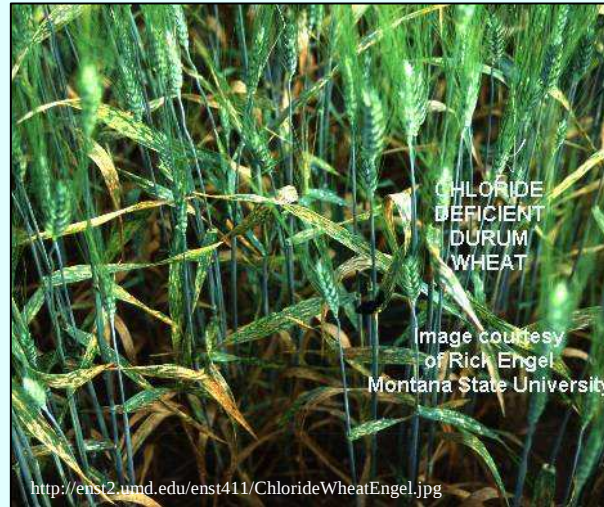


Chlór

- obsah v rostlině 2-200 mg/g SH, skutečný požadavek kolem 0,2-0,4 mg/g SH
- deficience při obsahu méně než 0,1-5,7mg/g SH, nad 500 µg/g SH toxicita
- spolu s K^+ hlavní osmotikum buňky
- částečně nahraditelný Br^-

Deficience chlóru:

- snížení růstu
- vadnutí listů, intervenózní chloróza
- potlačení rozvoje laterálních kořenů



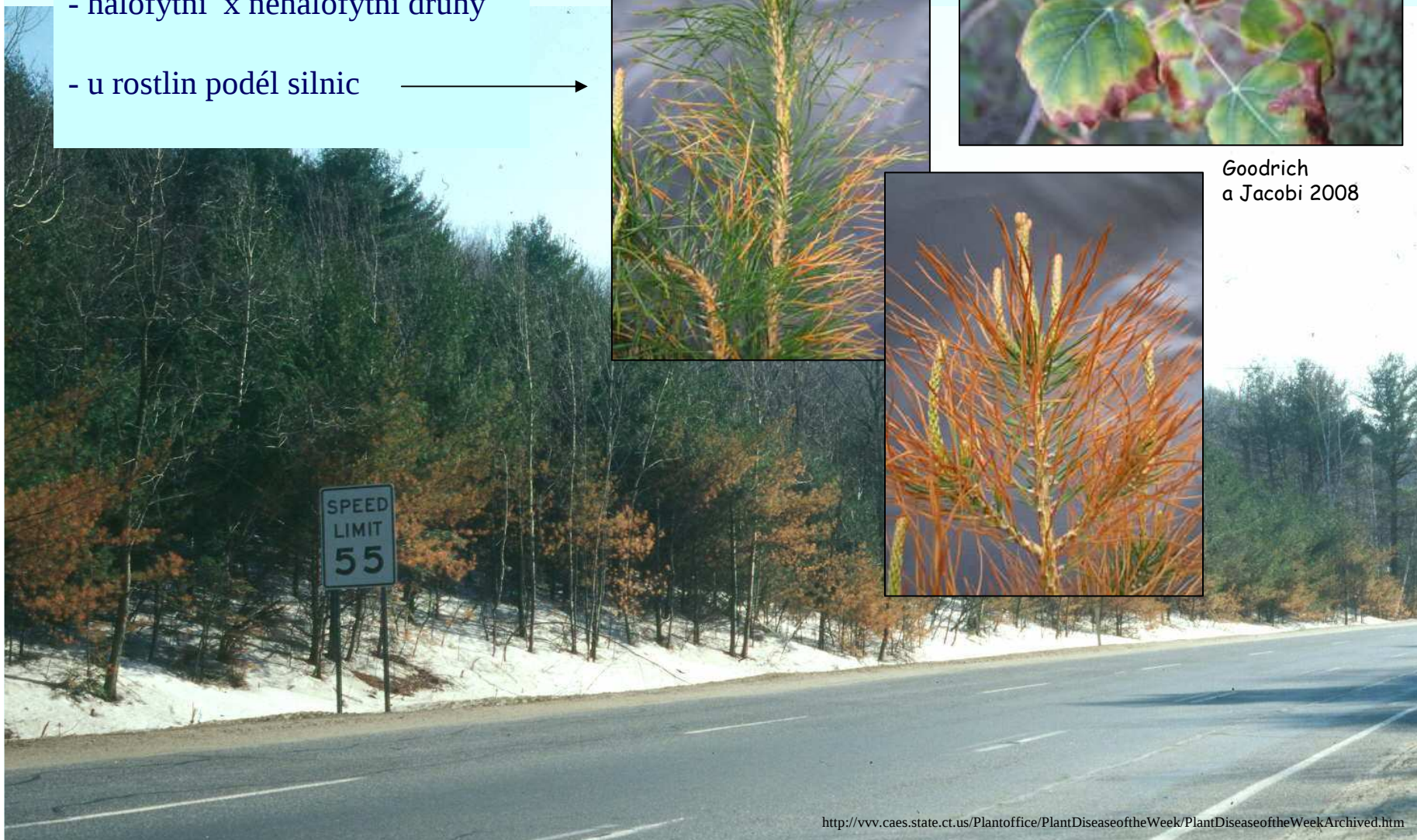
www.plantphys.net/printer.php?ch=5&id=289

Toxicita chlóru:

- rozšířená (aridní oblasti)
- halofytní x nehalofytní druhy
- u rostlin podél silnic



Goodrich
a Jacobi 2008



Příjem a pohyb Cl^- v rostlině:

aktivní:

$\text{Cl}^-/2\text{H}^+$ symporter

Cl^-/H^+ antiporter

pasivní:

kanály

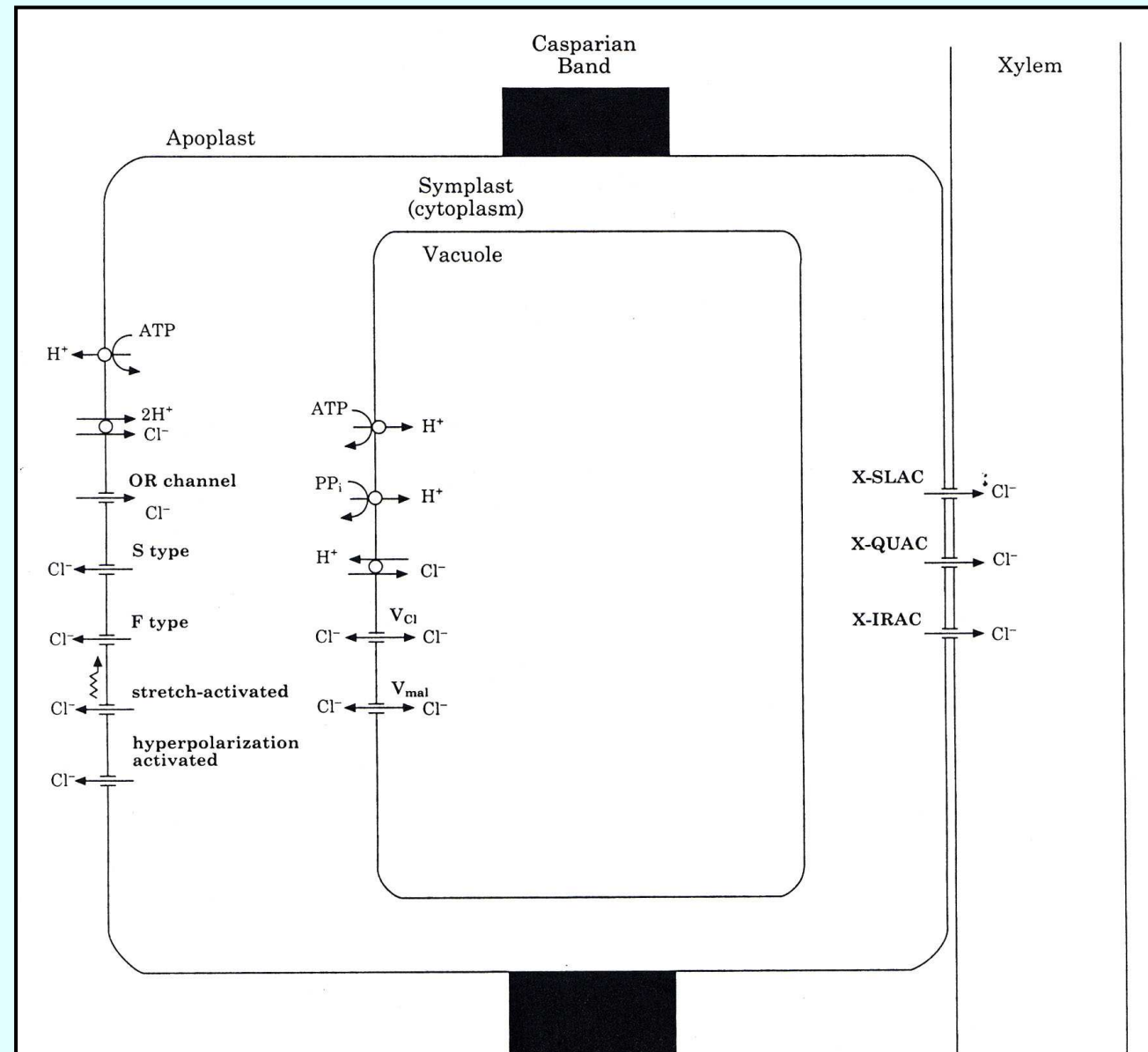
- napětově řízené

- R-typ

- S-typ

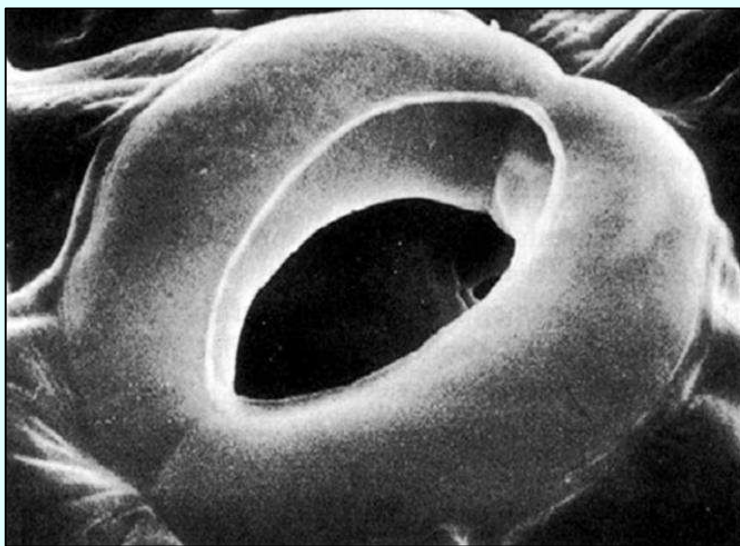
- řízené ligandem

- řízené tensí membrány

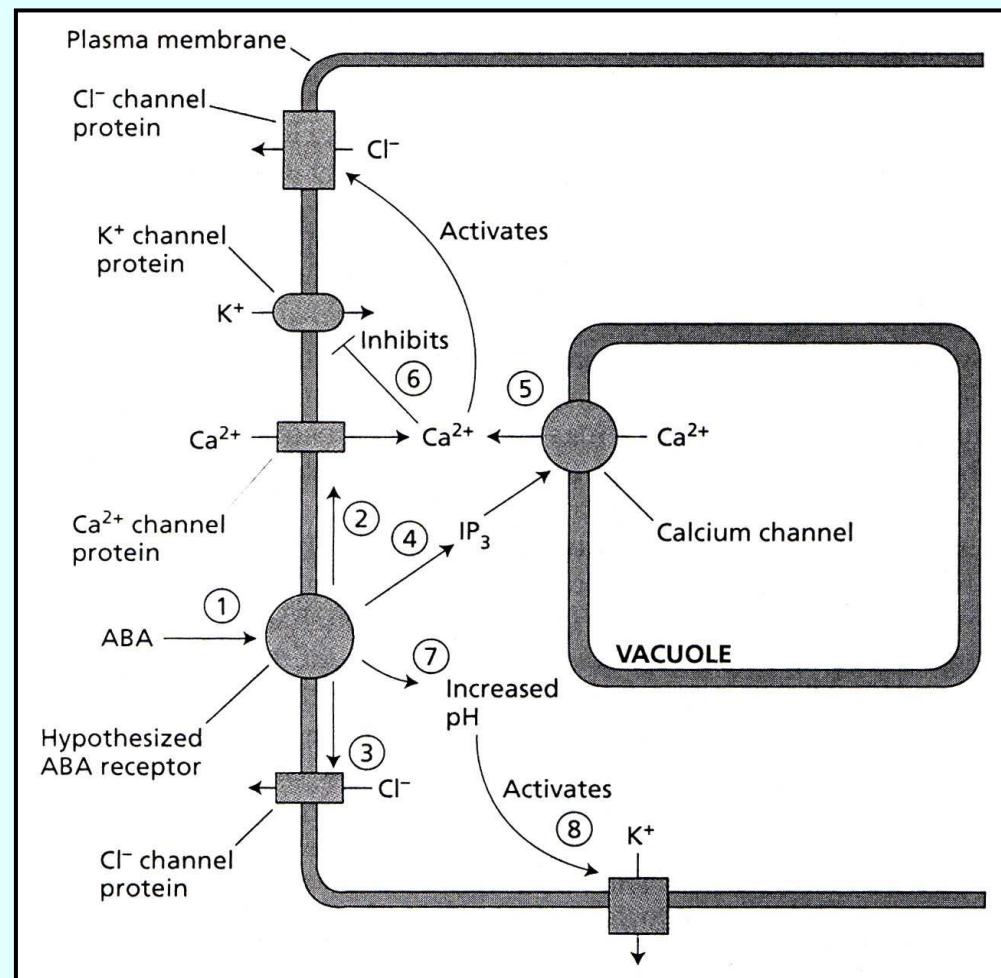


Význam Cl^- v rostlině:

- osmoregulace, regulace turgoru
 - koncentrace ve vakuole 50-150mM
- regulace otevřenosti průduchů



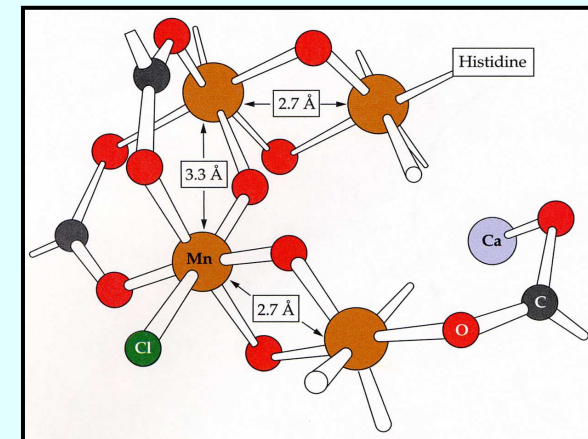
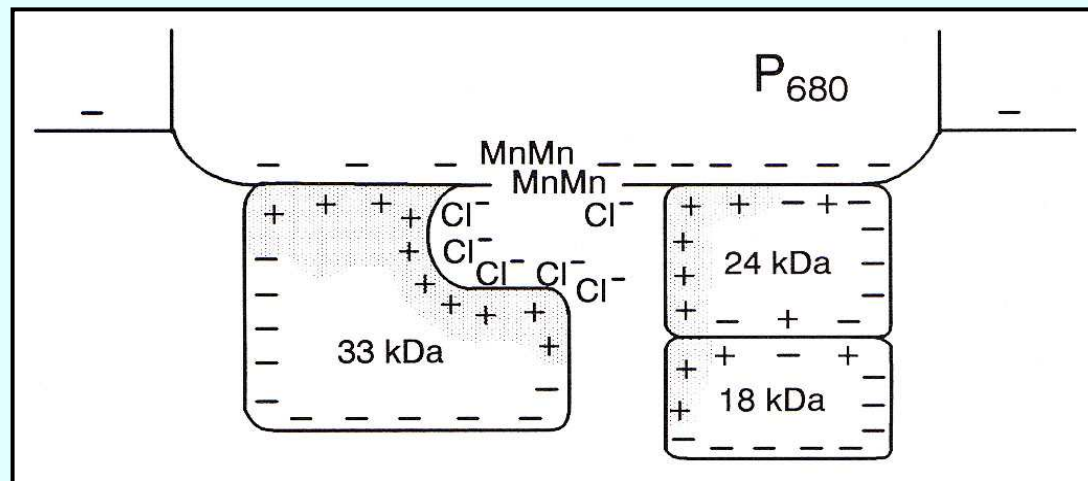
Převzato z: www.shef.ac.uk/.../hungerford-dan/stomata2.jpg



