

# Benefiční prvky

Na, Si, Co, Se, Al?, Ti?

- pozitivní vliv na růst rostlin
- zmírnění negativního působení jiného prvku
- esenciální jen pro některé druhy

# Sodík

- Na<sup>+</sup> v půdě 0,1-1 mM (50-100 mM)
- **esenciální pro některé druhy** (*Atriplex vesicaria*, některé C4 zástupci čeledí Chenopodiaceae, Amaranthaceae, Cyperaceae)
  - požadavek srovnatelný s mikroelementy
  - projevy deficiencie (chlorózy, nekrotické skvrny, potlačení tvorby květů)
- **ostatní rostliny**: v nízké koncentraci benefiční, ve vyšší toxický

## **natrofilní x natrofobní druhy**

- odlišný význam Na<sup>+</sup> u rostlin a živočichů



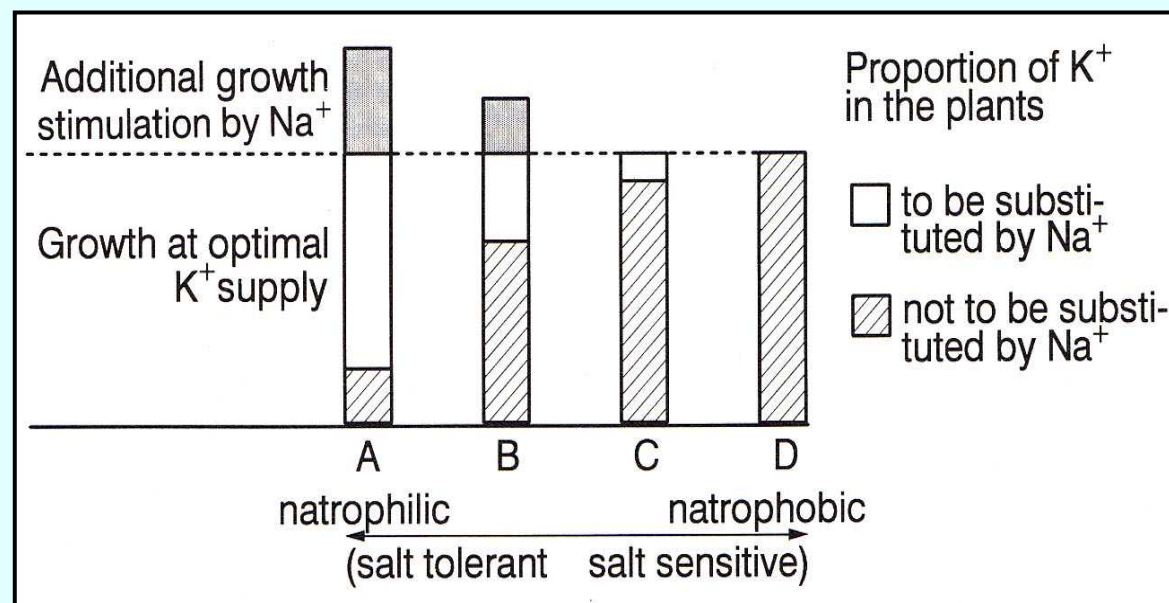
*Atriplex vesicaria*

## **Toxicita sodíku:**

- rozšířená (aridní oblasti)
- souvislost se salinitou
- halofytní x nehalofytní druhy**
  - osmotický stres
  - interakce s funkcemi K<sup>+</sup> v buňce

## natrofilní x natrofobní druhy

- souvislost s tolerancí k substituci  $K^+$



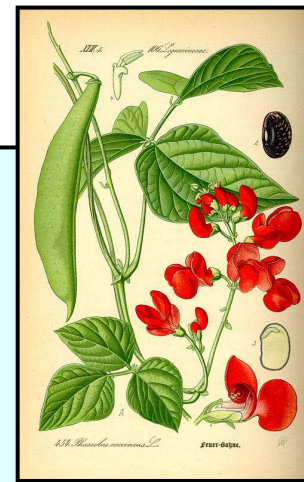
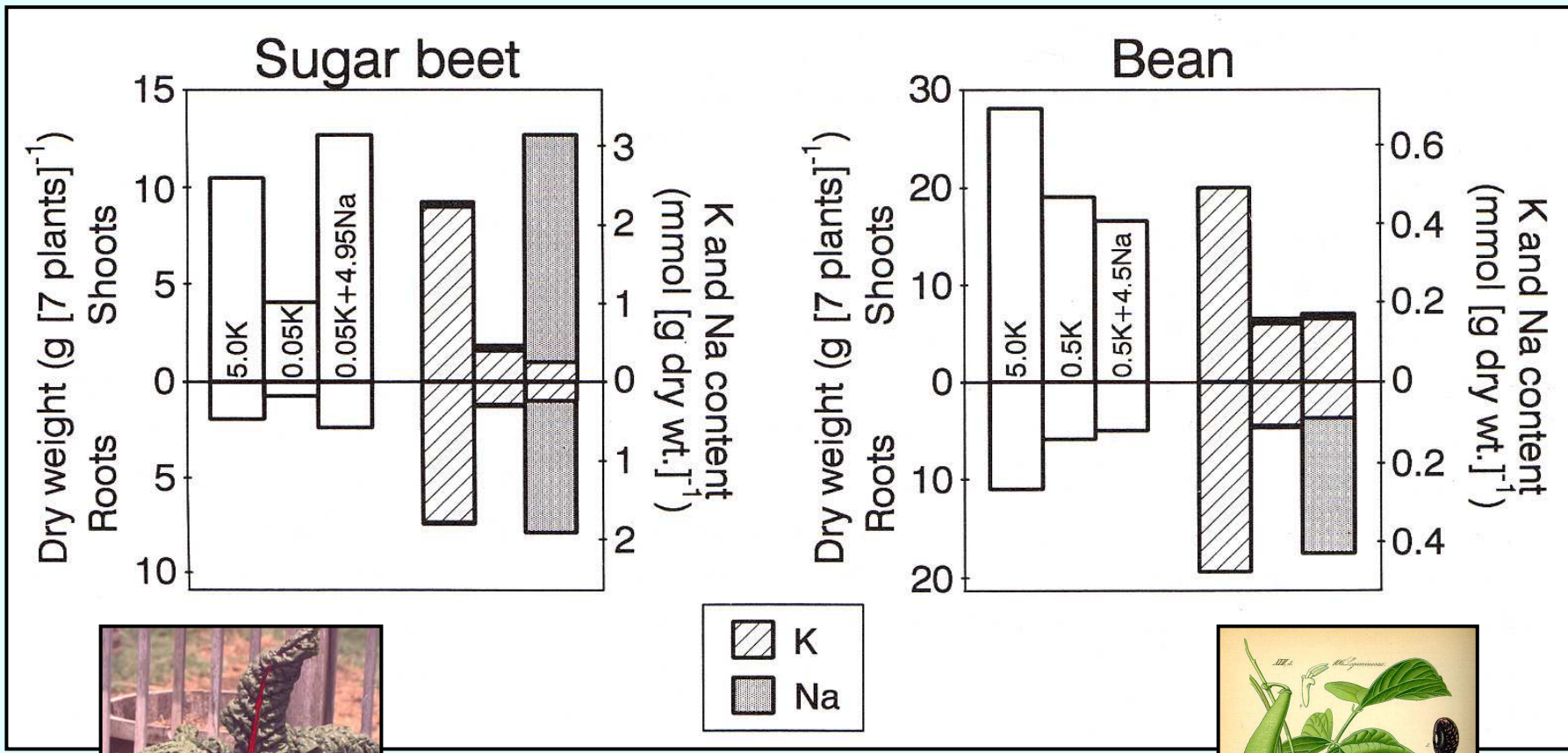
A: natrofilní druhy - zástupci Chenopodiaceae (cukrová řepa, tuřín), Amaranthaceae, Cyperaceae

B: kapusta, ředkev, bavlna, hrách, len, špenát, pšenice

C: ječmen, proso, rýže, rajče, brambora, oves

D: kukuřice, sója, fazol, žito

Marschner 1995

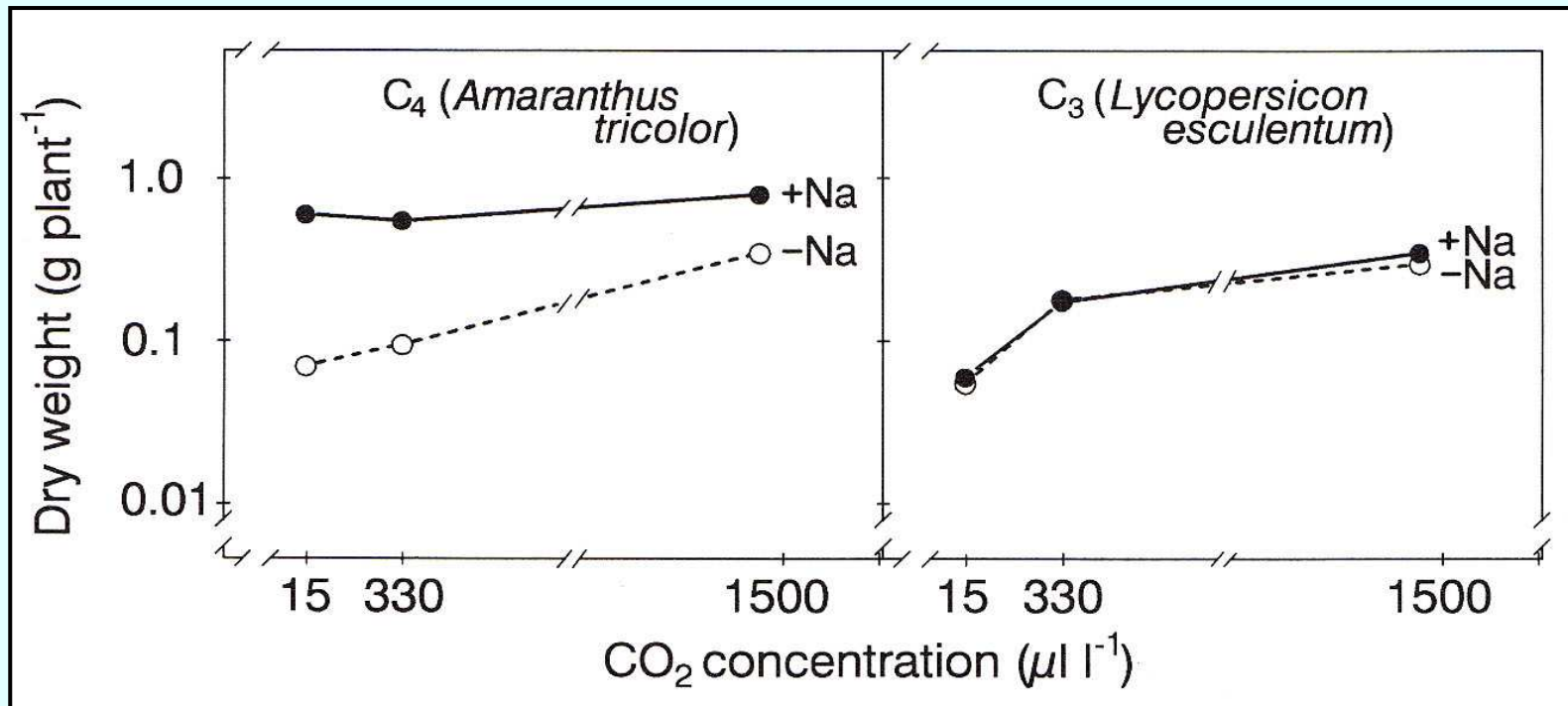


Marschner 1995

# Význam Na<sup>+</sup> v rostlině:

- především u C<sub>4</sub> rostlin

*Amaranthus*



Marschner 1995

- transport CO<sub>2</sub> mezi mezofylovými buňkami a buňkami pohev cévních svazků

- konverze pyruvátu na fosfoenolpyruvát v mezofylových buňkách

při nedostatku Na<sup>+</sup>:

