráha regulující diferenciaci průduchů - YODA



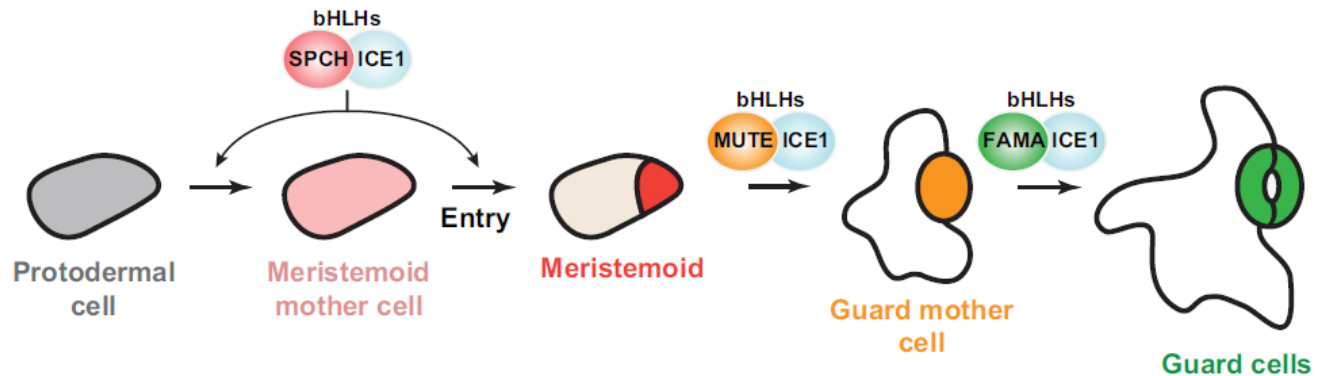
WT rostliny



Mutant *speechless*

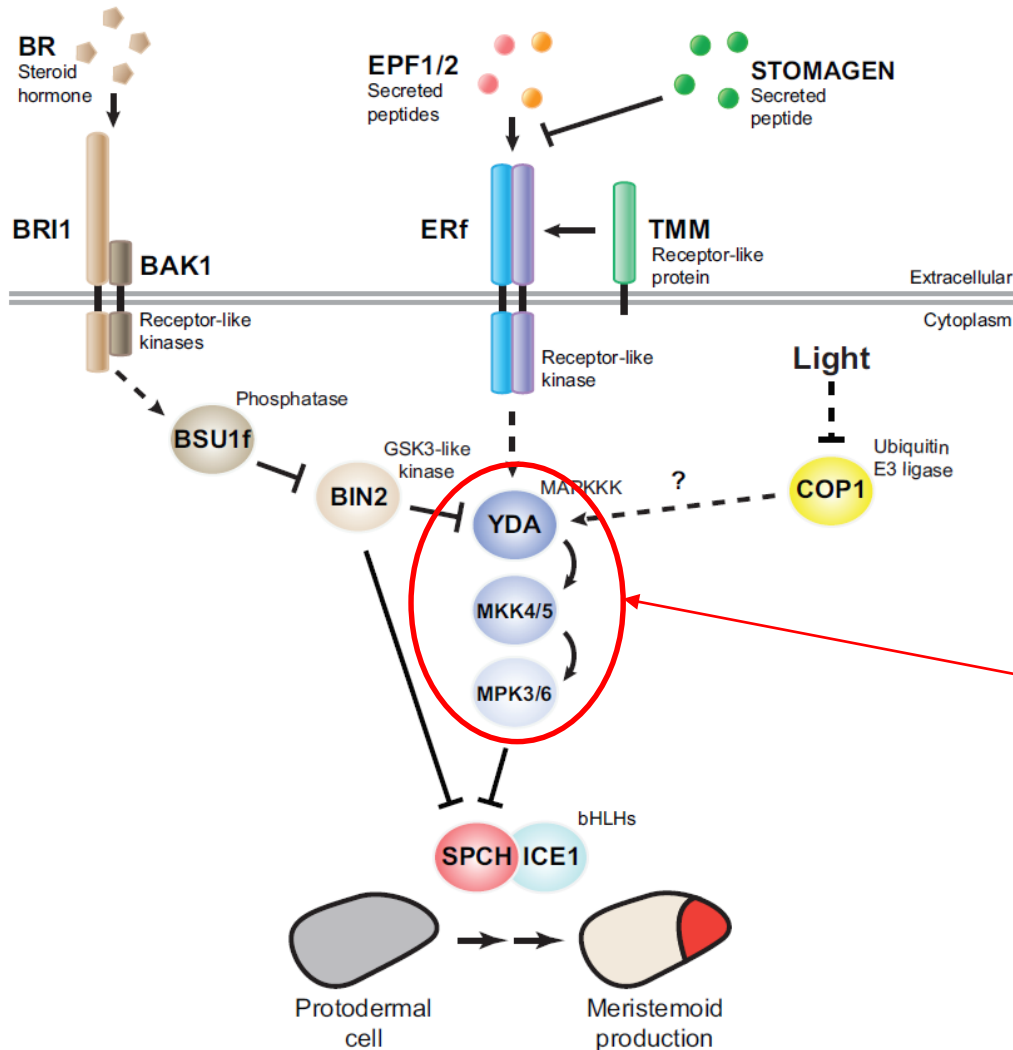


Mutant *scream*



SPCH (SPEECHLESS): transkripční faktor nutný pro diferenciaci pokožkové buňky v průduch

MAPK dráha regulující diferenciaci průduchů - YODA



MAP kinázová signální dráha YODA, regulující diferenciaci průduchů v pokožce

SPCH (SPEECHLESS): transkripční faktor nutný pro diferenciaci pokožkové buňky v průduch
 EPF1/2: peptid sekretovaný vyvíjející se průduchovou buňkou
 STOMAGEN: peptid sekretovaný mezofylovými buňkami

Typy receptorů – receptory spojené s G-proteiny

Heterotrimerické G-proteiny (signalizace, receptory)

Monomerní (malé) G-proteiny (buněčné vypínače a zapínače)

- váží a štěpí GTP (vazba GTP = zapnuto, vazba GDP = vypnuto)

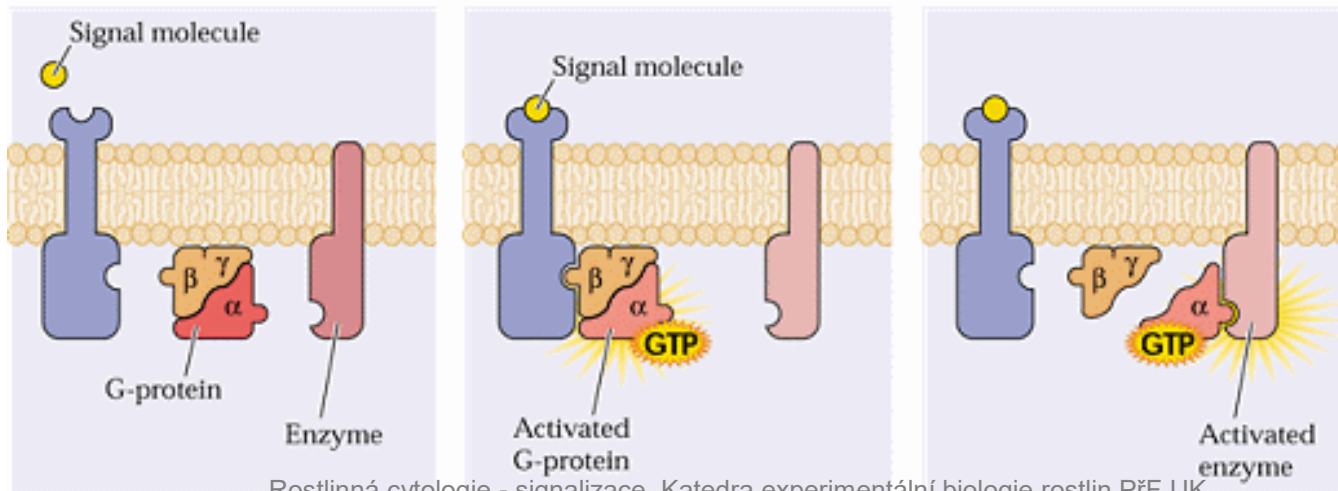
-heterotrimerické G-proteiny fungují v modifikovaném cyklu:

Heterotrimer připojen na receptorový protein → vazba ligandu na receptor → vazba GTP na α -podjednotku a její aktivace → oddělení od komplexu.

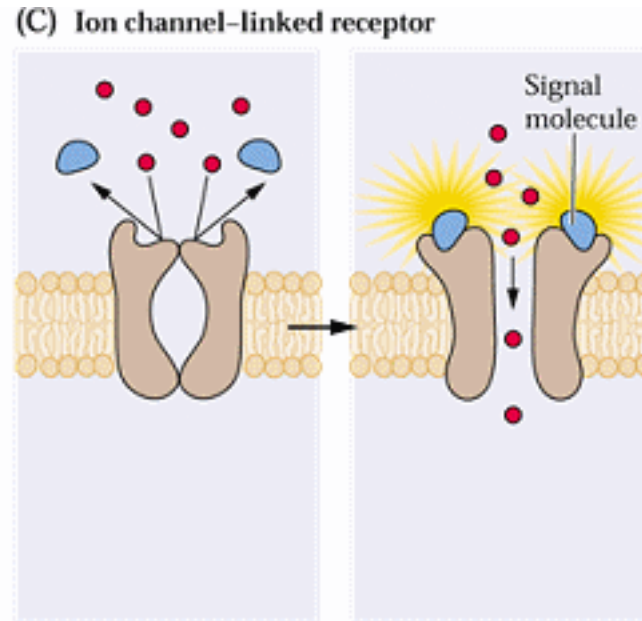
α - i β/γ -podjednotky mohou dále aktivovat další molekuly.

