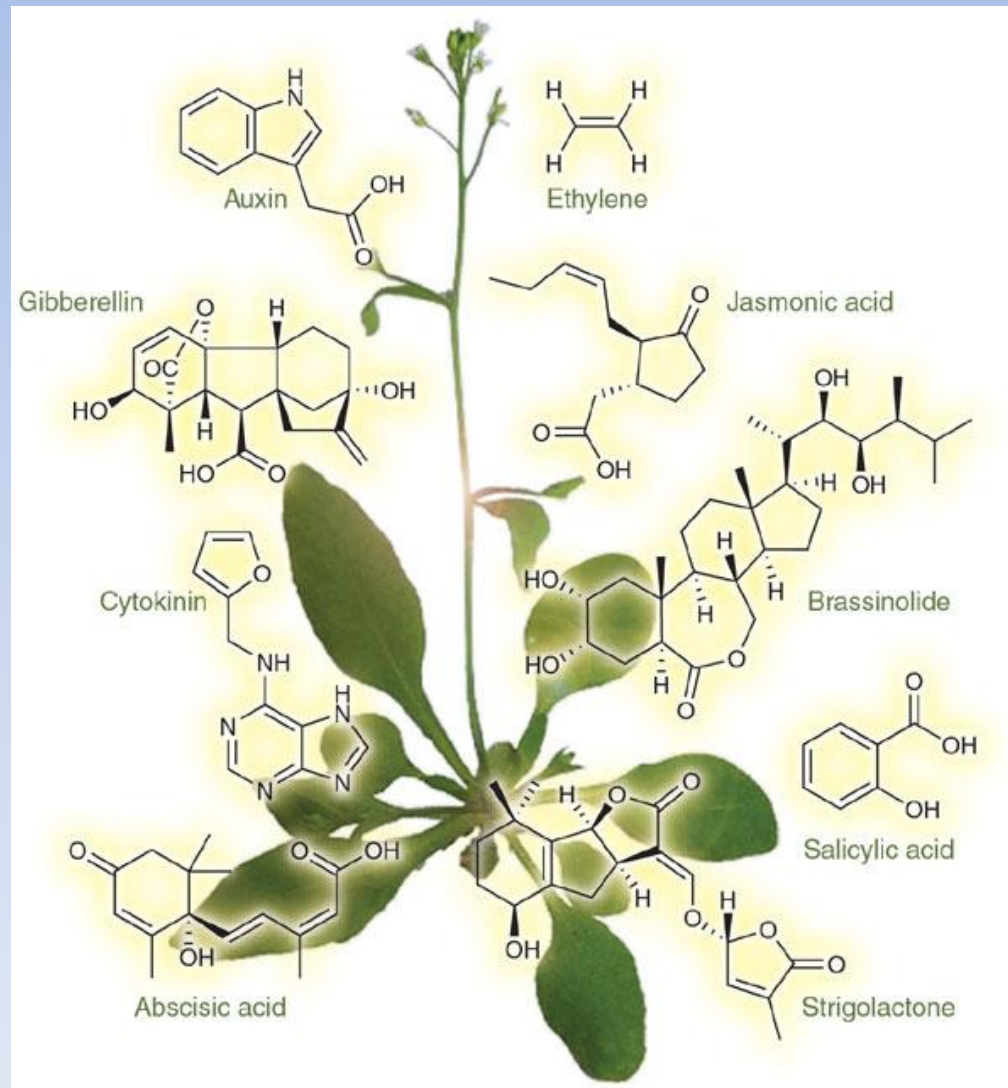


Čo ovplyvňuje rast a vývin rastlín?

1. **Vnútorne chemické signály (fytormóny)**
2. Vonkajšie faktory prostredia

Fytohormóny: rastlinné regulátory rastu



Formovanie a fungovanie mnohobunkového organizmu by nebolo možné bez **komunikácie** medzi bunkami, pletivami a orgánmi.

Vo vyšších rastlinách je regulácia a koordinácia metabolizmu a rastu závislá od **chemických signálov**, ktoré prepájajú jednotlivé časti rastliny.

Túto myšlienku prvýkrát vyslovil nemecký botanik **Julius von Sachs** (1832 – 1897).



Fytohormóny

- ❖ chemické látky, ktoré majú schopnosť meniť činnosť alebo metabolizmus iných buniek a orgánov
- ❖ nie sú zdrojom energie ani stavebnou látkou
- ❖ majú regulačnú funkciu, zabezpečujú celistvosť rastlinného organizmu v priebehu rastu a ontogenézy
- ❖ vznikajú predovšetkým v meristematických pletivách
- ❖ rozvádzajú sa vodivými pletivami
- ❖ nie sú špecifické ako živočíšne hormóny, rozsah ich pôsobenia je široký
- ❖ vyskytujú sa vo veľmi nízkych koncentráciách 10^{-6} M a menej

Fytohormóny

a) stimulátory - povzbudzujú a urýchľujú rast

1. endogénne - prirodzené
 - auxíny
 - giberelíny
 - cytokiníny
2. exogénne - syntetické
 - auxinoidy, kinetín

b) inhibítory - brzdia až zastavujú rast

1. natívne - prirodzené
 - ABA
 - fenolické látky
2. retardanty - syntetické
 - CCC chlorcholinchlorid (chlormequat)
 - TIBA kyselina 2,3,5-trijodbenzoová

Fytohormóny

❖ Vo vzájomnom vzťahu môžu hormóny pôsobiť :

synergicky

antagonisticky

Stimulátory vo vyšších koncentráciách môžu rast rastlín brzdiť a inhibítory vo veľmi nízkych koncentráciách môžu, naopak, rast podporovať!

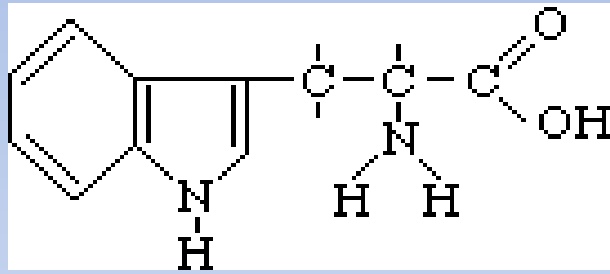
V rastlinnej výrobe sa hormóny často využívajú ako rastlinné regulátory (auxíny napr. ako stimulátory pri **zakoreňovaní odrezkov**), vo vysokých koncentráciách, naopak, ako **herbicídy na ničenie burín** (auxinoidy už nie – toxické pre živočíchy; produkcia **partenokarpických plodov** (aux + giberelíny); **dozrievanie plodov** (etylén); **zabraňovanie senescencie** (opad) listov (aux + cytokiníny); **pletivové kultúry**...



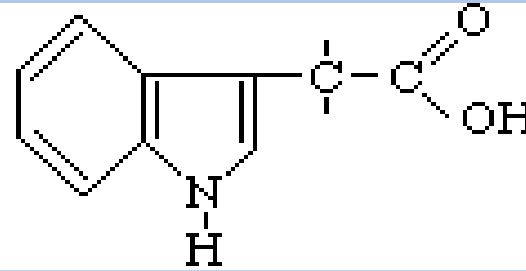
AUXÍNY

- názov odvodený od latinského auxano = rast

kys. β -indolyloctová IAA – natívny auxín



tryptofán

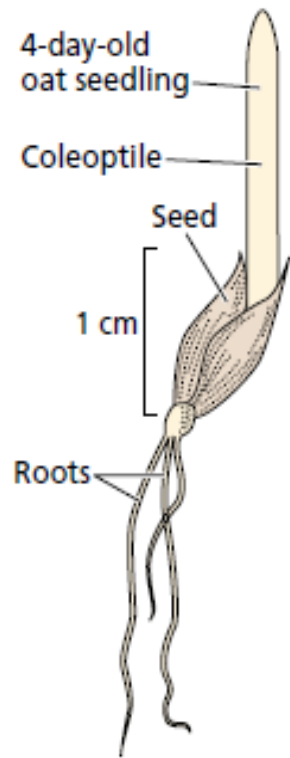


kyselina β -idolyloctová

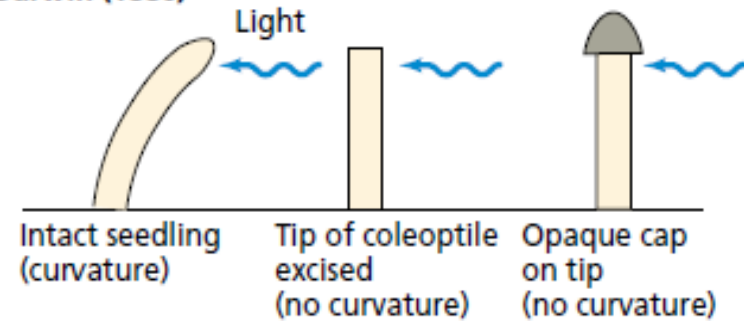
- tvoria sa v meristematických pletivách stonky, v najmladších listoch, embryách a v peli, s vekom ich koncentrácia klesá
- sú obsiahnuté tiež v ľudských slinách a v moči (rastlinná potrava), činnosťou baktérií sa dostávajú aj do pôdy
- **syntetické auxíny:** IBA (kys. indolyl-3-octová), 2,4-D (kys. 2,4-dichlórfenoxyoctová), NAA (kys. naftyloctová)