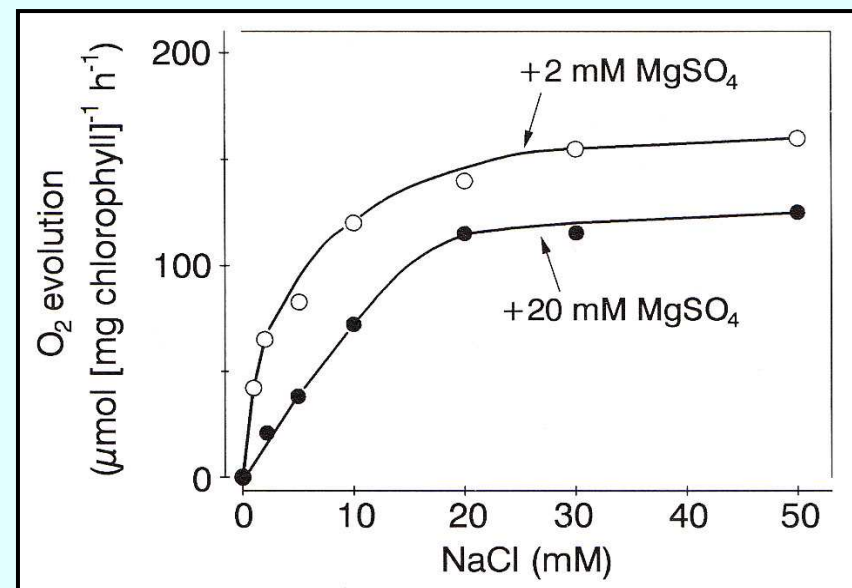
Taiz a Zeiger 2002

Význam Cl⁻ v rostlině:

- význam v komplexu vyvíjejícím kyslík

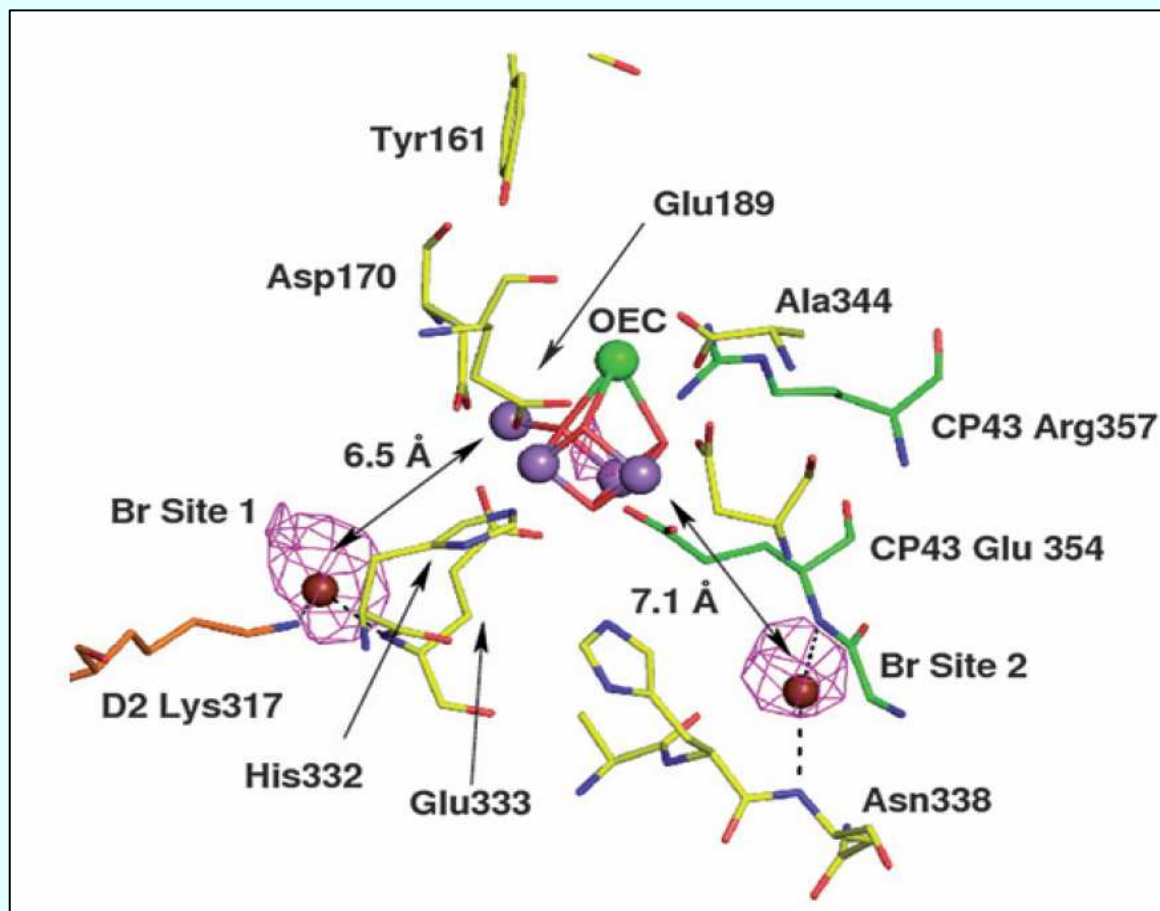


Buchanan 2000



Marschner 1995

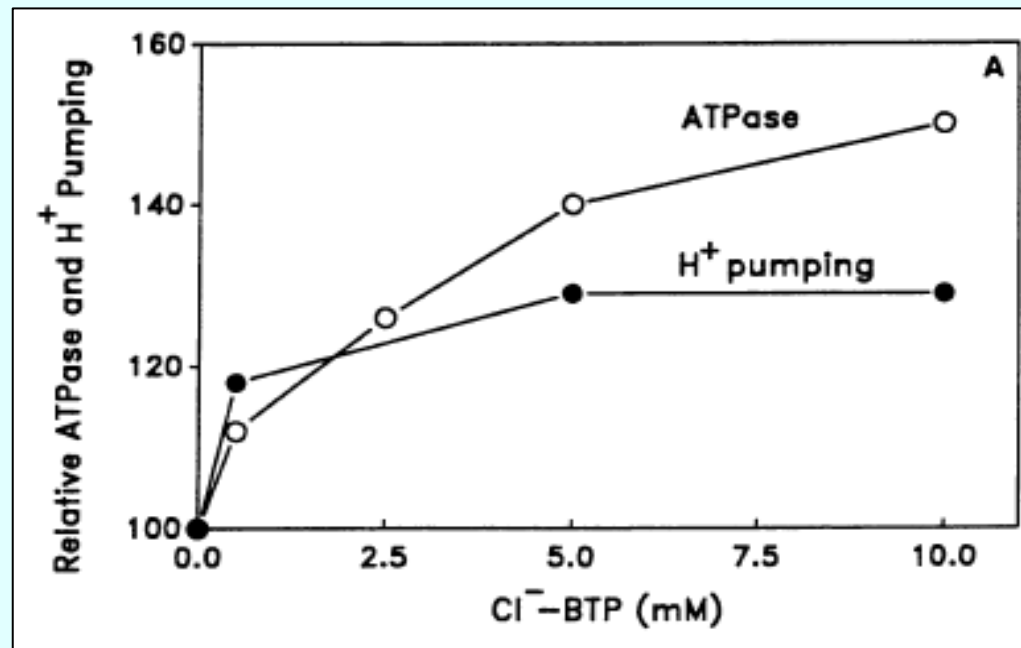
- identifikována dvě vazebná místa pro Cl^- (pomocí difrakce rentgenového záření a s použitím Br^- jako substituentu)



Murray 2008

Význam Cl^- v rostlině:

- stimulace protonové pumpy na tonoplastu



Ward 1992

Bór

- polokov

- v rostlině kolem 20 $\mu\text{g/g}$ SH, vyšší požadavek na B u dvouděložných

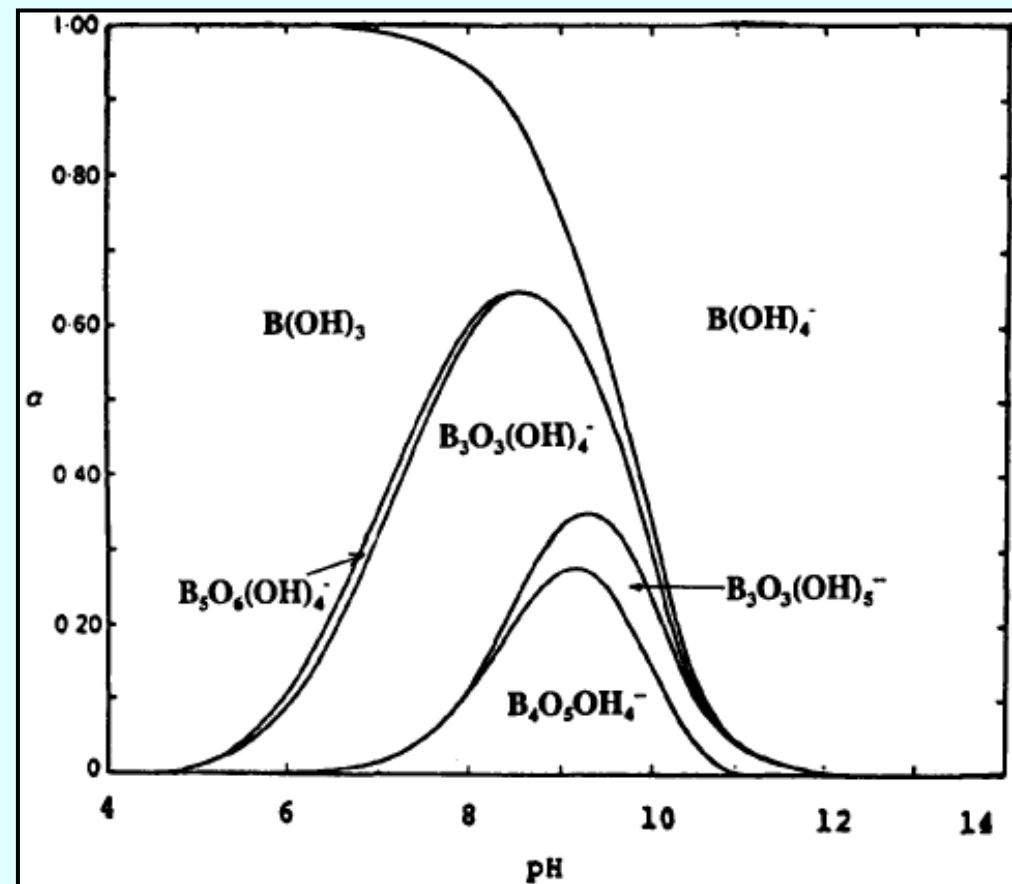
- výskyt:

kys. boritá B(OH)_3 (při $\text{pH} < 7$)

borátový aniont B(OH)_4^- (při $\text{pH} > 7$)

polymery (při koncentraci $> 25\text{mM}$)

- nezbytný pro tvorbu buněčné stěny

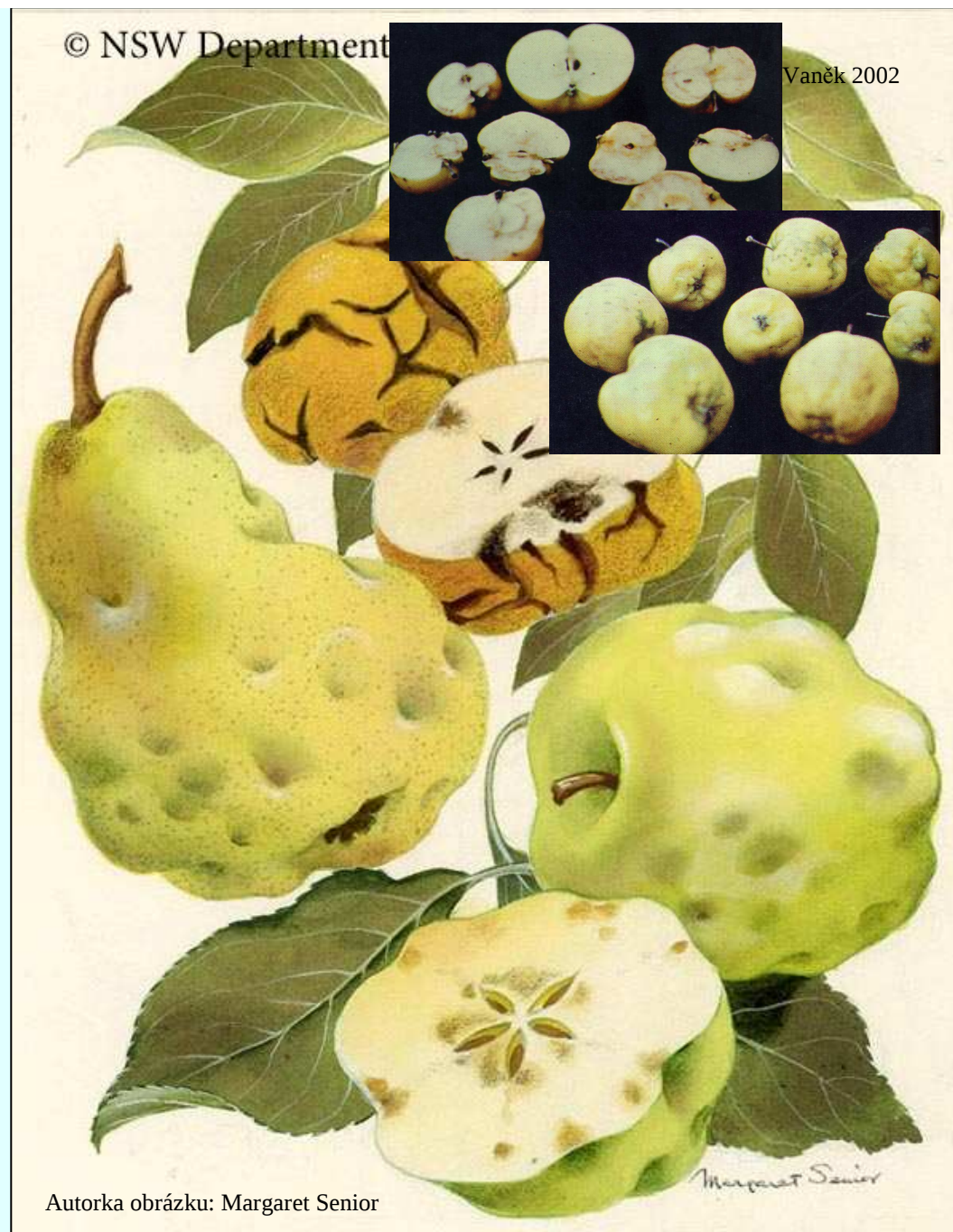


Deficience bóru:

- v přírodě častá (vyplavování, při vyšším pH adsorbce, při nedostatku vody tvorba polymerů)
- pokles rychlosti růstu vegetačního vrcholu, odumírání
- zmenšení listů, zkracování internodií
- nepravidelnosti v růstu plodů u ovocných stromů