V rostlinách se uplatňují spíše méně. Prokázáno: uplatnění G-proteinů v přenosu signálu modrého a červeného světla, auxinového a giberelinového signálu, v regulaci otevřenosti průduchů, ve stresové reakci vedoucí k programované buněčné smrti.

(A) G-protein-linked receptor



Typy receptorů – iontový kanál



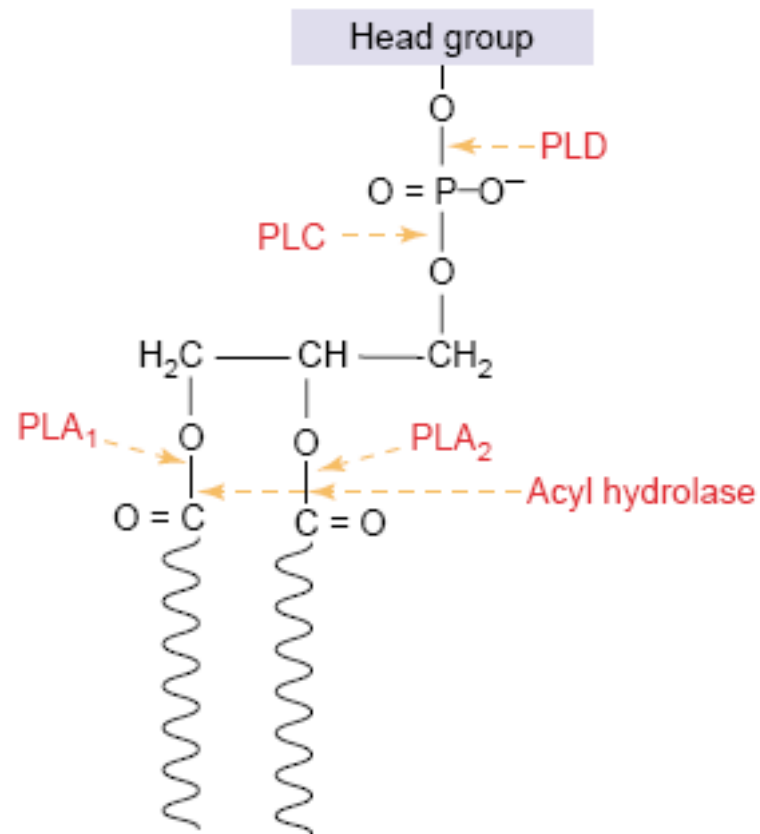
Receptor pro cyklickou ADP-ribózu na vakuolární membráně a ER:
 Ca^{2+} kanál na tonoplastu a ER

Mechanosenzitivní Ca^{2+} kanály na PM

Fosfolipidový signální systém

-Součástí jsou enzymy, hydrolyticky štěpící membránové lipidy – **fosfolipázy (PL)**

-Produkty štěpení mají signální funkci

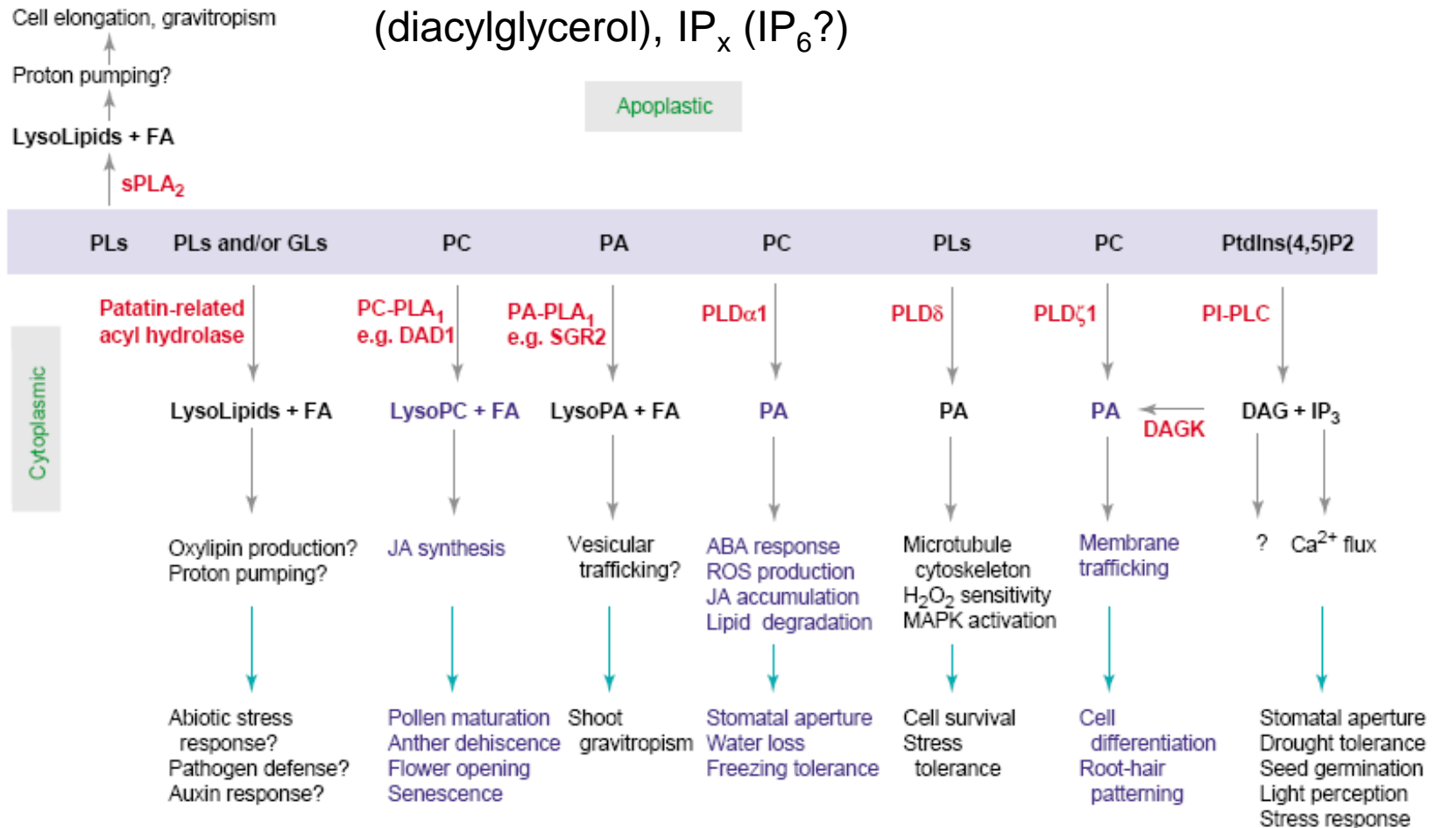


Current Opinion in Plant Biology

Current Opinion in Plant Biology 2004, 7:329–336

Fosfolipidový signální systém

Enzymy: PLA, PLC, **PLD**
 Produkty: **PA (kys. fosfatidová)**, DAG
 (diacylglycerol), IP_x (IP_6 ?)



Current Opinion in Plant Biology

Current Opinion in Plant Biology 2004, 7:329–336

Sekundární poslové

Sekundární posel:

- Rychle mobilizován i inaktivován
- Specifické: specifické enzymy/kanály pro formaci signálu a jeho degradaci
- Malý a rychle se pohybuje v buňce
- Přenáší a zesiluje signál
- Aktivuje další cíle v buňce

