



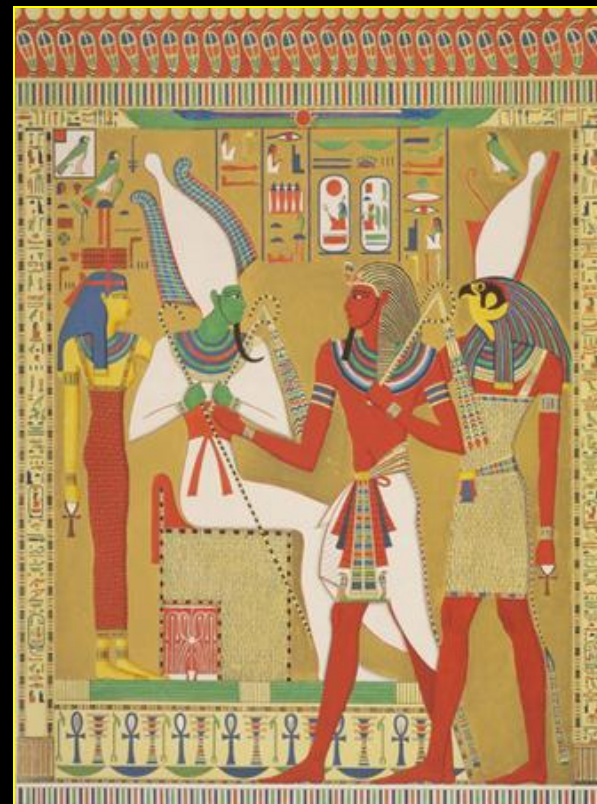
Fytoremediace IV.

Petr Soudek

Laboratoř rostlinných biotechnologií
Společná laboratoř ÚEB AV ČR, v.v.i. A VÚRV, v.v.i.
Akademie věd České Republiky

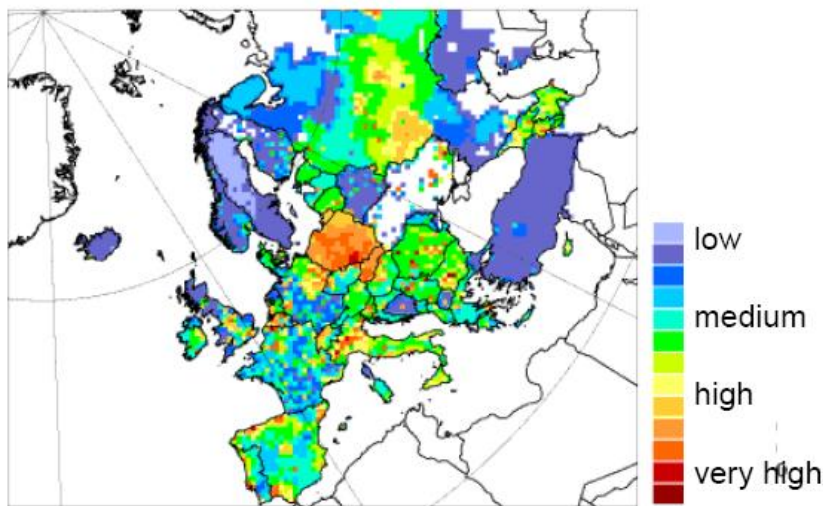
HISTORIE TĚŽKÝCH KOVŮ

- Použití těžkých kovů už v dávné historii
- Olovo používáno už okolo 2000 let př.n.l.
- Arsen ve starověkém Egyptě jako aditivum do barev
- 1500 let př.n.l. – Ebersův papyrus – zmínka o jedech
- Jiné kovy objeveny teprve nedávno

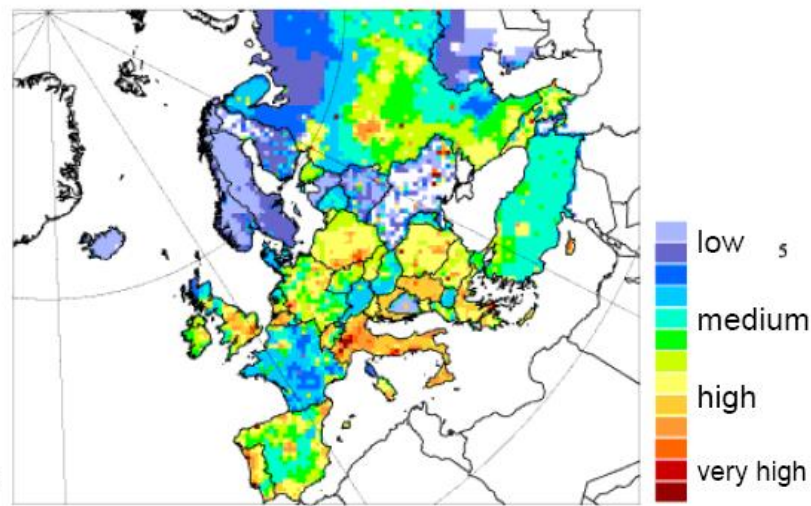


ROZŠÍŘENÍ KONTAMINACE TĚŽKÝMI KOVY

Cadmium



Lead



TOXICITA TĚŽKÝCH KOVŮ

- **Zaživací potíže, dermatitidy, změny v krevním obraze, poškození důležitých orgánů (mozek, játra, ledviny)**
- **Biologický poločas**
- **V buňce ovlivněny biochemické procesy a poškozeny orgány a buněčné membrány**
- **Toxický efekt dán výsledkem interakce mezi volným iontem a cílovým místem**
- **Chemická forma iontu, oxidační stav kovu nebo jeho ligandovou vazbou**
- **Vazba na buněčné membrány – transportní procesy, blokace přísunu živin**
- **Silná afinita na síru, atak SH, COOH a NH₂ skupin, k fosfátům**
- **Organokovové sloučeniny obvykle mnohem toxičtější, jsou lipofilní**
- **Akutní otravy většinou profesní**
- **Chronické otravy – karcinogenita, mutagenita, embryotoxicita**

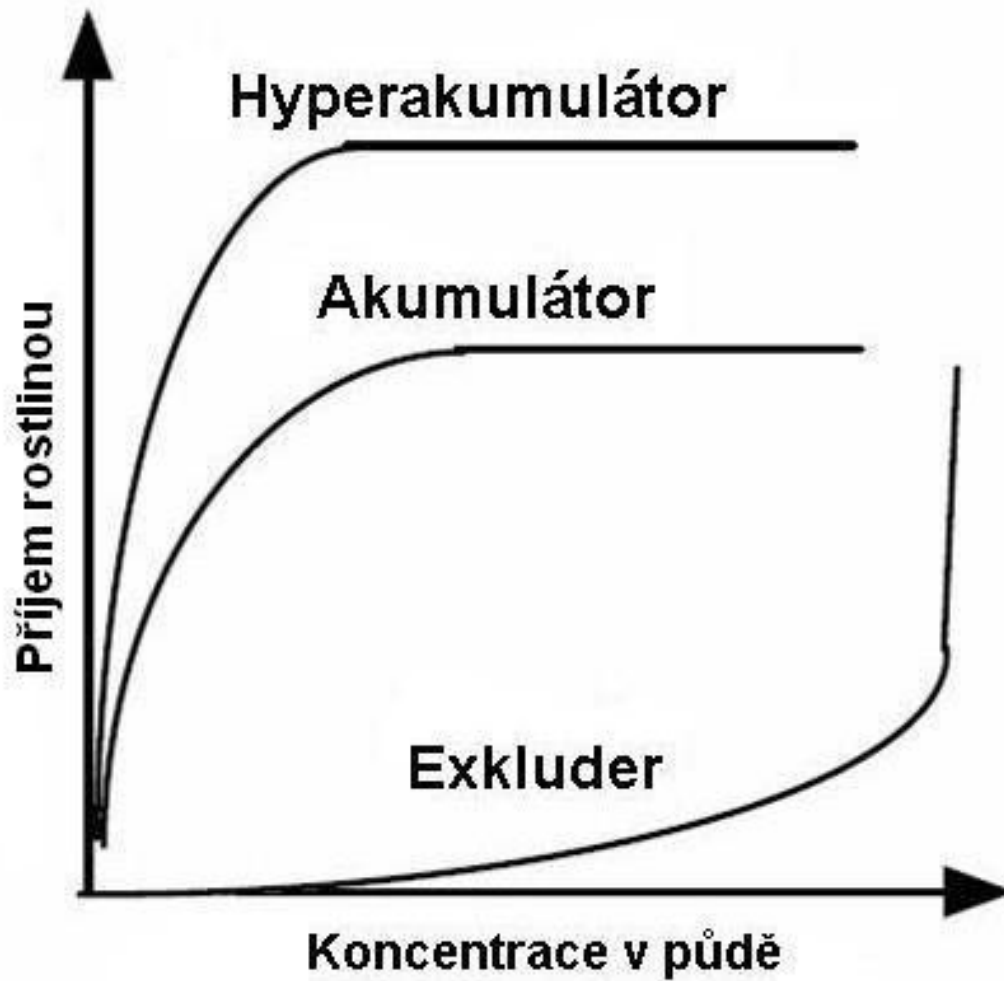
CÍLOVÉ ORGÁNY TĚŽKÝCH KOVŮ

Olovo	dlouhé kosti, mozek, játra, ledviny, placenta
Arsen	centrální nervový systém, kůže, vlasy
Kadmium	ledviny, játra, varlata
Rtuť	mozek, játra, ledviny, imunitní systém
Chrom	plíce, játra, ledviny, pohlavní orgány, kůže
Nikl	plíce, srdce, imunitní systém, kůže

