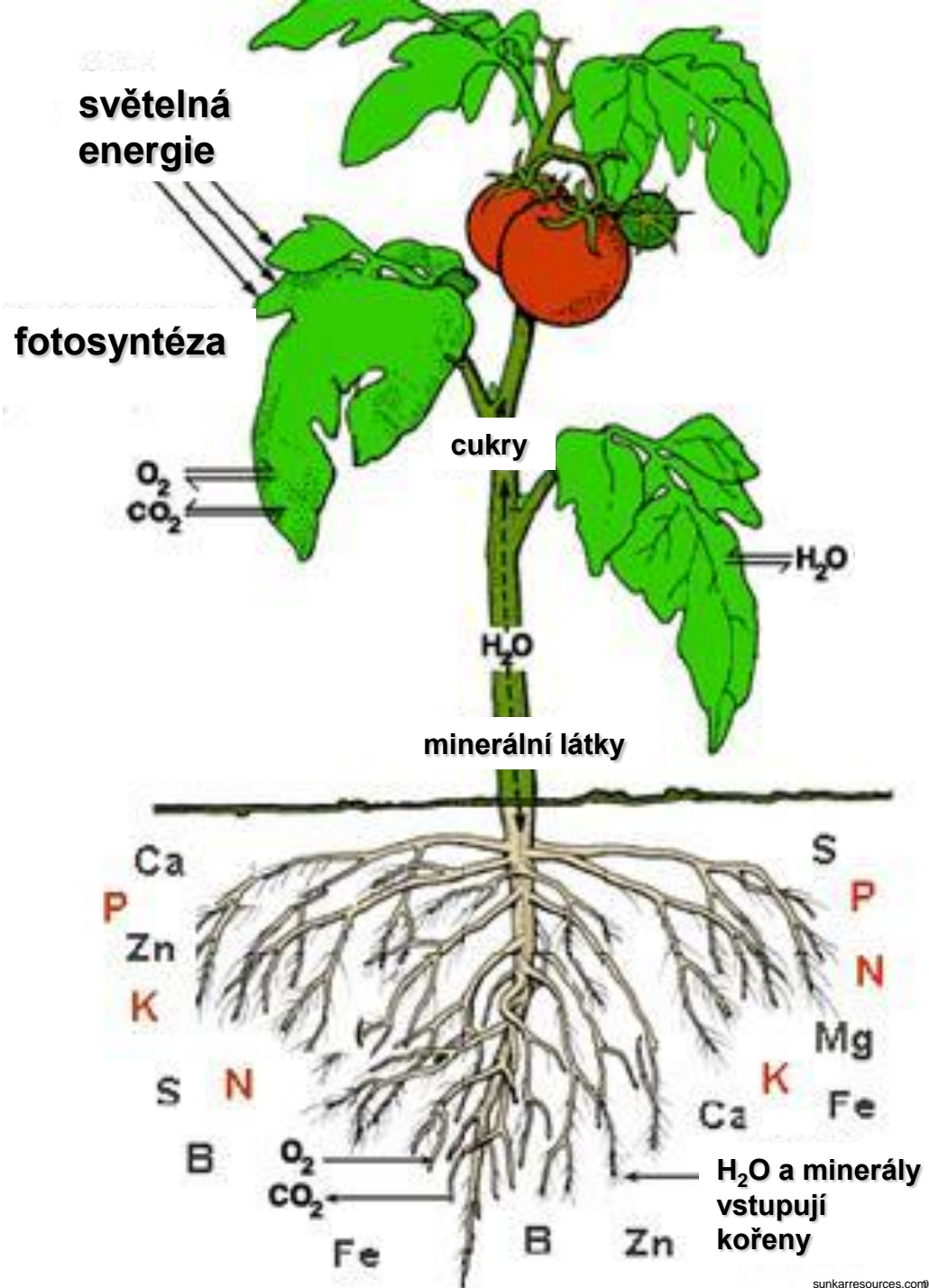


Minerální výživa rostlin

Příjem a využití minerálních látek (prvků) nezbytných pro růst rostlin



Jaké živiny rostliny potřebují?