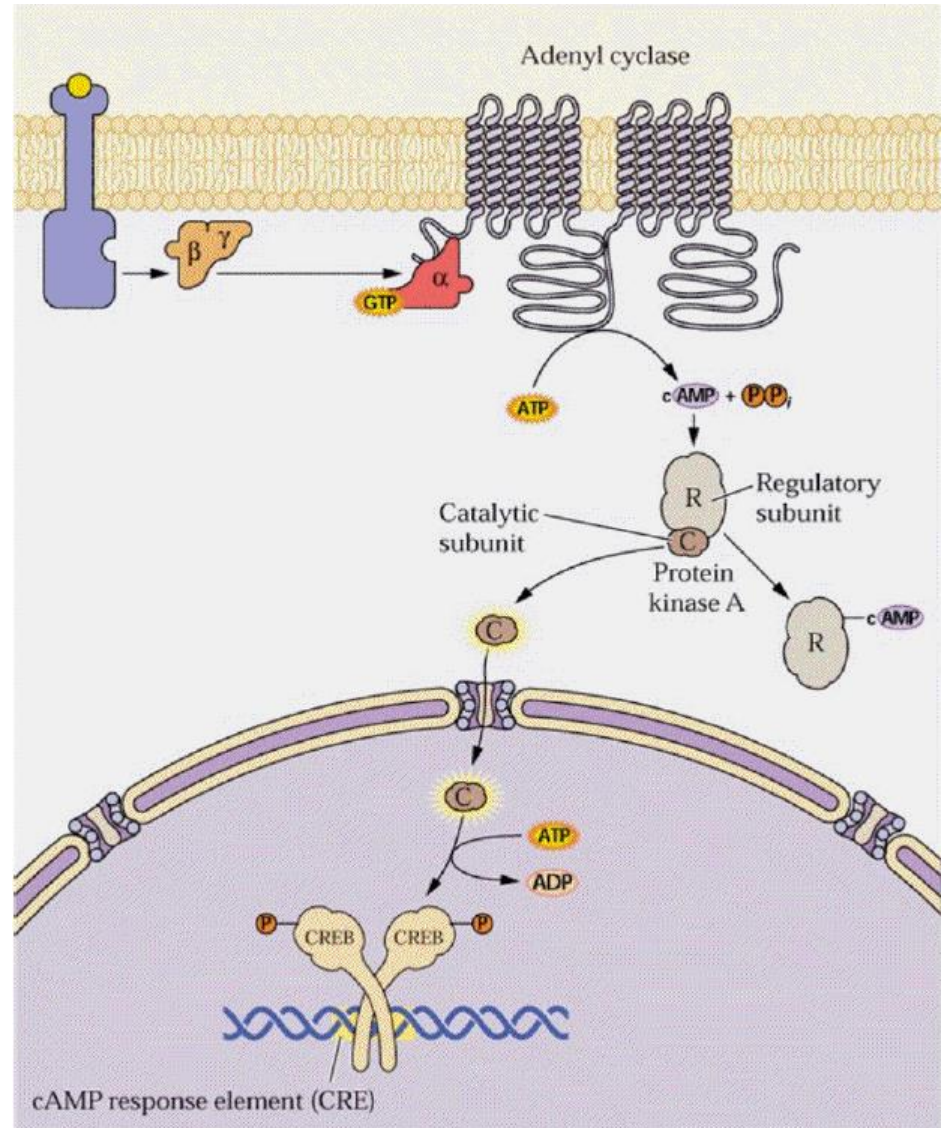
Typy sekundárních poslů:

- Hydrofóbní molekuly (DAG, Pls)
- Hydrofilní molekuly (cAMP, cGMP, IP₃, Ca²⁺)
- Plyny (NO, CO)

Sekundární poslové - cAMP, cGMP

- Syntetizovány nukleotidyl cyklázou (např. adenyl cykláza) z ATP (GTP, CTP)
- Degradovány nukleotid fosfodiesterázou (např. cyklická AMP fosfodiesteráza)
- Většinou součástí G-proteinové signální kaskády (aktivace G-proteinu → aktivace nukleotidyl cyklázy → cAMP (cGMP) → aktivace dalších součástí signální kaskády)

cAMP se u rostlin uplatňují spíše málo. cGMP se účastní několika signálních drah, např. otevírají Ca^{2+} kanály.



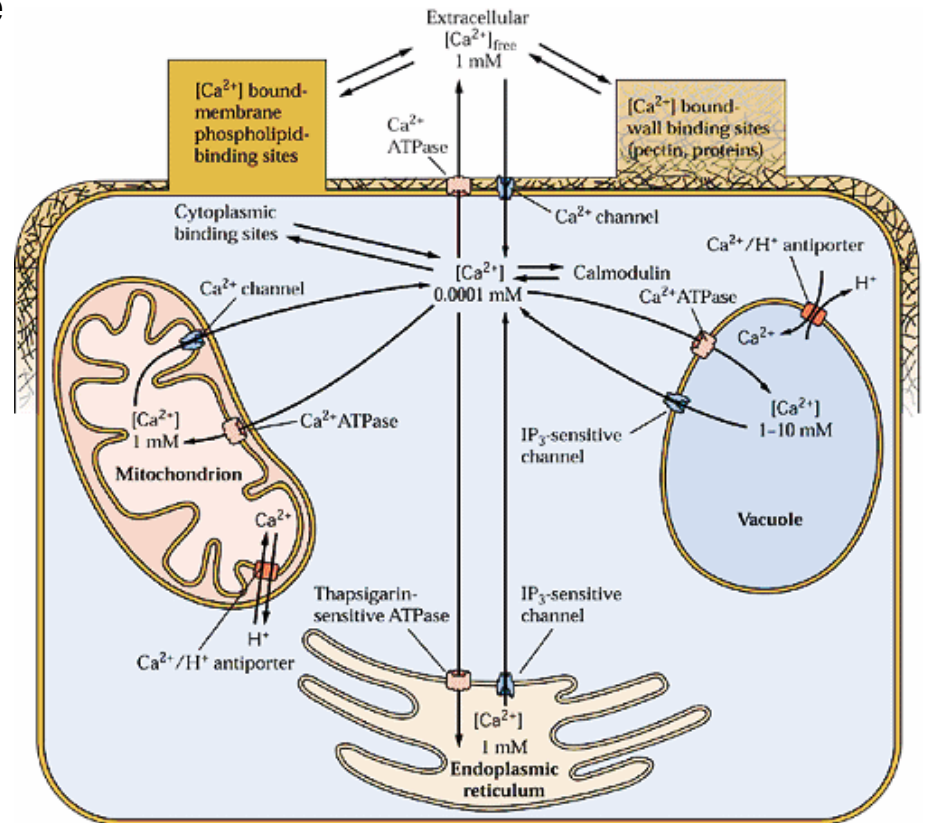
Sekundární poslové – Ca^{2+}

-Nízká koncentrace Ca^{2+} v cytoplazmě (okolo 100-200 nM, udržována Ca^{2+} - ATPázami)

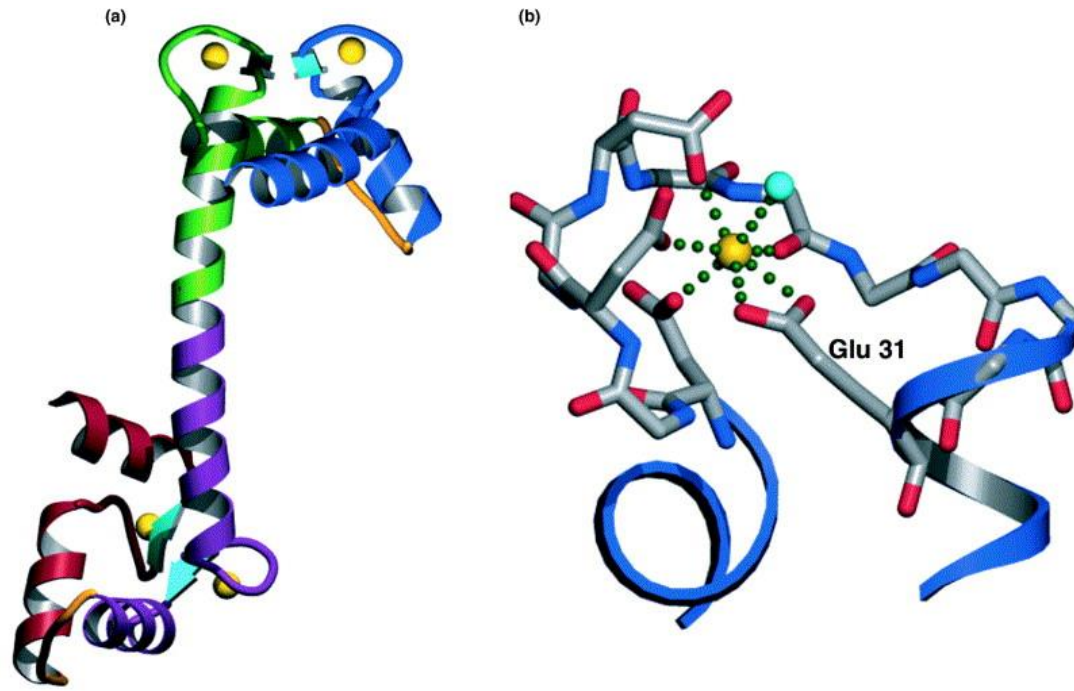
-Signál je spouštěn tranzientním otevřením **Ca^{2+} kanálů** na PM, vakuolární membráně a ER (až 1mM)

-Vazba Ca^{2+} na Ca^{2+} -vazebné proteiny, především **kalmodulin** a **Ca^{2+} -dependentní kinázy** → aktivace

-Aktivace **pump Ca^{2+} -ATPáz** – ustanovení klidové koncentrace Ca^{2+} v cytoplazmě a konec signálu



Sekundární poslové – Ca²⁺



Kalmodulin

-vazba 4 vápníkových iontů

-změna konformace po vazbě vápníku (nemá enzymovou aktivitu)

