

Fytohormony

pro rostliny i člověka

Zdeněk Opatrný

Katedra experimentální biologie rostlin
UKPřF Praha

U3V 2013

Jsou FYTOHORMONY vůbec HORMONY ???

viz též
úvodní lekce

OBECNÁ DEFINICE HORMONU (S OMEZENOU PLATNOSTÍ):

HORMONY organické, většinou nízkomolekulární látky,

- syntetizované specializovanými tkáněmi/pletivý (př. žlázy s vnitřní sekrecí)
- transportované na místo svého větš. regulačního účinku
- vyvolávají relativně velmi specifickou fyziologickou odpověď
- již ve velmi nízké koncentraci (většinou pod $10^{-8} - 10^{-10}$ M) a úzké koncentrační škále
- zahrnující zejména ...změny funkce membrán, diferencovanou genovou expresi, kaskády signálů různé povahy atd.

u živočichů steroidy, peptidy, bílkoviny, deriváty AK aj.

platí tato definice pro fytohormony ??

ROSTLINNÝ HORMONÁLNÍ SYSTÉM:

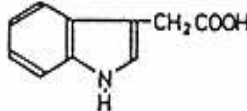
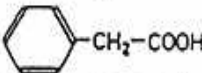
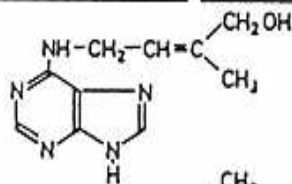
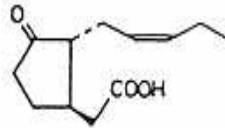
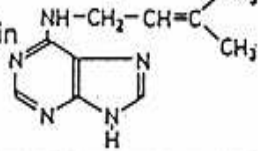
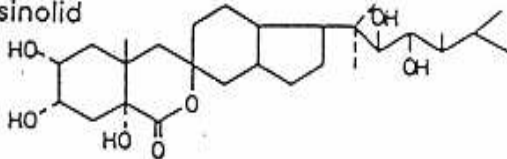
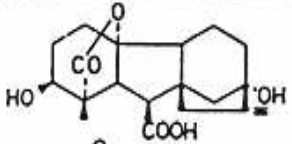
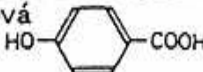
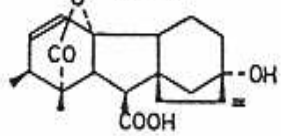
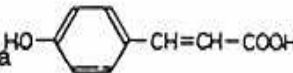
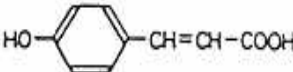
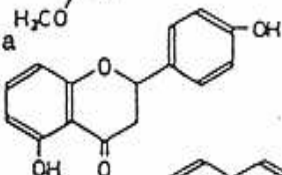
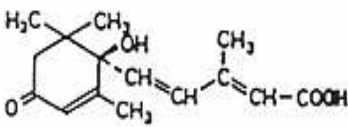
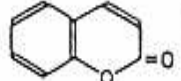
- postrádá žlázy s vnitřní sekrecí, syntetická schopnost „rozptýlená“, nejsou většinou zřejmé hranice mezi produkčním a cílovým pletivem
- týž fytohormon (FH) může mít řadu různých účinků (pleiotropní efekt)
- koncentrační rozpětí působnosti až několik řádů
- určité účinky FH lze simulovat působením non-hormonálních faktorů (ionty, světlo/teplota, cukerné signály, aminokyseliny, změny pH, antibiotika, organické kyseliny, polyaminy) a samozřejmě SYNTETICKÝMI ANALOGY

Jsou vůbec FH ROSTLINNÉHO původu ?

Předpoklad „GENE FLOW“ mezi mikroorganizmy a rostlinami – jako nástroj či důsledek interakcí rostlina/patogen, rostlina/symbiont .

Možnost fylogeneze rostlinných ONKOGENU prokaryotního původu.

Hlavní skupiny FH : zlatá pětka + noví kandidáti

	NEJDŮLEŽITĚJŠÍ LÁTKY VZOREC	ZKR.	SKUPINA	NEJDŮLEŽITĚJŠÍ LÁTKY VZOREC	ZKR.
Auxiny 1926 1934	indolyl-3-octová kyselina 	IAA	polyaminy	putrescin $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$	Put
	fenylloctová kyselina 	PAA		spermidin $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_3\text{NH}(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$	Spd
				spermin $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_3\text{NH}(\text{CH}_2)_4\text{NH}(\text{CH}_2)_3\text{NH}_2$	Sp
Cytokininy 1954	zeatin (4'-hydroxy-6-izopentenylaminopurin) 	Z	jasmonová kyselina 	JA	
	izopentenyladenin (6-izopentenylaminopurin) 	IPA	brassinosteroidy 		
Gibereliny 1930?	giberelin A ₁ 	GA ₁	fenolické látky	p-hydroxybenzoová kyselina 	pHBA
	giberelin A ₃ 	GA ₃		p-kumarová (4-hydroxy-skořicová) kyselina 	pCA (HCA)
		ferulová (4-hydroxy-3-metoxyskořicová) kyselina 		FA	
				naringenin 	—
Abcisová k. 1965, 1968	abscisová kyselina 	ABA	kumarin 	—	
Etylén 1901	etylen $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$	—			

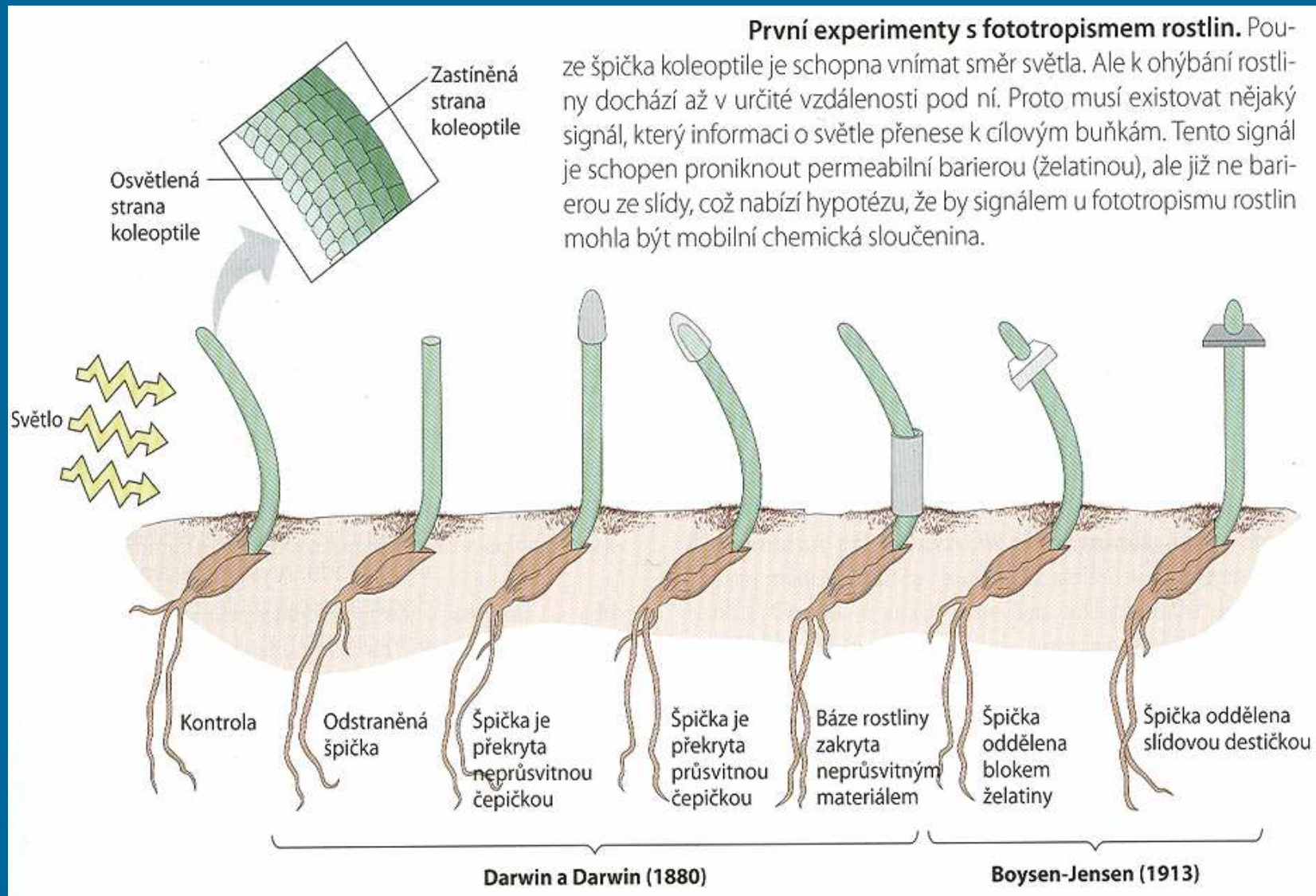
AUXIN

ústřední fytohormon
v biologických reakcích rostlin

jeho tvorba,
aktuální hladina, transport, gradient
jsou klíčové pro signální procesy

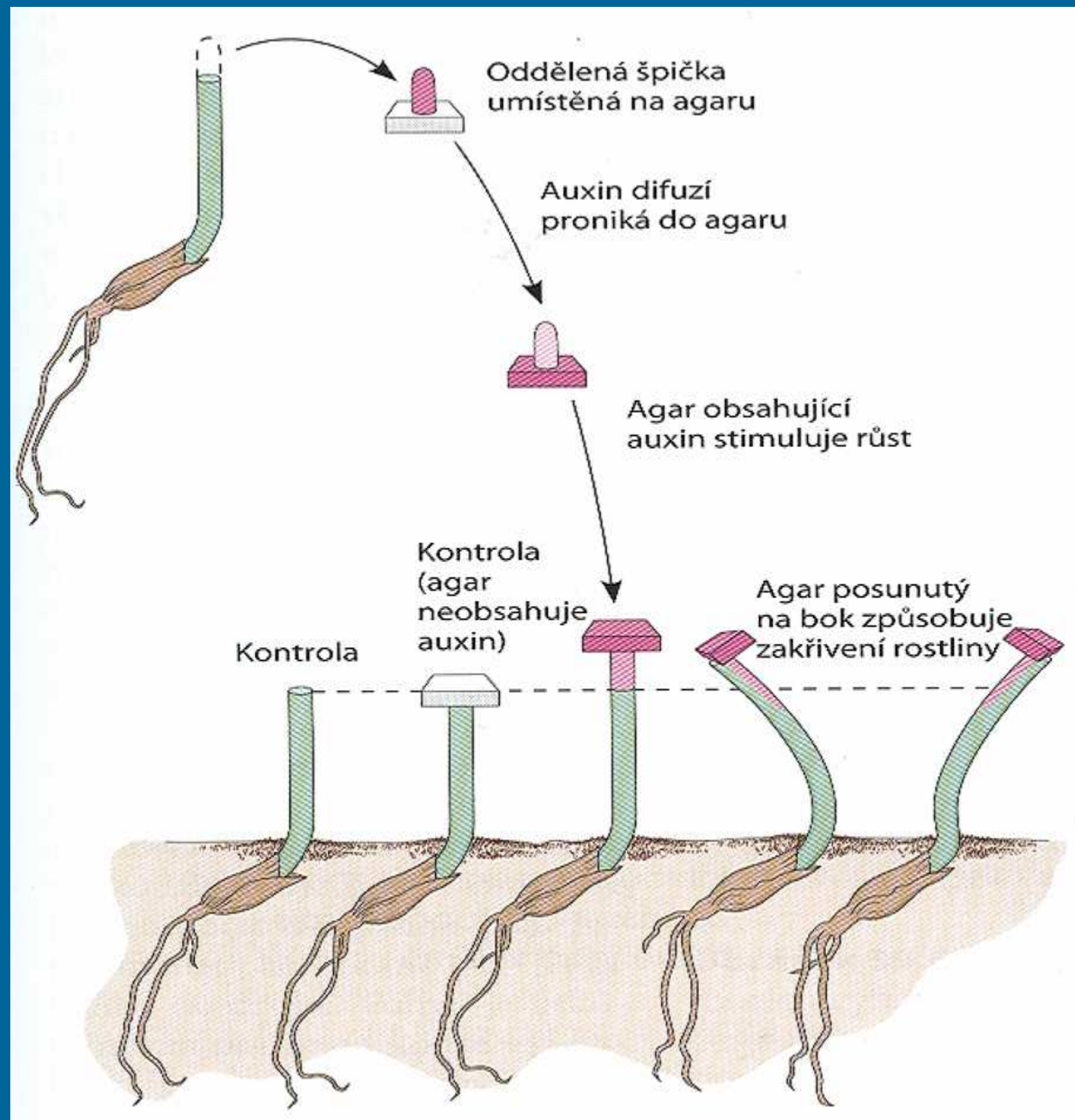
Nejprve trochu opakování

Po stopách **auxinu** ... od Sachse k Wentovi

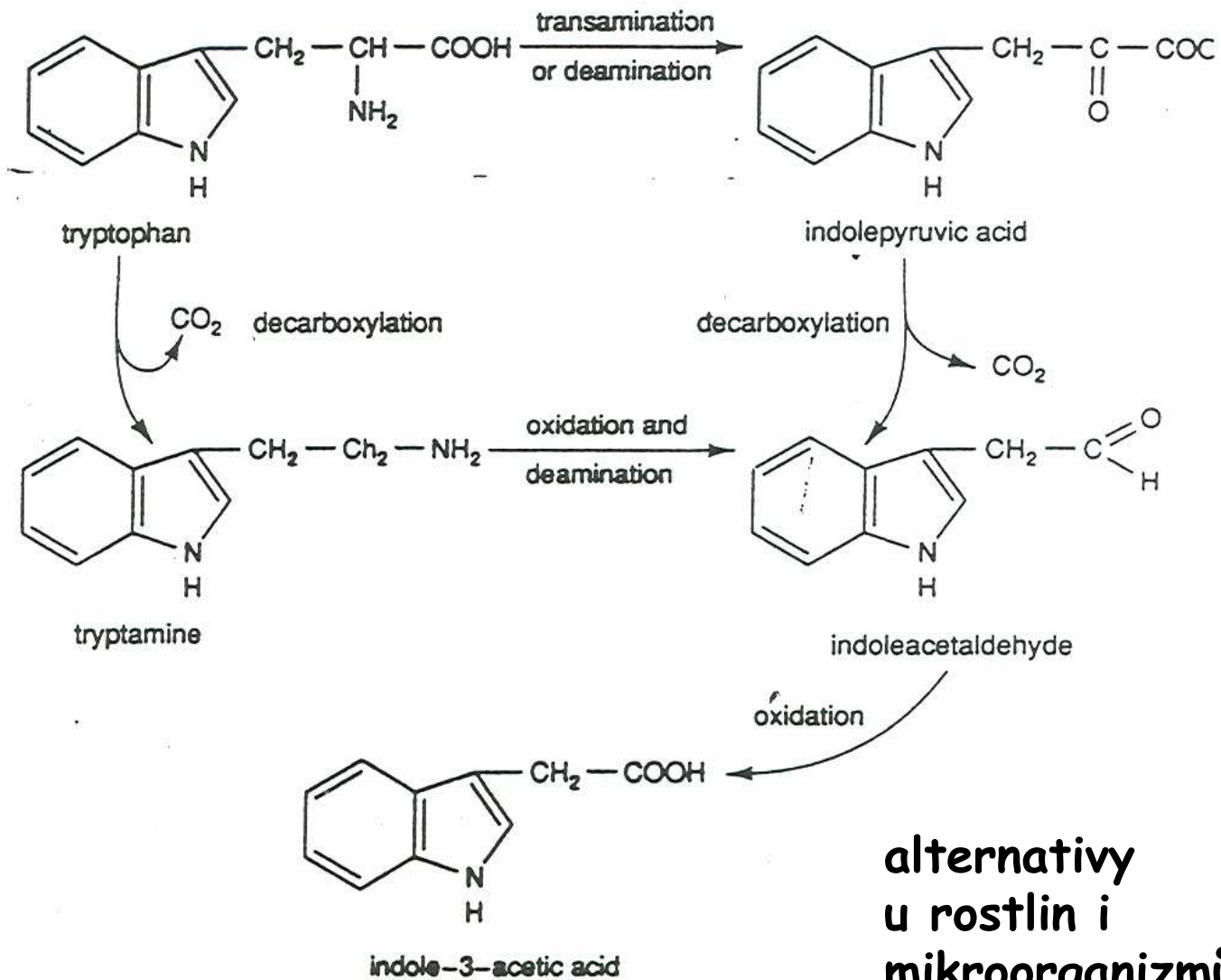


F.W. WENT pokusy 1924 -28

míra zakřivení
= princip
„koleoptilového
Biotestu“ na
„auxiny“



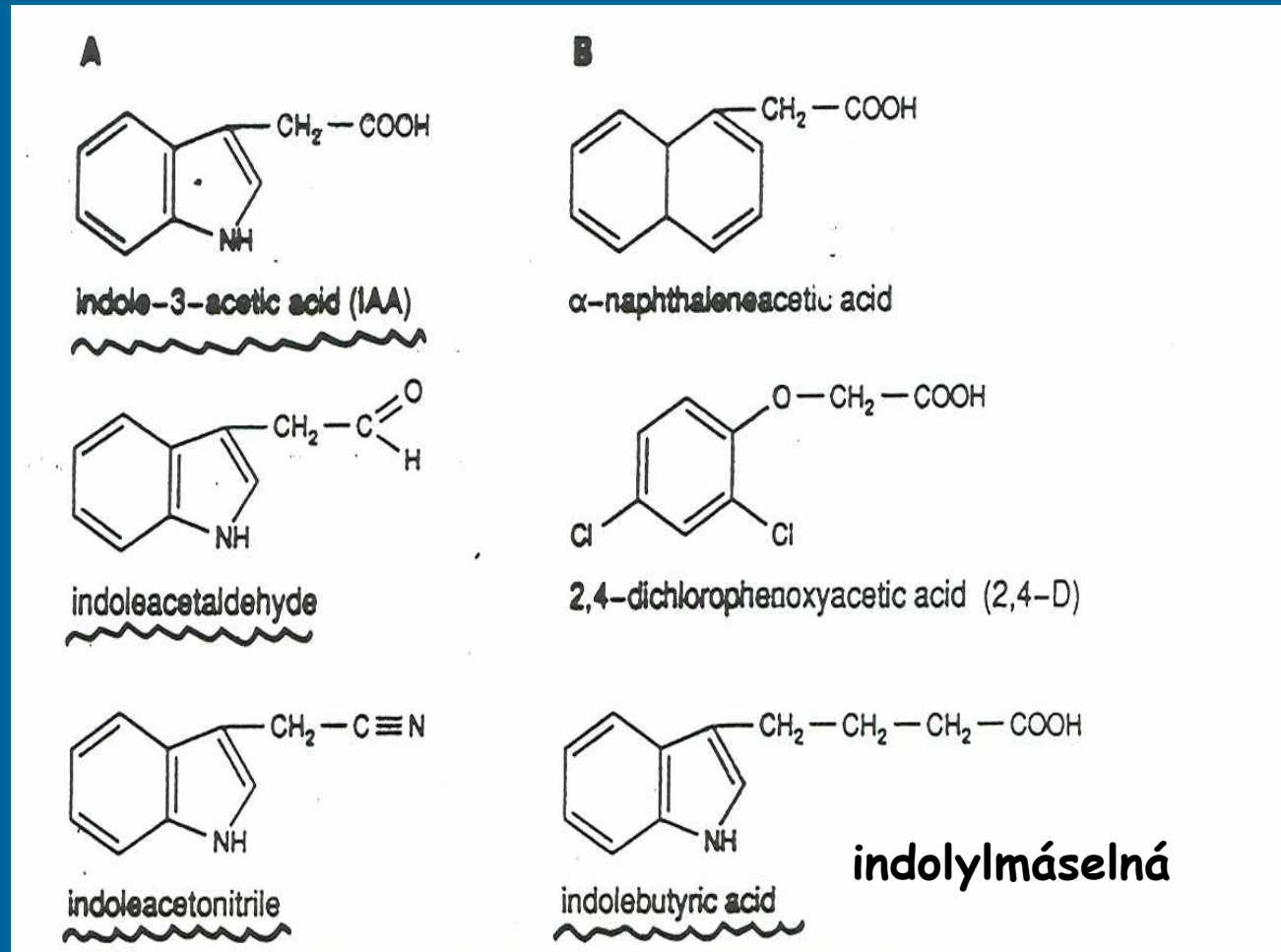
Syntéza auxinu IAA z tryptofanu - hlavní předpokládaná metabolická dráha v rostlinách



alternativy
u rostlin i
mikroorganismů

Hlavní typy látek s auxinovým účinkem:

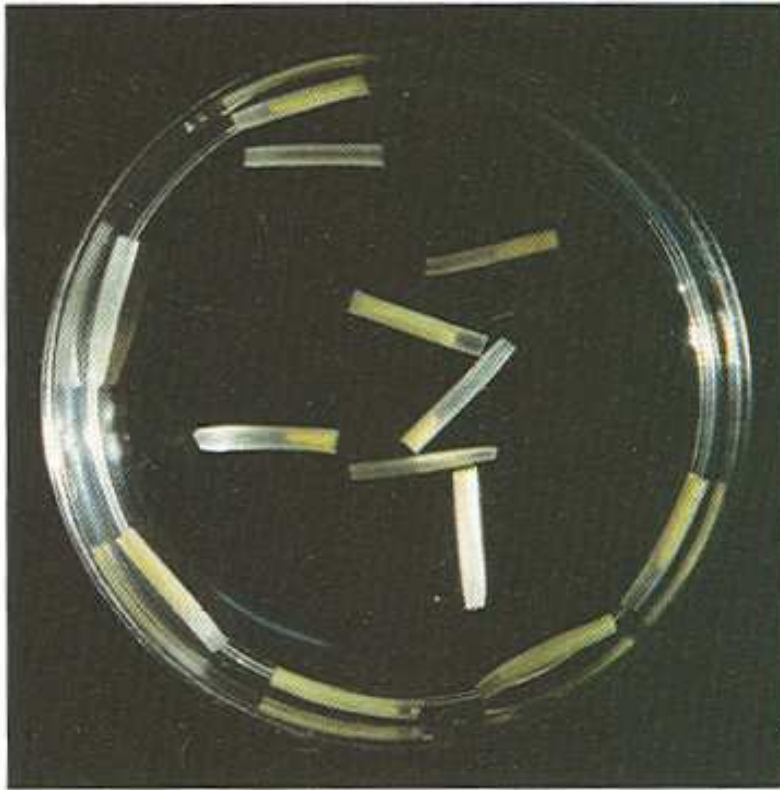
přirozené **syntetické**



Místy se to překrývá - čím více bádáme

Biotesty: přítomnost fytohormonu lze zjistit i měřit specifickou růstovou odpovědí rostlinných buněk/pletiv
Auxin stimuluje dloužení kousků koleoptile ovsa

(A) voda



(B) roztok auxinu

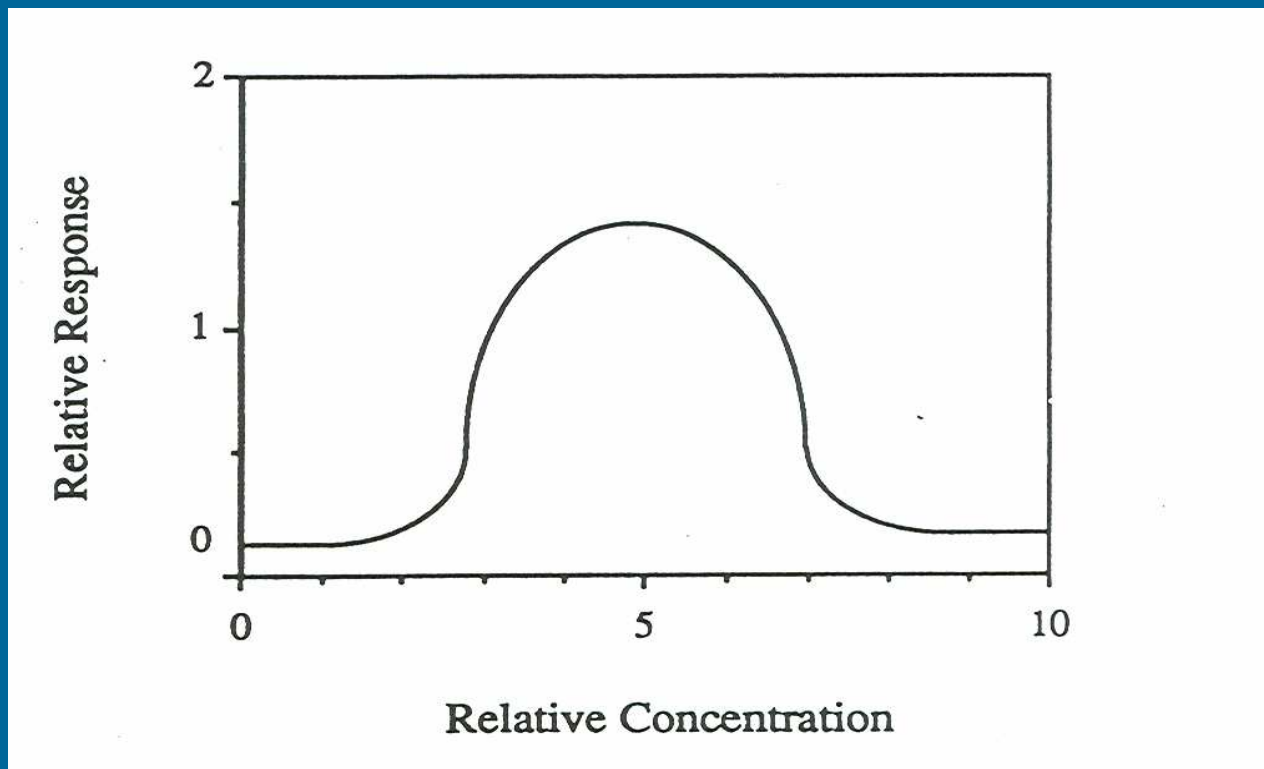


FIGURE 19.2 Auxin stimulates the elongation of oat coleoptile sections. These coleoptile sections were incubated for 18 hours in either water (A) or auxin (B). The yellow tissue inside the translucent coleoptile is the primary leaves. (Photos © M. B. Wilkins.)

To žluté ve „futrálku z koleoptile jsou primární listy !!!

Účinek je závislý na koncentraci:
auxin může být stimulatorem i herbicidem

2,4-D ... "mitogen" *in vitro*, herbicid či defoliant *in vivo*
Orange Agent z vietnamské války

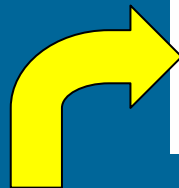


změny
endogenních
hladin:
konjugace
destrukce

APIKÁLNÍ DOMINANCE

„interplay“
auxinů s **cytokininy**
základní
nástroj
meziorgánových
KORELACÍ

cytokininy ovšem
nevznikají pouze
v kořenech
auxin zřejmě
reprimuje expresi
ipt genu - a tím
syntézu
cytokininů -
přímo v
internodiích



(a)



(b)

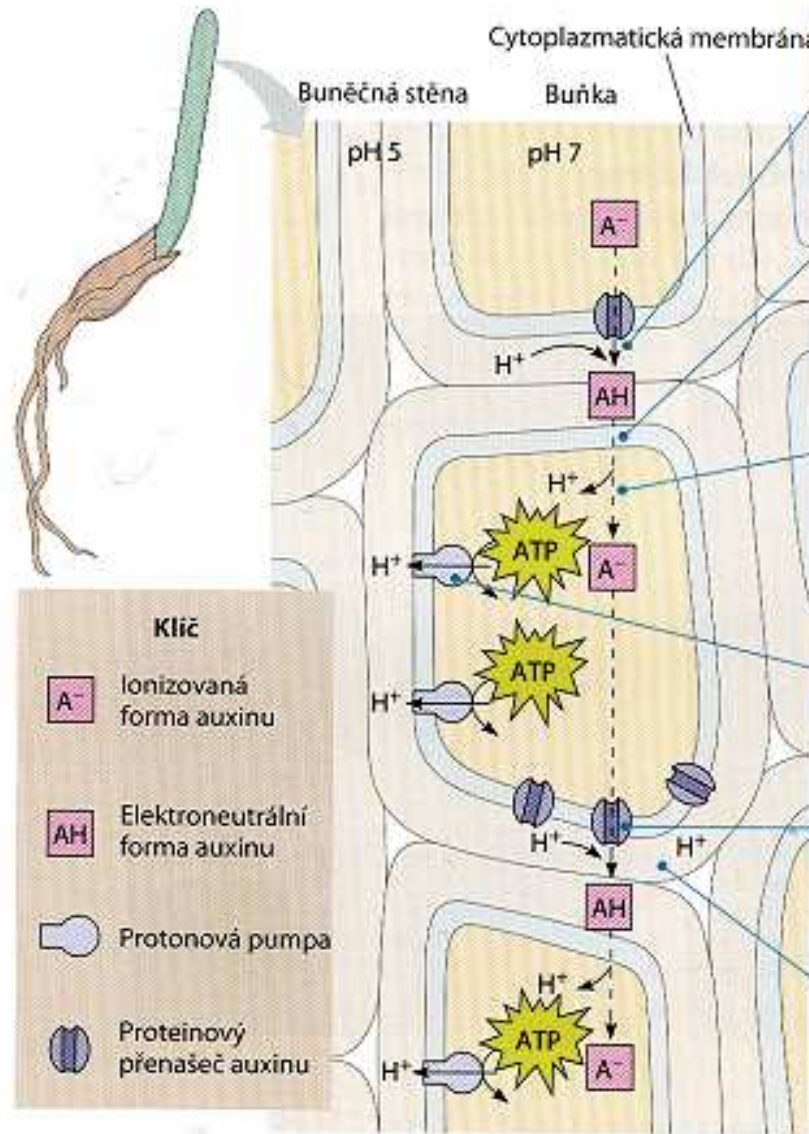
Apikální dominance. (a) Auxin z vrcholového pupenu inhibuje růst pupenů postranních, dochází k prodlužování v hlavní ose výhonku. Cytokininy, transportované z kořenů vzhůru do rostliny, působí proti auxinu a růst postranních pupenů podporují. Tím je vysvětleno, proč postranní pupeny blízko u špičky výhonku rostou pomaleji než ty u kořenů. (b) Odstranění vrcholového (apikálního, terminálního) pupenu umožní růst postranních větví.

opět trochu opakování

Jak jsou auxiny transportovány POLÁRNĚ mimo „floemový proud“ ???