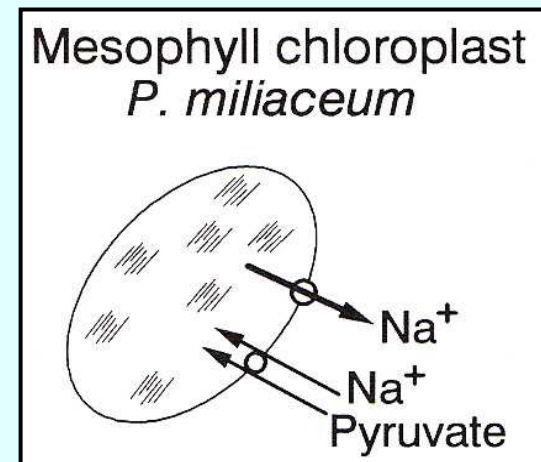
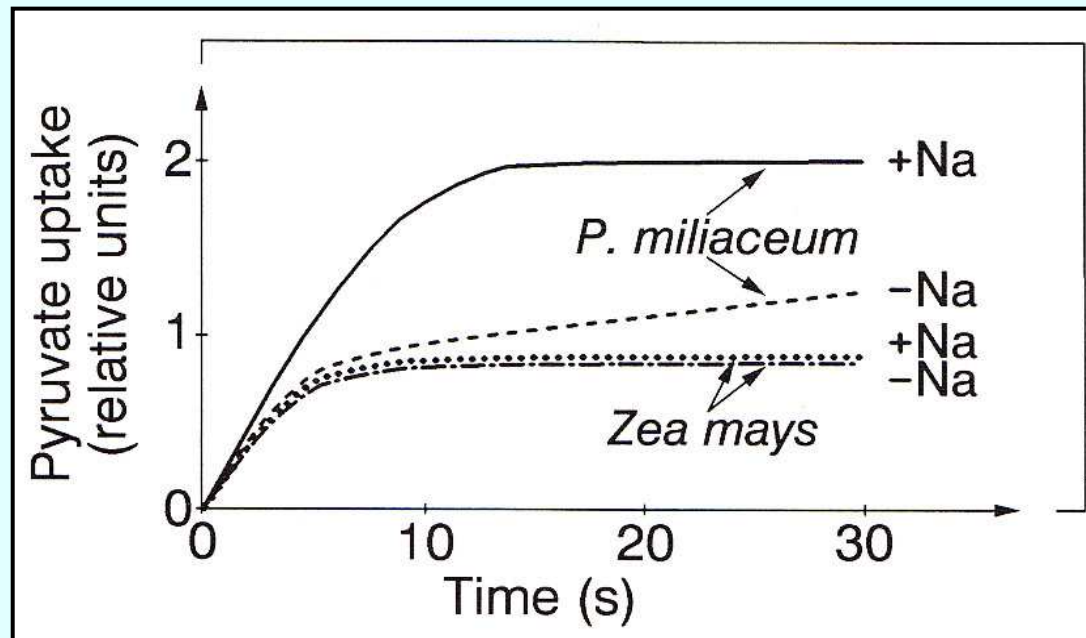
↓ PEP, malát, Asp

↑ pyruvát, Ala

- význam Na<sup>+</sup> v transportu pyruvátu do chloroplastů (mechanismus není přesně jasný – možná symport s protony)

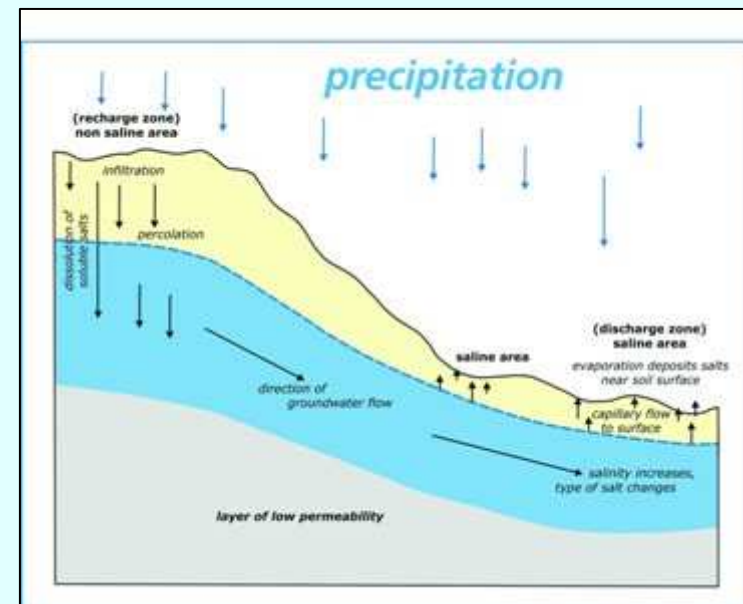


*Panicum  
miliaceum*



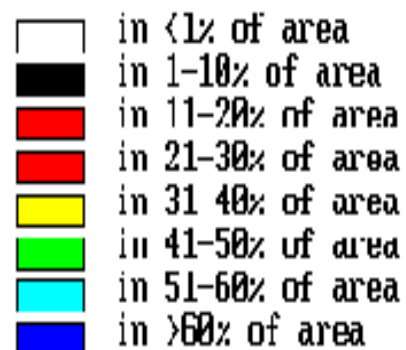
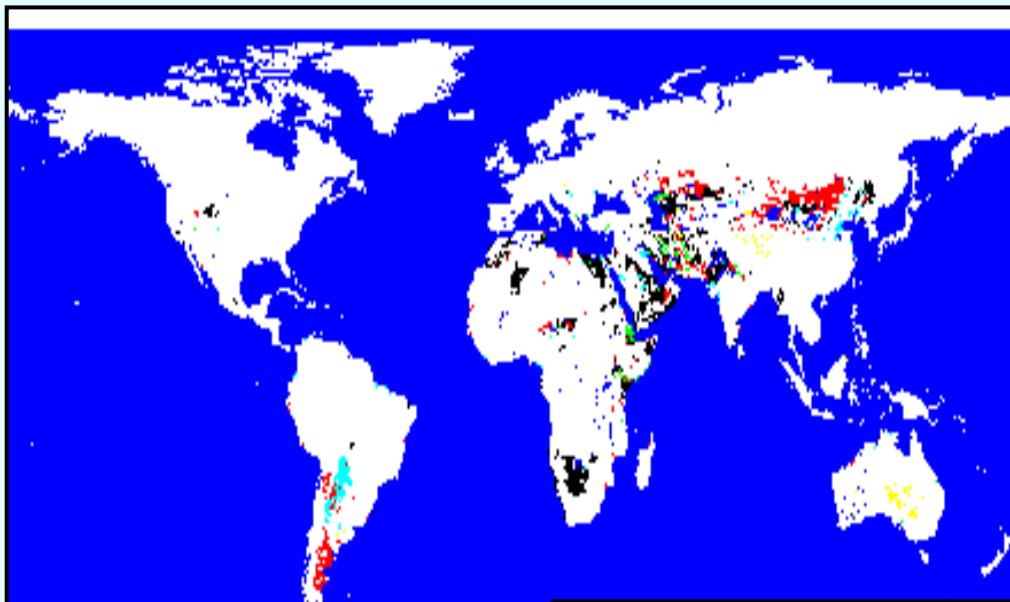
# Růst rostlin v zasolených půdách:

- přímořské oblasti, zemědělská půda



# Land and Plant Nutrition Management Service

Global Network on Integrated Soil Management  
for Sustainable Use of Salt-affected Soils



<http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/topic2.htm>

Total area of saline soils is 397 million ha and of sodic soils 434 million ha at global level. **Of the current 230 million ha of irrigated land, 45 million ha are salt-affected soils (19.5 percent)** and of the almost 1 500 million ha of dryland agriculture, 32 million are salt-affected soils (2.1 percent) to varying degrees by human-induced processes.

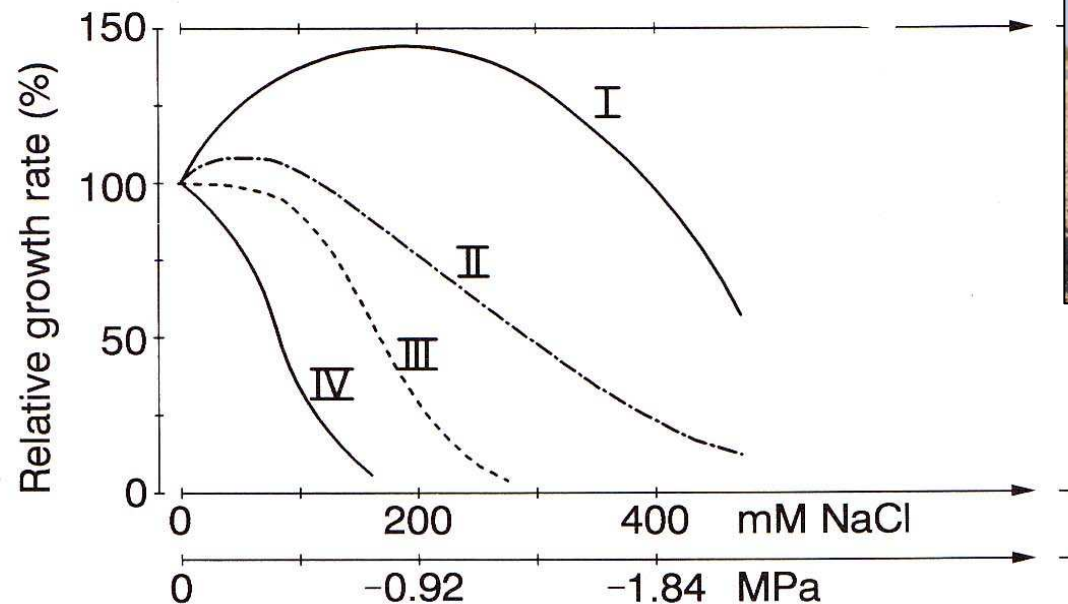
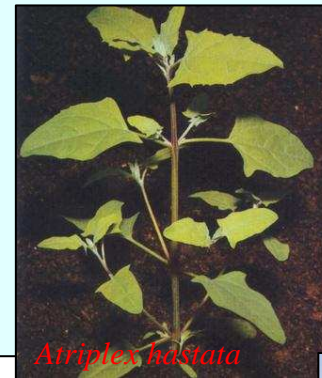
**Table 1: Regional distribution of salt-affected soils in million ha**

Regions	Total area	Saline soils	%	Sodic soils	%
Africa	1899.1	38.7	2.0	33.5	1.8
Asia and the Pacific and Australia	3107.2	195.1	6.3	248.6	8.0
Europe	2010.8	6.7	0.3	72.7	3.6
Latin America	2038.6	60.5	3.0	50.9	2.5
Near East	1801.9	91.5	5.1	14.1	0.8
North America	1923.7	4.6	0.2	14.5	0.8
Total	12781.3	397.1	3.1%	434.3	3.4%



- především NaCl

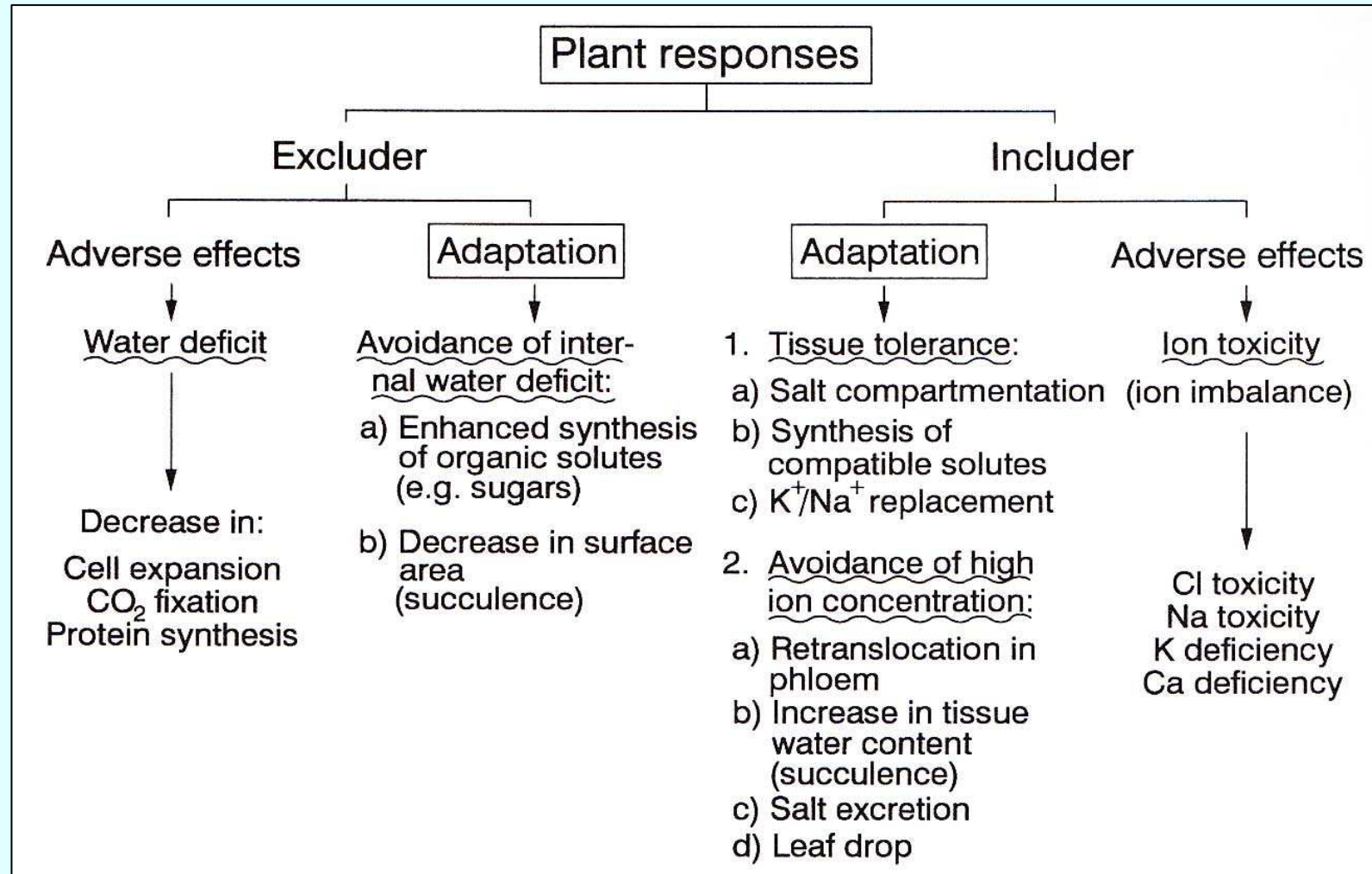
- velké mezidruhové rozdíly v toleranci k zasolení



