

Síra

- 0,2-0,5% SH, nedostatek při poklesu obsahu síranů pod 0,01% SH

- toxicita není příliš častá (nad 4000 mg $\text{SO}_4^{2-} \text{ l}^{-1}$),
poškození může vyvolat SO_2 (nad 1-1,5 mg m^3^{-1})



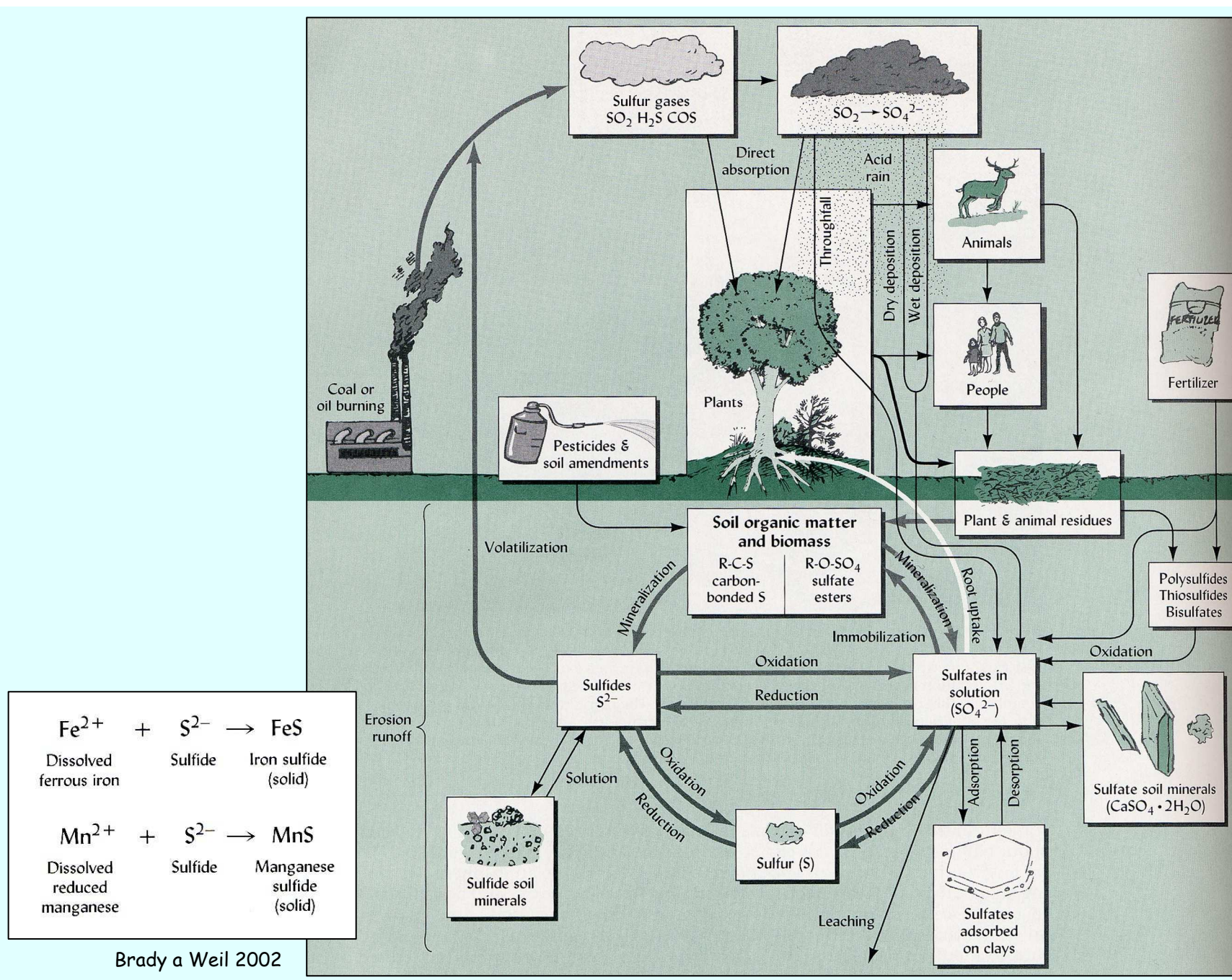
fazol

Deficiencie síry:

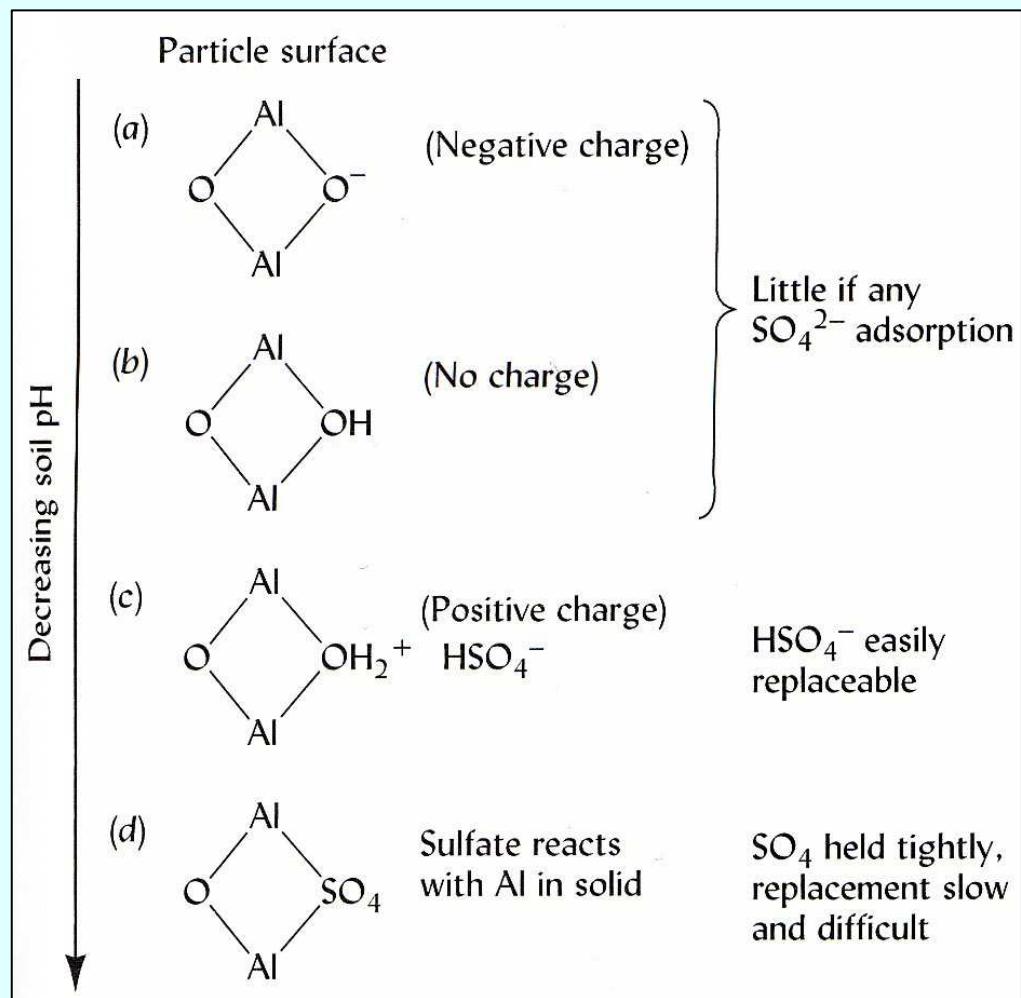
- žloutnutí listů
- pokles syntézy proteinů,
enzymatické aktivity
- akumulace nitrátu

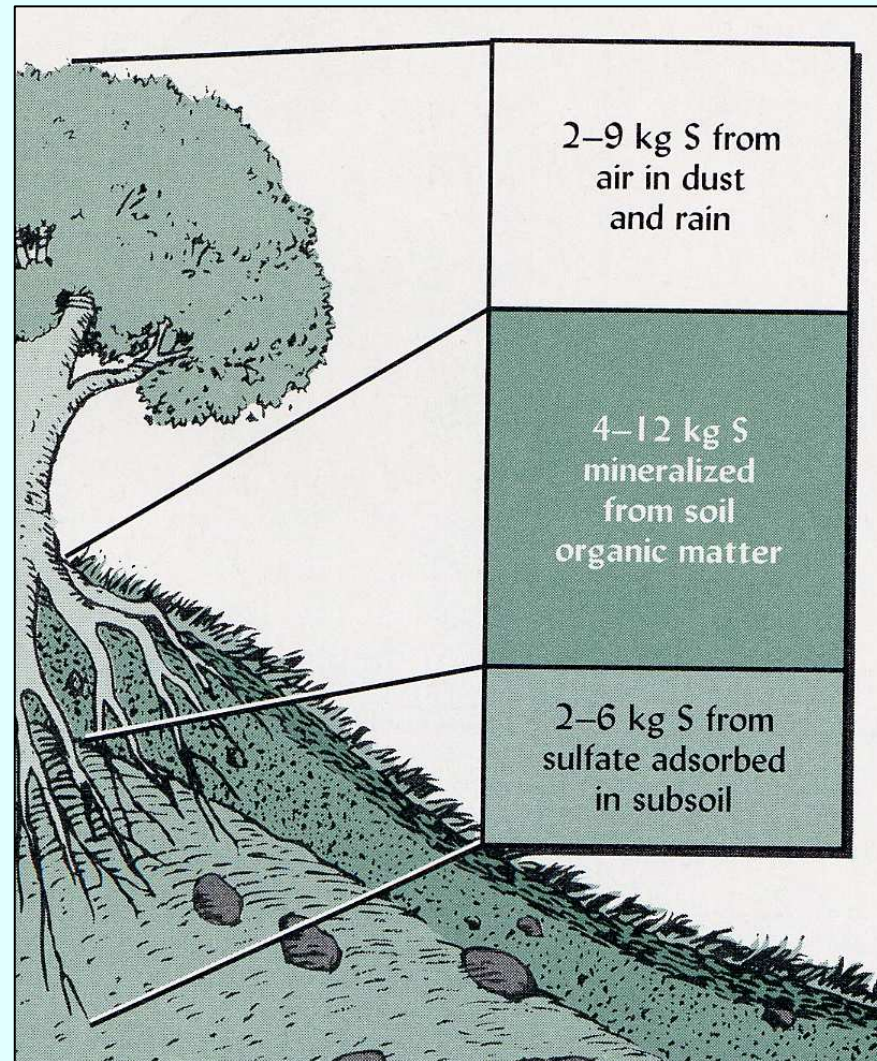


Vaněk 2002



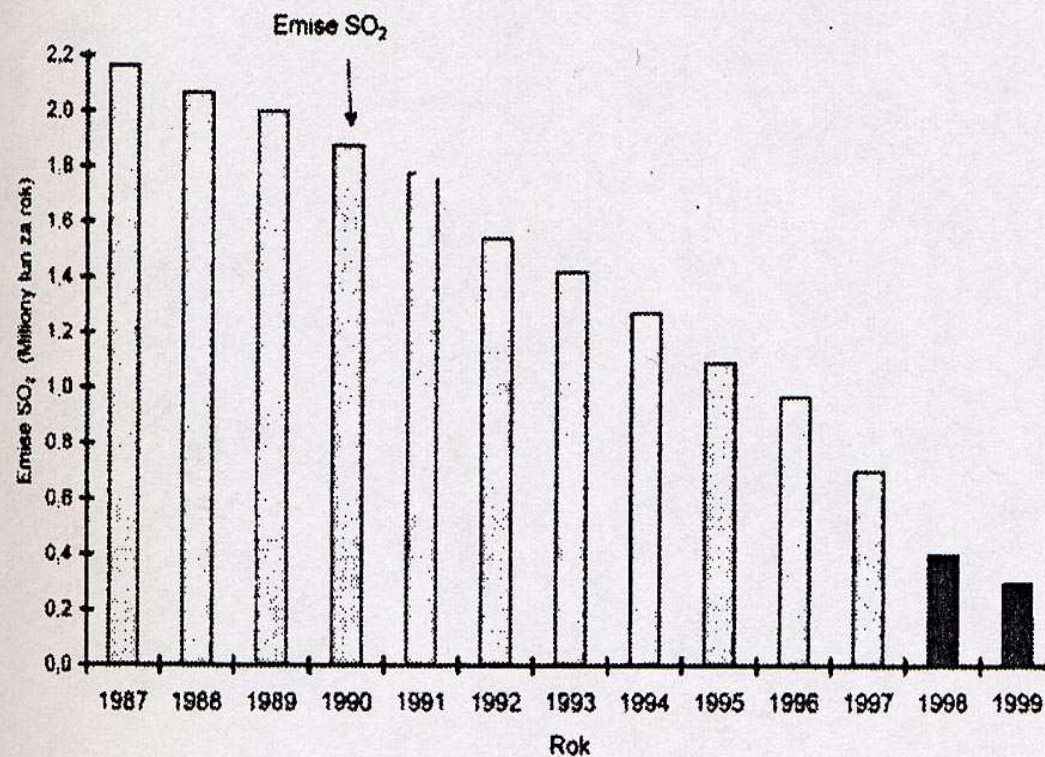
Vazba sulfátu na půdní koloidy:





Koncentrace SO₂ v ovzduší

Obr.1: Vývoj emisí SO₂ v ČR v letech 1987-1997 a odhad pro roky 1998 a 1999 (v milionech tun za rok). Upraveno podle Hrušky a kol. (1999)

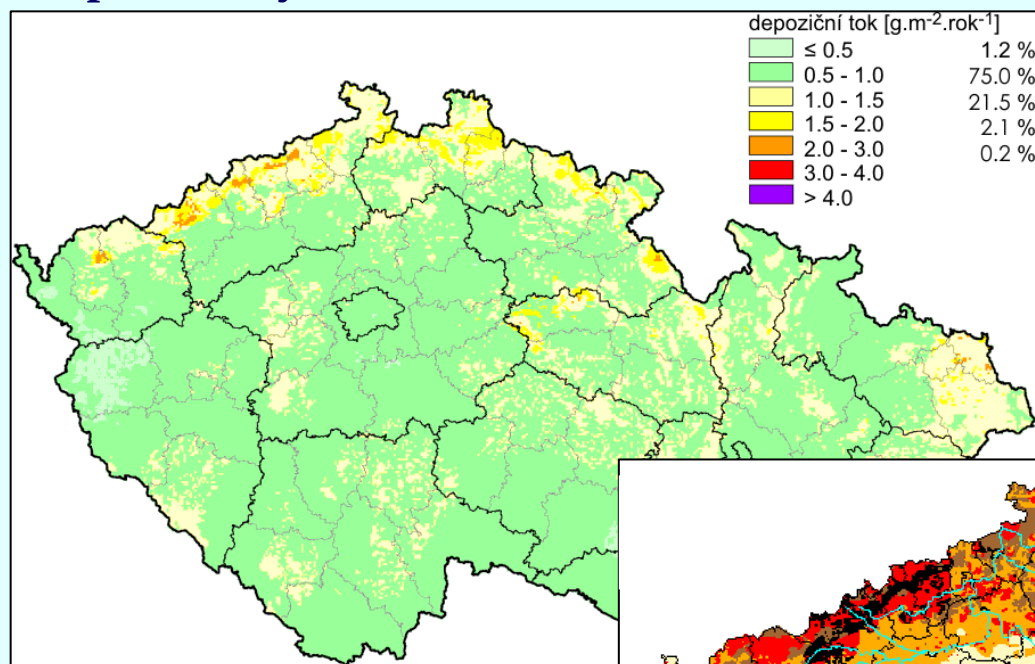


převzato z Polák 2000 - dipl. práce

Emise SO₂ – podle krajů

	Rok 1994	Rok 2006
Kraj	SO ₂ [t/rok]	SO ₂ [t/rok]
Hl.m. Praha	30 321,8	2227,8
Středočeský	145 179,5	23220,8
Jihočeský	38 394,4	10162,0
Plzeňský	38 429,4	10933,7
Karlovarský	56 376,3	16950,2
Ústecký	597 456,5	71584,1
Liberecký	22 539,0	3451,3
Královéhradecký	36 920,6	8141,0
Pardubický	95 275,9	13992,7
Vysočina	21 099,9	2913,6
Jihomoravský	39 620,4	4174,4
Olomoucký	29 817,3	5917,3
Zlínský	26 199,3	6975,4
Moravskoslezský	92 495,5	29579,1
Celkem	1 270 125,8	210223,4