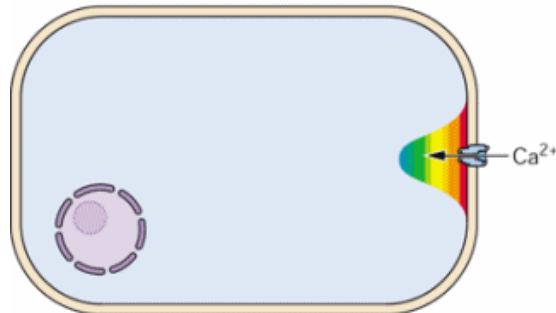
-V genomu *Arabidopsis* přítomno cca 232 proteinů obsahujících EF-hand motiv, z toho 7 kalmodulinů a 50 „kalmodulin-like“ proteinů

Sekundární poslové – Ca^{2+}

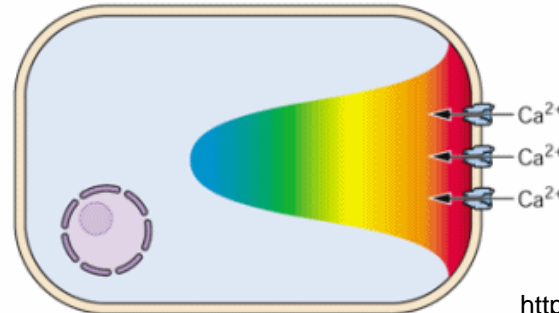
Specifický signál Ca^{2+} v buňce zajištěn:

- Různými Ca^{2+} vazebnými proteiny (několik stovek proteinů vázajících Ca^{2+} kódováno v genomu rostlin)
- Různou koncentrací kalmodulinu v buňkách (kalmodulin = primární receptor Ca^{2+} v buňce) – regulace citlivosti buňky k signálu
- Nízká difúze Ca^{2+} v cytoplazmě – dochází jen k lokálnímu zvýšení koncentrace
- Různé způsoby zvyšování koncentrace: oscilace, vlny, různá délka signálu)

Short signal or few Ca^{2+} channels



Prolonged signal or many Ca^{2+} channels



<https://www.youtube.com/watch?v=tz259nQtx78>

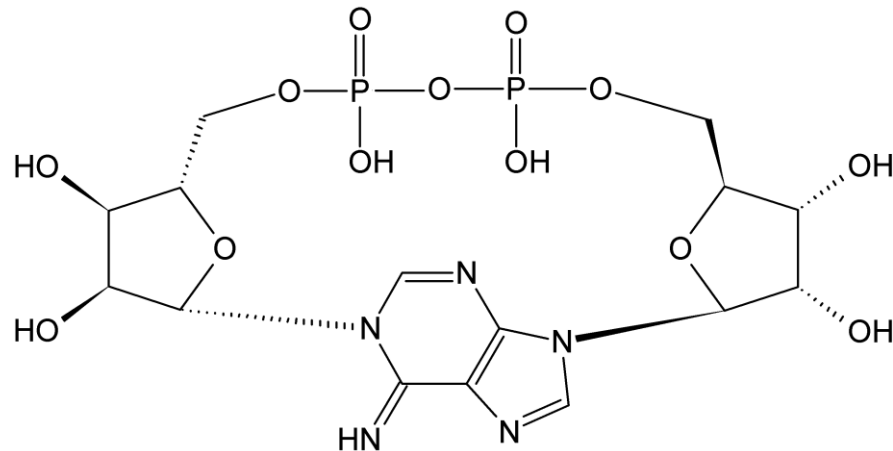
Sekundární poslové – cyklická ADP ribóza

Cyklická ADP ribóza:

-syntetizována z NAD⁺

-Jako druhý posel aktivuje kanály pro Ca²⁺ ve vakuole a snad ER v rostlinné buňce.

-Prokázána její funkčnost např. během signalizace pomocí ABA.



Sekundární poslové – NO (oxid dusnatý)

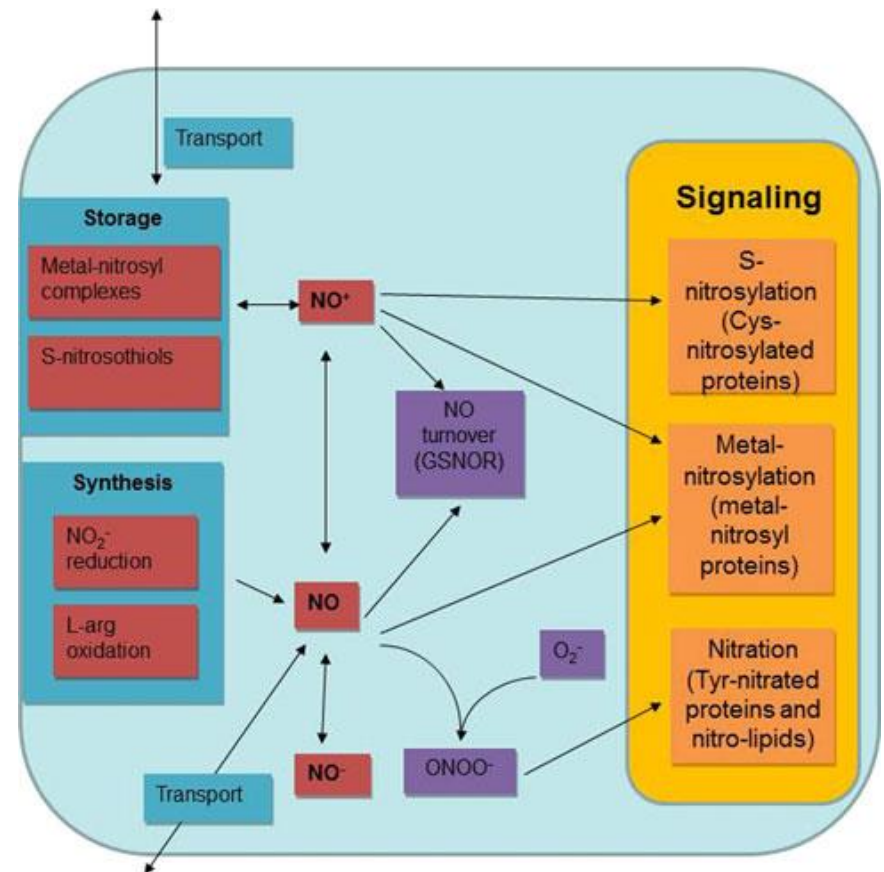
$N=O$

Plynná reaktivní molekula

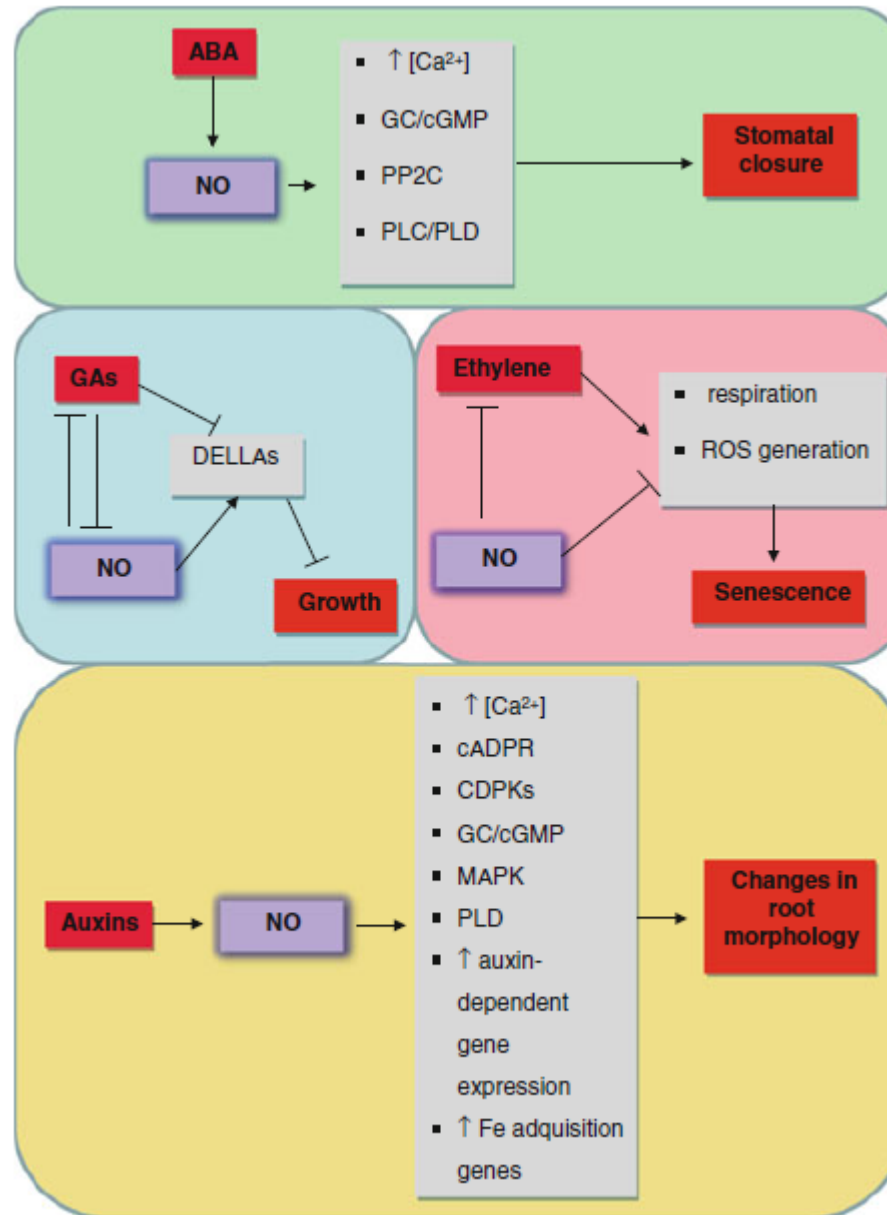
Signální funkce v biologických systémech vč rostlin

Nitrace ($-NO_2$) a nitrosylace ($-NO$) proteinů – modifikace jejich funkce

Funkce spojená s dalšími signálními drahami



Sekundární poslové – NO (oxid dusnatý)



Specifické rostlinné receptory - světlo



Rostliny detekují:

1. Kvalitu (spektrálním složení) světla
2. Množství světla
3. Směr působení (fototropismus)
4. Délku působení (měření času – délky dne (fotoperiodismus), cirkadiánní rytmicita, atp.)

