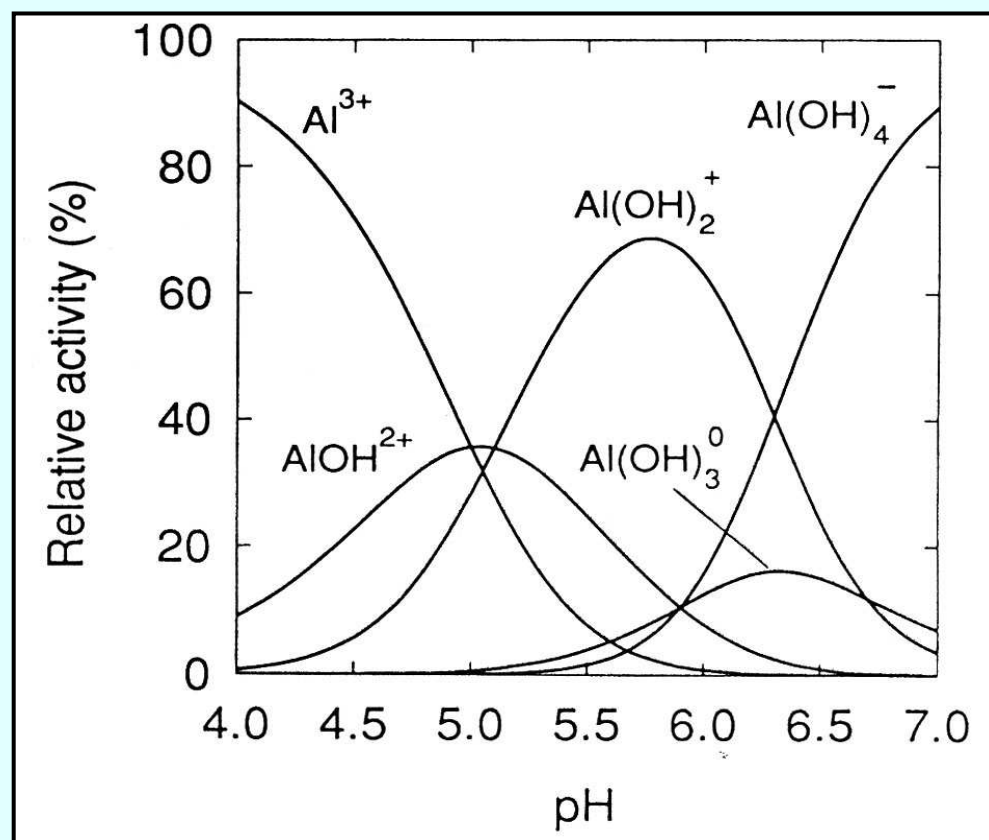


Toxické prvky

Al, Cd, Pb, Cr, Hg

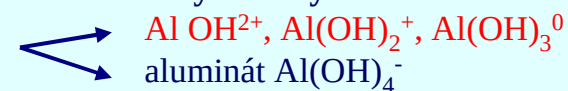
Hliník

- Al tvoří 8% zem. Kůry
- v roztoku: 1 mg/l při pH > 5,5

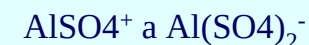


Formy Al v roztoku a jejich toxicita pro rostliny:

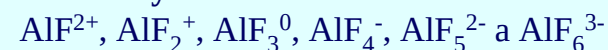
- Monomerní hydroxidy:



- Sírany:



- Fluoridy:



- Organické komplexy:

citrát, oxalát > malát > sukcinát

- Polymerní hydroxid hliníku Al_{13}



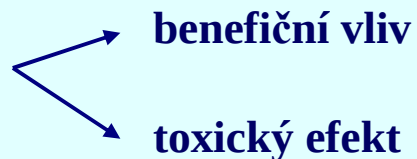
- v roztoku s vyšším poměrem OH-/Al, při pH kolem 4,5
- nestabilní intermediát při precipitaci pevného Al(OH)_3^0

- Polyvalentní kationty Al:



- podobně také kationty Ga, In, La, Sc

Působení hliníku na rostliny:



- reakce rostlin na přítomnost Al^{3+}

- citlivé druhy (pšenice, ječmen, čirok)
- středně citlivé druhy (kukuřice, hrách, žito)
- rostliny tolerantní k Al

- Al-excluders:

Melaleuca cajuputi, *Acacia mangium*, *Oryza sativa*

- Al root-accumulators:

Vaccinium macrocarpon, *Polygonum sachalinense*

- Al-accumulators: zástupci asi 30 čeledí (např. Asteraceae, Caesalpiniaceae, Euphorbiaceae, Melastomataceae, Myrtaceae, Polygonaceae, Rubiaceae a Theaceae)

Camellia sinensis, *Melastoma malabathricum*, *Hydrangea macrophylla*



Camellia thea
(*Thea sinensis*)



akumulátoři - 1000 μg Al/g SH
jehličnany - 25-500 μg /g SH

Hydrangea
macrophylla

Melastoma
malabathricum



Benefiční vliv Al:

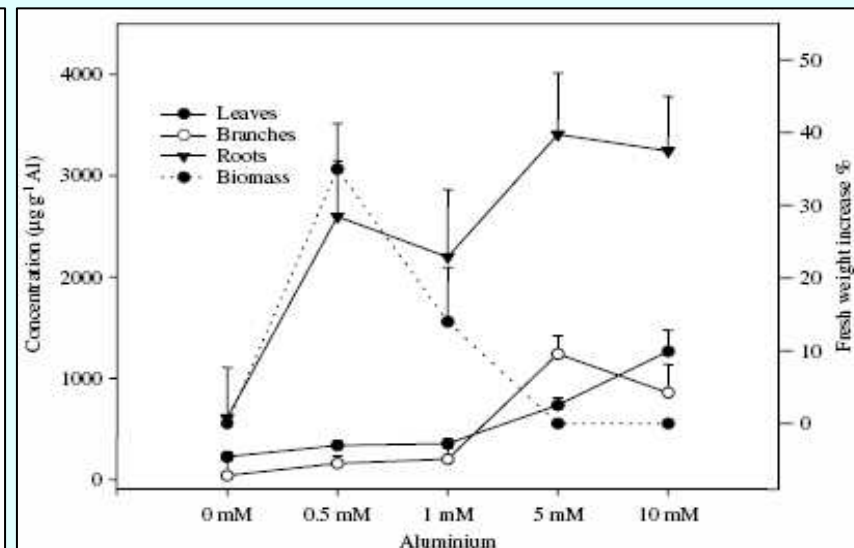
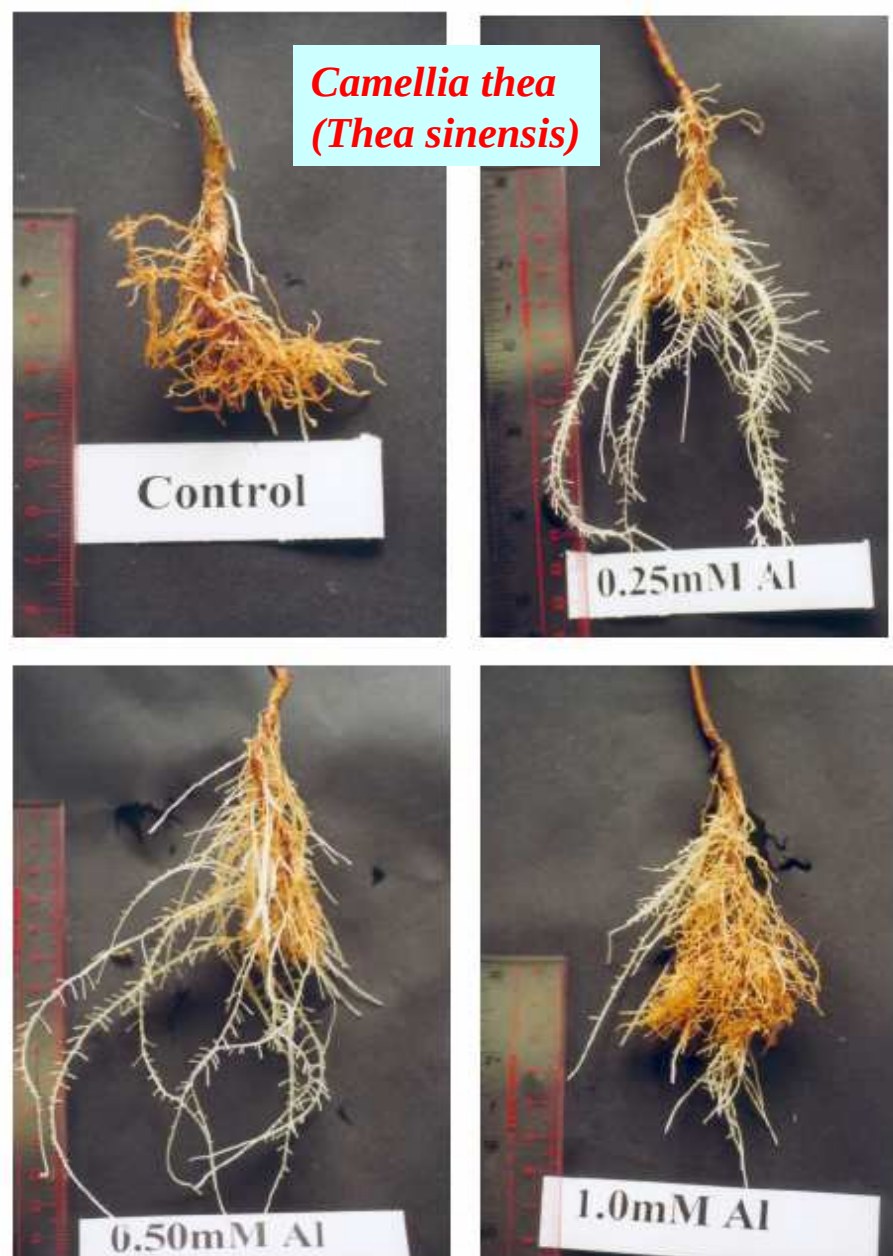
- problém kultivace
- stimulace růstu
 - 71,4 - 185 μM Al (cukrová řepa, kukuřice, některé bobovité)
 - 1000-6400 μM Al (čajovník)
- stimulace příjmu N
- pozitivní vliv při toxicitě jiných prvků (těžké kovy)



Camellia thea
(*Thea sinensis*)