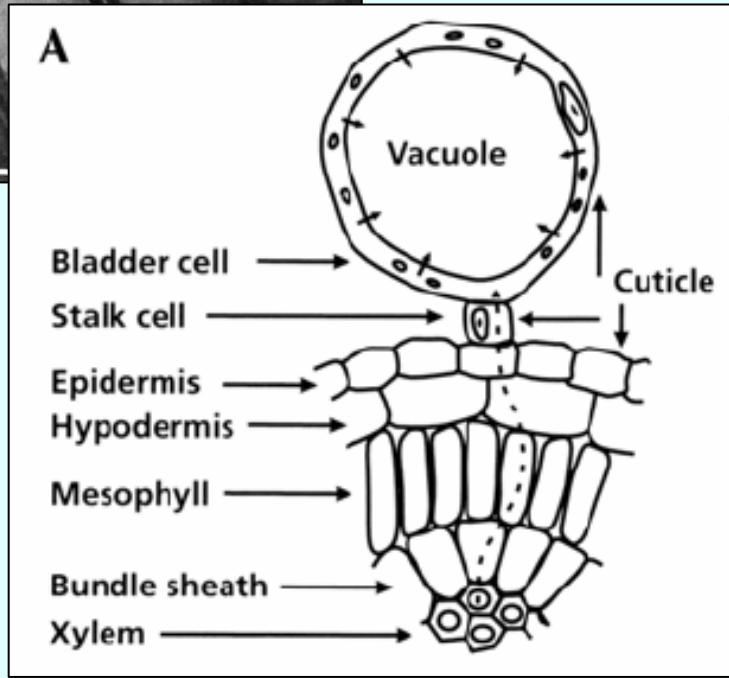
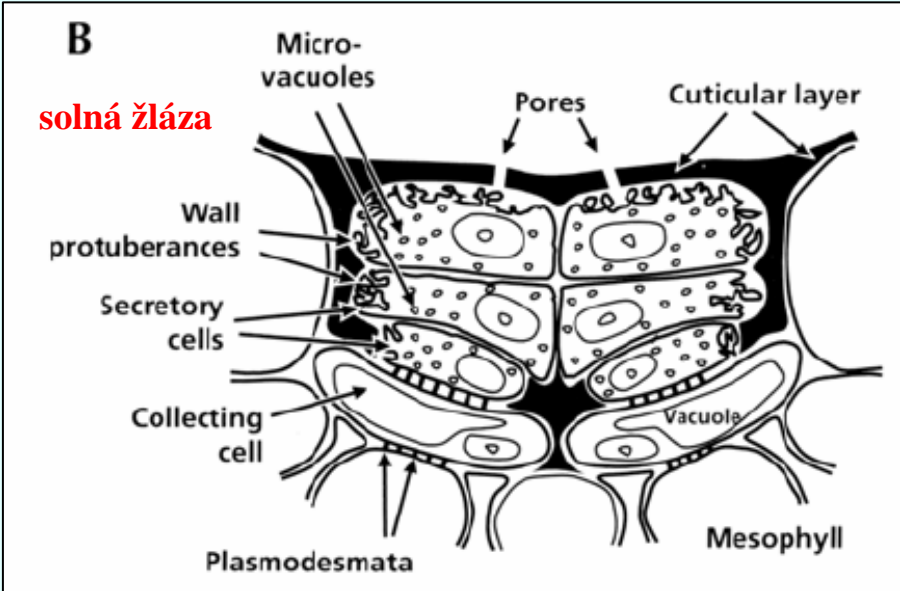
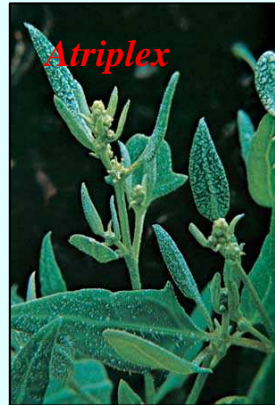
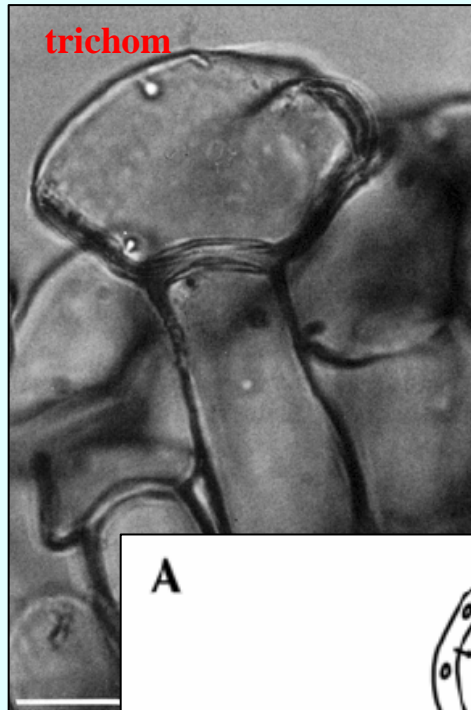
**Fig. 16.21** Growth response of various plant species to increasing substrate salinity and related osmotic potential. I, Halophytes; II, halophilic crop species related to I (e.g., sugar beet); III, salt-tolerant crop species (e.g., barley); IV, salt-sensitive crop species (e.g., bean). (Modified from Greenway and Munns, 1980, with permission from the *Annual Review of Plant Physiology*. Copyright 1980 by Annual Review Inc.)

# Hlavní negativní faktory:

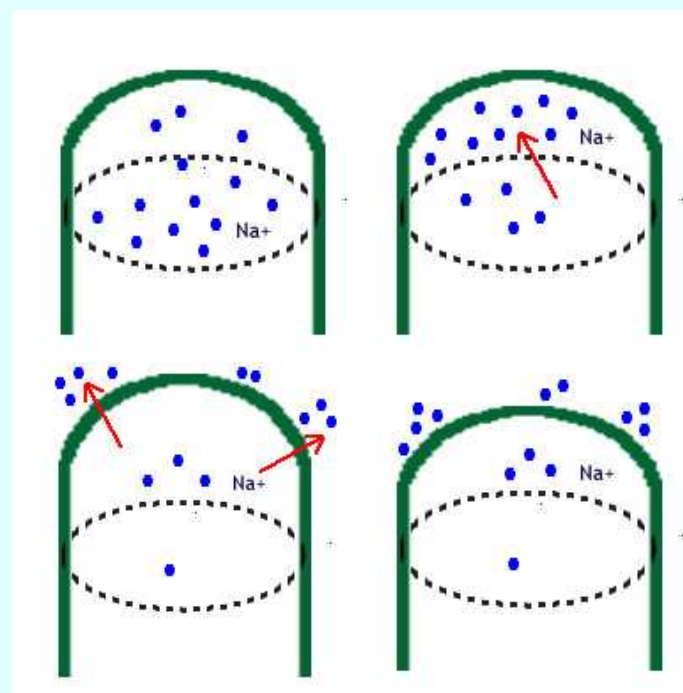
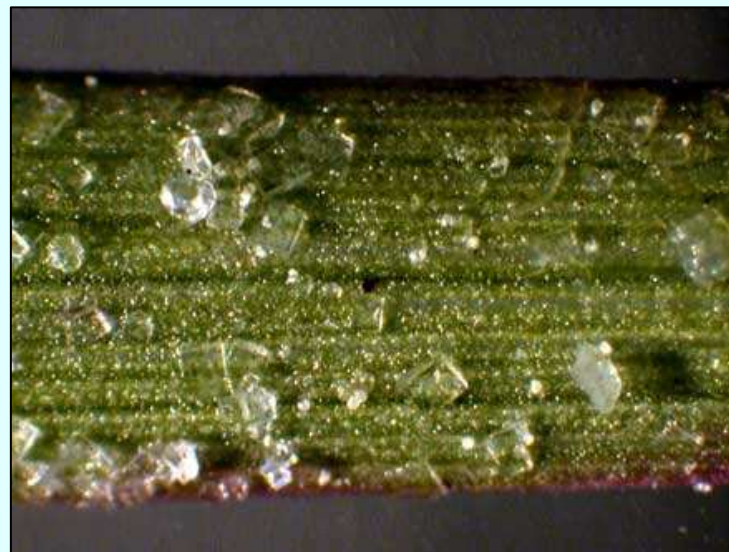
- vodní stres
- toxicita iontů  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$
- nerovnováha v příjmu a distribuci jednotlivých živin v rostlině



# Exkrece solí na povrch listů



## Exkrece solí na povrch listů

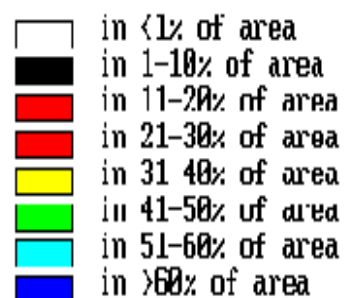
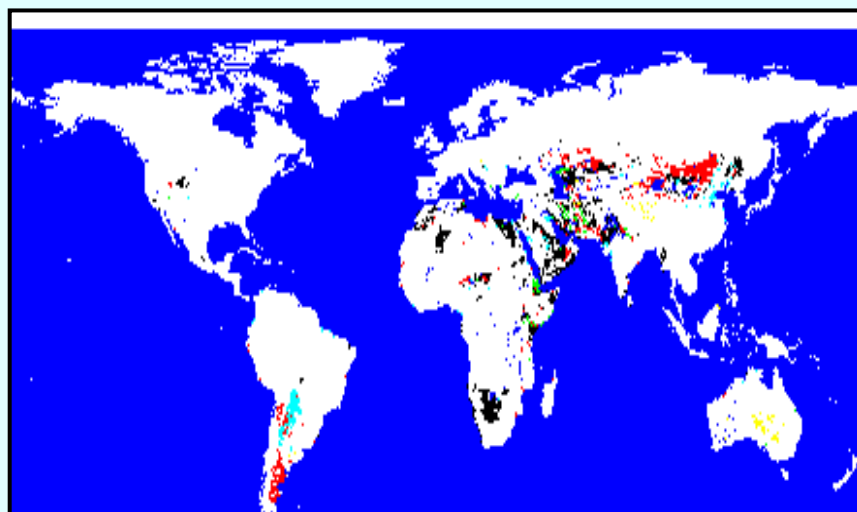


Převzato z: [www.mbari.org/.../justin/salt\\_extrusion.htm](http://www.mbari.org/.../justin/salt_extrusion.htm)