AUXÍNY

- z vrcholových meristémov sa transportujú do spodných častí rastliny (korene, hl'uzy atď. → 10 mm/hod.)
- nepoznáme auxínového mutanta (sú letálne)
- spolu s cytokinínmi sú vo vyšších či nižších množstvách konštantne prítomné v rastlinnom tele (na rozdiel od ostatných hormónov, ktoré regulujú určité procesy svojou prítomnosťou či neprítomnosťou)

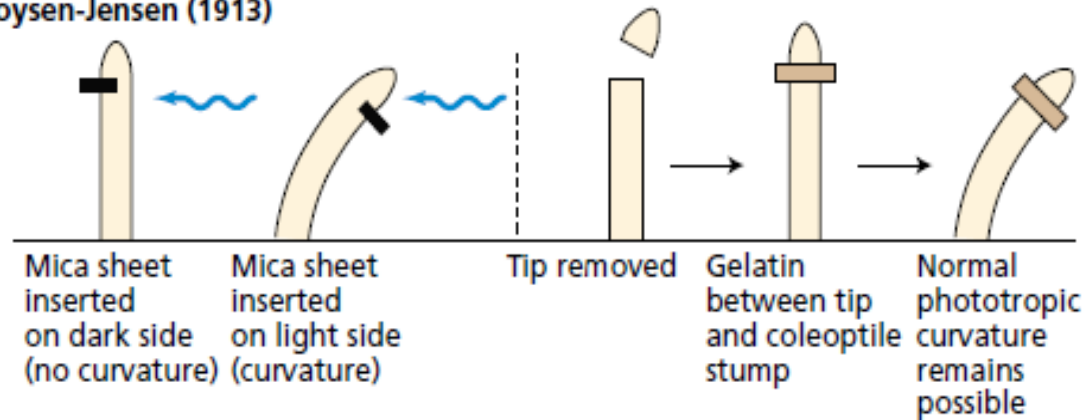


Darwin (1880)



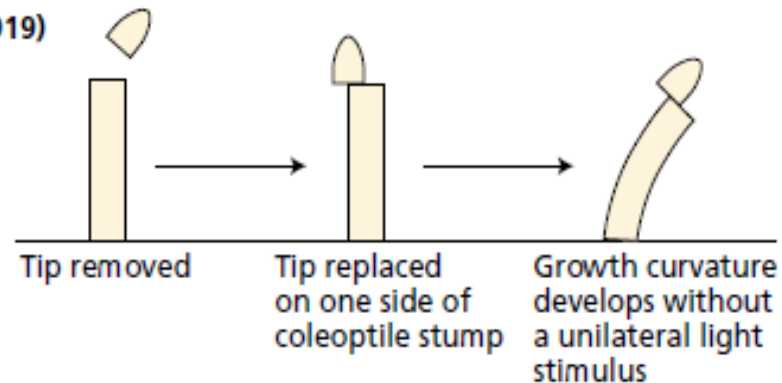
From experiments on coleoptile phototropism, Darwin concluded in 1880 that a growth stimulus is produced in the coleoptile tip and is transmitted to the growth zone.

Boysen-Jensen (1913)



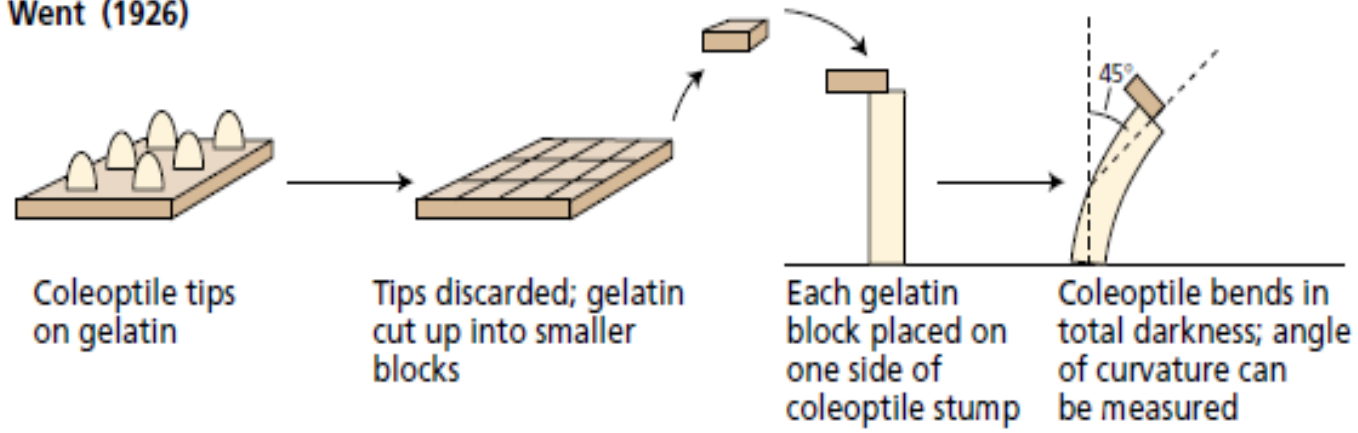
In 1913, P. Boysen-Jensen discovered that the growth stimulus passes through gelatin but not through water-impermeable barriers such as mica.

Paál (1919)

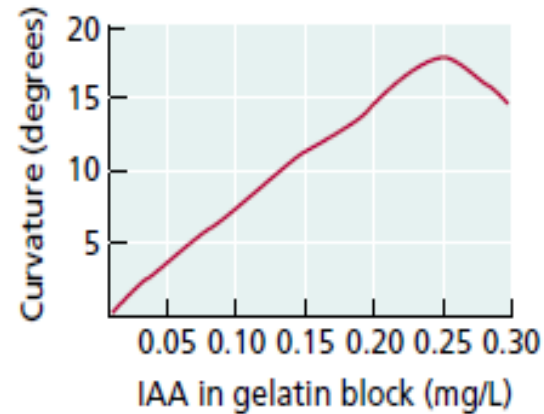
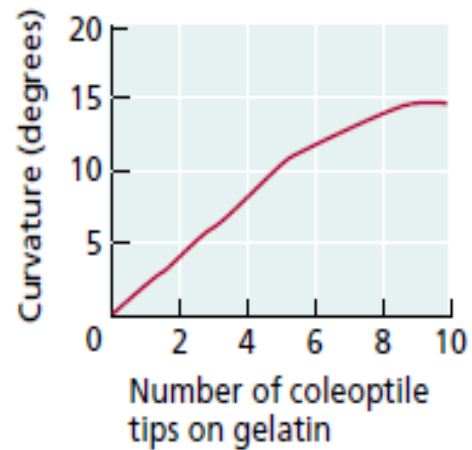


In 1919, A. Paál provided evidence that the growth-promoting stimulus produced in the tip was chemical in nature.

Went (1926)



In 1926, F. W. Went showed that the active growth-promoting substance can diffuse into a gelatin block. He also devised a coleoptile-bending assay for quantitative auxin analysis.