Chemiosmický model polárního (bazipetálního) transportu IAA

známy již různé typy „vnašečů“ i „vynašečů“



- 1 Když se auxin setká s kyselým prostředím buněčné stěny, molekula přijme vodíkový iont, aby se stala elektricky neutrální.
- 2 Jako relativně malá, neutrální molekula projde auxin cytoplazmatickou membránou.
- 3 Uvnitř buňky je hodnota pH 7, což vede k tomu, že auxin vodíkový iont opět odevzdá (ionizace). Vodík zde sloužil k přenosu přes plazmatickou membránu, která je mnohem méně propustná pro ionty než pro srovnatelně velké neutrální částice.
- 4 Protonové pumpy řízené ATP udržují rozdíl hodnot pH uvnitř a vně buňky.
- 5 Auxin může z buňky vystupovat jen na bazálním konci, kde jsou v plazmatické membráně zabudované proteinové přenašeče.
- 6 Protonové pumpy přispívají k odtoku auxinu vytvářením membránového potenciálu (napětí), které napomáhá transportu aniontů ven z buňky.

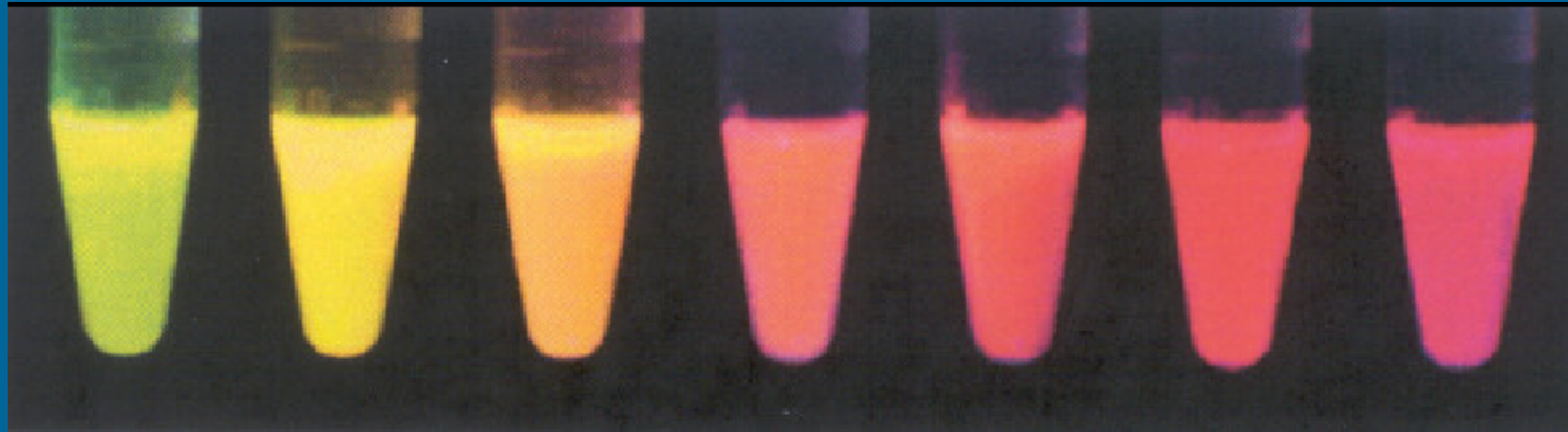
hlavně lipofilní

Jednosměrný transport auxinu: chemiosmotický model. V rostoucích výhoncích je auxin transportován jedním směrem, a to od špičky k bázi. Po cestě tento hormon vstupuje do buněk na jejich apikálním konci, na bazálním konci se dostává ven, difúzí pronikne přes buněčnou stěnu a vstupuje do další buňky.

opět trochu opakování

*Opět trochu opakování - aneb jak se stopuje hormon
pod mikroskopem*

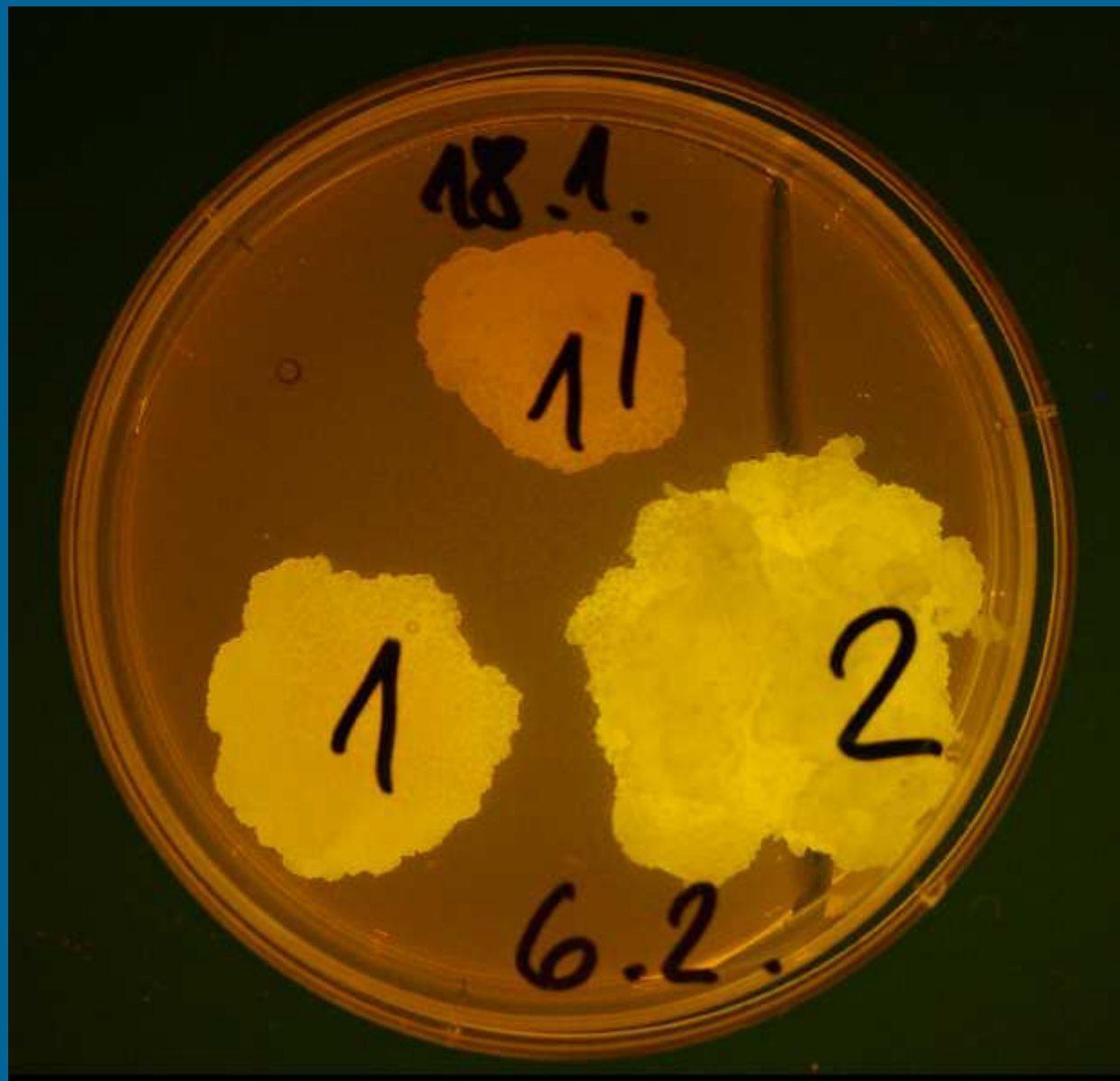
Fluoreskující proteiny
původem z mořských medúz, korálů a p.
barevné alternativy FP
pomáhají stopovat transportní cesty



Přínosy a limity využití „GFP“ fúzních proteinů u rostlin

- možnost sledovat struktury a funkce viabilních buněk
- náhrada složitých mikrotechnických procesů, m. j. nezbytnosti přípravy řezů, konfokální mikroskopii - u rostlin komplikující buněčná stěna či absence „kontaktní inhibice“ buněk *in vitro*
- *nutnost zvládnout procesy transformace či transientní exprese*
- *menší komerční nabídka specifických konstruktů či sond - nutnost HOMEMADE přístupů*

Transgenní kalusové kolonie



Transgenní buněčné suspense

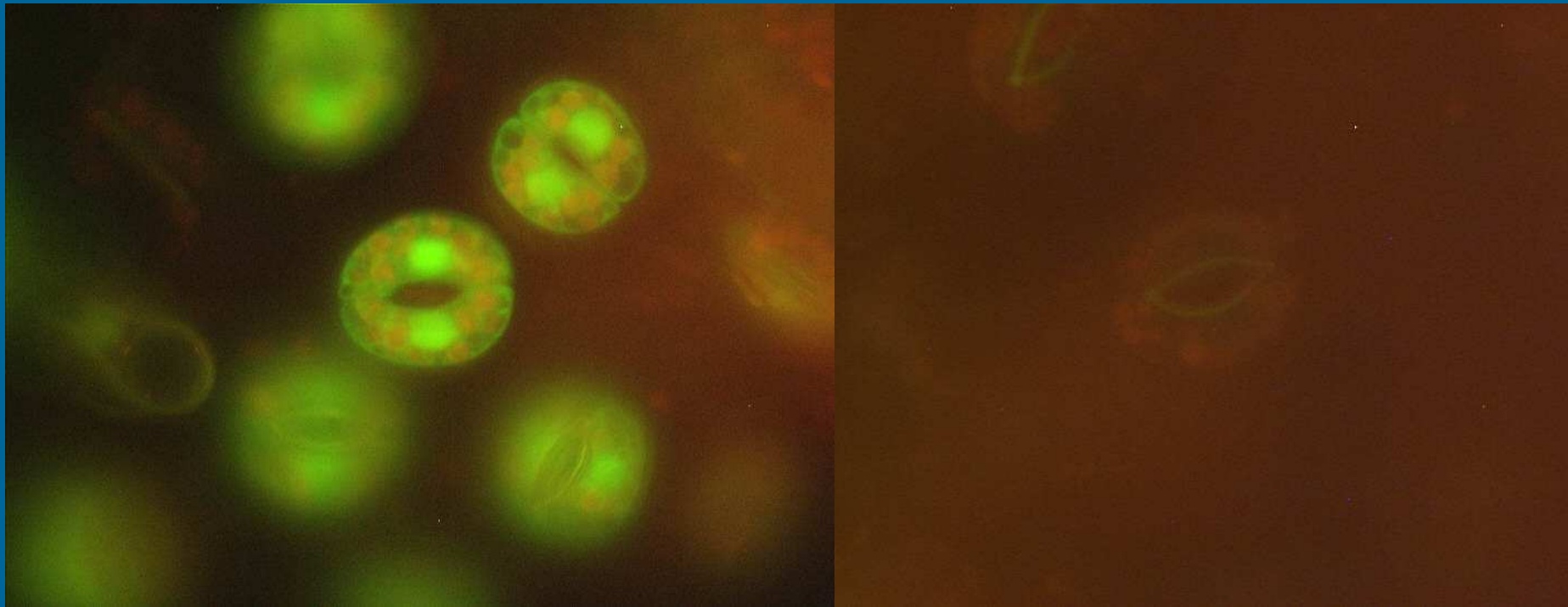


Rostliny bramboru transformované genem pro GFP

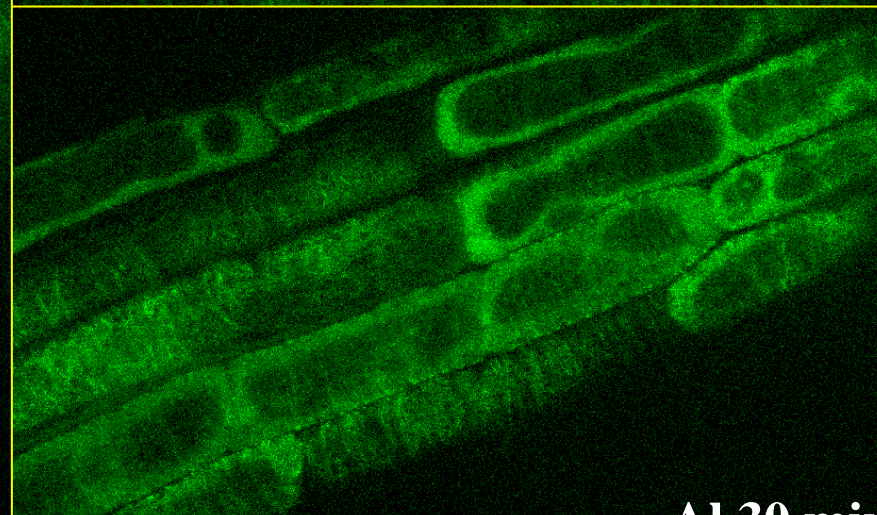
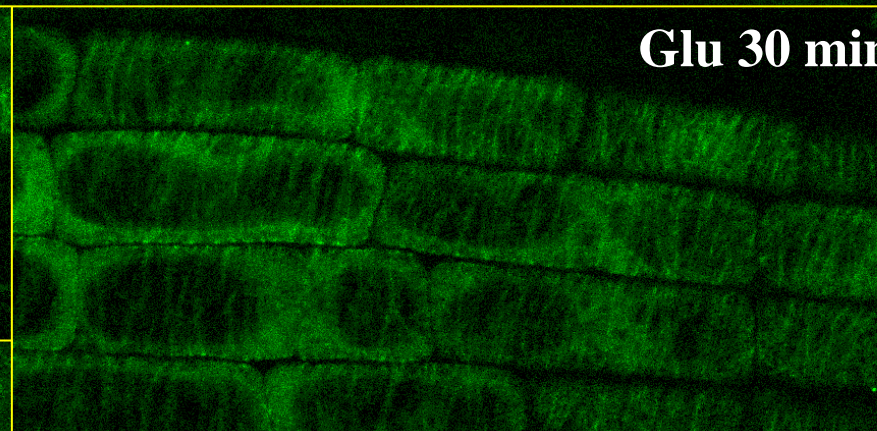
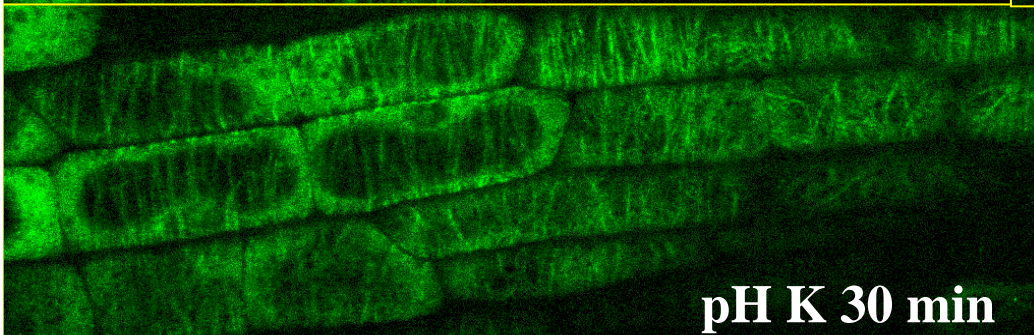
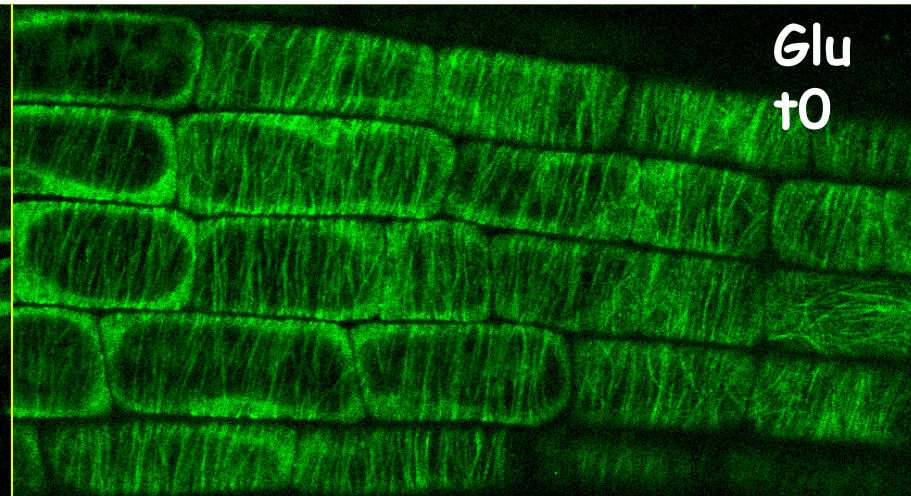
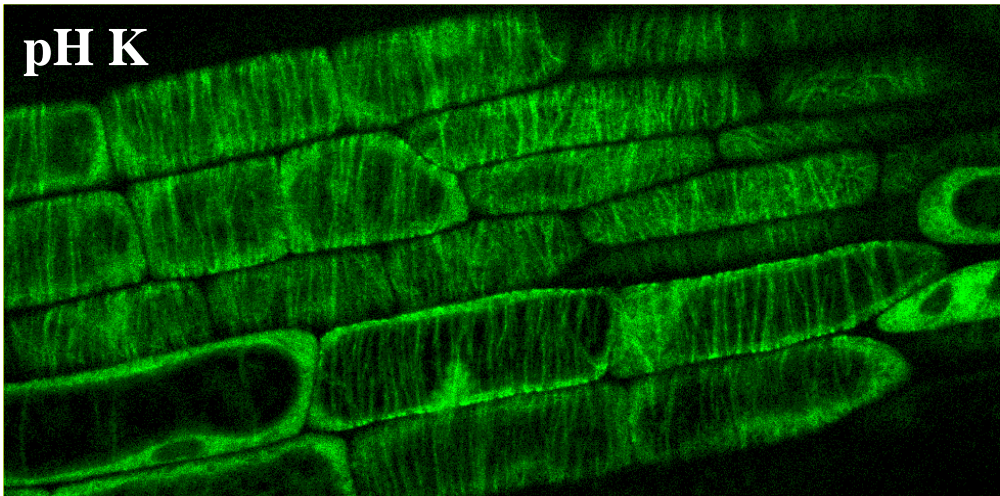
svěrací buňky průduchů

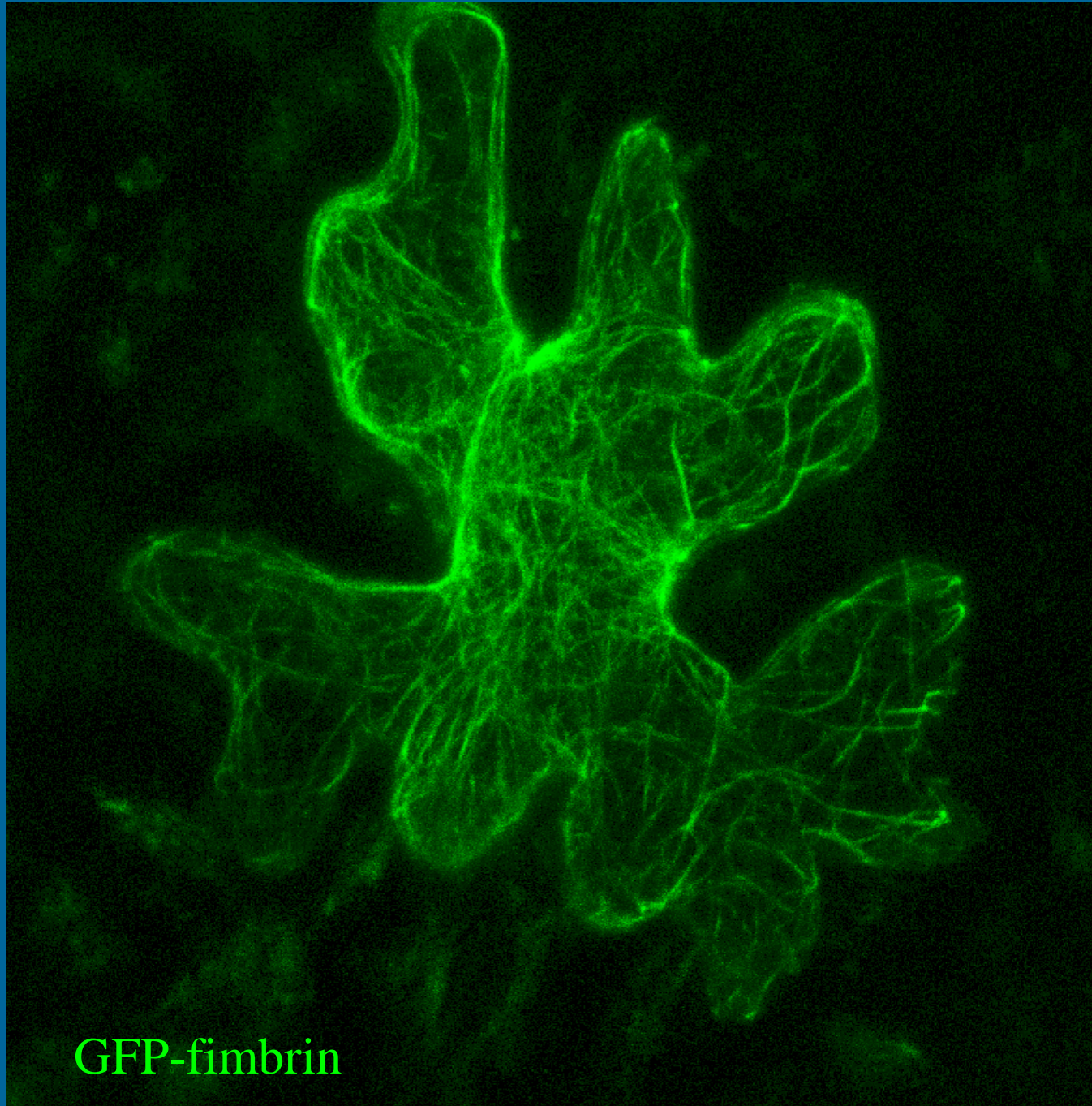
transformované

netransformované



zelená fluorescence

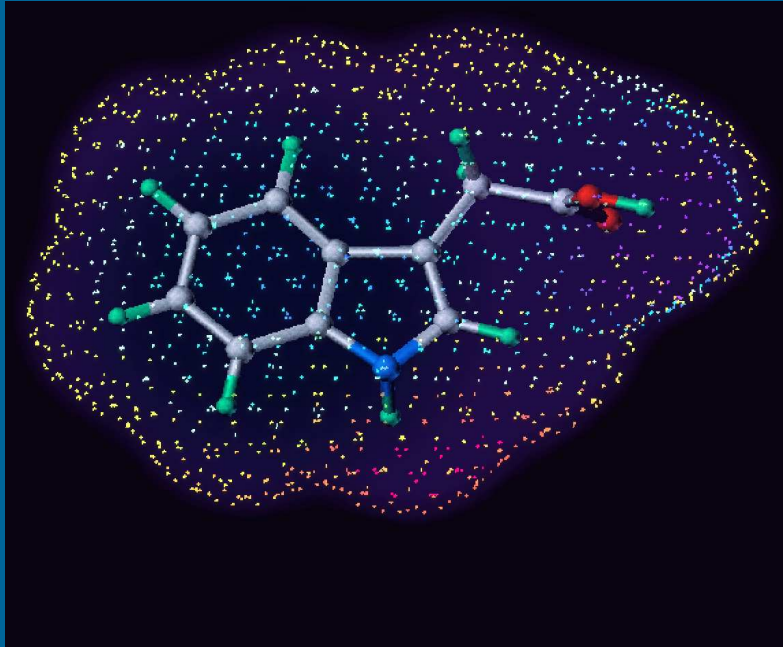




GFP-fimbrin

PINs and What ?

rodina 7-8 „pinů“ ...vynašeče,
efflux carriers
orthology živočišných
transportních proteinů ...MDR, TM20



Influx carriers, vnašeče ...
AUX1...gravitropismus,
Auxin z floemu do kořenové
špičky