Deposice síry v ČR



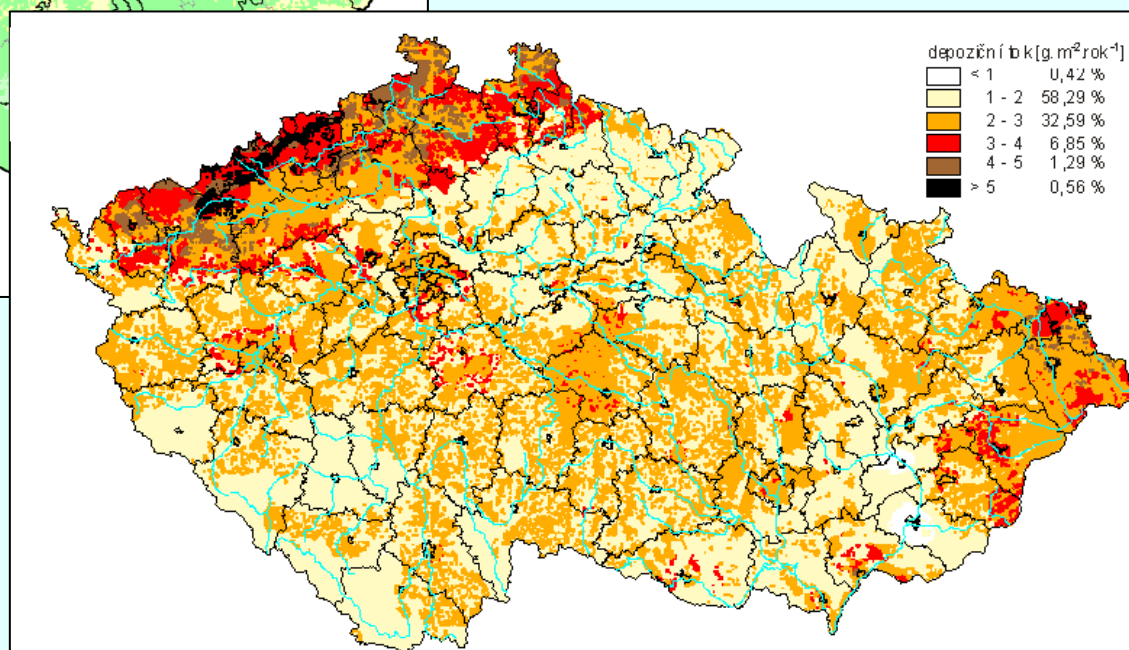
Pole celkové roční depozice síry, 2005

zdroj ČHMÚ
<http://www.chmi.cz/uoco/isk/o/groc/gr05cz/kap3.html>

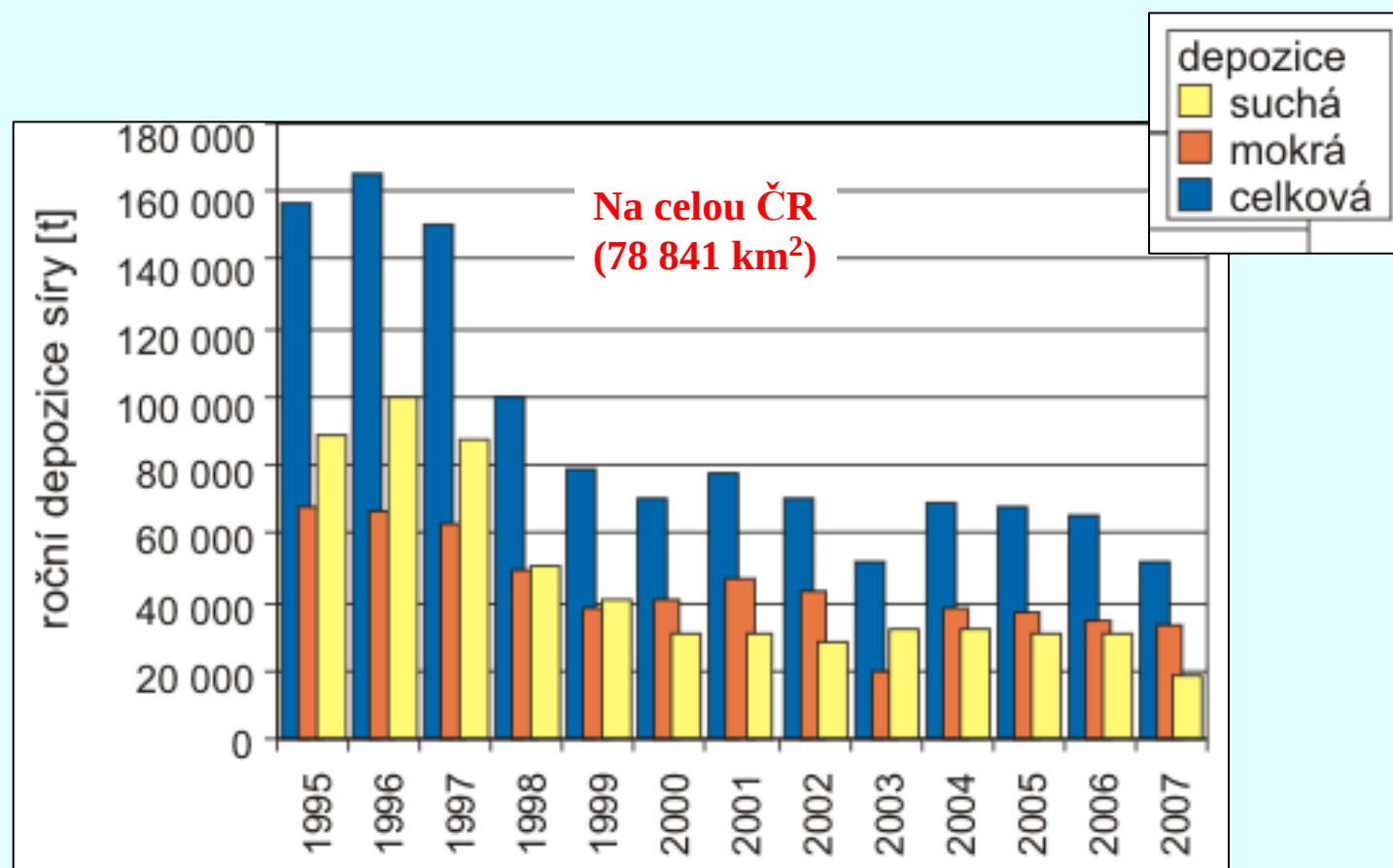
deposice S (USA) - imise:

30-75 kg S/ha.rok

2-5 kg S/ha.rok



Pole celkové roční depozice síry ve vyznačených třídách, Česká republika 1996



zdroj ČHMÚ

Vliv atmosférické koncentrace SO₂ na růst různých rostlin pěstovaných v živném roztoku bez S (Faller 1968)

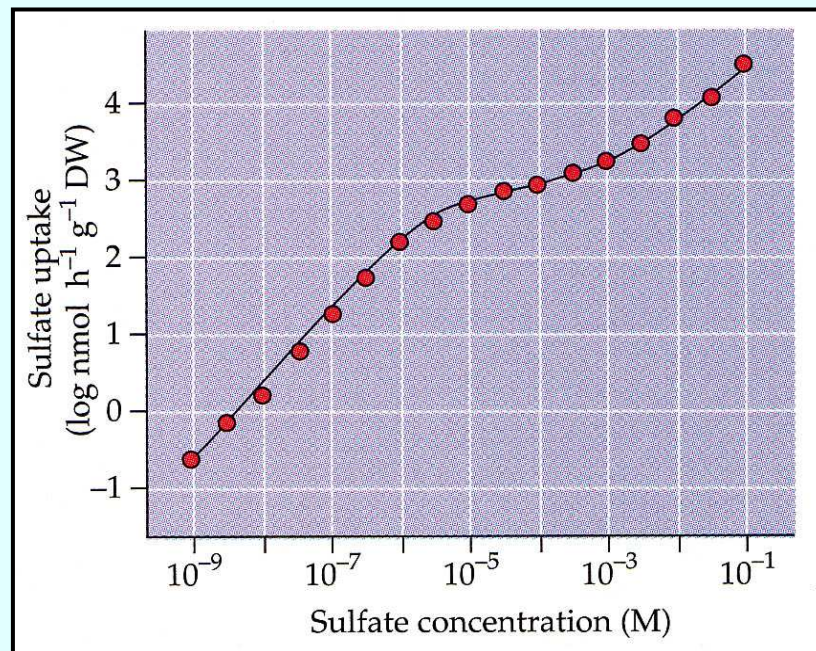
Plodina	Koncentrace SO ₂ v mg.m ⁻³					Doba pěstování
	0,0	0,2	0,5	1,0	1,5	
	Výnos sušiny (g/rostlina)					
Slunečnice	70	103	103	113	100	15
Kukuřice	100	110	118	111	107	13
Tabák	31	41	43	54	46	9

převzato z Multimediální texty výživy rostlin MZU v Brně

http://www.af.mendelu.cz/external/relay/agrochem/multitexty/html/biogenni_prvky/A_index_biogen.htm

Příjem síry:

- SO_4^{2-}
- aktivně s 3H^+
- multifázni příjem



Buchanan 2000

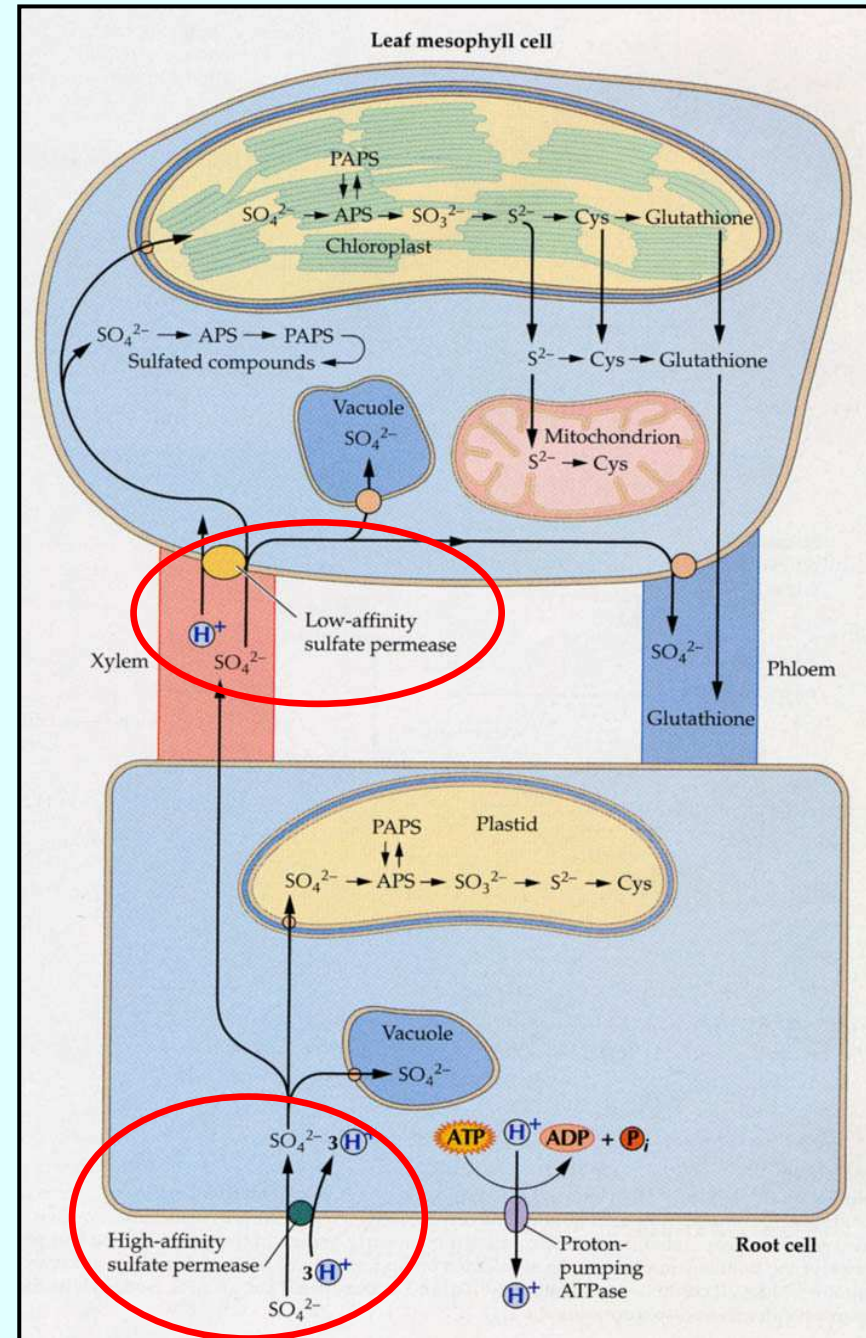
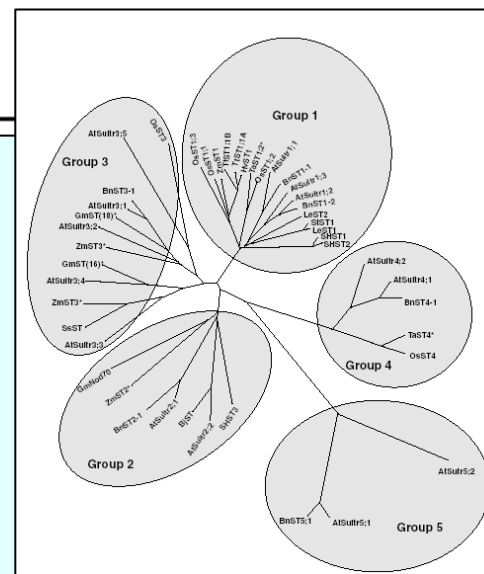


Table 1. Summary of *Arabidopsis* ST gene family.

Group	Name	Alternative names	Accession number	MW	Number of amino acids	K _m	References
1	AtSultr1;1	ast101	AB018695	70.6	649	1.5 μM	Vidmar et al. 2000; Takahashi et al. 2000 Yoshimoto et al. 2000; Shibagaki et al. 2002
	AtSultr1;2		AB042322	71.7	653	3.6 μM	
	AtSultr1;3		AB049624	72.2	656	6.9 μM	
2	AtSultr2;1	ast68	AB003591	74.1	677	5 μM	Vidmar et al. 2000; Takahashi et al. 1997, 2000 Takahashi et al. 1997, 2000
	AtSultr2;2	ast56, atd14	D85416	72.3	658	0.41mM ≥ 1.2 mM	
3	AtSultr3;1	ast12, atast1, atd631	D89631	72.8	658		Takahashi et al. 1999b, 2000 Takahashi et al. 1999b
	AtSultr3;2	ast77	AB004060	71.3	646		
	AtSultr3;3	ast91	AB023423	69.0	631		
	AtSultr3;4		AB054645	71.2	653		
	AtSultr3;5		AB061739	70.4	634		
4	AtSultr4;1	ast82	AB008782	75.1	685		Takahashi et al. 1999a, 2000
	AtSultr4;2		AB052775	74.7	677		
5	AtSultr5;1		NP_178147	49.5	464		
	AtSultr5;2		NP_180139	48.4	456		

- odlišná exprese v různých částech rostliny

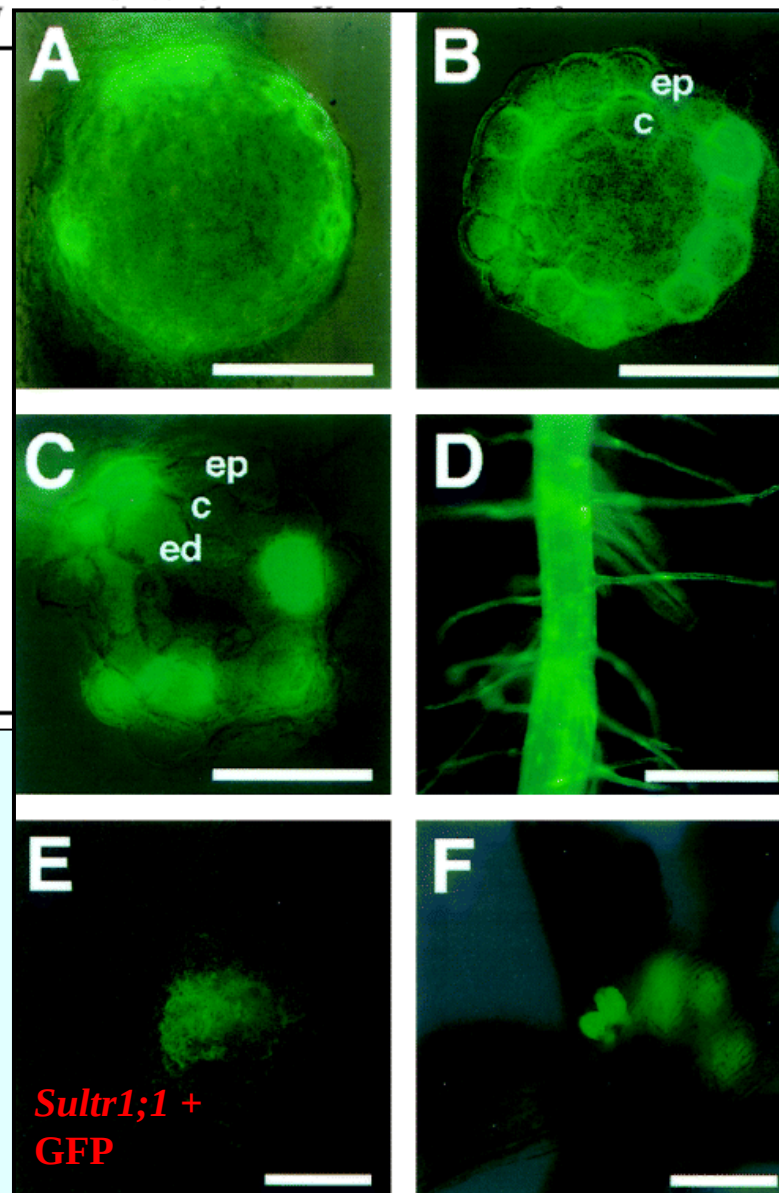


Hawkesford 2002

Table 1. Summary of *Arabidopsis* ST gene family.