Specifické rostlinné receptory - světlo



Receptory světla:

Fytochromy – receptory červeného světla

Krytochromy – receptory modrého světla

Fototropiny – receptory modrého světla

Proteiny rodiny **Zeitlupe (ZTL)** – receptory modrého světla

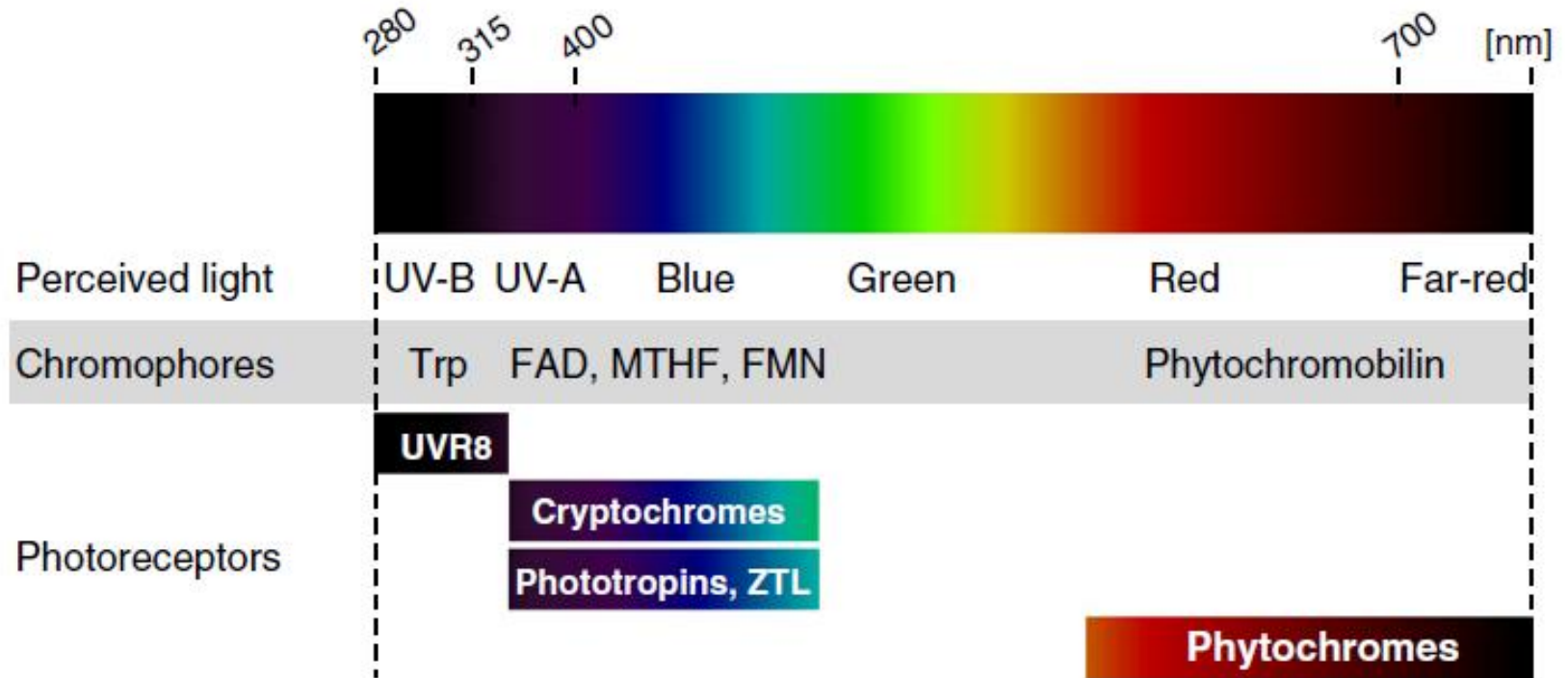
UVR8 – receptor UV-B světla

-Proteinové molekuly s kovalentně vázaných chromoforem

-Funkčně interagují → poskytují rostlině komplexní informaci nejen o kvalitě světla

FOTOMORFOGENEZE: vývoj rostlin řízený světlem.

Specifické rostlinné receptory - světlo



TRENDS in Plant Science

Procesy kontrolované světlem

Inhibice/aktivace klíčení
Inhibice/aktivace růstu hypokotylu
Otevření děloh
Růst děloh
Akumulace antokyanů
Inhibice gravitropismu
Fototropismus různých orgánů
Růst listů
Pohyb listů
Vývoj průduchů
Otevírání průduchů
Akumulace chloroplastů
Avoidance chloroplastů
Elongace stvolu a internodií
Vývoj kořenů
Zelenání kořenů
Akumulace metabolitů
Inhibice/aktivace kvetení

Specifické rostlinné receptory - fytochrom

-Receptor červeného světla

-V cytoplasmě se vyskytuje jako rozpustný homodimerický protein

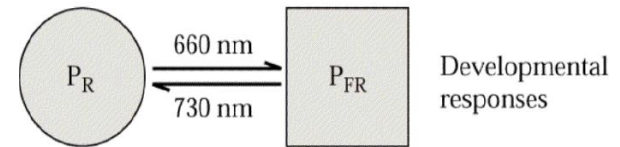
- Fytochrom (PHY) je syntetizován ve formě Pr, na světle se přeměňuje v Pfr - aktivní formu. Po aktivaci je transportován do **jádra**.

- Kódován několika geny:

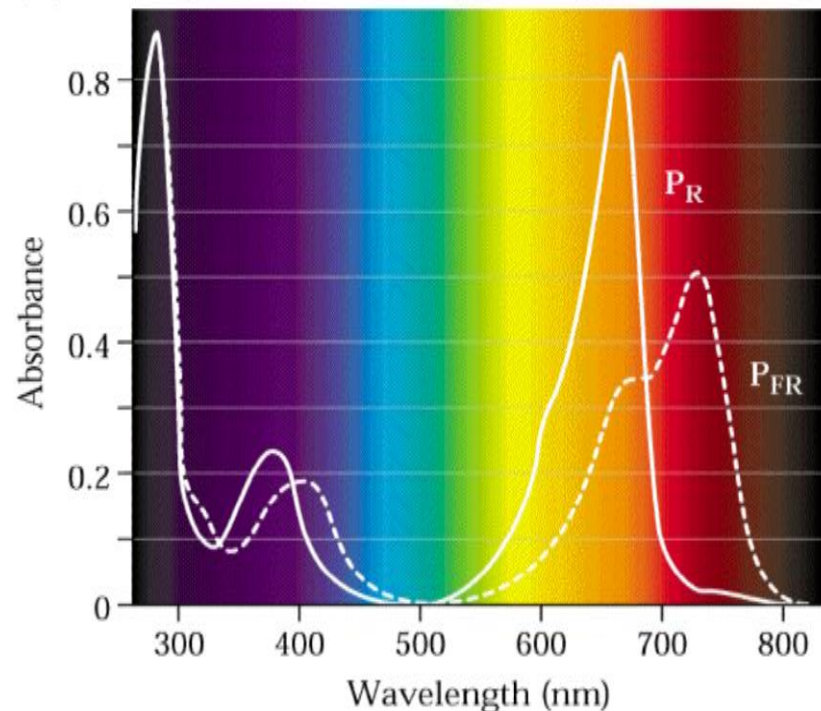
PHYA je syntetizován ve tmě. Po ozáření červeným světlem je přeměněn na Pfr formu, která je vysoce nestabilní a po ozáření dalekým červeným světlem je konvertována zpět na Pr formu.

(klíčení, zelenání rostlin)

PHYB-E jsou stabilní v obou formách a jsou exprimovány nezávisle na světle.