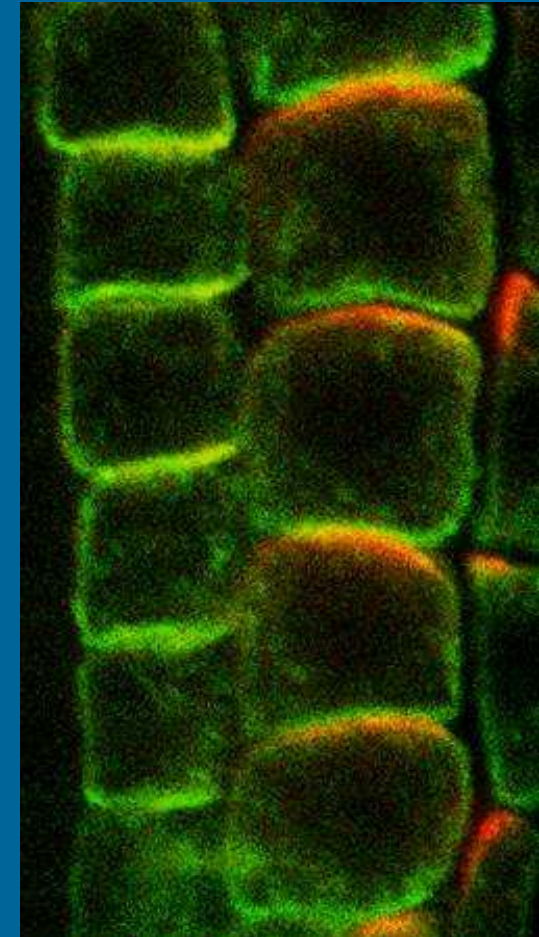
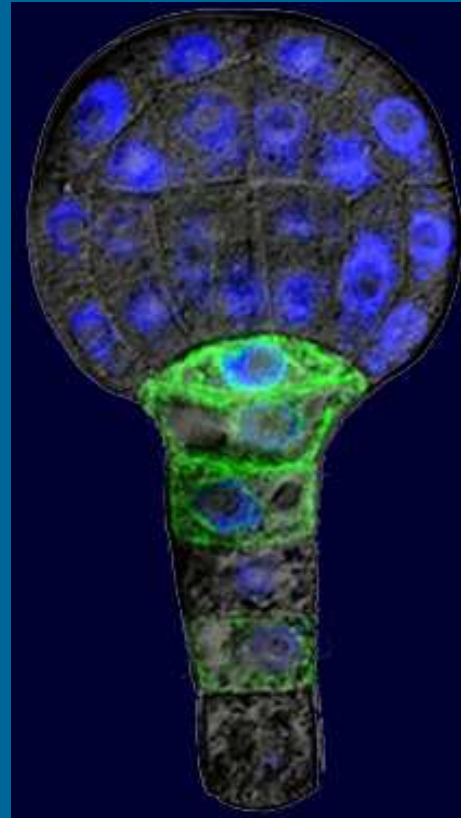
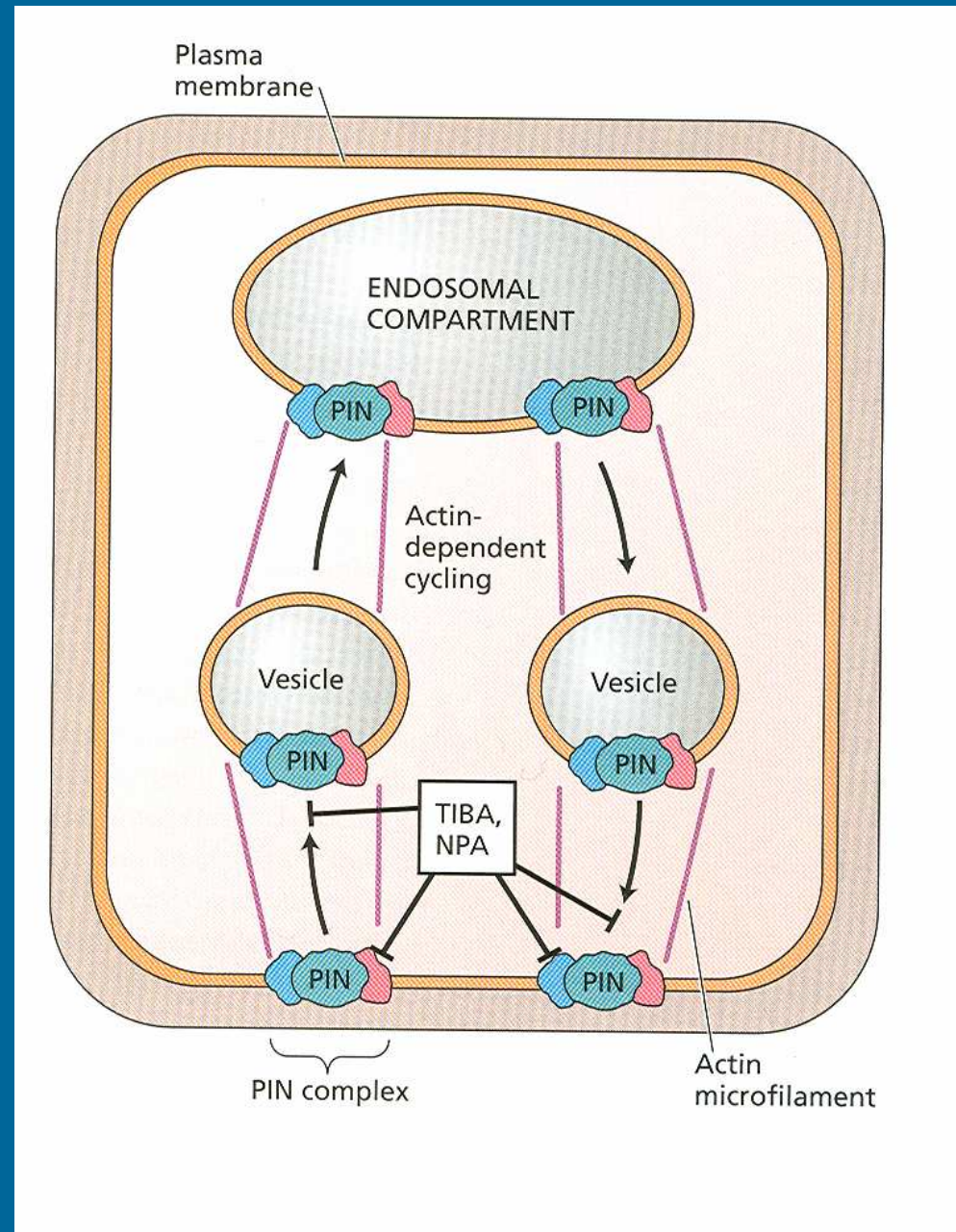


Foto Jiří Friml, ZMBP Tübingen

Auxinové PIN transportéry a pohyb váčků

významná role
zejména
aktinového
ale též
tubulinového
cytoskeletu

tým
Zažímalová,
Petrášek
ÚEB AV ČR

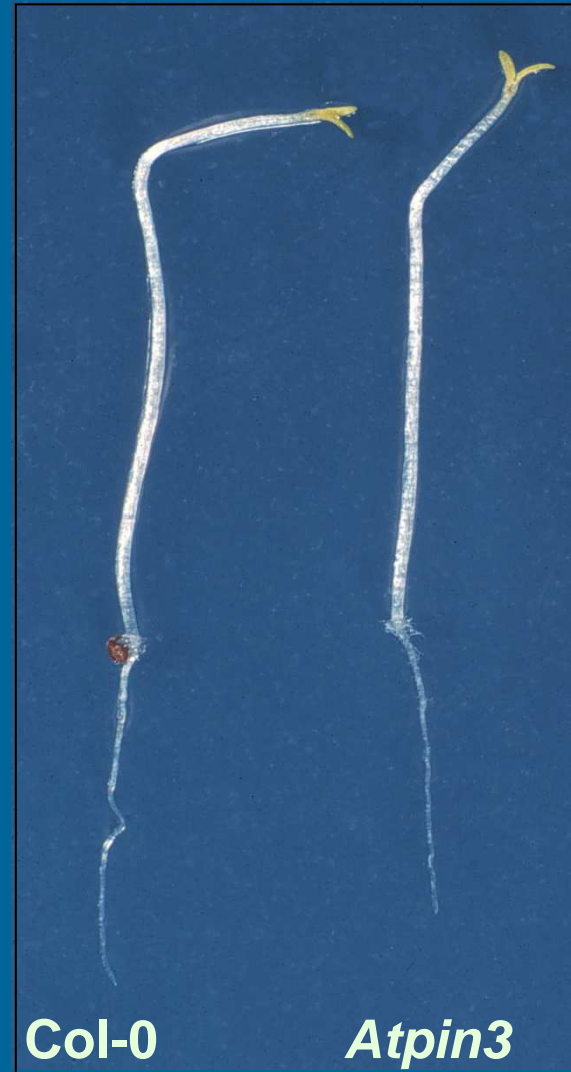


PIN3 – Lateral Auxin Transport

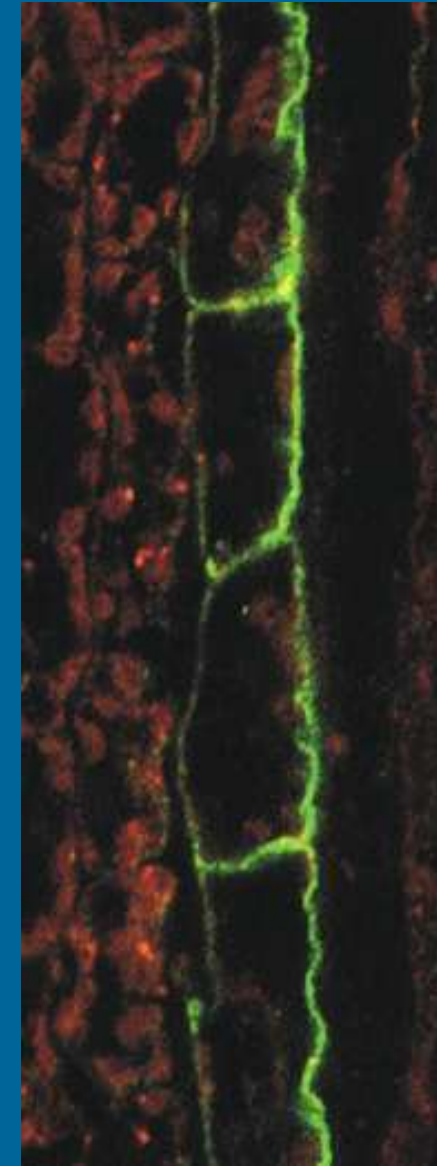
DR5 - phototropism



pin3 phototropism

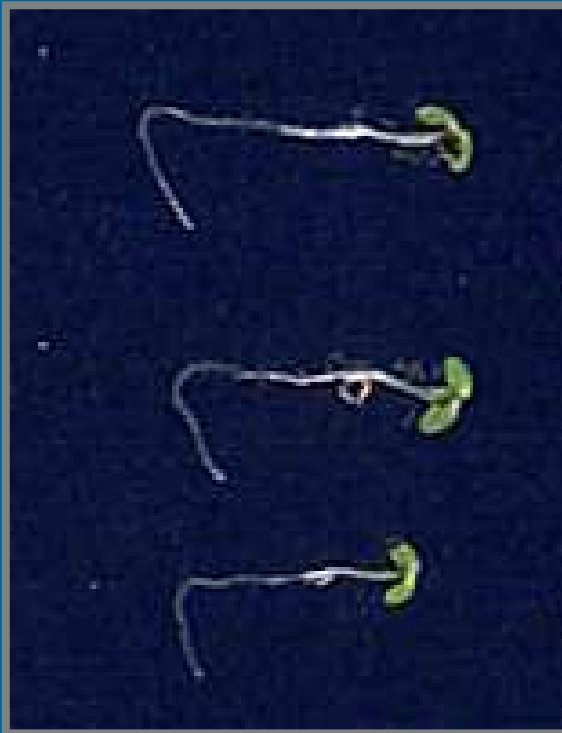


PIN3 protein

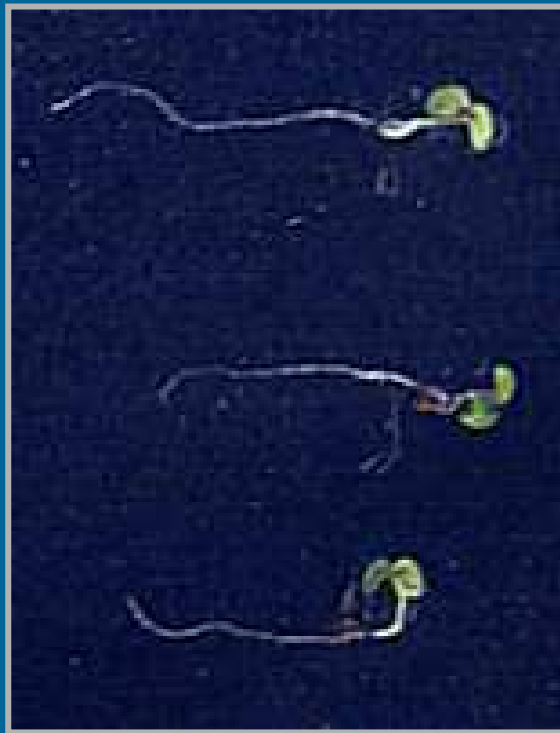


PIN2 – Root Gravitropism

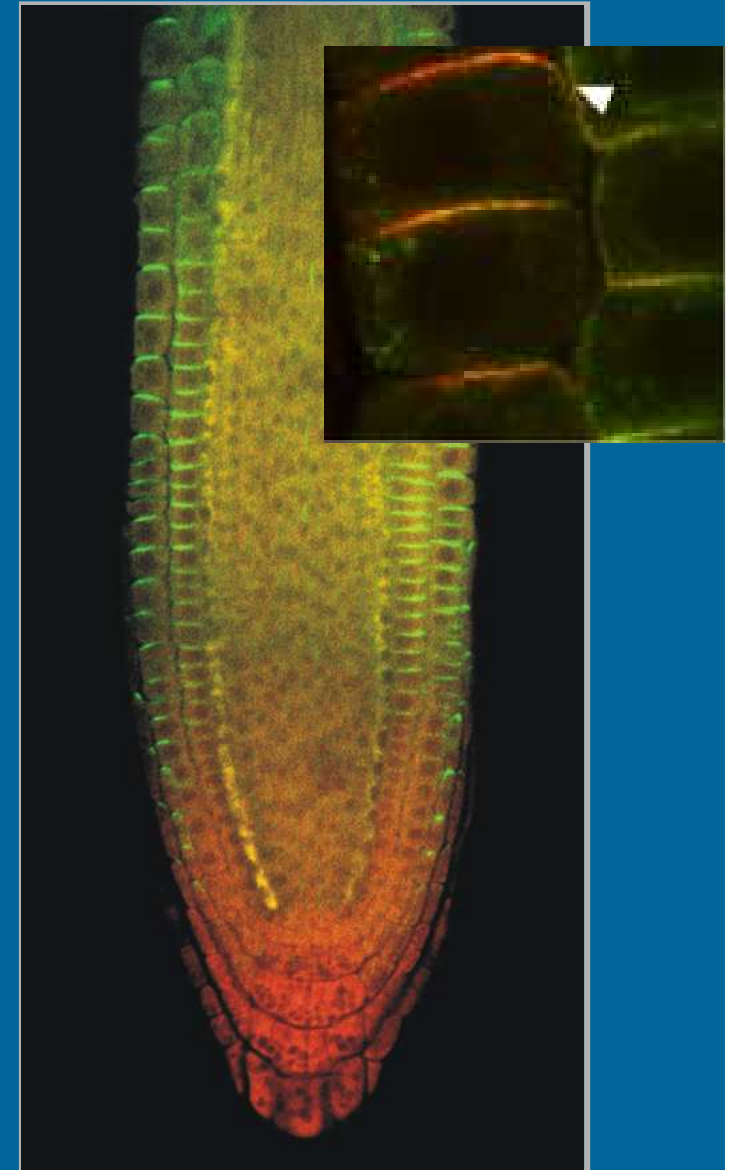
Col-0



pin2



PIN2 protein



Vliv auxinu na růst a dloužení buněk

Jak to tam vevnitř asi „běhá“ ???

Activation hypothesis:
Auxin binds to an auxin-binding protein (ABP1) located either on the cell surface or in the cytosol. ABP1-IAA then interacts directly with plasma membrane H⁺-ATPase to stimulate proton pumping (step 1). Second messengers, such as calcium or intracellular pH, could also be involved.

Synthesis hypothesis:
IAA-induced second messengers activate the expression of genes (step 2) that encode the plasma membrane H⁺-ATPase (step 3). The protein is synthesized on the rough endoplasmic reticulum (step 4) and targeted via the secretory pathway to the plasma membrane (steps 5 and 6). The increase in proton extrusion results from an increase in the number of proton pumps on the membrane.

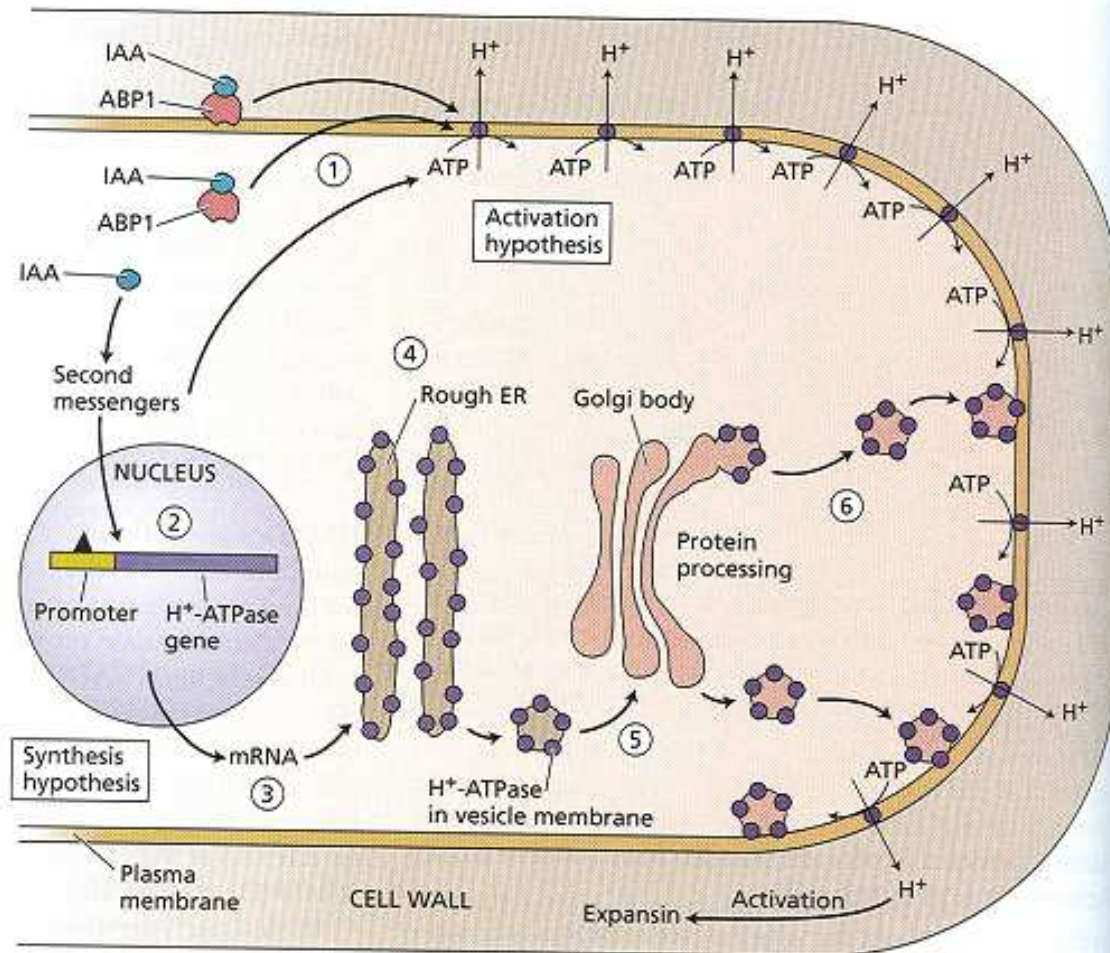
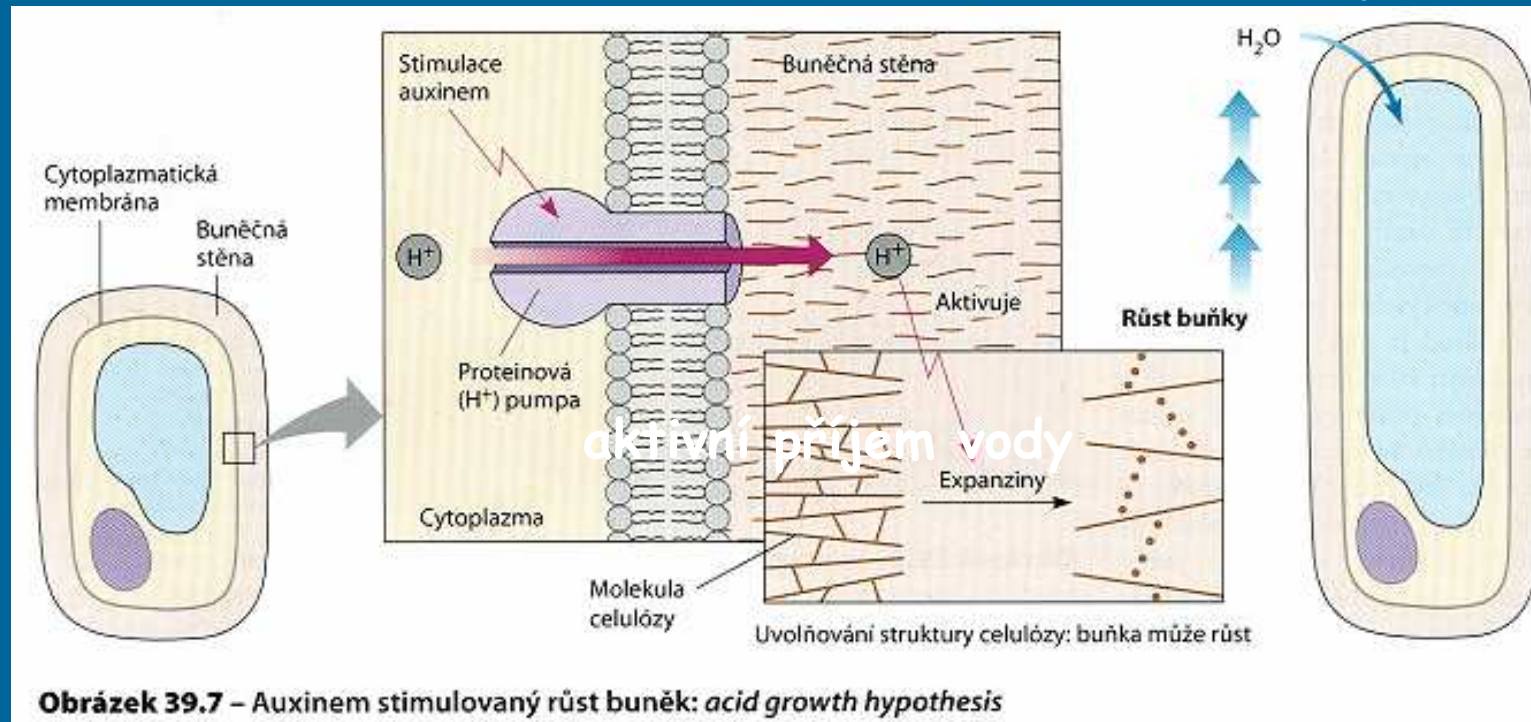


FIGURE 19.25 Current models for IAA-induced H⁺ extrusion. In many plants, both of these mechanisms may operate. Regardless of how H⁺ pumping is increased, acid-induced wall loosening is thought to be mediated by expansins.

* acidifikace
* expansiny

základy **rychlé** růstové reakce: **EXPANZINY**

cílené rozvolnění buněčné stěny + aktivní příjem vody*



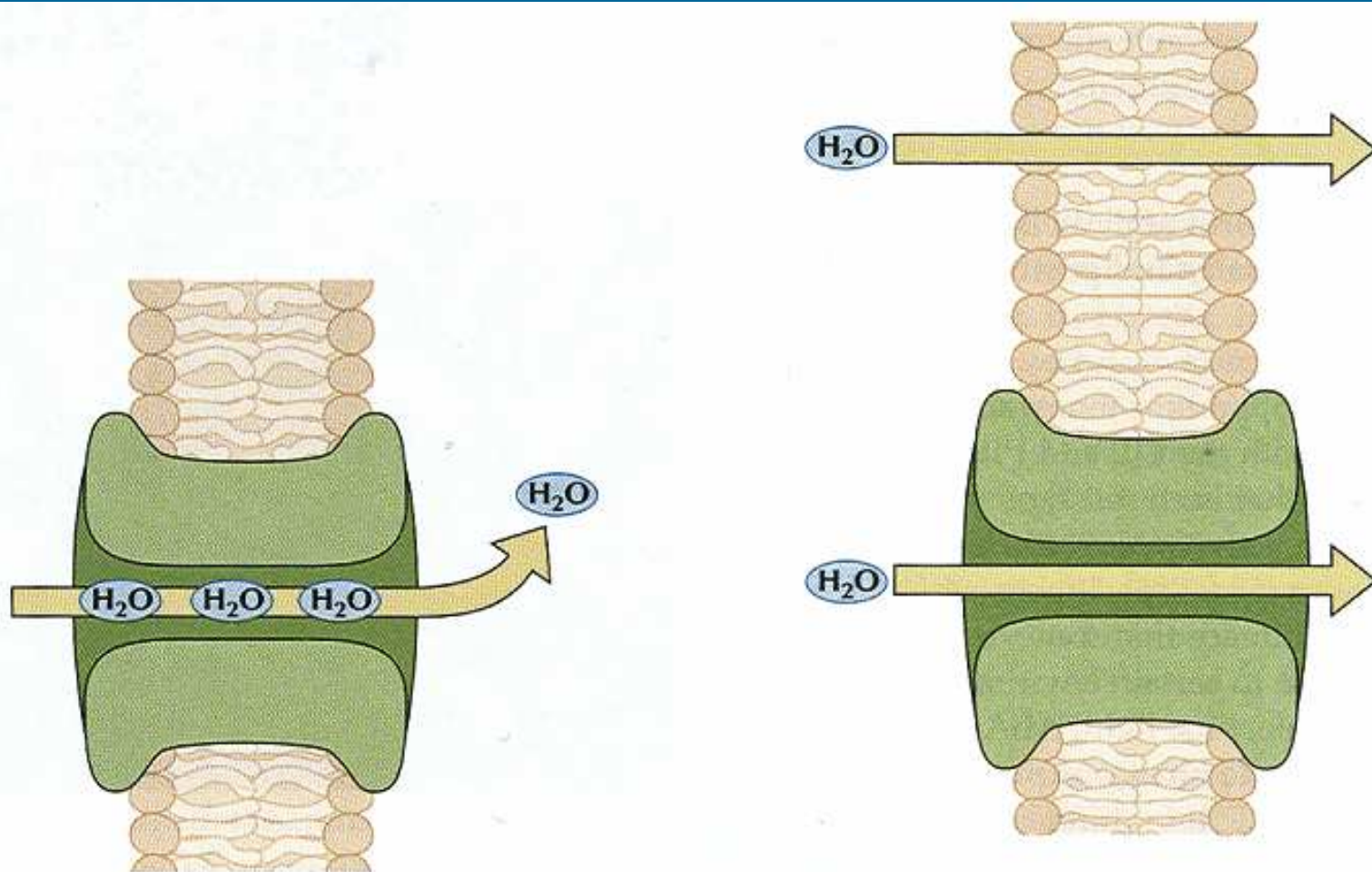
*„aktivní příjem vody“.. potvrzeno zatím jen, že auxin buď aktivuje preexistující **H⁺-ATPázy** nebo aktivuje syntézu nových.

Narůstající membránový potenciál způsobuje zvýšení příjmu iontů do buňky, což vede ke zvýšenému osmotickému příjmu vody..

Není známa přímá účast auxinu kupř. v regulaci selektivních iontových kanálů (viz analogie s účinkem ABA na svěrací buňky průduchů) či aquaporinových kanálů

AQUAPORINY

rodina malých proteinů, selektivních „přenašečů“ vody



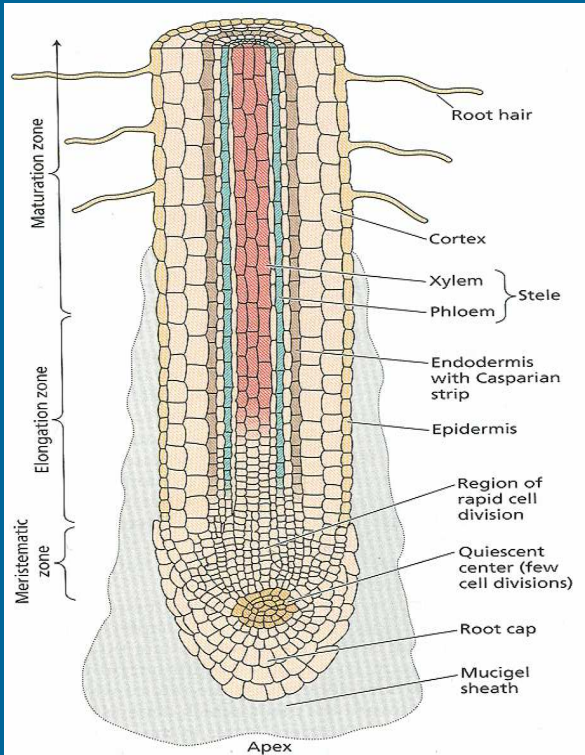
Model for water flow through a single-file, multiple-occupancy aquaporin.

Water movement across biological membranes occurs through both the lipid bilayer and the pores formed by water channels.

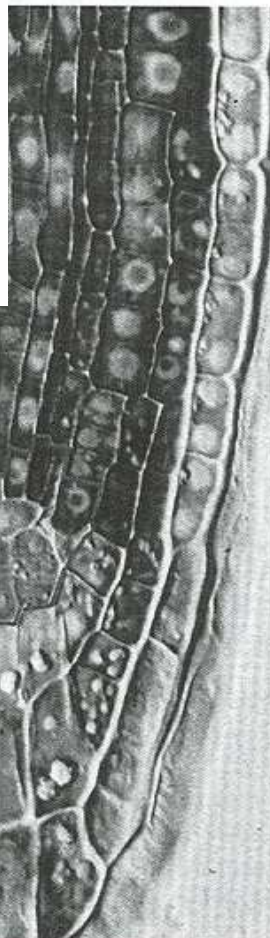
TRANSPORT

v případě **AUXINU** je proces specifického polárního transportu uvnitř buněk či **mezi buňkami** (viz auxinové přenašeče) výrazně doplněn dálkovým transportem zvláště prostřednictvím „**floemového proudu**“

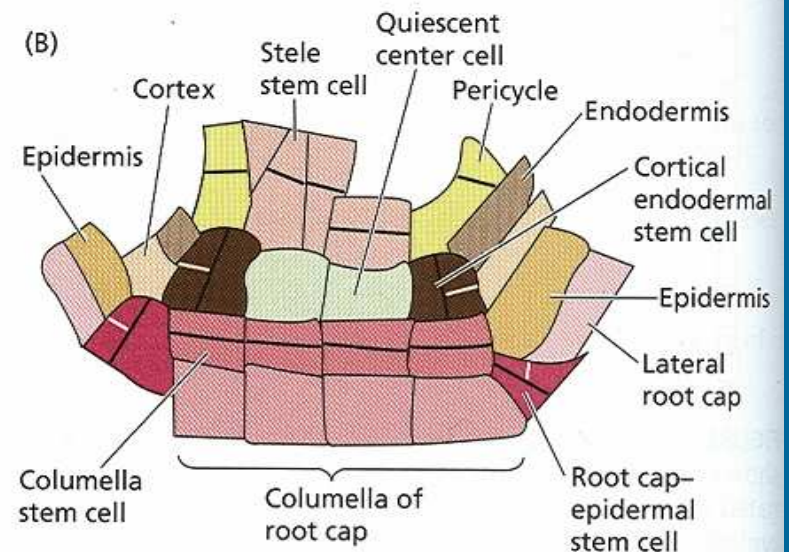
v případě **CYTOKININŮ** „**xylemový proud**“ z kořenů do nadzemní části, jinak **difuse**. Specifičtí přenašeči dosud nejsou známi



Klidové centrum (quiescent center) kořene:
 buňky KC/QC se většinou nedělí, jsou „reservou“
 pro případně poškozený kořenový apikální meristé,
 ale také preferenčními producenty **cytokininů**



All the tissues in the *Arabidopsis* root are derived from a small number of stem cells in the root apical meristem. (A) Longitudinal section through the center of a root. The promeristem containing the stem cells that give rise to all the tissues of the root is outlined in green. (B) Diagram of the promeristem region outlined in A. Only two of the four quiescent-center cells are depicted in this section. The black lines indicate the cell division planes that occur in the stem cells. White lines indicate the secondary cell divisions that occur in the cortical–endodermal and lateral root cap–epidermal stem cells. (From Schiefelbein et al. 1997, courtesy of J. Schiefelbein, © the American Society of Plant Biologists, reprinted with permission.)