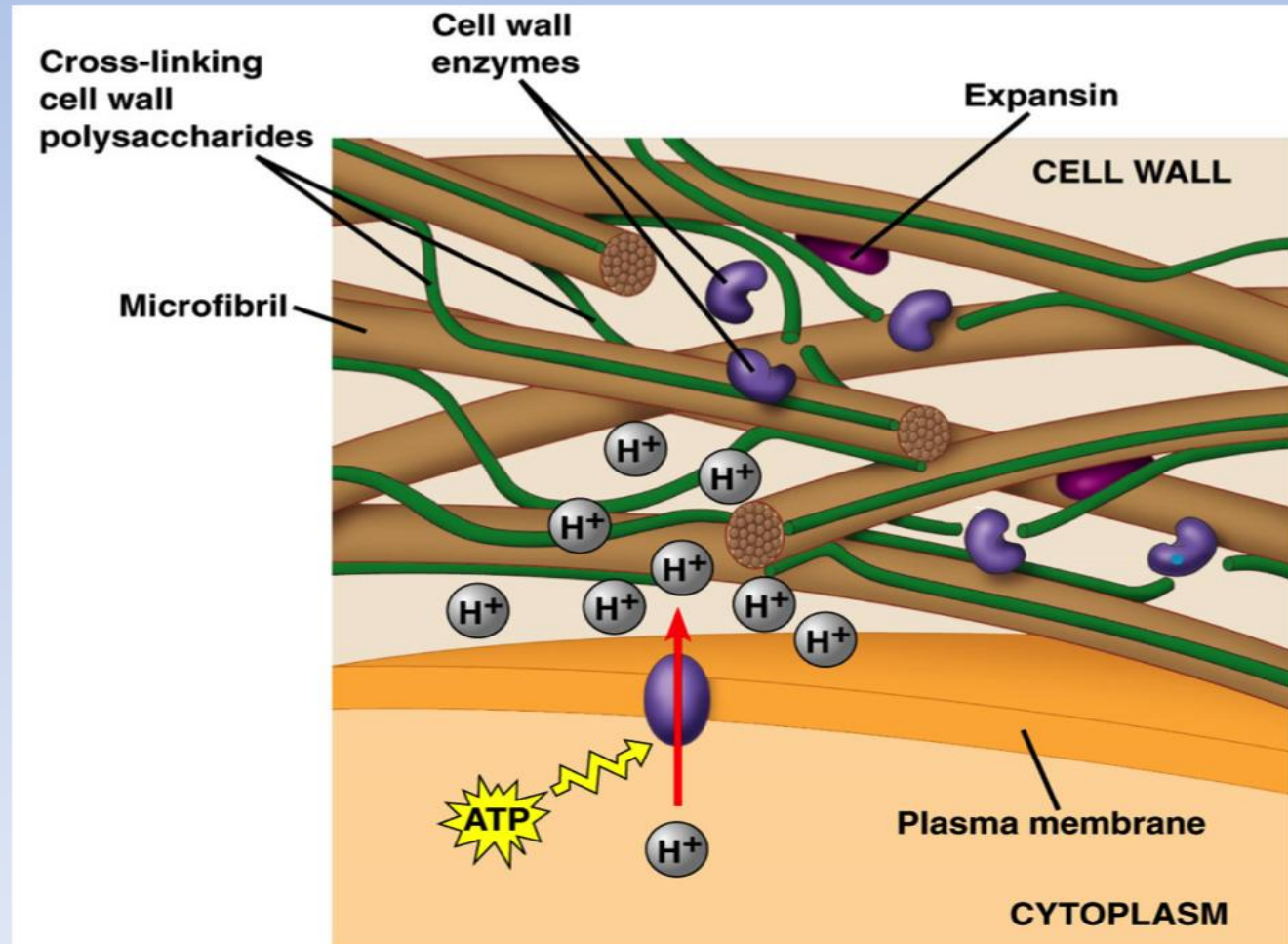


Význam auxínov

- stimulujú predlžovací rast buniek a bunkové delenie v kambiu (deuteroxylém)
- stimulujú tvorbu adventívnych a postranných koreňov
- stimulujú diferenciáciu vodivých pletív
- inhibujú opadávanie listov a plodov
- inhibujú vývin postranných púčikov (spôsobujú **apikálnu dominanciu**)
- ovplyvňujú aktivitu enzýmov ($\downarrow$ i $\uparrow$)
- umožňujú dozrievanie plodov

Význam auxínov

- stimulujú tzv. **protónovú pumpu**, aby čerpala protóny H^+ z cytoplazmy do bunkovej steny, čo má za následok zníženie pH v celulózovej BS



Bazipetálny transport auxínov

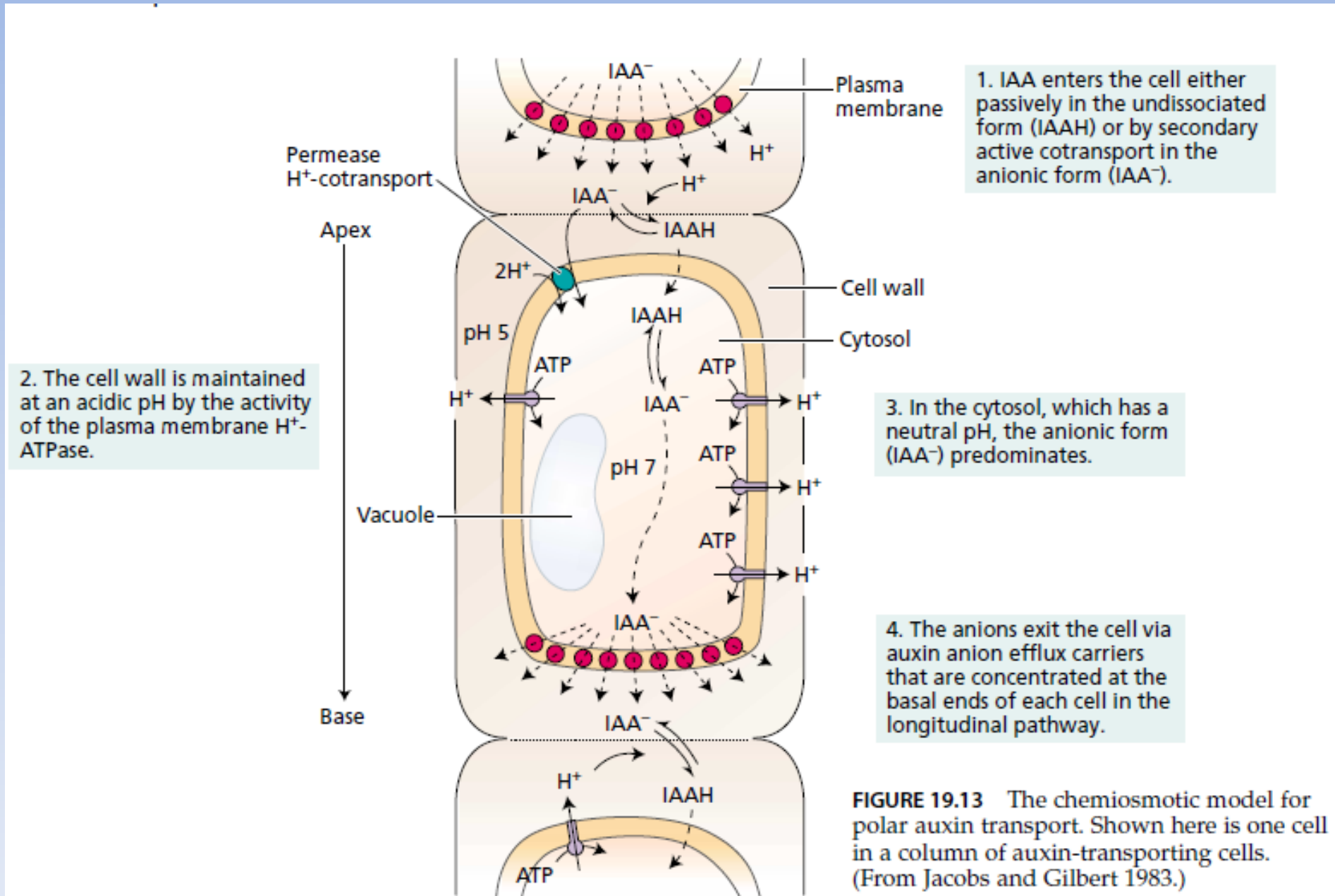


FIGURE 19.13 The chemiosmotic model for polar auxin transport. Shown here is one cell in a column of auxin-transporting cells. (From Jacobs and Gilbert 1983.)

- Auxíny stimulujú reguláciu **tropizmov**:

1. **fototropizmus**: zábezpeka optimálnej orientácie listov voči slnečnému žiareniu (fotosyntéza)

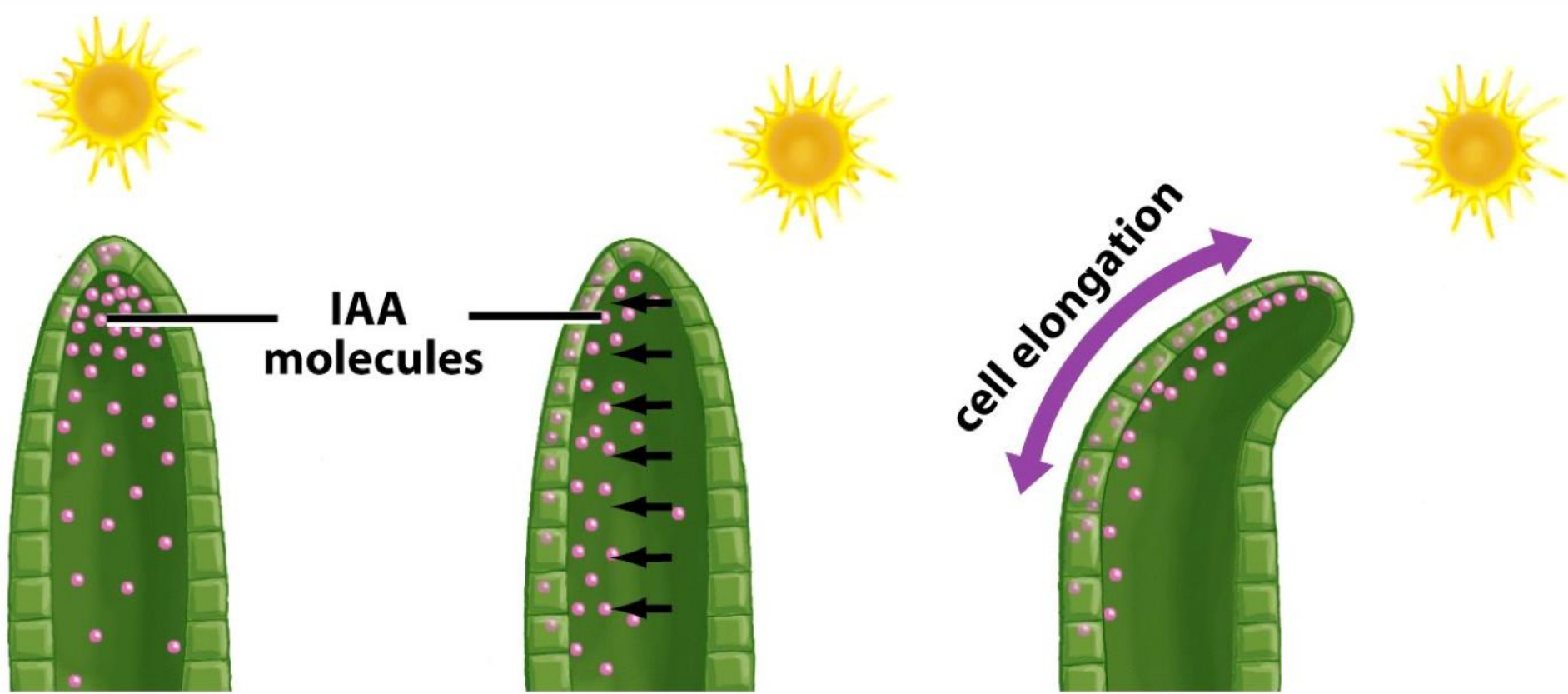
2. **gravitropizmus**: aby koreň rástol „nadol“ – do pôdy a výhonok „nahor“ (kritické zvlášť pre prvé štádiá klíčenia)