(C) Absorption spectra of P_R and P_{FR}

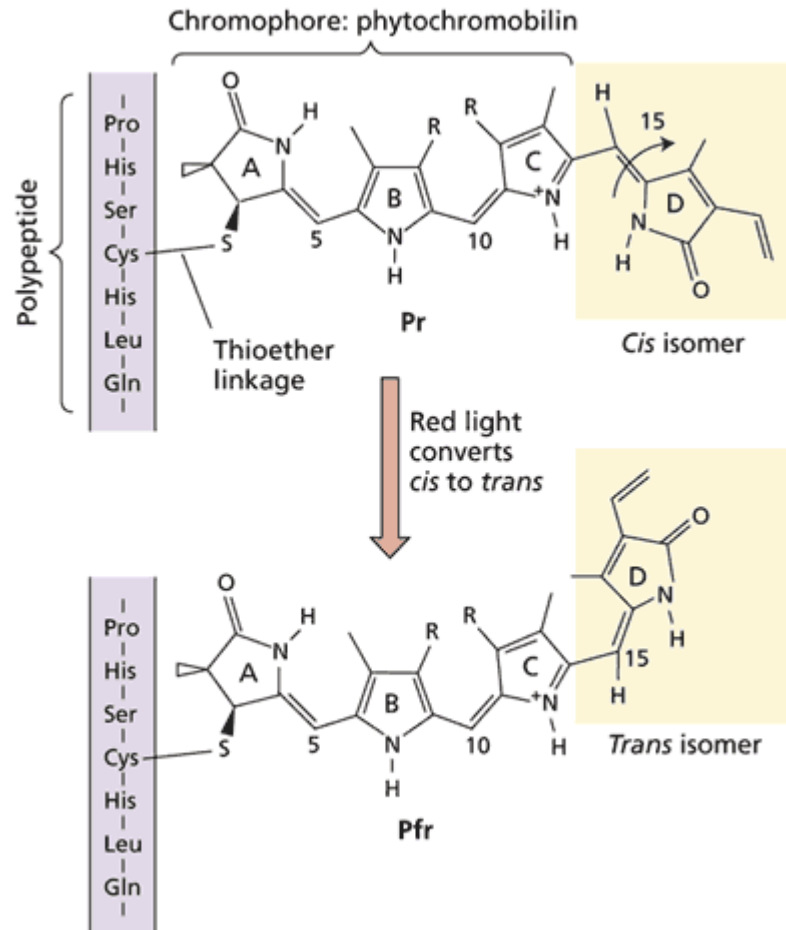


Specifické rostlinné receptory - **fytochrom**

- **Fytochrom** je tvořen dvěma stejnými podjednotkami – **homodimer**.

-Každá podjednotka je tvořena proteinem s kovalentně navázaným chromoforem – **fytochromobilinem**, který podléhá konformační změně po ozáření světlem → aktivace receptoru.

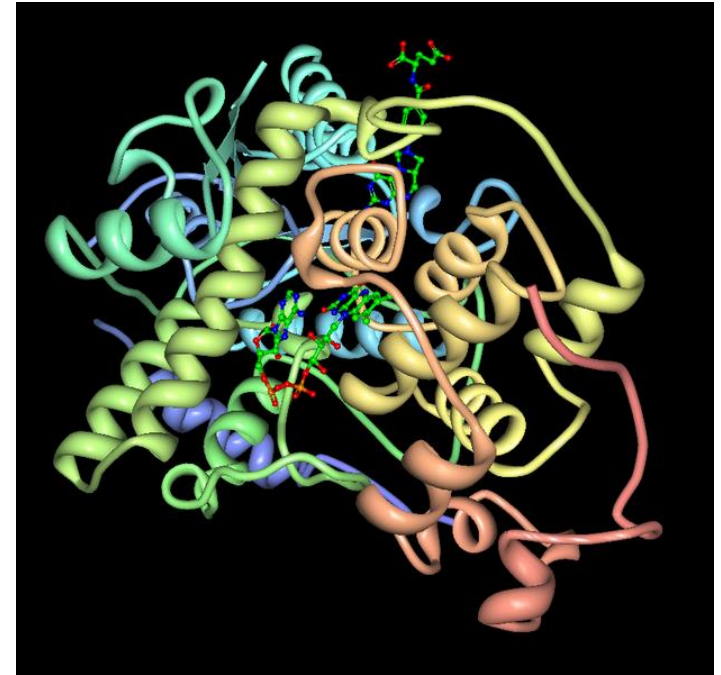
-Po aktivaci světlem dochází k autofosforylaci molekuly dimeru a spuštění další kaskády dějů → fytochrom je **kináza**.



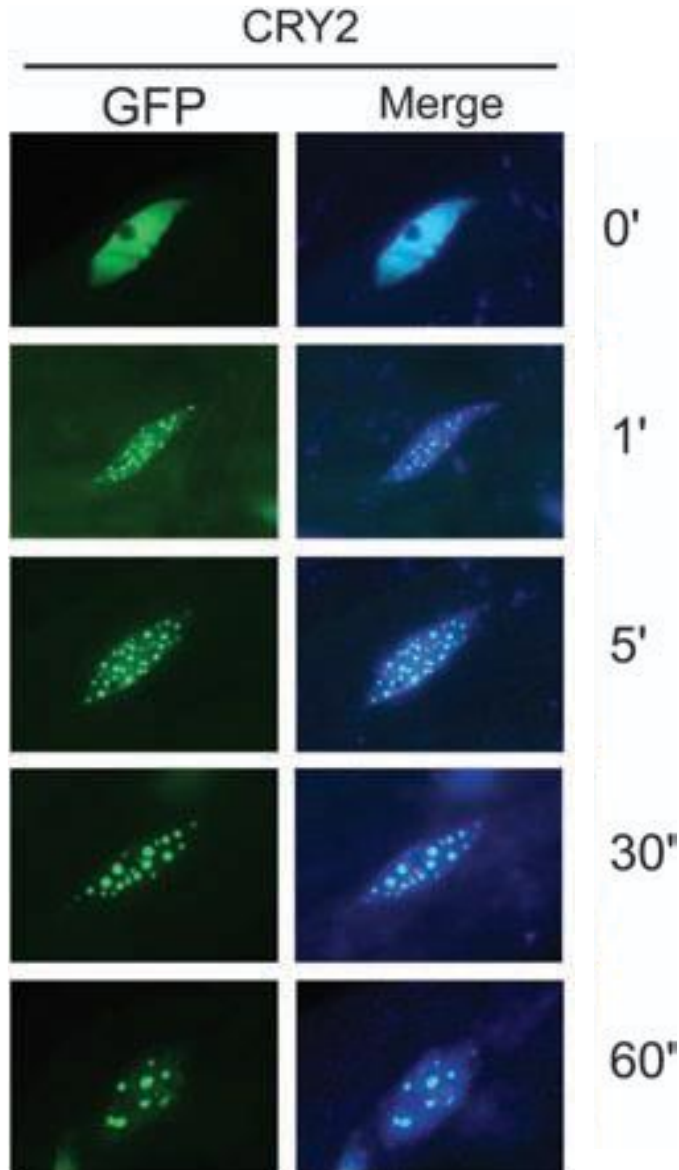
Specifické rostlinné receptory - **krytochrom**

Krytochrom - receptor modrého světla (UV-A / modré světlo)

- Obsahuje dva chromofory - **flavin a pterin**.
- Zřejmě se vyvinul z DNA-lyázy, enzymu pro opravu poškozené DNA
- Eukaryotický protein ztratil posléze enzymovou aktivitu a funguje jako receptor modrého světla spektra UV-A / modrá
- Pro aktivitu jako receptoru nutná dimerizace proteinu. Vazba dalších proteinů – přenos signálu.
- Převážně **jaderné** proteiny (CRY1 a CRY2)
- Regulace **fotoperiodismu** a **cirkadiánní rytmicity**



Specifické rostlinné receptory - **krytochrom**



Po aktivaci modrým světlem molekuly krytochromu dimerizují a jsou transportovány do jádra, kde regulují odpověď na modré světlo (stabilita TF nutných pro expresi či represi genů).

V jádře vytvářejí proteinová tělíška – photobodies, ve kterých dochází k oligomerizaci krytochromů (předpokládána funkce photobodies: usnadnění jejich signální funkce a též degradace).

5-denní etiolované hypokotyly vystavené světlu (čas – minuty) a formace photobodies v jádrech buněk. Modrá – DAPI, zelená –CRY2-GFP

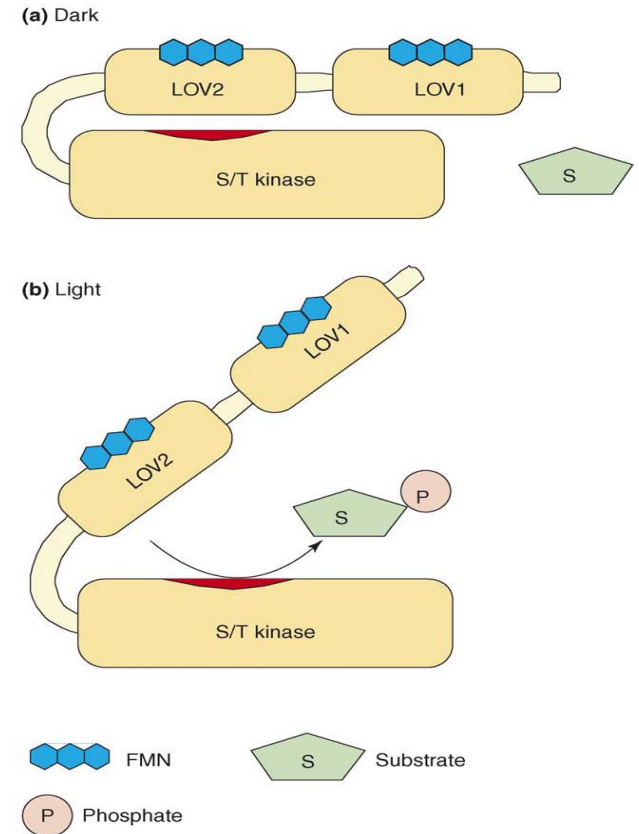
Specifické rostlinné receptory - fototropiny

-Fototropiny - receptory modrého světla

- Obsahují ve své molekule dva **flavinové chromofory**, kovalentně vázané na domény LOV1 a LOV2, a doménu se **Ser/Thr kinázovou aktivitou**.