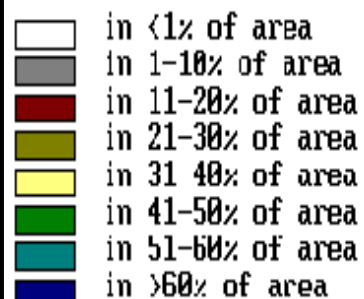
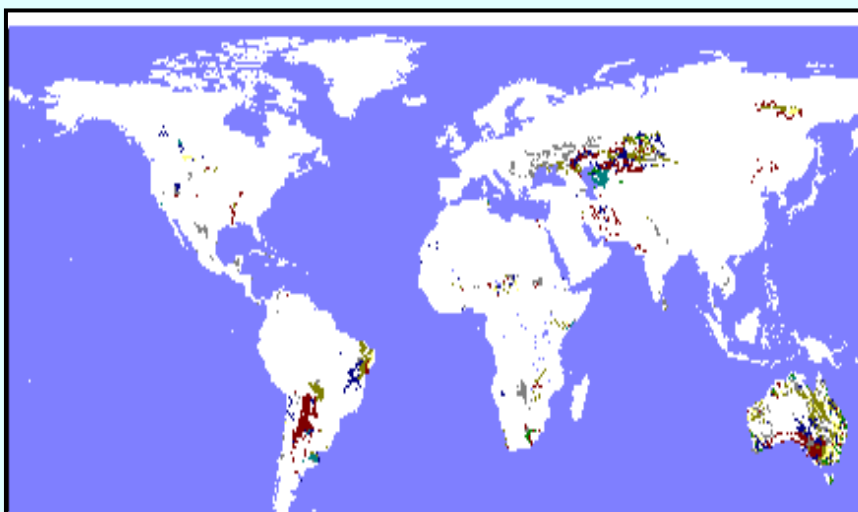
## **Na<sup>+</sup> specifické aspekty salinity (Na<sup>+</sup> toxicita):**

- kompetice o vazebná místa s K<sup>+</sup>
  - regulace enzymatické aktivity
  - proteosyntéza
- osmotický stres
  - akumulace Na<sup>+</sup> v apoplastu listů
  - nedostatek „dobrých“ osmoticky aktivních látek

### Saline Soils of the World



### Sodic Soils of the World



## Jak Na<sup>+</sup> vstupuje do rostliny?

<b>Transport protein</b>	<b>Mode of transport</b>	<b>Membrane location</b>	<b>K<sup>+</sup> : Na<sup>+</sup> Selectivity</b>
<b>KAT/AKT</b> Inward K <sup>+</sup> channels	Passive diffusion	Plasma membrane	Highly selective for K <sup>+</sup>
<b>HKT1</b> High-affinity K <sup>+</sup> transporter	Na <sup>+</sup> -energized	Not known	Transports both Na <sup>+</sup> and K <sup>+</sup>
<b>KUP or HAK</b> High-affinity K <sup>+</sup> transporter	Not known	Not known	Some Na <sup>+</sup> permeability
<b>NSC</b> Non-selective cation channels	Passive diffusion	Plasma membrane	High Na <sup>+</sup> permeability
<b>AtNHX1</b> Na <sup>+</sup> -H <sup>+</sup> exchanger	H <sup>+</sup> -energized	Vacuole and plasma membrane	Not known
<b>LCT1</b> Low-affinity cation transporter	Not known	Not known	Transports both Na <sup>+</sup> and K <sup>+</sup>

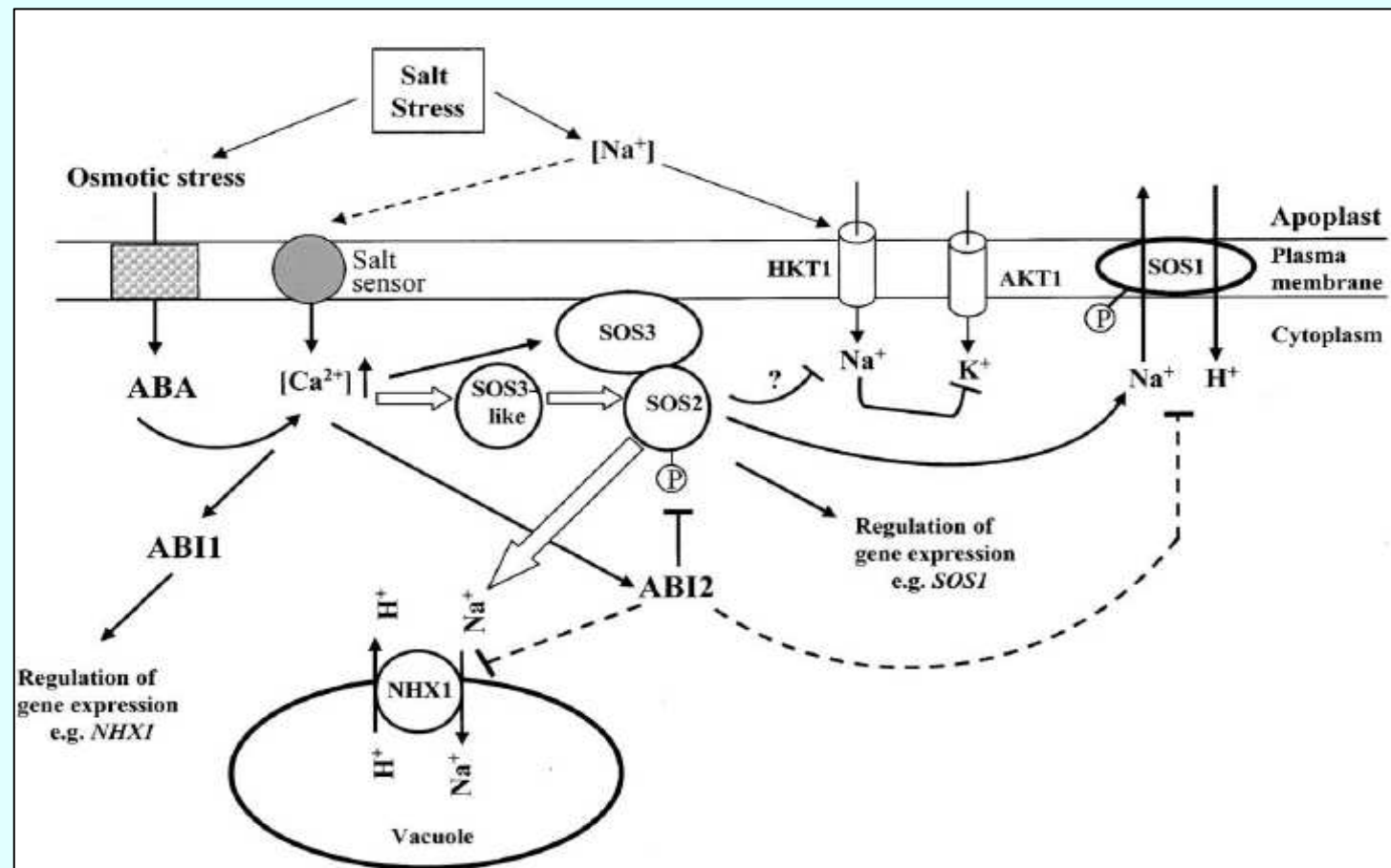
*sos* mutanty *Arabidopsis* (salt overly sensitive) - signální dráha specifická pro Na<sup>+</sup>

SOS3 calcium-binding protein

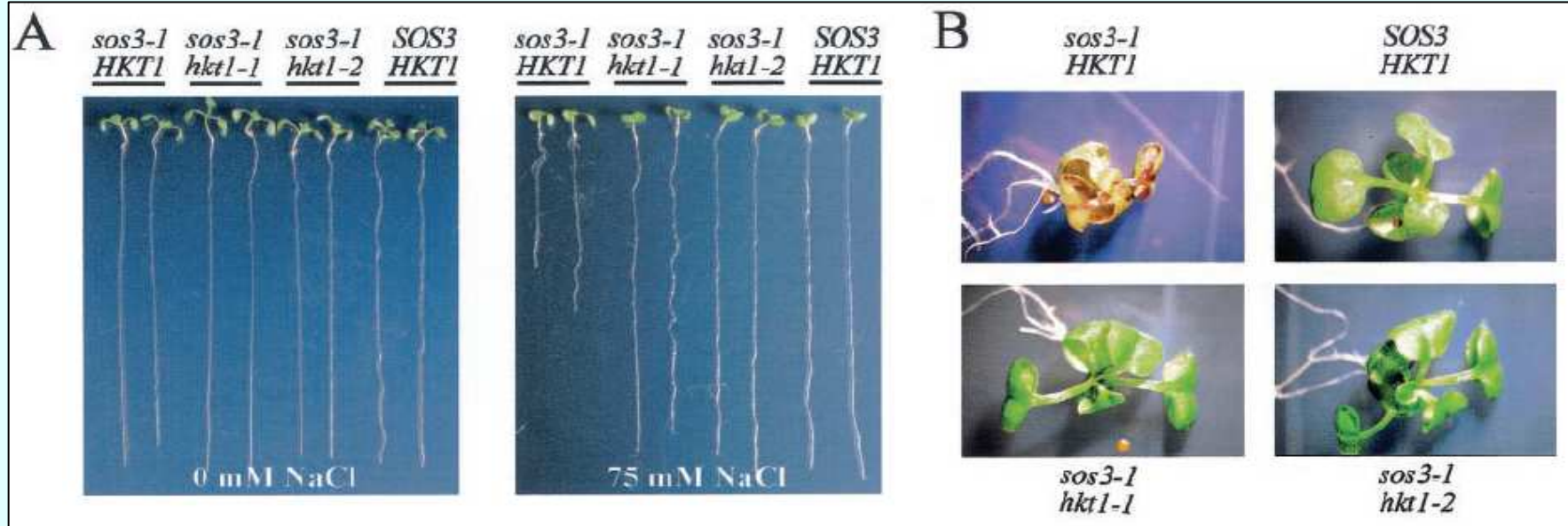
SOS2 ser/thr protein kináza

SOS1 Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> antiporter

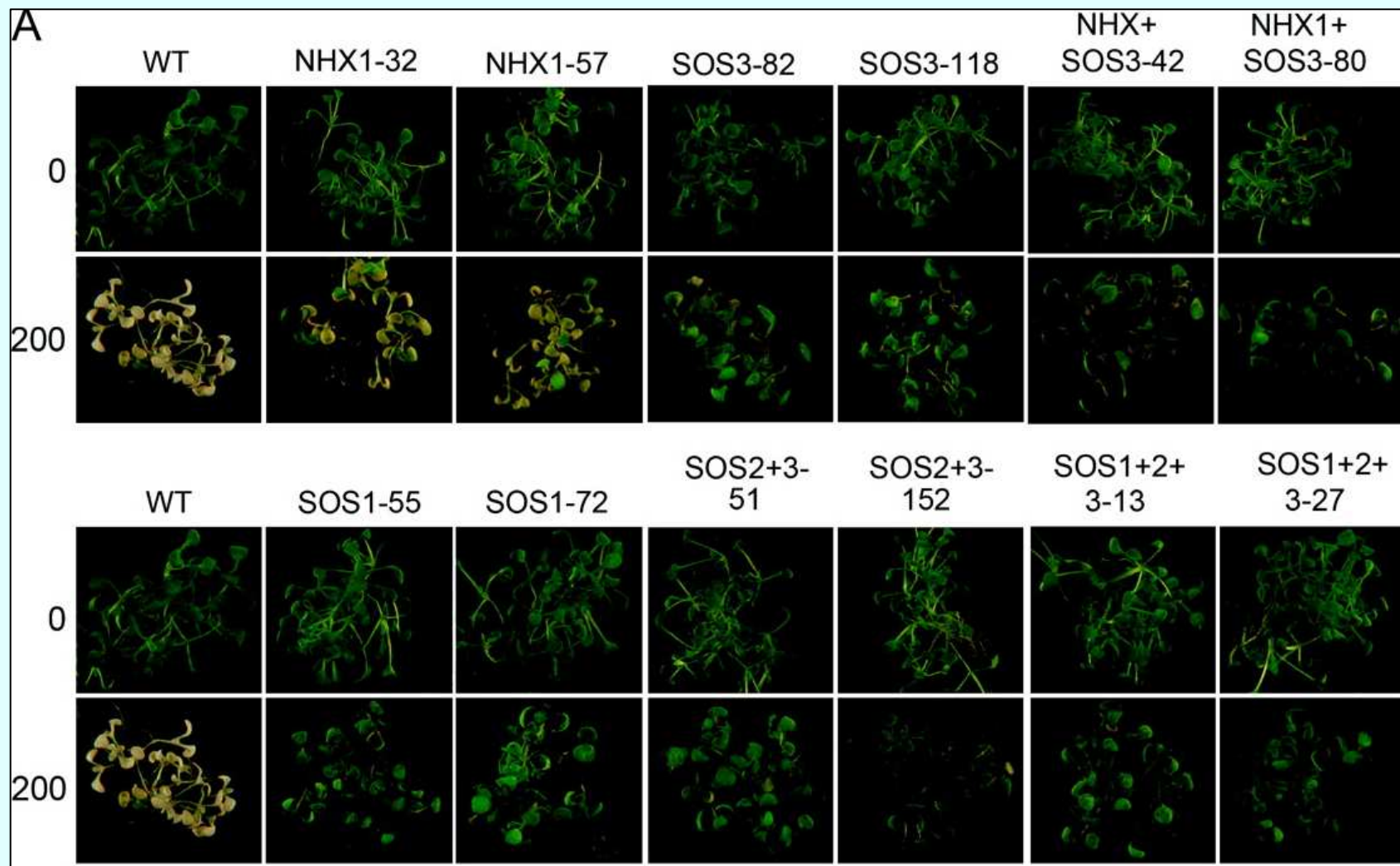
SOS4 PL kináza (syntéza pyridoxalfosfátu)