HYPERAKUMULACE



TYPY ROSTLIN



HYPERAKUMULÁTORY

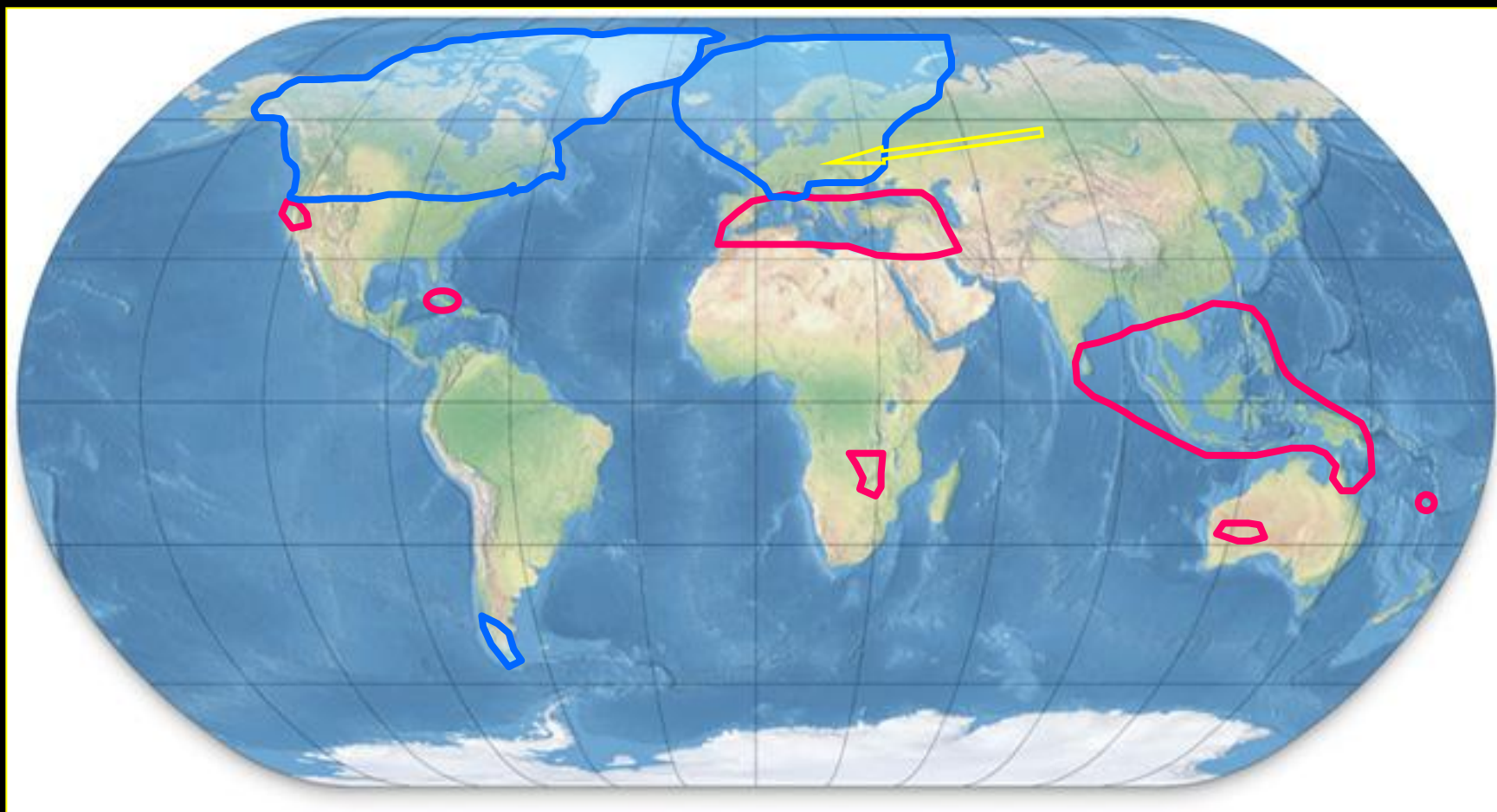
- První hyperakumulátor byl nalezen v roce 1948 Minguzzim and Vergnanem a jednalo se o hyperakumulátor niklu *Alyssum bertolonii*.
- *Alyssum murale* – druhá „niklová“ rostlina byla objevena ruským vědcem Doksopulem v roce 1961.
- V roce 1977 Brooks a kolektiv použili poprvé termín „hyperakumulátor“.
- Do roku 2005 bylo známo 450 hyperakumulujících rostlinných druhů.

HYPERAKUMULÁTORY

Prvek	Nízká		Normální	Vysoká	Hyperakumulátory
Mn	5	20	400	2000	10000 – 50000
Zn	5	20	400	2000	10000 – 50000
Cd	0.03	0.1	3	20	100 – 3000
Pb	0.01	0.1	5	100	1000 – 8000
Ni	0.2	1	10	100	1000 – 40000
Co	0.05	0.2	5	50	1000 – 10000
Cr	0.05	0.2	5	50	1000 – 2500
Cu	1	5	25	100	1000 – 12500
Se	0.01	0.1	1	10	100 - 6000

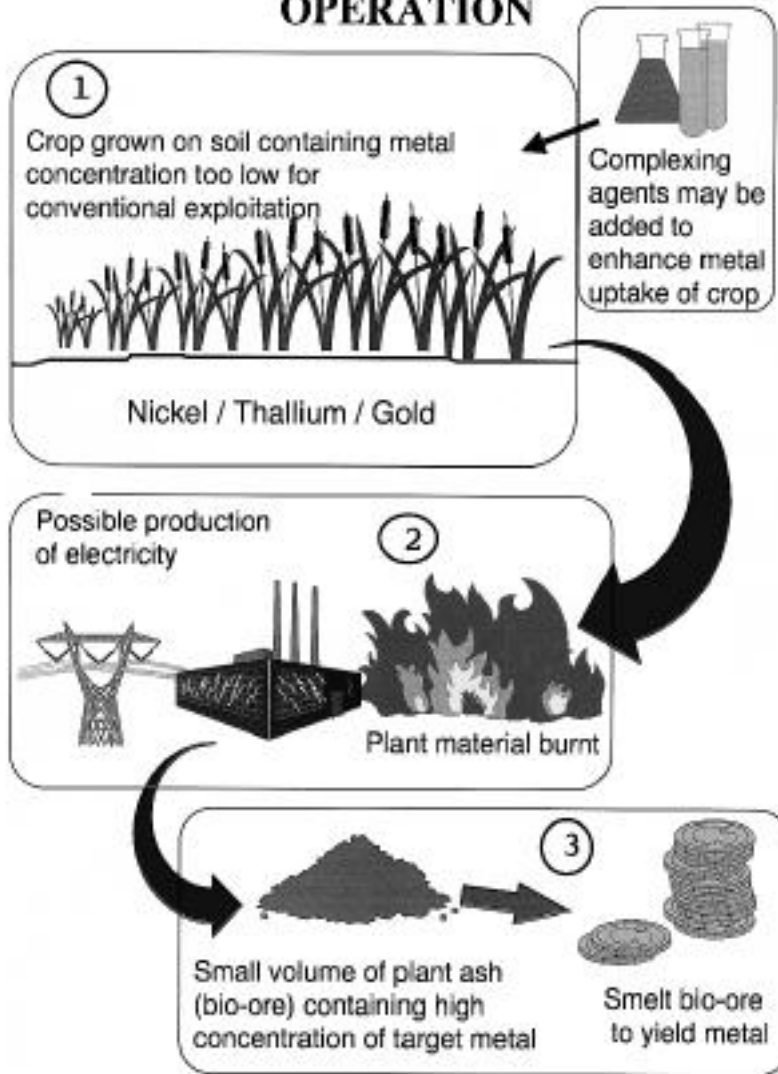
Všechna čísla jsou v $\mu\text{g/g}$ DW rostliných listů

ROZŠÍŘENÍ NI HYPERAKUMULÁTORŮ



FYTOMINING

THE PHYTOMINING OPERATION



TOXICITA A DEFICIENCE TĚŽKÝCH KOVŮ

KOBALT

baterie, katalyzátory, pigmenty, smalty,
galvanické pokovování, nástrojové oceli,
permanentní magnety