Wongmo 2004

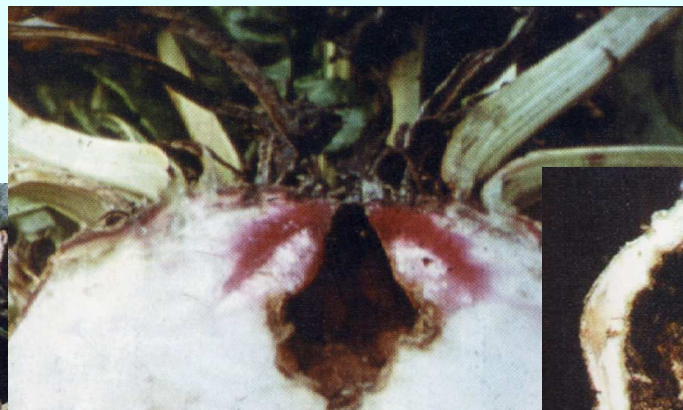


Autorka obrázku: Margaret Senior

© NSW Department

Vaněk 2002

- „srdíčková hniloba“
u bulvovitých rostlin



Vaněk 2002



Toxicita bóru:

- méně častá (některé suché oblasti s matečnou horninou mořského původu)
- nekrózy okrajových částí listů, příp. nekrotické skvrny
- snadno přechází přes membrány (desinfekční prostředky, insekticidy)

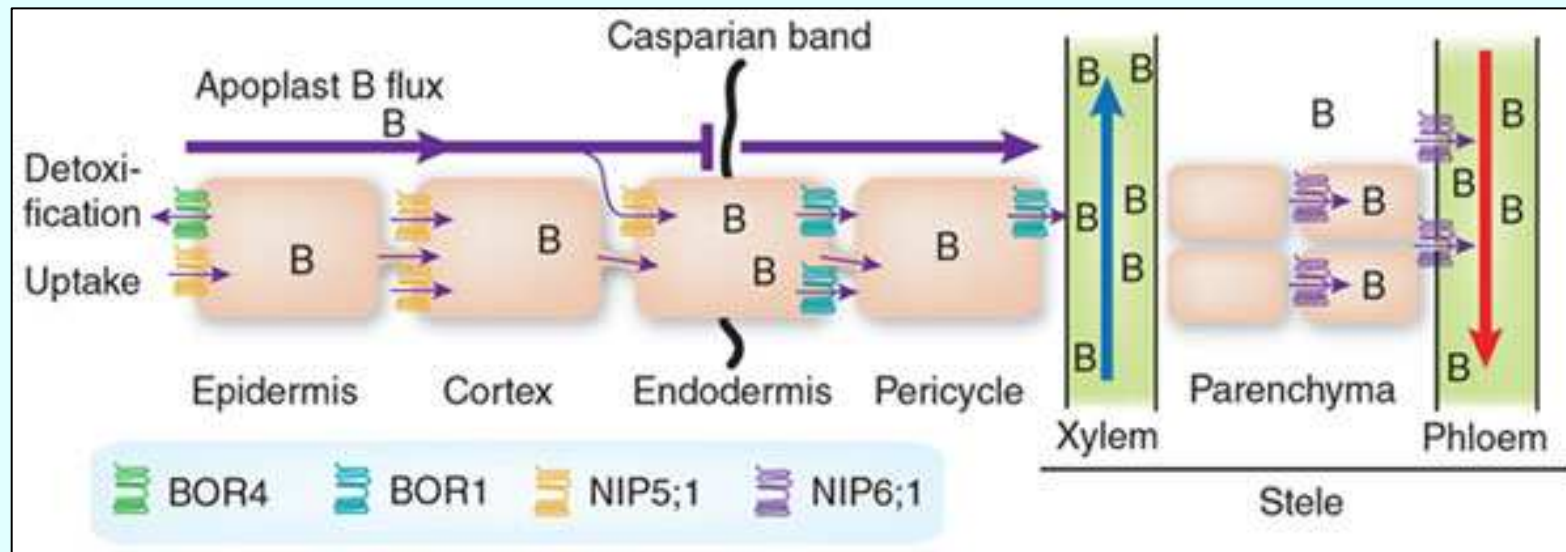


Vaněk 2002



Příjem bóru- spolupráce různých transportních proteinů:

Robert a Friml 2009

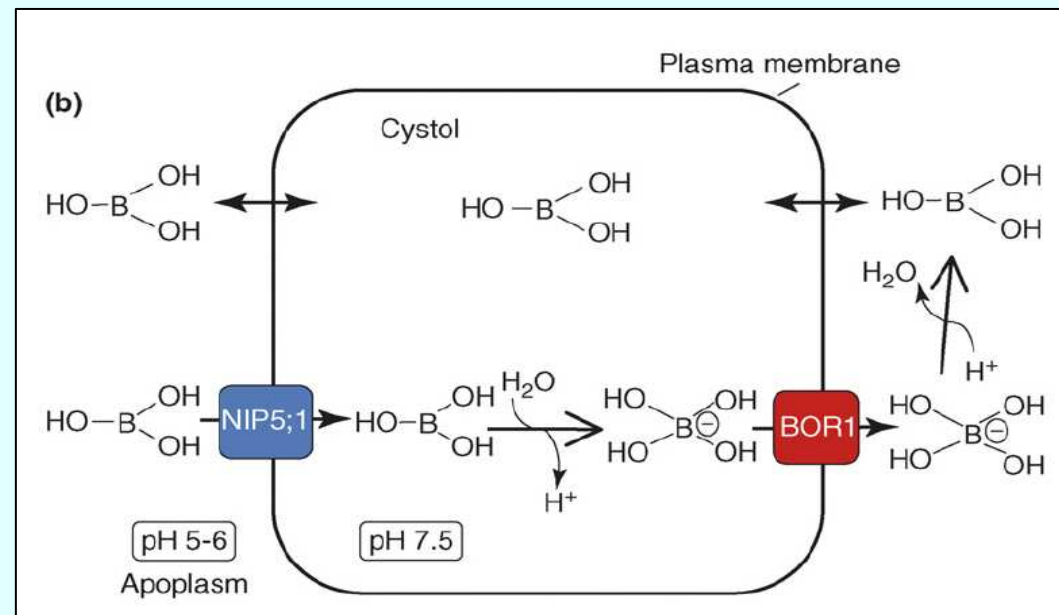


NIP5;1 - kanál pro příjem k. borité

NIP6;1 – komunikace xylém x floém

BOR1 – transportér borátu

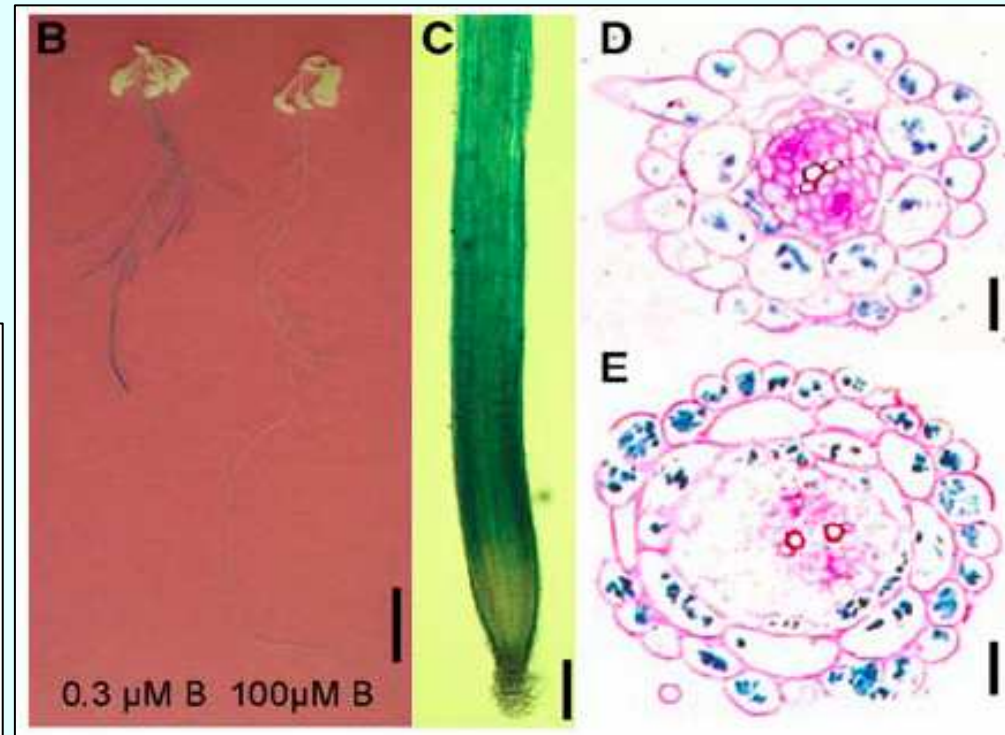
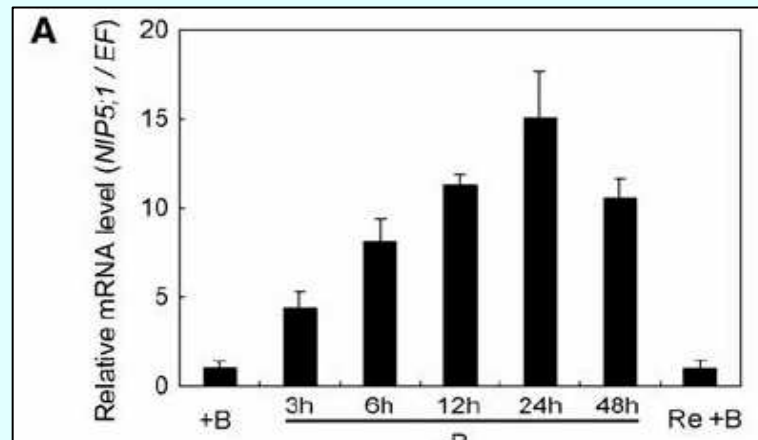
BOR4 – detoxifikace



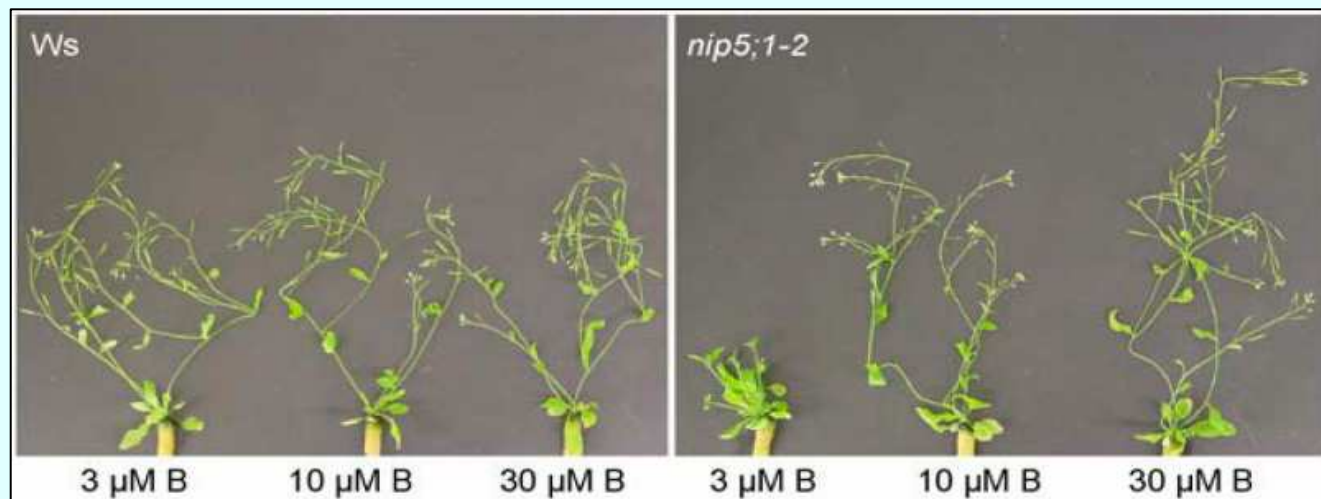
Takano 2008

NIP5;1

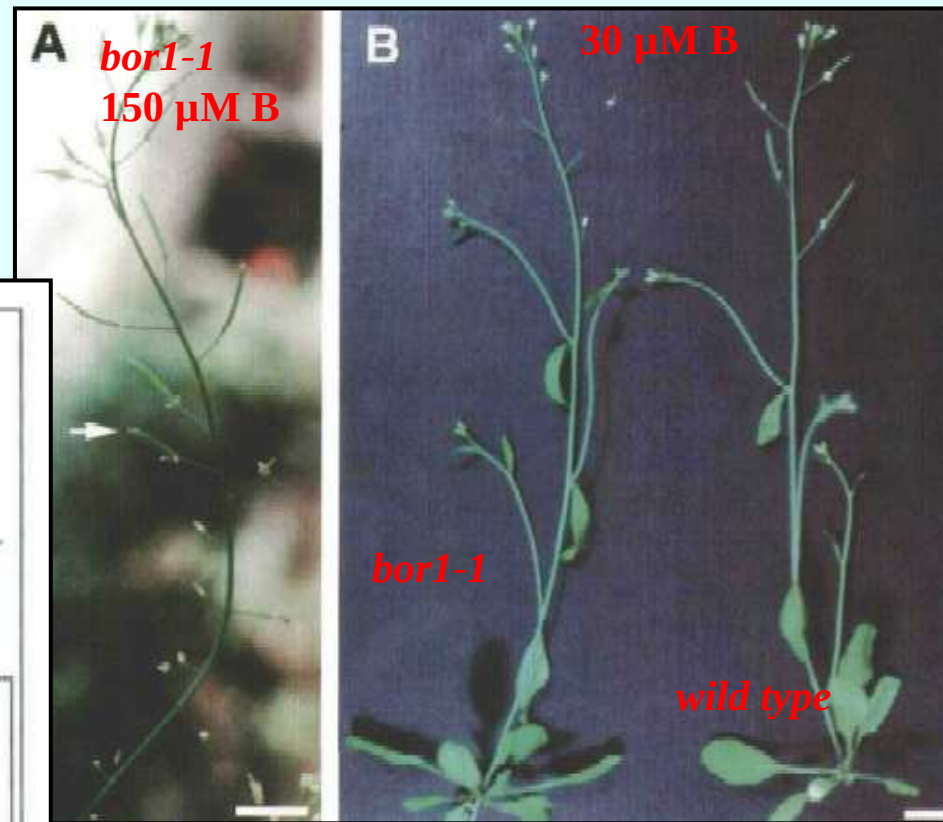
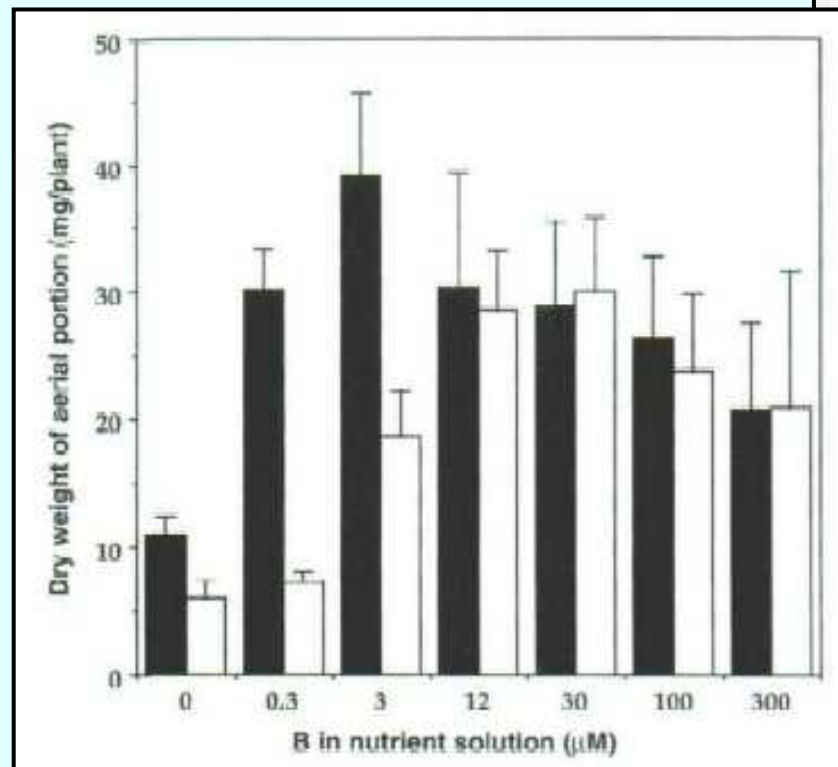
kanál pro transport kys.
borité