3. **tigmotropizmus**: rast s ohľadom na „dotyk“ (koreň rastie okolo skaly, výhonky sa šplhajú po oporných štruktúrach)

Auxíny a žiarenie

- zahŕňa laterálny presun auxínov na neosvetlenú stranu
- následne sa aux. transportujú **bazipetálne** do **elongačnej zóny**, kde stimulujú elongáciu = zatienená strana rastie rýchlejšie



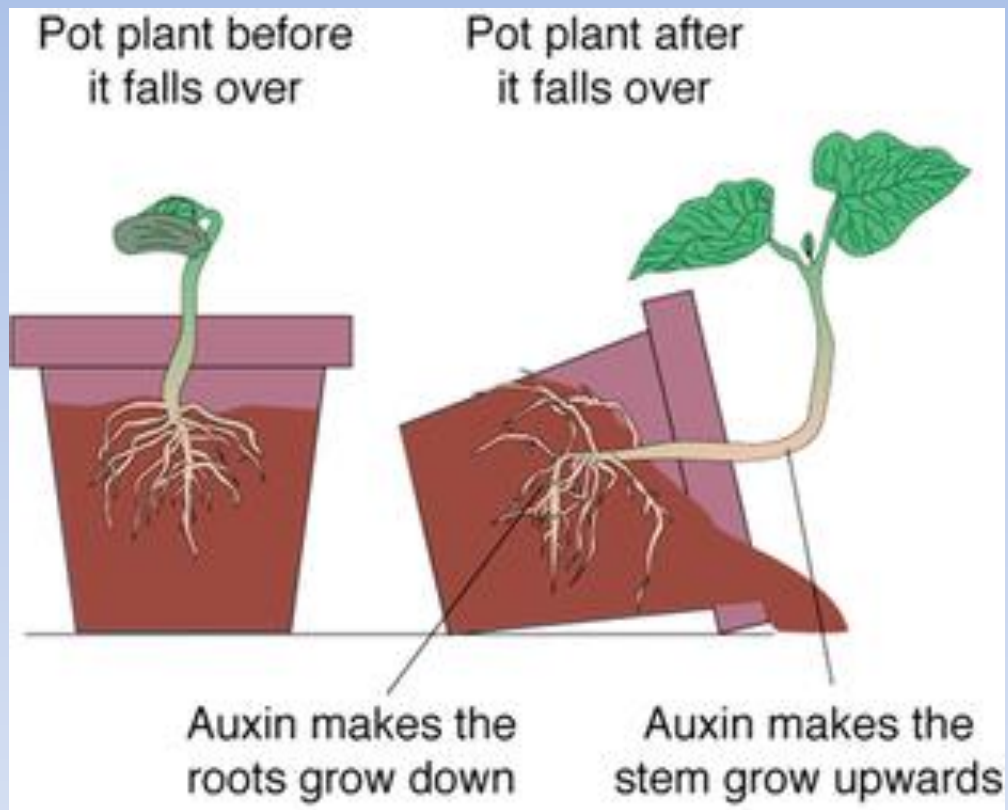


(a) When sunlight is overhead, the IAA molecules produced by the apical meristem are distributed evenly in the shoot.

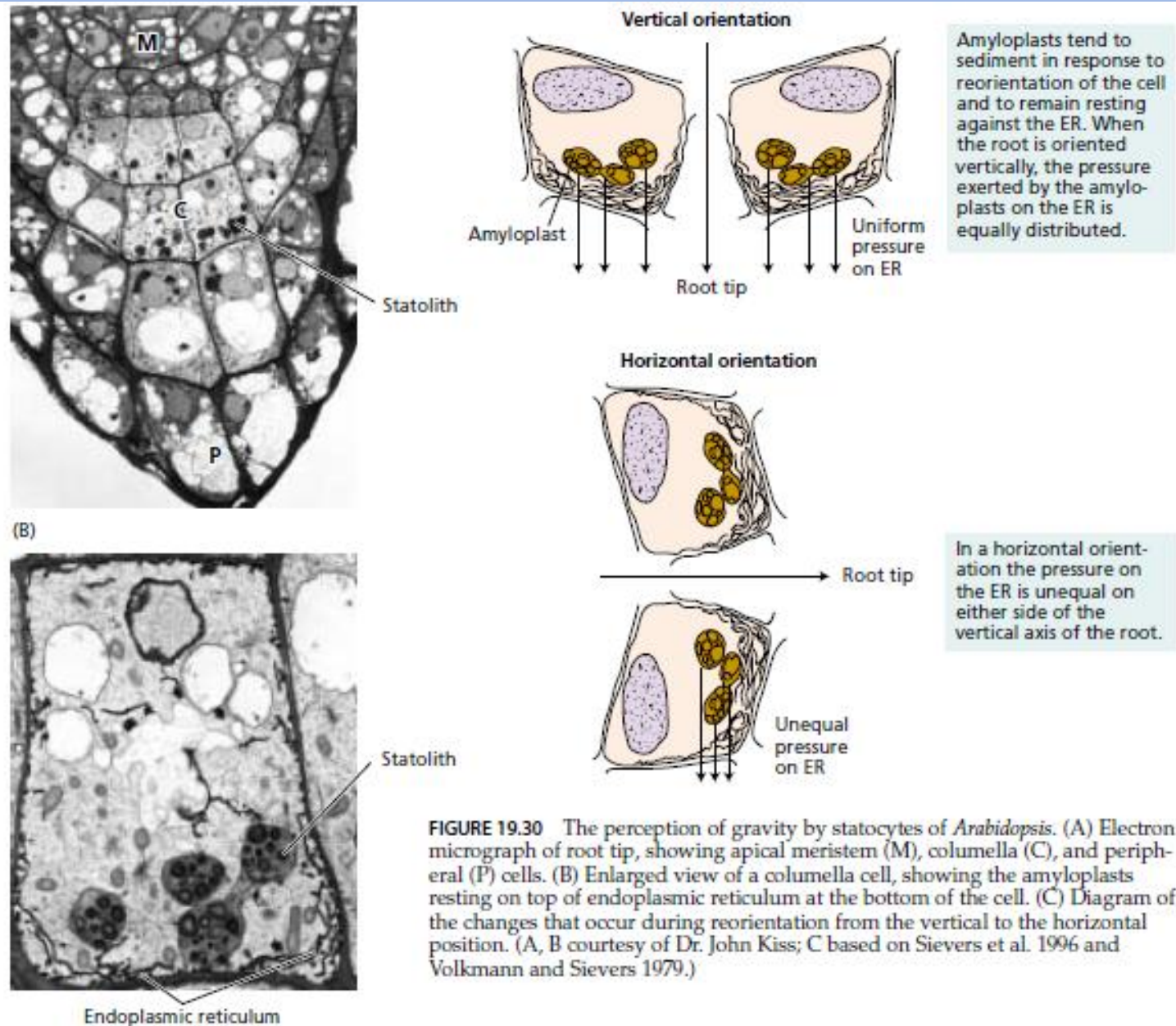
(b) Once the sunlight shines on the shoot at an angle, the IAA molecules move to the far side and induce the elongation of cells on that side.

(c) Cell elongation results in the bending of the shoot toward the light.

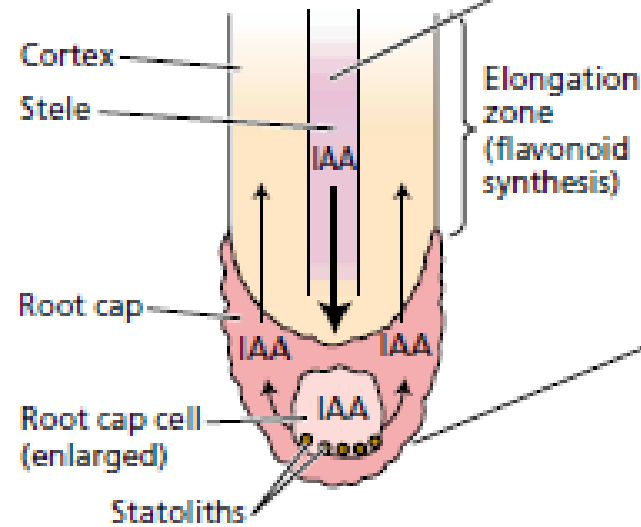
Auxíny a zemská přitažlivost



Ako bunky rastlín detegujú gravitáciu???