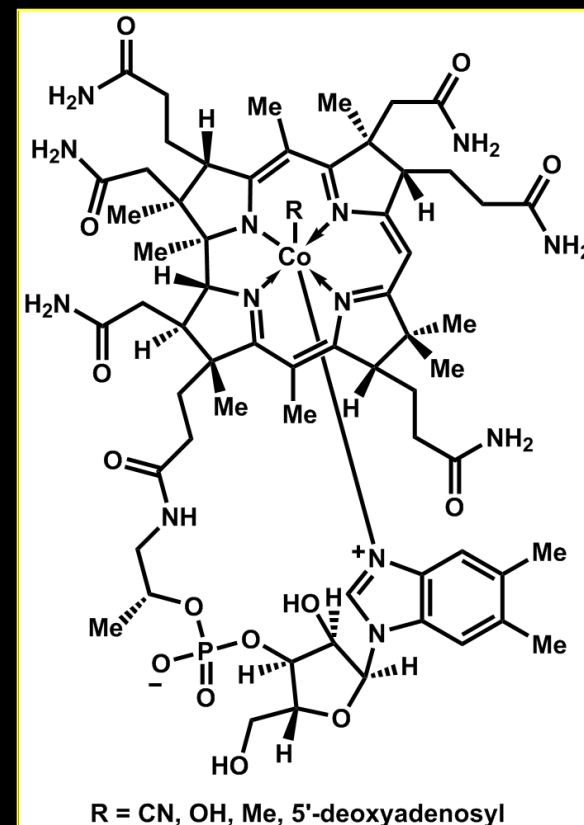
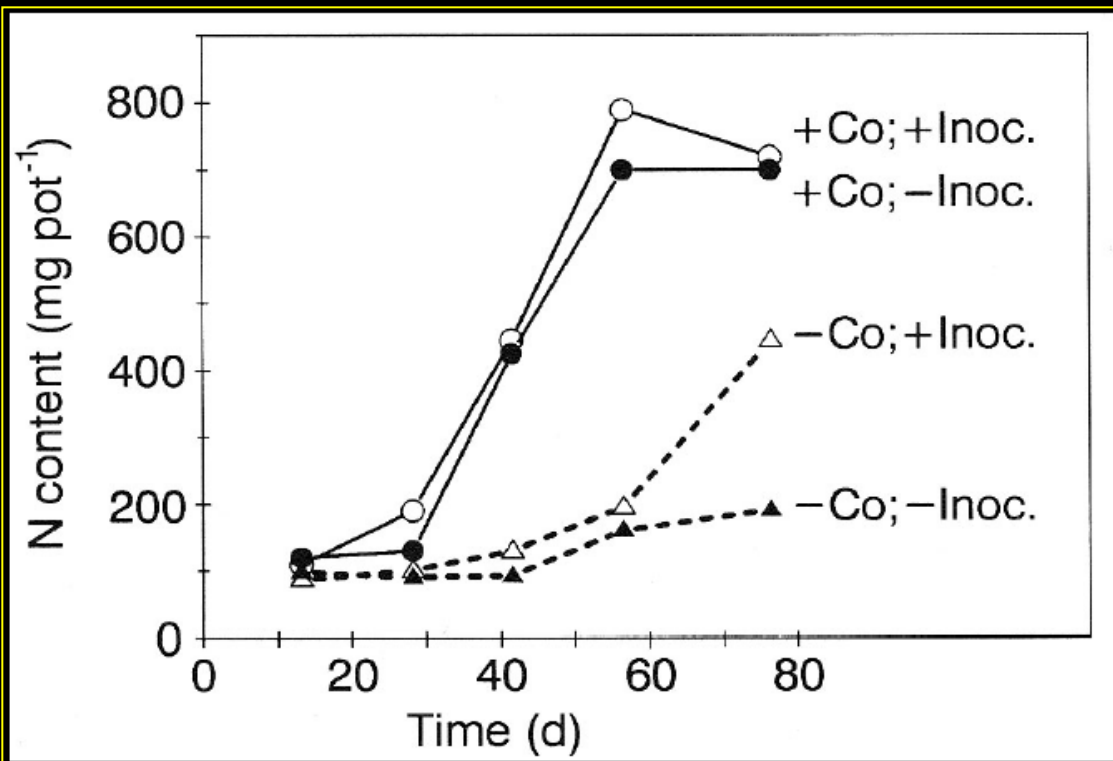


- příznaky deficitu - anémie, hubnutí, únavnost, nechutenství, zpomalení růstu
- polycytémie, hyperplázie štítnice, městnavé srdeční selhání

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. B12 – kobalamin) – Co(II)



KOBALT



Hyperakumulace:

- $>1\ 000\ \mu\text{g/g}$ (0.1 %) Co
- 26 rostlinných druhů
- Lamiaceae, Scrophulariaceae
- *Crotalaria cobalticola* – $3010\ \mu\text{g/g}$ DW (první Co hyperakumulátor)
- *Haumaniastrum robertii* – $10200\ \mu\text{g/g}$ DW (nejvyšší obsah kobaltu, který byl nalezen, „měděná květina“, použitelná pro biogeochemickou prospekci kobaltu)

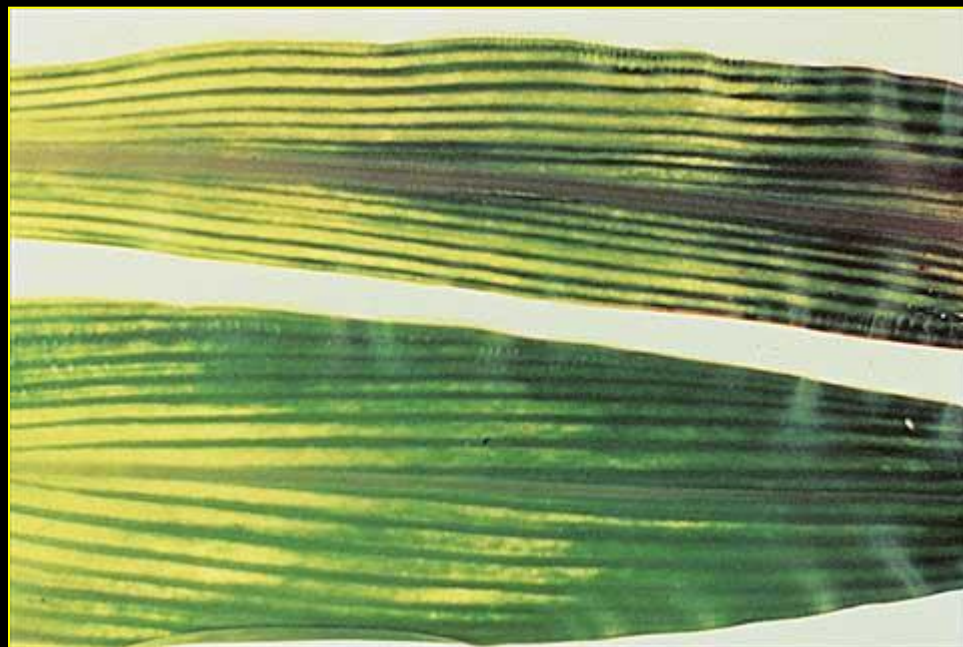


Haumaniastrum robertii

KOBALT



Toxicita kobaltu



Deficience kobaltu

KOBALT



Kobalt v rostlině:

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

Toxicita kobaltu:

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

Některé proteiny obsahující kobalt:

Methionin syntáza

Ribonukleotidreduktáza (oxidace ribonukleotidu na deoxyribonukleotid)

Methylmalonyl-koenzym A mutáza (syntéz hemu u bakterie)

MĚĎ

elektrotechnický materiál, slitiny (mosazi, bronzy), komunální odpad, chemický průmysl, zemědělství (fungicidy), měděné dráty a plechy



- Esenciální prvek
- Hromadí se v játrech a kostní dřeni
- Poškození jater, ledvin a krvácení do zažívacího traktu
- Wilsonova nemoc – chronická akumulace v játrech, ledvinách, mozku a oční rohovce
- Mankesova choroba – u dětí s < 3 roky, poškození nervového systému, následná fyzická a duševní retardace

MĚĎ



- 6 $\mu\text{g/g}$ SH
- podobné vlastnosti jako Fe
- účast v oxidoredukčních reakcích v buňce
přechody Cu(II) a Cu(I)
- příjem ve formě Cu^{2+} , dostupnost většinou
nízká – tvorba komplexů
- pohyblivost Cu v rostlině malá, většina
lokalizována v kořenech



MĚĎ



Hyperakumulace:

- $>1\ 000\ \mu\text{g/g}$ (0.1 %) Cu
- 24 rostlinných druhů
- Cyperaceae, Lamiaceae, Poaceae, Scrophulariaceae
- Mnoho druhů jsou také hyperakumulátory kobaltu.
- *Ipomoea alpina* – $12300\ \mu\text{g/g}$ DW (nejlepší hyperakumulátor mědi)
- *Aeollanthus biformifolius* – $3920\ \mu\text{g Cu /g DW}$ a také $2820\ \mu\text{g Co /g DW}$



Celosia trigyna

MĚĎ



Deficience mědi:

- poruchy tvorby reprodukčních orgánů
- zasychání špiček listů
- pokles lignifikace
- sterilita pylu

Toxicita mědi:

- už při koncentraci vyšší než 20-30 $\mu\text{g/g}$ SH
- hyperakumulátoři mědi
- mechanismy tolerance podobné jako v případě těžkých kovů:
 - restrikce příjmu na plasmalemě
 - aktivní výdej z buňky
 - chelatace v prostoru buněčné stěny
 - vazba na složky buněčné stěny
 - chelatace v cytoplasmě
 - depozice do vakuoly

MĚĎ



Měď v rostlině:

- význam v oxido-redukčních reakcích
- 3 skupiny enzymů obsahujících měď:
 - modré proteiny – nemají oxidázovou aktivitu, účast v přenosu e^- (např. plastocyanin)
 - nemodré proteiny – peroxidázy, oxidují mono- a difenoly
 - proteiny obsahující více atomů mědi – oxidázy (např. askorbát oxidáza nebo difenoloxidáza)

Některé proteiny obsahující měď:

CuSOD

Askorbát oxidáza – oxidace askorbátu na dehydroaskorbát

Diaminoxidáza – degradace putrescinu a spermidinu

Fenoloxidázy – v buněčné stěně, syntéza ligninu

CHROM

chemický průmysl, pigmenty do barev, ochranné prostředky na dřevo, zpracování kůže, výroba cementu, pokovování, slitiny, spalování fosilních paliv



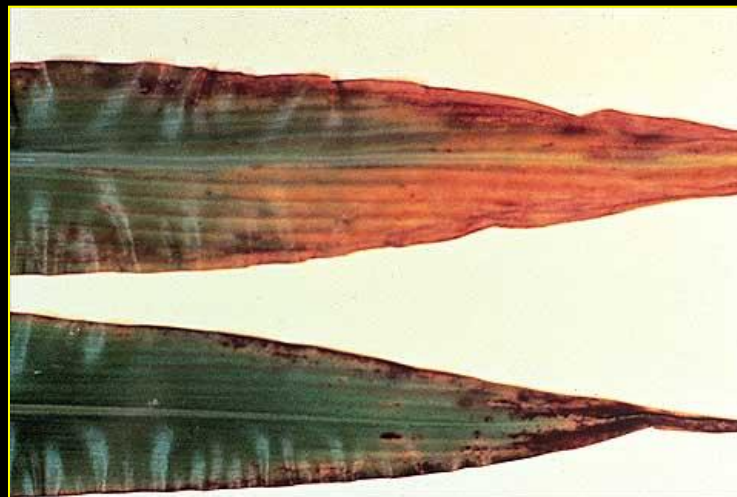
- Cr(III) – esenciální
- Cr(VI) – toxický
- Karcinogenné (rakovina plic) a mutagenní
- Poškození jater a ledvin, vnitřní krvácení, alergické reakce

CHROM

- Koncentrace Cr závislá na obsahu jeho rozpustných sloučenin v půdách
- Nejvíce Cr se kumuluje v kořenech, méně v listech a stoncích. Nejnižší obsahy byly zjištěny v zrně.
- Rostliny přijímají Cr^{6+} . Toxicita Cr závisí na stupni oxidace a přístupnosti přijatelných forem Cr.
- Chróm stimuluje vývoj rostlin a kladně působí na metabolismus cukrů.
- Chróm silně kumulují: mrkev, brambory, okurky, kukuřice
nekumulují : zelí, cibule, jablka.



Toxicita chromu



CHROM



Hyperakumulace:

- $>1\ 000\ \mu\text{g/g}$ (0.1 %) Cr
- 10 rostlinných druhů



Salsola kali

Leptospermum scoparium



- Scrophulariaceae, Graminae, Poaceae, Fabaceae, Myrtaceae
- *Leptospermum scoparium* – $20\ 000\ \mu\text{g/g}$ DW
- $48\ 000\ \mu\text{g/g}$ DW v *Sutera fodina*;
 $30\ 000\ \mu\text{g/g}$ DW v *Dicoma niccolifera*
- Možná kontaminace vzorků
sprašemi obsahujícími chrom

OLOVO

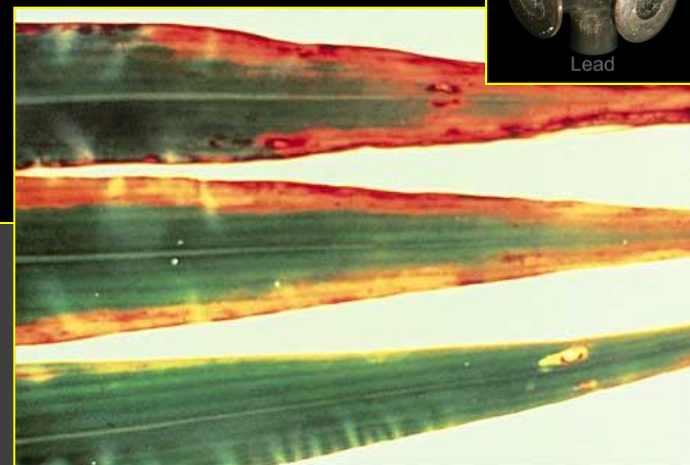
úpravny rud, hutě, rafinerie, chemický průmysl, akumulátory, pigmenty do barev, olovnaté sklo, přísady do glazur, zemědělství (hnojiva, insekticidy), spalování fosilních paliv, automobilový provoz (používání olovnatého benzínu)



- 90 % v kostech – ovlivnění krvevorbny
- Poškození jater, ledvin a reprodukčního systému
- Působení na nervový systém zejména u dětí – mentální retardace
- Karcinogenní
- Nebezpečí pro těhotné ženy – přestup přes placentu
- Vstup požitím a inhalací (60 a 30 %)

OLOVO

Toxicita olova



- Přítomno ve všech rostlinách.
- Běžný jeho obsah je 2-3 mg Pb.kg⁻¹.
- Pb rostlina přijímá pasivně a
- Příjem ovlivňuje pH a teplota.
- V rostlinách je pevně vázáno a není pohyblivé.
- V malých koncentracích stimuluje růst [Pb(NO₃)₂]
- Při vyšších koncentracích dochází k narušení metabolismu vápníku, inhibici enzymatických systémů, snížení příjmu CO₂ působí na buněčné dělení, omezují příjem vody.
- Při vysokých obsazích olova vznikají u rostlin chlorózy, přičemž pletiva kolem nervatury listů zůstávají zelená, později se zbarvují žlutozeleně a listy jsou zakrnělé.
- V bezprostřední blízkosti komunikací může obsah Pb dosáhnout 100-500 mg.kg⁻¹ sušiny.
- Nejcitlivější na kumulaci olova je zelenina listová.

OLOVO



Hyperakumulace:

- $>1\ 000\ \mu\text{g/g}$ (0.1 %) Pb
- 4 rostlinné druhy
- Plumbaginaceae, Caryophyllaceae, Brassicaceae
- *Thlaspi rotundifolium* – $8200\ \mu\text{g/g}$ DW
- *Thlaspi alpestre* – $2740\ \mu\text{g/g}$ DW
- Olovo precipituje v rhizosféře – je minimalizován jeho příjem a transport do nadzemních částí rostlin



MANGAN

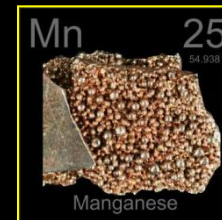
výroba oceli (desulfurační a deoxidační přísada), sklářský průmysl, pyrotechnika, barvy, galvanické články



- vliv na vývoj CNS, pohlavních orgánů a kostí
- chronická otrava po několikaměsíční (několikaleté) inhalaci aerosolů
 1. fáze - bez charakteristických symptomů
 2. fáze - psychosomatické symptomy, dysartrie, somnolence, nekontrolovatelný smích, impulsivnost, bolesti hlavy
 3. fáze - akutní psychóza maniakálního či depresivního typu, Parkinsonova nemoc
- po inhalaci aerosolů a jemného prachu s vysokým obsahem Mn „Horečka slévačů“

MANGAN

- 50 $\mu\text{g/g}$ SH
- v rostlině v oxidačních stavech II, III, IV
II a IV jsou stabilní
III je nestabilní
- účast v oxidoredukčních reakcích v
buňce přechody Mn(II) a Mn(III)
- tvorba komplexů MnATP
- příjem ve formě Mn^{2+} , dostupnost
ovlivněna pH a redoxními podmínkami
(podobně jako Fe)
- pohyblivost Mn v rostlině malá