esenciální (nezbytné) prvky

Není možné je nahradit jiným prvkem, rostlina bez nich neukončí svůj životní cyklus, jsou součástí esenciální metabolické dráhy

makroprvky (v mg/g sušiny)

dusík, draslík, vápník, hořčík, fosfor, síra
...a uhlík, kyslík, vodík

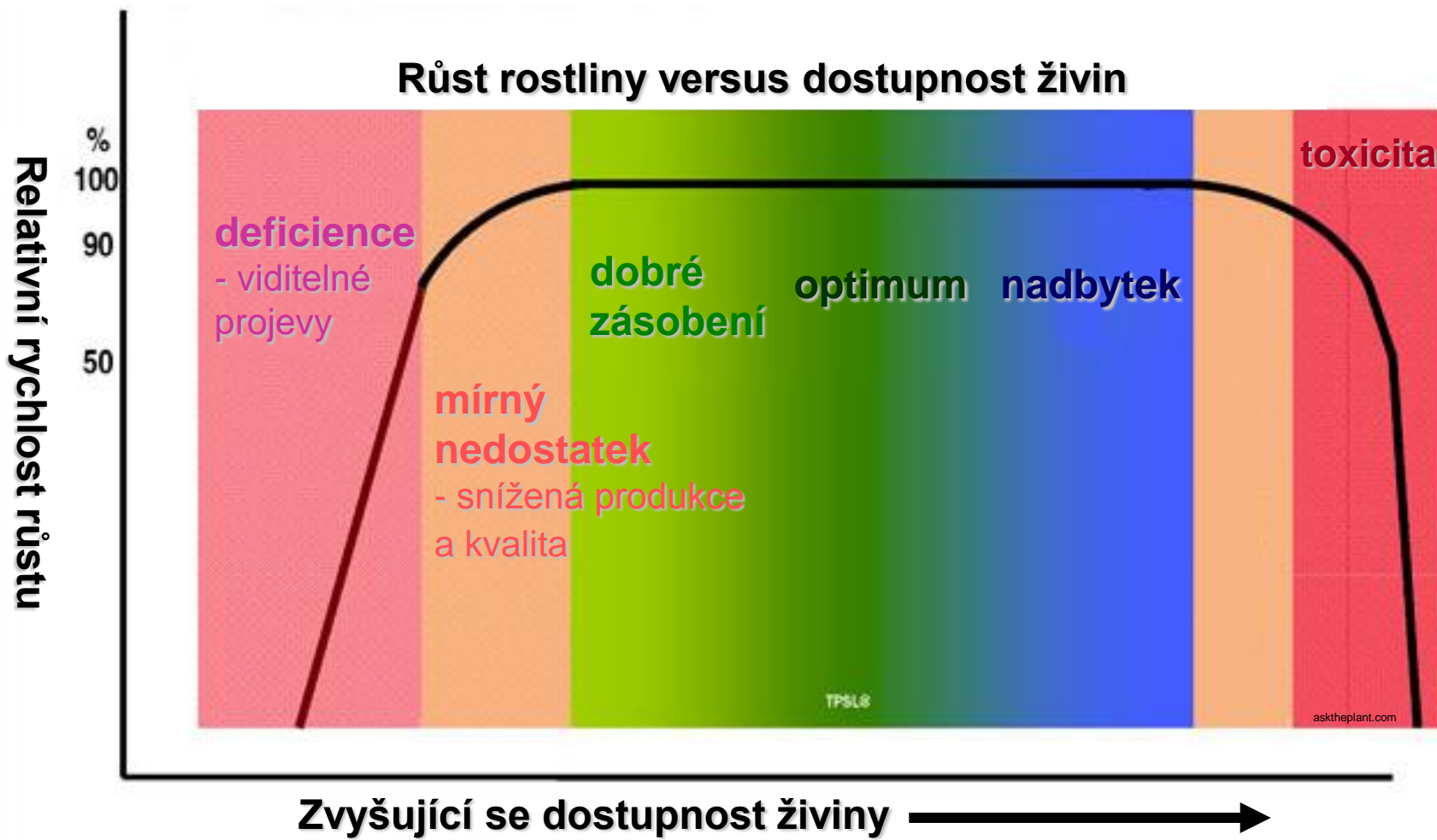
mikroprvky (v µg/g sušiny)

chlór, bór, železo, mangan, zinek, měď, molybden,
nikl

benefiční (prospěšné) prvky

Pouze prospěšné nebo esenciální jen u některých druhů
křemík, sodík, hliník?