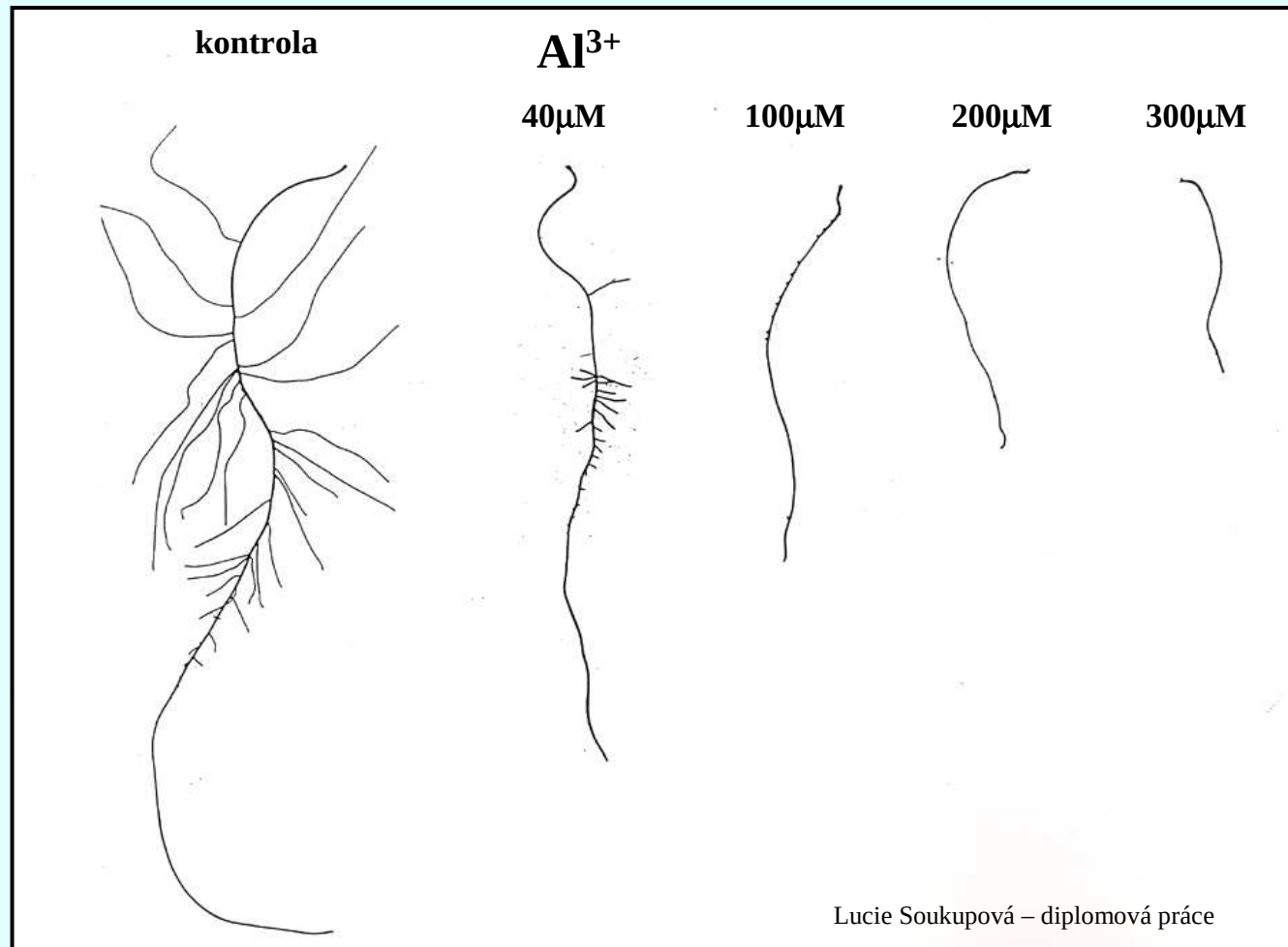
Camellia thea
(*Thea sinensis*)



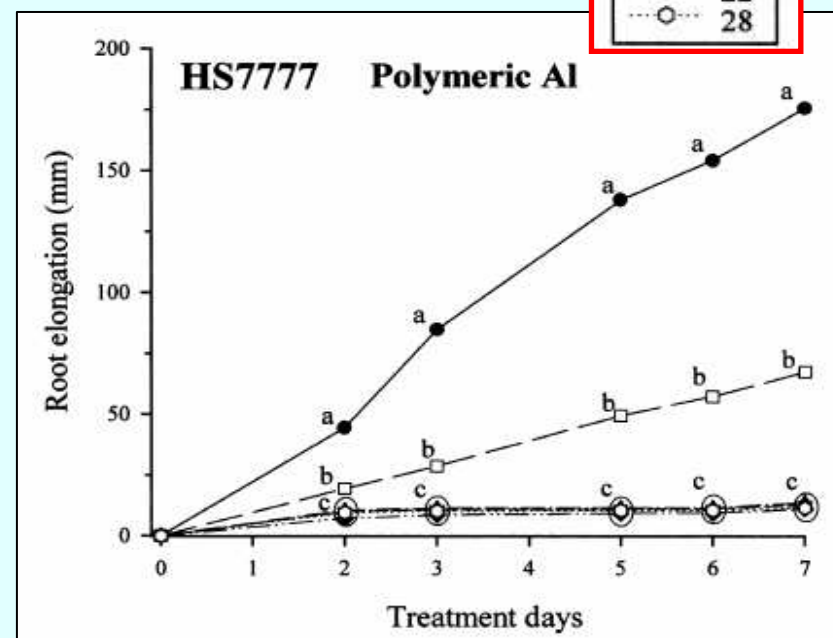
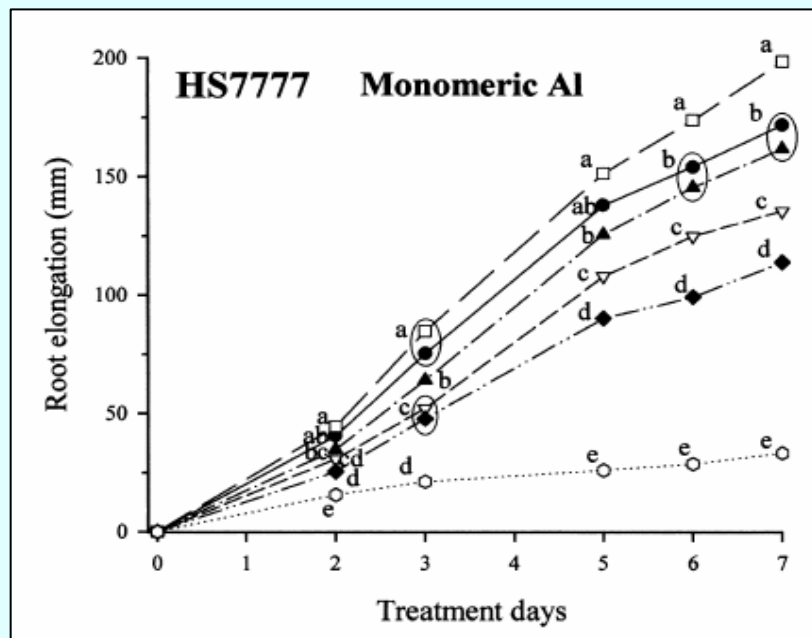
Toxické působení Al:

- Inhibice elongace kořenů

-negativní efekt na příjem živin a vody



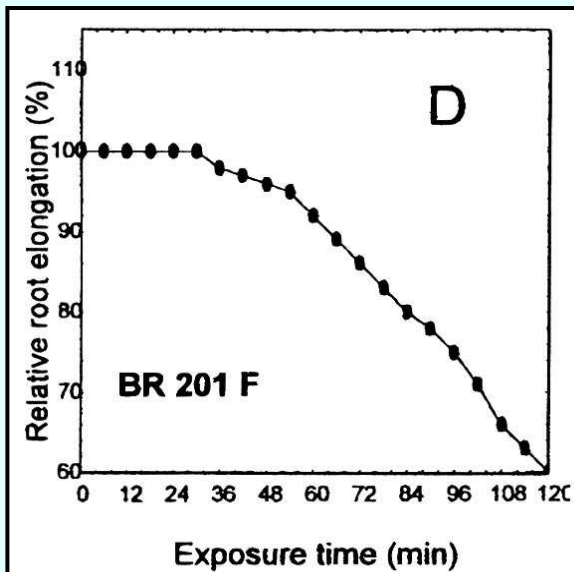
Kukuřice – kultivar citlivý k Al



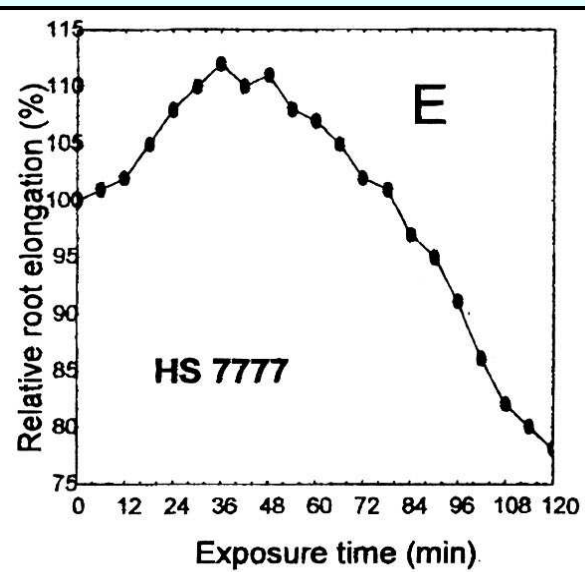
Comin 1999

- indikátor citlivosti

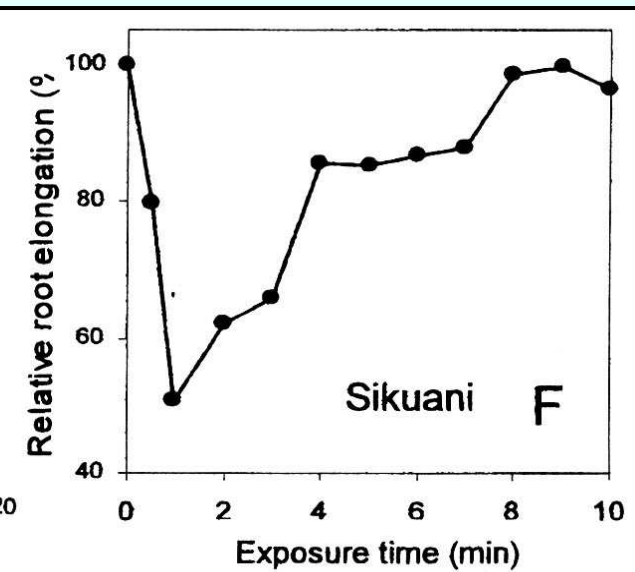
toxický efekt



efekt hormeze



tolerance



Barcelo a Poschenrieder 2002

Příčiny inhibice elongace kořenů:

-inhibice prodlužování buněk

- interakce Al s kortikálními mikrotubuly
- vazba Al v buněčné stěně
- inhibice basipetálního transportu auxinů
- ? zvýšená syntéza ethylénu