MANGAN

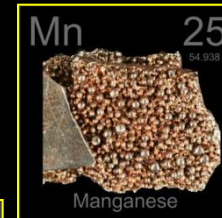


Hyperakumulace:

- $>10\,000\ \mu\text{g/g}$ (1 %) Mn
- 11 rostlinných druhů
- Všechny druhy z Nové Kaledonie
- Apocynaceae, Cunoniaceae, Proteaceae
- *Macadamia neurophylla* – $51\,800\ \mu\text{g/g}$ DW (nejlepší hyperakumulátor)



MANGAN



Mangan v rostlině:

- význam v oxido-redukčních reakcích
 - přímá součást některých enzymů:
SOD

V rostlině je přítomno několik isoformů SOD:

FeSOD – dominantní chloroplastová forma

CuZnSOD – chloroplastová, cytoplasmatická i mitochondriální

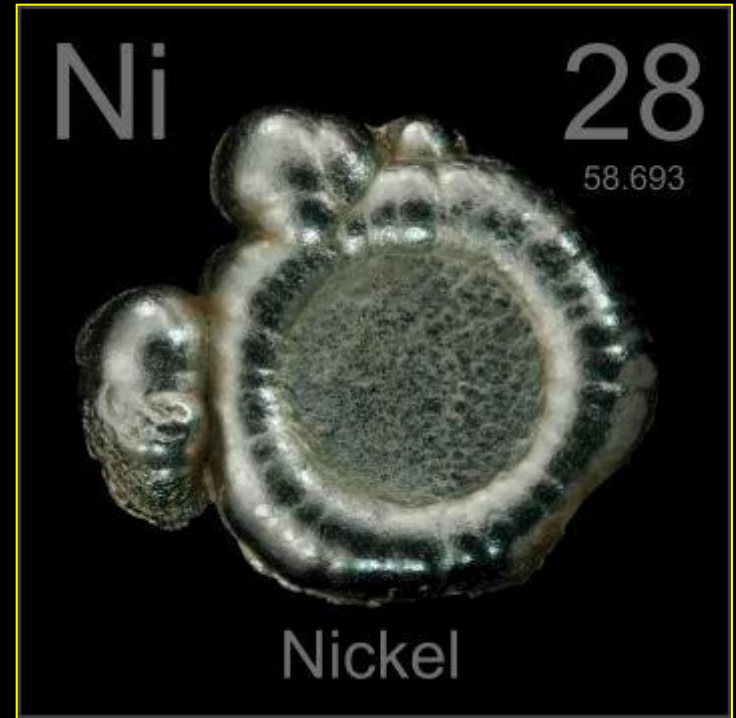
MnSOD – v mitochondriích a peroxisomech

komplex vyvíjející kyslík

- aktivace enzymů
 - specifická:
 - malátdehydrogenáza
 - isocitrátdehydrogenáza
 - PEPkarboxykináza (pochvy cévních svazků)
 - méně specifická (aktivace i Mg^{2+})

NIKL

úpravny rud, hutě, rafinerie, baterie, pokovování, slitiny, kosmetické přípravky (šampony, laky na vlasy), kouření



- Prach – rakovina plic, nosní a krční sliznice
- Mutagenita prokázána pouze u zvířat
- Pokožka – dermatitidy, chronické ekzémy
- Chronické otravy – poškození srdečního svalu, ledvin a centrálního nervového systému
- Ženy citlivější než muži

NIKL



- požadavek rostliny nízký 0,005 $\mu\text{g/g}$ SH
- toxicita nad 10-50 $\mu\text{g/g}$ 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)

Deficience niklu:

- přímé projevy nebyly popsány

Toxicita niklu:

- např. při aplikaci kalu
- tolerance je charakteristická u rostlin na serpentinitech (vysoký obsah Fe, Mg, Ni, Cr a Co a velmi nízká konc. Ca) – schopnost hyperakumulace
- komplexace

NIKL



Hyperakumulace:

- $>1\ 000\ \mu\text{g/g}$ (0.1 %) Ni
- 290 rostlinných druhů
- Brassicaceae, Cunoniaceae, Euphorbiaceae, Violaceae, Flacourtiaceae
- *Psychotria douarrei* – 47500 $\mu\text{g/g}$ DW (nejlepší hyperakumulátor)
- Endemická flóra z Nové Kaledonie (okolo 50 druhů)
- *Sebertia acuminata* – 17750 $\mu\text{g/g}$ DW (modrozelený latex obsahuje nikl v množství 11200 $\mu\text{g/g}$ FW)



Sebertia acuminata



© Bernard Suprin



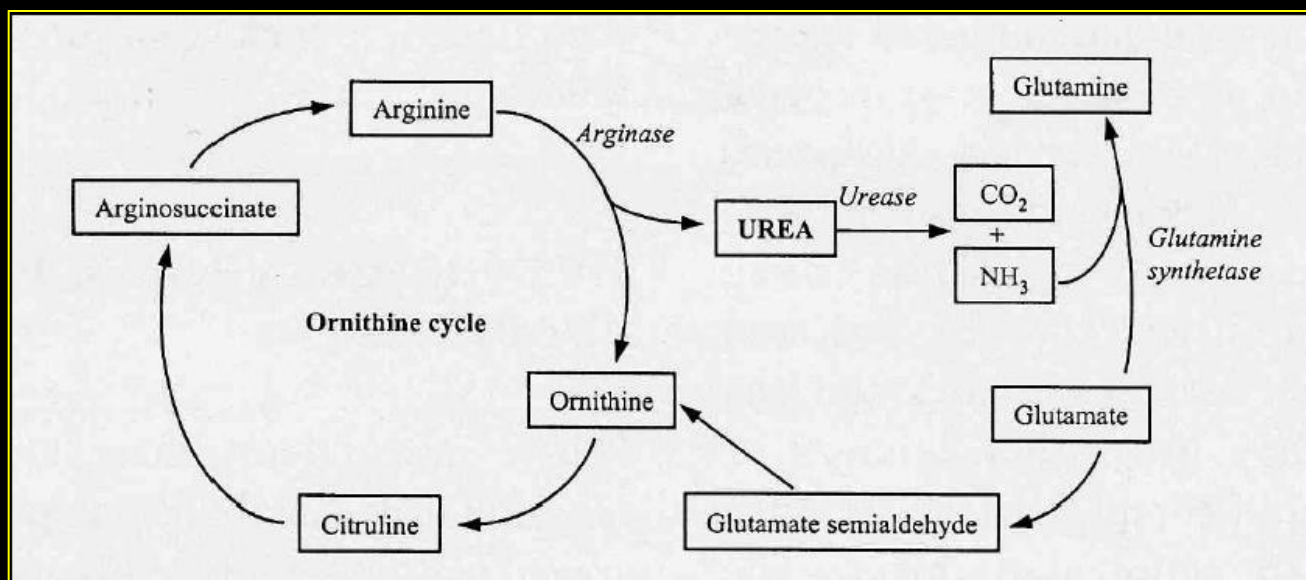
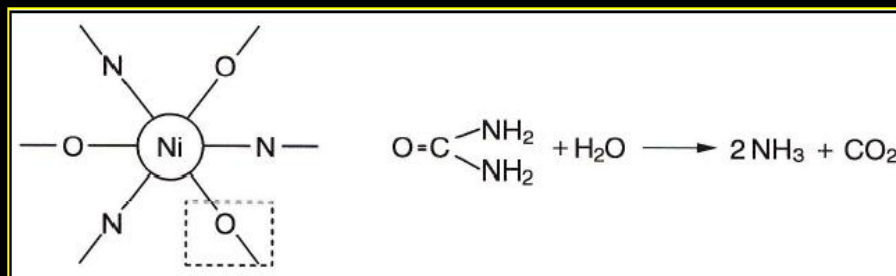
Homalium austrocaledonicum

NIKL



Nikl v rostlině:

- Ni je součástí řady enzymů (většina bakteriálních)
- u rostlin jediný známý enzym – **ureáza**
- hexamerní enzym, každá podjednotka 2 atomy Ni
- štěpení močoviny



ZINEK

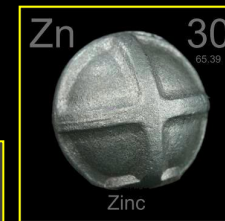
galvanizace, pigmenty do barev a keramických glazur, slitiny (mosazi, bronzy), zemědělství, komunální odpad, kouření



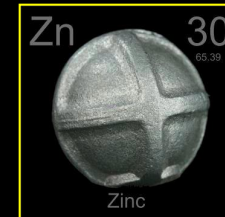
- **Esenciální prvek**
- **Nedostatek zinku způsobuje poruchy při dospívání u chlapců**
- **Nízká koncentrace – dermatitidy, neuropsychické abnormality, poškození imunitního systému**
- **Vysoké koncentrace - zdravotní problémy**
- **Horečka z kovů (inhalace par ZnO) – bolesti hlavy, únava, kašel, vysoké teploty, dehydratace pocením, bílkoviny v moči**
- **Rozpuštěné sloučeniny – místní leptavé účinky, žaludeční potíže, zvracení, průjem**