## Overexprimace *SOS* genů – zvýšení tolerance k NaCl



## Zasolení x genové inženýrství

syntéza osmoticky aktivních látek (Pro, betain, cukerné alkoholy)

ochrana buněčných struktur (lea-like proteiny)

oxidativní stres (glutathion)

homeostáza iontů

transkripční faktory (overexpresse *DREB1A* – dehydration response element binding)

# Křemík

- v půdním roztoku jako kys. křemičitá  $\text{Si(OH)}_4$  14-20 mg Si/l, dostupnost závislá na pH

- podobnosti s kys. boritou

- velké rozdíly v příjmu Si mezi rostlinami  
**akumulátoři x neakumulátoři**

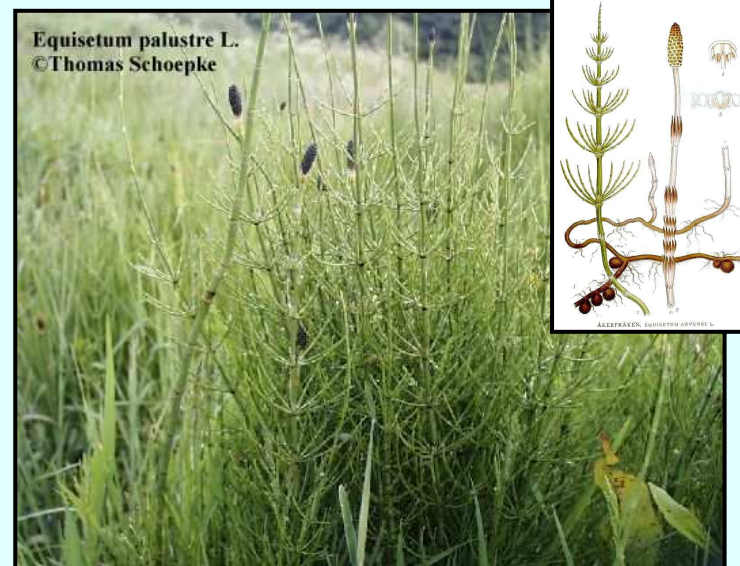
**10-15% DW** přesličky, vodní zástupci trav (např. rýže)

**1-3% DW** suchozemští zástupci trav včetně většiny obilnin, některé dvouděložné

**méně než 0,5% DW** většina dvouděložných

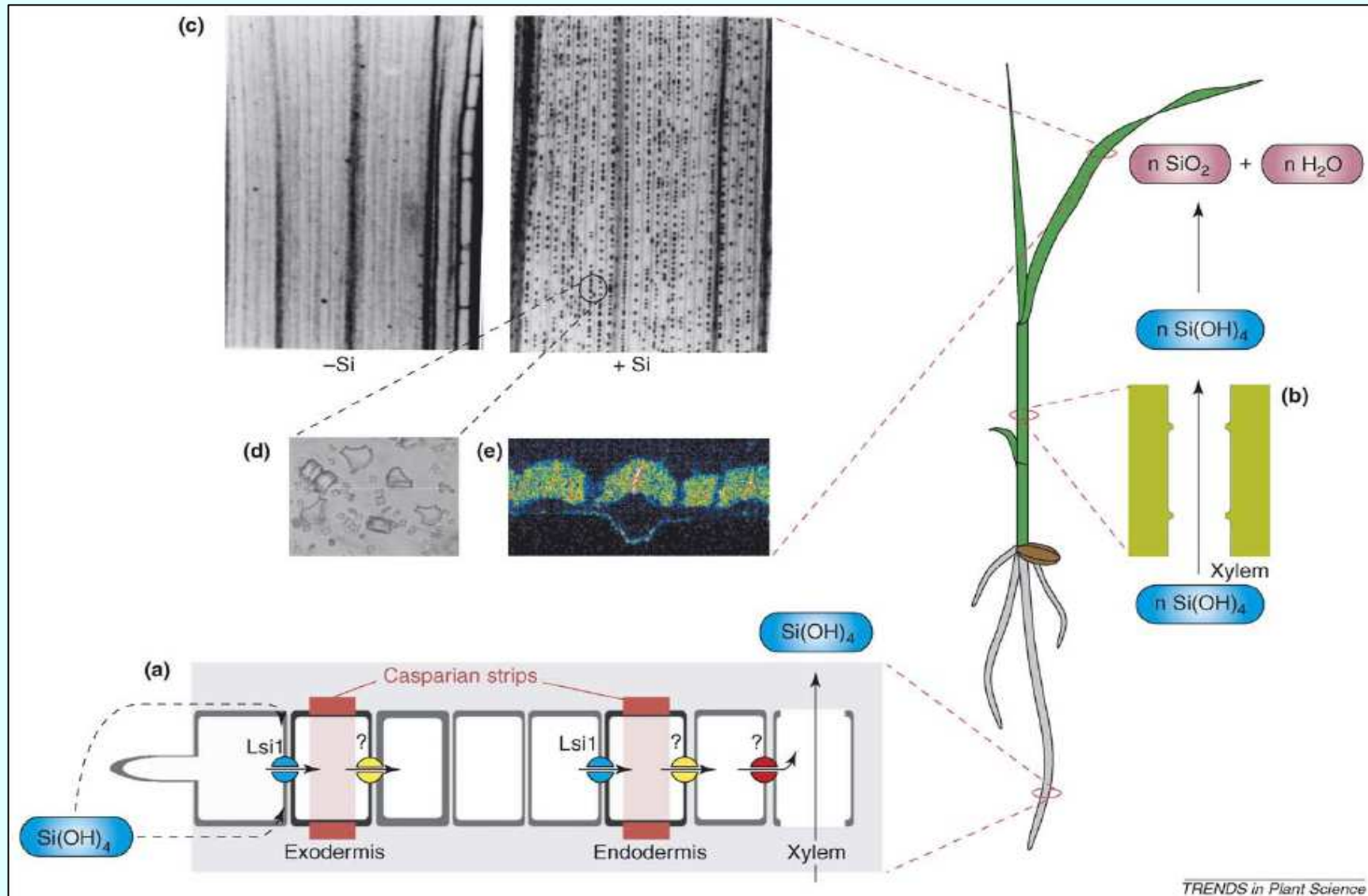
- esencialitu obtížné prokázat (přeslička, rýže, rajče, sója, okurka)

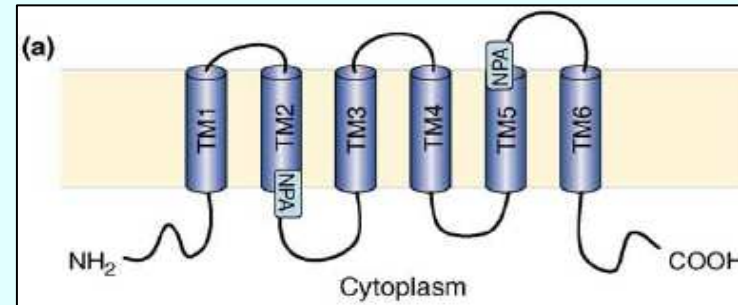
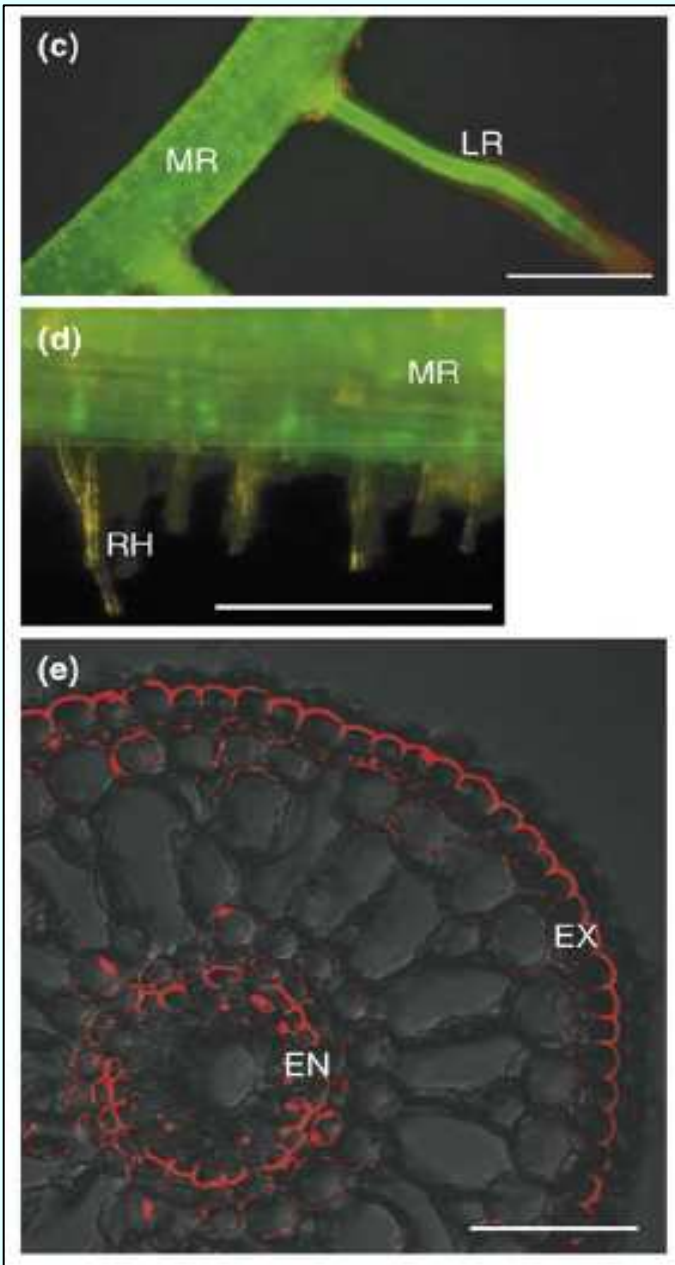
- projevy deficience: nekróza, vadnutí, snížený růst, produkce semen, snížená mech. odolnost stébel