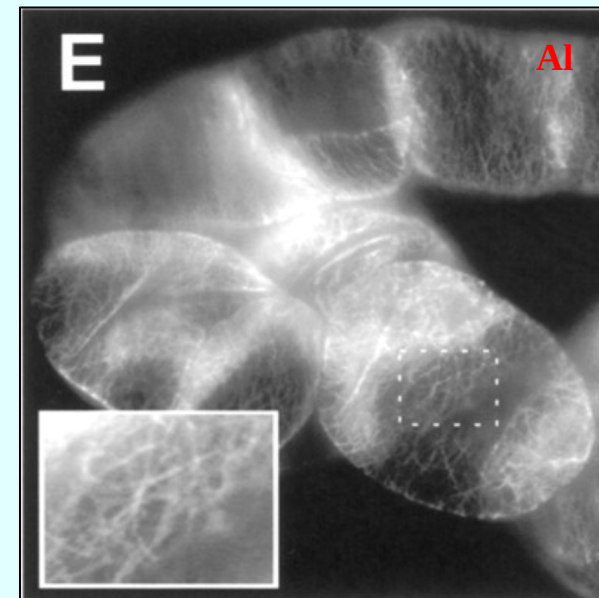
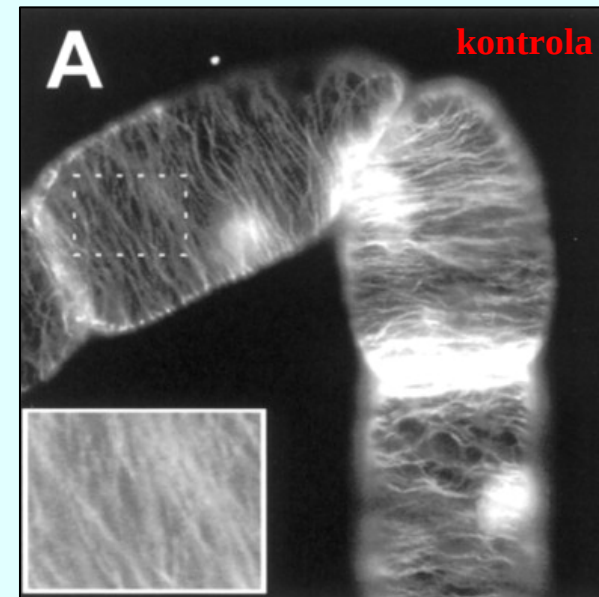
-inhibice dělení buněk apikálního meristému

- interakce Al s cytoskeletem
- vazba Al na DNA

-interakce Al^{3+} s plasmalemou

- afinita k membránovým fosfolipidům

- poškození apikálních částí kořene



Příčiny inhibice elongace kořenů:

-inhibice prodlužování buněk

- interakce Al s kortikálními mikrotubuly
- vazba Al v buněčné stěně
- inhibice basipetálního transportu auxinů
- ? zvýšená syntéza ethylénu

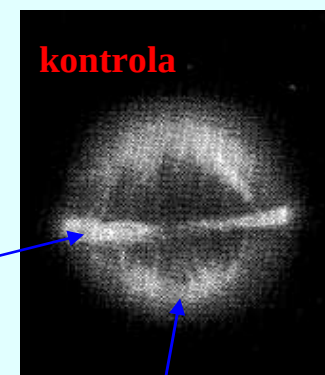
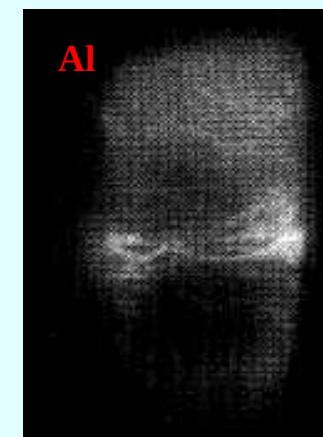
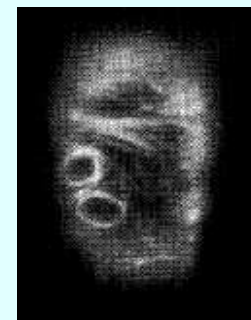
-inhibice dělení buněk apikálního meristému

- interakce Al s cytoskeletem
- vazba Al na DNA

-interakce Al^{3+} s plasmalemou

- afinita k membránovým fosfolipidům

- poškození apikálních částí kořene



Preprofázní prstenec

Počínající kondenzace chromatinu

Příčiny inhibice elongace kořenů:

-inhibice prodlužování buněk

- interakce Al s kortikálními mikrotubuly
- vazba Al v buněčné stěně
- inhibice basipetálního transportu auxinů
- ? zvýšená syntéza ethylénu

-inhibice dělení buněk apikálního meristému

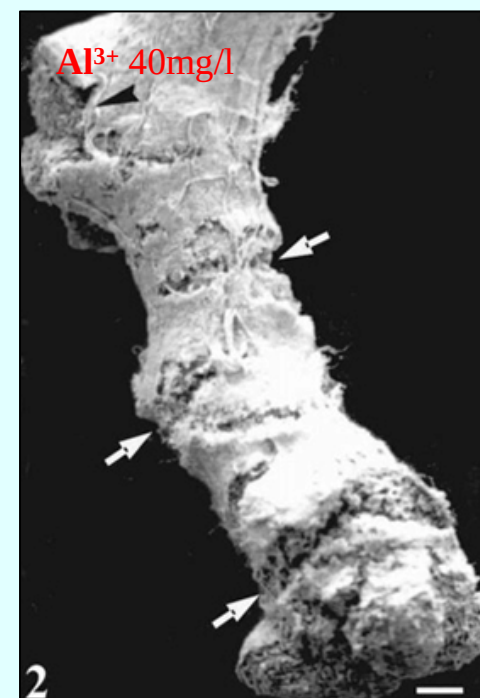
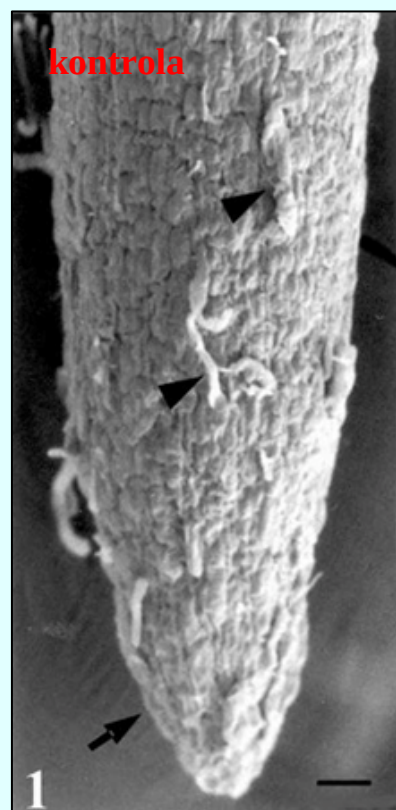
- interakce Al s cytoskeletem
- vazba Al na DNA

-interakce Al^{3+} s plasmalemou

- afinita k membránovým fosfolipidům

- poškození apikálních částí kořene

Kořenová špička *Capsicum annuum*



Konarska 2008

Toxické působení Al:

- Inhibice příjmu ostatních minerálních živin – indukovaná deficience

kationty

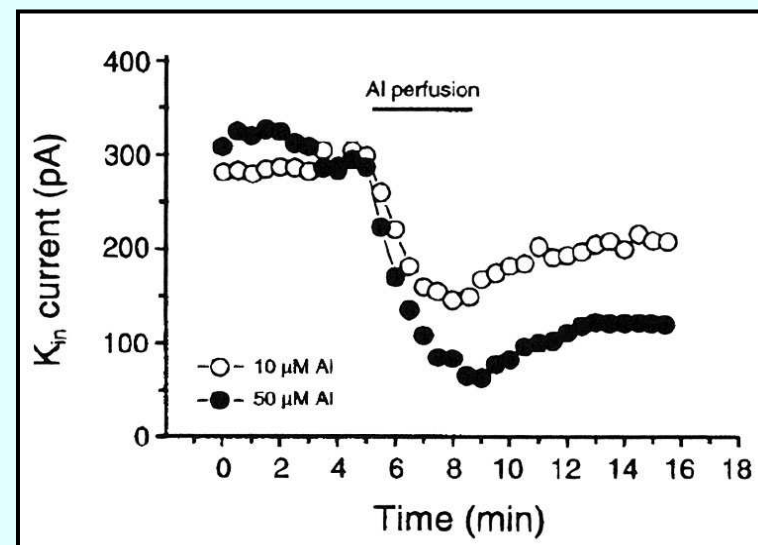
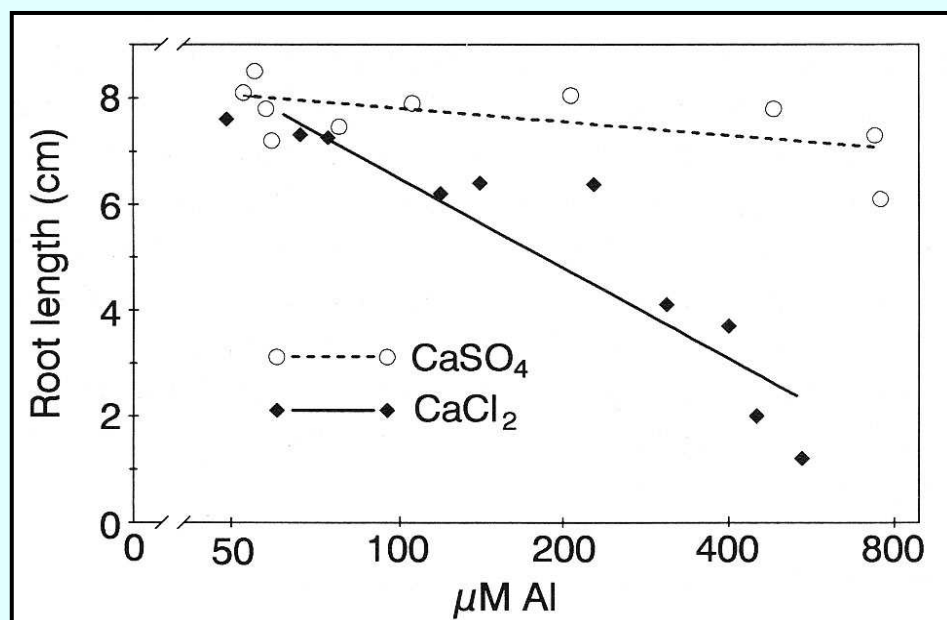
- Mg^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , K^+ , NH_4^+