Inhibitory transportu auxinu:

syntetické

přirozené

fytotropiny...NPA ...kyselina alfa naftyftalamová

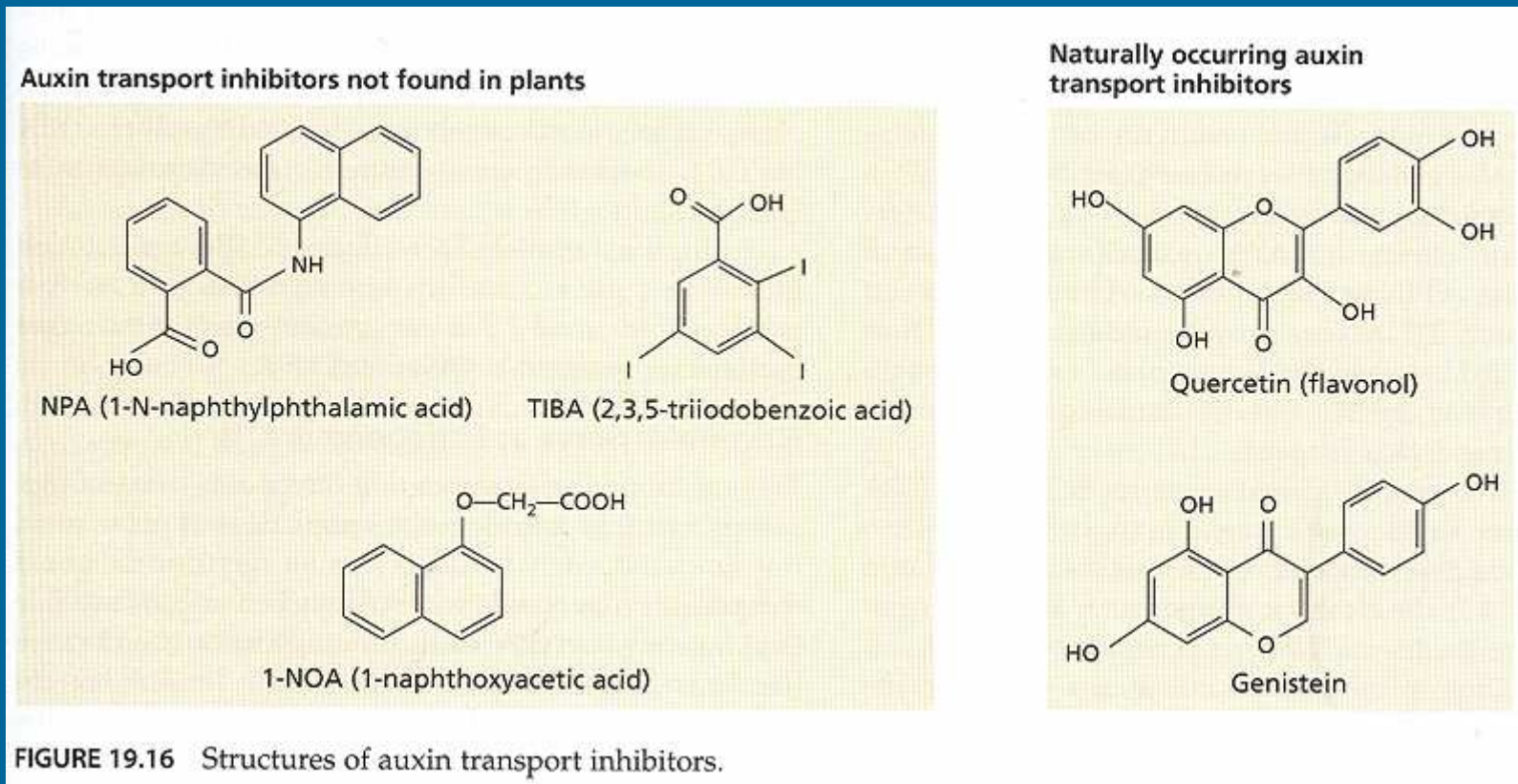
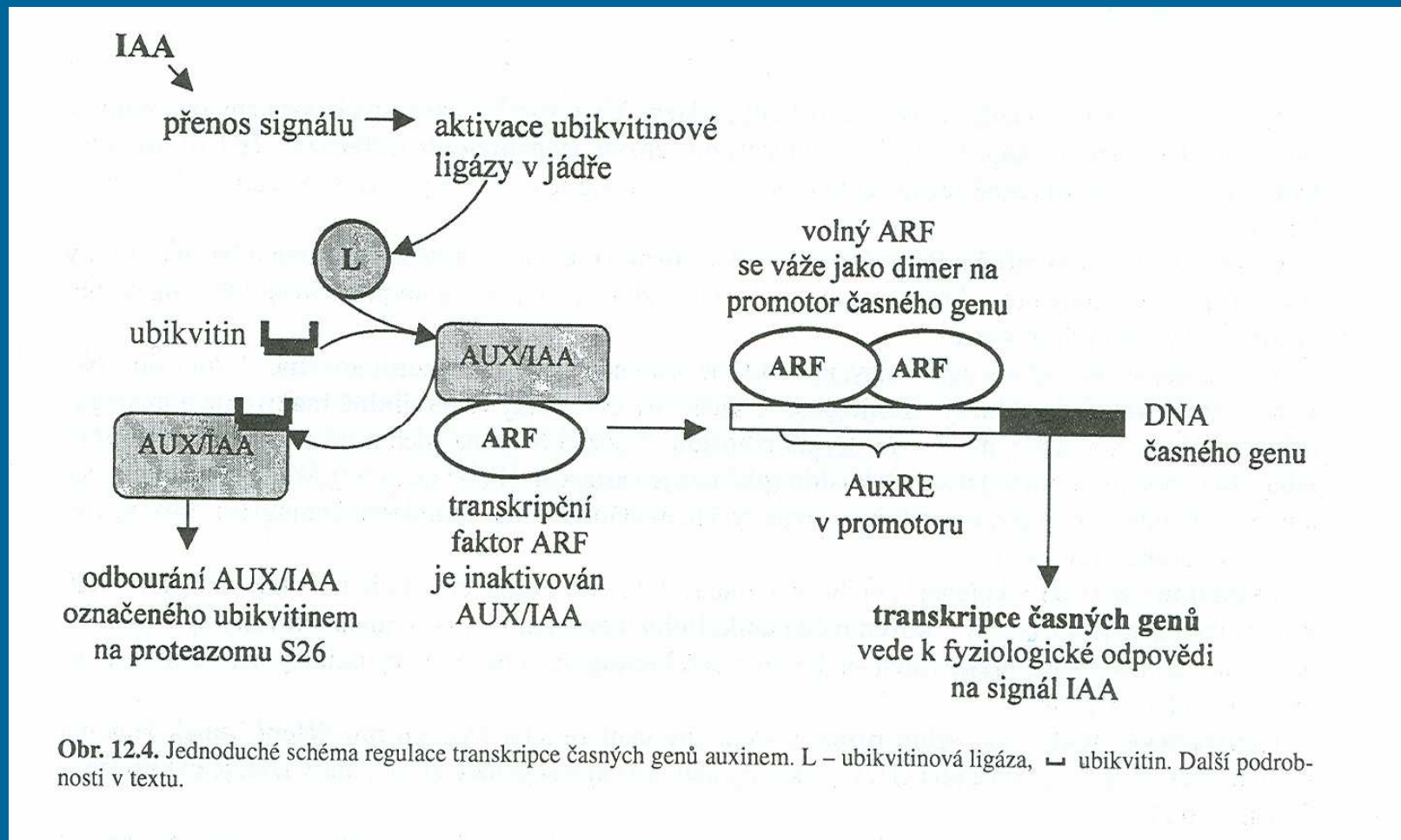



FIGURE 19.16 Structures of auxin transport inhibitors.

Auxin x genová aktivace :

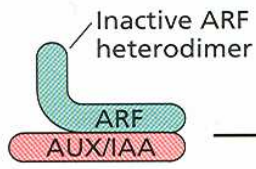
auxin aktivuje celou řadu genů, současně však reguluje svoji vlastní aktivitu -vazbou na specifické proteiny rodiny TIR1 aktivuje jadernou degradaci Aux/IAA transkripčních faktorů proteasomovou cestou (hlava a ocas brontosaura ... Leyser 2001)



Obr. 12.4. Jednoduché schéma regulace transkripce časných genů auxinem. L – ubikvitinová ligáza,  ubikvitin. Další podrobnosti v textu.

Auxinová aktivace genů „rychlé odpovědi“

1. In the absence of IAA, the transcription factor, ARF, forms inactive heterodimers with AUX/IAA proteins.



AUX/IAA and other early genes

2. Inactive heterodimers block the transcription of the early auxin genes. There is no auxin response.

IAA

Signal transduction pathway

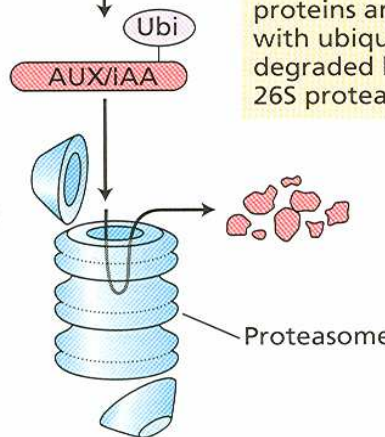
3. In the presence of auxin, AUX/IAA proteins are targeted for destruction by an activated ubiquitin ligase.

Activation of ubiquitin ligase

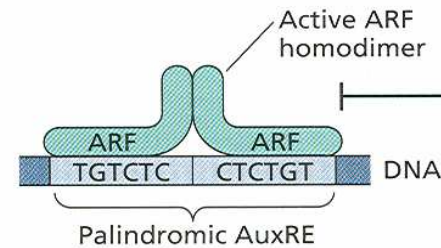
Ubiquitin

ATP

4. The AUX/IAA proteins are tagged with ubiquitin and degraded by the 26S proteasome.



5. IAA-induced degradation of the AUX/IAA proteins allows active ARF homodimers to form.



6. The active ARF homodimers bind to palindromic AuxREs in the promoters of the early genes, activating transcription.

AUX/IAA and other early genes

Auxin-mediated growth/development

7. Transcription of the early genes initiates the auxin response.

8. The stimulation of AUX/IAA genes introduces a negative feedback loop.

FIGURE 19.41 A model for auxin regulation of transcriptional activation of early response genes by auxin. (After Gray et al. 2001.)

Zpět k Bohumilu Němcovi

auxin a statolitová teorie gravitropismu

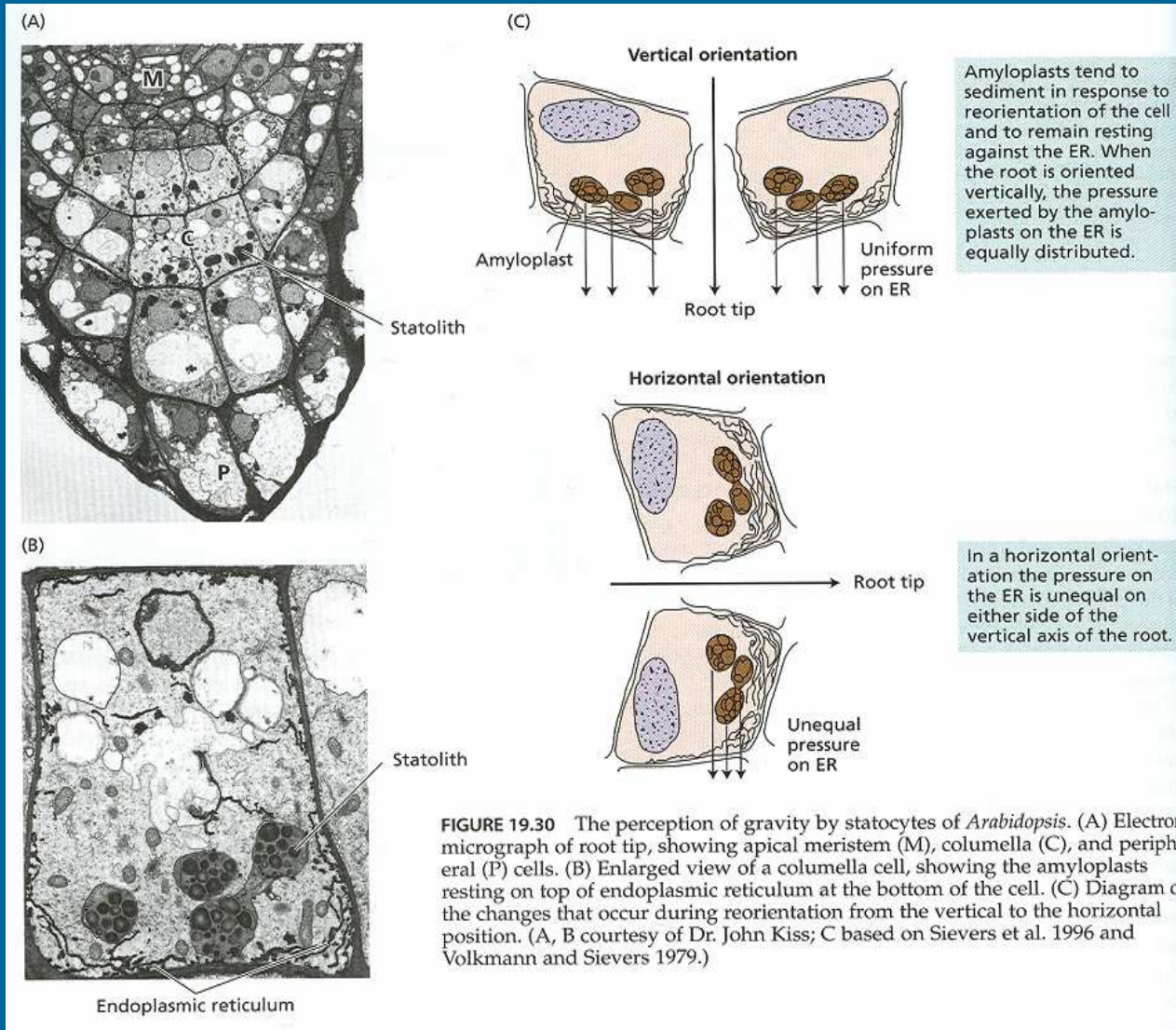


FIGURE 19.30 The perception of gravity by statocytes of *Arabidopsis*. (A) Electron micrograph of root tip, showing apical meristem (M), columella (C), and peripheral (P) cells. (B) Enlarged view of a columella cell, showing the amyloplasts resting on top of endoplasmic reticulum at the bottom of the cell. (C) Diagram of the changes that occur during reorientation from the vertical to the horizontal position. (A, B courtesy of Dr. John Kiss; C based on Sievers et al. 1996 and Volkmann and Sievers 1979.)

opět trochu opakování

Auxin a moderní biotechnologie

Parthenokarpie -

jeden z mnoha prakticky využitelných účinků auxinů

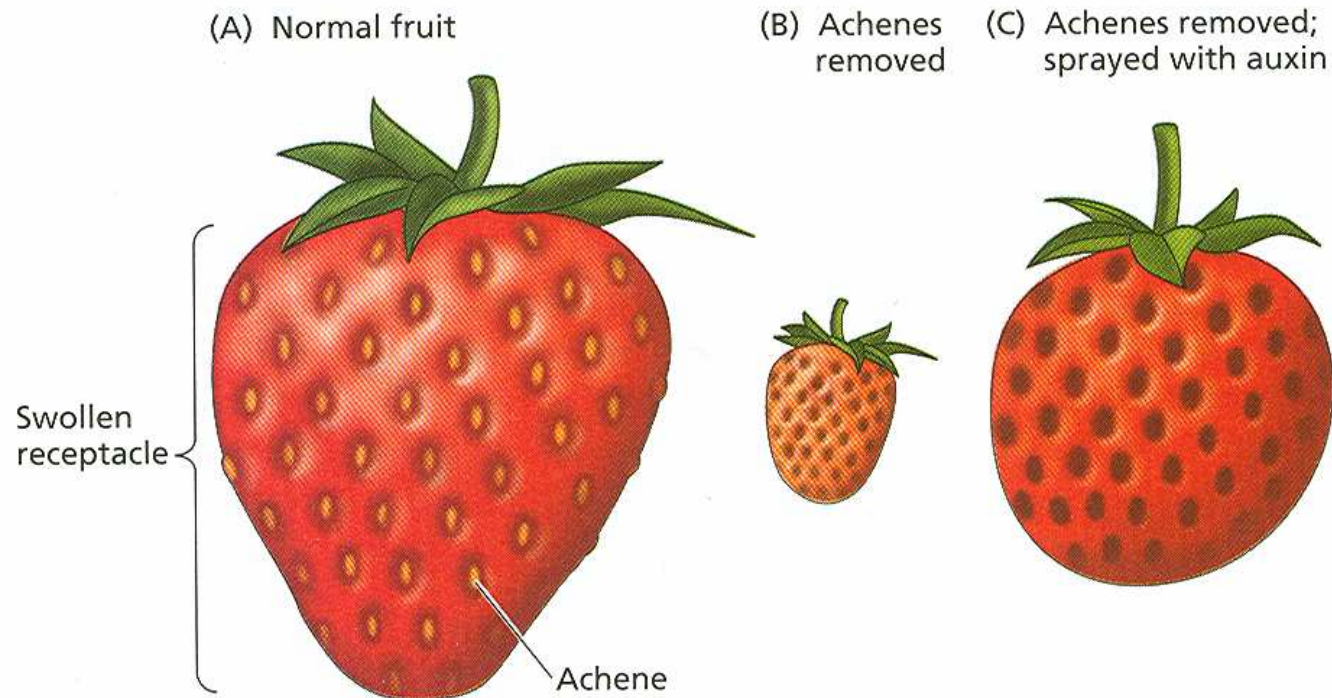


FIGURE 19.39 (A) The strawberry “fruit” is actually a swollen receptacle whose growth is regulated by auxin produced by the “seeds,” which are actually achenes—the true fruits. (B) When the achenes are removed, the receptacle fails to develop normally. (C) Spraying the achene-less receptacle with IAA restores normal growth and development. (After A. Galston 1994.)

Odstraníme vlastní plody - tedy „semínka“

Žádné syntetické HORMONY (2,4-D)

Hormones are never used in our production

Seedling beds are not placed on the ground, instead they are hanged by hooks on the construction system of the greenhouse by using a hanging gutter system which is the first in Europe and Turkey.

Heating, ventilation, watering, misting, shading and carbon dioxide systems of the greenhouse are controlled by computers with the data transmitted by sensors, located indoor and outdoor.

Instead of soil, we use cocopeat consisting of a mixture of perlite, peat moss and rockwool. The nutritions needed by the seedlings just in the amount and radiation that is required with dripping system.

Hormones are never used throughout our production; Bambus Terrestris bees are used for pollination.

Biological controlling methods and organic preparations not containing poisons are used for fighting against harmful insects, therefore our products do not contain remnants of any agricultural compounds that might be harmful for humans.

We use LPG in heating of our greenhouses. LPG burners are ignited in the daytime. Thermal heat screening during night time and curtaining system during daytime for shading are also used in the greenhouses.

pouze bambusové včelky

a také žádné GMO

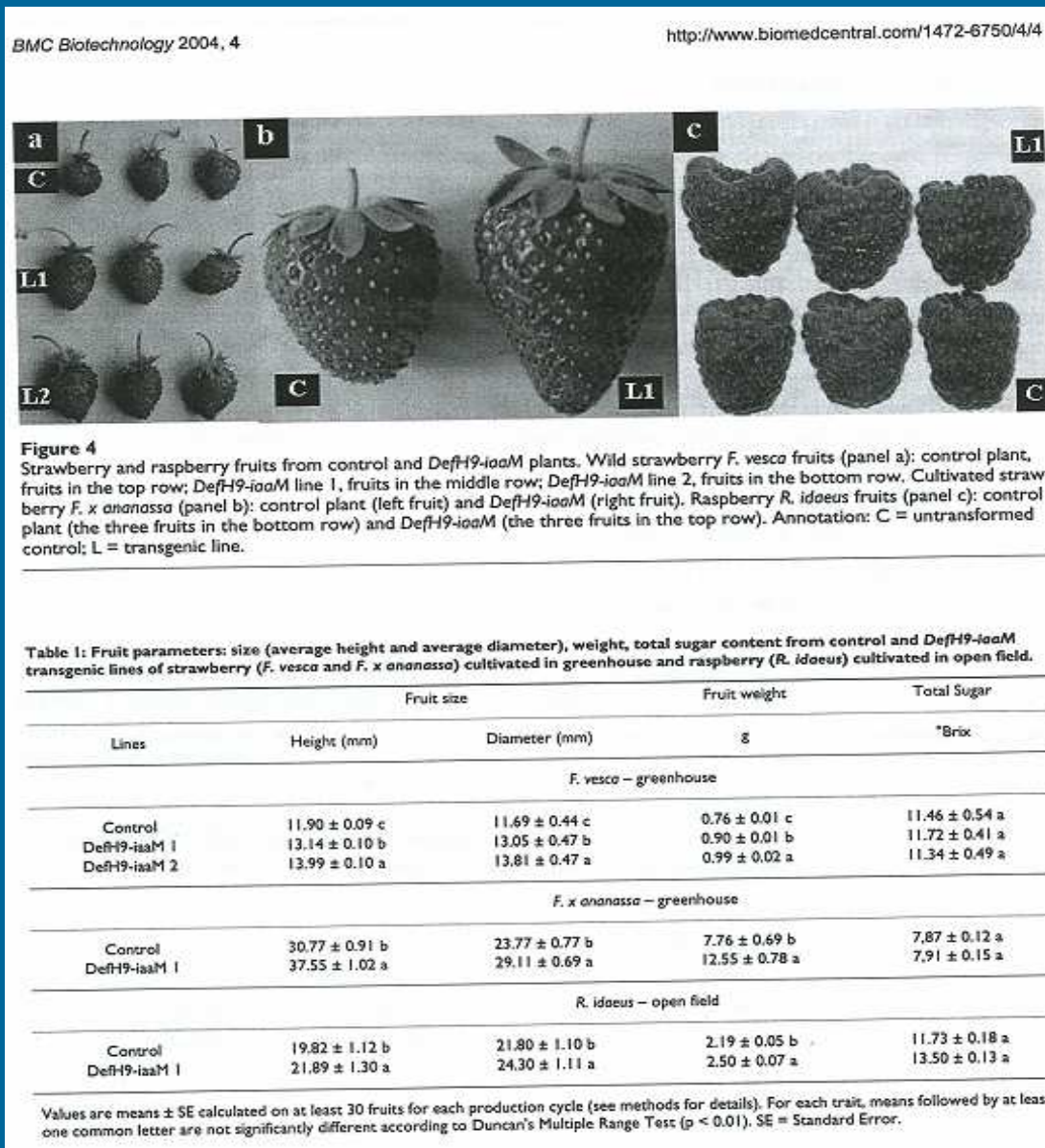
Není nad kvalitní „BERRIES“

Zvýšená tvorba přirozeného auxinu (IAA) v semenících transgenních jahod:

Plody četné, velké, voňavé a „biofortifikované“ ochrannými antioxidanty

B. Mezzeti 2004

GMO jako alternativa



AUXIN

souhrnně:

- Dělení buněk ... morfogeneze
- Diferenciace buněk ... morfogeneze
- Dloužení buněk ... dlouživý růst
- Embryogeneze
- Organogeneze ... apikální dominance, větvení stonku, zakořeňování a větvení kořenů, tvorba hlíz, cibulí, tvorba květů, tvorba plodů
- Pohyby orgánů

Cytokininy

od cytokinese k buněčné diferenciaci

od juvenilizace k
programované buněčné smrti

Náhoda přeje připraveným-
explantátová analogie Flemingova objevu
od kokosového mléka k cytokininům

* **SKOOG, MILLER et al. 1954**

pouze „zkažené“ vzorky DNA sledě mají růstově
regulační účinek. Dřeň tabáku Wisconsin 38 po
jejich přidavku do media nejen proliferuje, ale
také regeneruje *de novo*

aktivní látkou je 6-furfurylaminopurin ... KINETIN,
ze skupiny cytokininů

poměr IAA : kinetin je určující pro tvorbu kalusu,
kořenů či pupenů



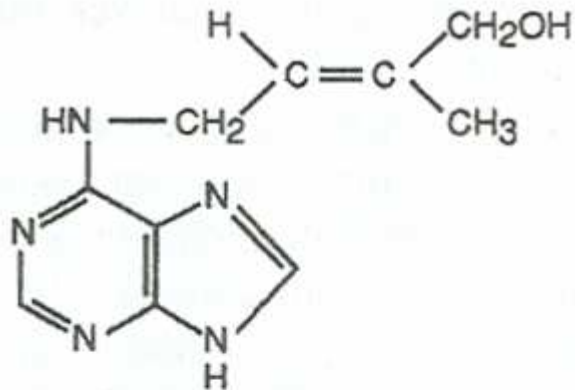
Folke Skoog (1908-). Leading member of the group that discovered kinetin. He, together with Carlos Miller, discovered the interaction between auxin and cytokinin for the control of organogenesis.

I. It has been a great pleasure for my wife and me to participate in this symposium, to meet old friends and to see much progress in areas of our special interest in this part of the world.

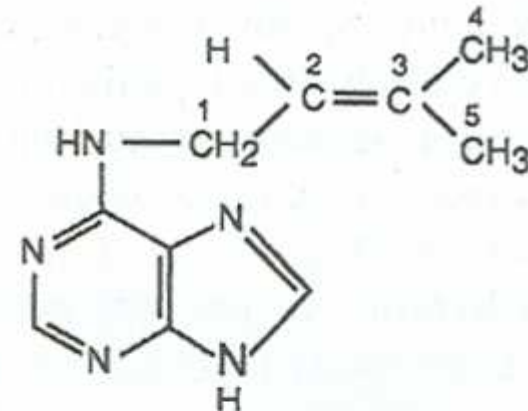
We are especially indebted to you for all your kind interest and help in making this visit a delightful experience.

I wish you and yours all success and happiness in the future. Hope to see you soon and often again.
Sincerely
Folke Skoog

Základní typy cytokininů - již všechny „přirozené“



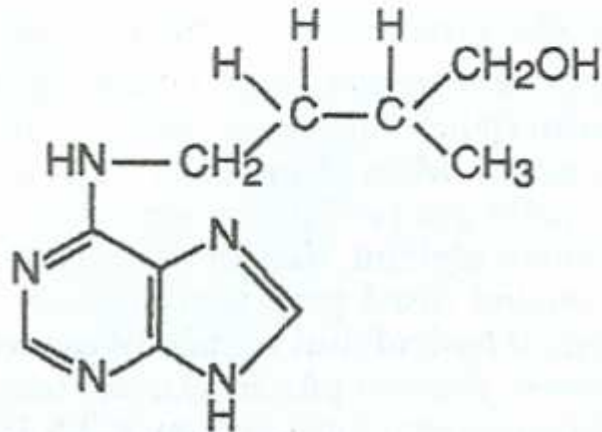
trans-zeatin



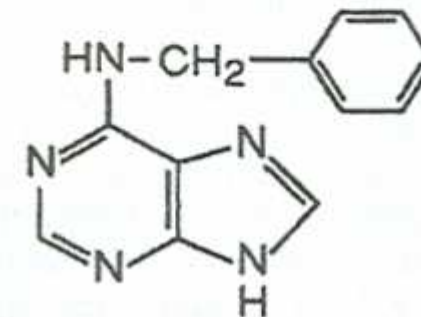
izopentenyladenin

isoprenoidní

aromatické



dihydrozeatin



benzylaminopurin

Skoog a Miller (1965)

poměr **auxinů** a **cytokininů** určuje morfogenní odpověď



Cytokininy

jako klíčové
induktory
vzniku
rostlinných
nádorů

zde
„crown gall“
tumory
Agrobacterium
tumefaciens



FIGURE 21.1 Tumor that formed on a tomato stem infected with the crown gall bacterium, *Agrobacterium tumefaciens*. Two months before this photo was taken the stem was wounded and inoculated with a virulent strain of the crown gall bacterium. (From Aloni et al. 1998, courtesy of R. Aloni.)