ZINEK

- obsah v rostlině kolem 20 $\mu\text{g/g}$ SH
- deficience 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 floému
- v semenech ve formě fytátů



ZINEK



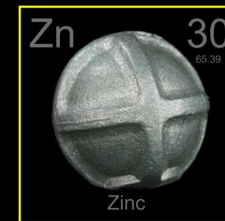
Hyperakumulace:

- $>10\,000\ \mu\text{g/g}$ (1 %) Zn
- 16 rostlinných druhů
- 10 z 16 druhů jsou rostliny rodu *Thlaspi*
- Brassicaceae, Violaceae
- *Thlaspi calaminare* – $39600\ \mu\text{g/g}$ DW (nejlepší hyperakumulátor)
- Kromě *Haumaniastrum katangense* jsou všechny rostlinné druhy z Evropy



Thlaspi calaminare

ZINEK



Deficience zinku:

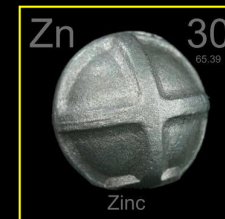
- v přírodě častá (srážkami bohatá stanoviště, vápenité půdy), často společně s deficiencí Fe
- zkracování internodií, zmenšování listů chlorózy mladých listů

Toxicita zinku:

- častým kontaminantem antropogenního znečištění
- zastavení elongace kořenů, chlorózy listů
- mechanismy tolerance:
- mykorhiza
- sekvestrace do vakuoly

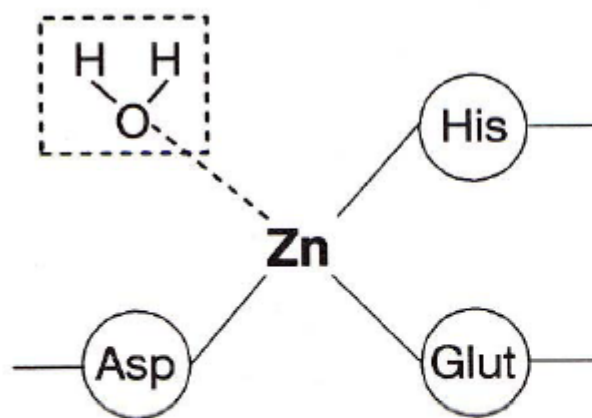


ZINEK

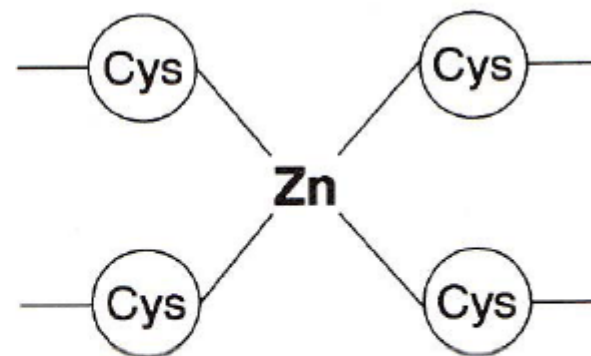


Zinek v rostlině:

- tvorba komplexů s N-, O- a S- ligandy
- strukturální i katalytická funkce v enzimech



karboanhydráza
karboxypeptidáza



alkoholdehydrogenáza
DNA vazebné proteiny

Další enzymy obsahující Zn:

CuZnSOD

fosfolipázy

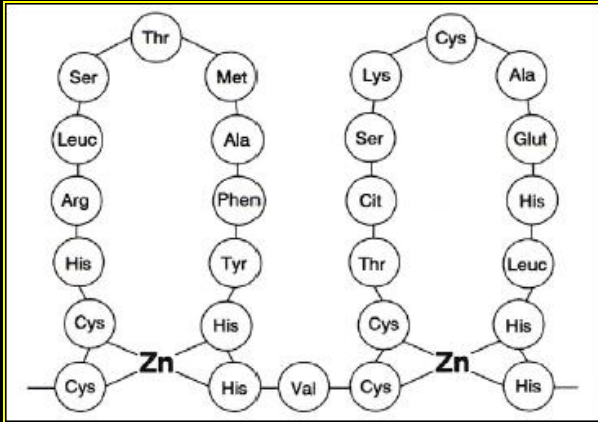
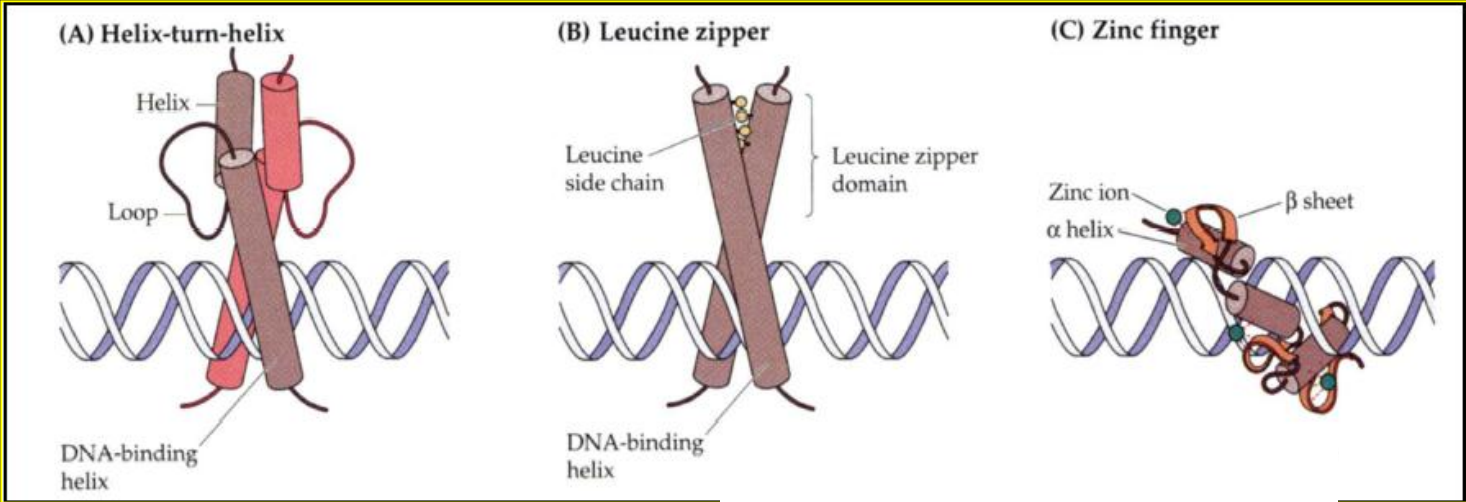
RNApolymeráza

alkalická fosfatáza

ZINEK



Zinek v rostlině:
součást DNA vazebných proteinů – transkripční faktory

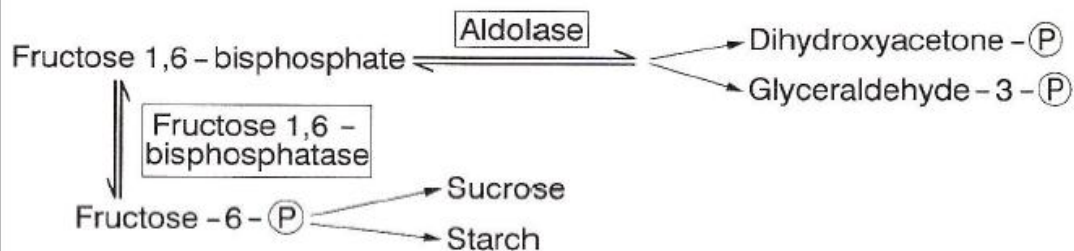
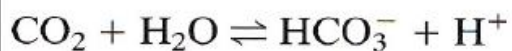


ZINEK



Zinek 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
- udržování integrity plasmalemy
 - komplexy s fosfátovými a SH skupinami fosfolipidů a membránových proteinů



KADMIUM

doprovodný kov v zinkových a olověných rudách, zemědělství (fosfátová hnojiva), pigmenty pro barvy a plasty, baterie, spalování fosilních paliv, kouření



- Může nahrazovat zinek v biochemických strukturách – inaktivace
- Vysoký krevní tlak, poškození ledvin, reprodukčních orgánů, destrukce červených krvinek, rakovina plic
- Křehnutí kostí – zborcení skeletu
- U zvířat teratogenní účinky