dušík

- u rostlin se symbiot. fixací N

fosfor

- precipitace s Al

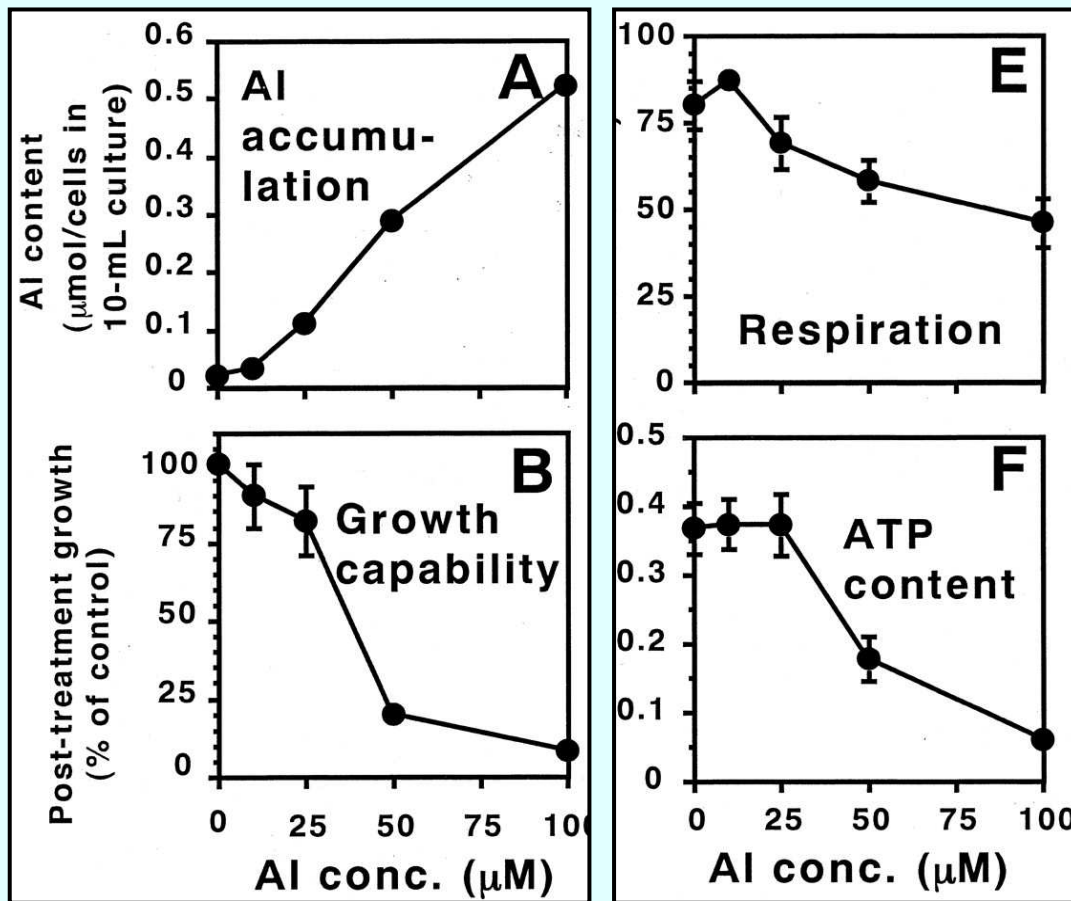


Liu a Luan 2001

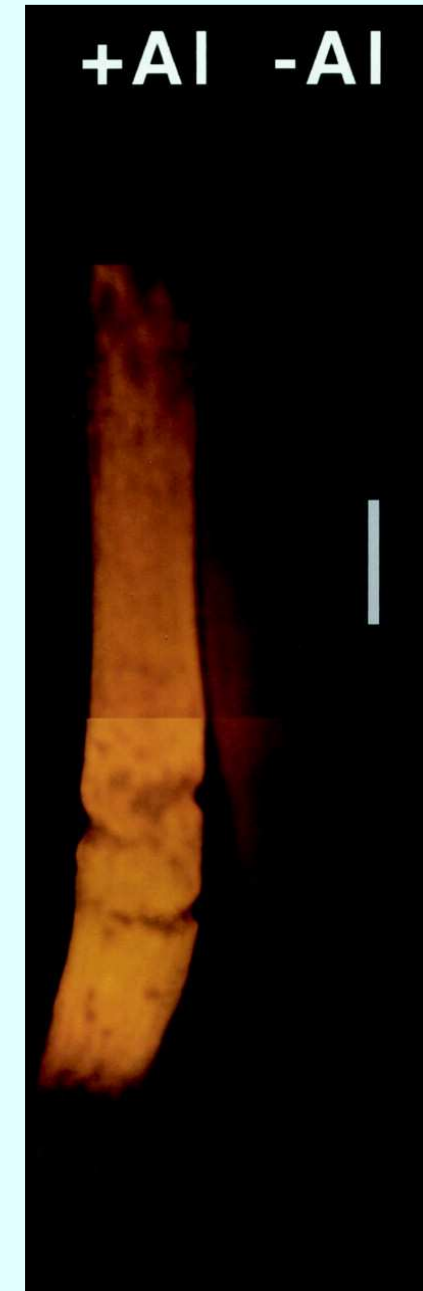
Marschner 1995

Toxické působení Al:

- Inhibice mitochondriálních funkcí



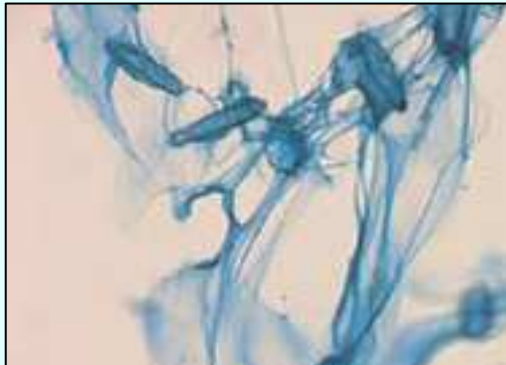
Yamamoto et al. 2002



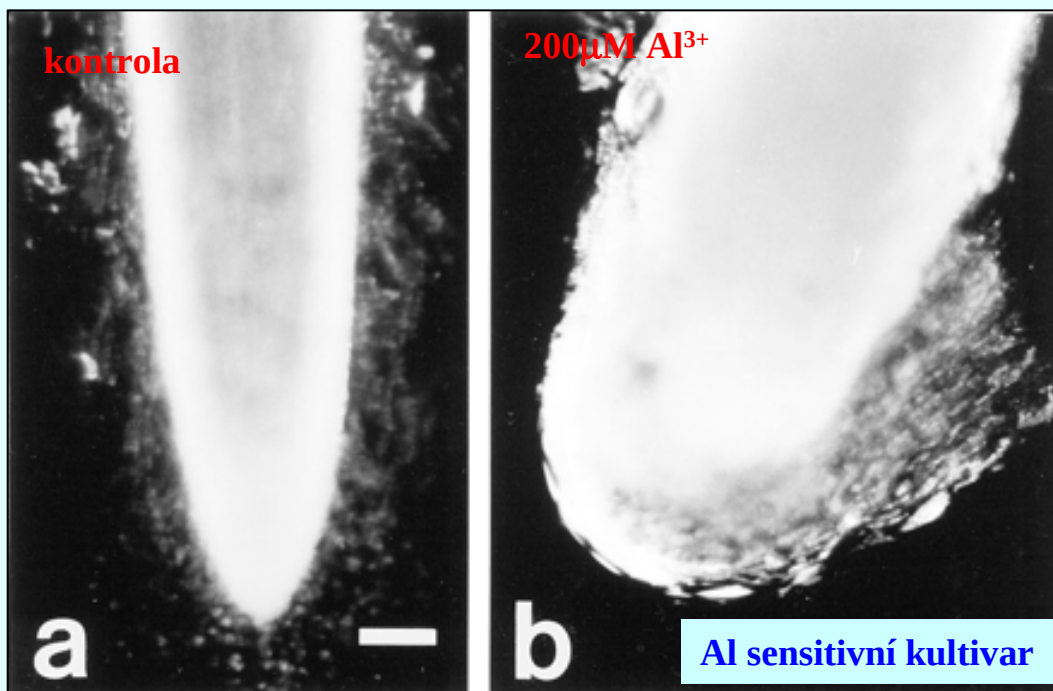
Mechanismy tolerance k Al:

Strategie „includer“ x „excluder“

transport a ukládání x manipulace s vlastnostmi rhizosféry
(pH, org. kyseliny, fenol. látky, mucigel – význam „border“ cells)