Rostliny potřebují živiny v optimálním množství



- ve výživě rostlin platí **zákon minima**

Nedostatek (deficiency)

se projevuje snížením rychlosti růstu i změnami ve vzhledu rostlin – žloutnutí (chloróza), červenání, zasychání částí listů

první živné
roztoky

D.R. Hoagland
(1884-1949)



Nadbytek (toxicita)

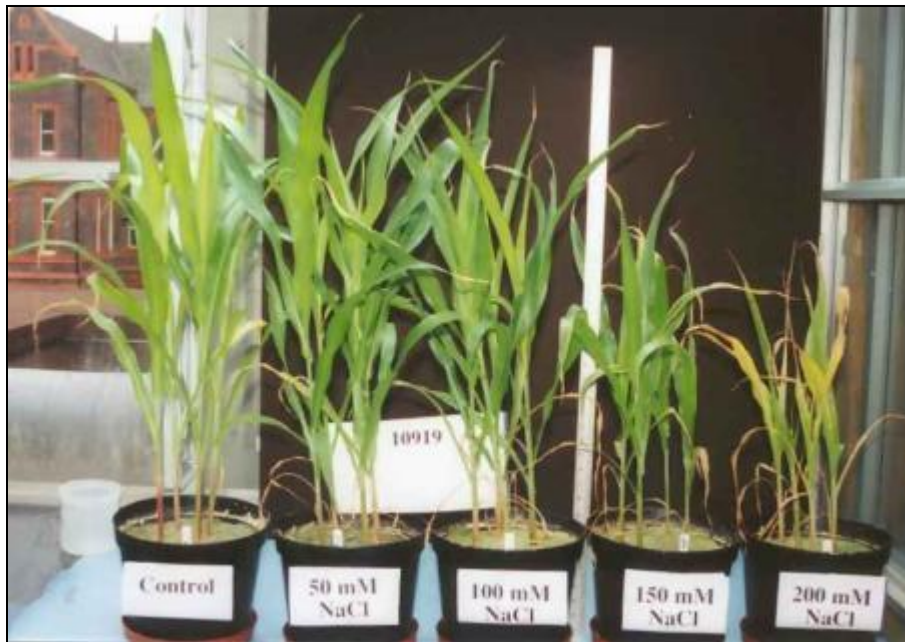
pro rostlinu opět nepříznivá

- např. **zasolení půdy**

(nadbytek Na^+ , Cl^- a dalších iontů)

Na zasolených stanovištích mají rostliny problémy s příjmem vody i draslíku, který potřebují pro fungování buněk