KADMIUM

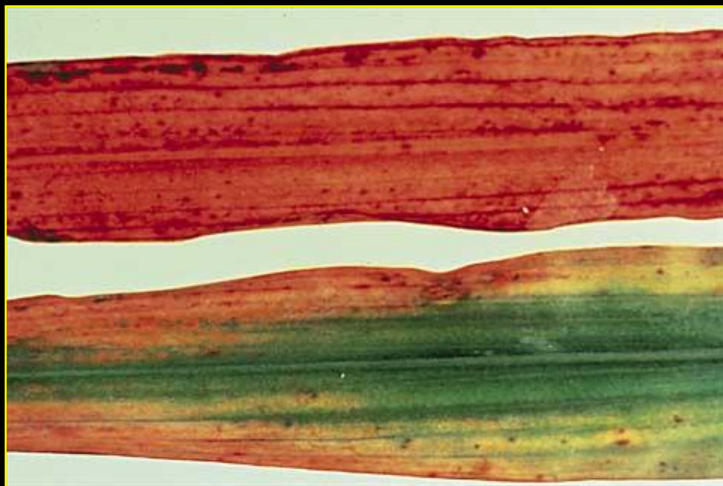


- Přijímá převážně jako kation Cd^{2+}
- Pohyb Cd z kořenů do nadzemních částí je omezený. Lze ho snížit fosforečnou výživou, kde se předpokládá interakce Cd s P.
- V nízkých koncentracích je Cd běžnou součástí všech rostlinných tkání
- Bylo prokázáno, že Cd vede k syntéze cysteinu a methioninu v sóji.
- Příčina toxicity Cd je spojovaná s narušením enzymatické aktivity a syntézy antokyanu.
- Chlorofyl se vyznačuje schopností koncentrovat Cd.
- Symptomy toxicity kadmia: omezený růst, poškození kořenů, červenohnědé zbarvení listů, které přechází v chlorózu.
- Kadmium inhibuje také činnost nitrátreduktázy.
- Rostliny ke kadmiu citlivé: špenát, sója, kořenové zeleniny.
- Rostliny odolné: plodové zeleniny, brambory, tabák, kukuřici.
- Obecně vegetativní části rostlin obsahují větší množství Cd než semena a plody..

KADMIUM



Toxicita kadmia



KADMIUM



Hyperakumulace:

- $>100 \mu\text{g/g}$ (0.01 %) Cd
- 1 rostlinný druh
- Brassicaceae
- *Thlaspi caerulescens* – $3600 \mu\text{g/g}$ DW
- Také hyperakumulátor zinku

Thlaspi caerulescens



SELEN

zpracování rud, komunální odpady,
spalování fosilních paliv, povrchové
úpravy kovů, polovodiče



- Součást metaloenzymů, antioxidační účinky
- Přítomnost snižuje toxicitu Cd, Hg, methylrtuti, Tl, Ag
- Vyšší dávky toxické – zejména zvířata (skot)
- Dermatitidy, poškození nehtů a zubů, vypadávání vlasů, zasažení nervového systému
- U skotu – cirhóza jater, malformace kopyt, vypadávání srsti, úbytek váhy, ztráta orientace, slepota mladých jedinců

SELEN



- Příjem selénu rostlinami je závislý na pH, teplotě.
- V malých dávkách stimuluje růst rostlin, ve vysokých působí toxicky.
- Nejvíce se Se ukládá ve vegetačním vrcholu, pak v semenech a v kořenech.
- Selén se chová podobně jako síra. V rostlinách např. selenocystin
- Toxicita selénu byla zjištěna u cibulovin.
- Příjem selenu může být potlačen aplikací SO_4^{2-} , čehož se prakticky využívá na půdách s toxickým obsahem Se

Toxicita selenu



SELEN



Hyperakumulace:

- $>100 \mu\text{g/g}$ (0.01 %) Se
- 19 rostlinných druhů
- Asteraceae
- Nalezeny v Severní Americe
- *Astragalus pattersoni* – 2696 $\mu\text{g/g}$ DW (nejlepší hyperakumulátor)
- Hyperakumulátory Se byly nalezeny na pastvinách kde byly nemocné krávy
- Rostliny využitelné pro prospekci uranu (karnotit obsahuje selen)



Astragalus bisulcatus



SELEN

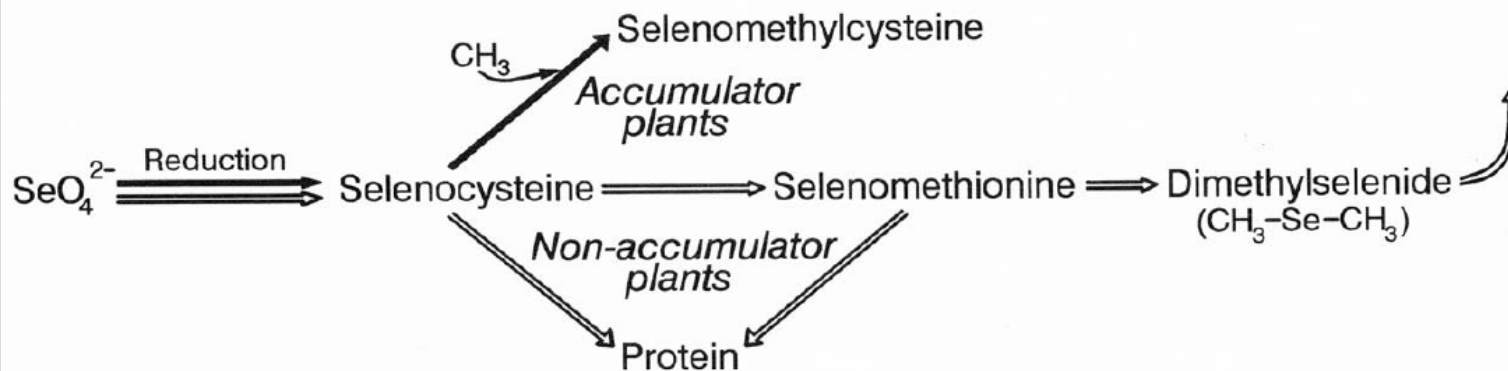


Selen v rostlině:

- zvýšení antioxidační kapacity rostliny a schopnosti tolerovat UV stres

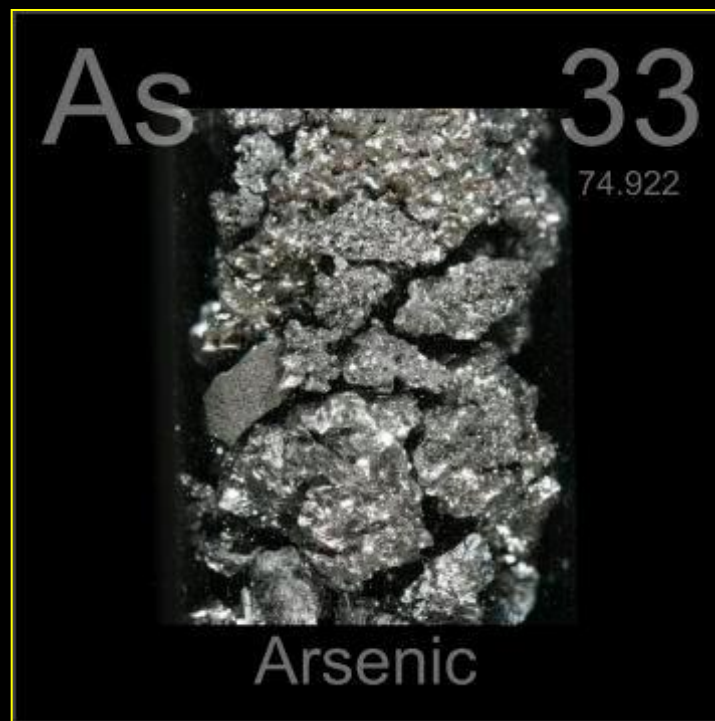
Toxicita selenu:

- 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



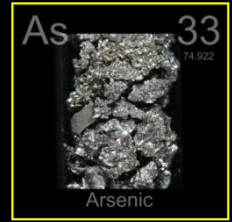
ARSEN

zpracování rud, aditiva do skla, zemědělství (hnojiva, insekticidy), kouření, léčiva pro veterinární medicínu, ochranné prostředky na dřevo



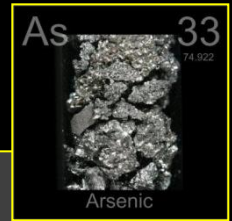
- Toxické s vysokou schopností kumulace
- Ukládání v játrech, ledvinách, vlasech, nehtech a kůži, napadá nervový systém
- Prostup přes placentu – teratogenní poškození plodu
- Protoplazmatický a kapilární jed
- Anorganický toxičtější než organický, As(III) toxičtější než As(V)
- Akutní otrava – bolest hlavy, závratě, zažívací potíže, selhání krevního oběhu a smrt
- Chronická otrava – zánět kůže, zažívací potíže, aplastická anémie, poškození nervového systému, rakovina kůže a plic, mutagenní a teratogenní účinky

ARSEN



- Arsen je součástí mnoha rostlin a
- Obsah se pohybuje od 0,09 - 1,5 ppm na sušinu.
- V rostlině je poměrně mobilní a byl zjištěn i v zrně ječmene.
- Nejvyšší obsahy byly nalezeny u listových zelenin a nízké u ovoce.
- Toxicita se projevuje u rostlin rostoucích na haldách rudných dolů nebo při používání kontaminovaných odpadních vod k závlaze.
- První příznaky jsou vadnutí listů, fialové zbarvení, plazmolýza buněk.
- Nejčastější příznaky toxicity jsou zpomalení růstu a snížení výnosu.
- Toxicitu arsenu lze zmírnit aplikací síry a fosforu.