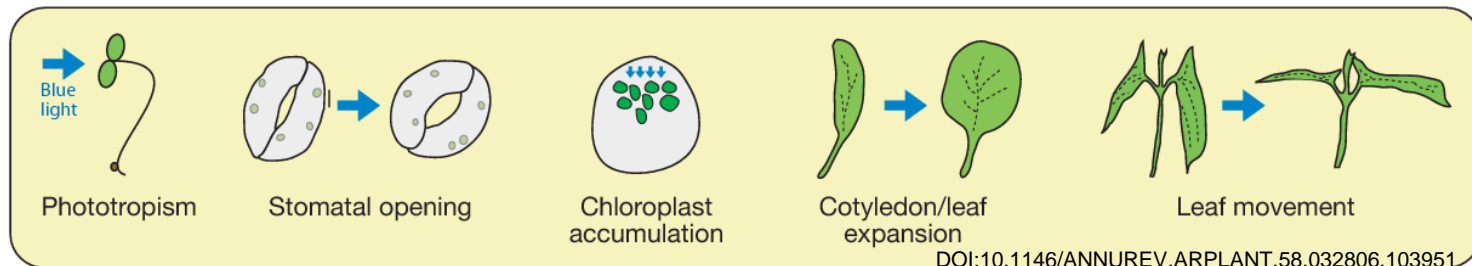
-Po ozáření světlem dochází k uvolnění kinázové domény doménami LOV a fosforylaci dalšího substrátu.

-Fototropiny zprostředkovávají **fototropickou odpověď**, **pohyb chloroplastů** v závislosti na světle, a regulují **otevírání průduchů**.



Current Opinion in Plant Biology

Current Opinion in Plant Biology 2006, 9:503–508



Specifické rostlinné receptory – rodina Zeitlupe

- F-box proteiny ZTL, FKF1 a LKP2
- receptory modrého světla
- detekují kvalitu světla, intenzitu světla a délku jeho působení a integrují tyto informace do regulace **cirkadiánních rytmů a fotoperiodismu**
- mechanismus: zajišťují **degradaci proteinů** fungujících v cirkadiánní rytmicitě a fotoperiodické regulaci

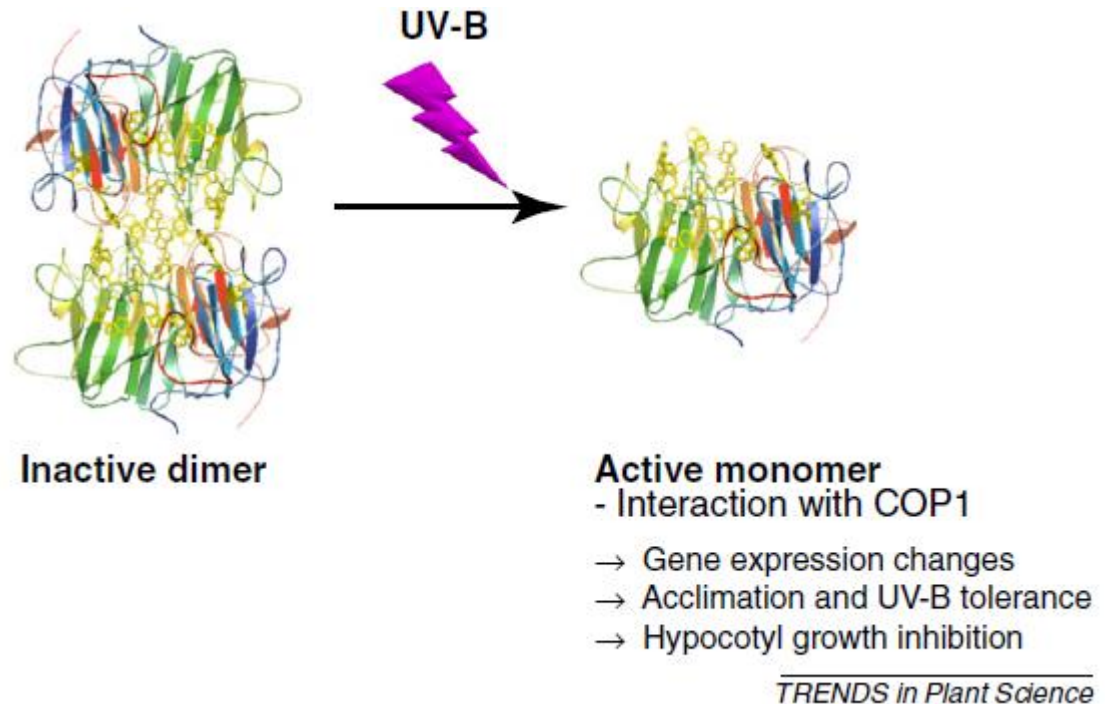
Specifické rostlinné receptory – UVR8

Receptor UV-B světla

- Lokalizován v cytoplasmě a jádře

-Po aktivaci se dimer rozpadá na **aktivní monomer**

-Kontrolované procesy:
Indukce změn genové exprese,
kontrola aklimace, indukce k toleranci vůči UV-B světlu,
inhibice růstu hypokotylu



COP1 - (E3 ubikvitin ligáza)

Přehled známých fotoreceptorů (pro lepší učení 😊)

Název fotoreceptoru	Barva detekovaného světla	Mechanismus signalizace po aktivaci světlem	Hlavní kontrolované procesy	Strukturní informace
Fytochrom	Červená (maxima 660 a 730 nm)	Kináza; po aktivaci translokován do jádra pro další interakce	Vývoj rostliny na světle (klíčení a deetiolizace, vývoj rostliny v závislosti na světelných podmínkách), cirkadiánní rytmy	Dimer
Krytochrom	modrá	Dimerizace proteinu a vazba dalších proteinů; jaderné proteiny	fotoperiodismus a cirkadiánní rytmicita	Dimerizuje po aktivaci
Fototropiny	modrá	kináza	fototropická odpověď, pohyb chloroplastů v závislosti na světle, otevírání průduchů	Aktivace mění konformaci molekuly a umožňuje kinázovou aktivitu
ZTL (Zeitlupe)	UV-A a modrá	F-box proteiny – regulace stability proteinů skrze jejich vazbu na SCF komplex	Cirkadiánní rytmicita a fotoperiodismus	LOV doména v molekule
UVR8 (UV RESISTANCE LOCUS 8)	UV-B	Rozpad dimeru a vazba monomeru na COP1 E3 ubiquitin ligázového komplexu – regulace stability proteinů	Inhibice růstu hypokotylu, expanze děloh, biogeneze fotosyntetického aparátu, syntéza fotoprotektivních molekul (indukce ochrany před UV světlem, aklimace)	Pravděpodobně (jako jediný fotoreceptor) neobsahuje pigment, jako chromofor působí tryptofanové zbytky.

Specifické rostlinné receptory – rostlinné hormony a růstové regulátory

Rostlinné hormony – **fytohormony**: signální molekuly s růstově regulační funkcí:

Auxiny

Cytokininy

Gibereliny

Kyselina abscisová (ABA)

Etylén

Brasinosteroidy

Další látky s růstově regulační funkcí:

Polyaminy

Kyselina jasmínová

Kyselina salicylová

Fenolické látky

Peptidové hormony

rostlinné hormony X živočišné hormony

FH i H jsou chemické látky, využívané pro komunikaci v těle.

Rostliny nemají žlázy, produkující hormony. Fytohormony produkují všechny rostlinné buňky.

H jsou produkovány specifickými žlázami, jsou transportovány centrálním oběhovým systémem a ovlivňují vzdálené buňky.

FH působí jak lokálně, tak mohou být transportovány vaskulárním systémem.

Specifické rostlinné receptory – auxin

- První známý hormon, malá signální molekula.
- Reguluje mnoho procesů v rostlině (od vývoje embrya po růstové odpovědi na tropismy).
- Působení auxinů je spojeno se změnou genové exprese stovek genů.