*Oryza sativa*

# Příjem křemíku: gen *Lsi1*

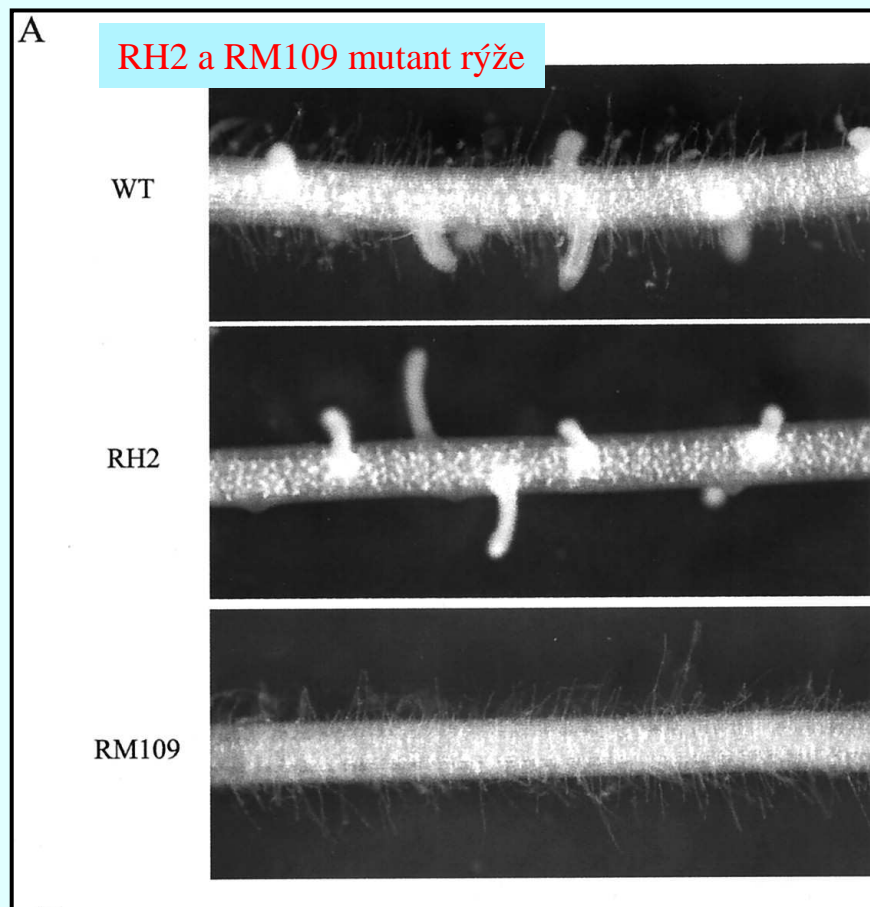




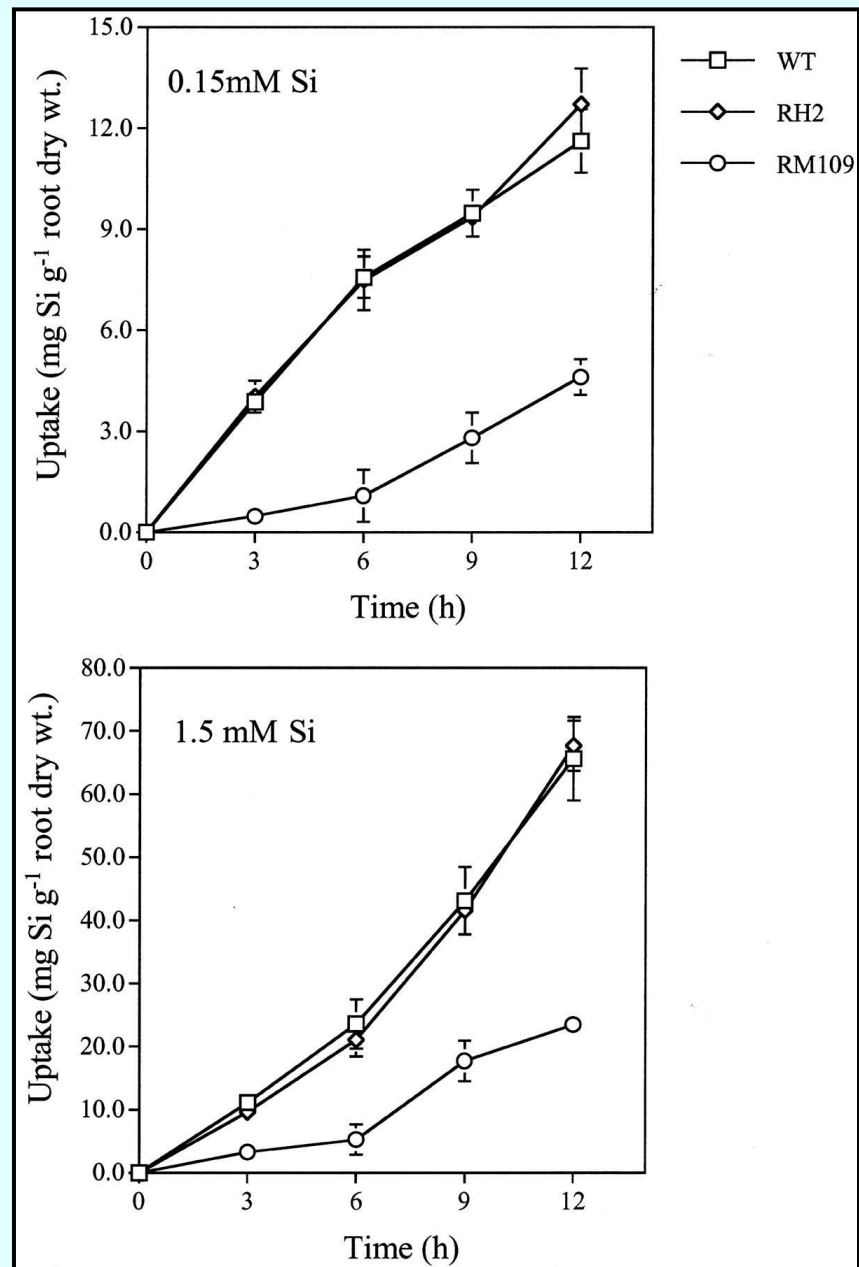
lokalizace a předpokládaná struktura **Lsi1**

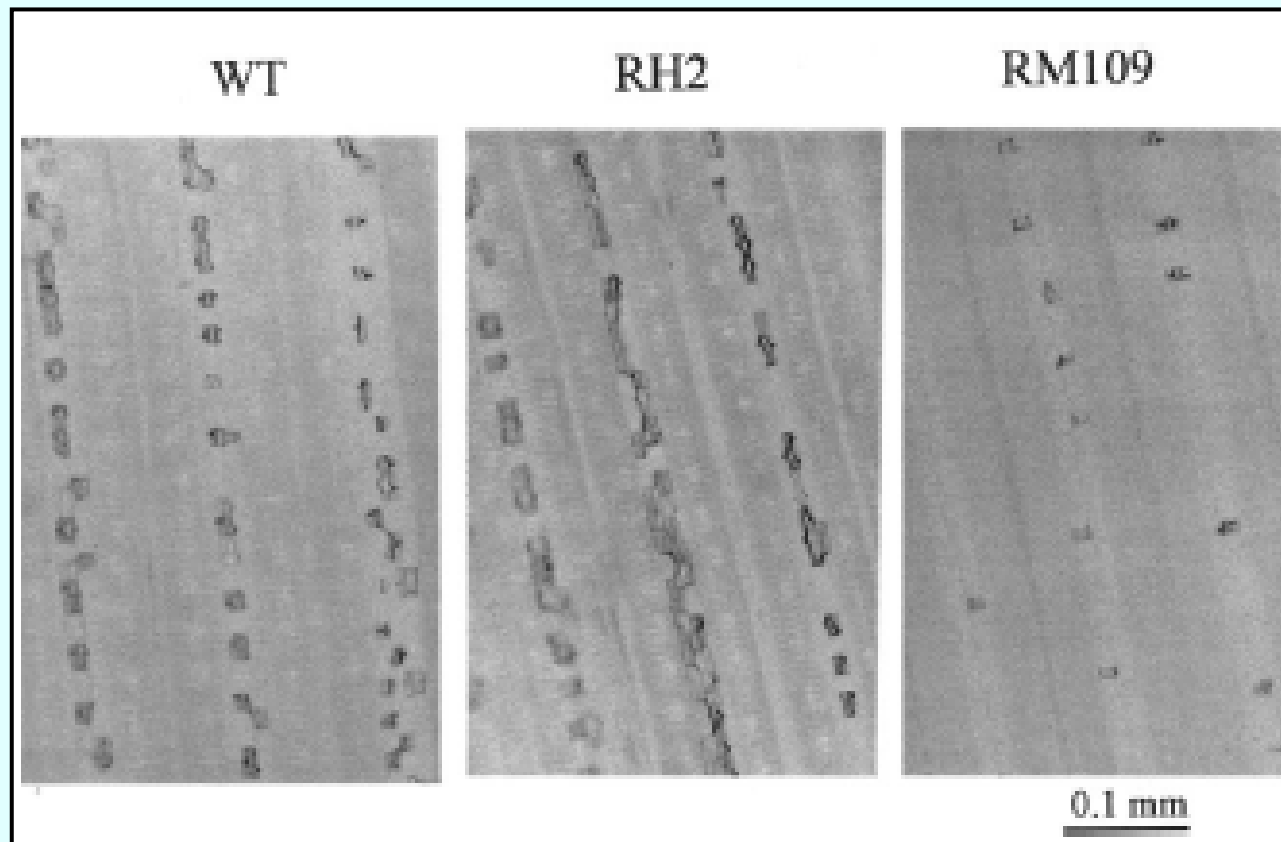
## Příjem křemíku:

- význam laterálních kořenů



Ma et al. 2001





Ma et al. 2001



## Význam křemíku v rostlině:

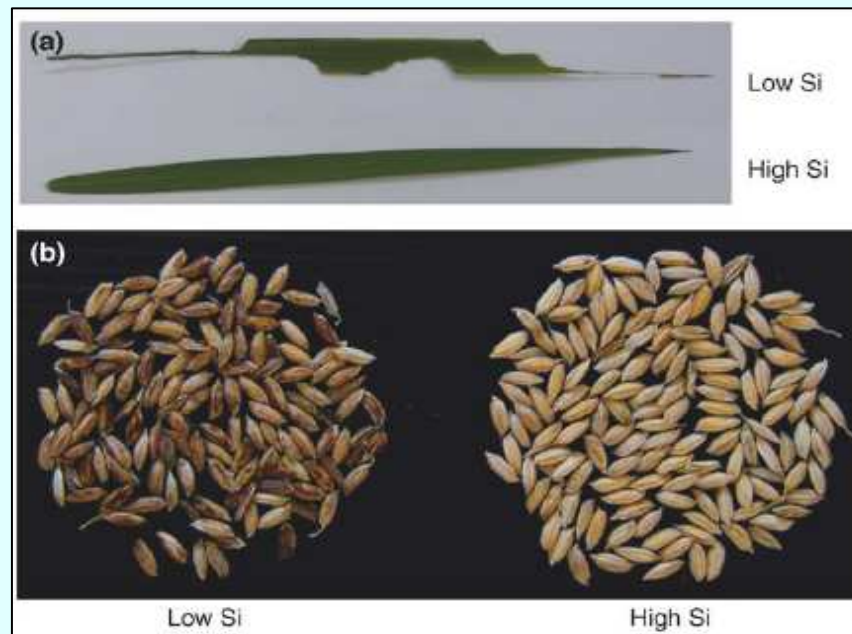
- vliv na mechanickou stabilitu rostliny

a odolnost proti patogenům

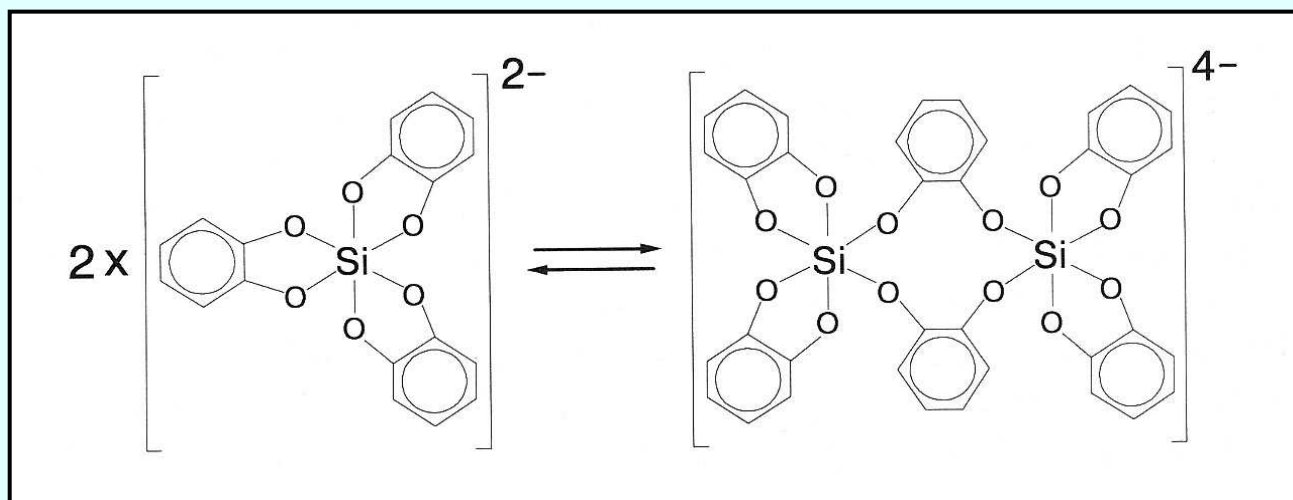
- inertní deposita  $\text{SiO}_2$

- tvorba komplexů s pektiny a polyfenoly

- stimulace obraných mechanismů (chitinázy, peroxidázy, glukonázy)