ARSEN



Hyperakumulace:

- $>1\ 000\ \mu\text{g/g}$ (0.1 %) As
- 8 rostlinných druhů
- Polypodiaceae, Poaceae, Pinaceae, Campanulaceae, *Ericaceae*
- *Pteris vitata* – $7526\ \mu\text{g/g}$ DW (nízká koncentrace v kořenech)
- *Pityrogramma calomelanos* – $8350\ \mu\text{g/g}$ DW (vysoká koncentrace v listech, As ve formě arsenitanu)
- Řasy v říční vodě jsou schopny akumulovat od 500 do $1500\ \mu\text{g/g}$ DW



Pteris vitata

THALLIUM

příměs sulfidických rud, tranzistory, fotočlánky, prostředky na hubení hlodavců, výroba speciálních skel, impregnace dřeva a moření obilí, v detekčních přístrojích gamma záření



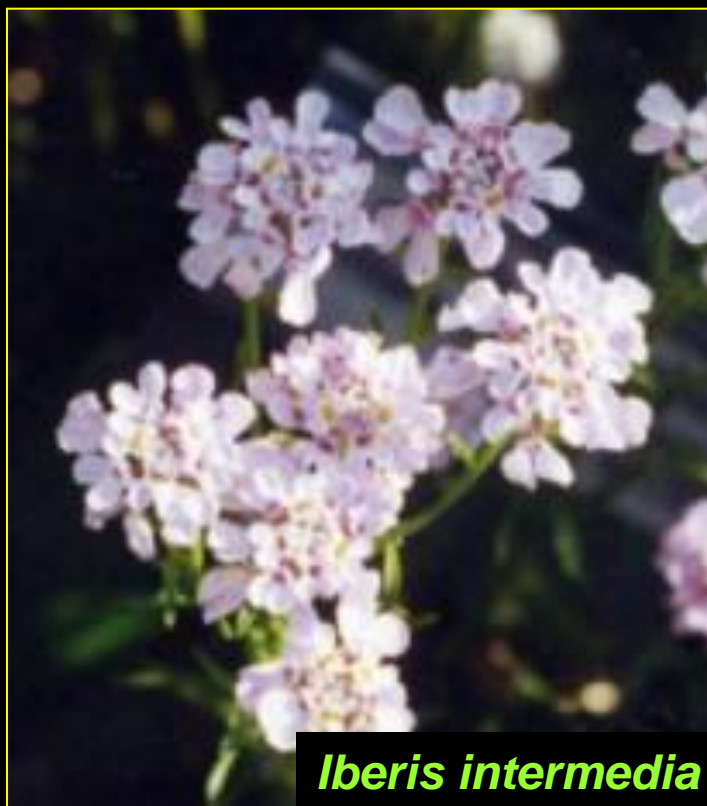
- cílovými orgány zejména nervová soustava, GI a kůže
- Akutní otrava - vnitřní krvácení, bolestivá neuropatie (chodidla, dlaně), dále extrémní slabost, halucinace, ataxie, křeče, koma, dvojité vidění, abnormální vnímání barev a intenzity obrazu, vypadávání vlasů, vyrážky, „Mees lines“
- Chronická otrava - silný depilační účinek, vypadávání vlasů začíná 10 dní po expozici, kompletní ztráta vlasů do 1 měsíce, poruchy spánku, únavnost, slabost

THALLIUM



Hyperakumulace:

- $>1\ 000\ \mu\text{g/g}$ (0.1 %) TI
- 1 rostlinný druh
- Brassicaceae
- *Iberis intermedia* – $2132\ \mu\text{g/g}$ DW
- Roste na hlušině po dolování olova



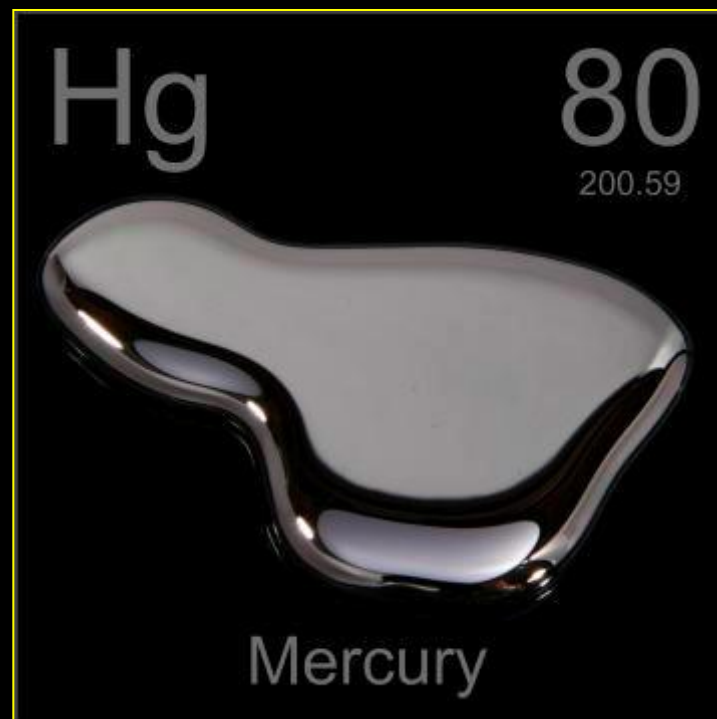
Iberis intermedia

RTUŤ

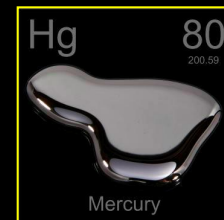
zpracování rud, zemědělství (herbicidey, fungicidey), elektrochemie, katalytické procesy, baterie, lékařství (teploměry, zubní amalgamy), spalování fosilních paliv

- Methylrtuť – nejtoxičtější – prostupuje plodovou placentu a hematoencefalickou bariéru, embryotoxická a mutagenní látka, poškození plodu nebo spontánní potrat

- Vysoká afinita k síře – vazba na SH skupinu v bílkovinách
- Vazba na albumin a hemoglobin – poškození krevních buněk
- Vazba na membránu – inhibice transportu živin
- Mírné expozice – poškození centrálního nervového systému – únava, nespavost, podrážděnost, poruchy jemné motoriky
- Silné expozice – poškození plic a smrt
- Růžová nemoc - hypersekrece potních žláz, světloplachost, horečka, charakteristicky zbarvená vyrážka, otoky prstů, zduření mízních a slezinných uzlin, rohovatění a odlupování pokožky u dětí

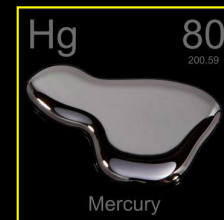


RTUŤ



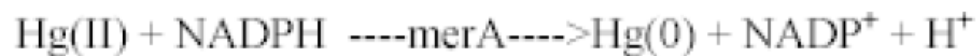
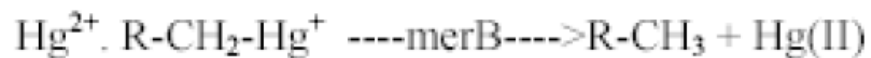
- Rostliny přijímají rtuť snadno
- Rtuť přijatá z půdy je kumulovaná v kořenech a může být translokována do nadzemních částí.
- Rostliny mohou přijímat Hg ve formě páry z ovzduší.
- V rostlině může být Hg přemístována do různých tkání.
- Intenzívně se váže s atomy síry v aminokyselinách, bílkovinách a enzymech.
- Rtuť omezuje: růst rostliny, vývin kořenů, fotosyntézu.
- Rtuť silně kumulují: mrkev, salát, houby, jablka, zelí, fazole.
nekumulují: rajčata, okurky, řepa.

RTUŽ



Biomanipulace rostlin:

- transformace rostlin bakteriálními geny
 - ✓ **MerA** – Hg²⁺ reduktáza
 - ✓ **MerB** – lyáza
- úspěšně u *Arabidopsis thaliana*, *Brassica*, *Nicotiana tabacum*, *Liriodendron tulipifera*
- zkouší se u mokřadních rostlin (*Typha*, divocí příbuzní rýže , *Spartina*)



Nicotiana tabacum

DALŠÍ TĚŽKÉ KOVY



Deficience Mo - květák



Toxicita Mo - vojtěška



Deficience Fe - broskvoň