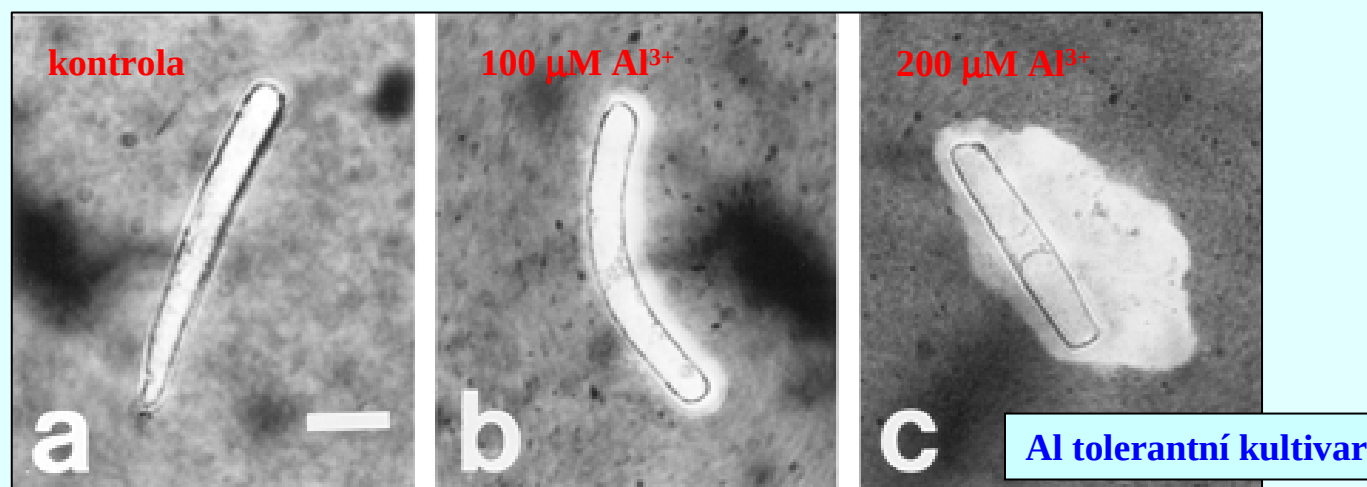
Bengough et al. - poster



- rozdíl mezi kultivary

Al sensitivní kultivar

„border“ cells
u fazolu



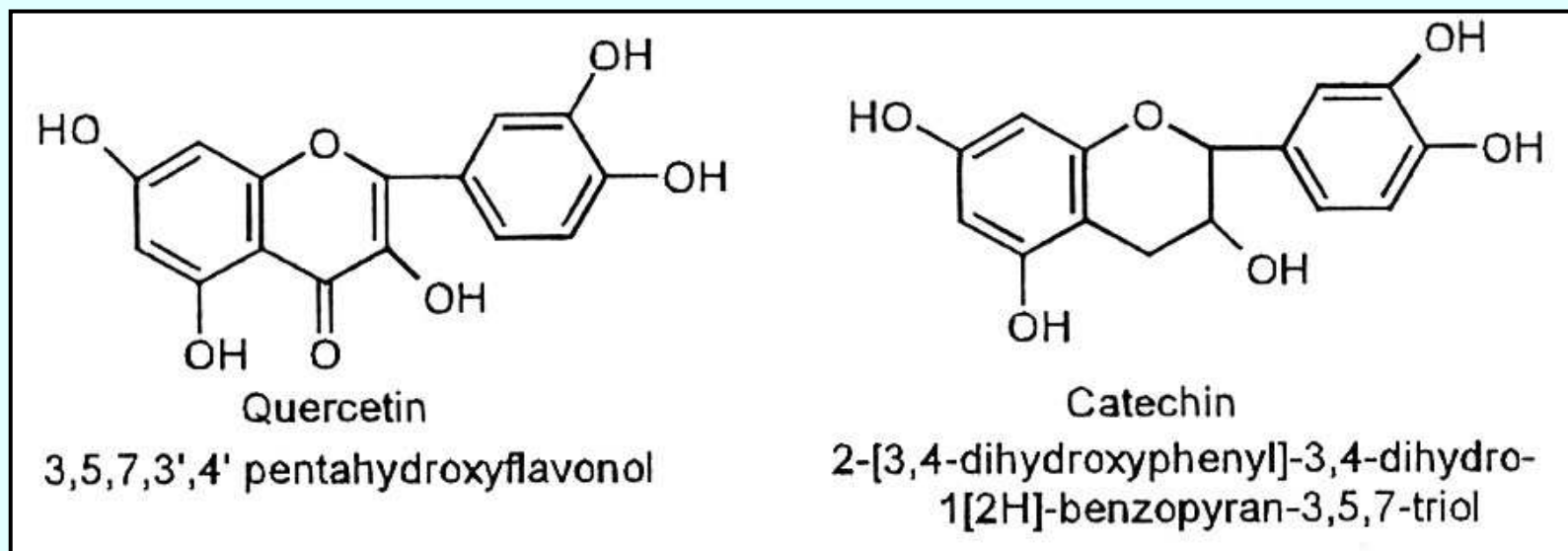
Al tolerantní kultivar

Mechanismy tolerance k Al:

Strategie „includer“ x „excluder“

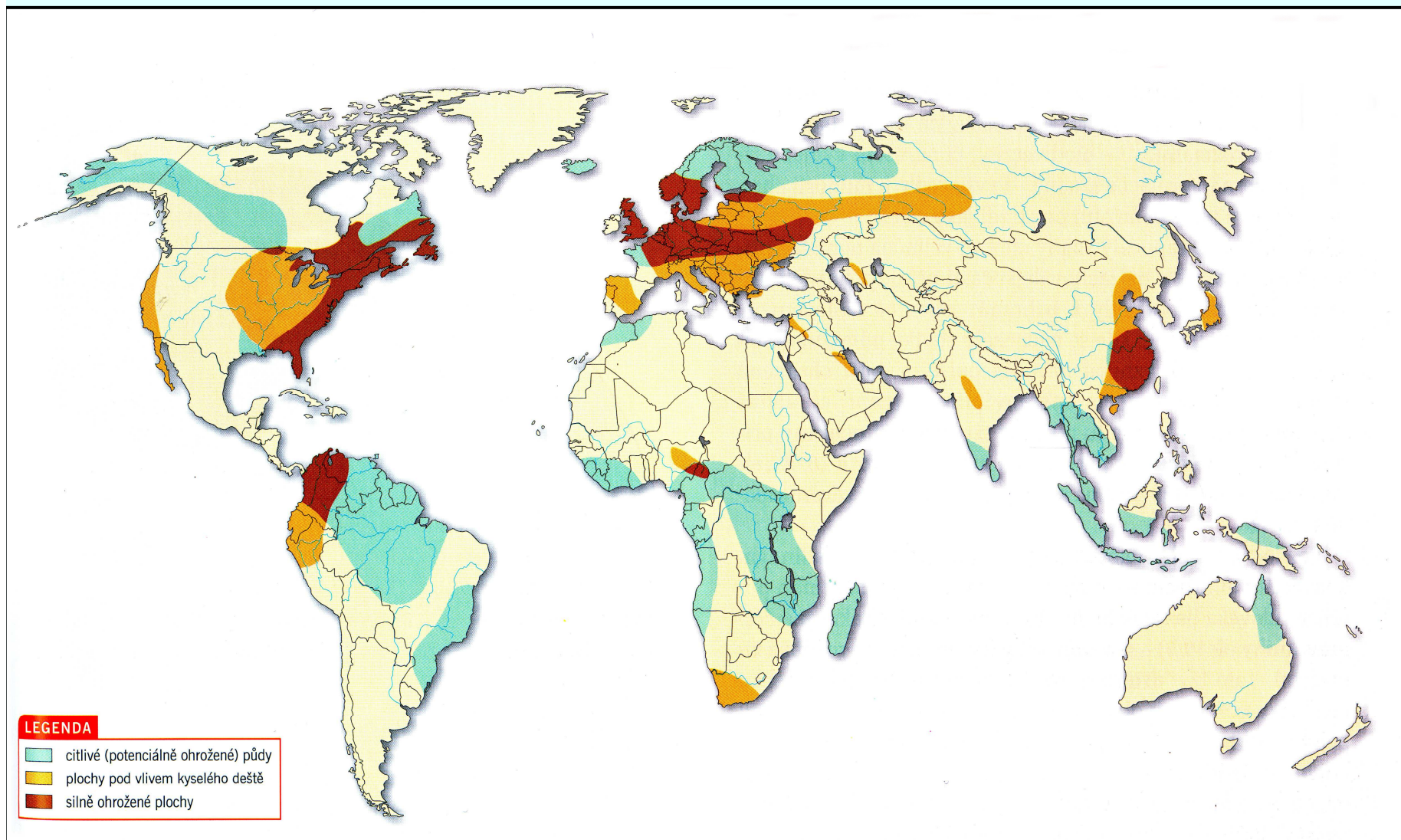
transport a ukládání x manipulace s vlastnostmi rhizosféry

(pH, org. kyseliny, **fenol. látky**, mucigel – význam „border“ cells)



Barcelo a Poschenrieder 2002

Kyselost půd ve světě

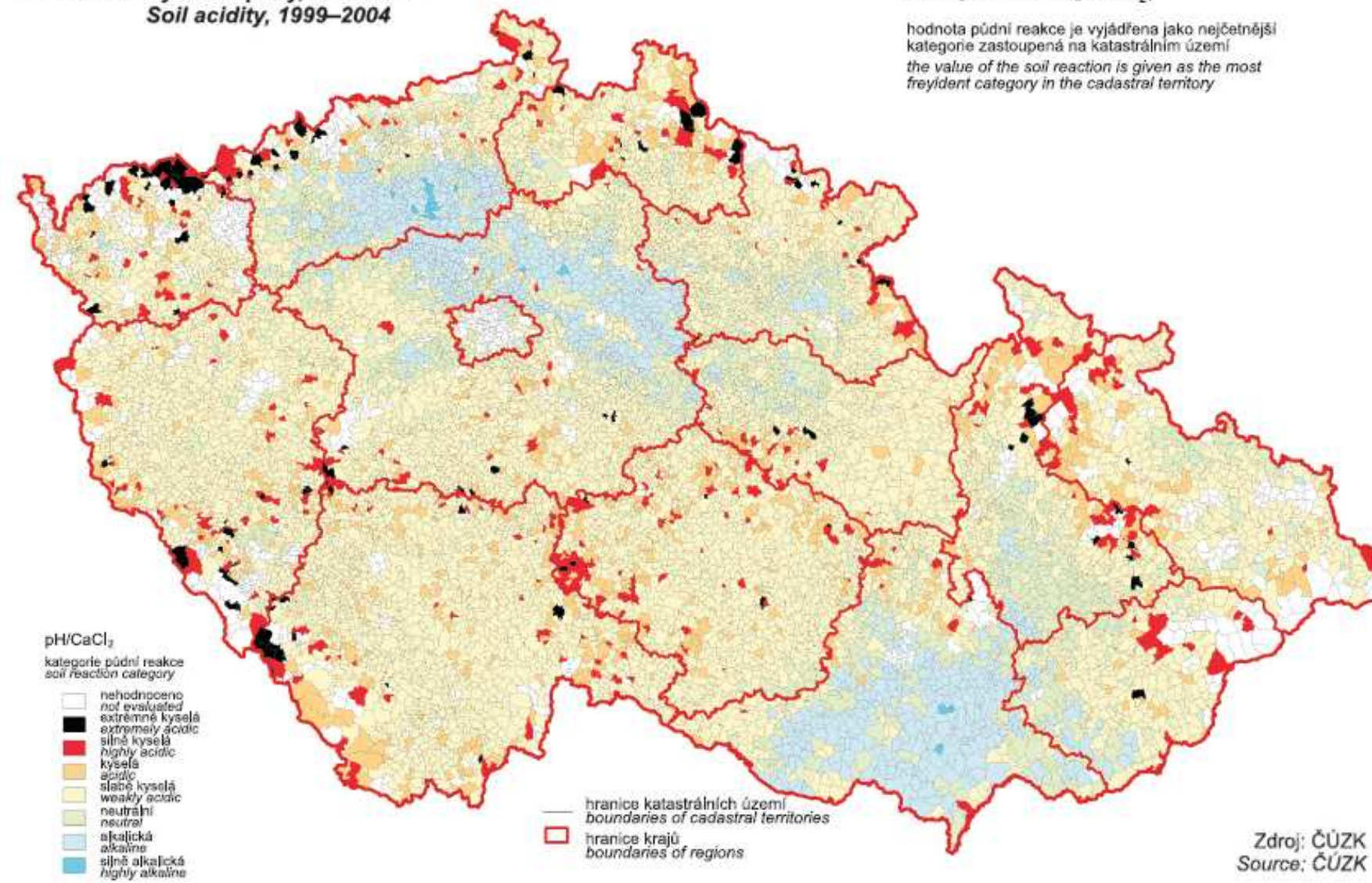


Bičík a kol.: Atlas dnešního světa, Terra, 2000.