(A) Vertical orientation

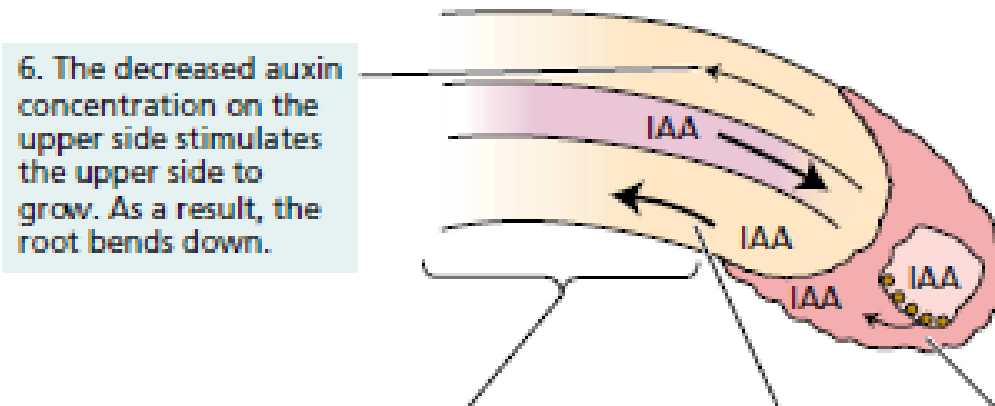


1. IAA is synthesized in the shoot and transported to the root in the stele.

2. When the root is vertical, the statoliths in the cap settle to the basal ends of the cells. Auxin transported acropetally in the root via the stele is distributed equally on all sides of the root cap. The IAA is then transported basipetally within the cortex to the elongation zone, where it regulates cell elongation.

FIGURE 19.33 Proposed model for the redistribution of auxin during gravitropism in maize roots. (After Hasenstein and Evans 1988.)

(B) Horizontal orientation



6. The decreased auxin concentration on the upper side stimulates the upper side to grow. As a result, the root bends down.

5. The high concentration of auxin on the lower side of the root inhibits growth.

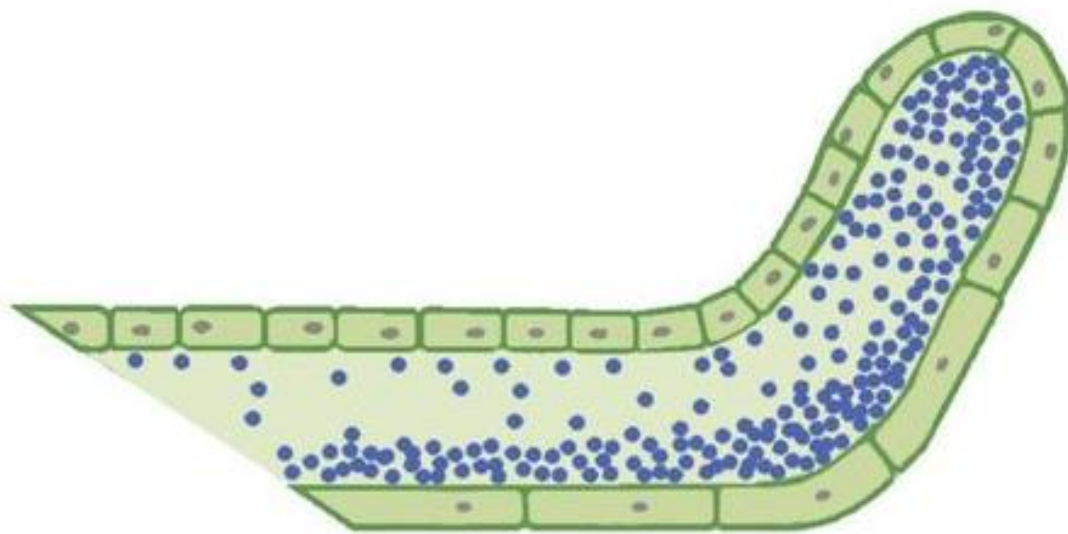
4. The majority of the auxin in the cap is then transported basipetally in the cortex on the lower side of the root.

3. In a horizontal root the statoliths settle to the side of the cap cells, triggering polar transport of IAA to the lower side of the cap.

Výhonok a koreň

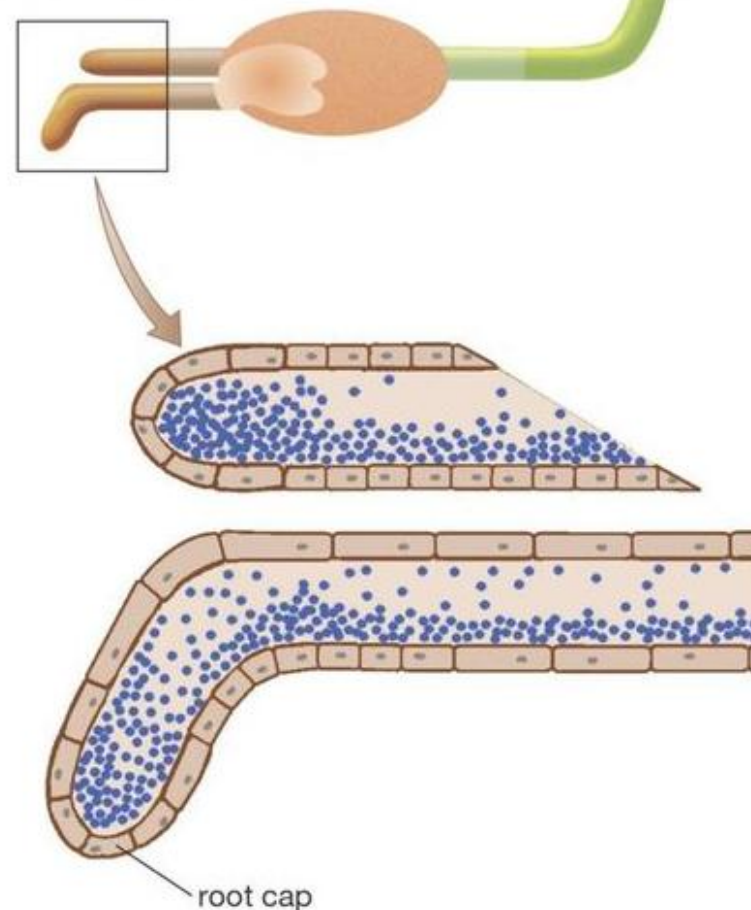
- bunky v bazálnej časti v predlžovacej zóne výhonku vplyvom auxínov expandujú

(a) Shoot bends upward



- expanzia buniek v bazálnej časti predlžovacej zóny koreňa je vplyvom auxínov potláčaná

(b) Root bends down



Auxíny a dotyk



- pozitívny alebo negatívny tigmotropizmus

Význam auxínov v ontogenéze

- Apikálna dominancia

FIGURE 19.36 Auxin suppresses the growth of axillary buds in bean (*Phaseolus vulgaris*) plants. (A) The axillary buds are suppressed in the intact plant because of apical dominance. (B) Removal of the terminal bud releases the axillary buds from apical dominance (arrows). (C) Applying IAA in lanolin paste (contained in the gelatin capsule) to the cut surface prevents the outgrowth of the axillary buds. (Photos ©M. B. Wilkins.)

(A)



(B)



(C)