Cytokiny ...nejen v rostlinách, ale i v bakteriích tvorba „crown galls“ , *Agrobacterium*

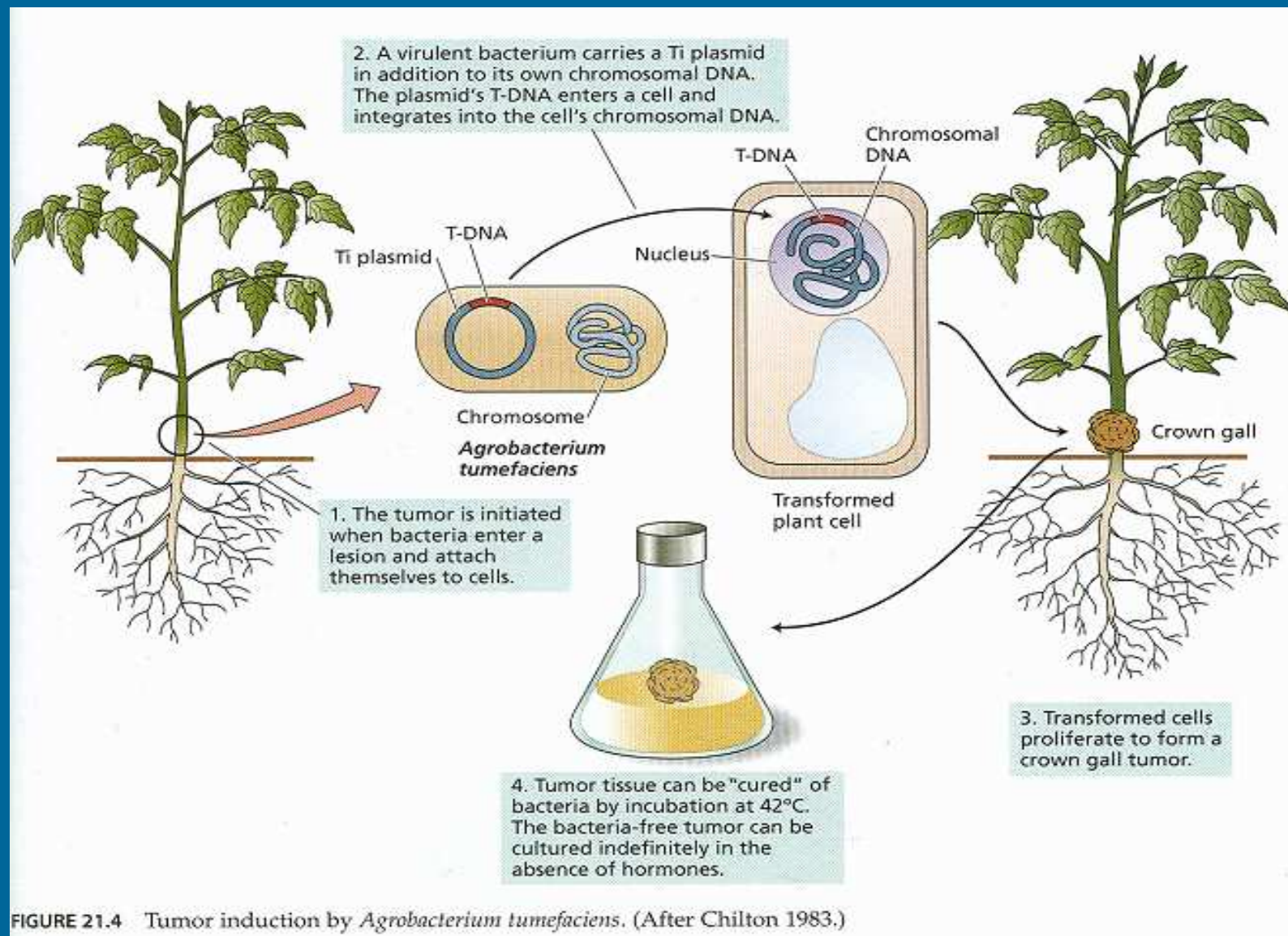


FIGURE 21.4 Tumor induction by *Agrobacterium tumefaciens*. (After Chilton 1983.)

Mutace „hormonálních genů“ mění fenotyp nádorů

Skoog-Miller schema funguje také *in vivo*

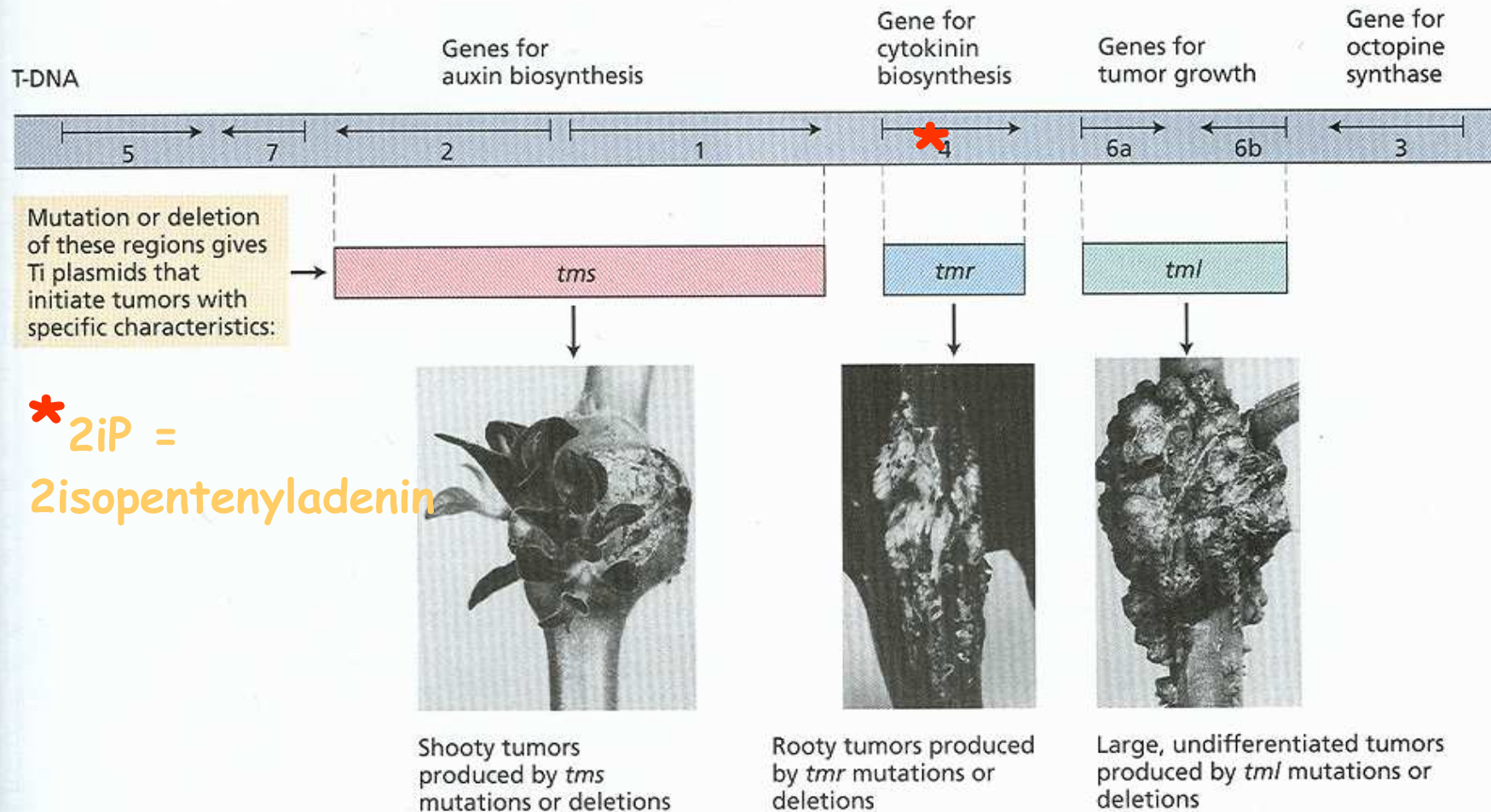


FIGURE 21.14 Map of the T-DNA from an *Agrobacterium* Ti plasmid, showing the effects of T-DNA mutations on crown gall tumor morphology. Genes 1 and 2 encode the two enzymes involved in auxin biosynthesis; gene 4 encodes a

cytokinin biosynthesis enzyme. Mutations in these genes produce the phenotypes illustrated. (From Morris 1986, courtesy of R. Morris.)

Cytokininy: ač se tvoří v „klidovém centru“ kořenné špičky, zvýšení jejich hladiny blokuje aktivitu kořenových meristémů a naopak: fenotyp mutantů *AtCKX1* se sníženou hladinou cytokininů



FIGURE 21.10 Cytokinin suppresses the growth of roots. The cytokinin-deficient *AtCKX1* roots (right) are larger than those of the wild-type tobacco plant (left). (From Werner et al. 2001.)

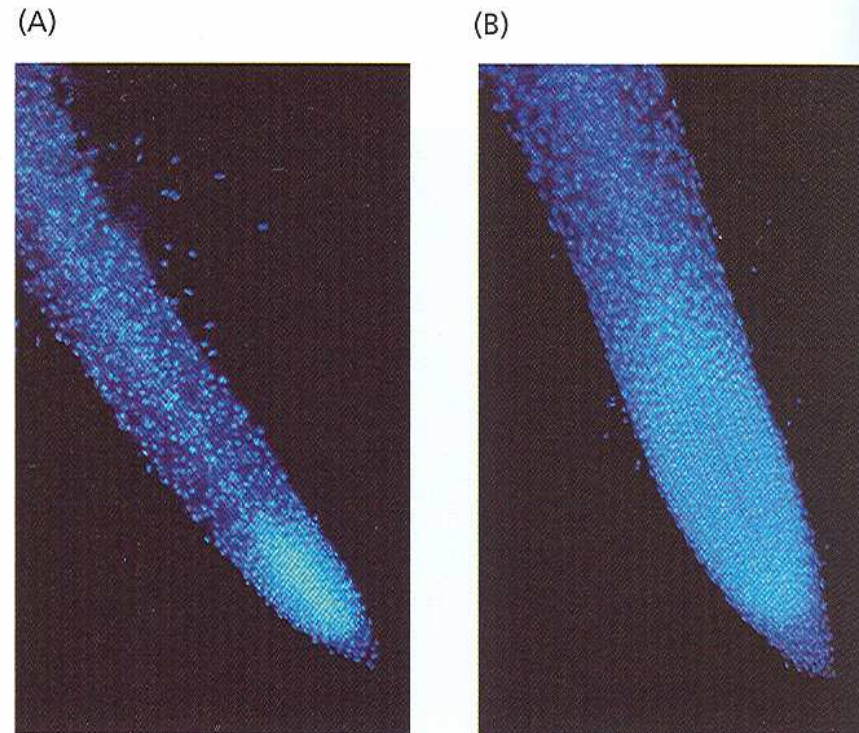


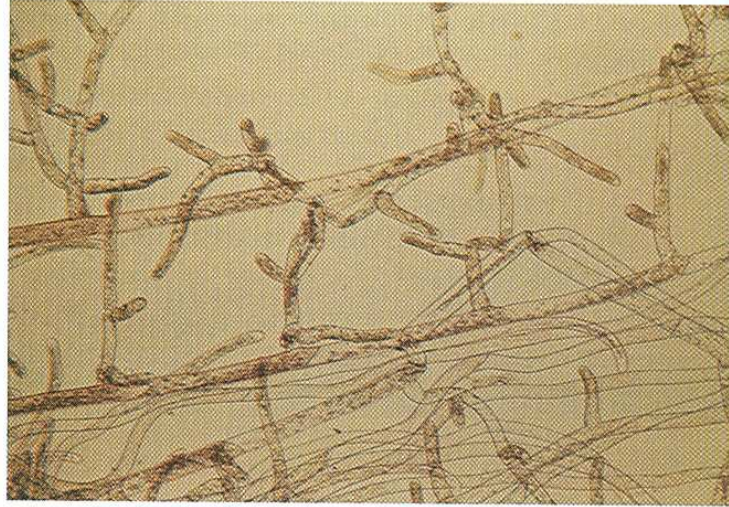
FIGURE 21.11 Cytokinin suppresses the size and cell division activity of roots. (A) Wild type. (B) *AtCKX1*. These roots were stained with the fluorescent dye, 4', 6-diamidino-2-phenylindole, which stains the nucleus. (From Werner et al. 2001.)

Cytokininy:

změna hladiny
v kulturách
protonemat mechů

ovlivňuje větvení
či indukuje tvorbu
pupenů

(A)



(B)

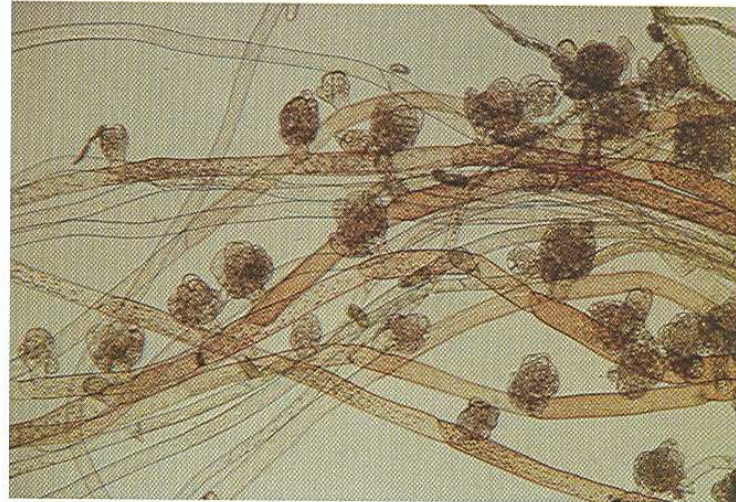


FIGURE 21.16 Cytokinin stimulates bud development in *Funaria*. (A) Control protonemal filaments. (B) Protonemal filaments treated with benzyladenine. (Courtesy of H. Kende.)

Genetické tumory:

fyziologická rovnováha
fytormonů
může být narušena
„nevhodnou hybridizací“

v určitých kombinacích
tribů

Nicotiana glauca ×
Nicotiana langsdorffii

tvoří hybridní rostliny
spontánně
tumory
zejména v důsledku
nadprodukce
cytokininů (příp. i auxinů)



FIGURE 21.17 Expression of genetic tumors in the hybrid *Nicotiana langsdorffii* × *N. glauca*. (From Smith 1988.)

Cytokininy x senescence:

nadprodukce
cytokininu

ipt

v transgenních
tabácích
udržuje mládí:
zelené,
fotosynteticky
aktivní listy



Plant expressing *ipt*
gene remains green
and photosynthetic

Age-matched control:
advanced senescence,
no photosynthesis

Transgenní nesmrtelný tabák ??



produkce *ipt*
pod senescenčním
promotorem
opakovaně navozuje
„omlazovací proces“

CYTOKININY

souhrnně:

- Dělení buněk... morfogeneze
- Diferenciace buněk... morfogeneze
- „antisenescence“ buněk/organel/pletiv/organizmu

ale také

- induktor programované buněčné smrti ?
- embryogeneze
- organogeneze ...
- „antagonista“ apikální dominance
- inhibice zakořeňování a větvení kořenů
- tvorba hlíz

NOVÁ

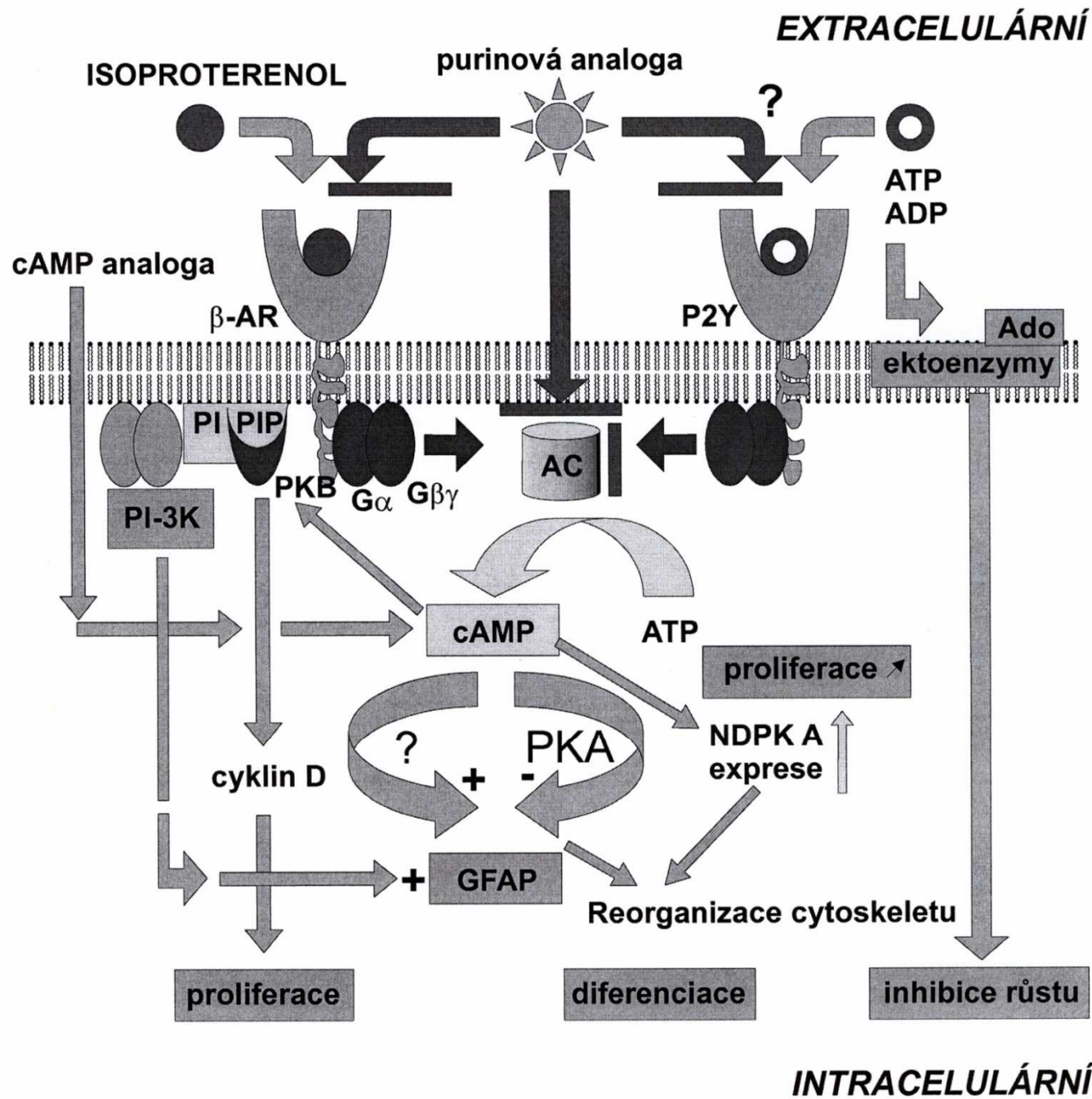
syntetická analoga přírodních cytokininů

tým prof. Strnada, ÚEB AVČR/UJEP Olomouc

olomoucin, topolin, roscovitin

nepůsobí jen jako „rostlinné morforegulátory“, ale též
jako univerzální **cytostatika**

Výzkum procesů PROGRAMOVANÉ BUNĚČNÉ SMRTI



Příklad konkrétního experimentálního zadání:

- * různá nová „cytokininová analoga“ různě ovlivňují aktivitu tzv. „cyklin-dependentních kináz“ (klíčových enzymů buněčného cyklu) ...**CDK 1,2,4,7,9**
- * účinek dán typem analoga a koncentrací, může končit smrtí ovlivněné buňky
- * požadavek: ověřit účinek, zjistit, zda smrt je typu PCD - a jakého
- * **cíl**: terapie nádorových onemocnění

GIBBERELINY

fytohormony z rýžových polí pod Fudjijamou ...

Gibberella fujikorii a válka v Pacifiku

Z Japonska do zbytku vědeckého světa až v padesátých letech

Gibereliny tvoří jen houba,
ale jsou také **přirození**
rostlinnými fytohormony →



„*Nemoc šílených semenáčků*“ na rýži.

Vytáhlé rostlinky na pravé straně jsou infikovány houbou rodu *Gibberella*. Patogen produkuje gibereliny, stimulatory růstu. Ty vznikají přirozeně i v neinfikovaných rostlinách (vlevo), ovšem v daleko menší míře.

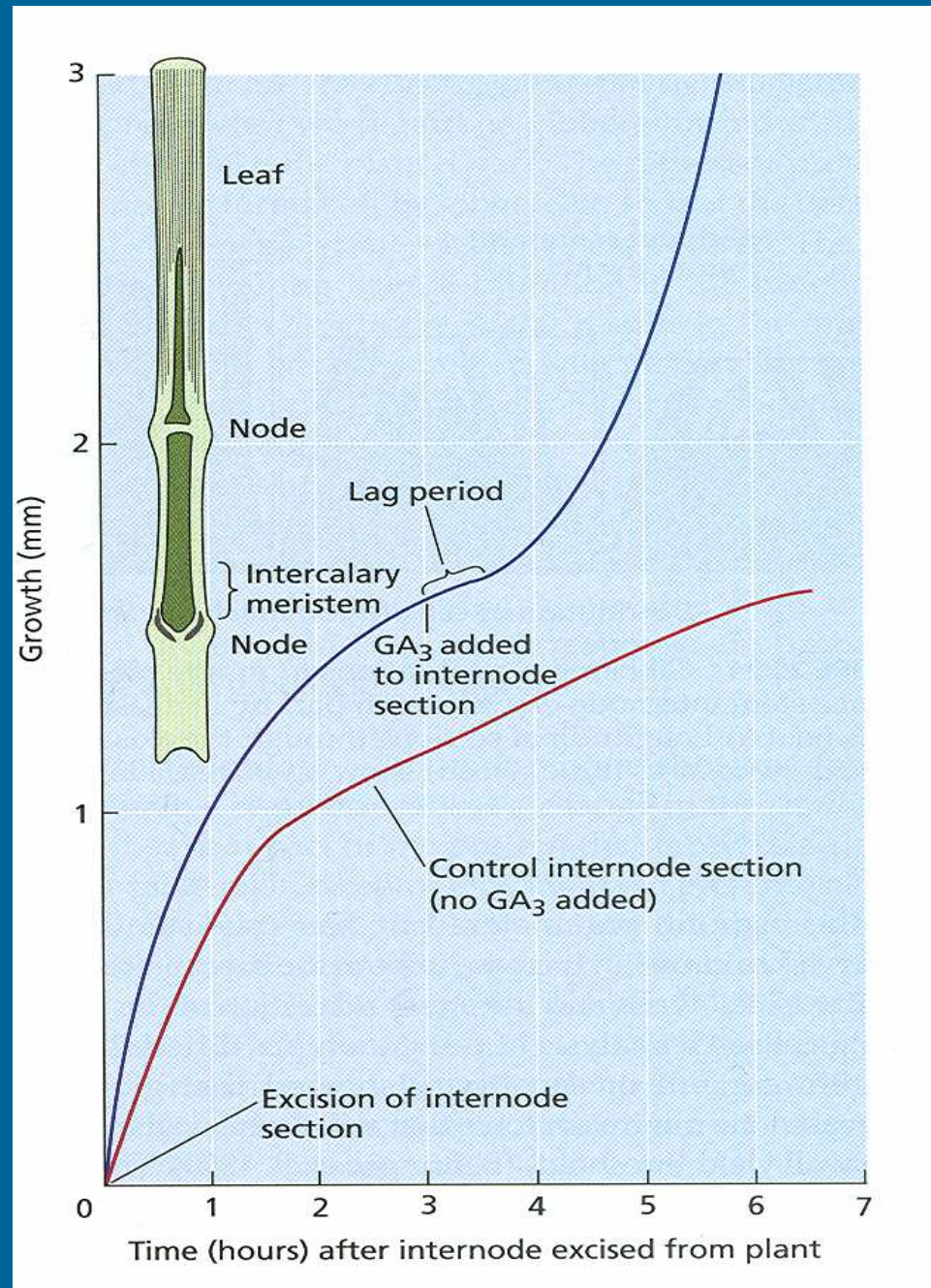


Působení růstového hormonu na zakrslé rostlinky hrachu. V obou květináčích jsou původně zakrslé rostliny. Semenáčky na levé straně (kontrola) kontrastují s rostlinami vpravo, které byly posledních pět dnů zalévány roztokem s 5 µg giberelinu.

Prvý známý účinek prvých giberelinů



- * postupně známa stovka dalších
- * účinky od regulace kvetení
přes tvorbu hlíz po klíčení
semen
- interakce s hormonálními
i non-hormonálními signály



Gibereliny syntetizovány zejména v mladých pletivech stonku a listů

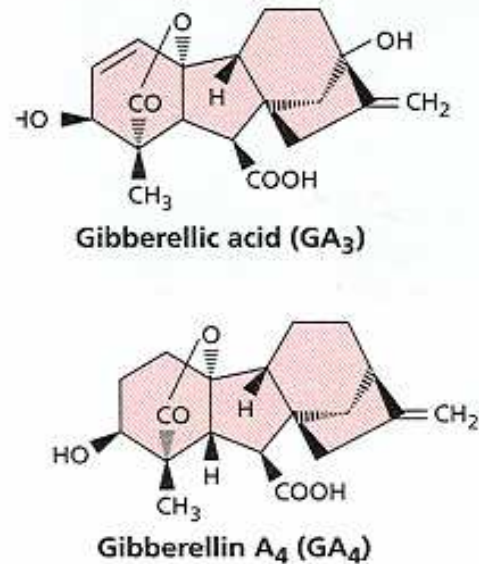
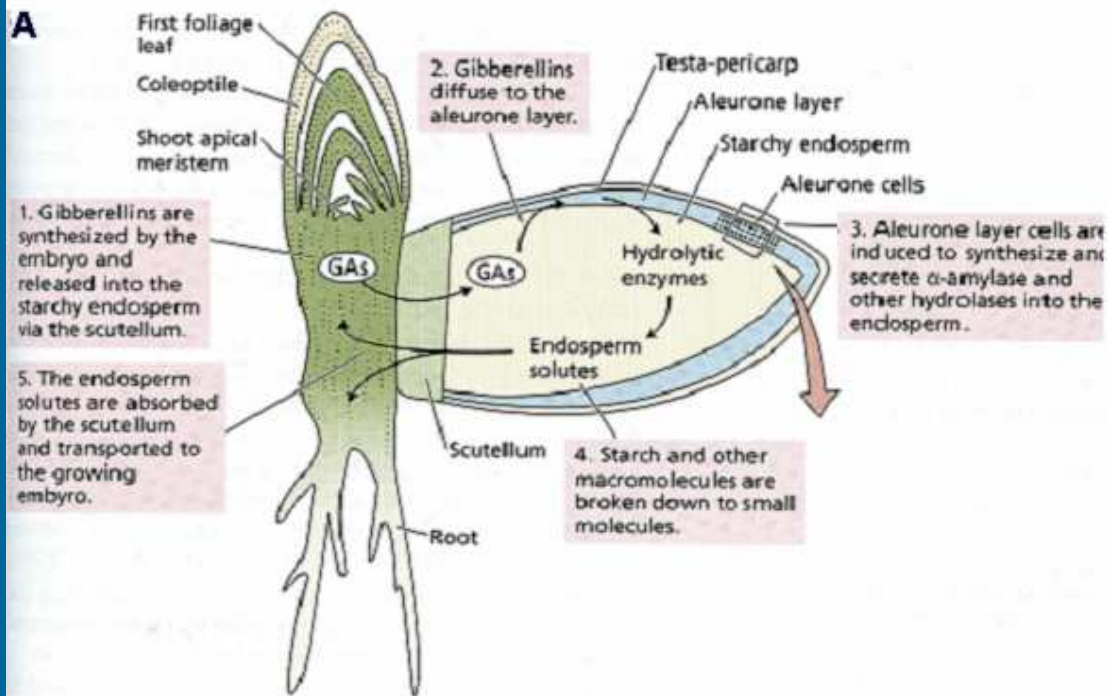


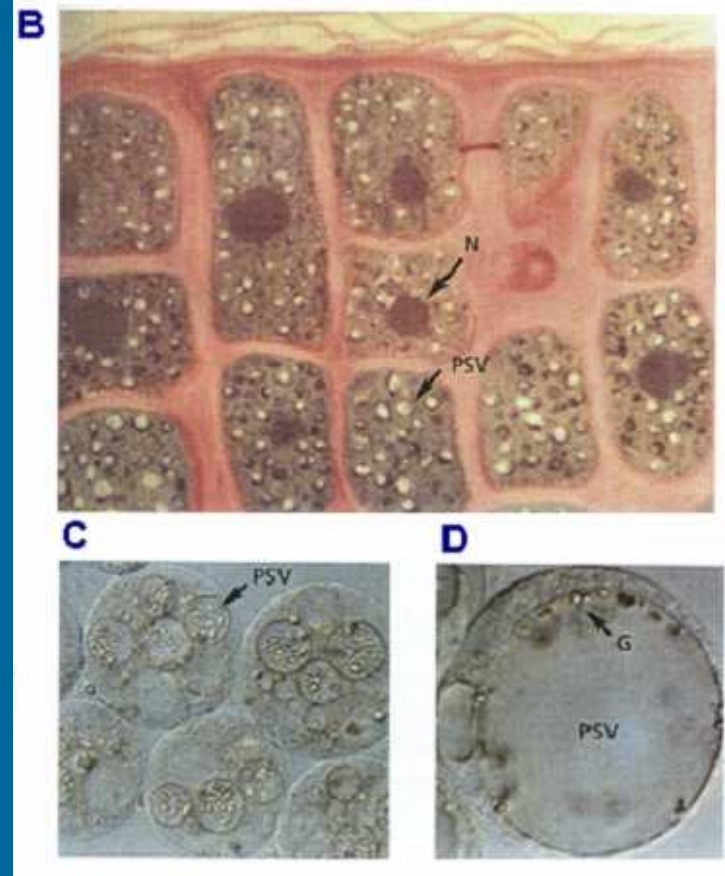
FIGURE 20.11 Gibberellin is synthesized mainly in the shoot apex and in young developing leaves. This false color image shows light emitted by transgenic *Arabidopsis* plants expressing the firefly luciferase coding sequence coupled to the GA20ox gene promoter. The emitted light was recorded by a CCD camera after the rosette was sprayed with the substrate luciferin. The image was then color-coded for intensity and superimposed on a photograph of the same plant. The red and yellow regions correspond to the highest light intensity. (Courtesy of Jeremy P. Coles, Andrew L. Phillips, and Peter Hedden, IACR-Long Ashton Research Station.)