Group	Name	Alternative names	Accession number	MW	Number of
1	AtSultr1;1	ast101	AB018695	70.6	A
	AtSultr1;2		AB042322	71.7	
	AtSultr1;3		AB049624	72.2	
2	AtSultr2;1	ast68	AB003591	74.1	B
	AtSultr2;2	ast56, atd14	D85416	72.3	
3	AtSultr3;1	ast12, atast1, atd631	D89631	72.8	
	AtSultr3;2	ast77	AB004060	71.3	C
	AtSultr3;3	ast91	AB023423	69.0	
	AtSultr3;4		AB054645	71.2	
	AtSultr3;5		AB061739	70.4	D
4	AtSultr4;1	ast82	AB008782	75.1	
	AtSultr4;2		AB052775	74.7	
5	AtSultr5;1		NP_178147	49.5	E
	AtSultr5;2		NP_180139	48.4	

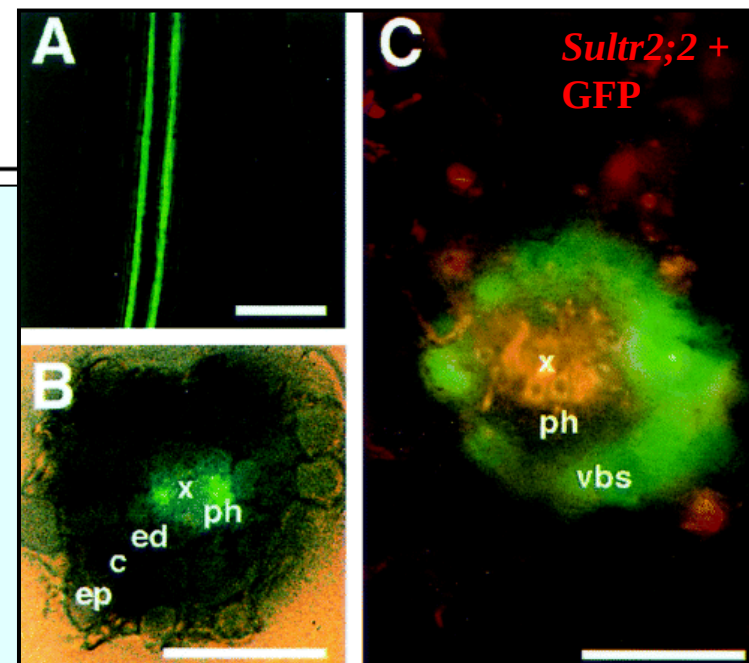
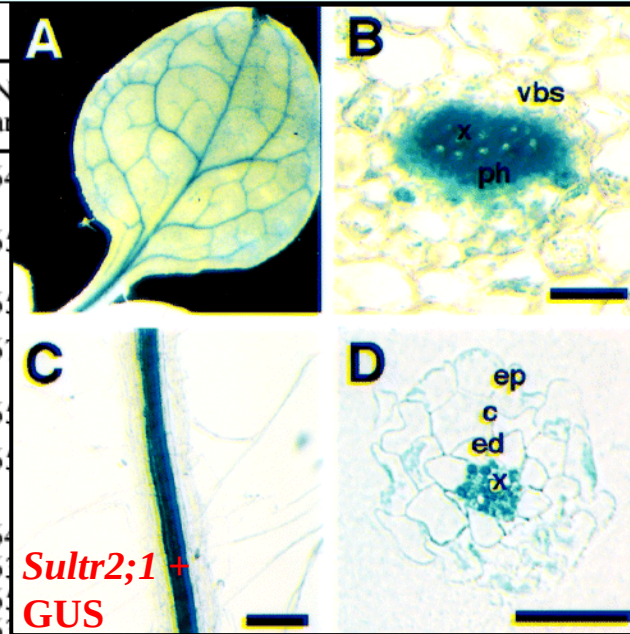
Sultr1;1 (Km=3,6 μ M)



Takahashi et al. 2000

Table 1. Summary of *Arabidopsis* ST gene family.

Group	Name	Alternative names	Accession number	MW	N
1	AtSultr1;1	ast101	AB018695	70.6	64
	AtSultr1;2		AB042322	71.7	63
	AtSultr1;3		AB049624	72.2	63
2	AtSultr2;1	ast68	AB003591	74.1	61
	AtSultr2;2	ast56, atd14	D85416	72.3	63
3	AtSultr3;1	ast12, atast1, atd631	D89631	72.8	63
	AtSultr3;2	ast77	AB004060	71.3	64
	AtSultr3;3	ast91	AB023423	69.0	63
	AtSultr3;4		AB054645	71.2	63
	AtSultr3;5		AB061739	70.4	63
4	AtSultr4;1	ast82	AB008782	75.1	64
	AtSultr4;2		AB052775	74.7	63
5	AtSultr5;1		NP_178147	49.5	63
	AtSultr5;2		NP_180139	48.4	63



Sultr2;1 ($K_m = 400 \mu M$)

Sultr2;2 ($K_m = 1200 \mu M$)

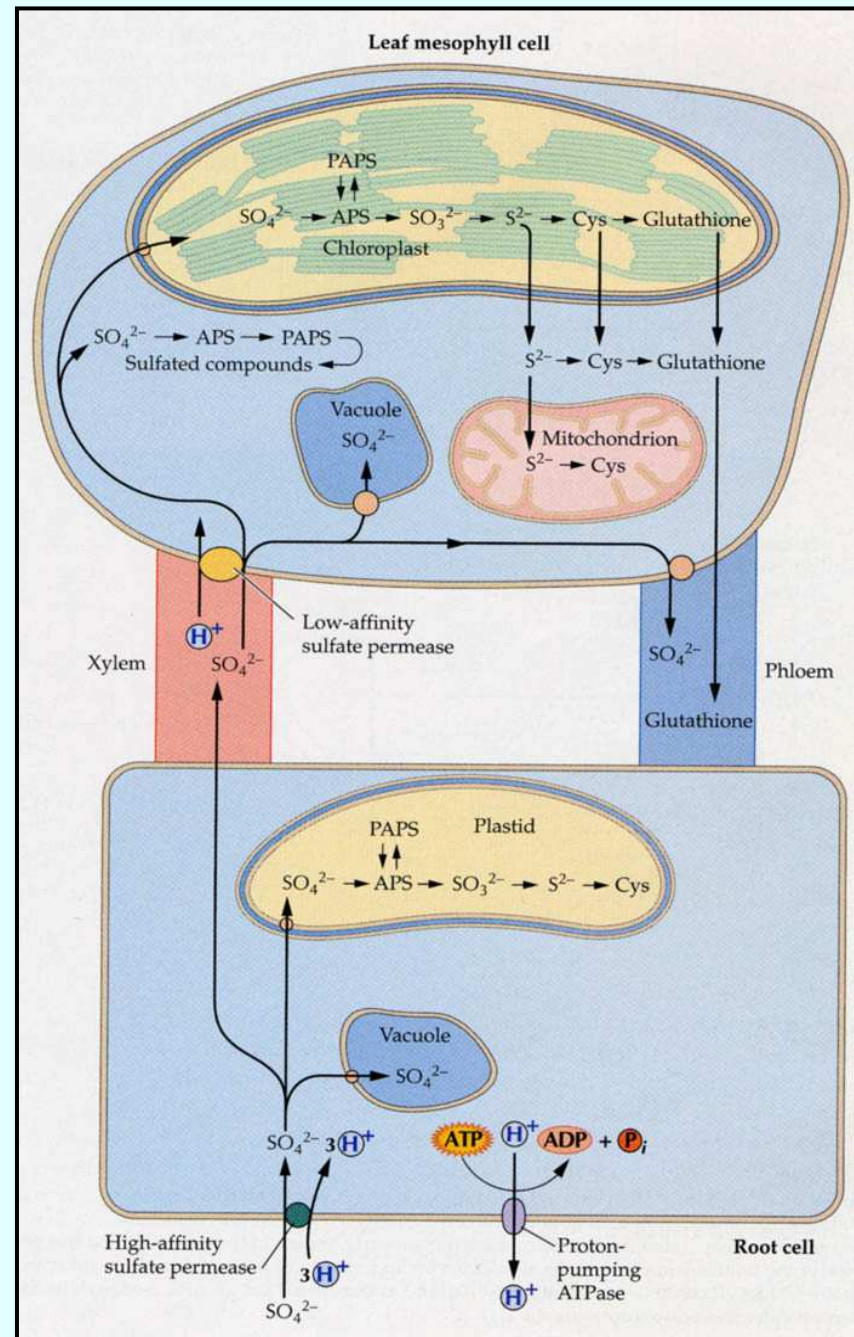
Asimilace síry:

- v plastidech

- 3 části:

1. aktivace SO_4^{2-}
2. redukce na S^{2-}
3. inkorporace S^{2-} do Cys

Buchanan 2000

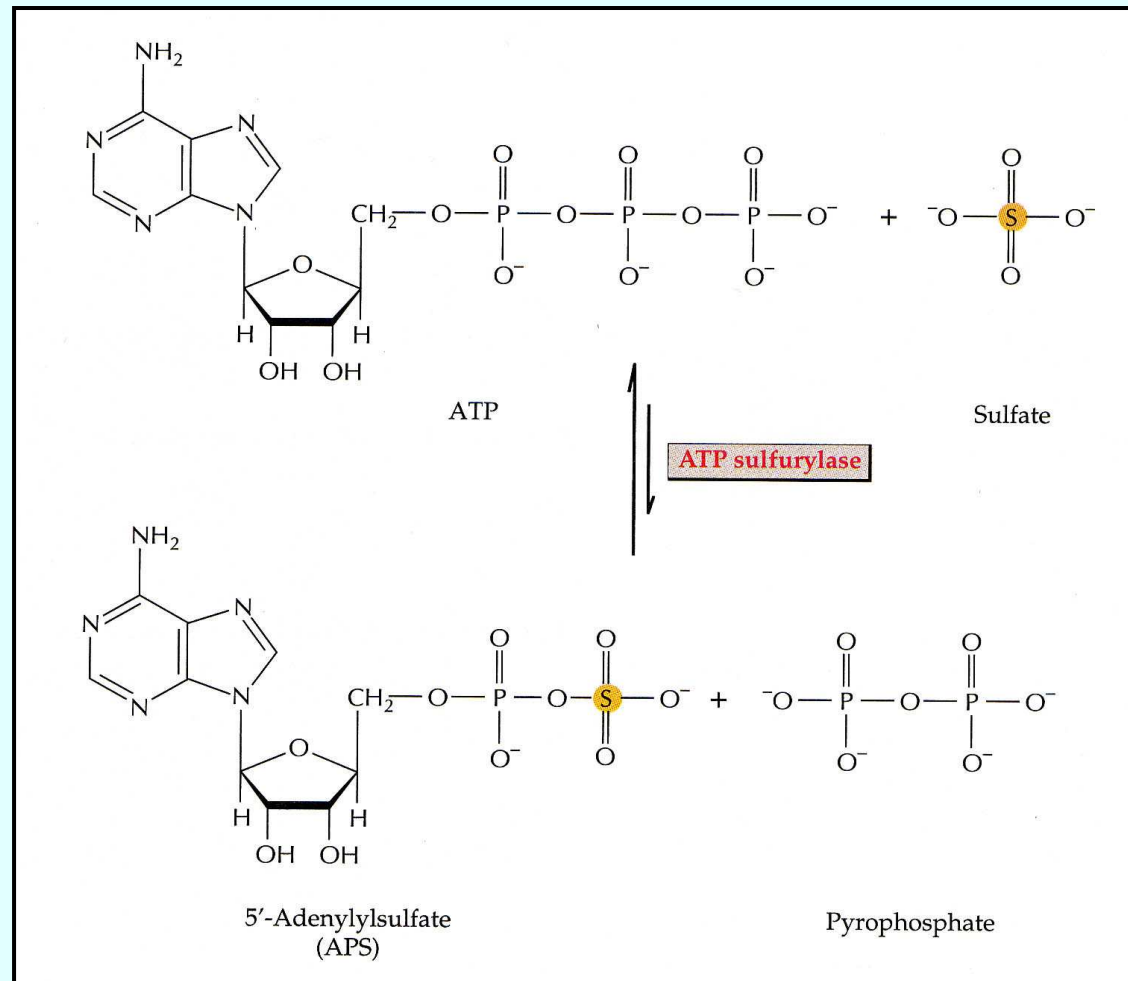
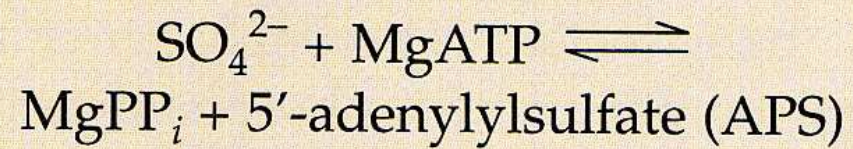


aktivace SO_4^{2-}

ATP sulfuryláza

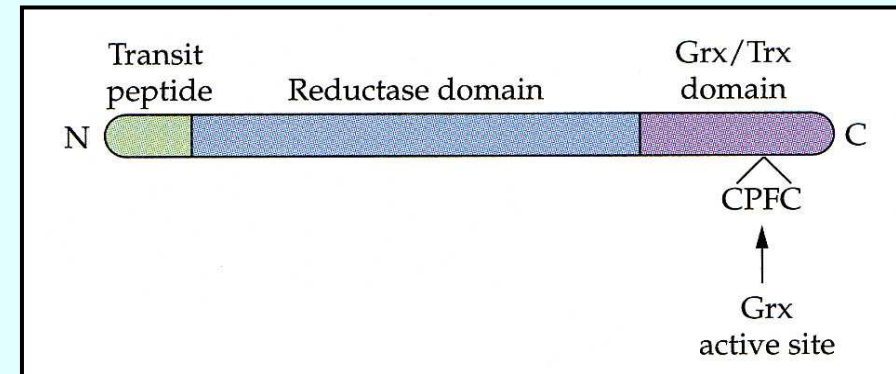
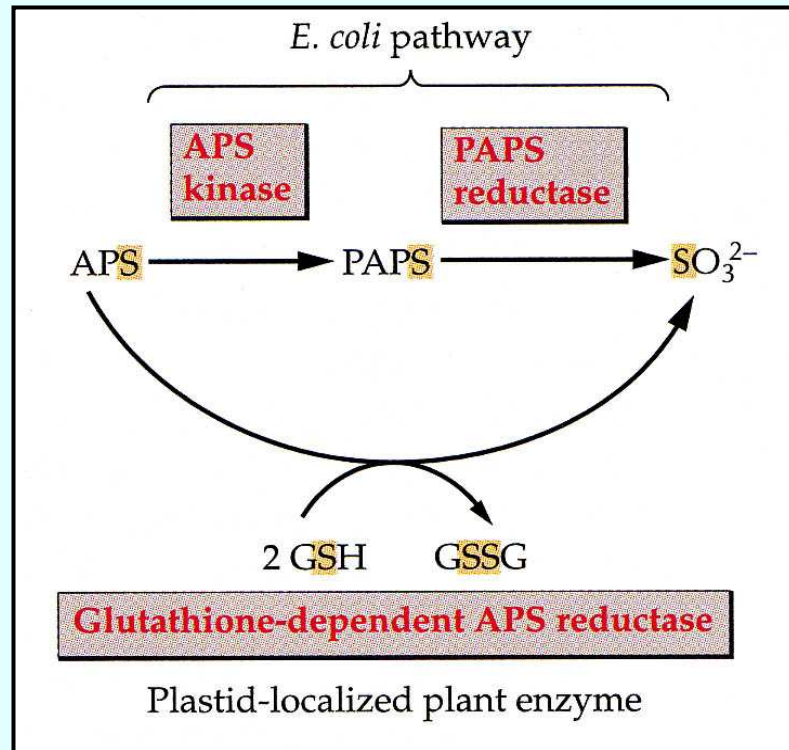
- plastidová i
cytoplasmatická forma