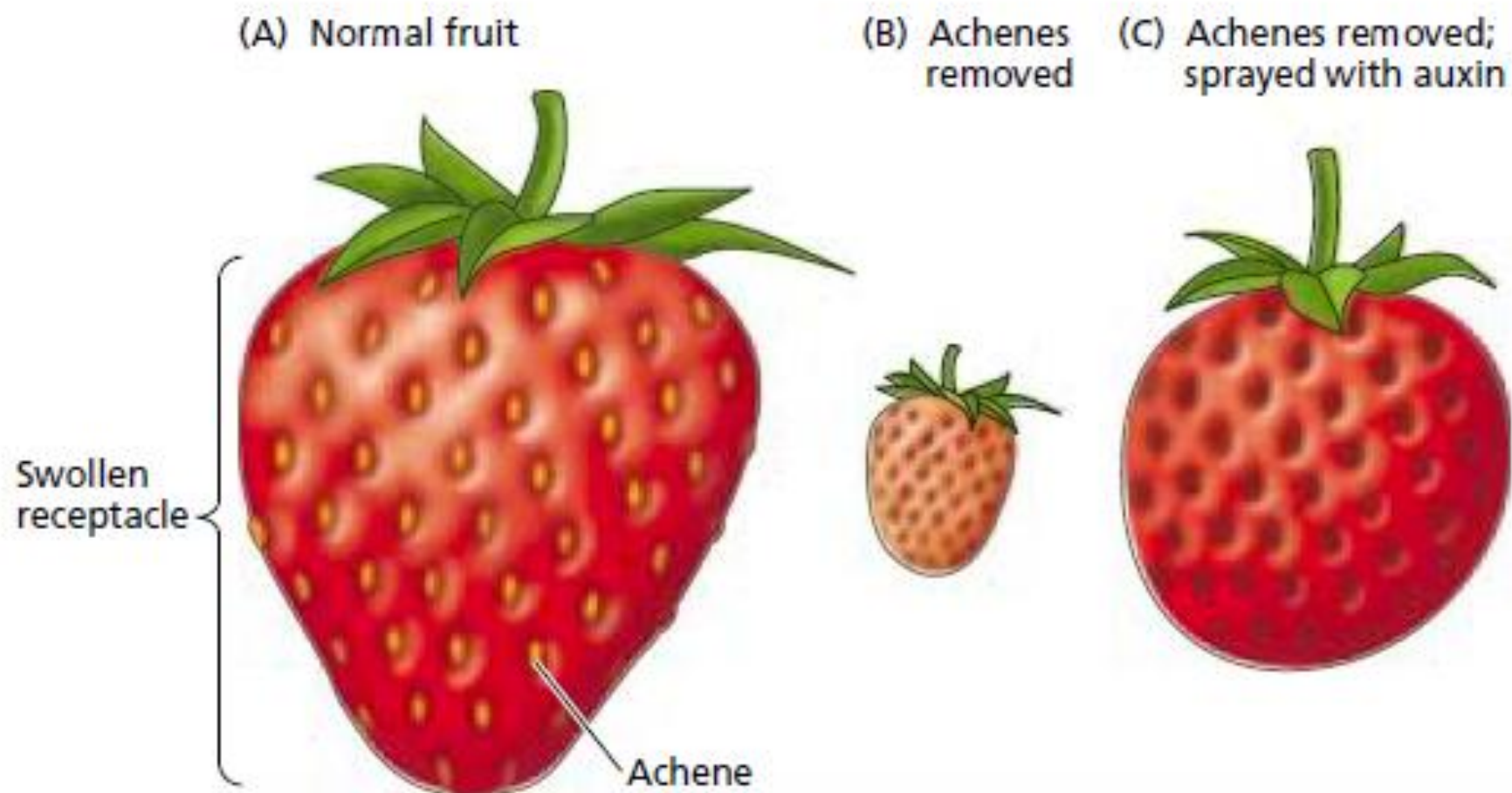


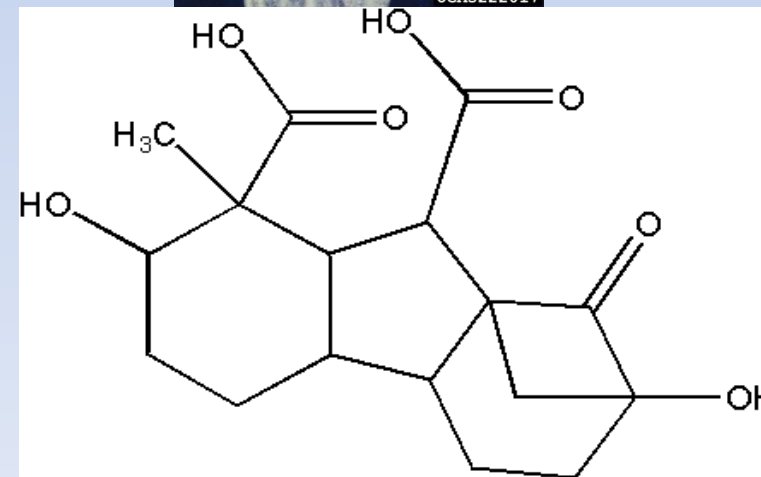
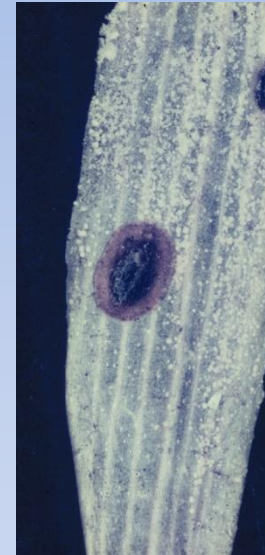
FIGURE 19.39 (A) The strawberry “fruit” is actually a swollen receptacle whose growth is regulated by auxin produced by the “seeds,” which are actually achenes—the true fruits. (B) When the achenes are removed, the receptacle fails to develop normally. (C) Spraying the achene-less receptacle with IAA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

Fytohormóny sa navzájom ovplyvňujú z hľadiska ich biosyntézy

- auxíny indukujú biosyntézu etylénu
- auxíny indukujú biosyntézu giberelínov a naopak

GIBERELÍNY – regulátory výšky rastlín

- patogén ryže *Gibberella fujikuroi* (*bakanae*): 30-te roky 20. st.
- 1958: prvýkrát identifikované vo vyšších rastlinách
- terpenoidné zlúčeniny (cyklické diterpény)
- iba natívne látky (125 známych)
- označenia GA_1 , GA_2 ...,
- najznámejší je **GA_3** – kyselina giberelová (huba)
- vo vyšších rastlinách prevláda **GA_1**



GIBERELÍNY – regulátory výšky rastlín

- tvoria sa v najmladších listoch, v apexe výhonku, v koreňoch a v semenách
- zostávajú v organizme dlhú dobu, nakoľko prechádzajú do inaktívnej formy
- transportujú sa akropetálne aj bazipetálne - floémom

GIBERELÍNY – regulátory výšky rastlín

- ich pôsobenie je spojené najmä s rastom stonky, po ich aplikácii dosahujú rastliny výrazne vyšší vzrast
- ich pôsobenie na predlžovací rast vs. rovnomerné hrubnutie rastlín je **závislé od ich koncentrácie**



Význam giberelínov

- stimulujú bunkové delenie a predlžovací rast predovšetkým pri zakrpatených mutantoch (bonsaje): ↑ konc.
- stimulujú delenie buniek v kambiu (deuterofloém + deuteroxylém): ↓ konc.
- stimulujú vývin plodov bez oplodnenia = **partenokarpia**
- stimulujú tvorbu kvetov v podmienkach vernalizácie
- **narúšajú dormanciu** púčikov a semien:
aktivizujú enzýmy endospermu pri klíčení (hydrolýza zásobných látok)



Rastliny, ktoré v krátkom dni vytvárajú ružicu listov a v dlhom dni „rastú do kvetu“:
exogénna aplikácia giberelínov nahrádza dlhý deň



Biosyntéza GA je regulovaná svetelným režimom a teplotou

1. **Klíčenie semien:** potrebné je svetlo = stúpa hladina GA (exogénna aplikácia GA = klíčenie v tme).
 2. **Kvitnutie dlhodenných rastlín:** v krátkom dni – listová ružica, dlhá fotoperiódá = nárast hladiny GA = predlžovací rast stonky + kvitnutie.
 3. **Tuberizácia zemiakov:** prebieha v krátkom dni – aplikáciou GA je blokována.
 4. **Stratifikácia:** pôsobenie nízkej teploty umožňujúcej *klíčenie* semien a
vernalizácia: pôsobenie nízkej teploty na *kvitnutie* (GA nahrádza pôsobenie teploty).
- rast rastliny vplyvom GA je výsledkom stimulovaného **delenia** a **elongácie** buniek

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.)



CYTOKINÍNY

regulátory delenia buniek

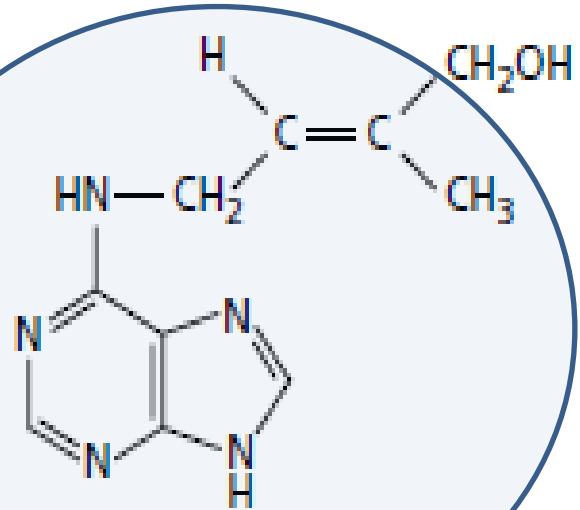
- zlúčeniny purínového charakteru odvodené od **adenínu**
- tvorba: predovšetkým v mladých koreňoch, menej v púčikoch
- transport xylémom aj floémom: akropetálne + bazipetálne
- vyskytujú sa tiež v živočíchoch (imunitné hormóny)

- medzi najznámejšie patrí

zeatín

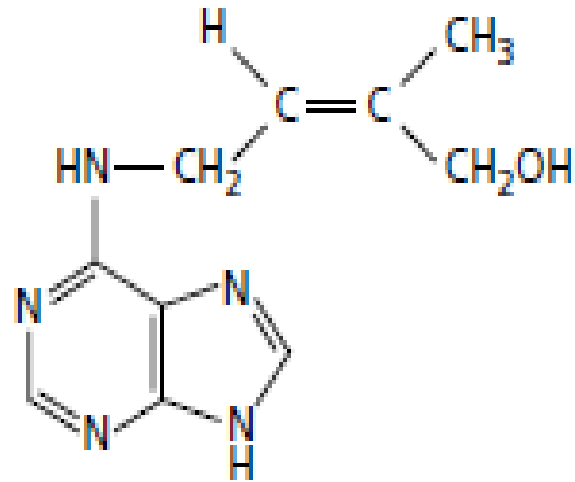
aminopurín – IPA

+ syntetické cytokiníny (benzyladenopurín BAP, kinetín...)