GA 1 aktivuje amylázy v klíčící obilce

Funkce giberelinů při mobilizaci zásobních látek v obilce. V embryu se tvoří gibereliny, které jsou transportovány do aleuronové vrstvy (živé buňky, které obklopují mumifikovaný endosperm). Gibereliny (GA_1) v buňkách aleuronové vrstvy aktivují syntézu amyláz a dalších hydroláz i jejich transport do endospermu. Látky vzniklé hydrolýzou jsou transportovány do embrya, kde slouží jako zdroj energie a dalších metabolitů nezbytných k růstu. a – embryo, b – koleoptile, c – první list, d – stonkový apikální meristém, e – kořeny, f – štítek (*scutellum*), g – transport giberelinů do aleuronové vrstvy, h – osemení srostlé s oplodím (testa), i – aleuronová vrstva, j – endosperm. (Podle Taiz L., Zieger E.: *Plant Physiology*. – Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, Massachusetts 2002. Upraveno.)



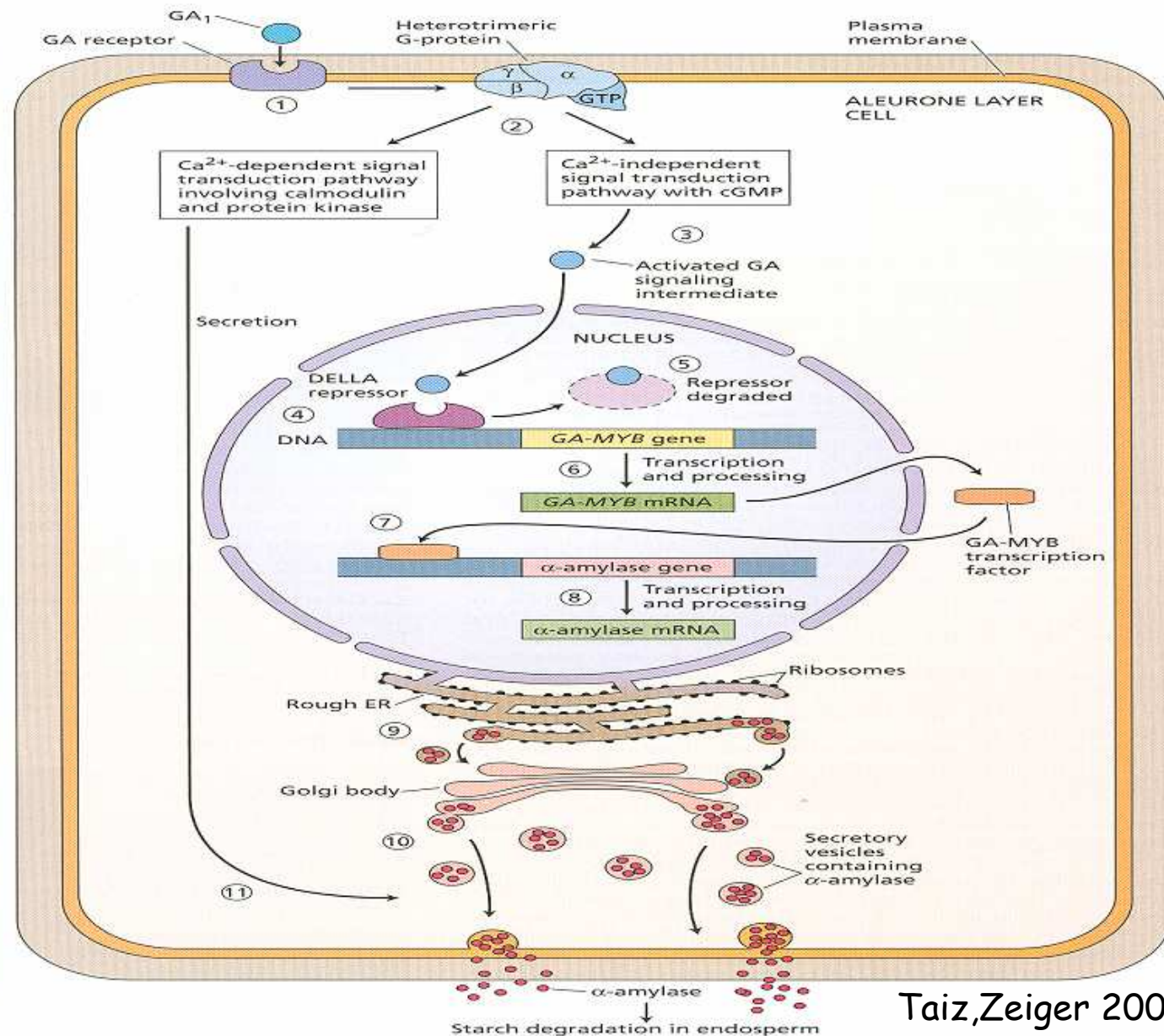
Structure of a barley grain and the functions of various tissues during germination (A). Microscope photos of the barley aleurone layer (B) and barley aleurone protoplasts at an early (C) and late stage (D) of amylase production. Protein storage vesicles (PSV) can be seen in each cell. G = phytin globoid; N = nucleus. (Photos from Bethke et al. 1997, courtesy of P. Bethke.)



jeden z prvních příkladů specifické genové aktivace fytohormony

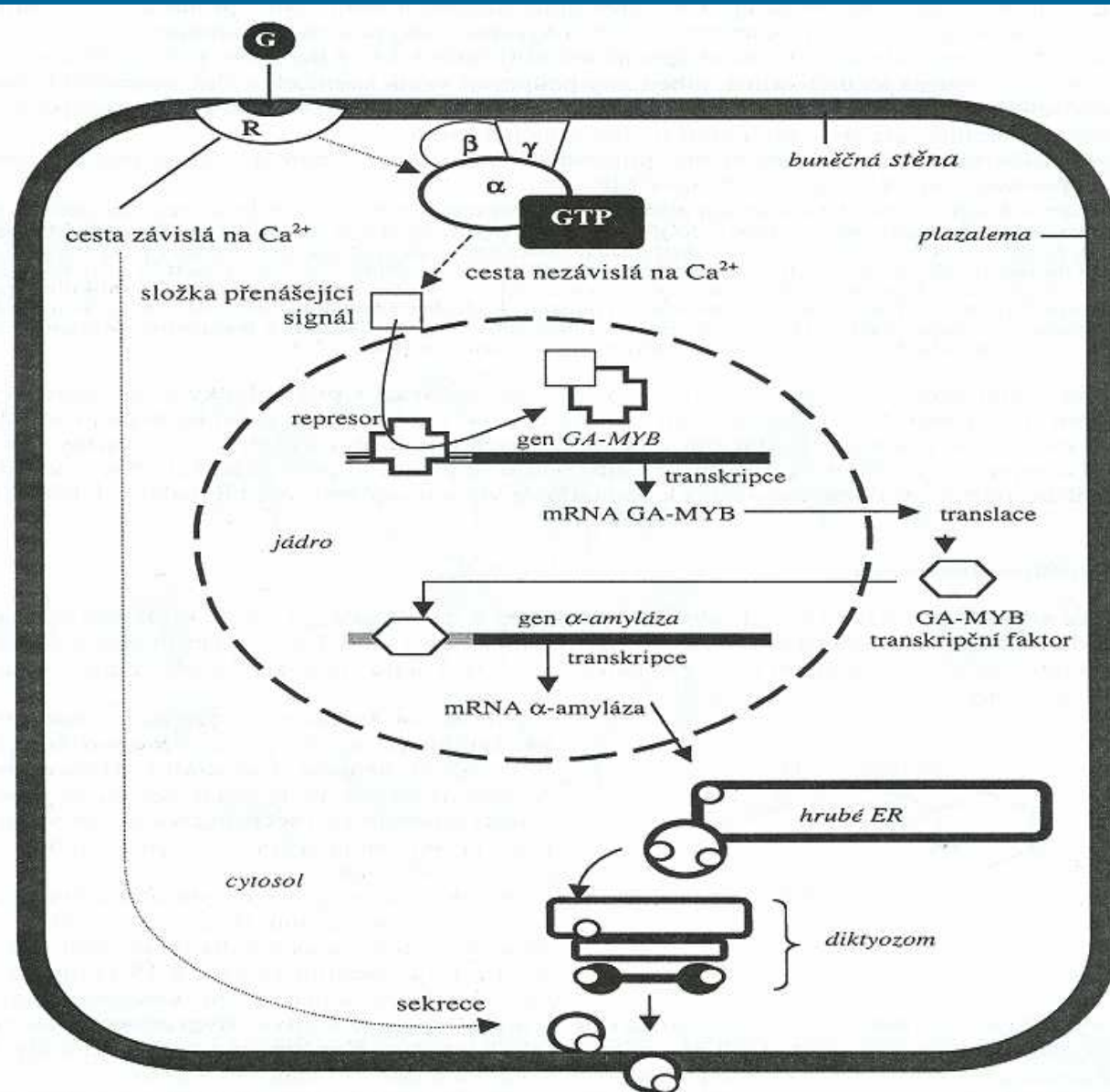
Embryonální GA jednak spouští transkripci „amylázového genu“, jednak sekreci alfa-amylázy z buňky aleuronové vrstvy

1. GA₁ from the embryo first binds to a cell surface receptor.
2. The cell surface GA receptor complex interacts with a heterotrimeric G-protein, initiating two separate signal transduction chains.
3. A calcium-independent pathway, involving cGMP, results in the activation of a signaling intermediate.
4. The activated signaling intermediate binds to DELLA repressor proteins in the nucleus.
5. The DELLA repressors are degraded when bound to the GA signal.
6. The inactivation of the DELLA repressors allows the expression of the MYB gene, as well as other genes, to proceed through transcription, processing, and translation.
7. The newly synthesized MYB protein then enters the nucleus and binds to the promoter genes for α-amylase and other hydrolytic enzymes.
8. Transcription of α-amylase and other hydrolytic genes is activated.
9. α-Amylase and other hydrolases are synthesized on the rough ER.
10. Proteins are secreted via the Golgi.
11. The secretory pathway requires GA stimulation via a calcium-calmodulin-dependent signal transduction pathway.



Taiz, Zeiger 2002

Zjednodušeně
a česky
ze skript
Pavlové 2005



Jednoduché schéma přenosu signálu giberelinů v buňkách aleuronové vrstvy. Jedna cesta vede k odstranění represe genů kódujících faktory nezbytné pro transkripci genu pro α -amylázu. Druhá cesta, v níž působí Ca^{2+} a kalmodulin, ovlivňuje sekreci α -amylázy do endospermu. (Podle Taiz L., Zieger E.: Plant Physiology. – Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, Massachusetts 2002. Upraveno.).

Gibereliny: terpenoidní látky, tvořené z isoprenových jednotek

* prekursor **ent-kauren**, ent-kauren syntáza je ovlivnitelná různými **inhibitory**. Důsledkem je snížení hladin giberelinů a tím i inhibice procesů jimi stimulovaných

* pouze několik přirozených giberelinů (GA1,3,4) ze známé „stovky“ je bezprostředně fyziologicky účinných, ostatní jsou jejich metabolity či prekurzory

* **aktuální fyziologický účinek je odrazem interakcí různých signálních faktorů:**

- o výchozí isoprenoidy soutěží metabolické dráhy giberelinů, cytokininů i brasinosteroidů,
- transkripci genů pro enzymy biosyntetické GA dráhy ovlivňují fotoperioda, teplota, hladina auxinu – i sama hladina giberelinu

* GA zřejmě obdobně působí **na syntézu transkripčních faktorů retardujících růst i na transkripci alfa amylázy**

Tvorba hlíz u bramboru :

gibereliny stimulují dlouhivý růst stolonů
ale striktně blokují tvorbu hlíz

tolik obvyklá teorie,
podrobnosti si povíme
později

FIGURE 20.17 Tuberization of potatoes is promoted by short days. Potato (*Solanum tuberosum* spp. *Andigena*) plants were grown under either long days or short days. The formation of tubers in short days is associated with a decline in GA_1 levels (see Chapter 24). (Courtesy of S. Jackson.)



Long days

Short days

GIBERELINY v zemědělské a zahradnické praxi:

změny sexuality květů, násada x velikost plodů



Obrázek 39.11 – Působení giberelinu na bezsemenou révu. Běžně ošetřované hrozny na levé straně slouží jako kontrola. Rostlina vpravo byla během vývoje plodů stříkána roztokem giberelinů.

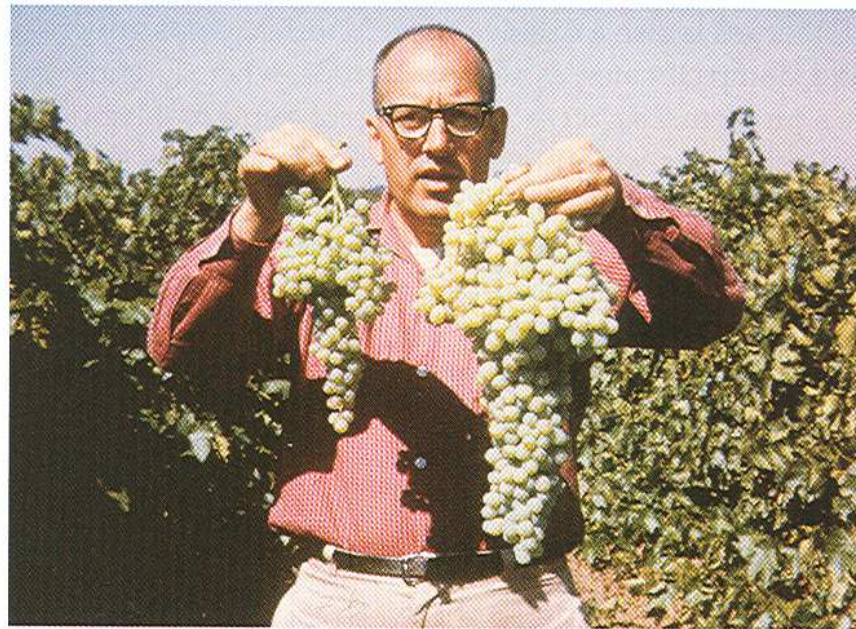


FIGURE 20.4 Gibberellin induces growth in Thompson's seedless grapes. The bunch on the left is an untreated control. The bunch on the right was sprayed with gibberellin during fruit development. (© Sylvan Wittwer/Visuals Unlimited.)

ANTIGIBERELINY:
paclobutrazol (PBZ), ancymidol
cílená zakrslost, zkrácení juvenilní fáze vývoje



Poinsettia:

kontrola

stříkáno PBZ

GIBERELINY

souhrnně:

- *dloužení a diferenciacce buněk, regulace polarity
- *organogeneze ... klíčení semen (narušení dormance, stratifikace),
- *utváření kořenů,
- *regulace kvetení (jarovizace, vlastní kvetení, determinace sexuality květů)
- *tvorba a zrání plodů,
- *tvorba hlíz
- *úloha v pohybech orgánů
- *interakce s auxiny

KYSELINA ABSCISOVÁ

aneb:

proč bavlníku předčasně opadávají tobolky
a stromům listy ?

Jsou dorminy abscisiny ?

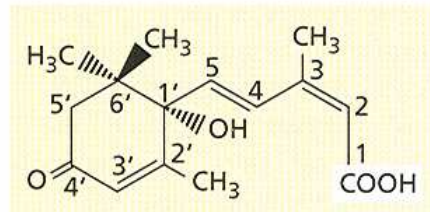
Wareing 1965: izolát z listů dormantního javoru
inhibuje růst koleoptilí ... **"DORMIN"**

Addicott et al. 1968 ...obdobně působí frakce z
opadlých mladých plodů bavlníku ... **"ABSCISIN"**

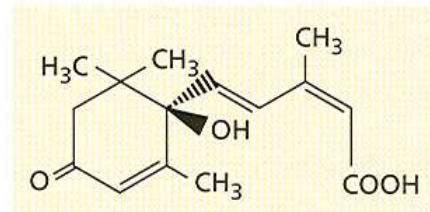
DORMINY = ABSCISINY

aktivní složka = kyselina abscisová

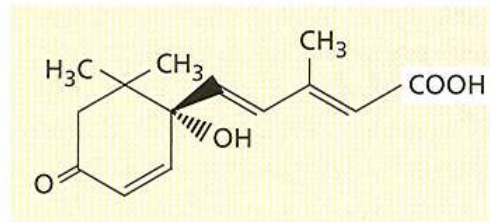
(S)
aktivní forma



(S)-*cis*-ABA
(naturally occurring
active form)



(R)-*cis*-ABA
(inactive in stomatal closure)



(S)-2-*trans*-ABA (inactive, but
interconvertible with active
[*cis*] form)

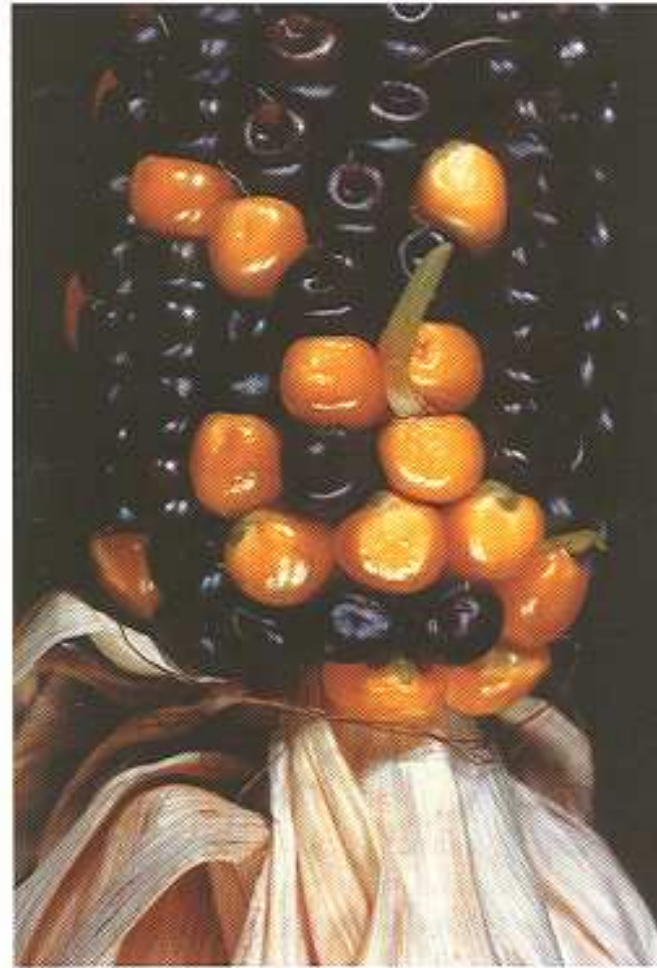
(R)
Inaktivní
forma

FIGURE 23.1 The chemical structures of the *S* (counterclockwise array) and *R* (clockwise array) forms of *cis*-ABA, and the (*S*)-2-*trans* form of ABA. The numbers in the diagram of (*S*)-*cis*-ABA identify the carbon atoms.

ABA

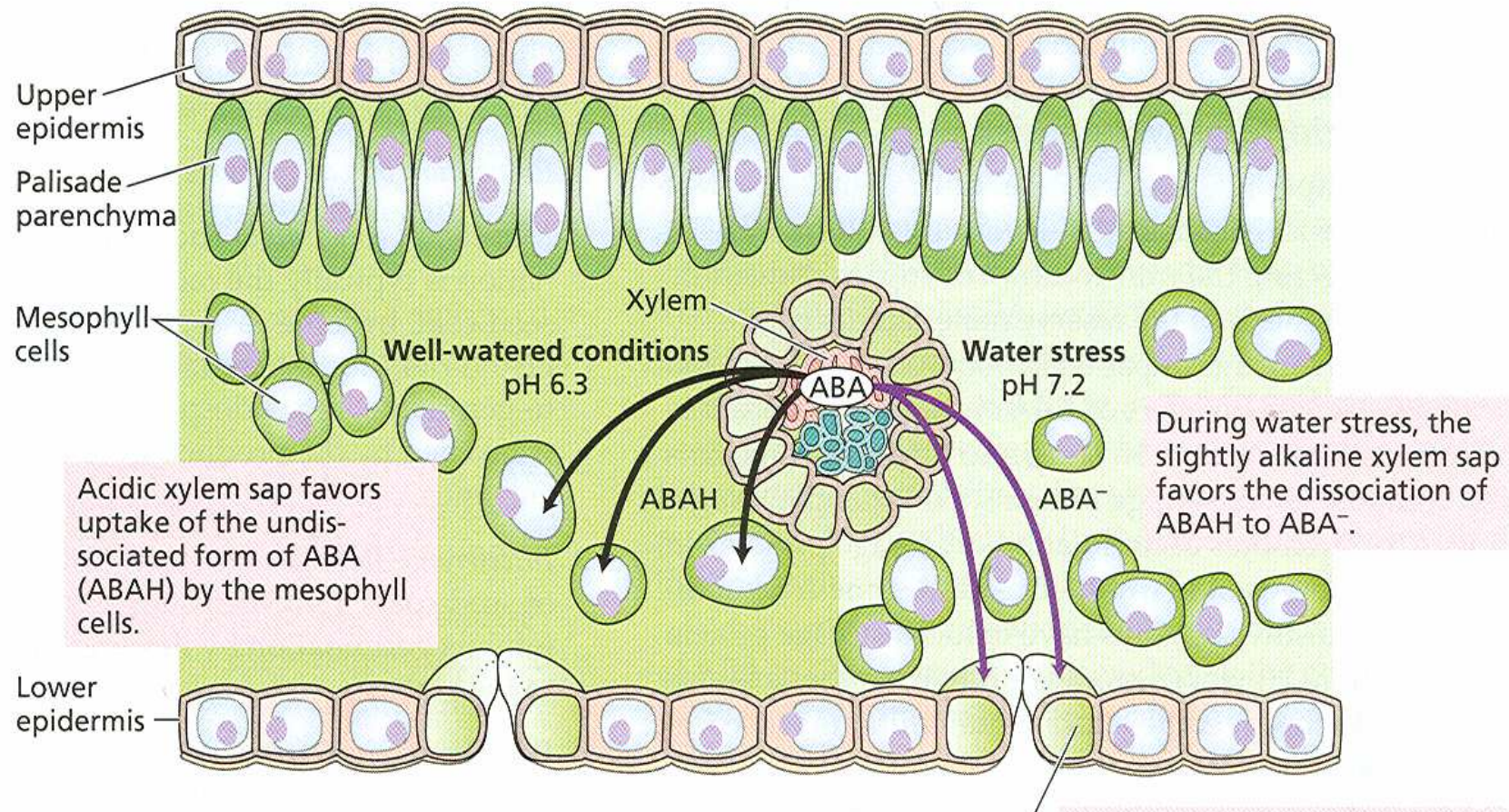
navozuje
zrání
embryí
a
udržuje
dormanci
semen

Obrázek 39.12 – Předčasné klíčení semen na mutantní rostlině kukuřice. Kyselina abscisová způsobuje dormanci semen. Je-li tento proces blokován – jako v tomto případě, kdy mutace ovlivňuje působení ABA – dochází k předčasnému klíčení.



SUCHO:

„xylem sap“ se alkalizuje, ABAH disociuje, difunduje listem hromadí se zejména ve svěracích buňkách průduchů, spouští „stresovou reakci“

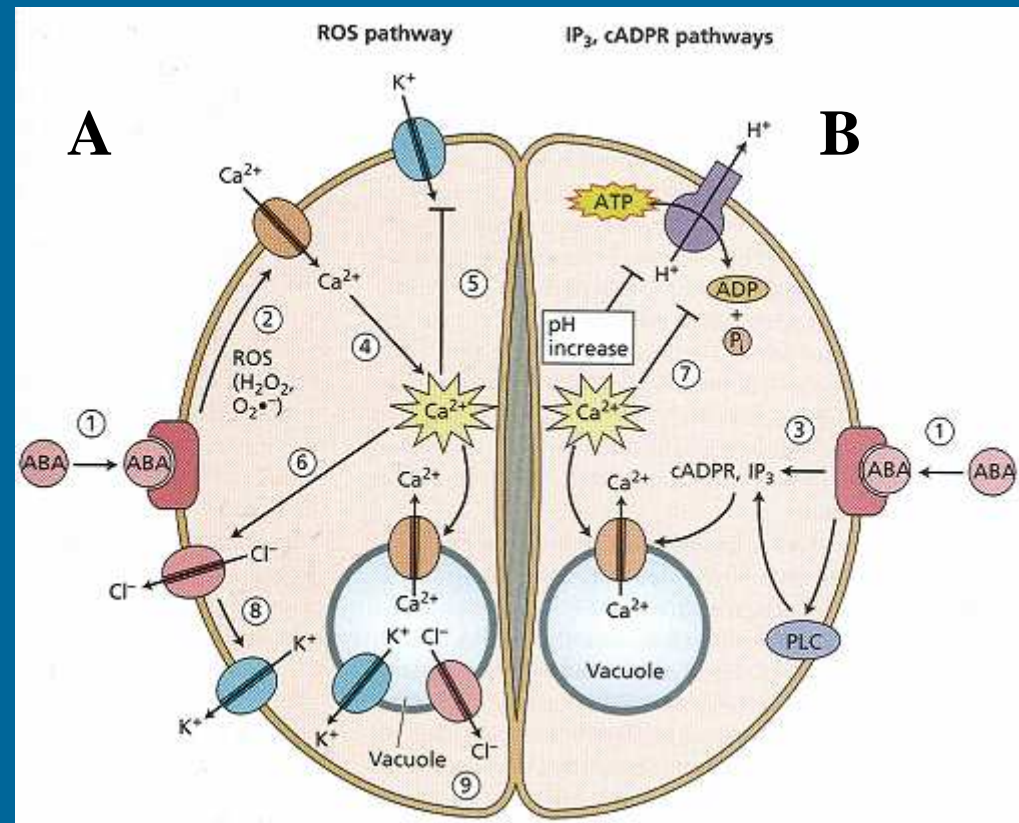


ABA

v podmínkách SUCHA
uzavírá průduchy

*dvě cesty zvýšení Ca
v cytoplasmě

*blokovány kanály pro
vstup K do cytosolu,
stimulován výstup aniontů
(Cl, malát) do apoplastu,
buňka ztrácí vodu, objem
klesá, zavírá průduch



Obr. 12.11. Zjednodušené schéma signálních cest působení kyseliny abscisové (ABA) při zavírání průduchů. Obě cesty vedou ke zvýšení koncentrace Ca²⁺ v cytoplasmě. 1 – ABA se váže na receptor v plazmatické membráně. Vazba ABA na receptor vyvolá vznik H₂O₂ a superoxidu – cesta A. Tyto složky přenosu signálu aktivují kanály pro vstup Ca²⁺ do cytosolu, které jsou lokalizované v plazmatické membráně (2). Vzestup Ca²⁺ v cytosolu aktivuje další kanály pro vstup Ca²⁺ do cytosolu, které jsou lokalizované v tonoplastu (4). K aktivaci kanálů v tonoplastu, jimiž Ca²⁺ vstupuje do cytosolu, vede i druhá cesta B, jejímiž složkami jsou IP₃ a cyklická ADPribóza (cADPR) (3). Zvýšená hladina Ca²⁺ blokuje kanály pro vstup K⁺ do cytosolu (5) a stimuluje otevření kanálů pro výstup aniontů Cl⁻ (a malátu²⁻ - neznačen) do apoplastu (6). Zvýšená hladina Ca²⁺ inhibuje také protonové pumpy (H⁺ATPázy) (7). Výsledkem těchto procesů je depolarizace plazmatické membrány, která aktivuje kanály pro výstup K⁺ do apoplastu (8). Ionty opouštějící protoplast se uvolňují ze zásob ve vakuole (9). Snížený obsah iontů vede ke ztrátě vody z protoplastu a zmenšení jeho objemu – průduch se zavírá. Vedle těchto cest, které využívají jako druhého posla Ca²⁺, existují další signální cesty ABA, které mechanismus působení Ca²⁺ při zavírání průduchů nezahrnují. (Podle Taiz L., Zieger E.: Plant Physiology. – Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, Massachusetts 2002. Upraveno.)