- tetramer 49-50kDa

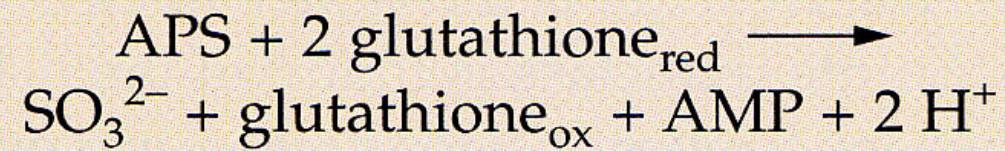


u rostlin:

glutathion dependentní APS reduktáza



Buchanan 2000



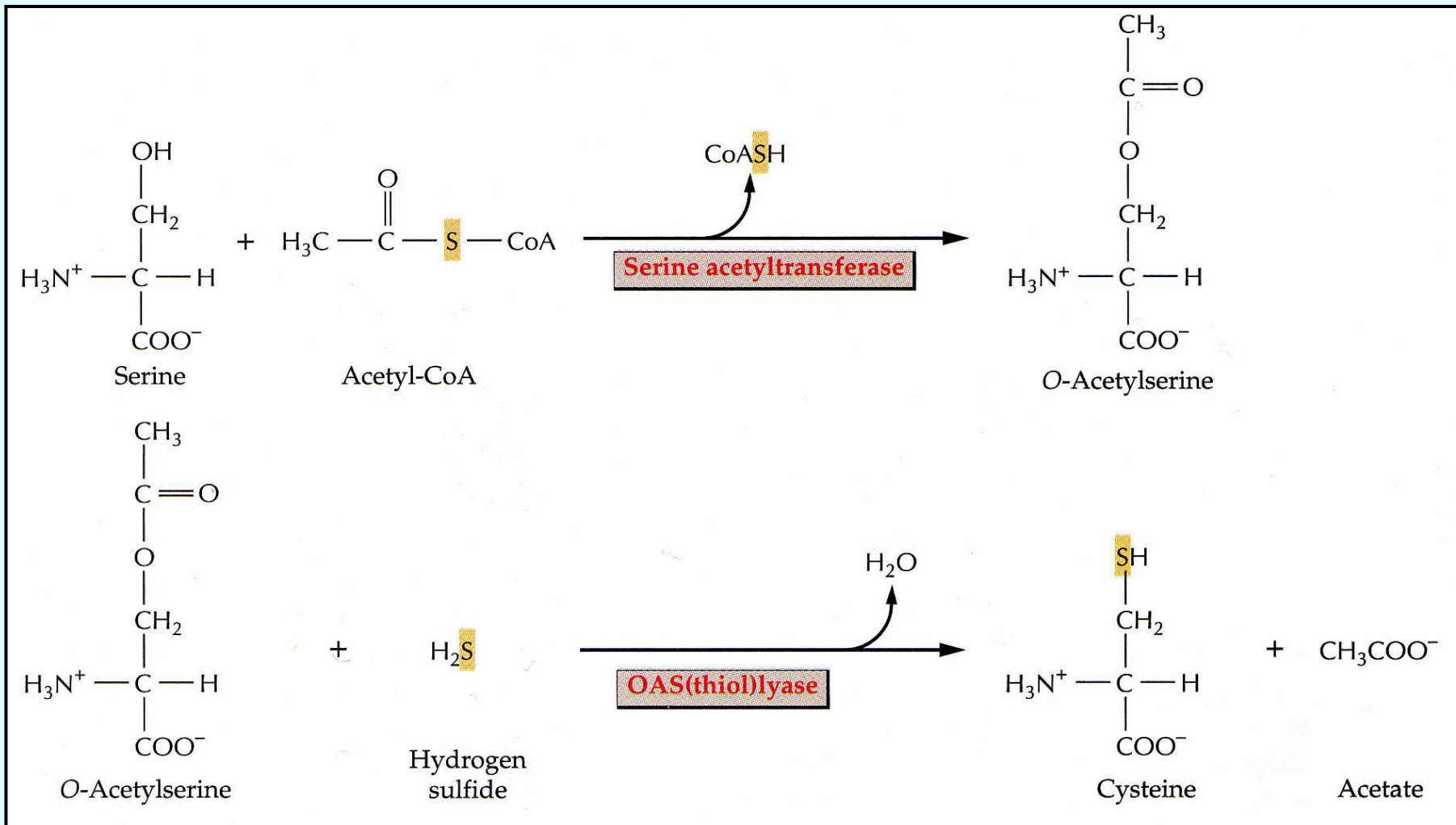
redukce SO_3^{2-} na S^{2-} :

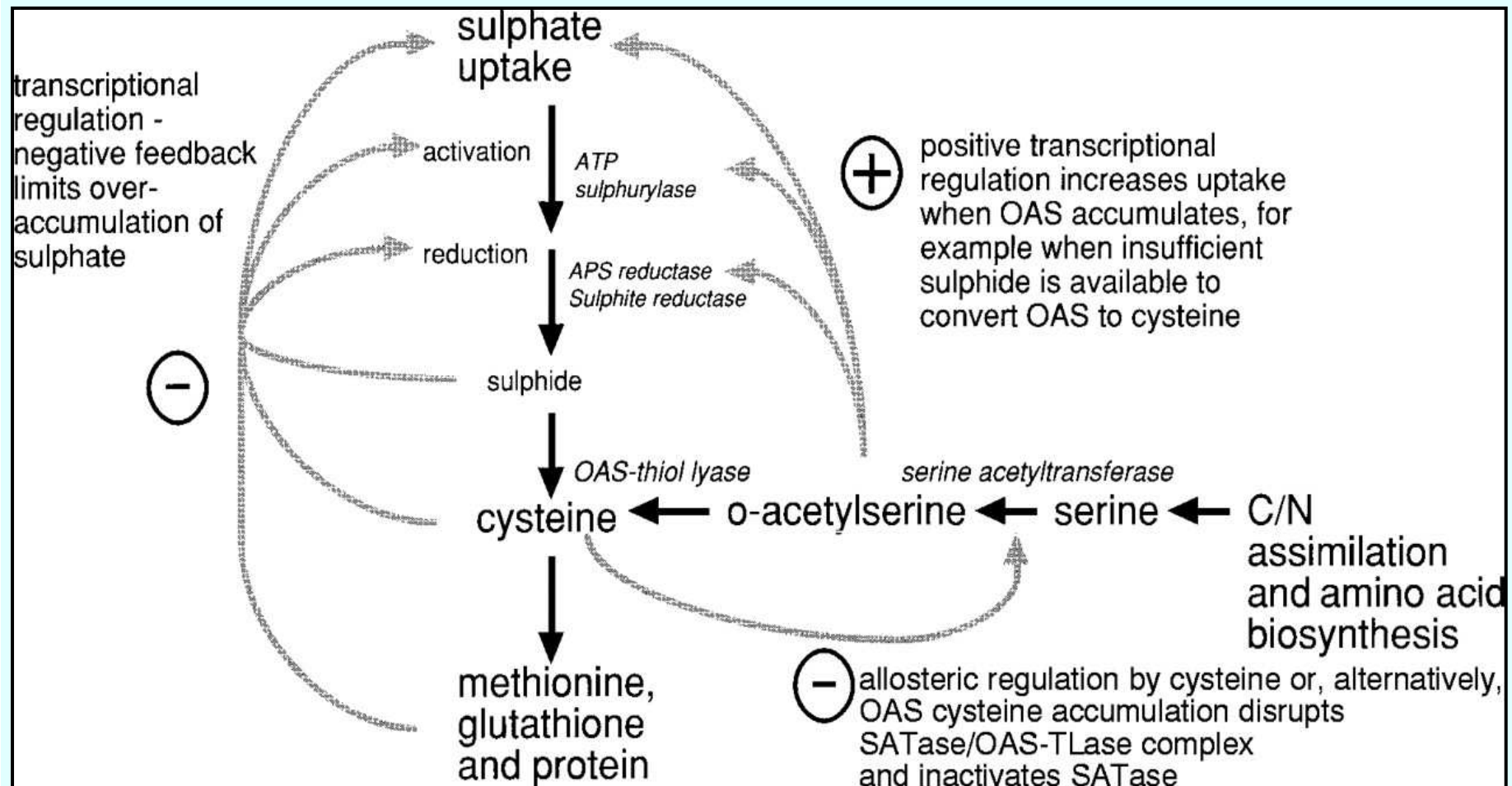
sulfit reduktáza

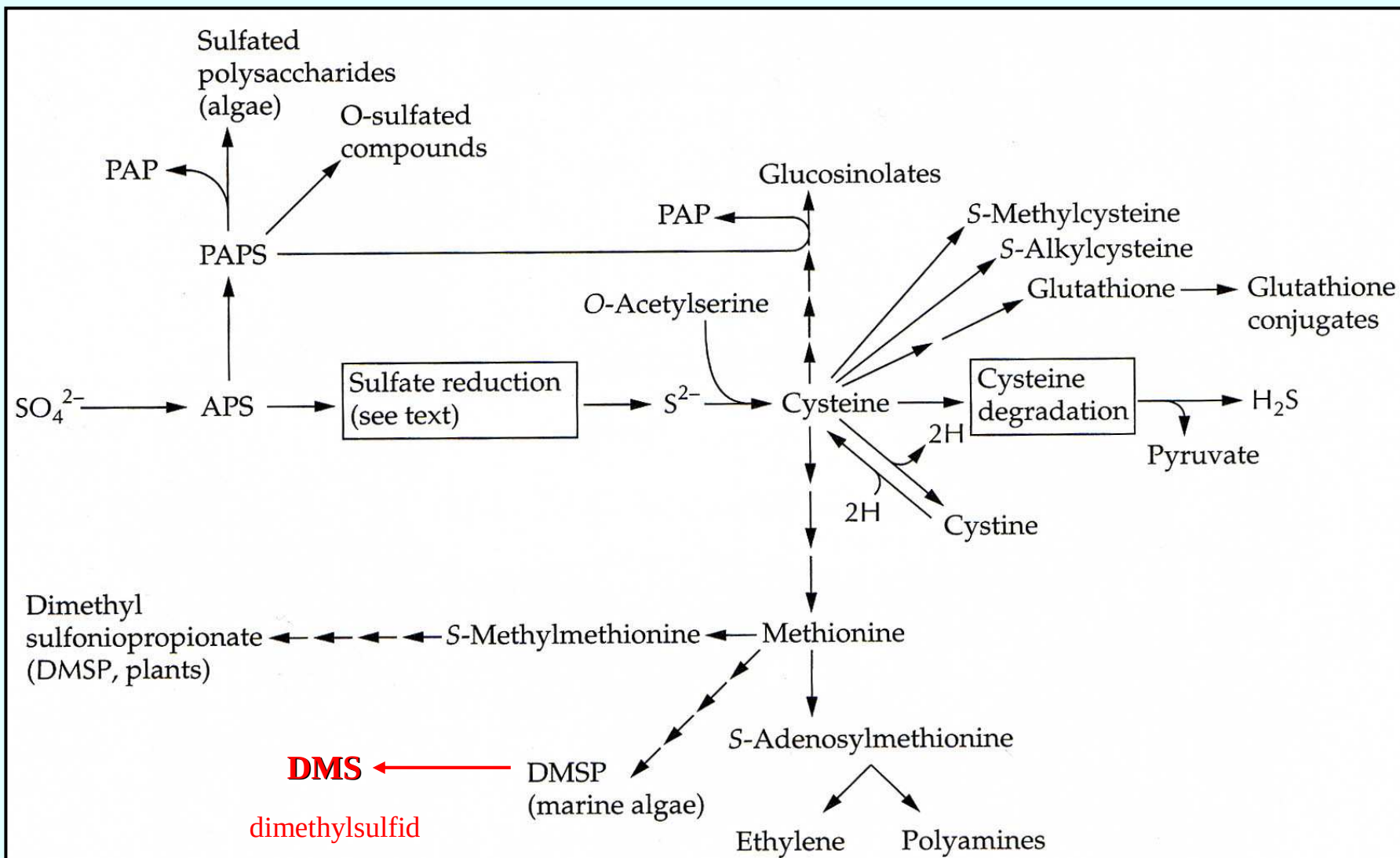
- Fe-S protein
 - sirohemová prosthetická skupina
 - struktura podobná NiR
- zdrojem red. ekvivalentů je ferredoxin, v kořenech NADPH

vazba S²⁻ na Cys:

- reakce sulfanu s O-acetylserinem



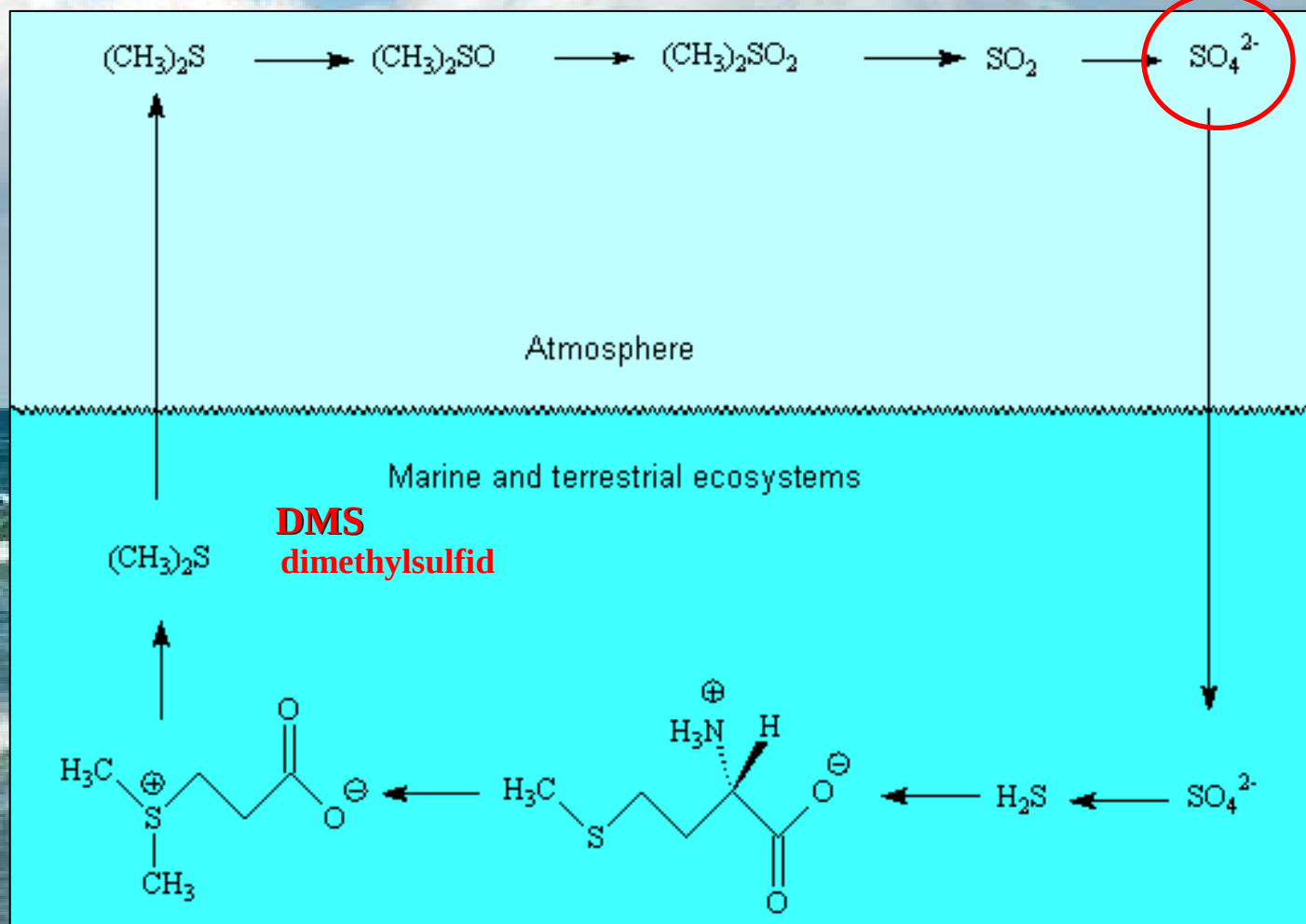




Buchanan 2000

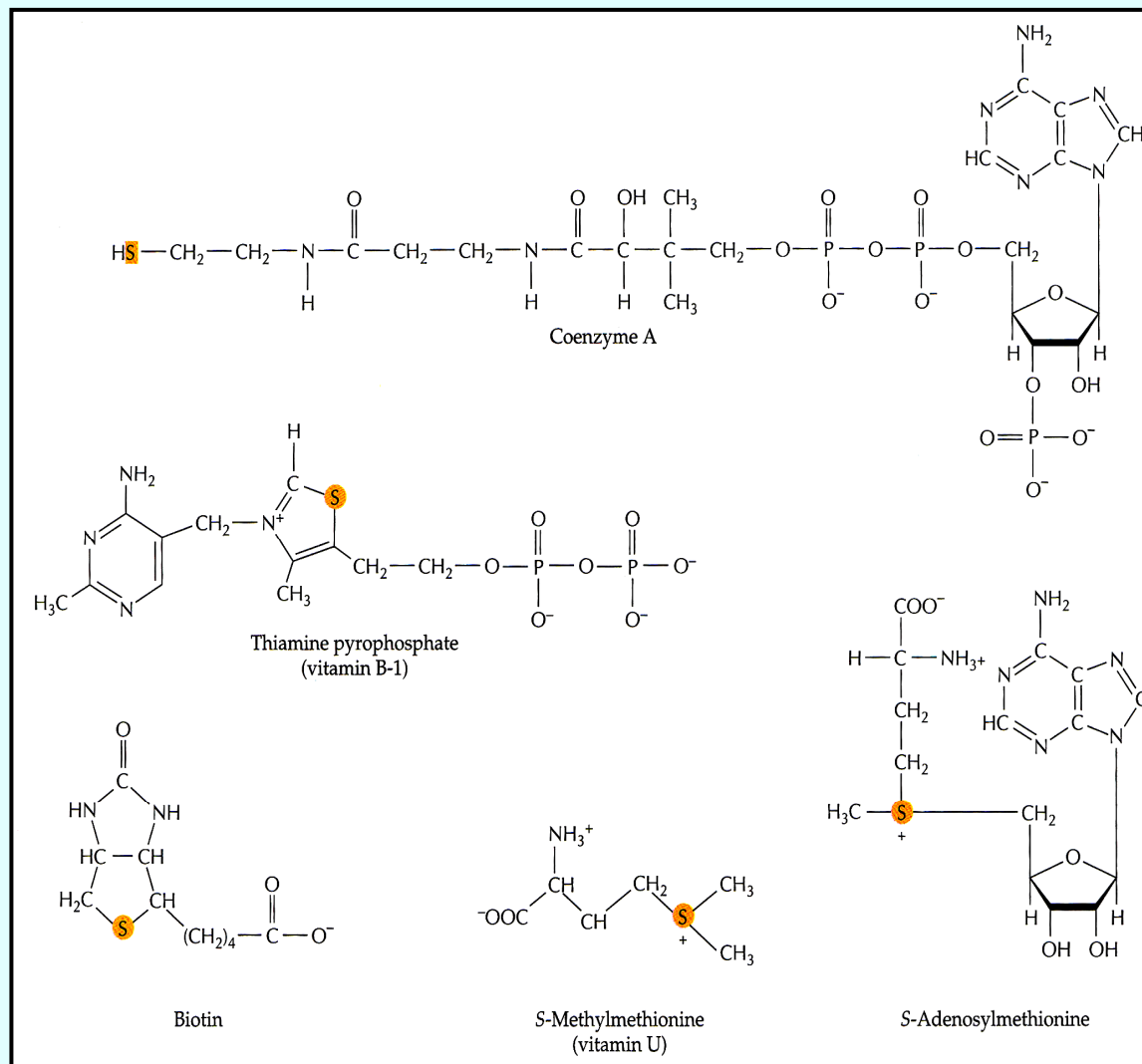
dimethylsulfopropionát

nukleární jádra



Význam síry v rostlině:

- strukturní a katalytická funkce Cys a Met v proteinech
- ochranná funkce:
 - glutathion
 - fytochelatiny
- součást koenzymů, lipidů, sek. metabolitů
 - **HSCoA, thiamin, biotin**
 - sulfolipidy
 - signální molekuly
 - fytoalexiny
- význam síry pro výživu živočichů



Význam síry v rostlině:

- strukturní a katalytická funkce Cys
a Met v proteinech

- ochranná funkce:
glutathion
fytchelatiny

- součást koenzymů, lipidů, sek. metabolitů

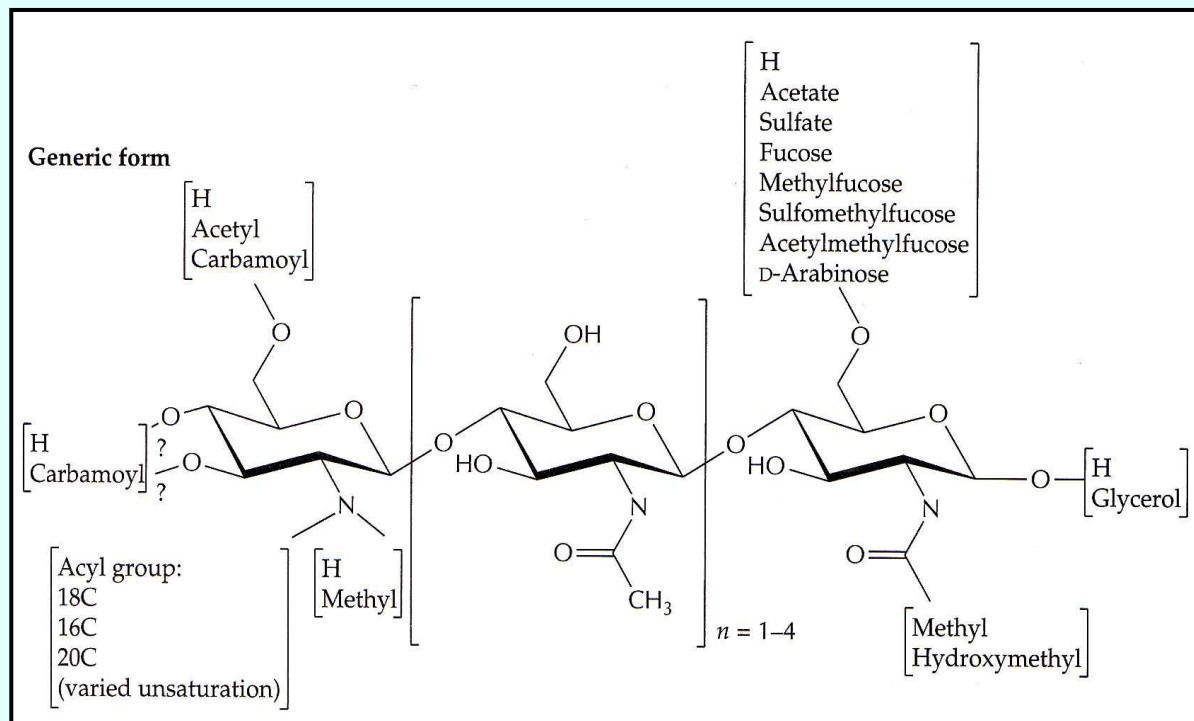
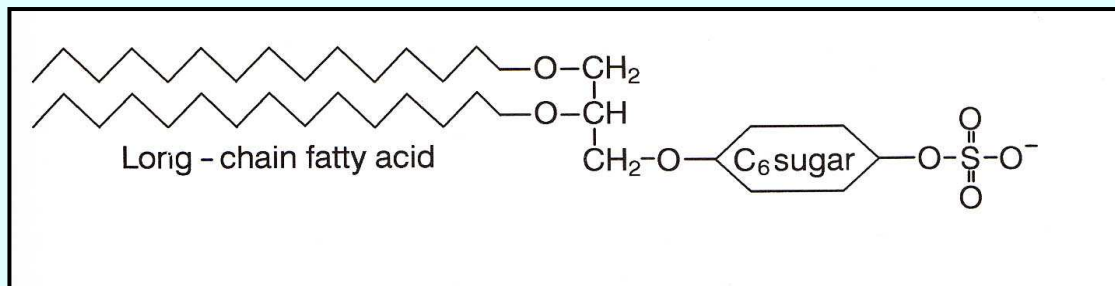
- HSCoA, thiamin, biotin

- **sulfolipidy**

- **signální molekuly**

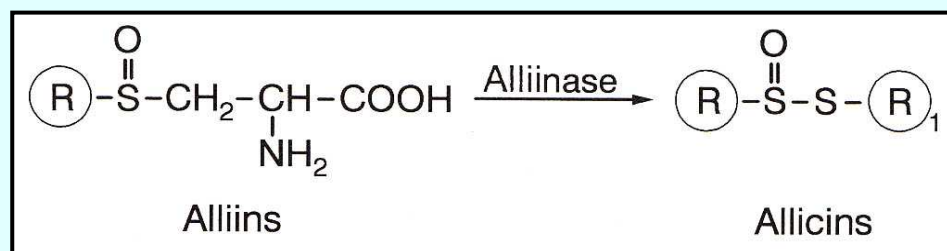
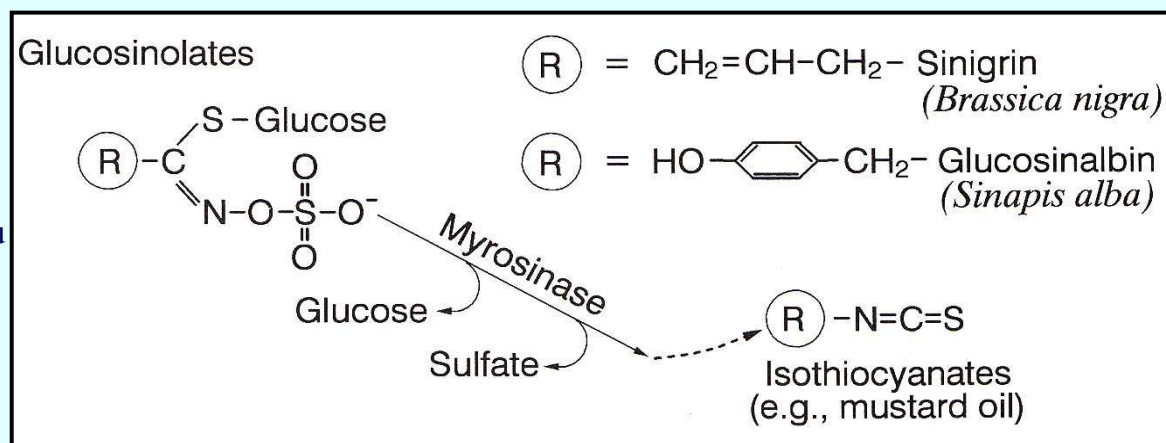
- fytoalexiny

- význam síry pro výživu živočichů



Význam síry v rostlině:

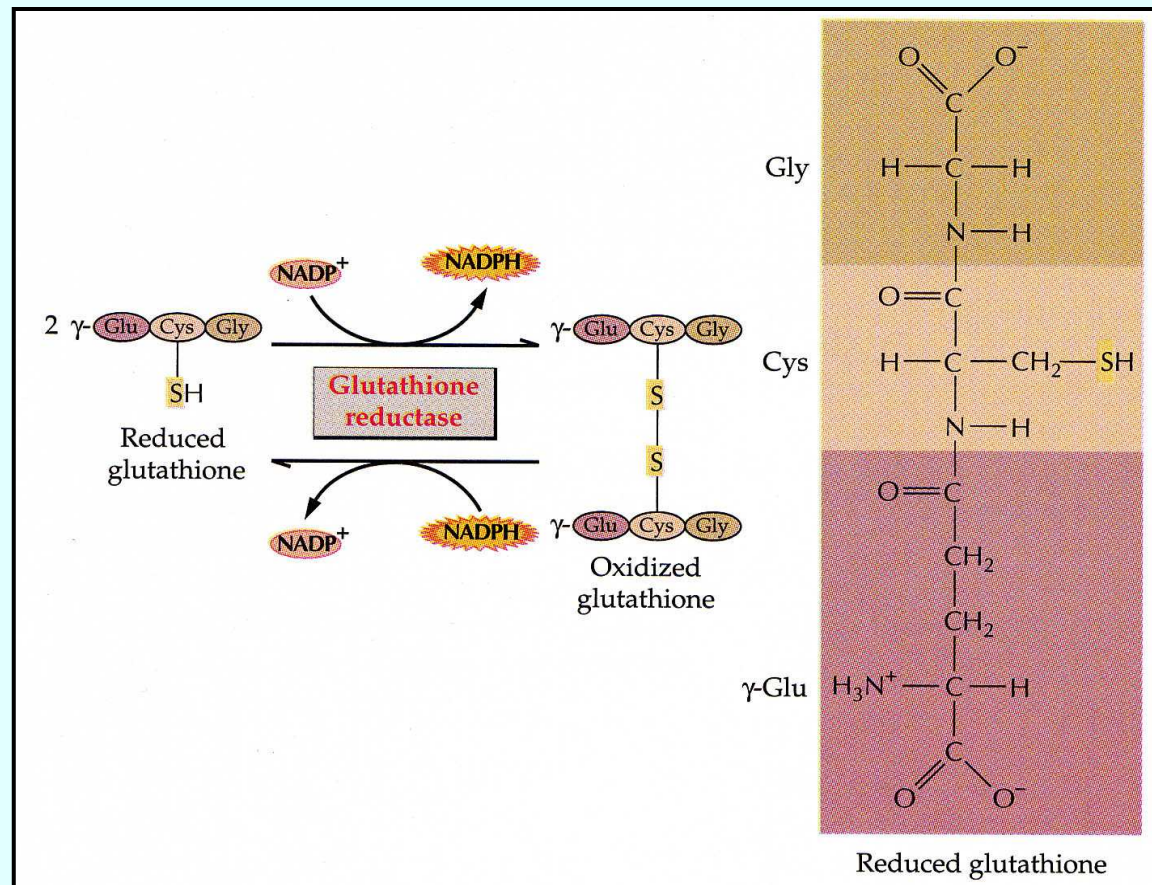
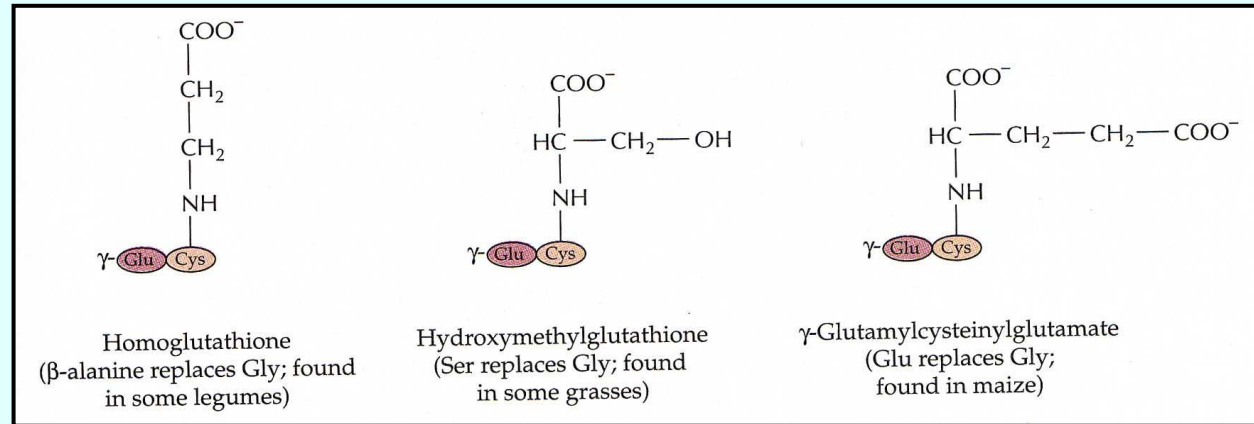
- strukturní a katalytická funkce Cys a Met v proteinech
- ochranná funkce:
 - glutathion
 - fytochelatiny
- součást koenzymů, lipidů, sek. metabolitů
 - HSCoA, thiamin, biotin
 - sulfolipidy
 - signální molekuly
 - **fytoalexiny**
- význam síry pro výživu živočichů



Marschner 1995

Glutathion:

- tripeptid nekódovaný DNA
(Gly-Cys-Glu)
- ochrana proti oxidativnímu poškození
- prekursor syntézy fytochelatinů



cad2 mutant *Arabidopsis*
 - defektní v syntéze glutathionu
 (v Glutamylcystein syntetáze)