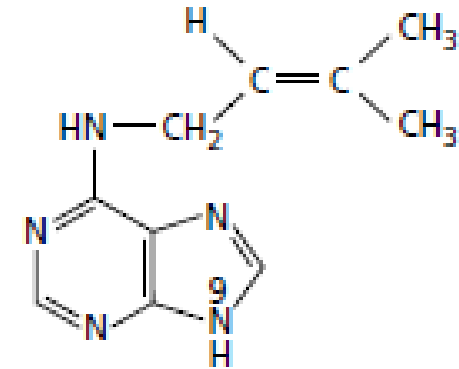


trans-Zeatin

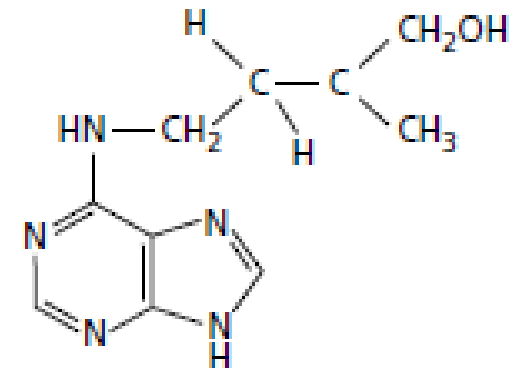
6-(4-Hydroxy-3-methylbut-2-enylamino)purine



cis-Zeatin

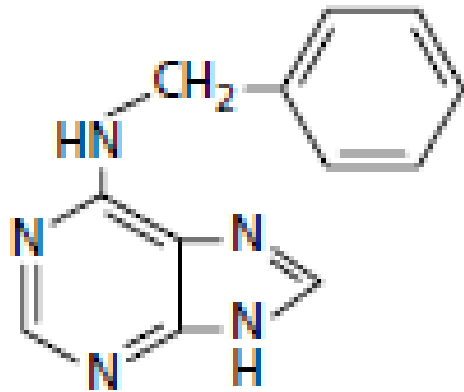


N⁶-(Δ²-Isopentenyl)-adenine (iP)

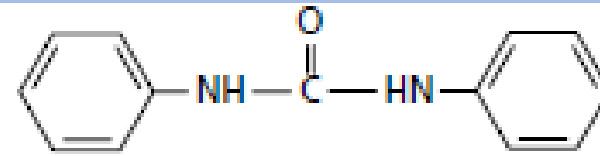


Dihydrozeatin (DZ)

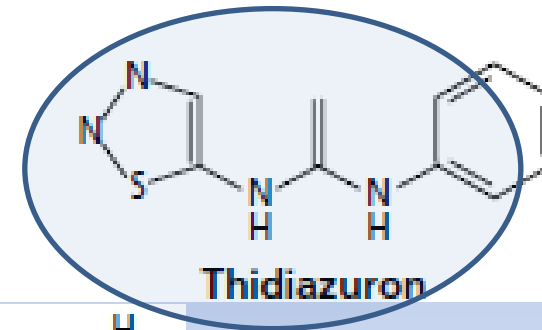
Syntetické látky napodobňující pôsobenie cytokinínov + antagonisti



**Benzyladenine
(benzylaminopurine)
(BA)**

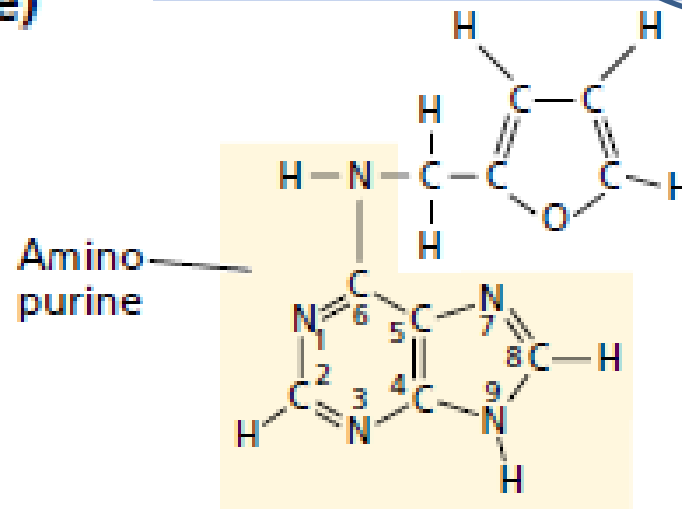


***N,N'*-Diphenylurea (nonamino
purine with weak activity)**



Thidiazuron

**komerčne využívaný
herbicíd a defoliant**



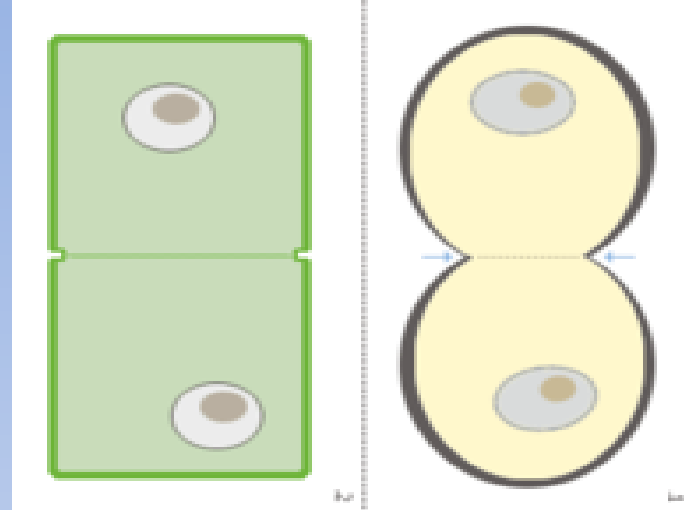
Amino
purine

Kinetin

Cytokiníny ovplyvňujú predovšetkým:

- **senescenciu listov**
- mobilizáciu živín
- **apikálnu dominanciu**
- formovanie a aktivitu výhonkového apikálneho meristému
- vývin kvetov
- diferenciáciu chloroplastov

Význam cytokinínov



- stimulujú bunkové delenie = **cytokinézu** a predĺžovací rast
- stimulujú tvorbu a rast postranných púčikov
- **narušujú dormanciu semien**
- stimulujú otváranie prieduchov
- spomaľujú starnutie organizmu bránia poklesu obsahu DNA a bielkovín

**Pomer auxíny/cytokiníny reguluje
morfoгенézu pletivových *in vitro* kultúr!!!**

divý typ

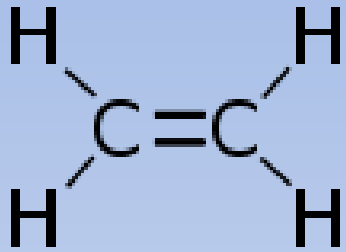
cytokinínový mutant



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.)

ETYLÉN

plynný hormón



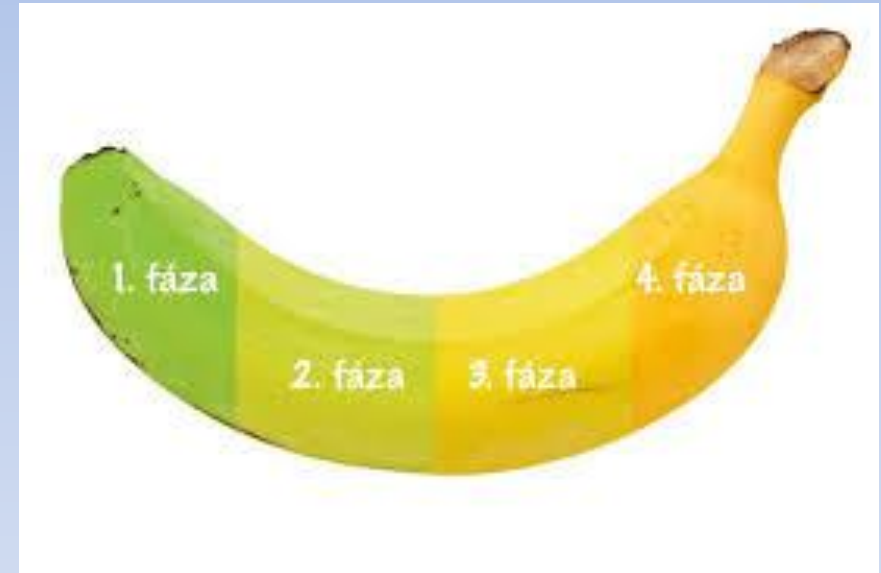
- je produkovaný každým živým organizmom
- má účinky inhibičné aj stimulačné
- tvorí sa v meristematických pletivách, klíčiach semenách a dozrievajúcich plodoch

K stimulácii jeho tvorby dochádza pri strese.