SUCHO
trvá již
několik dní

klesá vodní potenciál
vodivost průduchů
stoupá hladina ABA

včasná zálivka
obnovuje původní
stav

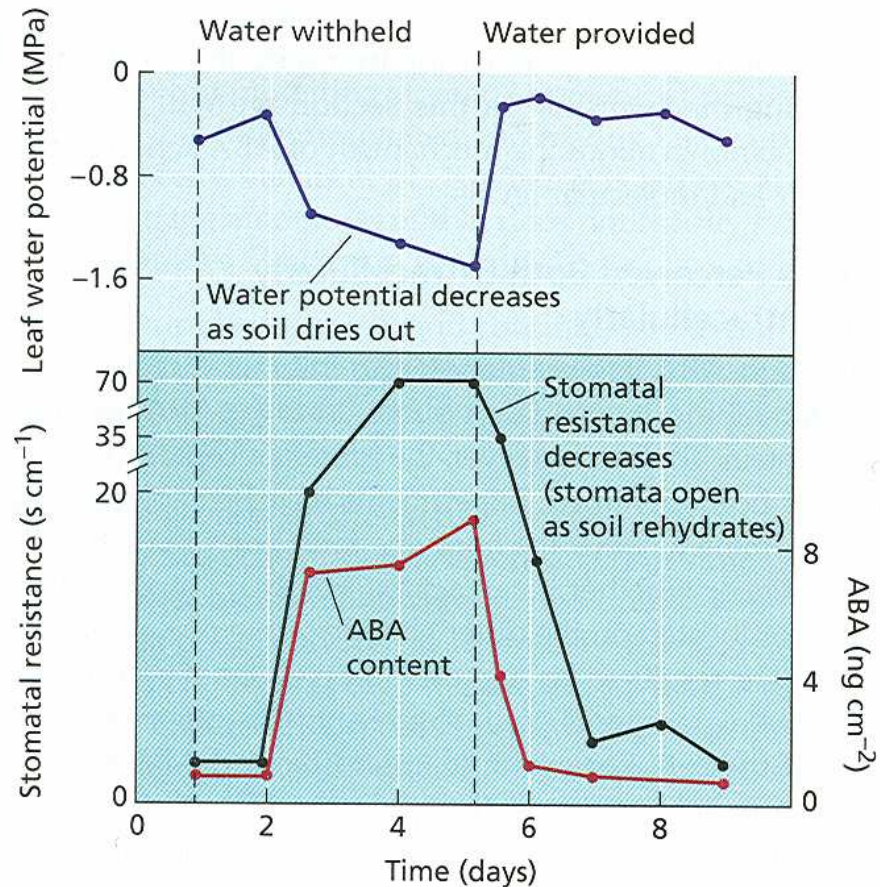
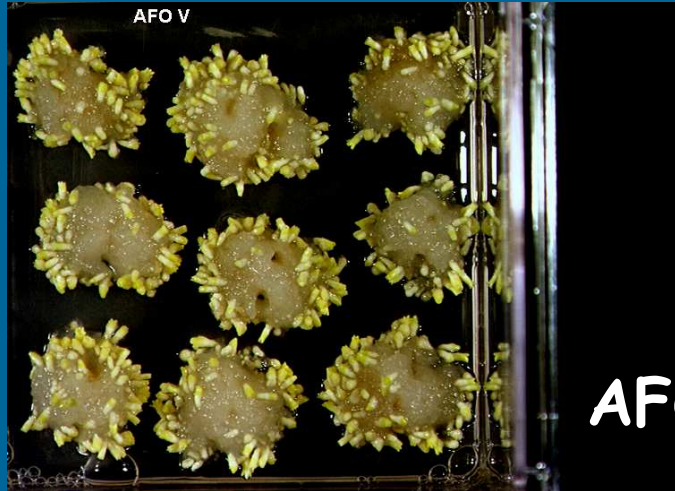


FIGURE 23.5 Changes in water potential, stomatal resistance (the inverse of stomatal conductance), and ABA content in maize in response to water stress. As the soil dried out, the water potential of the leaf decreased, and the ABA content and stomatal resistance increased. The process was reversed by rewatering. (After Beardsell and Cohen 1975.)

ABA spouští proces
„maturace“ (zrání) somatických embryí
smrku v kultuře *in vitro*



AFO



C 111



Vondráková Z., Vágner M., Opatrná J., 2001

AB(B)A

souhrnně:

- * inhibice prodlužovacího růstu, buněčného dělení a diferenciací
 - * embryogeneze ... zrání embryí a semen
 - * dormance semen
 - * úloha v senescenci, opad (abscise) listů, květů, plodů
 - * „stresový hormon“ - zvláště reakce na „water stres“ - zavírání průduchů
-
- * antagonist/konkurent cytokininů, giberelinů, auxinů ?
 - * interakce zejména s gibereliny, ale také s etylenem a brasinosteroidy

Smrtící (svítiplyn)

ETYLÉN

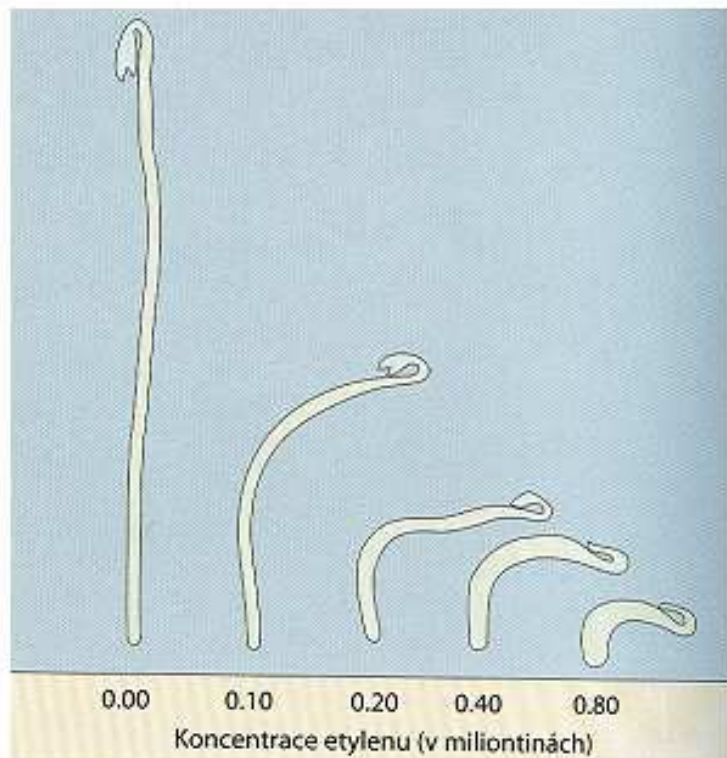
nejen abscisová kyselina reguluje opadávání listů, květů, plodů, jejich zrání či stárnutí

Dimitrij Neljubov, 1901, student Botanického institutu v Petrohradě:

viktoriánské plynové lampy v ulicích urychlují opad listí

„triple reaction“ temnostních semenáčků v laboratoři

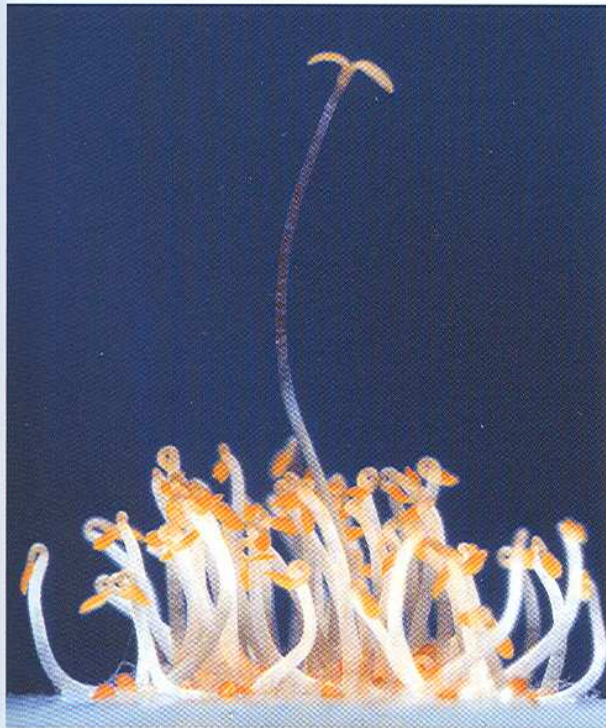
Etylén ovlivňuje objemový růst buněk a jeho polaritu indukuje laterální růst buněk, ohyby stonku, tloušťnutí orgánů



Obrázek 39.13 – Etylen způsobuje u semenáčků hrachu tzv. trojitou odpověď. Jak při umělém dodávání etylenu, tak při jeho přirozené produkci vyvolané mechanickým stresem dochází u klíčících semenáčků ke trojí odpovědi – zpomalení růstu, ztluštění stonku a k horizontálnímu růstu. Tato růstová reakce pomáhá klíčícím rostlinám vyhnout se překážce, na kterou mohou při růstu v půdě narazit. Na obrázku vidíme reakce semenáčků při různých koncentracích etylenu.

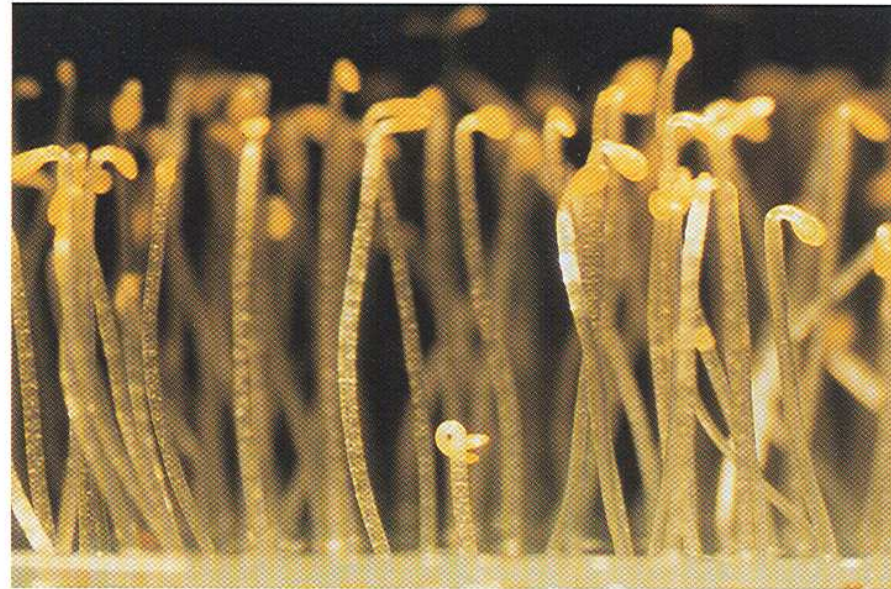
	Kontrola	Dodán etylen	Dodán inhibitor etylenu
Běžná rostlina			
Mutant necitlivý k etylenu (<i>ein</i>)			
Mutant s nadprodukcí etylenu (<i>eto</i>)			
Mutant <i>ctr-i</i> v nepřítomnosti etylenu je spuštěna dráha přenosu etylenového signálu			

Obrázek 39.15 – Podle reakce na pokusný zásah můžeme rozlišit jednotlivé mutace, ovlivňující etylenovou dráhu přenosu signálu



(a) *ein* *mutanti*. U rostlin necitlivých na etylen po jeho dodání k trojitě reakci nedojde.

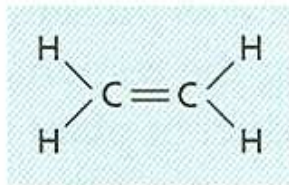
Obrázek 39.14 – Mutantní rostliny s abnormalitami v trojitě reakci vyvolané etylenem



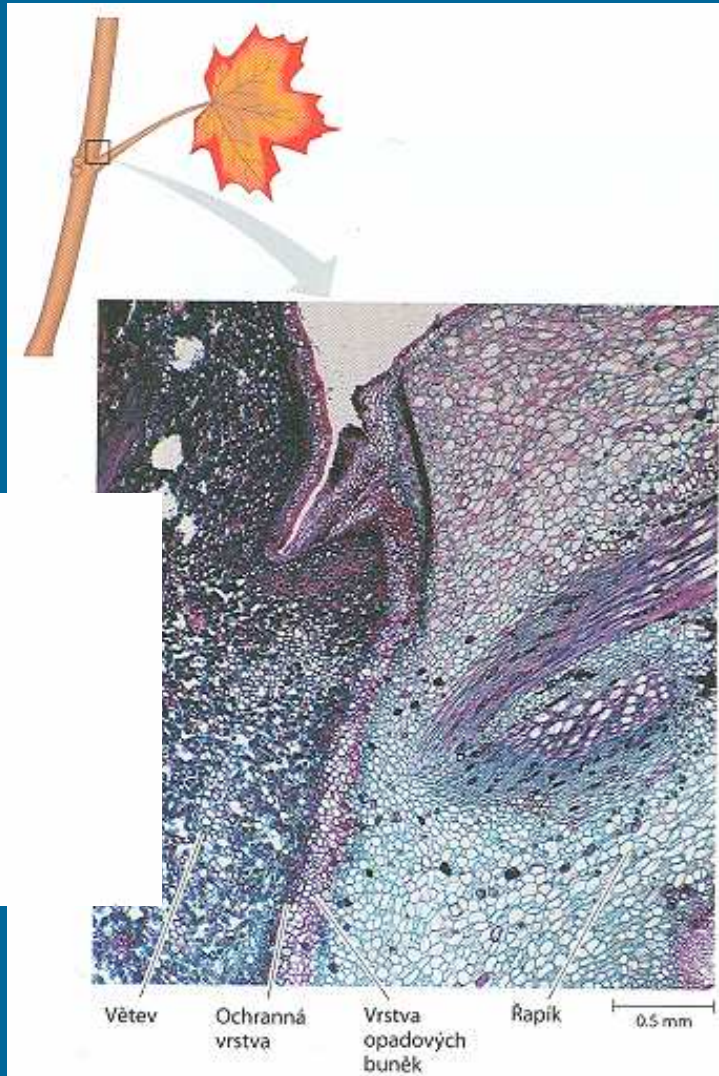
(b) *ctr* *mutanti*. U těchto rostlin k trojitě reakci dochází i za nepřítomnosti etylenu.

Cousins 1910
Gane 1934

„viníkem je
plynný hormon
etylén“



Ethylene



Obrázek 39.16 – Opad listu javoru. Opad listů je řízen změnou poměru mezi etylenem a auxinem. Vrstvu opadových buněk zde můžeme vidět jako vertikální proužek na bázi řapíku. Po opadu listu je na rostlině vytvořena vrstva korkových buněk, jizva chránící před napadením patogeny.

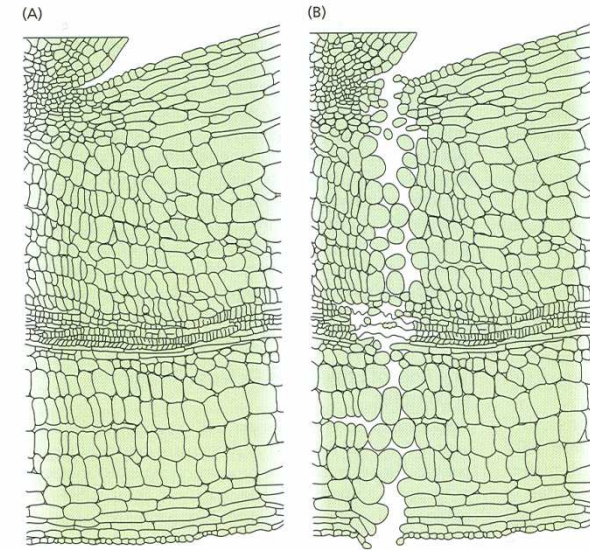


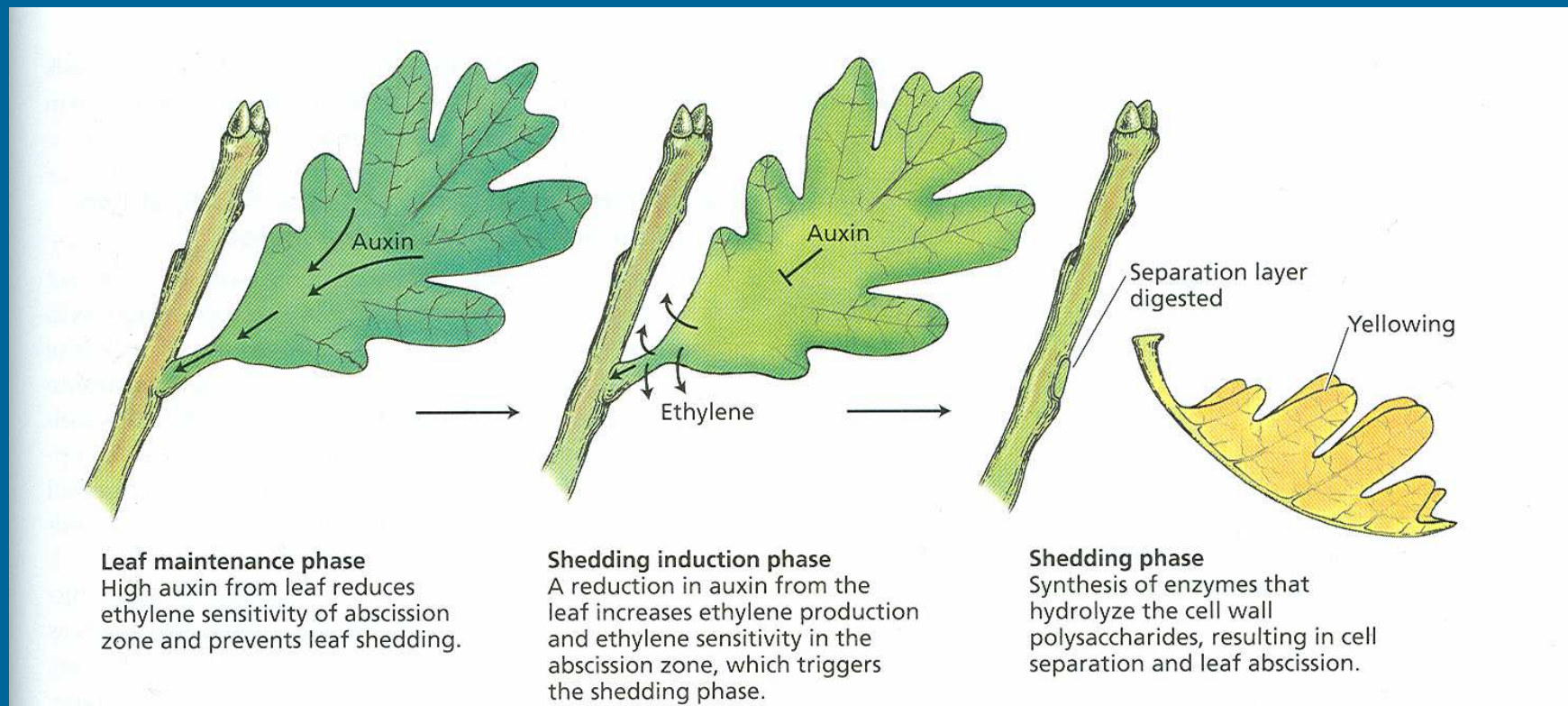
FIGURE 22.9 During the formation of the abscission layer, in this case that of jewelweed (*Impatiens*), two or three rows of cells in the abscission zone (A) undergo cell wall breakdown because of an increase in cell wall-hydrolyzing enzymes (B). The resulting protoplasts round up and increase in volume, pushing apart the xylem tracheary cells, and facilitating the separation of the leaf from the stem. (From Sexton et al. 1984.)



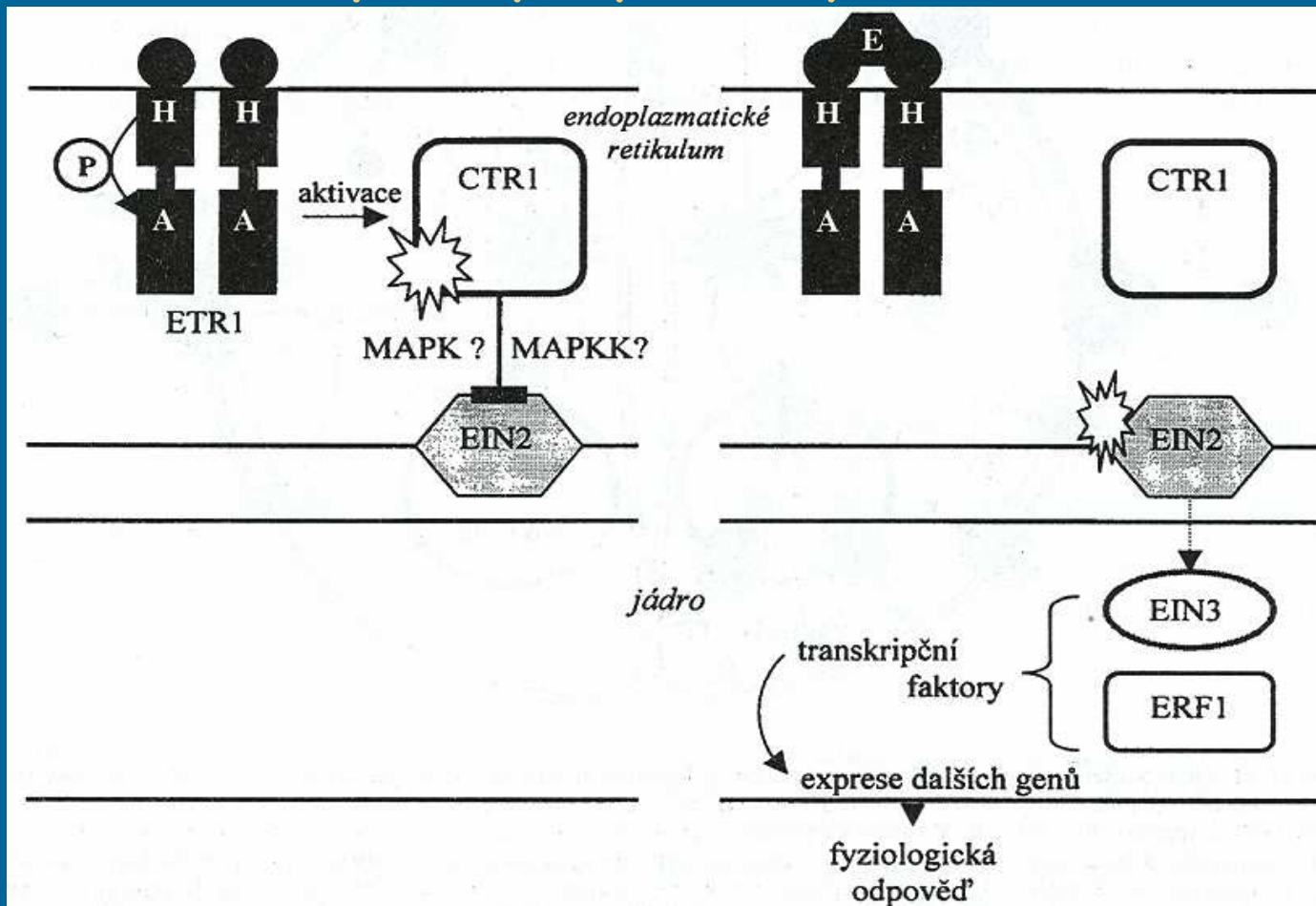
FIGURE 22.10 Effect of ethylene on abscission in birch (*Betula pendula*). The plant on the left is the wild type; the plant on the right was transformed with a mutated version of the *Arabidopsis* ethylene receptor, ETR1-1. The expression of this gene was under the transcriptional control of its own promoter. One of the characteristics of these mutant trees is that they do not drop their leaves when fumigated 3 days with 50 ppm of ethylene.

Hormonální interakce

pokles přirozené hladiny auxinu zvyšuje produkci etylénu a citlivost „oddělovací vrstvy“ k opadu



Blokádou syntézy nebo blokádou receptorů (Ag) Ize inhibovat procesy etylenem vyvolávané



Zjednodušené schéma signální cesty etylénu. Receptor etylénu ETR1 (dimer) má charakter dvoukomponentní histidinové kinázy a je vázán v membráně endoplazmatického retikula. Není-li na něj vázána molekula etylénu, receptor aktivuje cestu, která blokuje odpovědi na etylén. Na počátku cesty je kináza CTR1, dalšími složkami jsou patrně MAPKK. Blokována je aktivita složky EIN2 (transmembránový protein), která umožní aktivaci transkripčních faktorů EIN3 a ERF1 v jádru. Je-li na receptor vázána molekula etylénu, není kináza CTR1 aktivována a blokáda je odstraněna. Receptor pro etylén v buňce má několik izoform, všechny složky signálních cest ani všechny mechanismy působení identifikovaných složek nejsou zatím známy.