čirok



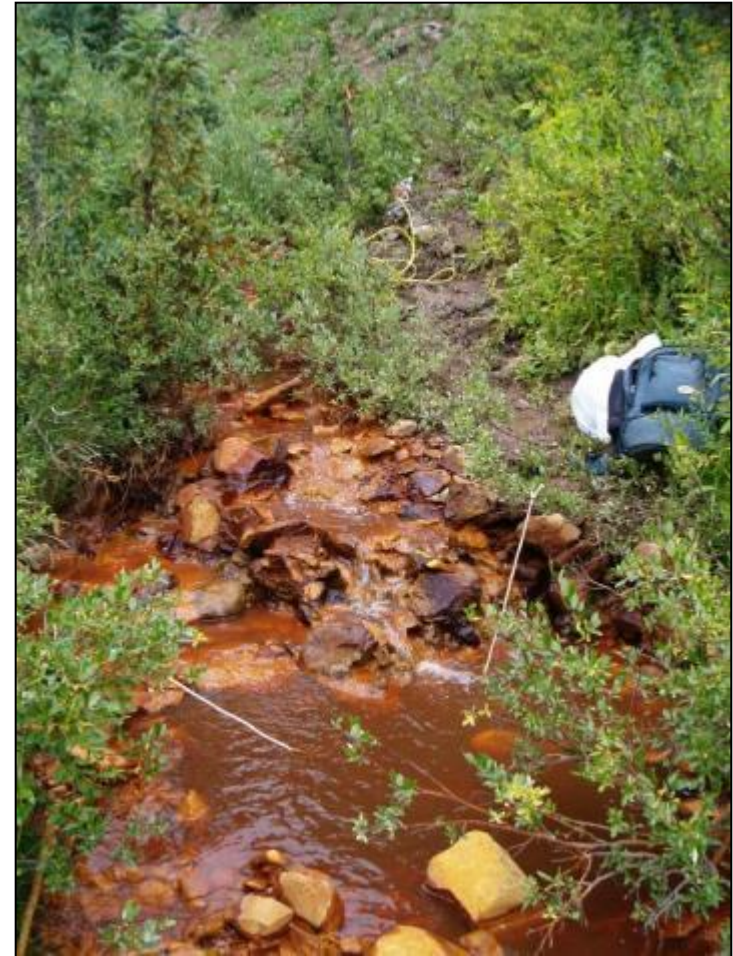
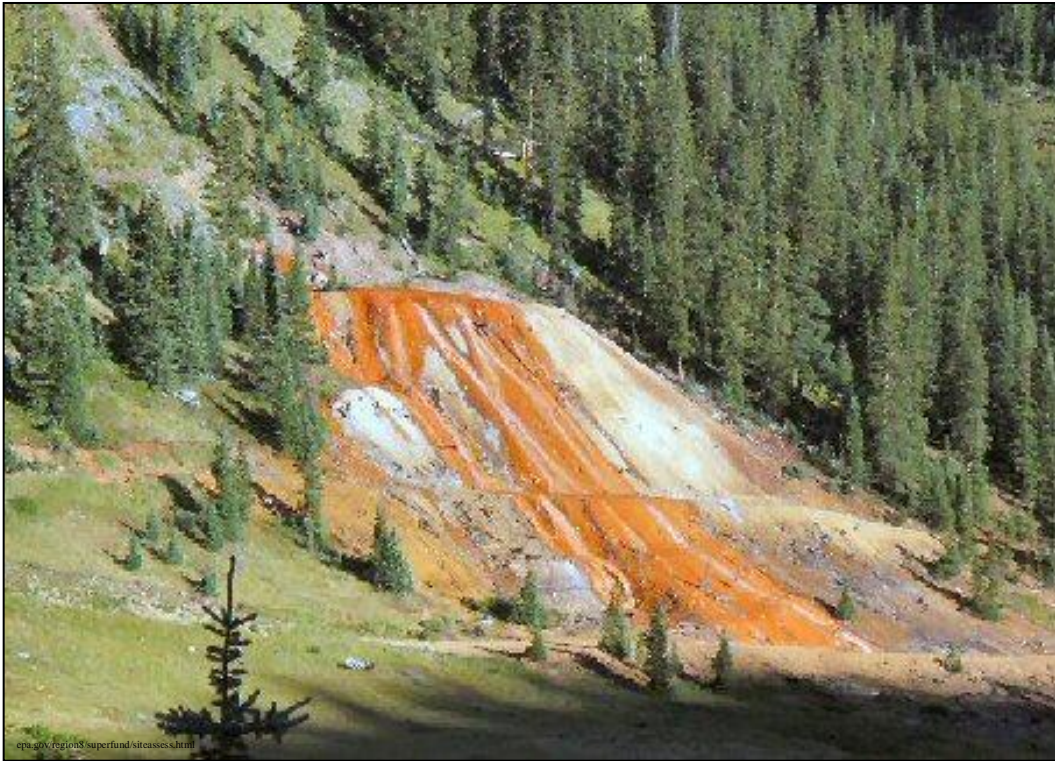
iv.ac.uk/~sd21/stress/salt.htm



Nadbytek (toxicita)