Obr. B3.1.2 Kyselost půdy, 1999–2004
Soil acidity, 1999–2004

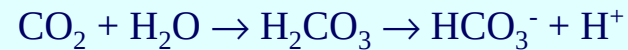
Výměnná půdní reakce (pH/CaCl₂)
 Exchange soil reaction (pH/CaCl₂)

hodnota půdní reakce je vyjádřena jako nejčtenější
 kategorie zastoupená na katastrálním území
 the value of the soil reaction is given as the most
 frequent category in the cadastral territory

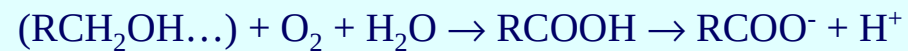


Příčiny acidifikace:

- tvorba kys. uhličitě a její následná disociace



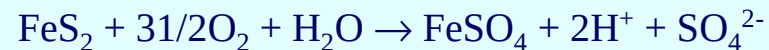
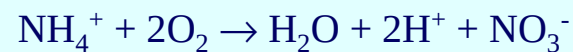
- vznik organických kyselin



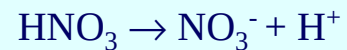
- akumulace org. hmoty

disociace -OH a -COOH skupin na -O⁻ a -COO⁻

- oxidace N (nitrifikace) a S

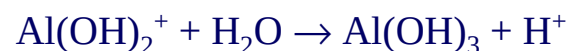


- přísun kyselin se srážkami



Mechanismy pufrací schopnosti půdy:

- přeměny hydroxysloučenin Al

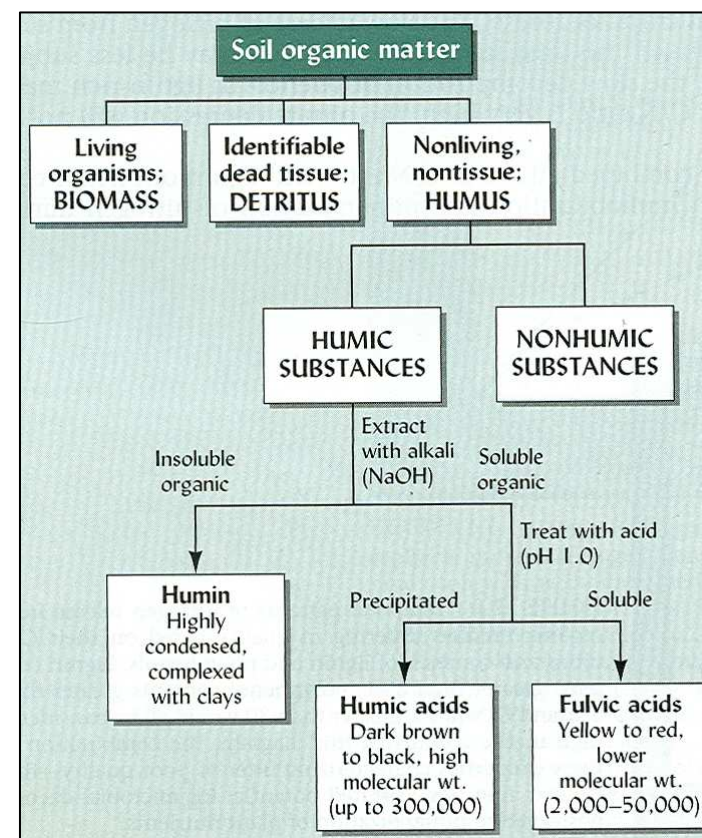


- protonace a deprotonace OH skupin org. sloučenin



- výměna kationtů na půdních koloidech

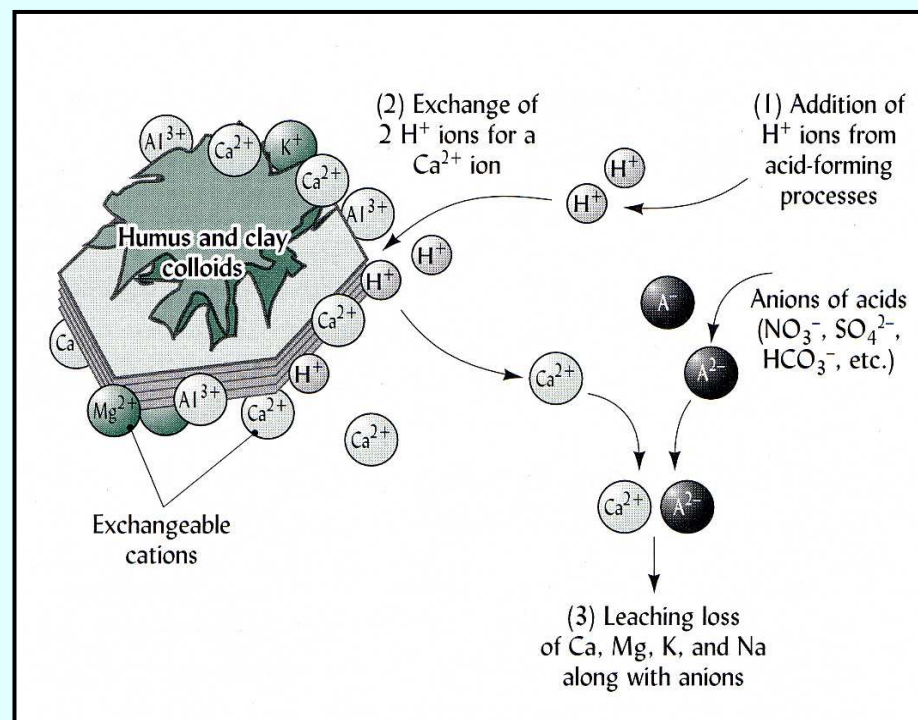
- rozpouštění a srážení uhličitanu



Faktory působící negativně na růst rostlin:

- toxicita H^+
- toxicita Al
- toxicita Mn
- deficiency kationtů Mg, Ca a v menší míře K
- deficiency P a Mo
- inhibice růstu kořenů – snížená schopnost příjmu živin a vody

Brady a Weil 2002



Těžké kovy

Zn, Ni, Cu, Co + Cd, Pb, Cr, Hg

toxické působení na rostlinu:

- inhibice růstu, chloróza
- narušení funkce stomat a vodního provozu
- inhibice fotosyntézy
- narušení regulací enzymatické aktivity (inhibice a aktivace enzymů)
- narušení funkce membrán a membránových proteinů (ATPázy, výdej kationtů)
- stimulace produkce reaktivních forem kyslíku – oxidativní stres

toxicita Cd



Umar 2008

Zdroje těžkých kovů: kadmium

- fosfátová hnojiva (kolem 3,6-527 mg Cd/ kg P),
průmyslové imise, komposty, kaly z čistíren
odpadních vod

- dobře pohyblivé v půdě

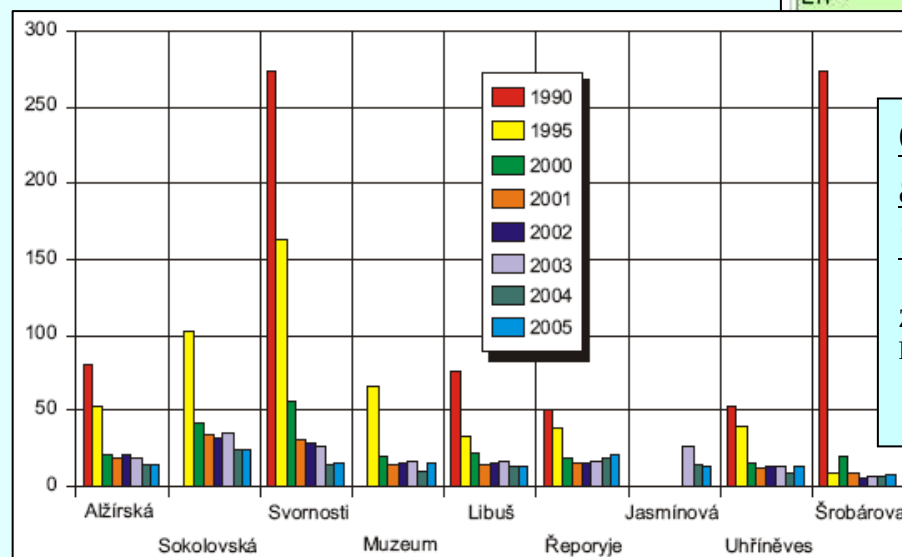
olovo

- automobilismus (také Cd, Cu a Zn)

Emise těžkých kovů v ČR (Statistická ročenka 2006)

http://www.env.cz/www/dav.nsf/ročenka_06/b1.htm

	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2001	2002	2003	2004
	t.rok ⁻¹					t.p.a				
Těžké kovy Heavy Metals										
Pb	241,4	249,0	222,5	181,4	151,2	105,7	46,7	47,2	39,4	36,6
Cd	4,3	3,6	3,5	2,9	2,7	2,9	2,6	2,7	2,3	2,4
Hg	7,5	7,3	7,2	5,9	5,2	3,8	3,3	2,8	1,8	2,1
As ^{a)}	.	.	.	.	.	.	3,5	6,4	6,0	5,8
Cr ^{a)}	.	.	.	.	.	.	12,4	13,8	13,8	15,8
Cu ^{a)}	.	.	.	.	.	.	15,8	20,0	17,9	18,5
Ni ^{a)}	.	.	.	.	.	.	15,5	17,2	16,1	16,5
Se ^{a)}	.	.	.	.	.	.	8,4	9,7	8,4	9,8
Zn ^{a)}	.	.	.	.	.	.	155,6	169,1	166,2	169,1



Obr. Koncentrace olova v prašném
aerosolu ve vybraných lokalitách,
1990–2005 [ng.m⁻³]

Zdroj: ZÚ Praha, SZÚ, ČHMÚ, PUDIS
Převzato z: <http://envis.praha-mesto.cz>

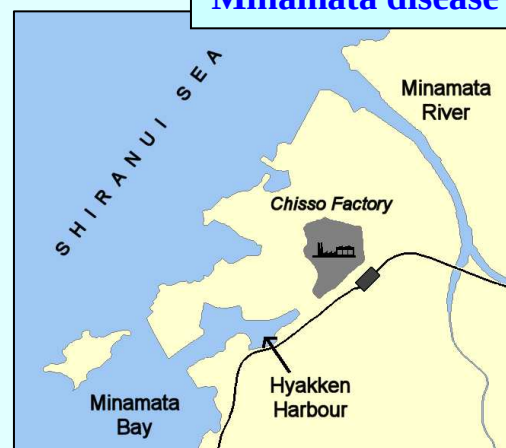
rtuť

- průmysl, těžba zlata, spalování uhlí
- jeden z nejvíce toxických těžkých kovů
- v půdě v iontové formě Hg^{2+} , činností bakterií vzniká methyl derivát (MeHg)
- redukce Hg^{2+} mikroorganismy na Hg
 - potenciální využití ve fytořemediacích

Projevy toxicity Hg:

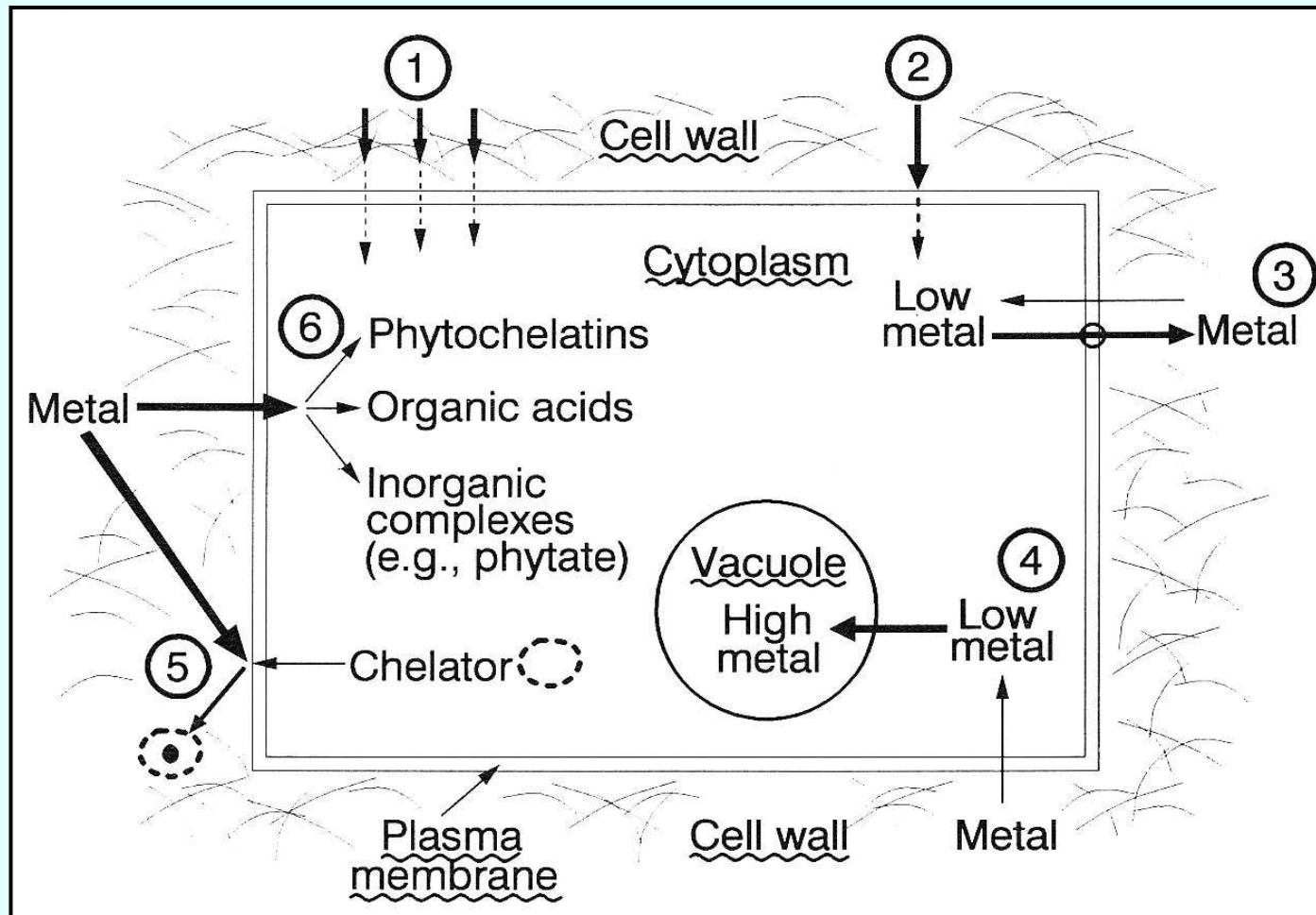
- změny permeability membrány
- reakce s SH skupinami a fosfátovými slupinami ATP a ADP
- interakce s funkcemi esenciálních kationtů
- narušení průběhu fotosyntézy ($\text{Hg} \times \text{Mg}$)
- narušení funkce aquaporinů (jsou citlivé k Hg)

Minamata disease – Japonsko 1956



Více na:
http://en.wikipedia.org/wiki/Minamata_disease#Minamata_disease_today

mechanismy tolerance:



- indukce syntézy fytochelatinů: $(\gamma\text{-Glu-Cys})_n\text{-Gly}$ $n=2-11$

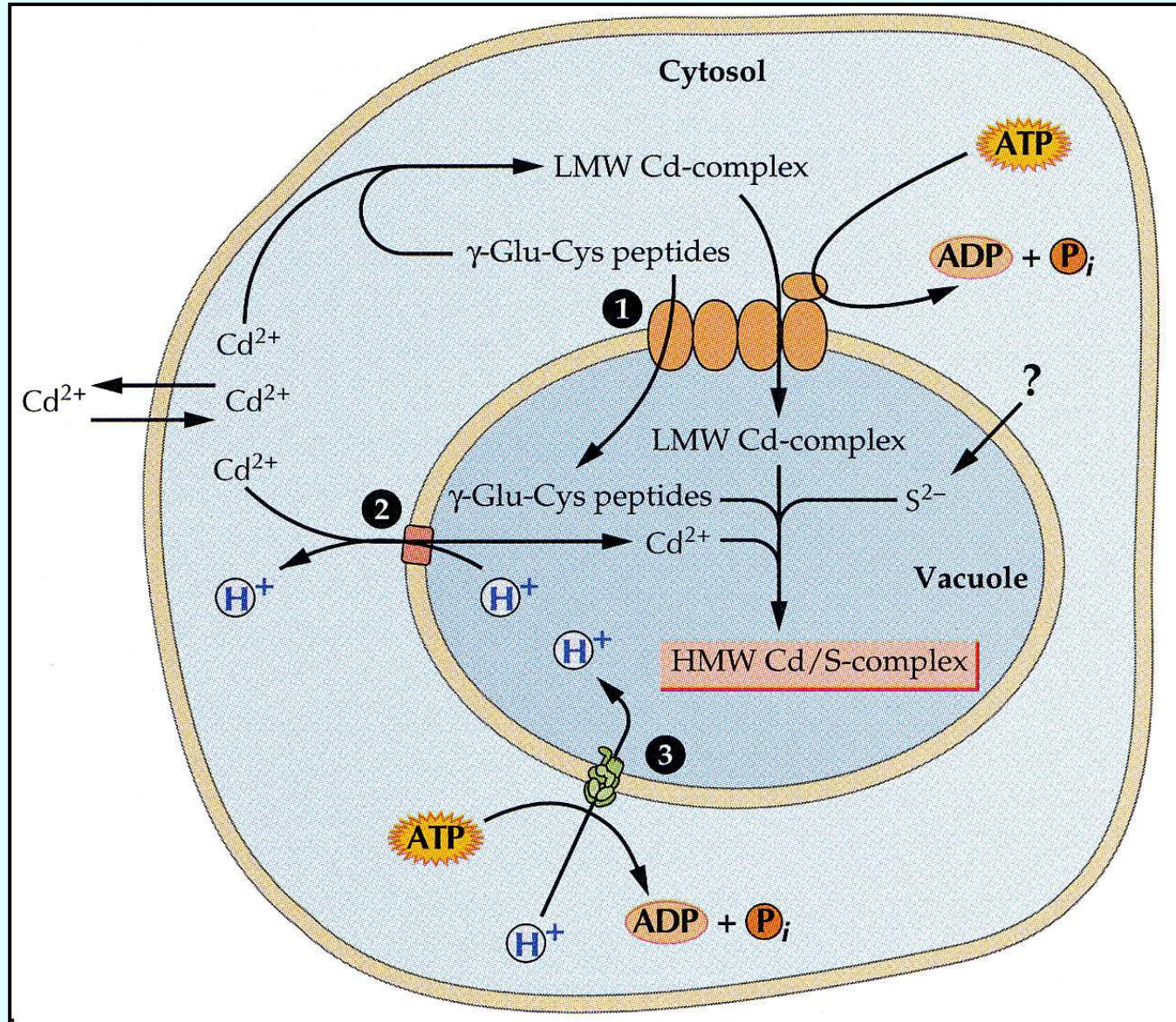
- především Cd; méně Zn, Cu; minimálně Ni

Contents of Free Cysteine, Total Glutathione, and Phytochelatins and Cadmium in the Apical 10 cm of Maize Roots Exposed to 0 or 3 μM Cd^{2+} for 24 h ^a				
Cd^{2+} (μM)	Thiol (nmol g ⁻¹ fresh wt)			Cd in roots (nmol g ⁻¹ fresh wt)
	Cysteine	Glutathione	Phytochelatins	
0	43	421	3	n.d.
3	44	156	230	13.1

Marschner 1995

- stimulace antioxidační ochrany rostliny

- askorbátperoxidáza, glutathionreduktáza, NADP-dependentní dehydrogenázy, peroxidáza, kataláza



Fytoremediace těžkých kovů:

1. fytostabilizace

2. fytoextrakce

- využití hyperakumulujících rostlin



Berkheya coddii

- akumulace Ni



Pteris vittata

- akumulace As
- 7500 µg As/g SH



Thlaspi caerulescens

- akumulace Zn, Cd, Ni
- 1000-3000 µg Cd/g SH
- Zn transportér **ZNT1**



*Thlaspi
caerulescens*



Thlaspi arvense

Hyperakumulátoři těžkých kovů:

- potenciální využití v čištění odpadních vod

- vodní hyacint a okřehek (akumulace Cd)
- *Oenanthe javanica* (akumulace Hg)
- *Lepironia articulata* (akumulace Pb)



Eichhornia crassipes



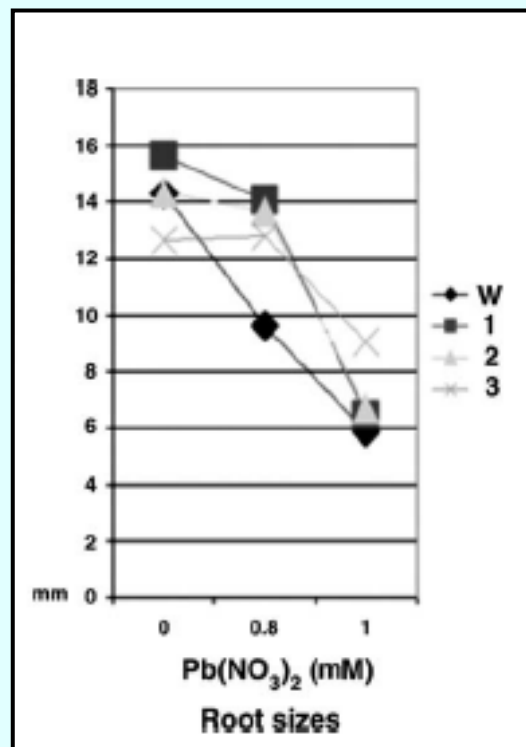
Oenanthe javanica



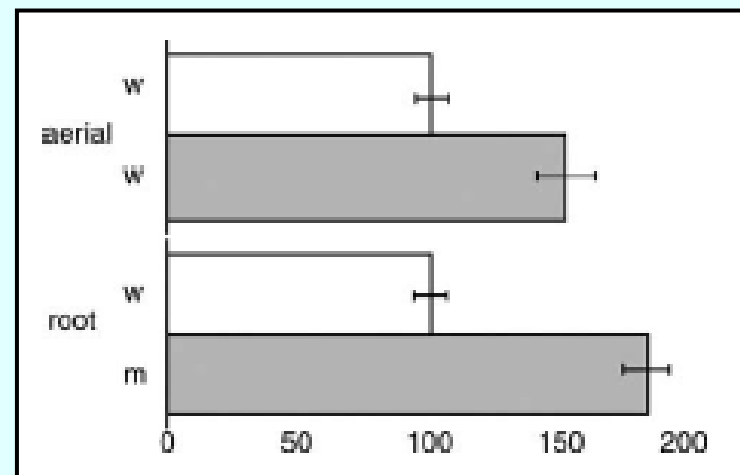
Lepironia articulata

Biomanipulace rostlin pro fytoremediace těžkých kovů:

- geny pro syntézu fytochelatinů, glutathionu
- gen pro Zn transportér (ZNT1)
- gen pro vakuolární antiporter AtMHX1



Nicotiana glauca + PC syntáza z pšenice



Gisbert et al. 2003

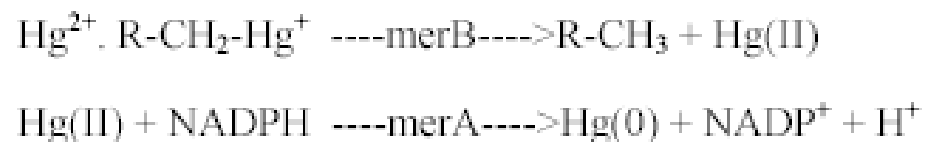
Biomanipulace rostlin pro fytořemediace těžkých kovů:

odstraňování Hg:

- transformace rostlin bakteriálními geny

- **MerA** - Hg^{2+} reduktáza

- **MerB** – lyáza



Prasad a Freitas 2003



Nicotiana tabacum

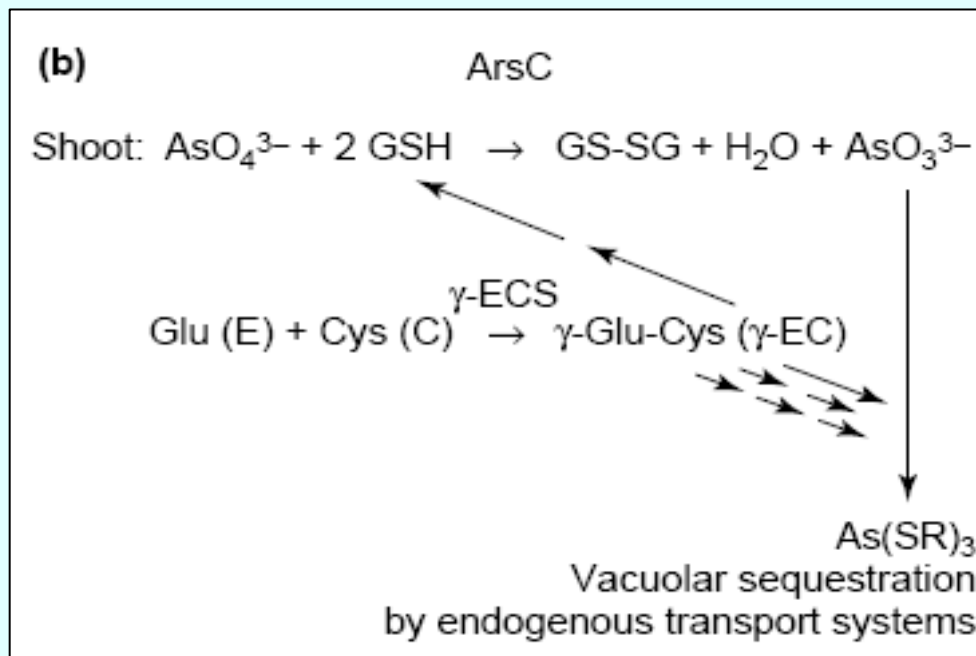
- úspěšně u *Arabidopsis thaliana*, *Brassica*, *Nicotiana tabacum*, *Liriodendron tulipifera*

- zkouší se u mokřadních rostlin (*Typha*, divocí příbuzní rýže, *Spartina*)

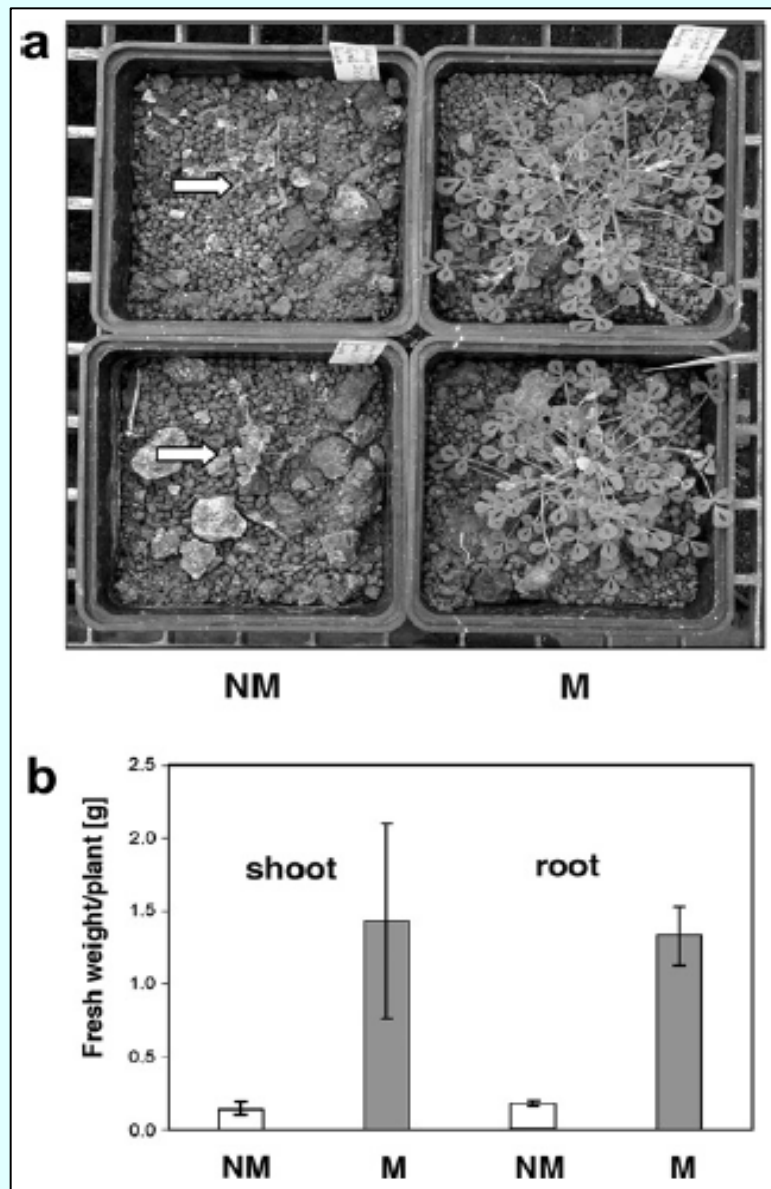
Biomanipulace rostlin pro fytoremediace těžkých kovů:

odstraňování As:

- transformace geny z *E. coli*
 - **ArsC** - arsenát reduktáza
 - **γ-ECS** - γ-glutamylcystein syntetáza

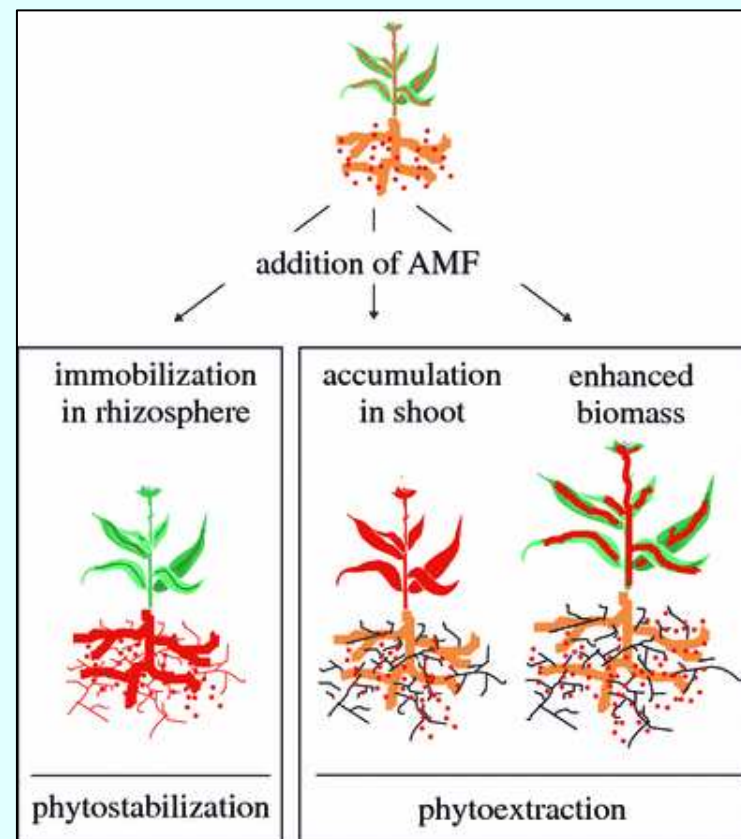


Kramer 2005



Hildebrandt 2007

Pozitivní efekt mykorrhizy



Gohre 2006

Hyperakumulátoři těžkých kovů:

- riziko vstupu Cd do potravního řetězce

- akumulátoři kadmia: penízek, vrby, slunečnice, tabák

- otravy býložravců

- přísun Cd v potravě člověka: 7-30 μg Cd/den

Food item	Cd content (mg/kg)		Intake (g per day)	Exposure (μg per day)	
	Maximum	Typical		Extreme	Typical
Vegetables, including potatoes	0.1	0.05	250	25	12.5
Cereals, pulses and legume, including rice and wheat grain	0.2	0.05	200	40	10
Fruit	0.05	0.01	150	7.5	1.5
Oilseeds and cocoa beans	1.0	0.5	1	1	0.5
Meat of cattle, poultry, pig, sheep	0.1	0.02	150	15	3.0
Liver of cattle, poultry, pig, sheep	0.5	0.1	5	2.5	0.5
Kidney of cattle, poultry, pig, sheep	2.0	0.5	1	2	0.5
Fish	0.05	0.02	30	1.5	0.6
Crustaceans, molluscs	2	0.25	3	6	0.75
Total				93.5	30

Satarug et al. 2003

- riziko vstupu Pb do potravního řetězce: teratogenní efekty, kardiovaskulární příhody