Takano 2006



BOR1 – transport borátu do xylému

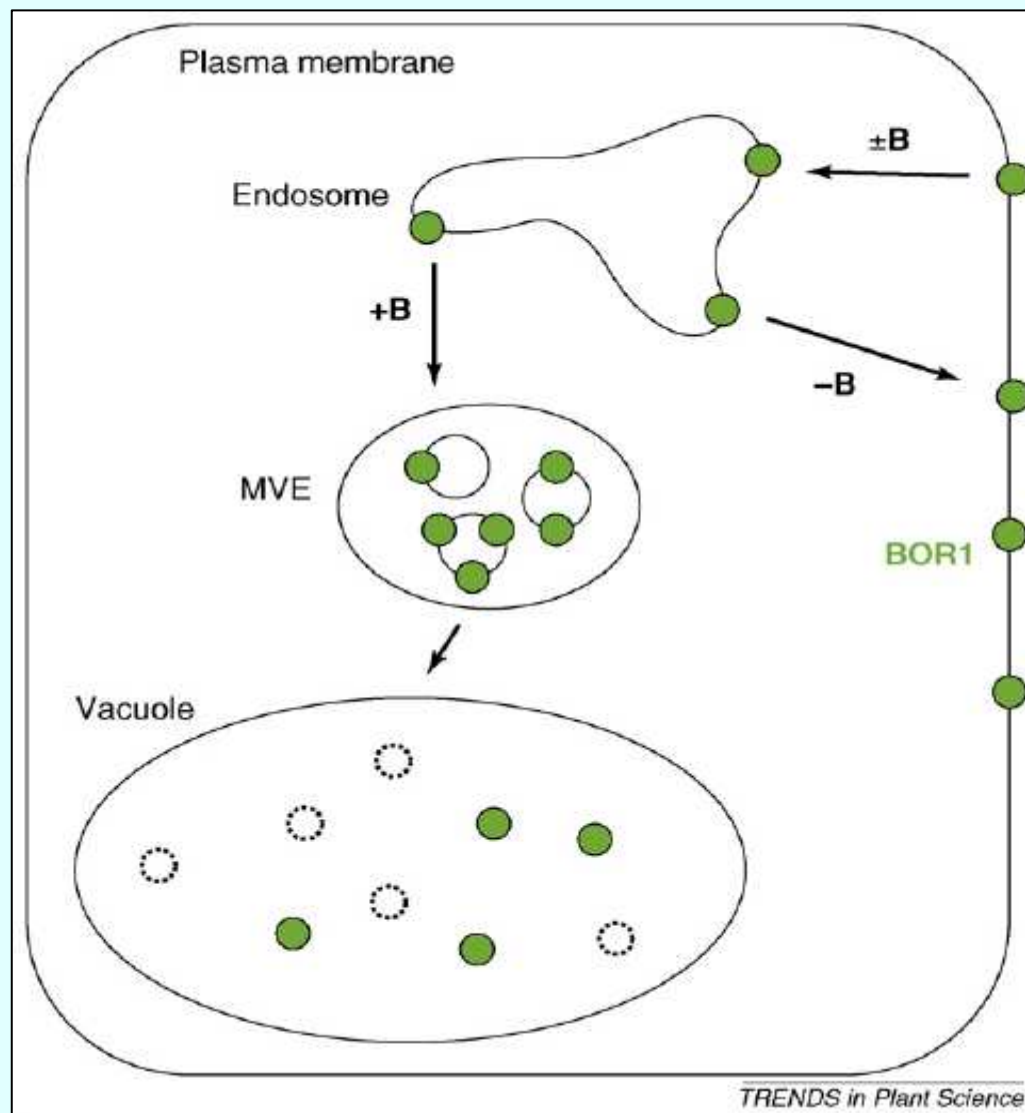


Naguchi 1997

- snížený obsah B v rostlině, narušena
translokace do nadzemních částí

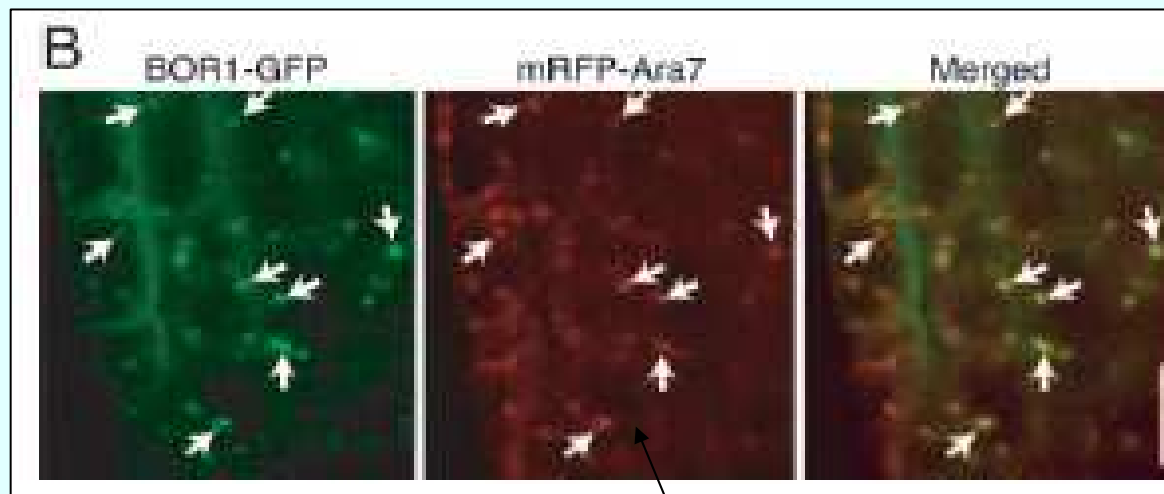
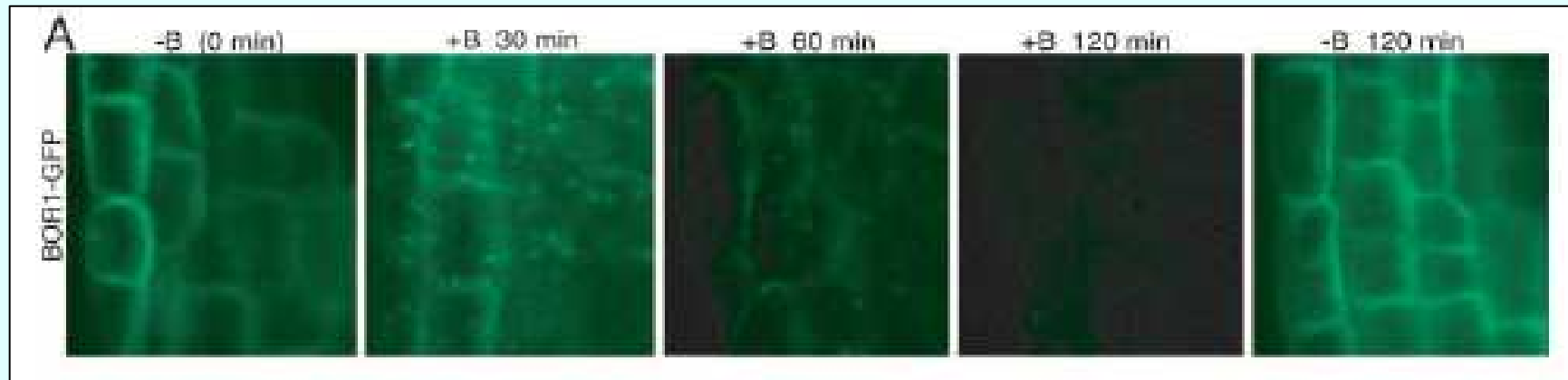
Endocytóza BOR1-1

- regulace optimální hladiny B v rostlině



Takano 2008

Endocytóza BOR1-1

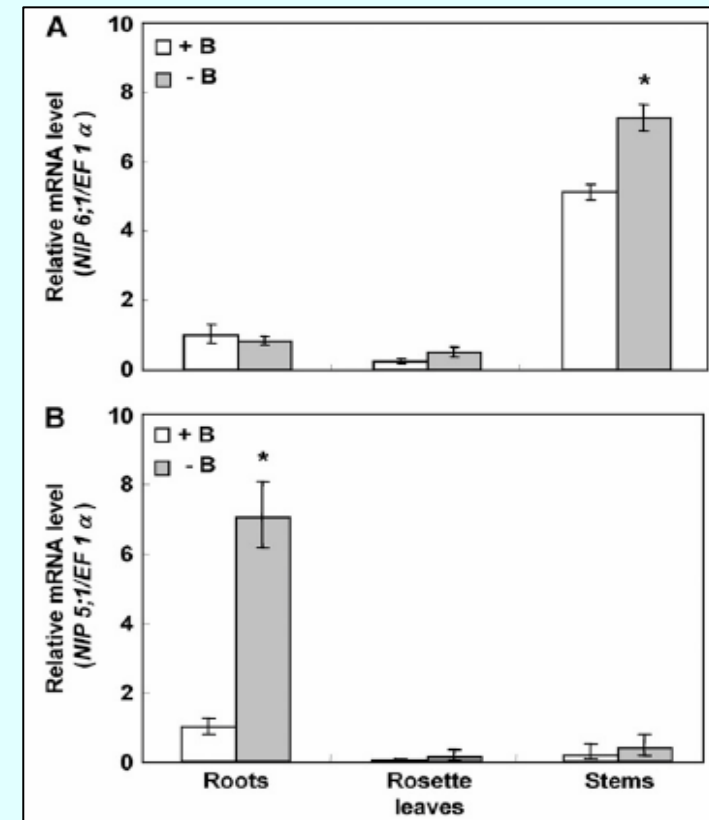
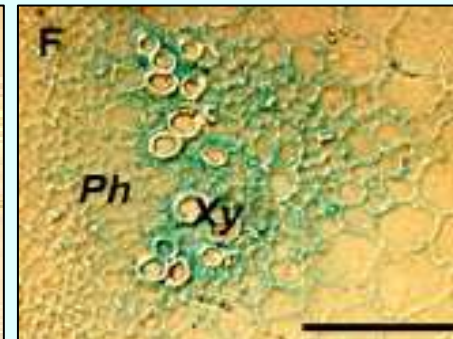
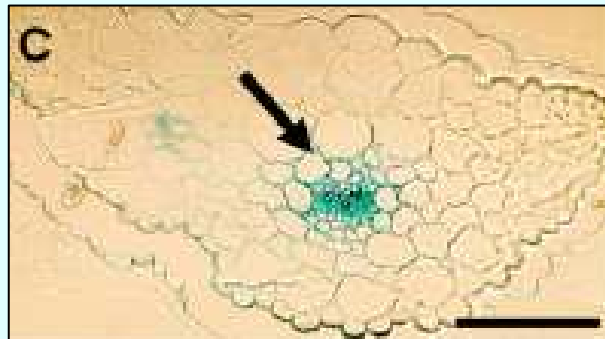
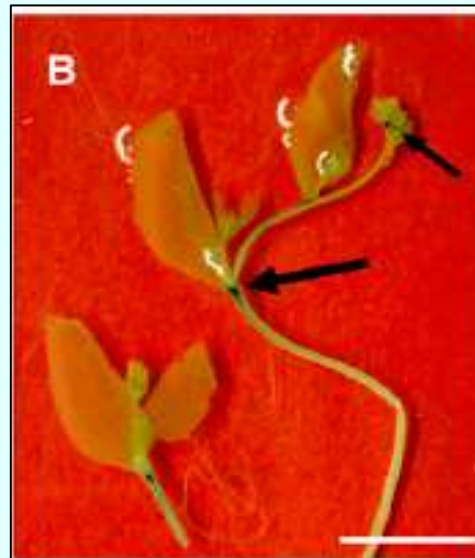
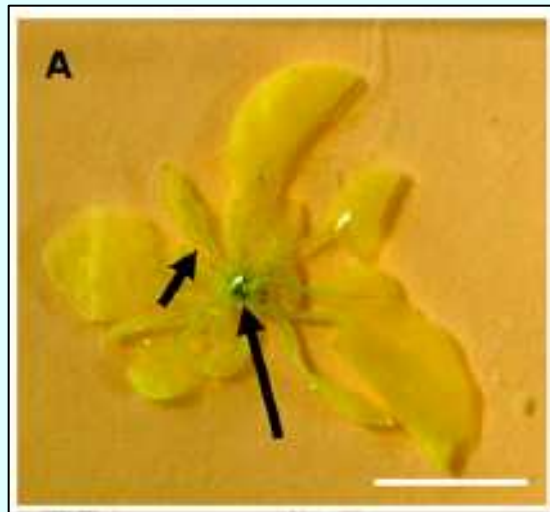


Takano 2005

marker endocytosis

NIP6:1 – kanál pro transport kys. Borité

- v nadzemní části (především v oblasti stonkových nodů)



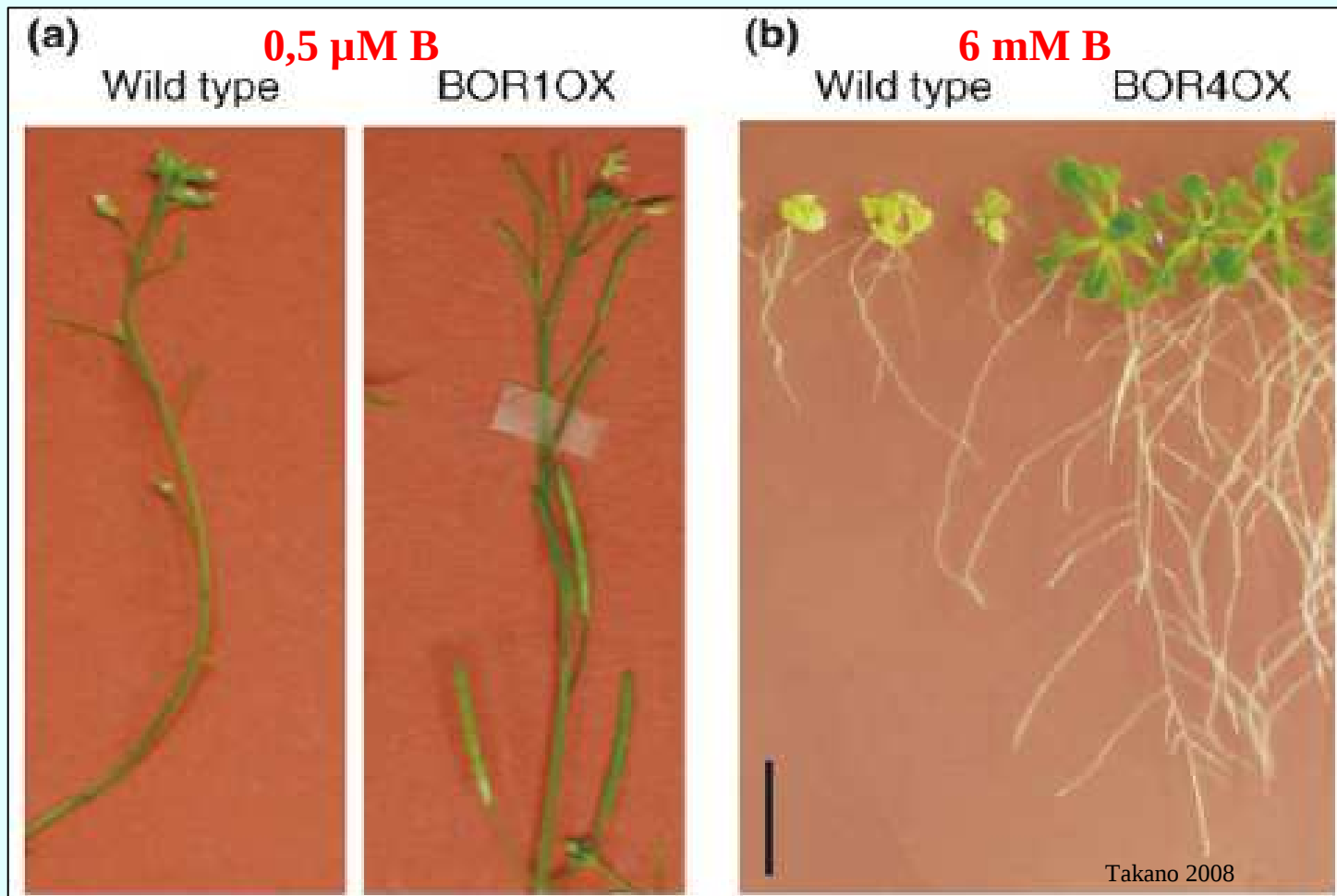
Tanaka 2008

BOR1OX – mutant overexprimující *BOR1*

- pozitivní efekt na fertilitu v podmínkách deficience B

BOR4OX – mutant overexprimující *BOR4*

- zvýšená tolerance k toxickým hladinám B



Význam B⁻ v rostlině:

- stabilní komplexy kyseliny borité s:

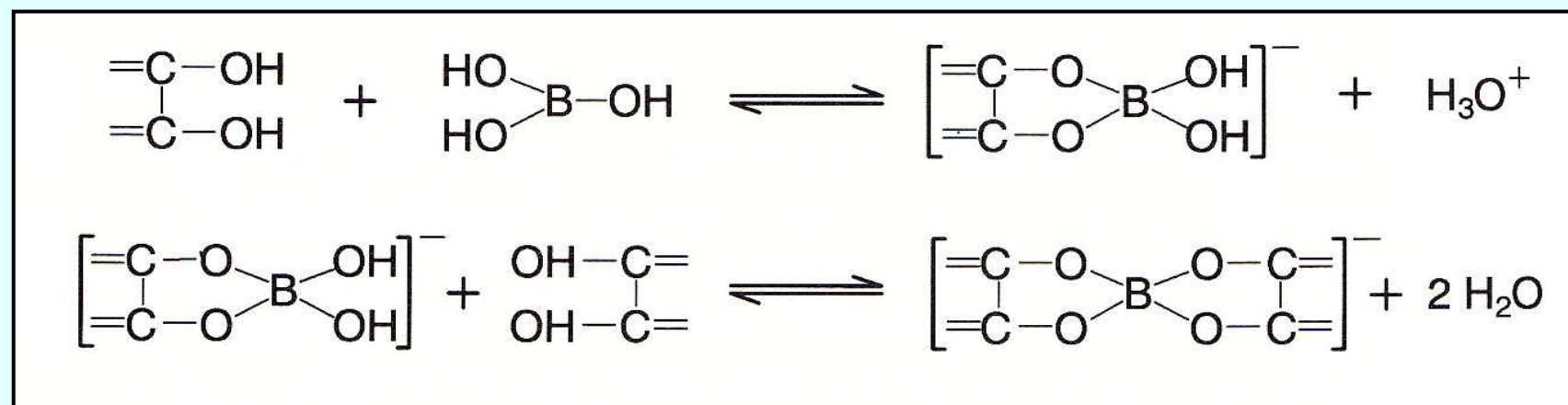
cis-dioly (dioly i polyoly s cis konfigurací)

např. některé sacharidy a jejich deriváty:

ribosa, cukerné alkoholy, uronové kyseliny

o-difenoly

např. prekurzory ligninu



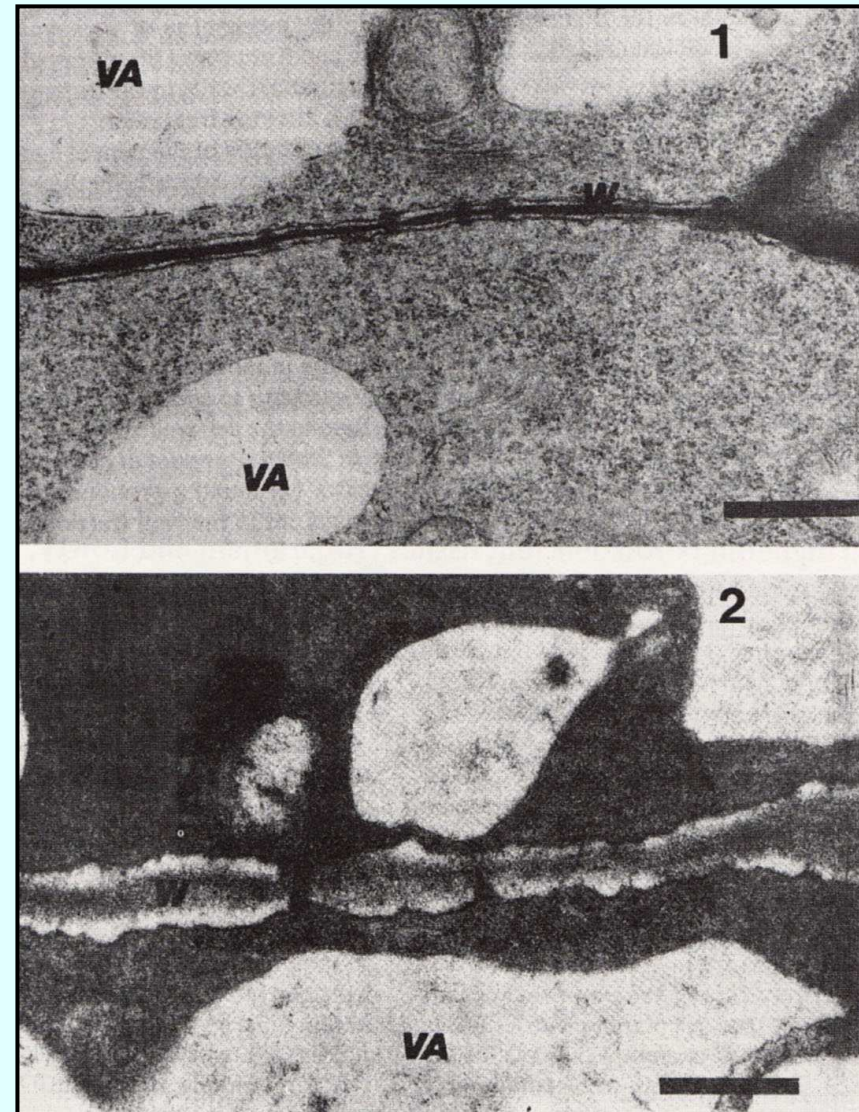
Marschner 1995

- přesný mechanismus účinku bóru v rostlině není znám, ale řada procesů, pro které je nezbytný

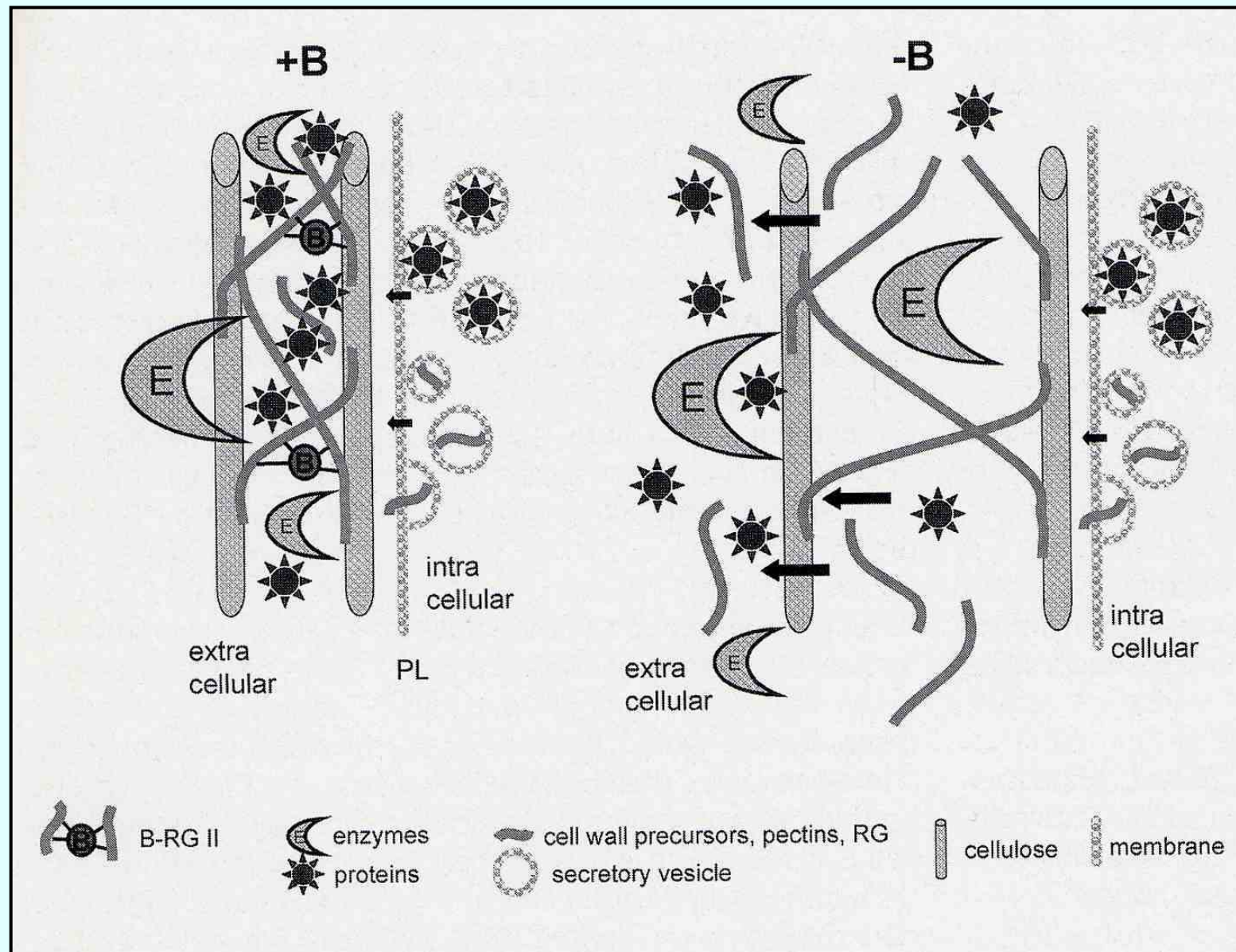
Význam B⁻ v rostlině:

syntéza buněčné stěny

- výrazné anomálie ve stavbě b. stěny u deficientních rostlin
 - zvětšování tloušťky
 - zvětšování podílu pektinů a kalózy
 - nepravidelné depozice materiálu
- strukturní funkce – tvorba borátových komplexů



Marschner 1995



Ricinus communis

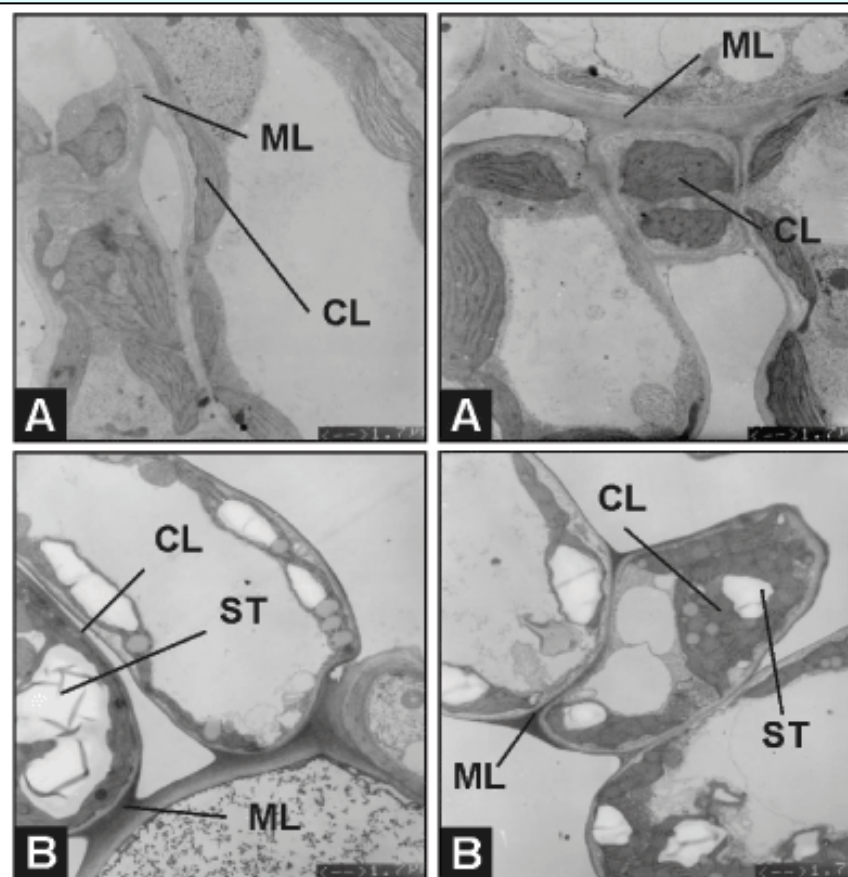


Figure 3 - Spongy mesophyll of new leaves of *Ricinus communis* L. A: Boron absent treatment B: Boron treatment with 0.27 mg L^{-1} . The thickening of the middle lamellae (ML), and starch granules absence (ST) in chloroplasts (CL) in boron absent treatment. Scale bar = $1.7 \mu\text{m}$.