ETYLEN

souhrnně:

- * tloušťnutí buněk...morfogeneze
- * stárnutí buněk a pletiv,
- * programovaná buněčná smrt

- * organogeneze... utváření kořenových vlásků,
- * regulace zrání a stárnutí květů a plodů,
jejich opad
- * narušení dormance a klíčení hlíz
- * úloha v pohybech orgánů

- * interakce s auxiny a ABA

Další „minoritní“ fytohormony

BRASSINOSTEROIDY

glucobrassicin (mj. doc. Kutáček, 60-tá léta)
campesterol, castasteron

*recentně více než 40 forem – i u nižších, navozují hlavně dlouhivý růst (orgány, láčky), vývojové změny, mají vliv na xylogenezi (navozují PCD při diferenciaci tracheid u Zinnia elegans), stimulují produkci etylénu, mění orientaci celulozních mikrofibril,podoba k herbicidům triazolového typu (uniconazol, paclobutrazol, ancyimidol ??, brassinazol)
působí jen prostřednictvím inhibice syntézy GA nebo i jinak ?
vztah k ecdysteroidům (svlékací hormony hmyzu?) a dalším živočišným steroidům ??*

BRASINOSTEROIDY

„**brasinolid**“ první rostlinný sterol
s regulačními účinky (1979)

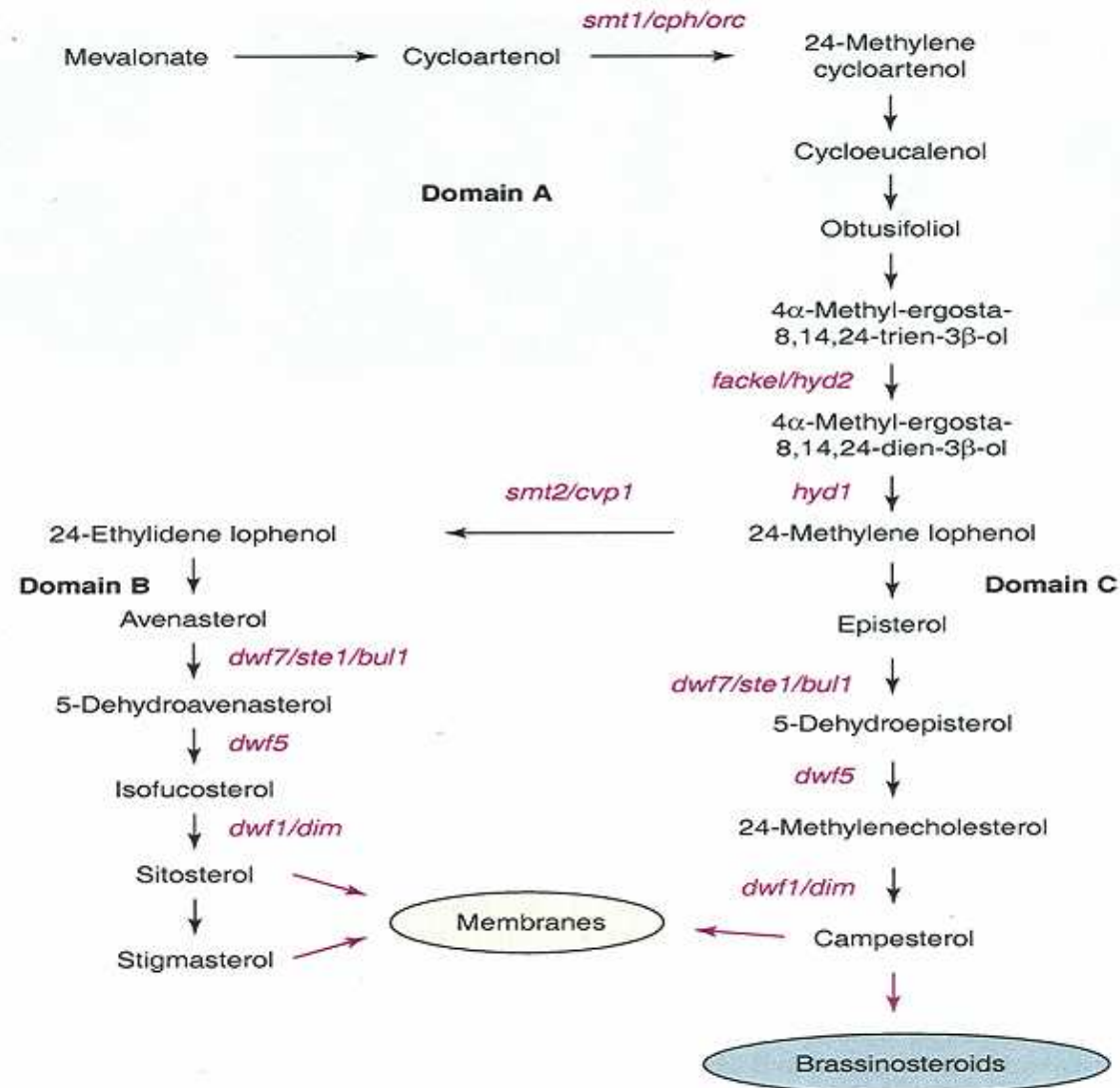
**ve stimulaci dlouživého růstu účinnější
než auxiny**

Brasinosteroidy

- * **lipidy** – odvozené od isoprenoidů
 - kompetice metabolických drah mezi BS, cytokininy, gibereliny
- * **sitosterol, stigmasterol, campesterol, cholesterol**
 - liší se obsahem a biologickou aktivitou

Vyvolávají:

- * mutanty defektní v embryogenezi i dalším vývoji,
- * poruchy **polarity** buněčné expanze i dělení,
- * poruchy buněčné diferenciaci i histogeneze
- * ovlivnění **funkce membrán, transportu váčků,**
- * konformace proteinů



TRENDS in Plant Science

Simplified representation of the sterol biosynthetic pathway in plants, showing three 'biosynthetic domains' (A, B and C) representing the upper pathway (A), the sitosterol and stigmasterol branch (B) and the BR precursor branch (C). Mutants defective in enzymatic steps are indicated in purple. The analysis of sterol mutants such as *mt1*, *hyd1* and *fackel*, in which downstream products (e.g. cholesterol for *smt1* and campesterol for *hyd1* and *fackel*) accumulate to high levels in spite of reduced levels of parent precursors, shows that the pathway is not linear.

Importance of plant sterols in pattern formation and hormone signalling

Keith Lindsey, Margaret L. Pullen and Jennifer F. Topping

The Integrative Cell Biology Laboratory, School of Biological and Biomedical Science, University of Durham, South Road, Durham, UK DH1 3LE

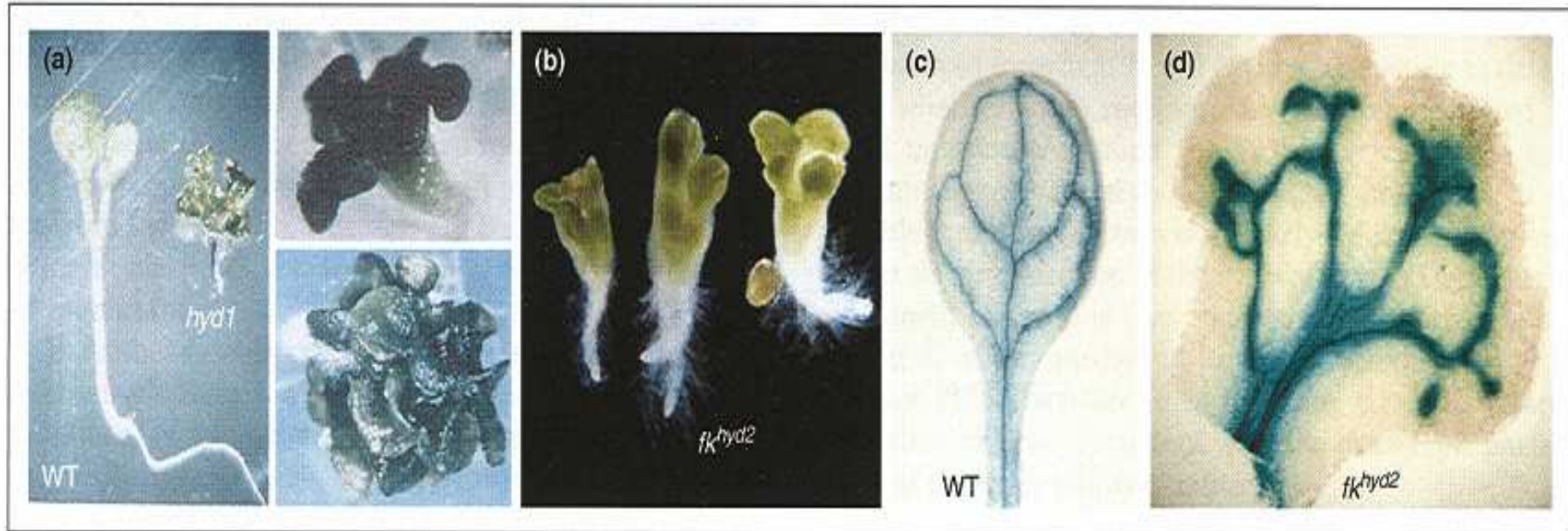
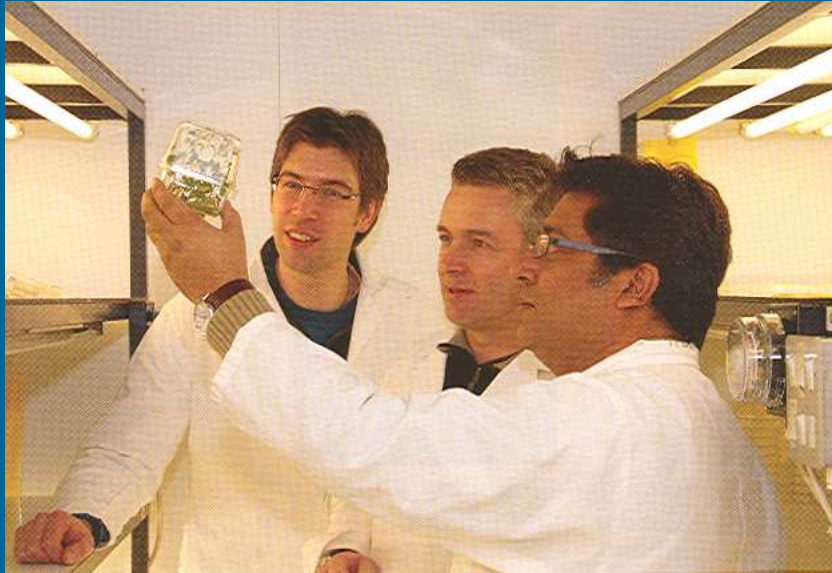


Figure 2. The phenotypes of two sterol mutant seedlings of *Arabidopsis*: (a) *hydra1* [with wild type (WT) on the left] and (b) the *hydra2* allele of *fackel*. Vascular patterning of (c) a wild-type *Arabidopsis* cotyledon and of (d) a *hydra2* cotyledon, revealed by *PIN1::GUS* histochemistry. Note the disrupted vascular strands and defective cellular pattern in the mutant (d). (a) top right, (b) far right and (d) are reproduced, with permission, from Ref. [6].

SERK geny v somatické embryogenezi bramboru ?



References

Sharma, S.K., & Millam, S. 2004. Somatic embryogenesis in *Solanum tuberosum* L.: a histological examination of key developmental stages. *Plant Cell Reports* **23**, 116-119.

Sharma, S.K., Millam, S., Hein, I., & Bryan, G.J. 2008. Cloning, molecular characterisation and transcriptional analysis of a SOMATIC EMBRYOGENESIS RECEPTOR-LIKE KINASE gene from *Solanum tuberosum* L. *Planta* (in press).



Somatic embryogenesis in potato

Sanjeev Kumar Sharma, Steve Millam, Pete Hedley, Ingo Hein, Jim McNicol & Glenn Bryan

Potato, the world fourth most important food crop, is largely propagated via tubers from the previous crop. Tissue culture techniques, mainly micropropagation, have substantially augmented the supply of potato planting material, the demand for which is rapidly rising, driven by increasing markets in China and India and the development of specialist cultivars for the home market. Micropropagation can reduce the time required for the release of new cultivars from more than a decade to as little as three years and has a vital role in any plant breeding programme in the rapid bulking of advanced breeding material. Clonal *in vitro* propagation methods not only maintain crop uniformity, but also preserve health status as the planting material has reduced exposure to soil-borne and other diseases, principally viruses. We have recently developed an efficient somatic embryogenesis (SE) system for potato (Sharma & Millam 2004), which has considerable promise for rapid propagation of potato material. In this process tissue culture material is used to induce the formation of embryonic structures from callus tissue, by a series of manipulations of the growth conditions.

Despite the advantage of rapid propagation (up to 40 times faster in the early stages than micropropagation) one concern about SE, and indeed all clonal propagation methods, relates to the level of genetic stability of the material generated. It is of fundamental importance that micropropagated plants, irrespective of their development through either organogenesis or embryogenesis, remain 'true-to-parental' type. Potato is known to be subject to low levels of somaclonal variation, which can be due to both genetic and epigenetic causes. In our studies, Desiree plants obtained through different propagation routes (SE, axillary bud proliferation, microtubers) were evaluated

for somaclonal variation using phenotypic, cytological and molecular (amplified fragment length polymorphism, AFLP) approaches. In our study, no phenotypic or cytological differences were observed. However, low levels of AFLP variation were seen for SE (0.66% bands polymorphic) and microtuber grown plants (0.44%), and intriguingly, this variation was only observed when AFLPs were performed using methylation sensitive restriction enzymes. This suggests a possible role for methylation in the generation of somaclonal variation,

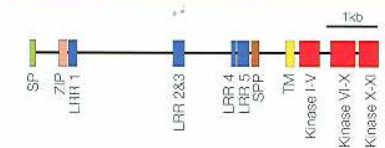


Figure 1 a. Photograph of germinating potato somatic embryo contained in sodium alginate bead. b. Generalized structure of StSERK1. 'SP' denotes signal peptide. 'ZIP' Zip domain, 'LRR' Leucine Rich Repeats, 'SPP' Proline rich domain containing SPP (Ser-Pro-Pro) motif, 'TM' alanine-rich hydrophobic trans-membrane domain, 'Kinase' serine-threonine kinase domains.

PLANTA

July 2008, Volume 228, Issue 2, pp 319-330

Cloning and molecular characterisation of a potato *SERK* gene transcriptionally induced during initiation of somatic embryogenesis

Sanjeev Kumar Sharma

Steve Millam

Ingo Hein

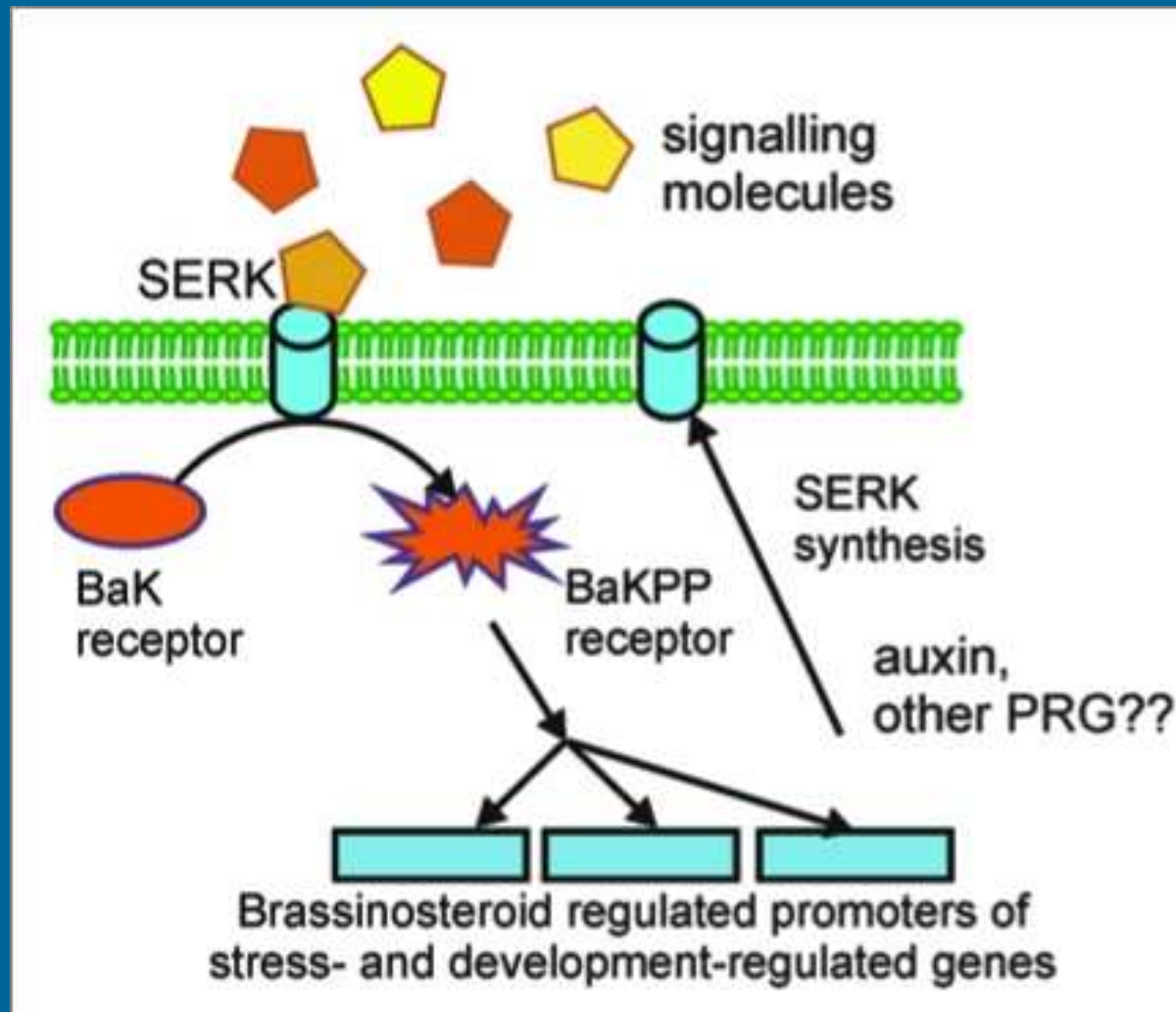
Glenn J. Bryan

Plant Signal Behav. 2009 December; 4(12): 1111-1113.

PMCID: PMC2819433

Role of SERK genes in plant environmental response

Marcelo O Santos and Francisco J.L Aragão



Další „minoritní“ fytohormony ??

POLYAMINY

putrescín, spermin, spermidin
cadaverin

*hypersensitivní reakce, zrání, senescence, vývoj plodů,
květenství, embryogenese*

úloha v regulaci buněčného cyklu ?

interakce s dalšími „majoritními“ fytohormony

regulace PCD

Další „minoritní“ fytohormony ??

SALICYLOVÁ kyselina

vrbová kůra x antipyretické účinky

více než 200 let známa jako analgetikum

funkční antagonist giberelinů...může navodit kvetení (endogenní floral inducing signal ..Lemna, Wolffia

- *účast v SAR (systemic acquired resistance), vznikající během několika dní proti určitým (bakteriálním, houbovým i virovým) patogenům*

- *účast v hypersensitivní reakci*

tvoří se pět i více rodin „patogen-related“ (PR) proteinů, mj. chitinás, pektináz, celuláz

možnost přenosu na dlouhé vzdálenosti (roubování), nejen: methyl salicylát je těkavá látka možnost vzdušného šíření „poplašného signálu“, jenž navozuje i „imunitní reakci“

OLIGOSACHARIDY – OLIGOSACHARINY

syringin a další deriváty

morfogeneze, buněčná diferenciacce, interakce s patogenem

KYSELINA JASMONOVÁ

a její estery jasmonáty: **metylester MeJa**

významná úloha v interakcích hostitel x patogen
(viz fyziologie stresu)

Nehormonální chemická signalizace
od sacharidů po elicitory

Sacharidy nejen jako energetický
zdroj, ale také jako **SIGNÁL**

A co novinky po roce 2010 ?

příklad :

KARRIKINOLIDS

v kouři stepních či lesních požárů

frakce ze studeného kouře ovlivňují

klíčivost semen

odolnost k patogenům ?

klíčivost pylu

**SPOLEČNÝ PROJEKT TEMATICKÉ SPOLUPRÁCE
AV ČR – NRF (JAR)
2014 - 2015***

<p>Jméno vedoucího projektu za AV ČR :</p> <p>RNDr. David Honys, Ph.D.</p> <p>E-mail : david@ueb.cas.cz Tel. : +420-225 106 450</p>	<p>Jméno vedoucího projektu za NRF :</p> <p>Prof. Johannes van Staden</p> <p>E-mail : vanstadenj@ukzn.ac.za Tel. : +27 (0)33 260 5130</p>
<p>Ústav AV ČR : Ústav experimentální botaniky AVČR, v.v.i.</p> <p>Adresa : Rozvojová 263, 165 02 Praha 6 Česká republika</p> <p>Telefon : +420-225 106 453 E-mail : vagner@ueb.cas.cz</p>	<p>Pracoviště NRF : University of KwaZulu-Natal, Pietermaritzburg Campus</p> <p>Adresa: P/Bag X01, Scottsville, 3209 Jihoafrická republika</p> <p>Telefon : +27 (0)33 260 5130 E-mail : rcpgd@ukzn.ac.za</p>
<p>Jména všech českých řešitelů projektu v ČR :</p> <p>RNDr. David Honys, Ph.D. Said Hafidh, Ph.D. Mgr. Katarína Breznenová</p>	<p>Jména všech řešitelů projektu v JAR :</p> <p>Prof. Johannes van Staden Mr Heino B. Papenfus Ms Olufunke Fajinmi Ms Balungile Madikizela Ms Katlego Motlhatlego Dr Aloka Kumari Dr Manoj G. Kulkarni</p>
<p>Název projektu (Česky a anglicky)</p> <p>Stimulační vliv přírodních látek obsažených v kouři na životaschopnost a funkci pylu a jejich význam pro zemědělství a ekologii</p> <p>Stimulatory responses of smoke-derivatives on pollen and its significance in agriculture and ecology</p>	



Doplňkové příklady k fytohormonům

Řízení

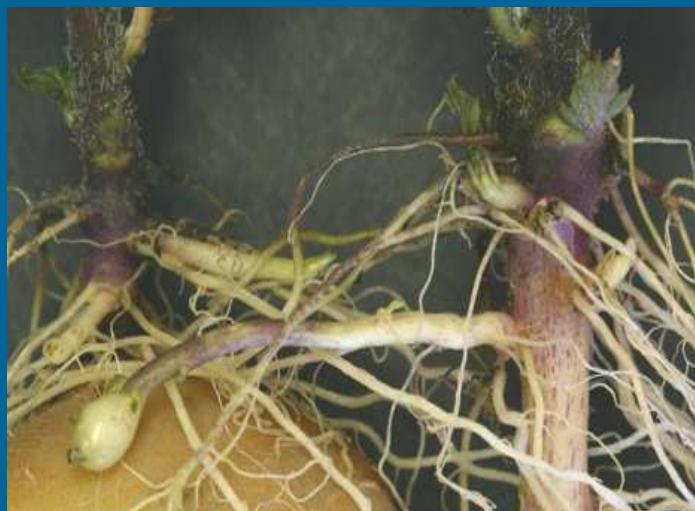
tuberizace bramboru

jako komplexní „SIGNÁLNÍ SYSTÉM“

Dr. Lukáš Fischer

Tvorba hlíz u bramboru

přeměna stolonu v hlízu



Ani příliš pozdě ani příliš brzy!!!

Neindukovaná rostlina = růst prýtu a kořenů



Vysoké oslunění

Velikost rostliny

Dlouhá noc



Vyšší teplota

Dostatek dusíku

??????

Indukovaná rostlina = většina asimilátů ukládána do hlíz

O tvorbě hlíz rozhoduje prýt (listy)

Neindukovaný
roub



Indukovaná
podnož



Indukovaný roub



Neindukovaná
podnož



Složkou indukčního signálu je sacharóza

světlo



tma



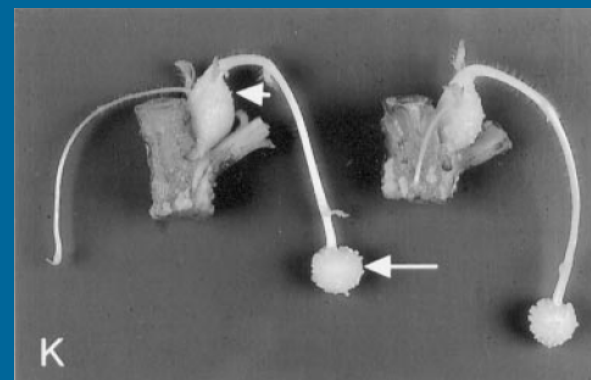
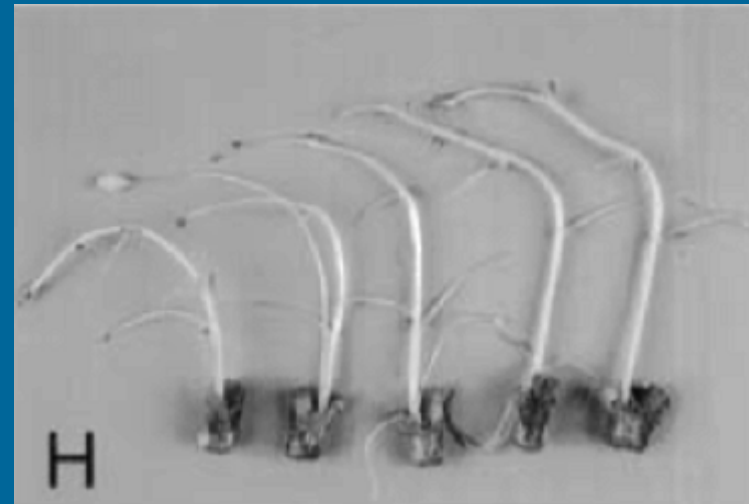
sacharóza

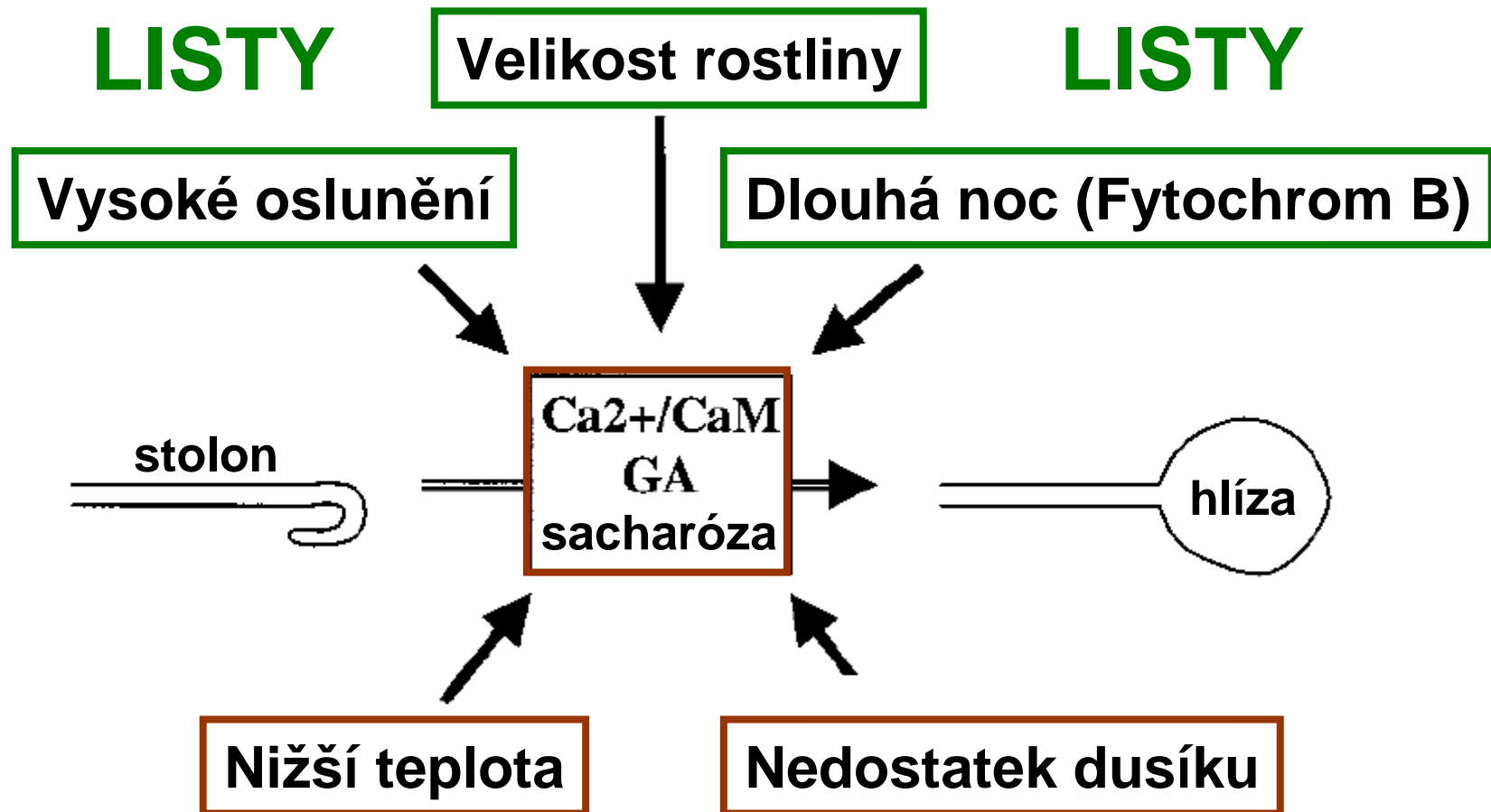
Tvorba hlíz je inhibována gibereliny

— gibereliny



+ gibereliny





KOŘENY a STOLONY

mutantní/GMO brambor jako model studia tvorby hlíz



Hormon (y) KVETENÍ:

tečou z listů do vrcholku ??

FLORIGEN

ANTHESIN ...

J.SACHS 1860 ...

M.CH.ČAJLACHJAN 1937

HUANG et al. 2005

CORBESIER et al. 2007

GYLLENSTRAND et
al.2007

MATHIEU et al.2007

CONTI + BRADLEY 2007

„listové“ geny **CONSTANS**
FLOWERING LOCUS T