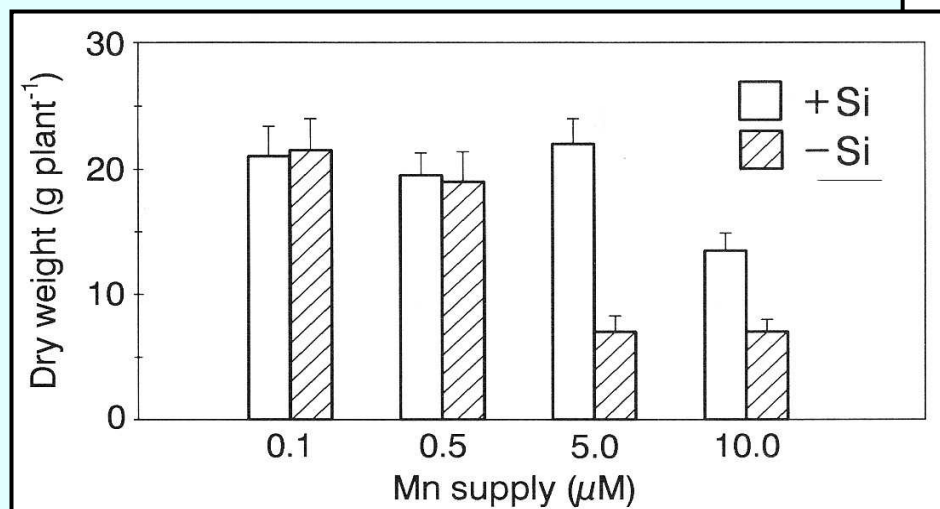
Ma 2006



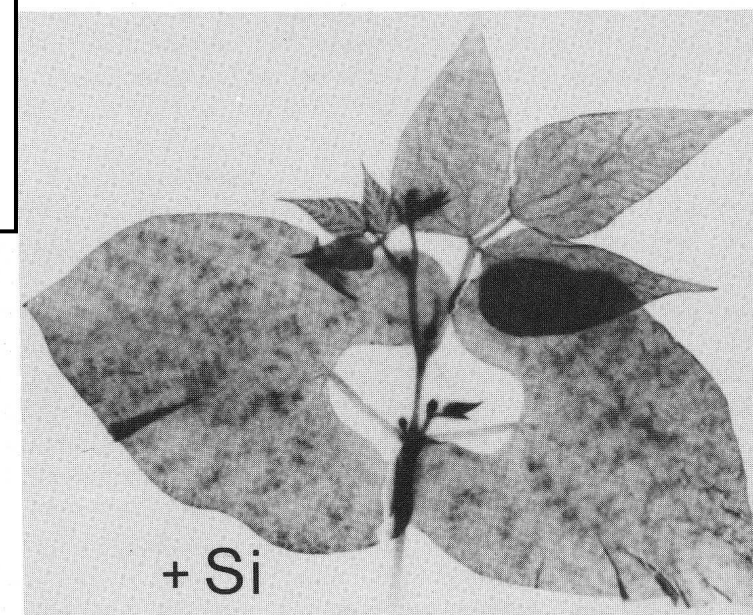
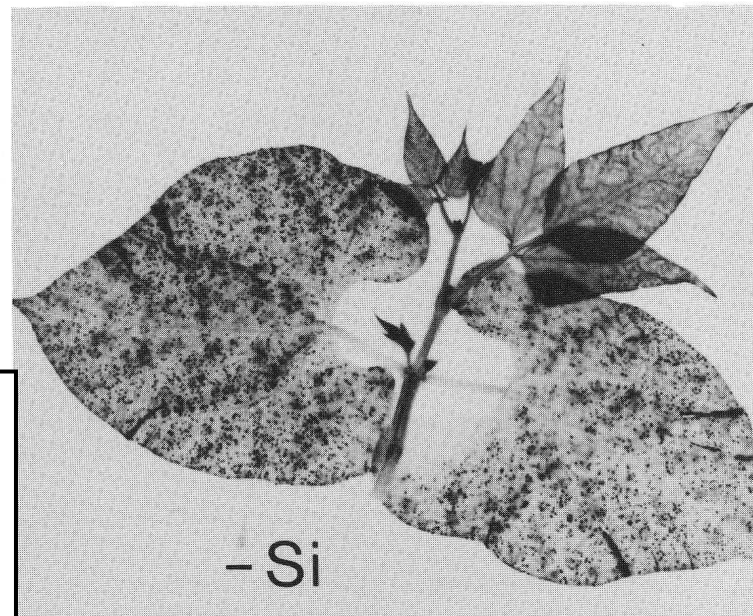
Marschner 1995

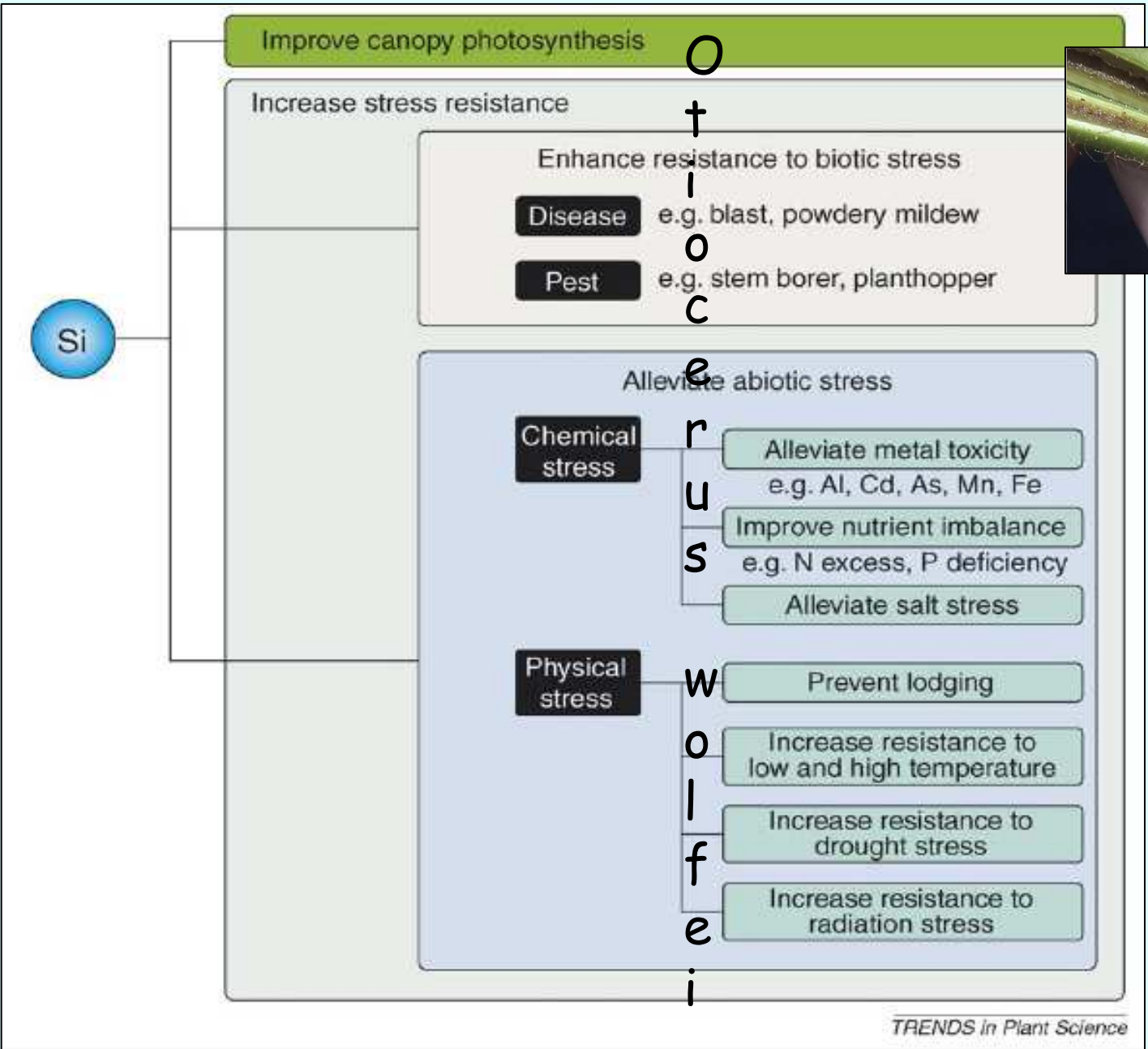
## Význam křemíku v rostlině:

- pozitivní efekt při toxicitě Mn, Fe nebo i Al a Cd



Marschner 1995





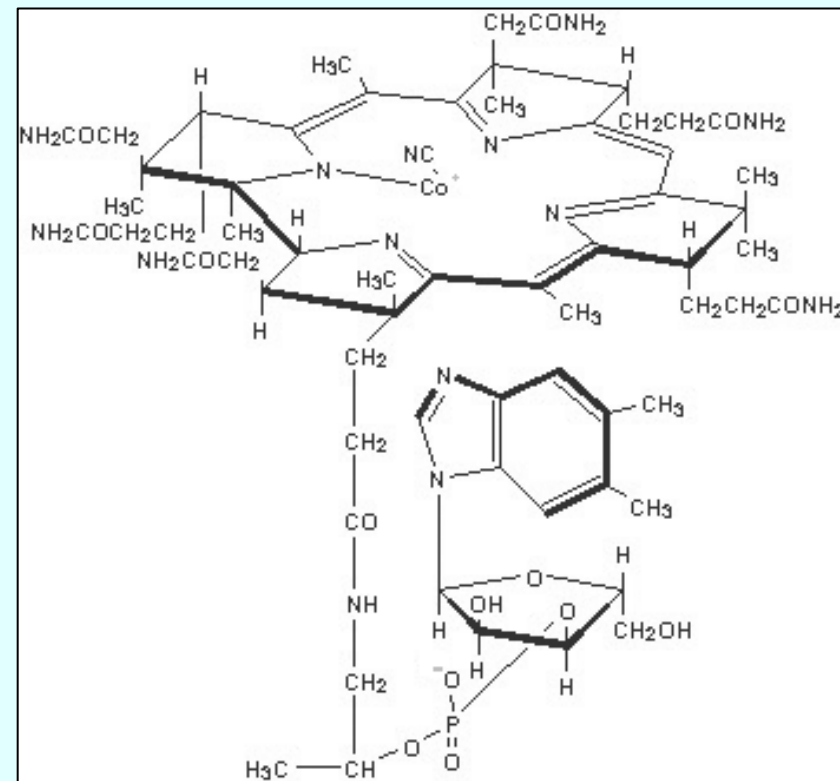
# Kobalt

- přechodný prvek
- intenzita příjmu a distribuce v rostlině závislá na druhu
- požadavek především u rostlin se symbiotickou fixací N – projevuje se jako deficience N
- esenciální pro mikroorganismy  
(vit. B<sub>12</sub> – kobalamin) – Co(II)

methionin syntáza

ribonukleotidreduktáza  
(oxidace ribonukleotidu na  
deoxyribonukleotid)

methylmalonyl-koenzym A mutáza  
(syntéza hemu u bakterie)



# Kobalt

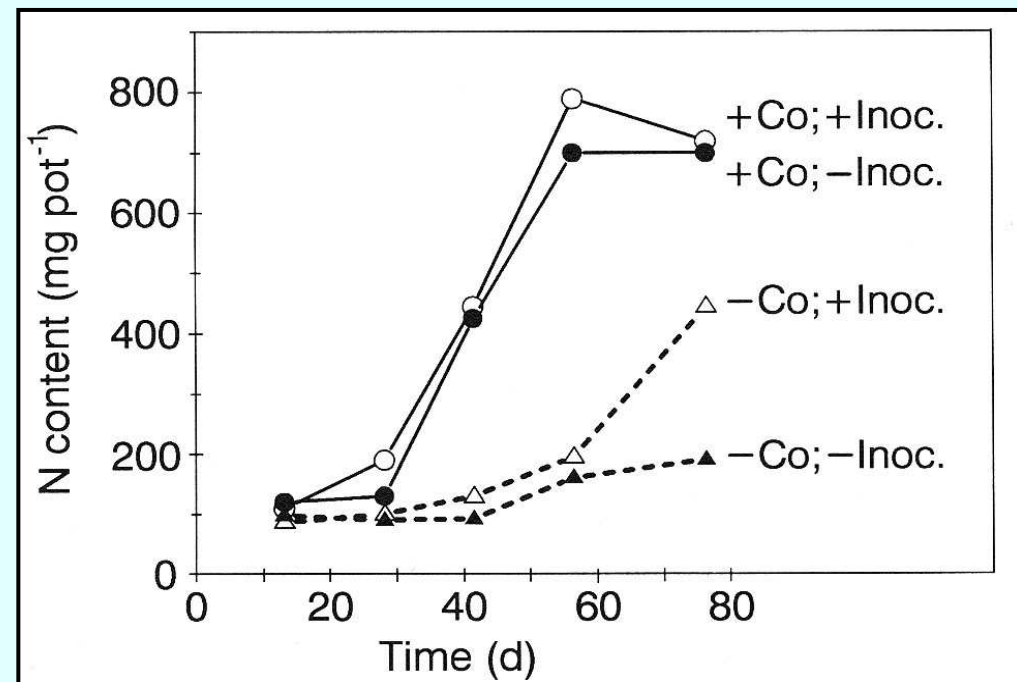
- přechodný prvek
- intenzita příjmu a distribuce v rostlině závislá na druhu
- požadavek především u rostlin se symbiotickou fixací N – projevuje se jako deficience N