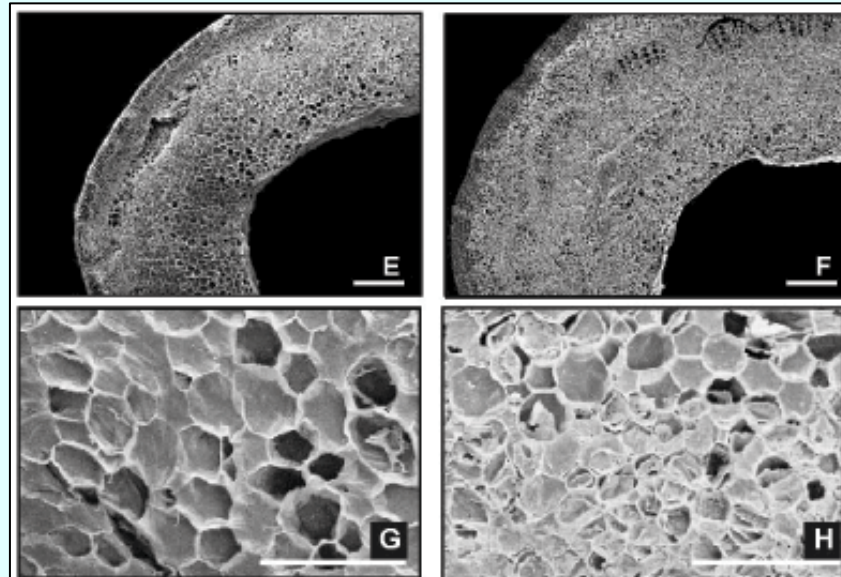


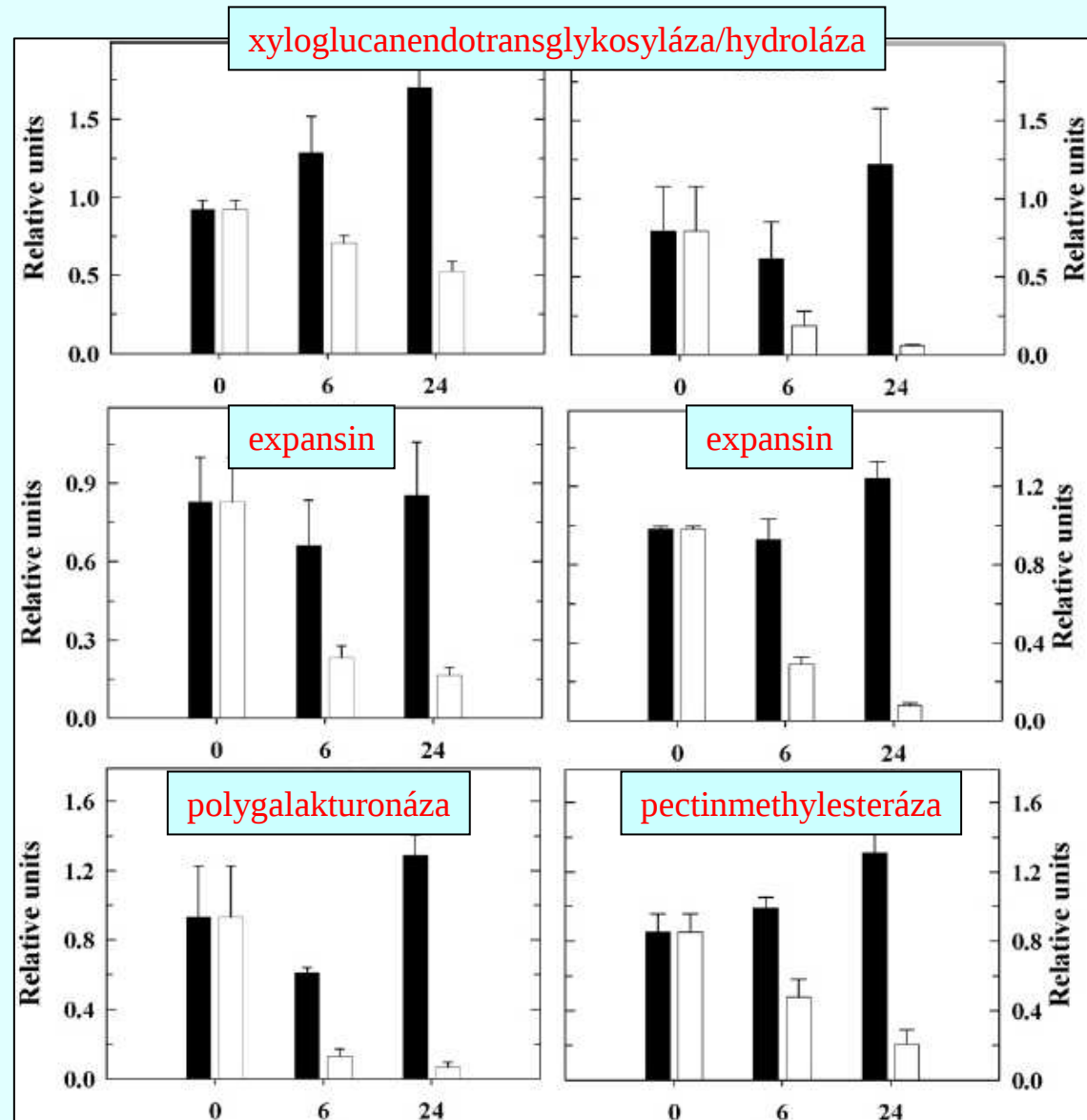
Figure 5 - Section of petiole (new leaf). E, G: Boron treatment of 0.27 mg L^{-1} ; F, H: Boron absent treatment. Primary symptoms of boron deficiency were thickened petioles with necrosis. Scale bar (E, F) = 0.6 mm . Details of irregular edges part of vessels in H. Scale bar (G, H) = $250 \mu\text{m}$.

da Silva 2008

Význam B⁻ v rostlině:

- exprese genů pro enzymy
s vazbou na buněčnou stěnu:

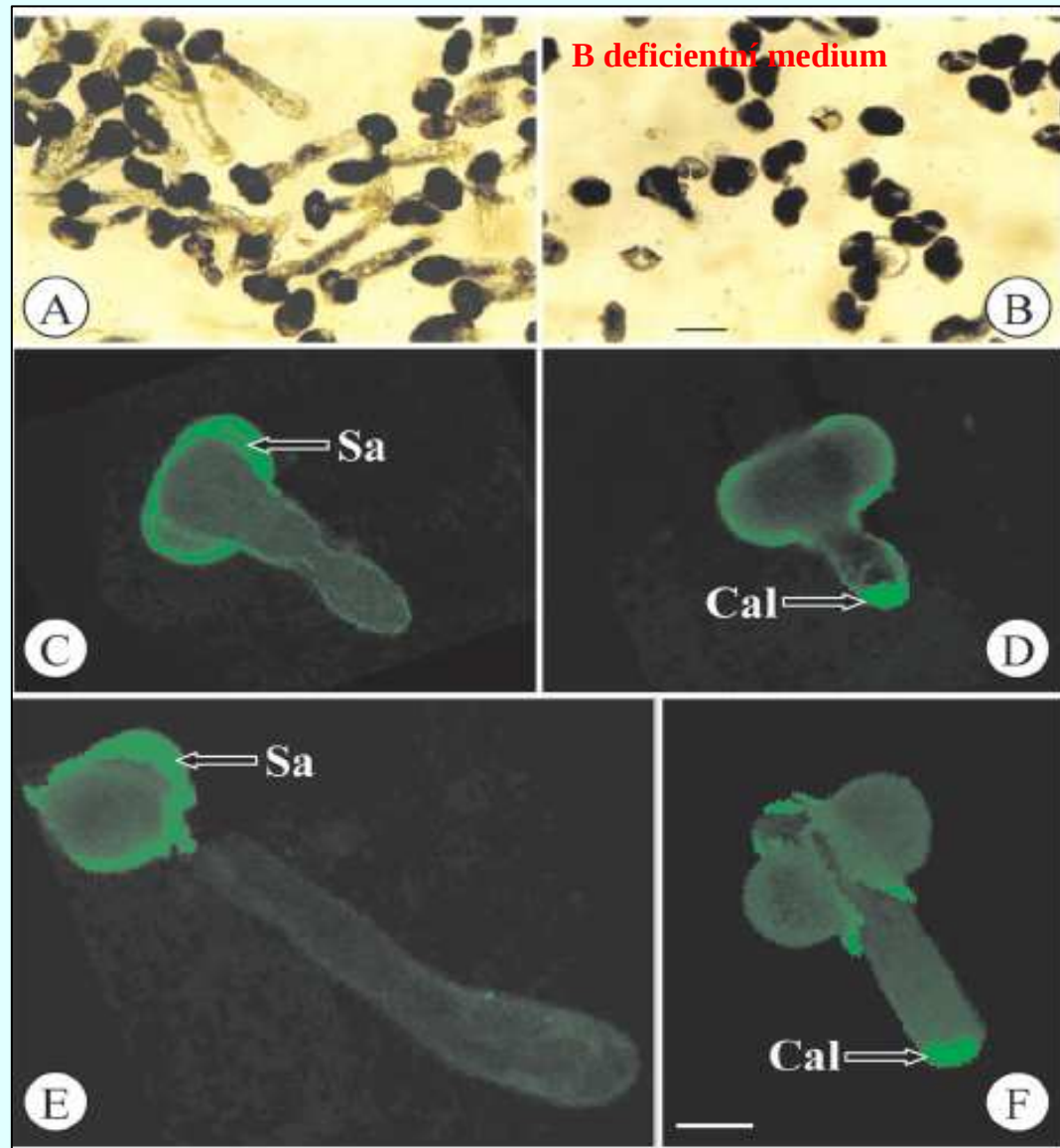
- polygalakturonázy
- pektátlyázy
- pektinmethylesterázy
- expansiny
- xyloglucanendotrans-
glykosylázy/hydrolázy



Význam B⁻ v rostlině:

význam pro růst pylové láčky

- apikální růst – depozice b. stěny

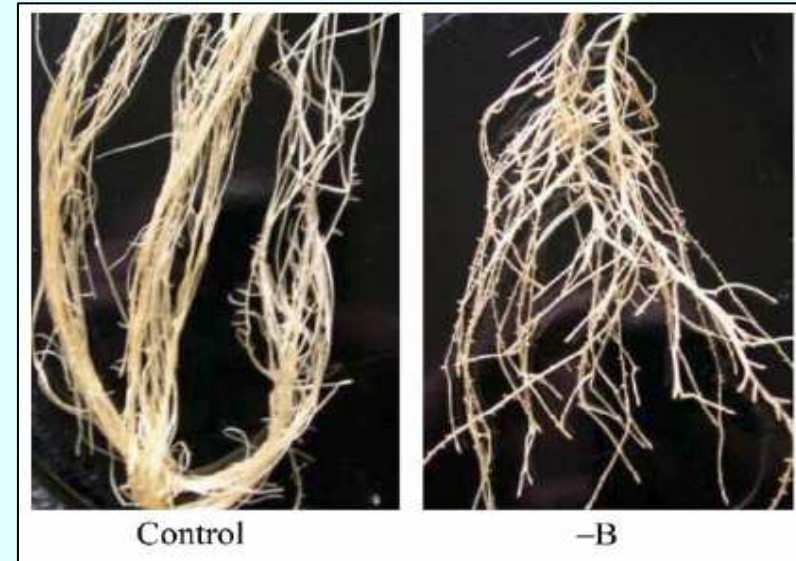


Wang 2003

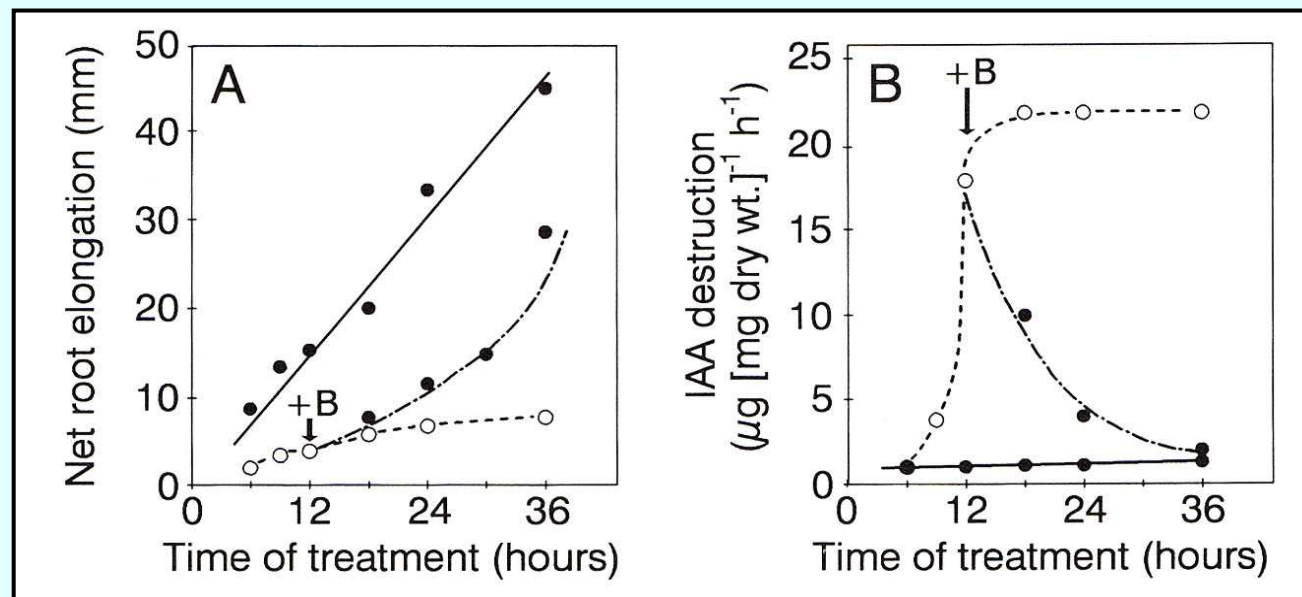
Význam B^- v rostlině:

elongace kořenů, vliv na metabolismus IAA

- zastavení elongace kořenů
- koreluje s nárůstem aktivity IAA oxidázy



Wang 2008

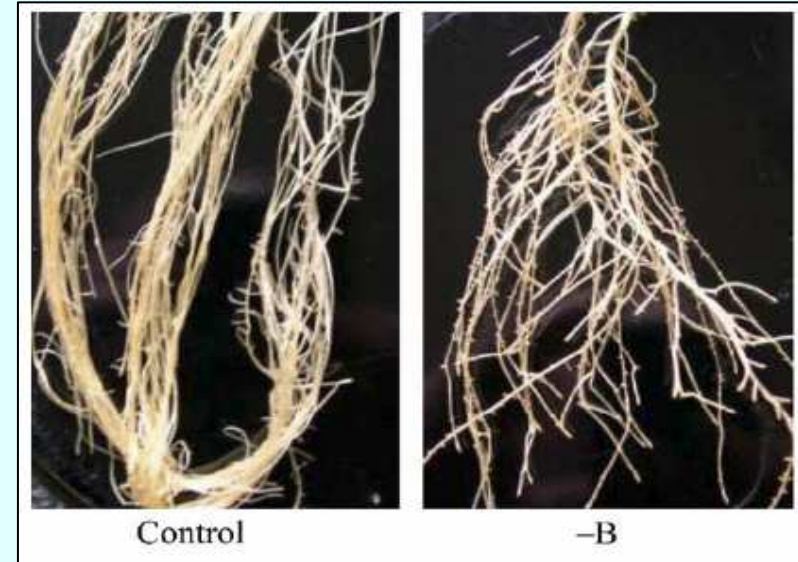


Marschner 1995

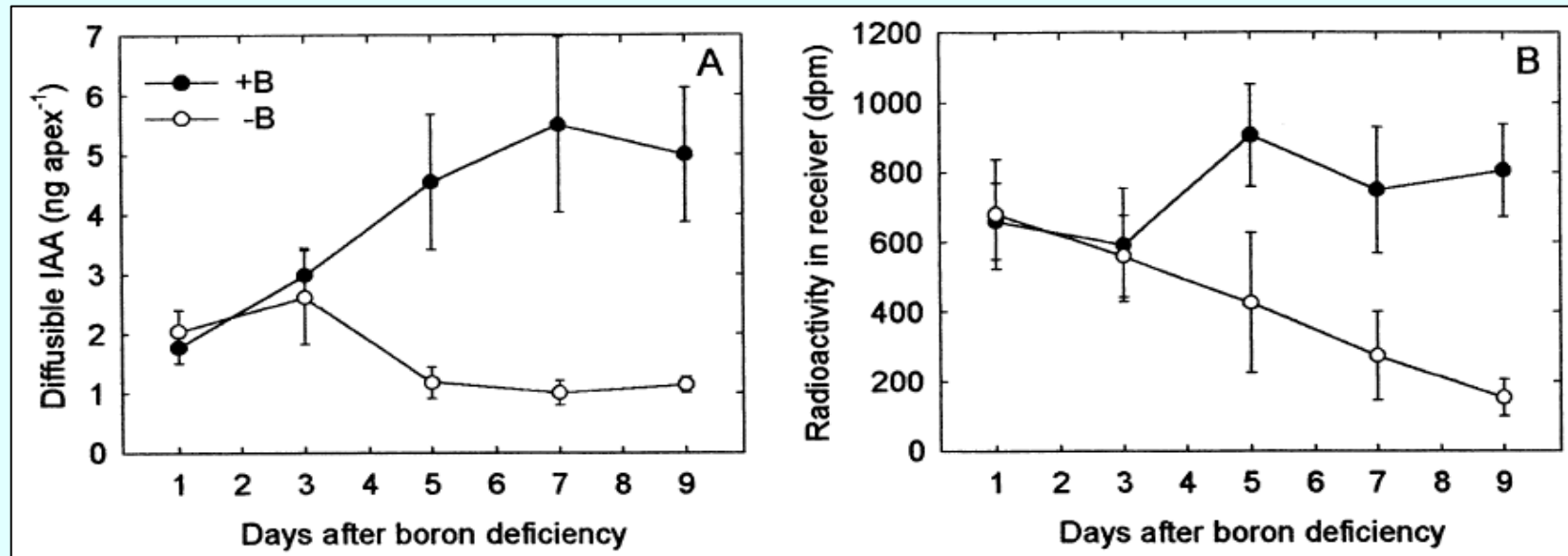
Význam B⁻ v rostlině:

elongace kořenů, vliv na metabolismus IAA

- zastavení elongace kořenů
- deficiencie bóru vede k zastavení polárního transportu IAA a snižování hladiny IAA
- potlačení apikální dominance prýtu