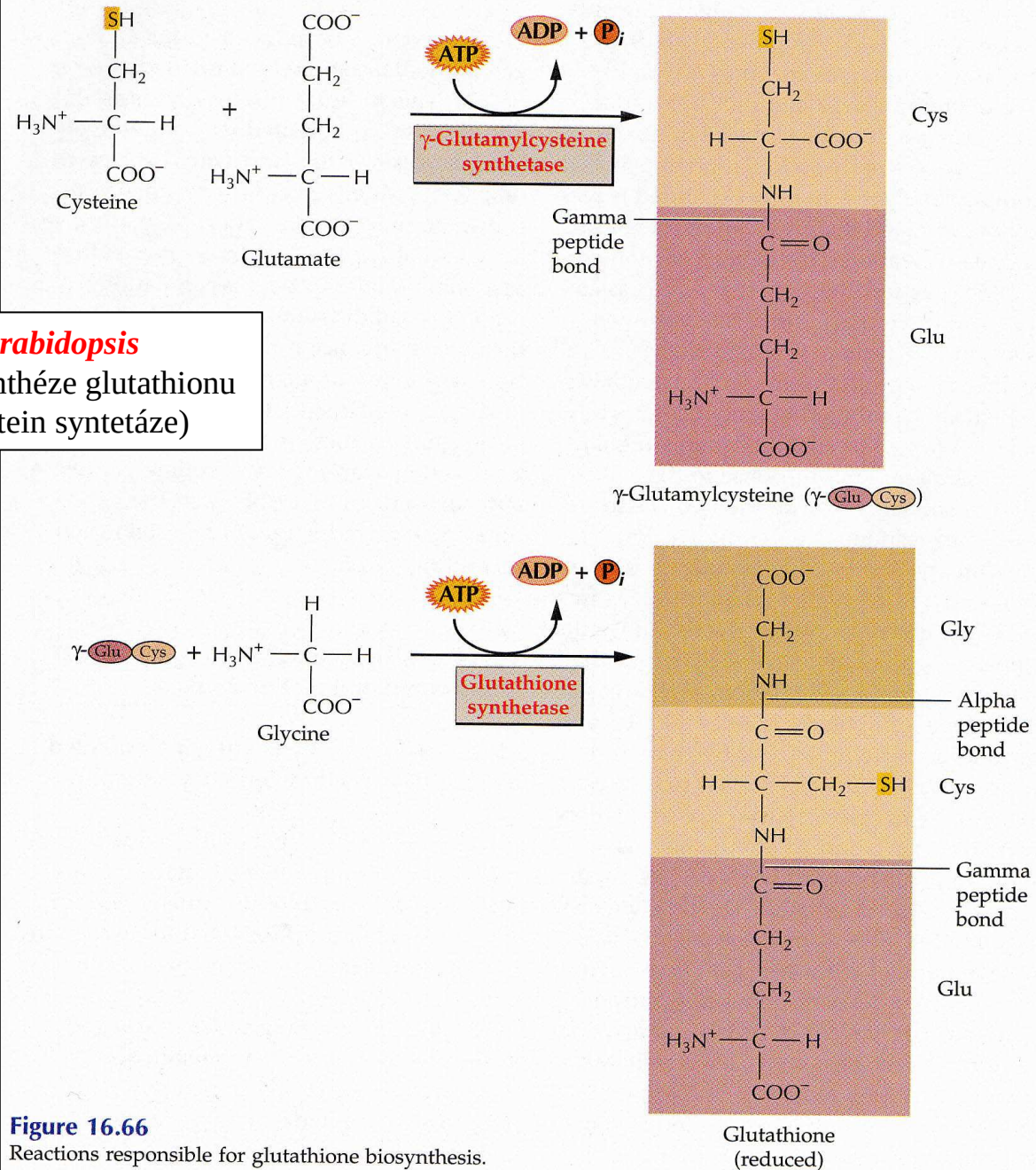


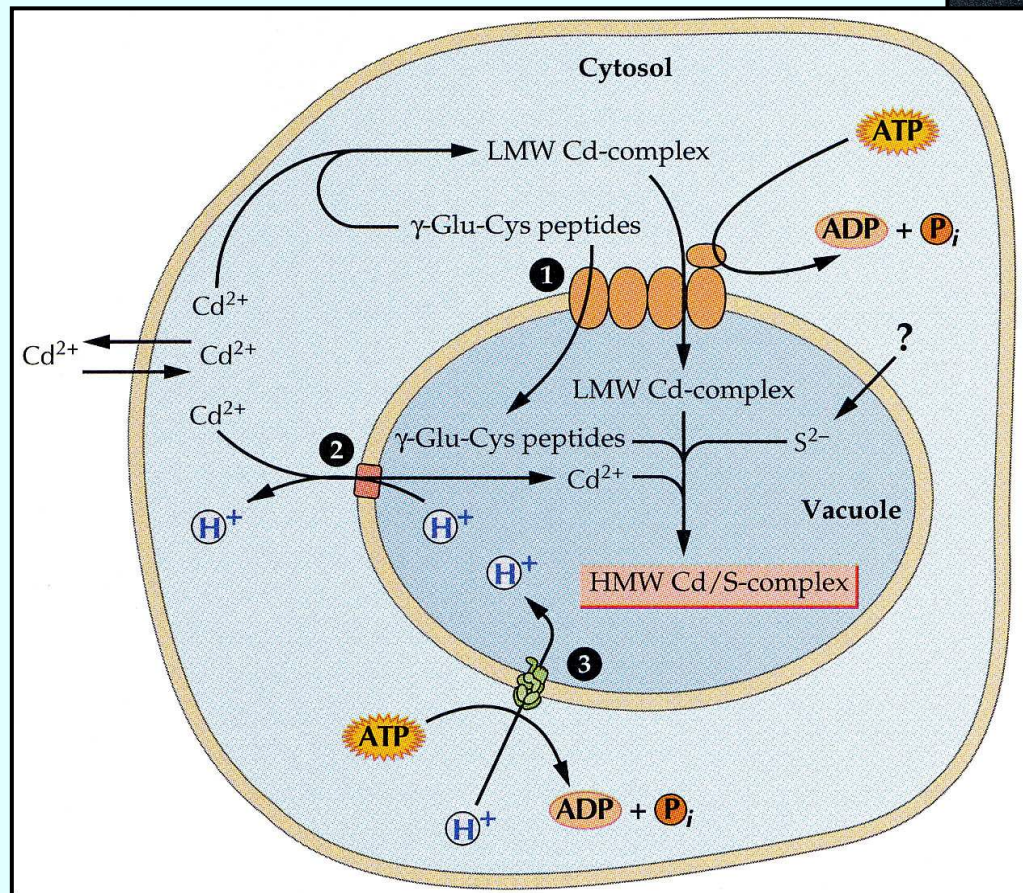
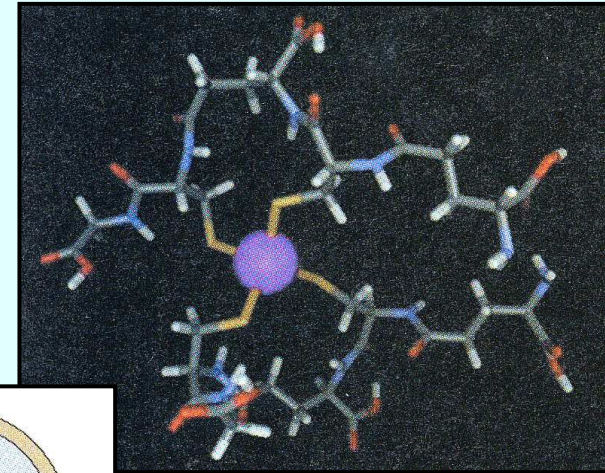
Figure 16.66
 Reactions responsible for glutathione biosynthesis.

Fytochelatiny:

$(\gamma\text{-Glu-Cys})_n\text{-Gly}$

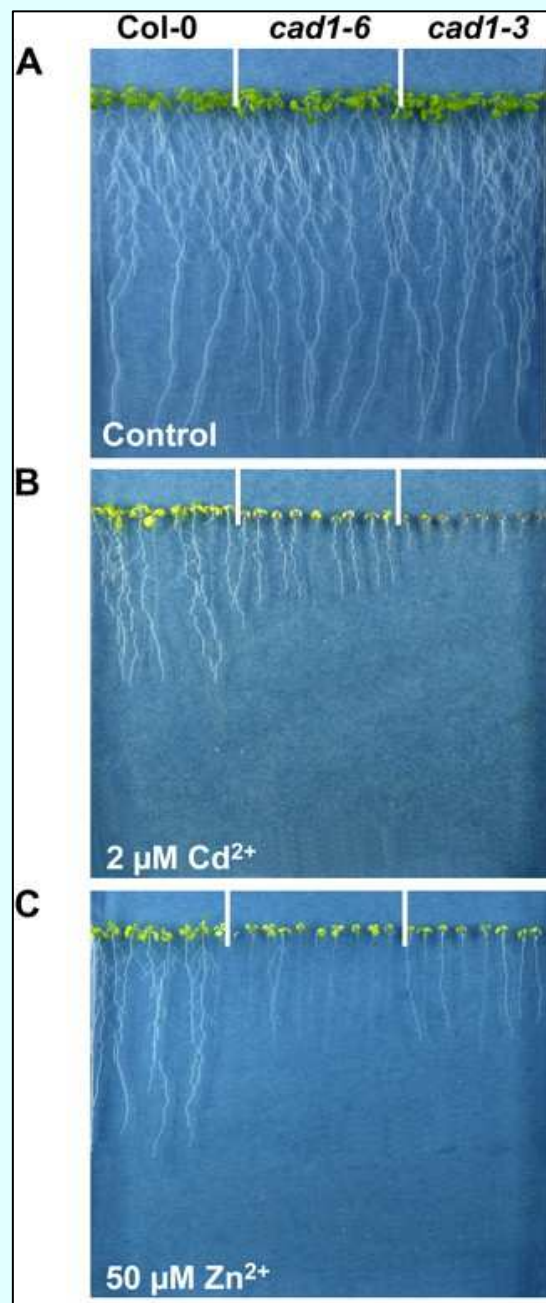
$n = 2-11$

- prekurzorem syntezy je glutathion



Buchanan 2000

cad1* mutanty *Arabidopsis
- defektní v syntéze fytochelatinů

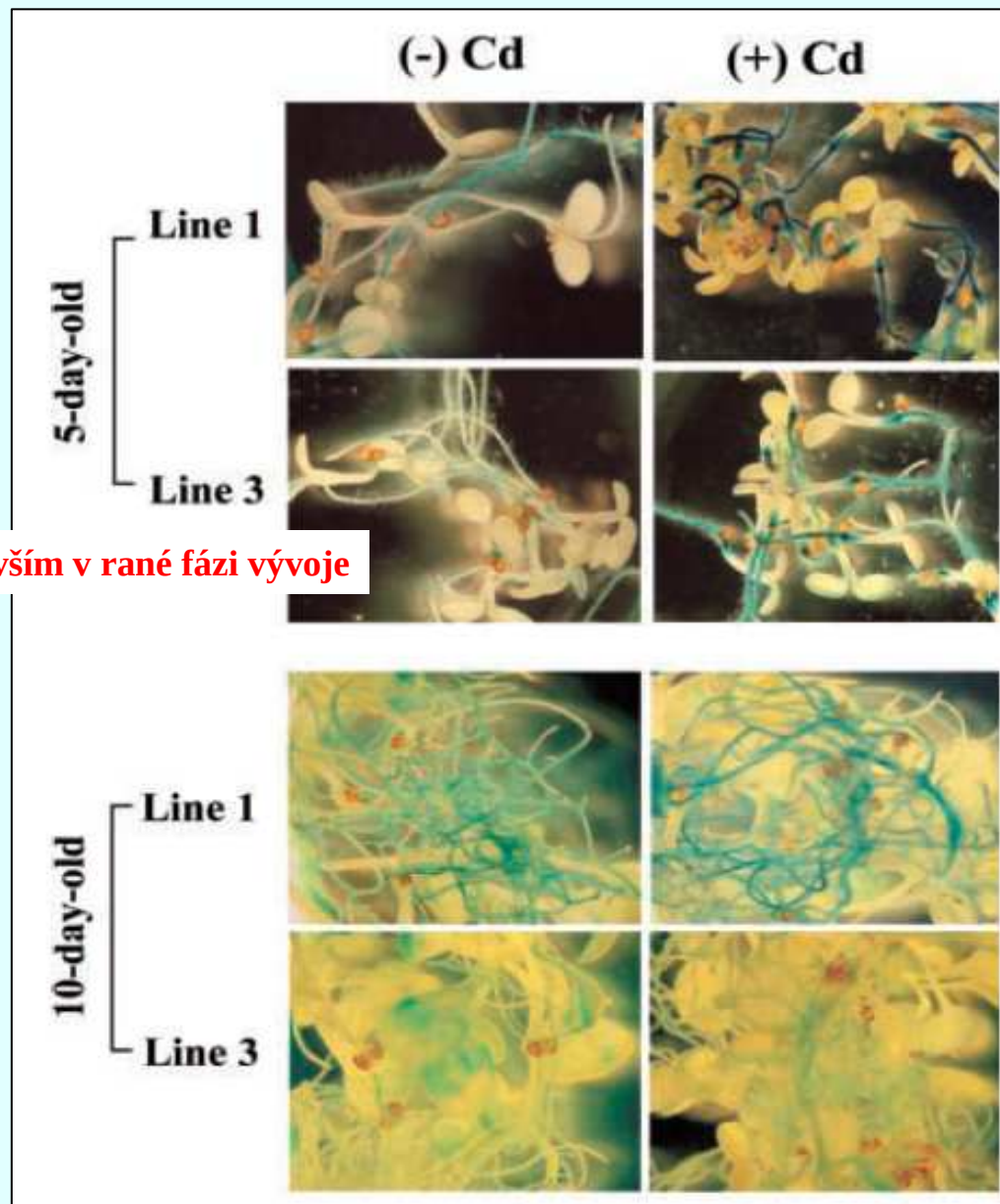


Tennstedt 2009

AtPSC1 - fytochelatin syntáza

- konstrukt s GUS

Stimulace viditelná především v rané fázi vývoje

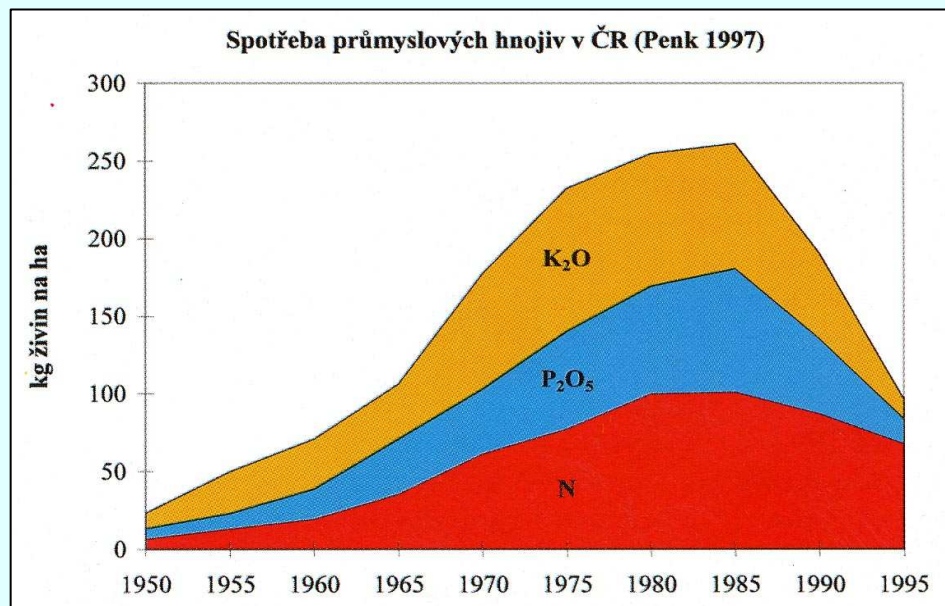


Draslík

- 2-5% SH
- v rostlině v iontové podobě
- cytoplasmatická koncentrace 80-200mM (někdy až 500mM)
- toxicita není příliš častá, spíše osmotický stres



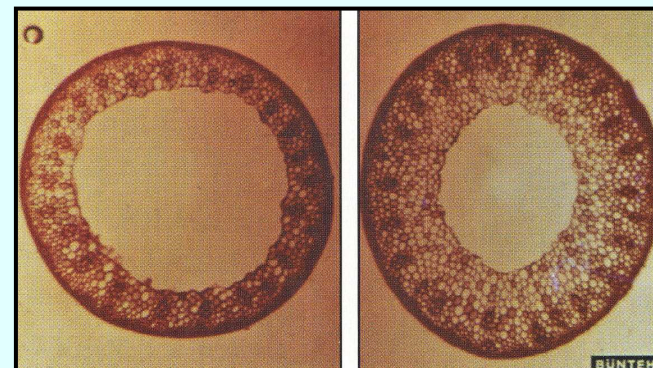
Vaněk 2002



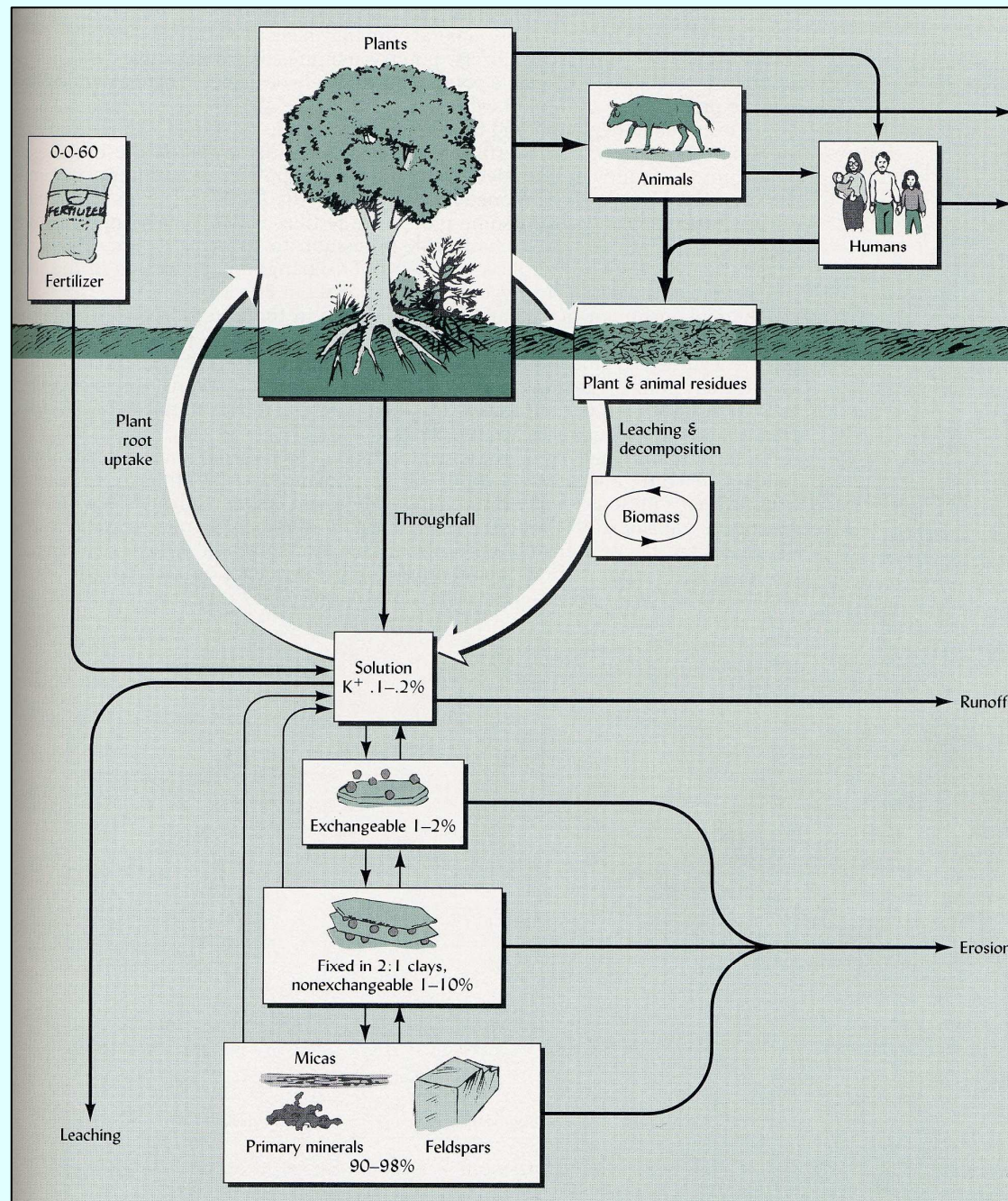
Vaněk 2002

Deficiencie draslíku:

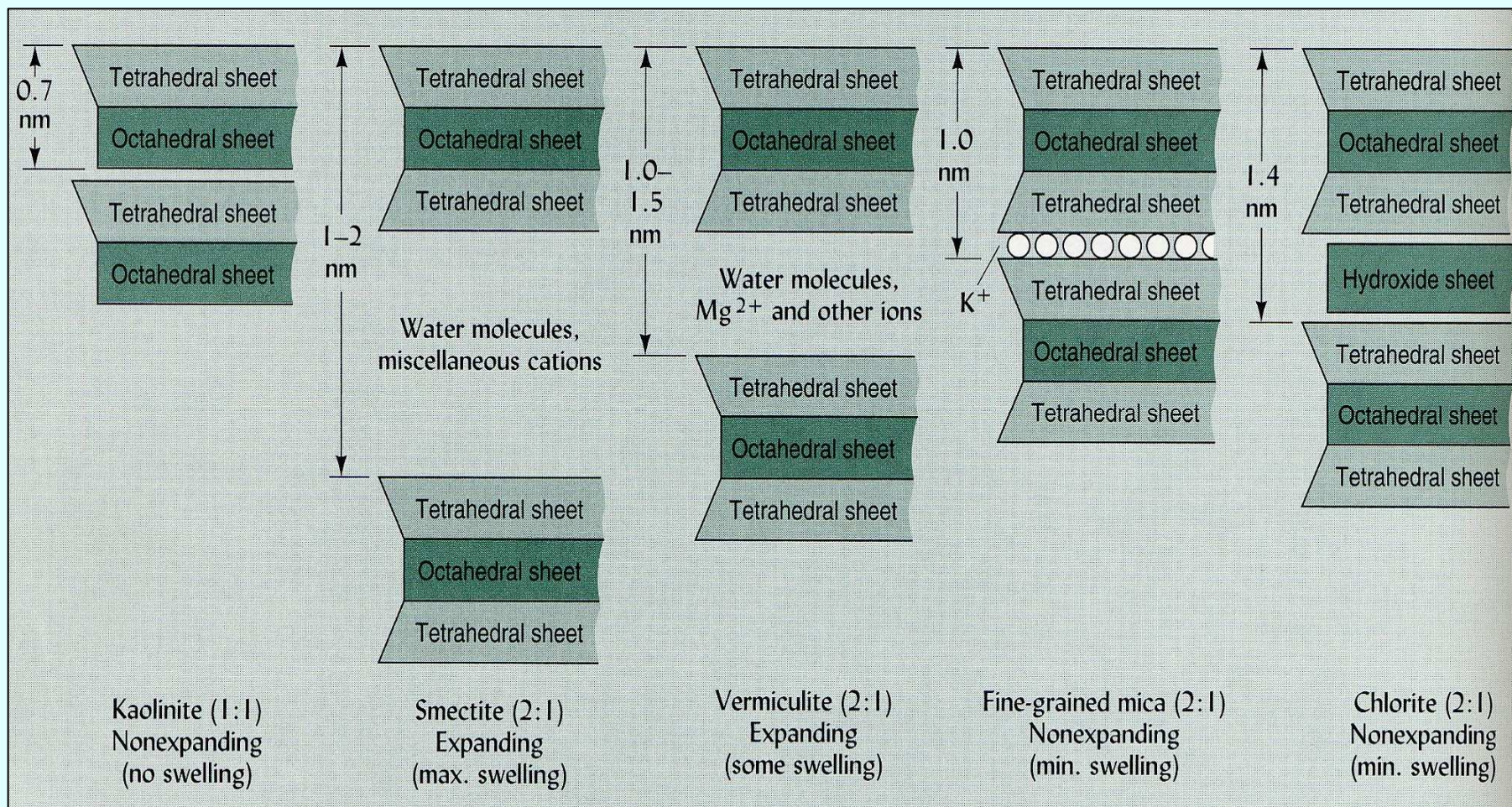
- žloutnutí listů, okrajová nekróza
- pokles syntézy proteinů, enzymatické aktivity
- snížená odolnost vůči suchu, mrazu, houbovým patogenům

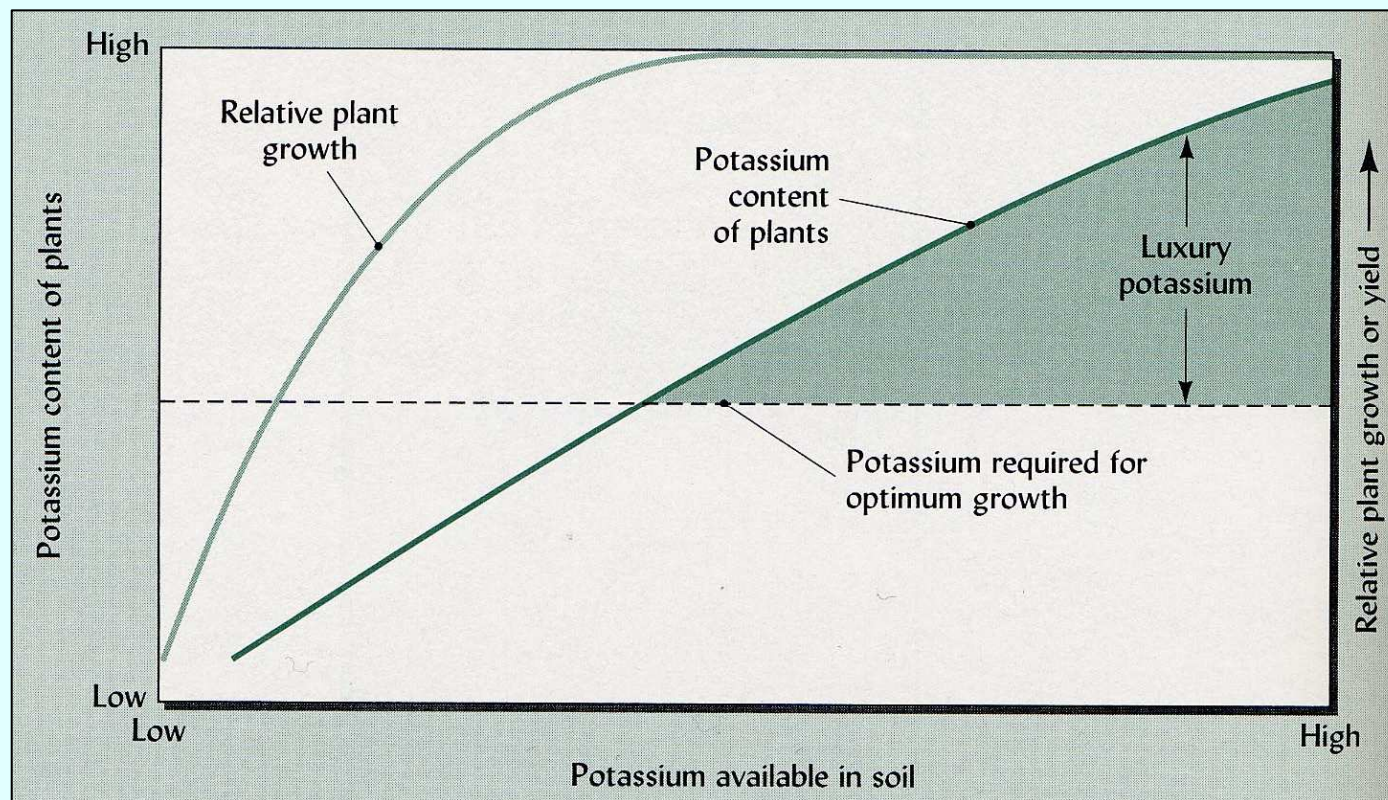


Vaněk 2002



Brady a Weil 2002





Brady a Weil 2002

Příjem draslíku:

- multifáztní, účast řady transportních proteinů s různou afinitou
- identifikována řada genů (Arabidopsis):

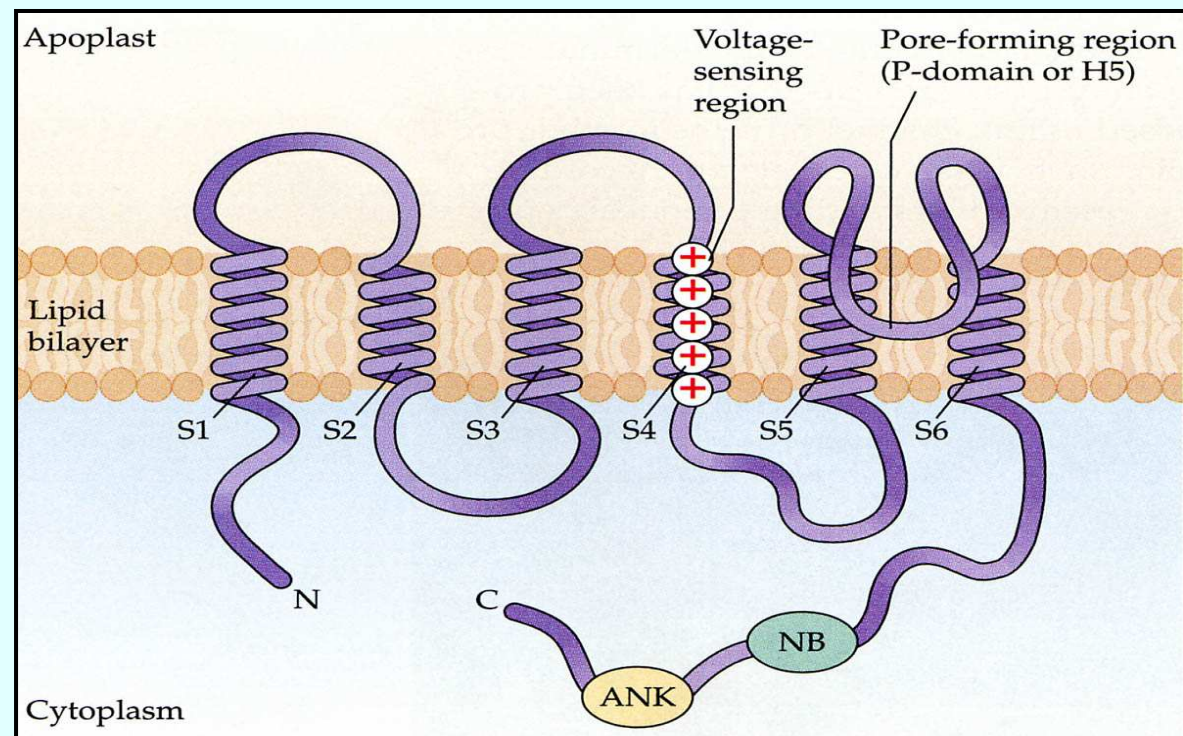
KAT1* a *AKT1 – inward channels

KOC1 – outward channel

HKT1 – high-affinity transportér

AtKUP - high-affinity transportér

- svěrací buňky průduchů
x epidermis a kortex kořenů



Buchanan 2000

Příjem draslíku:

- multifázní, účast řady transportních proteinů s různou afinitou
- identifikována řada genů (*Arabidopsis*):

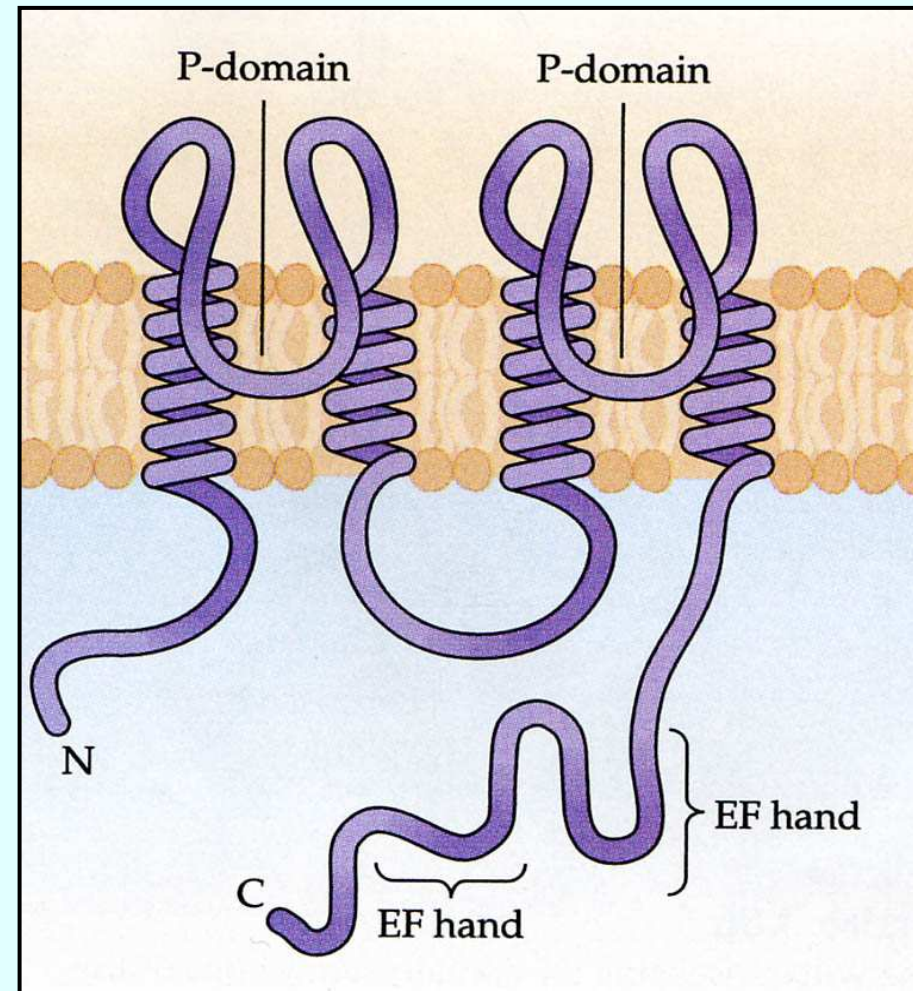
KAT1 a *AKT1* – inward channel

KOC1 – outward channel

HKT1 – high-affinity transportér

AtKUP - high-affinity transportér

- v celé rostlině



Buchanan 2000

Příjem draslíku:

- multifázní, účast řady transportních proteinů s různou afinitou
- identifikována řada genů (*Arabidopsis*):