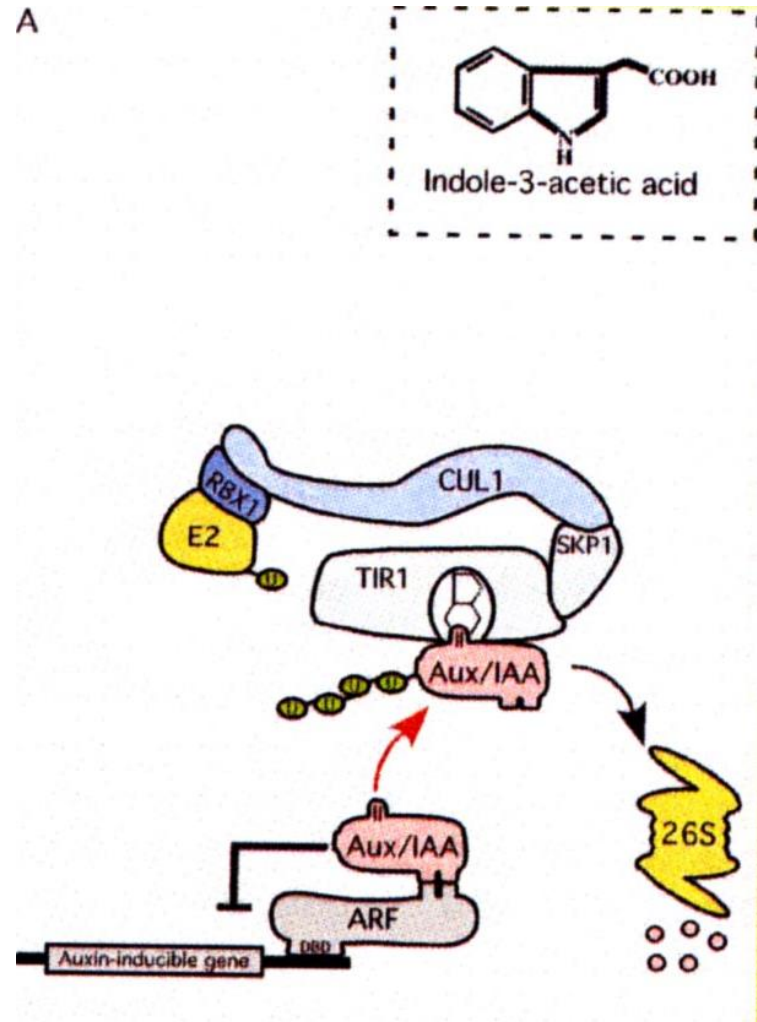
Mechanismus účinku:

AUX/IAA transkripční inhibitory inhibují expresi genů spouštěných auxinem.

Receptorem pro auxin je protein **TIR** (F-box protein, který je součástí SCF ubiquitin ligázy, proteinového komplexu.)

Vazba auxinu na TIR → vazba TIR na AUX/IAA transkripční inhibitory → degradace transkripčních inhibitorů → uvolnění exprese auxinových genů.

SCF = Skp, Cullin, F-box containing complex



Genes and Development 2008, 22:2139-2148

Specifické rostlinné receptory – gibereliny

-Gibereliny (GA) regulují např. dlouhivý růst stonku, kvetení, klíčení.

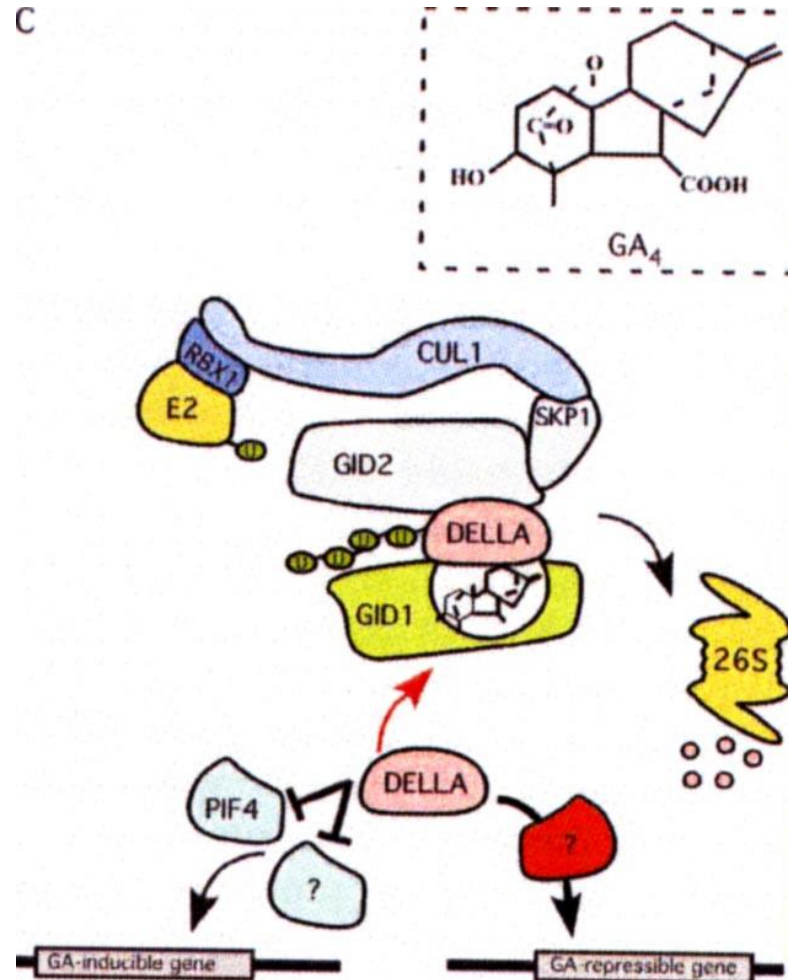
Mechanismus účinku:

Exprese GA-aktivovaných genů je v nepřítomnosti GA inhibována represory – **DELLA proteiny**.

Receptorem pro GA je protein **GID1**.

Vazba GA k proteinu GID1 → vazba DELLA proteinů ke komplexu → komplex GID1-GA-DELLA je rozeznáván komplexem SCF ubiquitin ligázy → DELLA protein je degradován a genová exprese aktivována.

SCF = Skp, Cullin, F-box containing complex



Genes and Development 2008, 22:2139-2148

Signalizace na dlouhou vzdálenost

Příjem a zpracování signálu nemusí proběhnout ve stejné buňce.

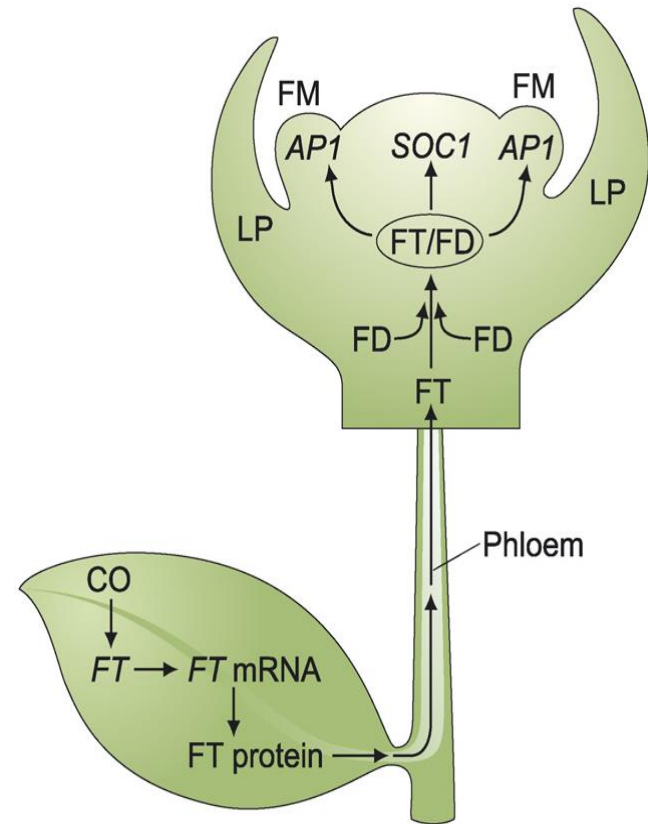
Příklad: **protein FT**, indukující kvetení u dlouhodobných rostlin.

- pro indukci kvetení dlouhodobní rostliny nutné ozáření pouze listů. V listech vzniká mobilní signál, transportovaný do vzrostného vrcholu rostlin.

- Mobilní signál – **florigen** – je malý 20 kDa **protein FT**. Identifikace florigenu trvala více než 70 let.

Mechanismus signalizace kvetení:

Protein CONSTANS (CO) v doprovodných buňkách floému listů je při krátkém dni degradován, ale při dlouhém dni stabilizován → indukuje syntézu proteinu FT → FT prochází plasmodesmy do floémového toku a je nesen ke vzrostnému vrcholu → zde interaguje s proteinem FD → FT/FD heterodimer aktivuje přeměnu vzrostného vrcholu v květ (FD je transkripční faktor).



Current Opinion in Plant Biology

Shrnutí:

Meristémy, klonální historie, poziční informace

Co zahrnuje signalizace v buňce, kompetence buňky k odpovědi

Receptorové kinázy a příklady jejich zapojení v signalizaci v rostlinách

G-proteiny

Iontové kanály

Fosfolipidový signální systém

Princip sekundárních poslů, typy sekundárních poslů a příklady (s důrazem na signalizaci pomocí Ca^{2+})

Signalizace pomocí světla: všechny typy známých receptorů světla, typ světla, který je aktivuje, mechanismus aktivace (chromofor) a signalizace (kináza, degradace proteinů atp....), co nejdůležitějšího kontroluje.

Mechanismus detekce délky dne pomocí proteinu FT (celá dráha – principy)