- esenciální pro mikroorganismy  
(vit. B<sub>12</sub> – kobalamin) – Co(II)

methionin syntáza

ribonukleotidreduktáza  
(oxidace ribonukleotidu na  
deoxyribonukleotid)

methylmalonyl-koenzym A mutáza  
(syntéz hemu u bakterie)



Marschner 1995

## **Pozitivní vliv kobaltu na rostlinu:**

- stimulace prodlužovacího růstu izolovaných orgánů
- inhibice syntézy ethylénu
- oddálení senescence listů
- zvýšení odolnosti rostliny při vodním stresu
- vliv na akumulaci alkaliodů
- možná účast v syntéze chlorofylu b

## **Toxicita kobaltu:**

- nad  $0,4 \mu\text{g Co g}^{-1} \text{SH}$ , akumulátoři  $4-10 \text{ mg Co g}^{-1} \text{SH}$
- inhibice aktivního transportu iontů
- mitotický jed
- narušení syntézy RNA, pokles obsahu DNA a RNA v buňce (aktivita nukleáz)
- opad listů, diskolorace, snížení růstu prýtu

# Selen

- podobný chemismus jako síra
- výskyt v oxidačních stupních II selenid  $\text{Se}^{2-}$   
IV selenit,  $\text{SeO}_3^{2-}$   
VI selenát  $\text{SeO}_4^{2-}$
- kompetice s  $\text{SO}_4^{2-}$  o vazebná místa  
(příjem do buňky, metabolismus)
- rozdíly v příjmu i toleranci k vyšší koncentraci Se v substrátu  
**akumulátoři x neakumulátoři**
- toxicita nad 10-100  $\mu\text{g Se g}^{-1}$  SH,



*Astragalus sp.*



*Stanleya pinnata*

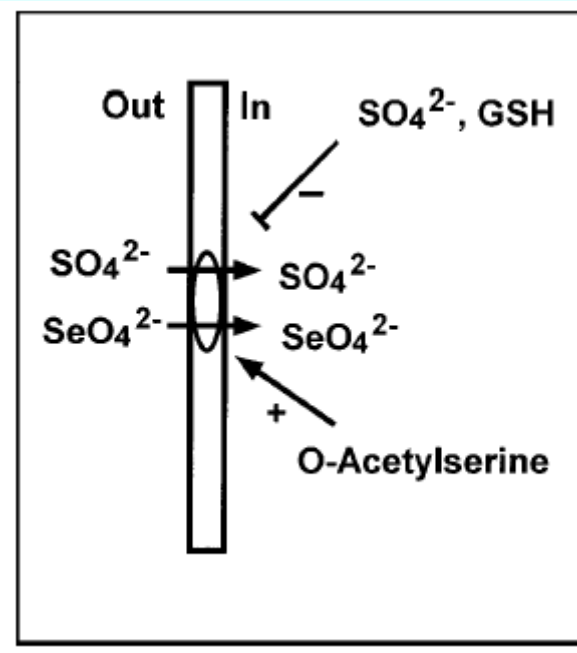


Marschner 1995

Selenium Contents in Shoots of Accumulator and Non-Accumulator Species Growing on a Soil with 2–4 mg Se kg <sup>-1a</sup>	
Plant species	Content (mg Se kg <sup>-1</sup> dry matter)
<i>Astragalus pectinalus</i>	4000
<i>Stanleya pinnola</i>	330
<i>Gutierrezia fremontii</i>	70
<i>Zea mays</i>	10
<i>Helianthus annuus</i>	2

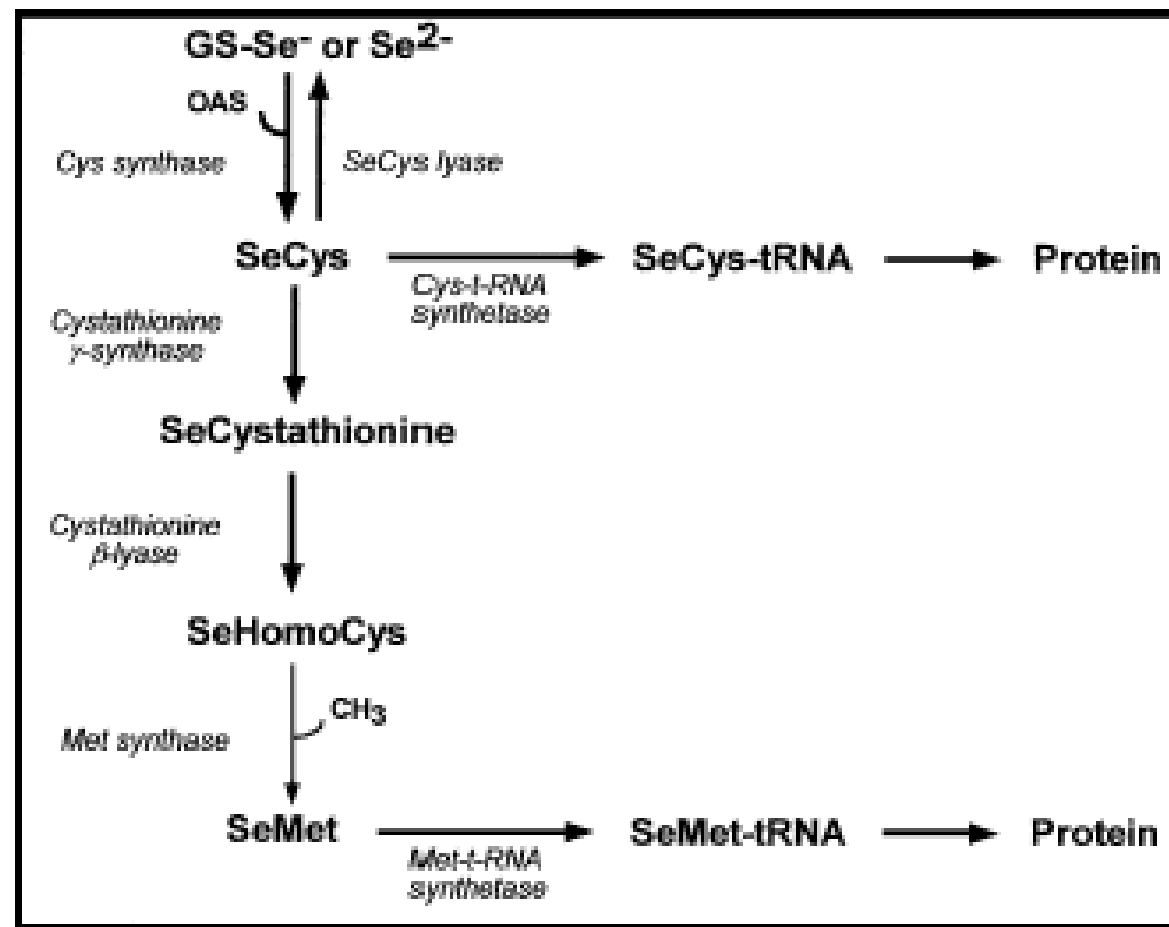
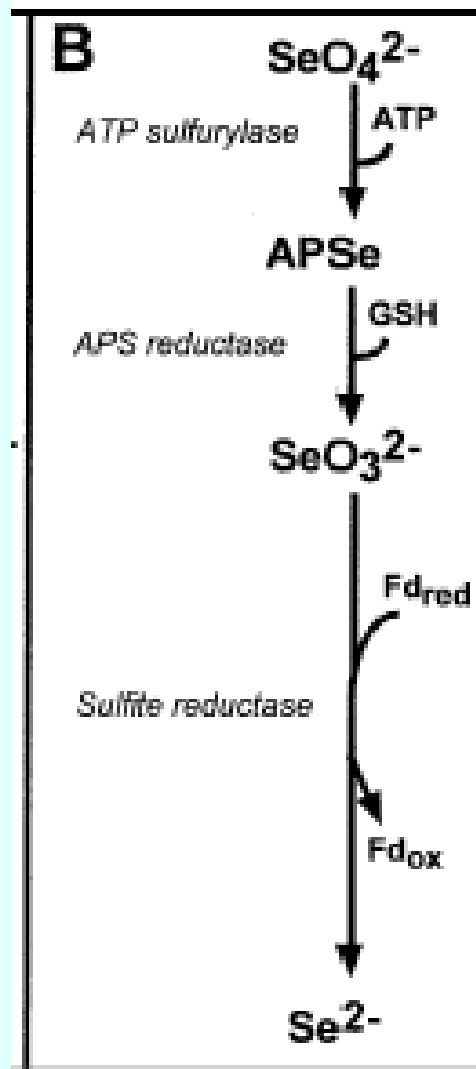
<sup>a</sup>Based on Shrift (1969).

## Příjem selenu:



Terry et al. 2000





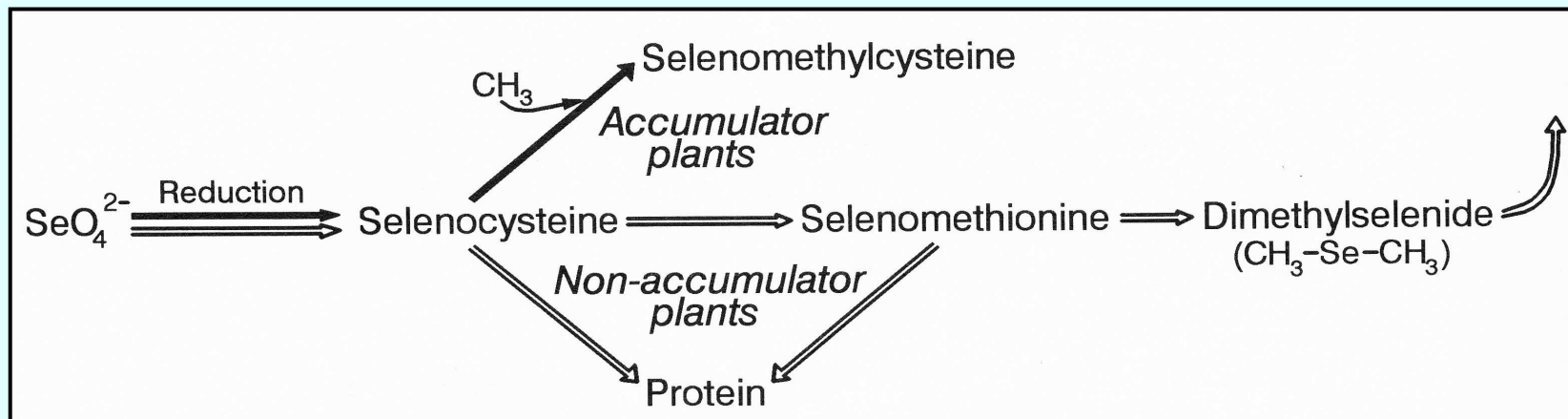
Terry et al. 2000

## Pozitivní vliv selenu na rostlinu:

- zvýšení antioxidační kapacity rostliny a schopnosti tolerovat UV stres

## Toxicita selenu:

- interakce s metabolismem S (vznik SeCys a SeMet)
  - narušení funkce proteinů
- tolerance
  - kompartmentace Se ve vakuole
  - přeměny SeCys a SeMet na neproteinogenní AK



- esencialita a toxicita Se pro živočichy

- součást glutathion peroxidázy

- akutní a chronické otravy - slepota, paralýza, smrt

- ztráta vitality

# Titan

- hojně zastoupený v zem. kůře, málo rozpustný (pH 4-8)
  - ilmenit** (titanát železitý)
  - rulit** (dioxid titanu)
- toxicita minimálně
- vliv Ti na rostliny:
  - stimulace růstu
  - stimulace příjmu iontů
  - zvýšení obsahu esenciálních prvků v rostlině
  - zvýšení aktivity některých enzymů (peroxidáza, kataláza, NR)
  - zvýšení obsahu org. kyselin v kořenech
  - zvýšení obsahu askorbátu, chlorofylu a a b
- ? předpokládané mechanismy účinku
  - účast redoxního systému  $Ti^{4+}/Ti^{3+}$  na redukci Fe v rostlině
  - regulace enzymatické aktivity
  - účast ve fotosyntetických procesech
- ? stimulace obraných mechanismů rostliny, význam redukce nitrátu