KAT1 a *AKT1* – inward channel

KOC1 – outward channel

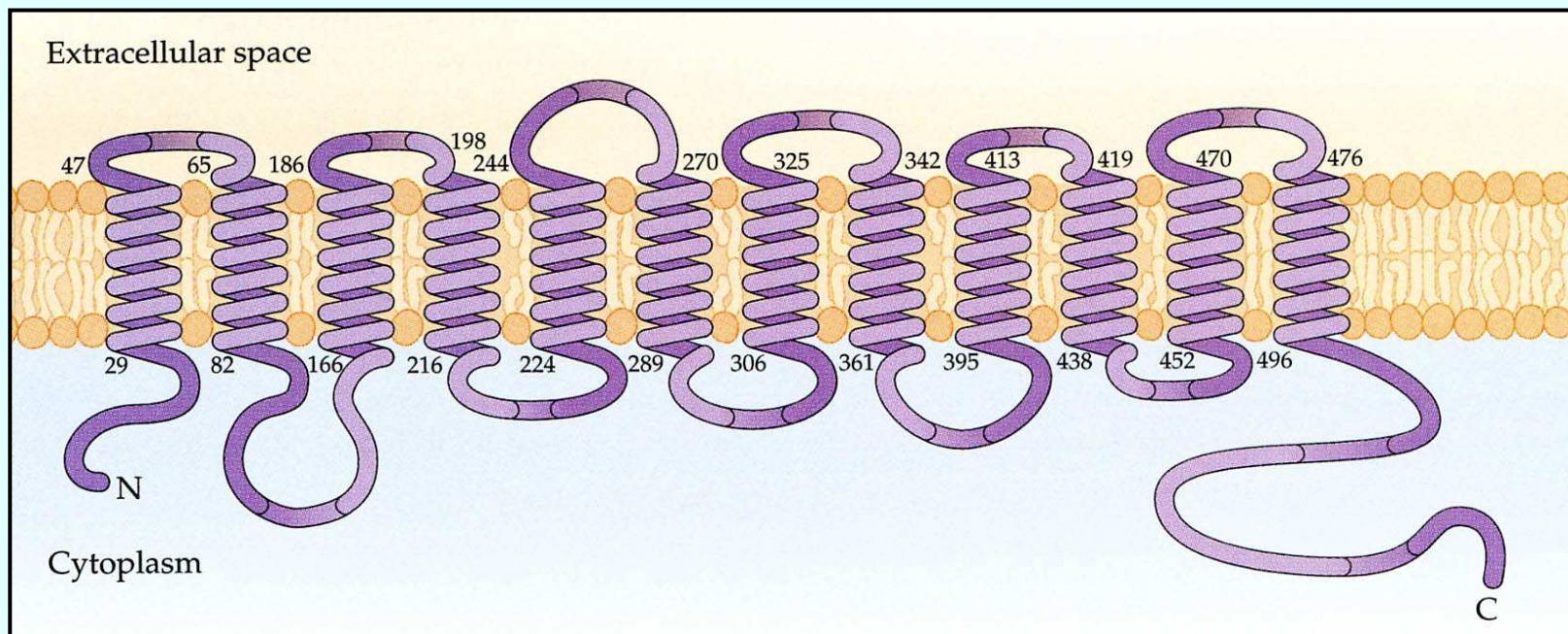
HKT1 – high-affinity transportér

AtKUP - high-affinity transportér

- ve vnitřních vrstvách kortexu a stélé kořenů a v oblasti cévních svazků v listech

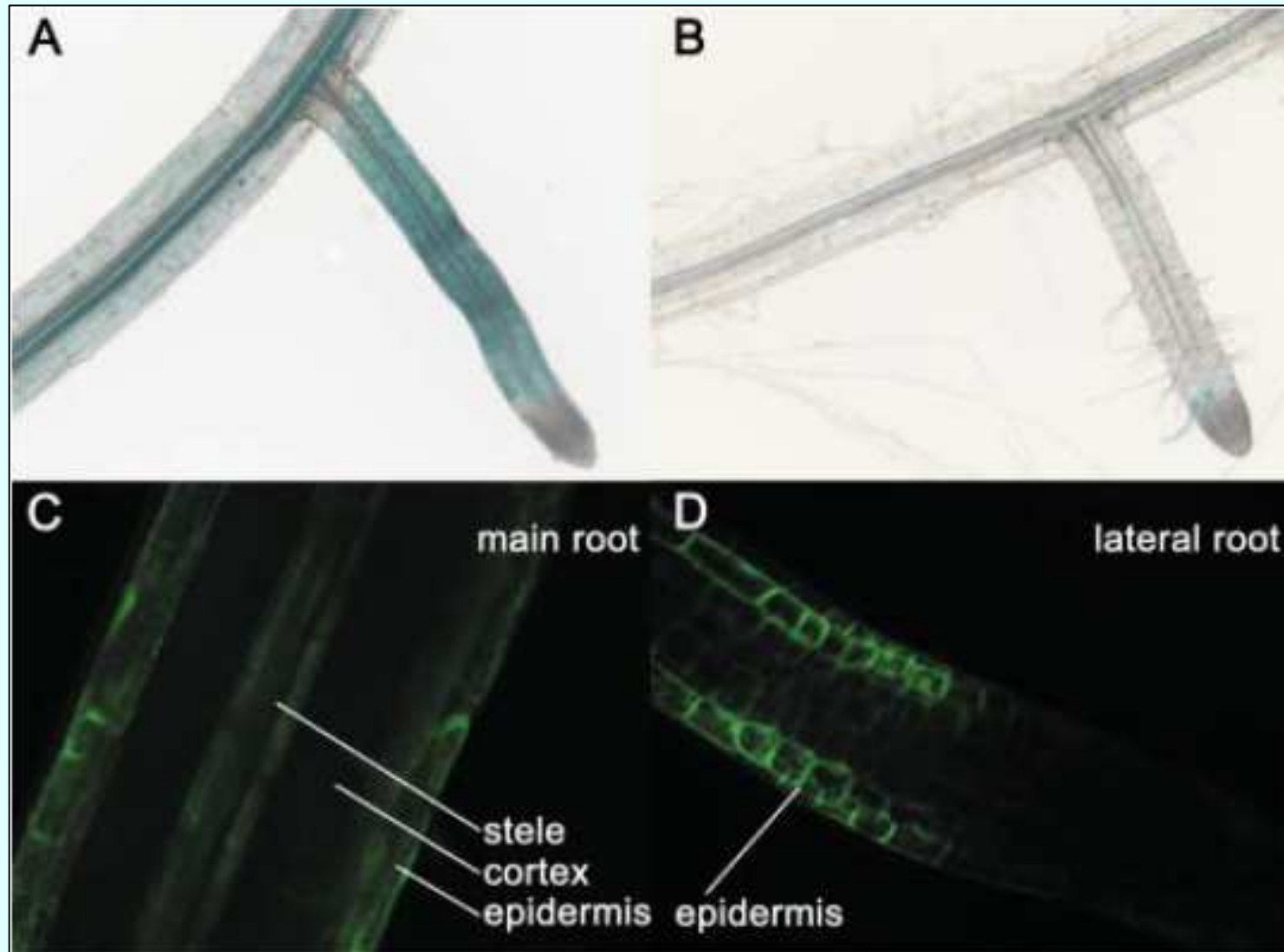
- v kořenech, listech i květech

Buchanan 2000



AtHAK + GUS (rodina KUP/HAK/KT)
Arabidopsis

Gierth 2005

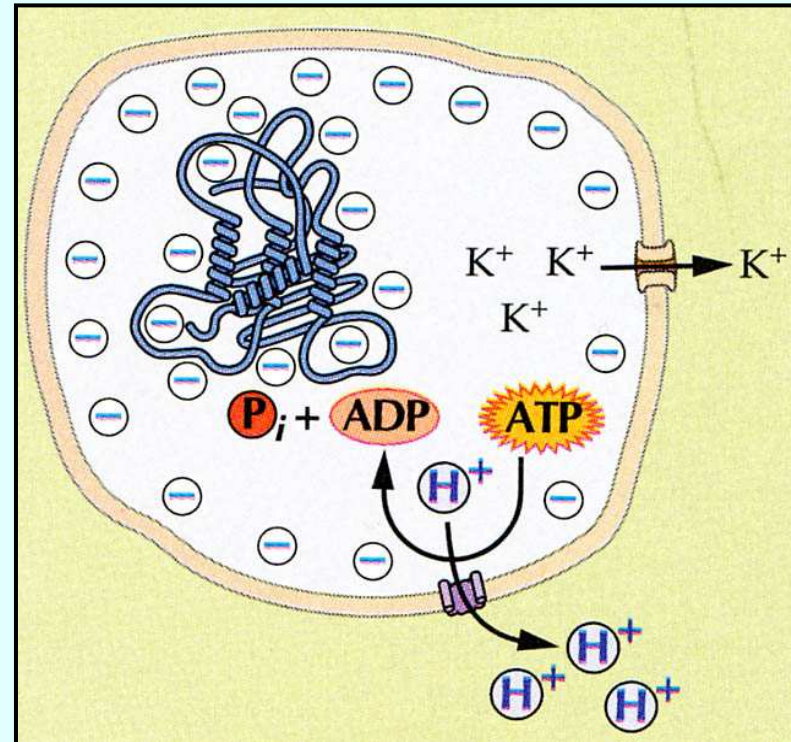


Gene	Species	Cloning approach	Localization
KAT1	<i>Arabidopsis thaliana</i>	Yeast complementation	Guard cells and vascular tissue
KST1	<i>Solanum tuberosum</i>	DNA hybridization using KAT1 sequence	Guard cells and flower buds
AKT1	<i>A. thaliana</i>	Yeast complementation	Epidermal and cortical root tissues
AKT2/13	<i>A. thaliana</i>	DNA hybridization using KAT1 or Shaker sequences	Leaves
SKT1	<i>So. tuberosum</i>	DNA hybridization using AKT1 sequence	Roots, epidermal tissues of leaves
SKT2	<i>So. tuberosum</i>	Yeast two-hybrid using KST1 as bait	?
SKT3	<i>So. tuberosum</i>	Yeast two-hybrid using KST1 as bait	?
KCO1	<i>A. thaliana</i>	Computer search of EST database for P-domain	Flowers, whole seedlings, leaves
SKOR	<i>A. thaliana</i>	DNA hybridization using pore domain of KAT/AKT channel family members	Root stellar tissues
HKT1	<i>Triticum aestivum</i>	Yeast complementation	Inner cortex of roots, root vasculature
AtKUP1	<i>A. thaliana</i>	Yeast complementation, computer search of EST database for sequences homologous to <i>kup</i> (<i>Escherichia coli</i>) and <i>HAK1</i> (<i>Schwanniomyces occidentalis</i>)	Roots, leaves, flowers
AtKUP2	<i>A. thaliana</i>	Yeast complementation, computer search of EST database for sequences homologous to <i>kup</i> (<i>E. coli</i>) and <i>HAK1</i> (<i>Sc. occidentalis</i>)	Roots, leaves, flowers
HvHAK1	<i>Hordeum vulgare</i>	RT-PCR using sequence similarity to fungal HAK and <i>E. coli</i> Kup K ⁺ transporters	Roots

Buchanan 2000

Význam draslíku v rostlině:

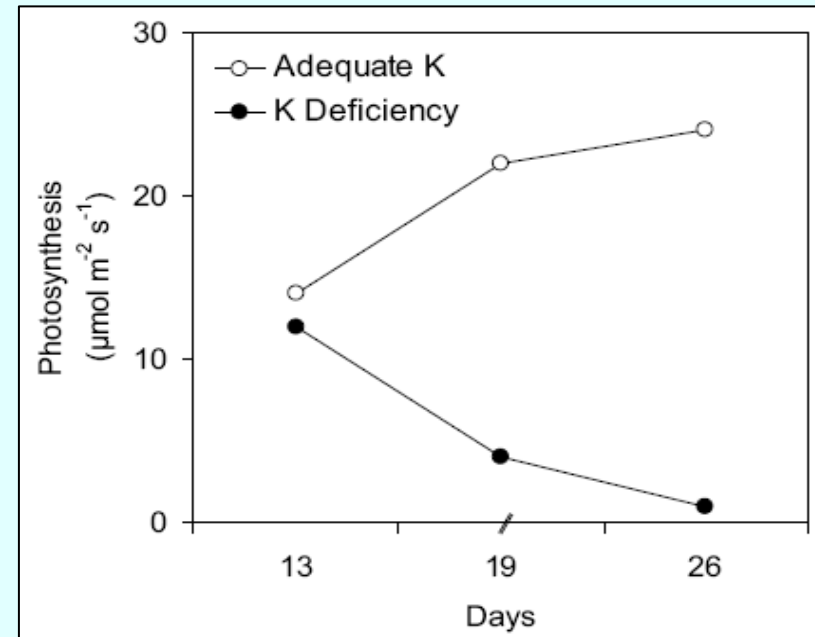
- **účast na tvorbě membránového potenciálu**
- osmotikum (regulace turgoru)
 - buněčný růst
 - regulace otevřenosti průduchů (regulace rychlosti transpirace)
 - pohyby rostlin
- vyrovnávání náboje v buňce, v xylému
- aktivace enzymů
- účast v proteosyntéze, ve fotosyntéze, floémovém transportu
- ovlivňuje odolnost rostliny vůči stresu



Buchanan 2000

Význam draslíku v rostlině:

- účast na tvorbě membránového potenciálu
- osmotikum (regulace turgoru)
 - buněčný růst
 - regulace otevřenosti průduchů (regulace rychlosti transpirace)
 - pohyby rostlin
- vyrovnávání náboje v buňce, v xylému
- aktivace enzymů
- účast v proteosyntéze, ve **fotosyntéze**, floémovém transportu
- ovlivňuje odolnost rostliny vůči stresu

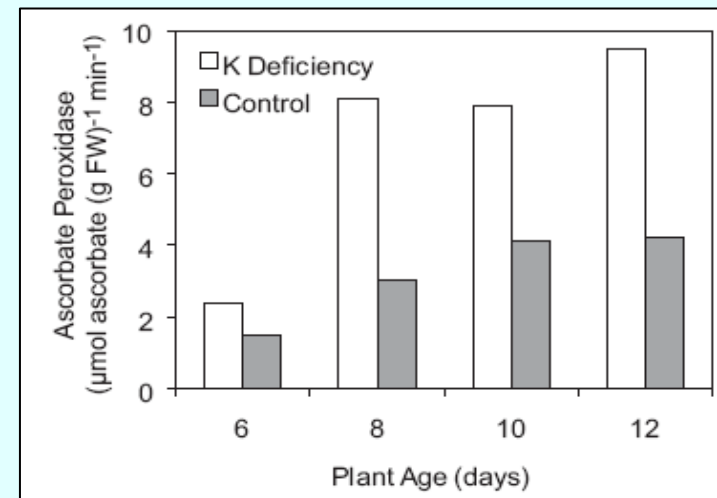
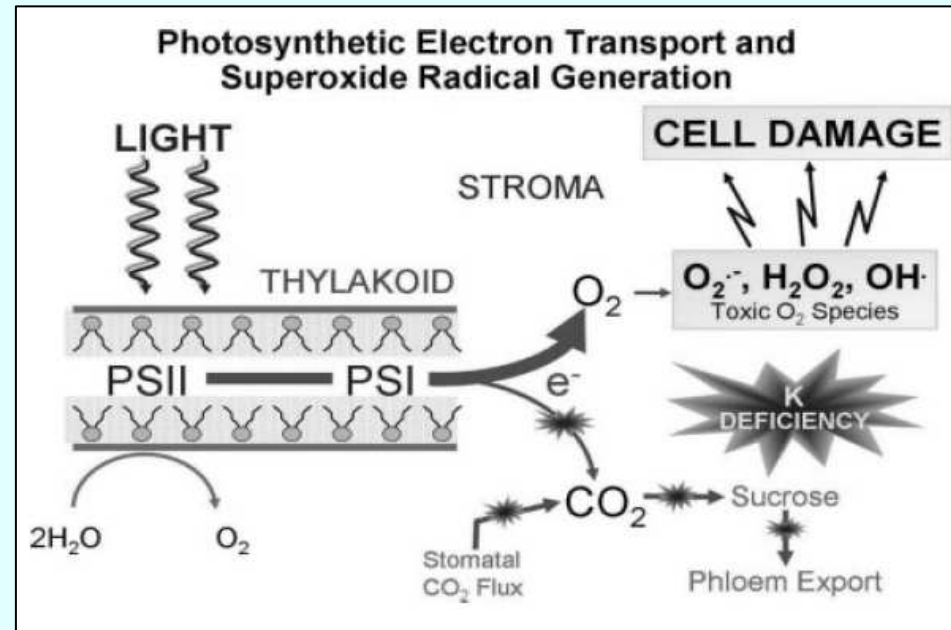


Cakmak 2005

- doprovodný iont při transportu H^+ přes tylakoidní membránu
- nezbytný pro aktivitu Rubisca a fixaci CO_2

Význam draslíku v rostlině:

- účast na tvorbě membránového potenciálu
- osmotikum (regulace turgoru)
 - buněčný růst
 - regulace otevřenosti průduchů (regulace rychlosti transpirace)
 - pohyby rostlin
- vyrovnávání náboje v buňce, v xylému
- aktivace enzymů
- účast v proteosyntéze, ve **fotosyntéze**, floémovém transportu
- ovlivňuje odolnost rostliny vůči stresu



Význam draslíku v rostlině:

- účast na tvorbě membránového potenciálu
- osmotikum (regulace turgoru)
 - buněčný růst
 - regulace otevřenosti průduchů (regulace rychlosti transpirace)
 - pohyby rostlin
- vyrovnávání náboje v buňce, v xylému
- aktivace enzymů
- účast v proteosyntéze, ve fotosyntéze, **floémovém transportu**
- ovlivňuje odolnost rostliny vůči stresu