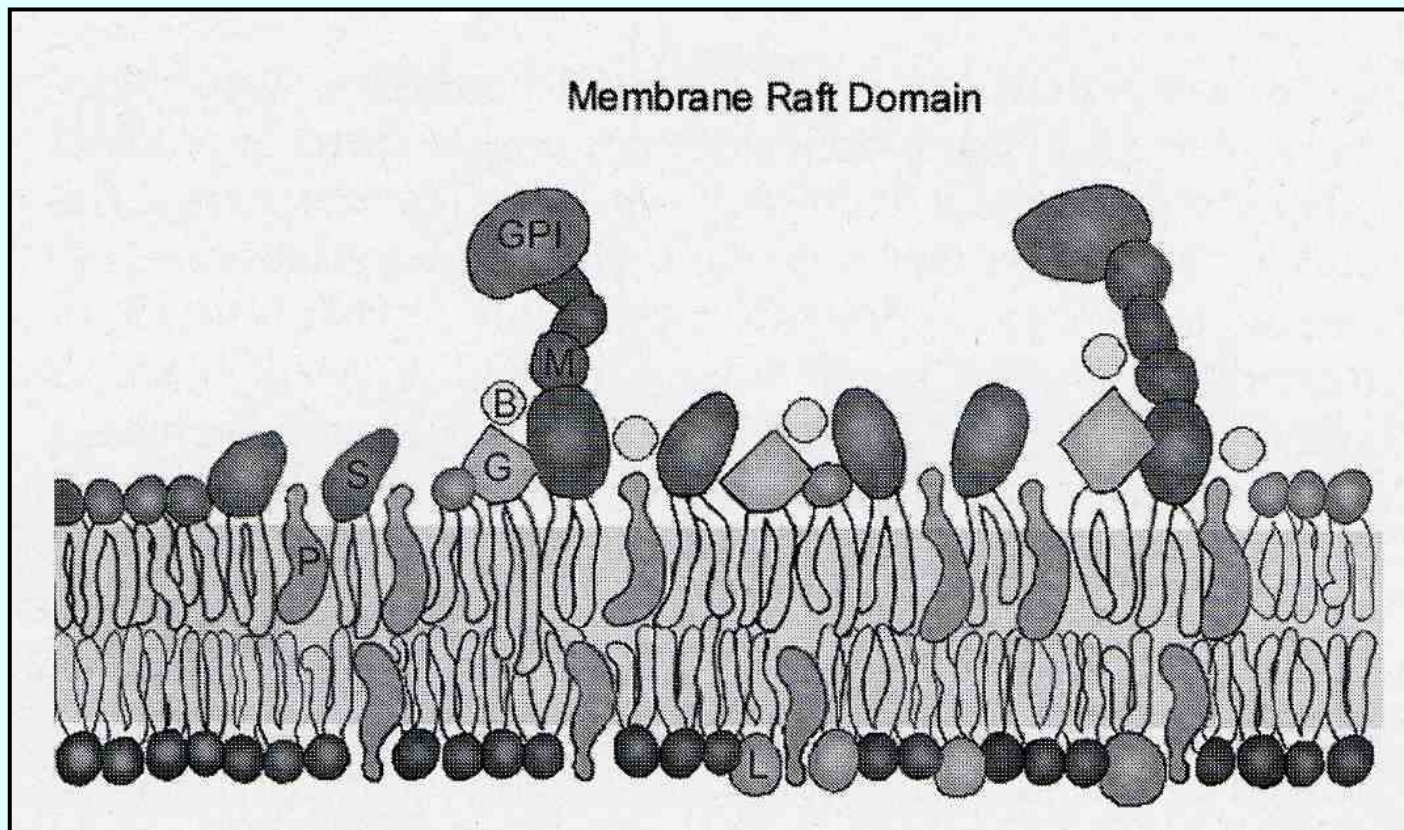
Wang 2008



Li 2001

Význam B⁻ v rostlině:

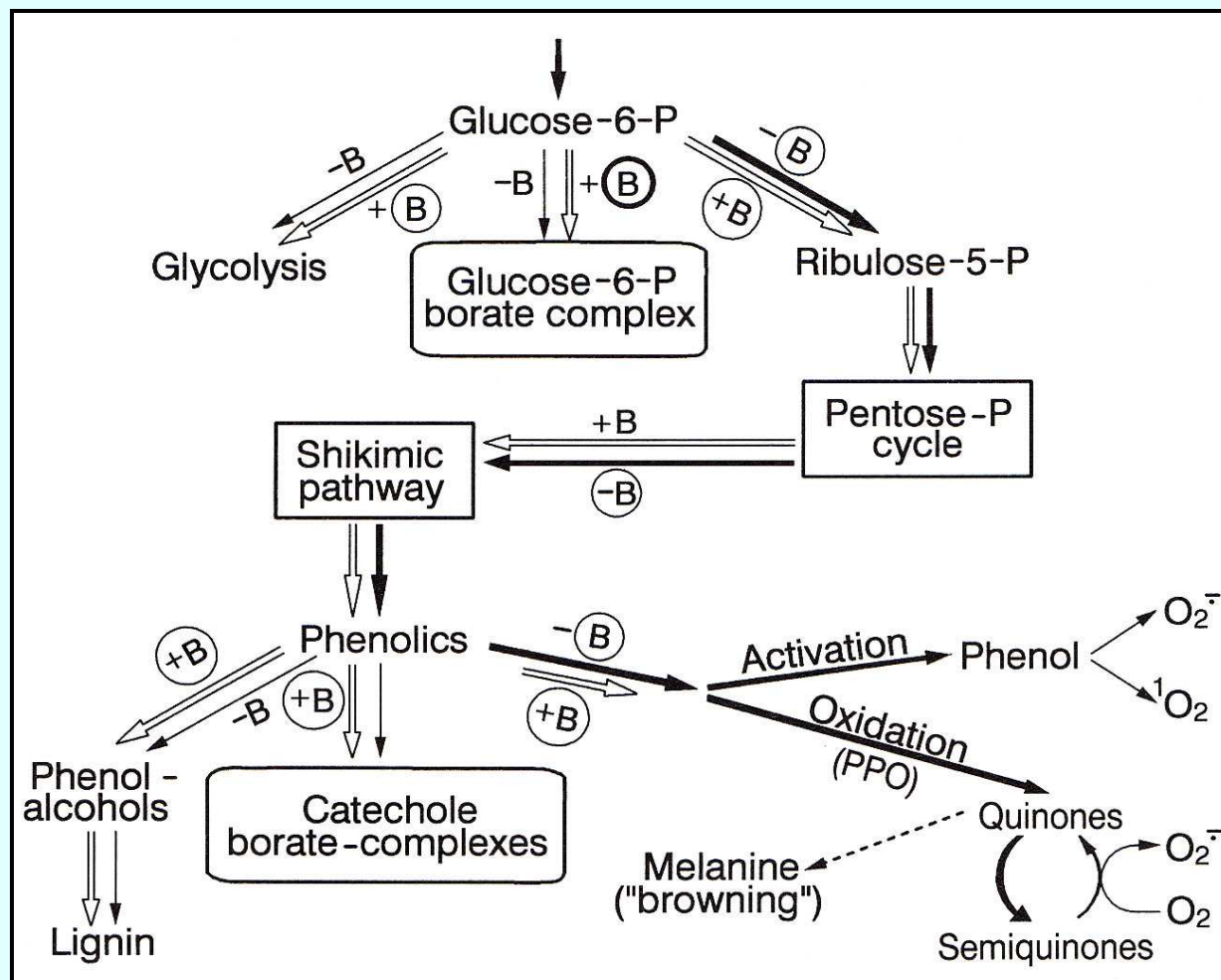
- význam v udržování integrity membrán
- tvorba komplexů – stabilizace struktur



Význam B⁻ v rostlině:

vliv na metabolismus sacharidů a fenolických látek

- tvorba komplexů s různými intermediáty sacharidového metabolismu



Marschner 1995

Zinek

- obsah v rostlině kolem 20 $\mu\text{g/g}$ SH
- deficiencie při obsahu méně než 15-20 $\mu\text{g/g}$ SH, nad 200-300 $\mu\text{g/g}$ SH toxicita
- přijímán přednostně jako Zn^{2+} , při vyšším pH i jako ZnOH^-
- v biologických systémech pouze jako Zn(II)
- dobrá pohyblivost v rostlině, i ve floemu
- v semenech ve formě fytátů

Toxicita zinku:

- kontaminant antropogenního znečištění
- zastavení elongace kořenů, chlorózy listů

Deficience zinku:

- v přírodě častá (srážkami bohatá stanoviště, vápenité půdy), často společně s deficiencí Fe
- zkracování internodií, zmenšování listů
- chlorózy mladých listů

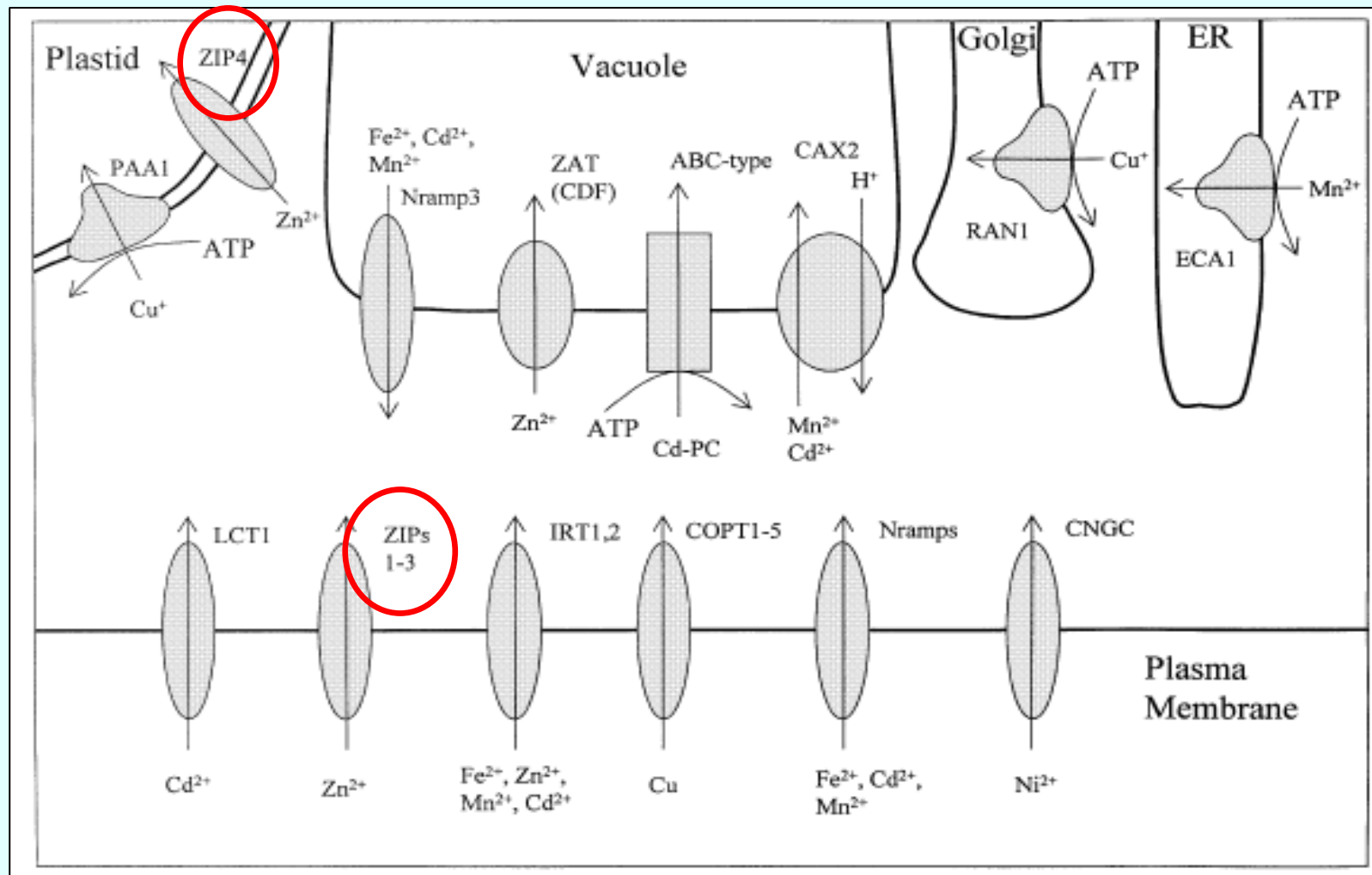


Widespread deficiency Medium deficiency

www.fertilizer.org/.../Zinc-fertilization.html

Příjem a transport zinku:

- geny *ZIP1-3*, *ZIP4* (**ZIP rodina** = ZRT, IRT-like proteins) – příjem z prostředí



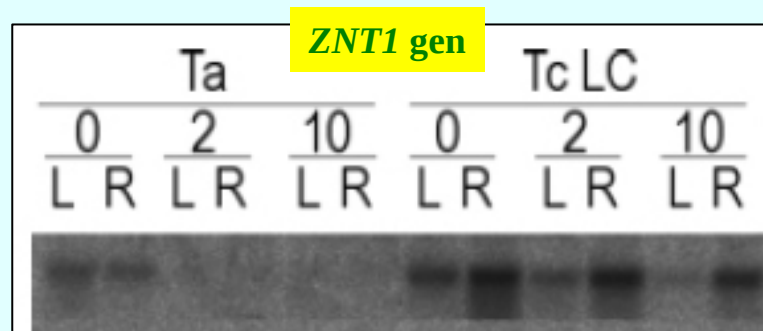
ZIP rodina = ZRT, IRT-like proteins

ZIP	15			
IRT1		Fe, Zn, Mn, Cd	PM	Roots
IRT2		Fe, Zn		Roots
OsIRT1		Fe		Roots
LeIRT1		Fe (broad?)		Roots
LeIRT2		broad?		Roots
TcZNT1		Zn, Cd		Roots, shoots
TcZNT2		–		Roots
ZIPs1-3		Zn		Roots
ZIP4		Zn	Plastids	Roots, shoots
GmZIP1		Zn	Peribacteroid membrane	Root nodules

Hall 2003

Studium hyperakumulátorů zinku: gen **ZNT1** (zinc transporter) – mezidruhové rozdíly v exprimaci

Thlaspi arvense x *Thlaspi caerulescens*



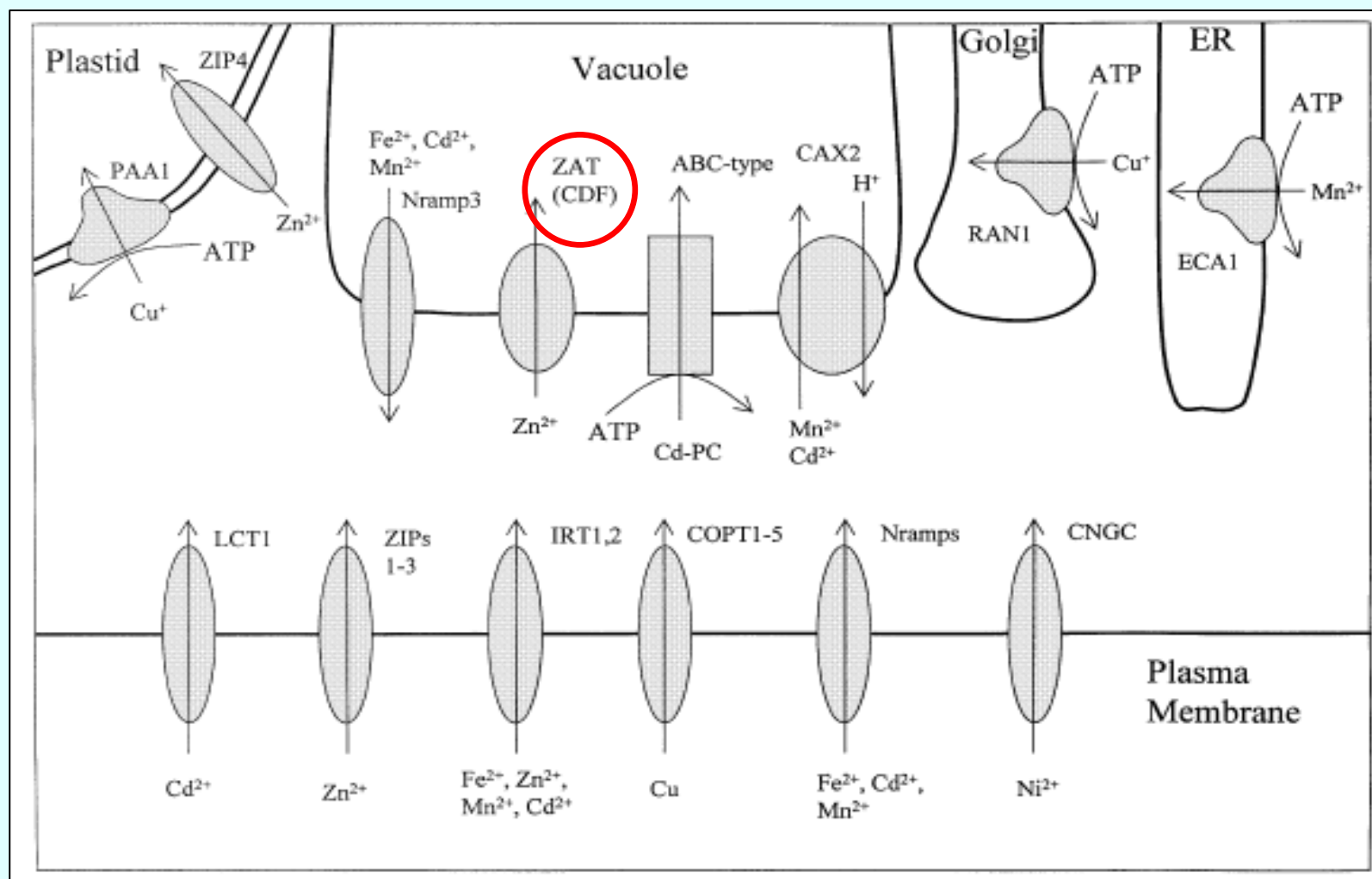
0; 2; 10 μ M Zn



Assuncao 2001

Příjem a transport zinku:

CDF (cation diffusion facilitator) **rodina** – kompartmentace Zn v rostlině, zvýšená exprese u rostlin z Zn bohatých půd



Transport zinku v rostlině:

CDF (cation diffusion facilitator) rodina

CDF	8		
ZAT (AtMTP1)		Zn	Vesicular/vacuolar
TcZTP1		Zn	Intracellular membranes
TgMIP1		Cd, Co, Zn, Ni	Vacuole
ShMTP1		Mn	Intracellular membranes
			All tissues
			Leaves, roots
			Leaves
			Roots, leaves

Hall 2003

Thlaspi arvense



Thlaspi caerulescens

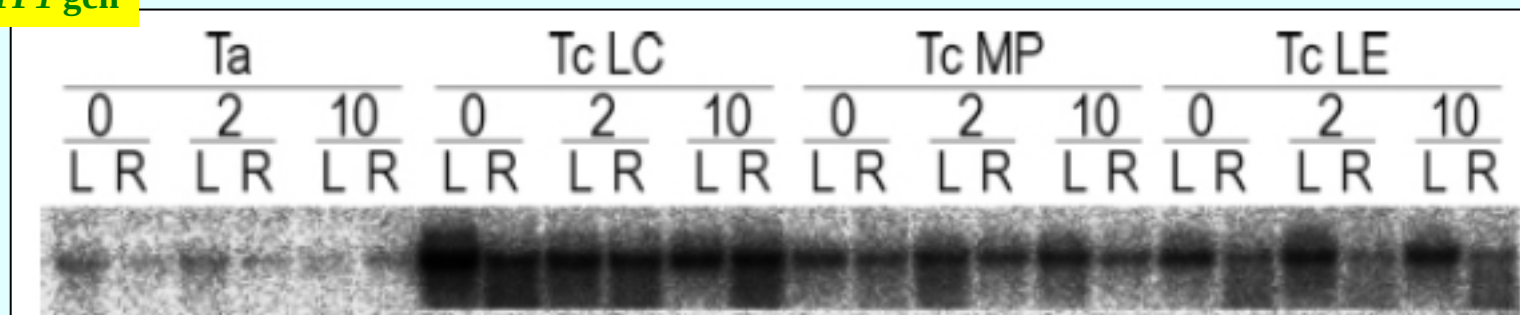


lokalita bohatá
na Zn

lokalita bohatá
na Ni

lokalita chudá
na mikroprvky

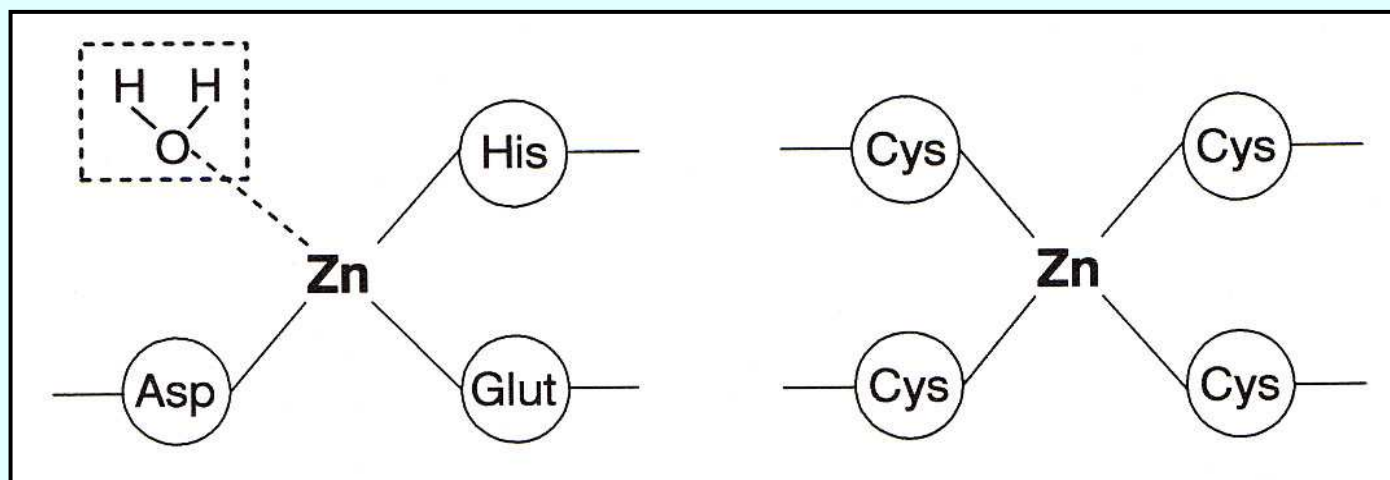
ZTP1 gen



Assuncao 2001

Význam zinku v rostlině:

- tvorba komplexů s N-, O- a S- ligandy
- strukturní i katalytická funkce v enzymech



Marschner 1995

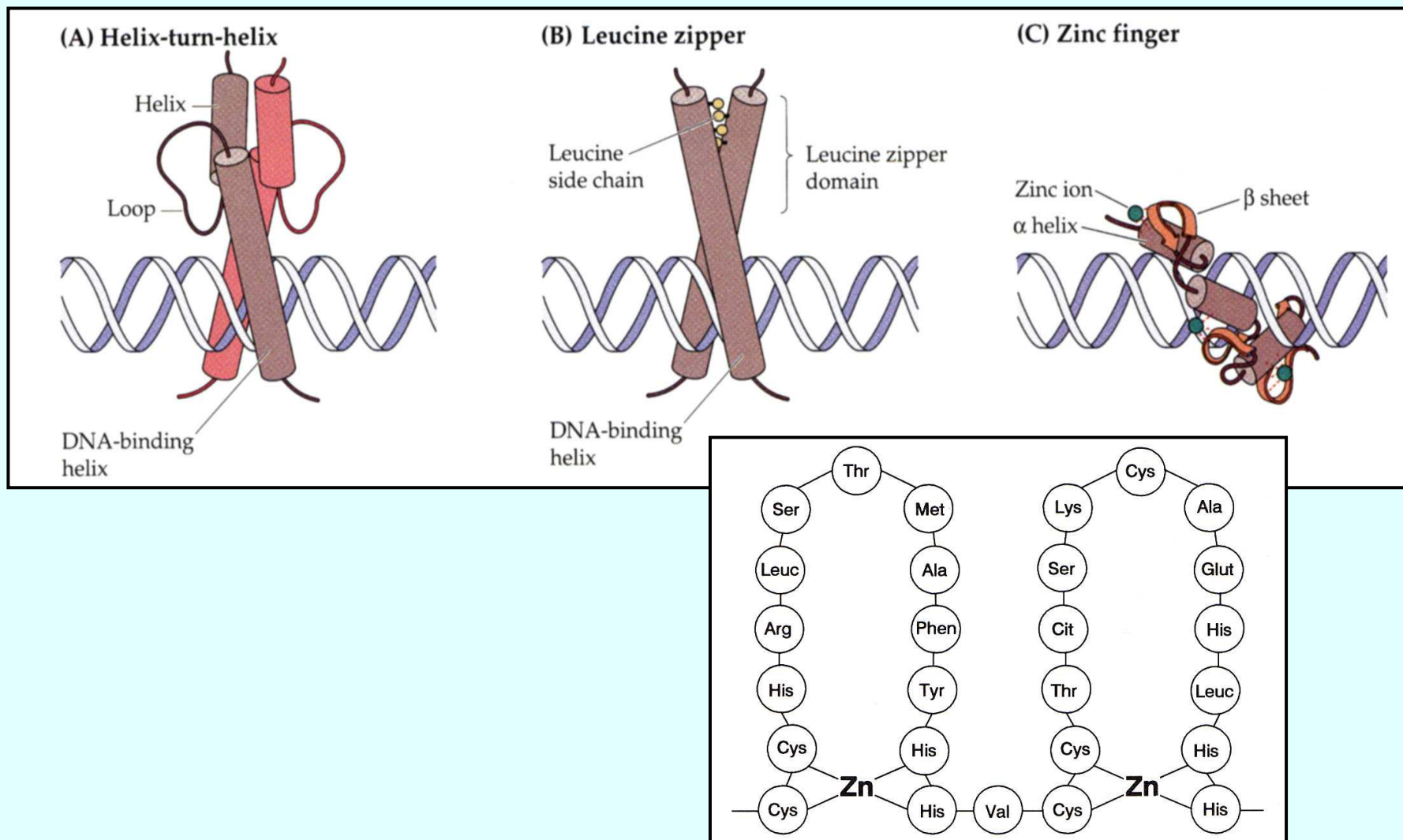
karboanhydráza
karboxypeptidáza

alkoholdehydrogenáza
DNA vazebné proteiny

- další enzymy obsahující Zn: CuZnSOD, fosfolipázy, RNAPolymeráza, alkalická fosfatáza

Význam zinku v rostlině:

součást DNA vazebných proteinů – transkripční faktory



Význam zinku v rostlině:

aktivace nebo modulace aktivity enzymů

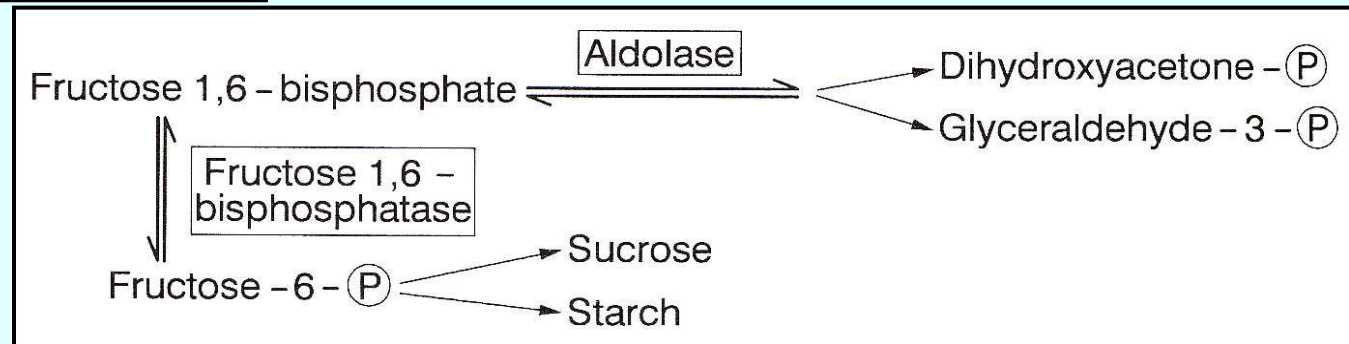
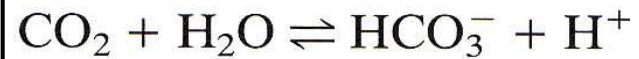
- např. **pyrofosfatáza** na tonoplastu (převládá Mg^{2+} dependentní forma)

význam v syntéze proteinů

- integrita ribosomů
- při deficienci akumulace AK

význam v metabolismu sacharidů

karboanhydráza, **fruktoza-1,6-bisfosfatáza** nebo **aldoláza**



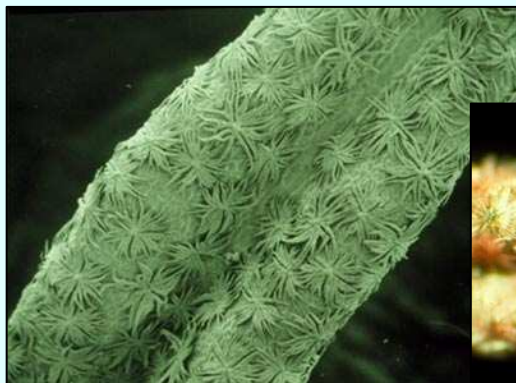
Marschner 1995

udržování integrity plasmalemy

- komplexy s fosfátovými a SH skupinami fosfolipidů a membránových proteinů

Nikl

- požadavek rostliny nízký 0,005 µg/g SH
- toxicita nad 10-50 µg/g SH
- chemicky příbuzný Fe a Co
- v biologických systémech pouze především jako Ni(II), existuje i jako Ni(I) a Ni(III)
- tvorba stabilních komplexů (Cys a citrát)
- Ni je součástí řady enzymů (většina bakteriálních)



http://www.genomenetwork.org/articles/01_03/metal_art.shtml

Alyssum murale – Ni až 2,5% DW



Alyssum lesbiacum – Ni hyperakumulátor

Deficience niklu:

- přímé projevy nebyly popsány

Toxicita niklu:

- např. při aplikaci kalu
- tolerance je charakteristická u rostlin na serpentinitech
 - schopnost hyperakumulace, komplexace, sekvestrace



<http://sunsite.wits.ac.za/a/nickel.htm>

Hadcové půdy - (vysoký obsah Fe, Mg, Ni, Cr a Co a velmi nízká konc. Ca),
vysoký poměr Mg:Ca



Asplenium cuneifolium
Sleziník hadcový



Armeria vulgaris ssp. *serpentina*
Trávníčka obecná hadcová



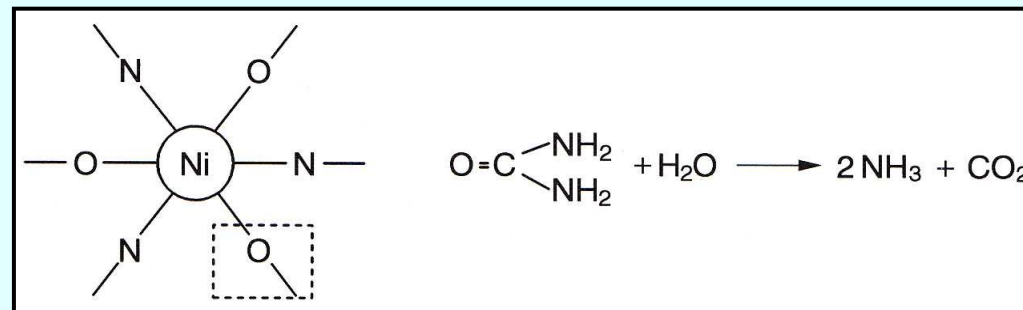
Notholaena marantae
Podmrvka Marantova



Nejvýznamnější hadcové lokality
v České republice: ● Borek u Chotě-
boře, ● Mohelno, ● dolnokralovické
hadce, ▲ Slavkovský les, ■ Křemže,
▲ Mladá Vožice, ● Raškov, ● Staré
Ransko

Význam niklu v rostlině:

- Ni je součástí řady enzymů (většina bakteriálních)



- u rostlin jediný známý enzym – **ureáza**

- hexamerní enzym, každá podjednotka 2 atomy Ni
- štěpení močoviny

Marschner 1995