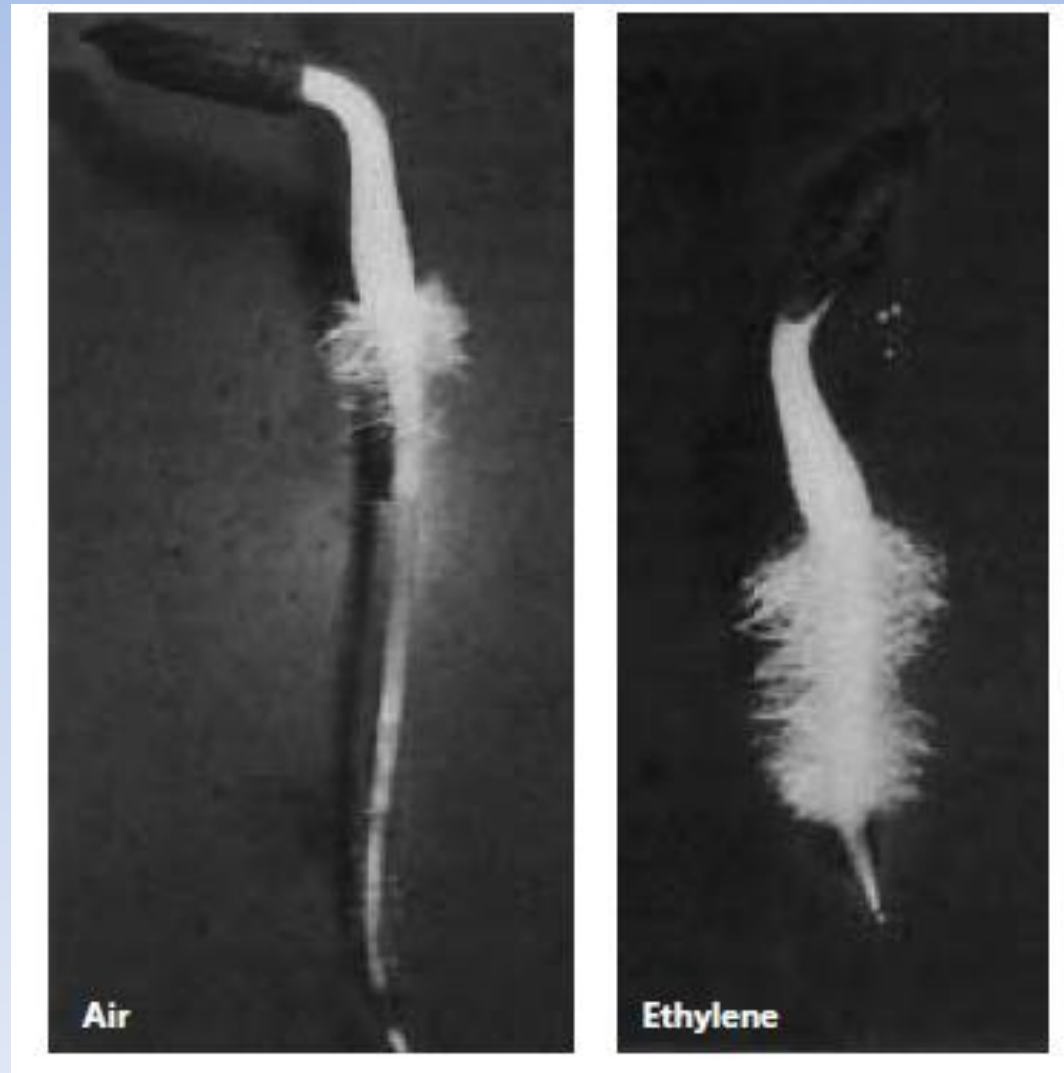
Význam etylénu

- urýchl'uje starnutie organizmu
- **inhibuje** odnožovanie, regeneráciu rastlinných odrezkov a vetvenie stoniek
- **inhibuje** transport auxínov
- **stimuluje** opad listov a plodov
- **stimuluje** dozrievanie plodov (južné ovocie)

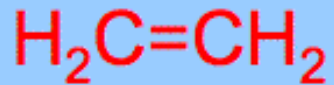
**Etylén urýchl'uje senescenciu listov
(+ ABA)**
(antagonisticky tu pôsobia cytokiníny).



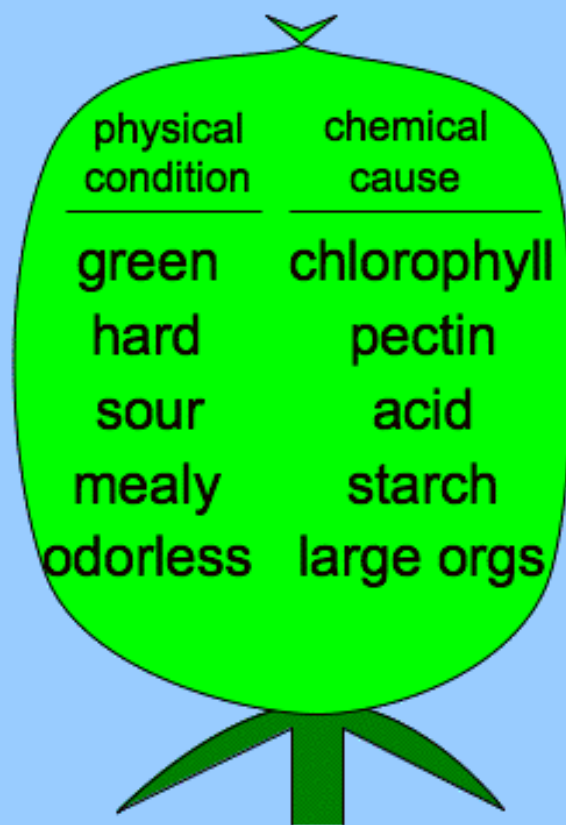
Etylén indukuje formovanie **adventívnych koreňov** na listoch a stonkách;
pozitívne tiež reguluje formovanie **koreňových vláskov**.



The hormone ethylene initiates the ripening response:



Unripe Fruit



physical condition	chemical cause
green	chlorophyll
hard	pectin
sour	acid
mealy	starch
odorless	large orgs

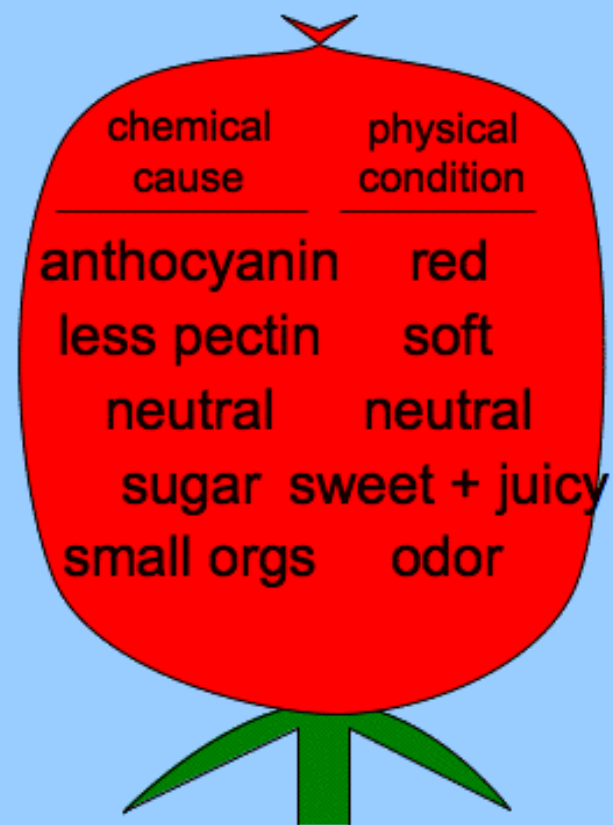
DNA

RNA

Enzyme
Produced

hydrolase
pectinase
kinase
amylase
hydrolases

Ripe Fruit



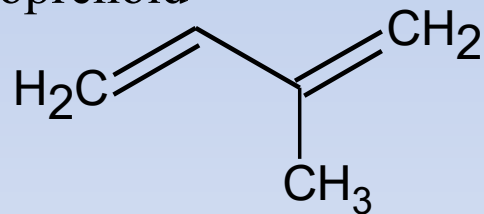
chemical cause	physical condition
anthocyanin	red
less pectin	soft
neutral	neutral
sugar	sweet + juicy
small orgs	odor

KYSELINA ABSCISOVÁ – ABA

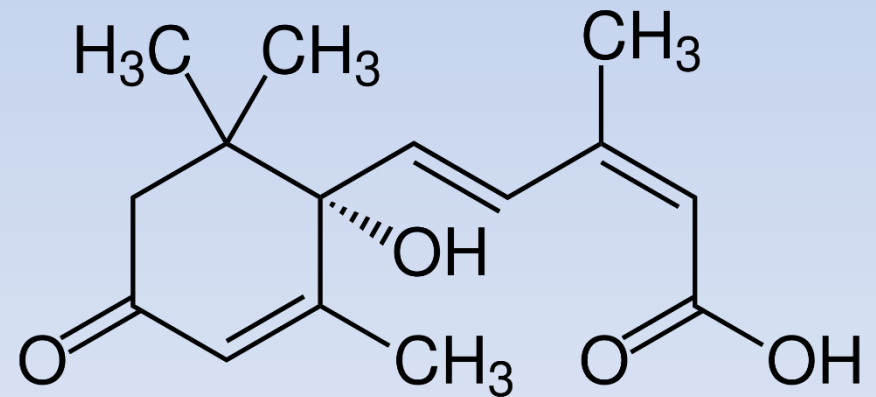
dozrievanie semien, antistresový signál

- **dormín**
- tvorí sa predovšetkým v hl'uzách a púčikoch odkiaľ sa transportuje do listov a plodov
- z chemického hľadiska je to izoprenoid

izoprén (2-methyl-buta-1,3-dien)



- podobné účinky má i **kys. jasmónová**



Význam kys. abscisovej

- vyvoláva **dormanciu púčikov a dormanciu semien** (antagonistami sú giberelíny)
- inhibuje klíčenie semien a rast stoniek
- stimuluje zatváranie prieduchov (**stres zo sucha**)
- inhibuje syntézu zásobných proteínov
- urýchľuje opad listov a plodov (sucho, ↓ teploty)

Stres zo sucha

- hladina ABA môže vzrásť až 50-násobne
- umožní zatvorenie prieduchov
- zvyšuje pomer korene/výhonky

FENOLOVÉ LÁTKY

- sú **antagonistami auxínov, odbúravajú ich**
- inhibujú bunkové delenie a tvorbu adventívnych koreňov
- stimulujú vývin bočných púčikov (narúšajú apikálnu dominanciu)
- najvýznamnejšou látkou je **kumarín**