- nebo **zatížení vysokou koncentrací těžkých kovů**

stanoviště ovlivněná antropogenní činností i přirozená stanoviště – např. hadce



Hadcové půdy - křemičitan železnato-hořečnatý

- vysoký obsah Fe, Mg, Ni, Cr a Co



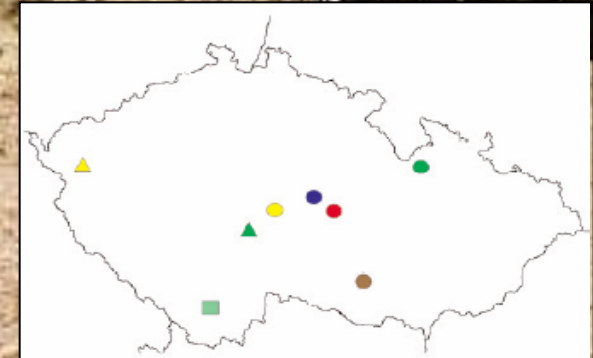
Podmrvka Marantova



Sleziník hadcový



Trávníčka obecná hadcová



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

Některé rostliny dokáží hromadit velké množství těžkých kovů v listech bez projevů toxicity

cca 450 druhů krytosemenných rostlin se schopností hyperakumulace (As, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, Zn,)



penízek modravý

- akumulace Zn, Cd, Ni
- 28 mg Zn/g sušiny



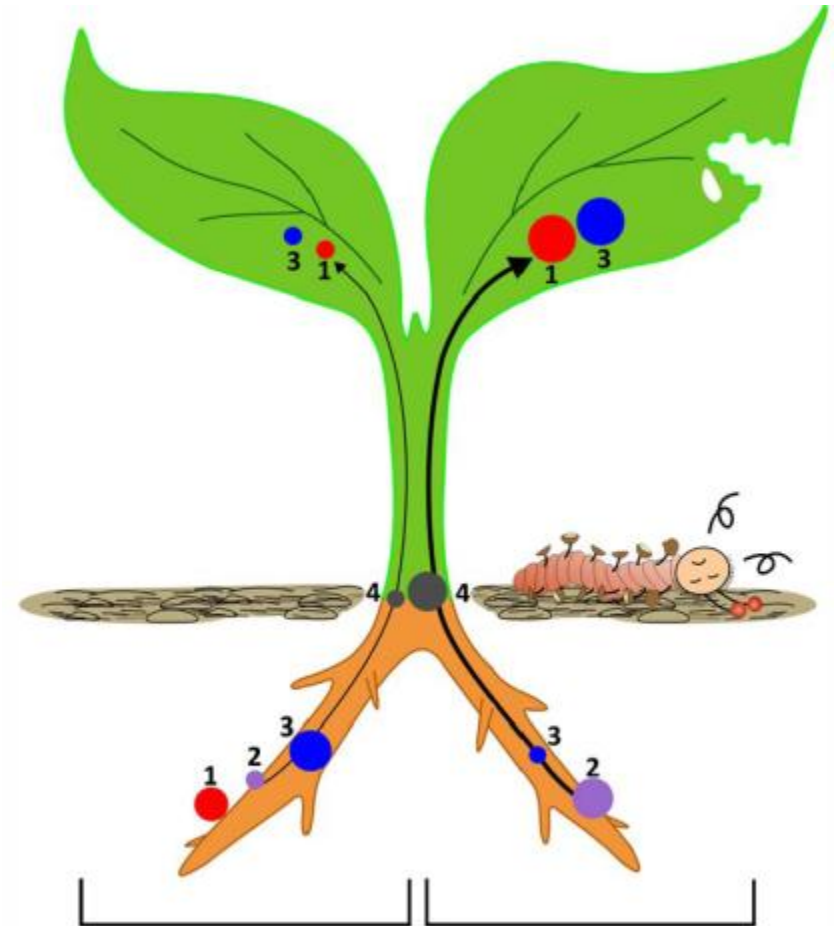
líčidlo americké

- akumulace Mn,
- 8 mg Mn/g sušiny



křídelnice

- akumulace As
- 7,5 mg As/g SH



tolerantní rostlina, která není hyperakumulátorem

rostlina se schopností hyperakumulace

Jak rostliny přijímají minerální živiny?

- kořeny z půdy v podobě anorganických iontů

tato cesta představuje hlavní zdroj živin

- listy v podobě iontů nebo plynů

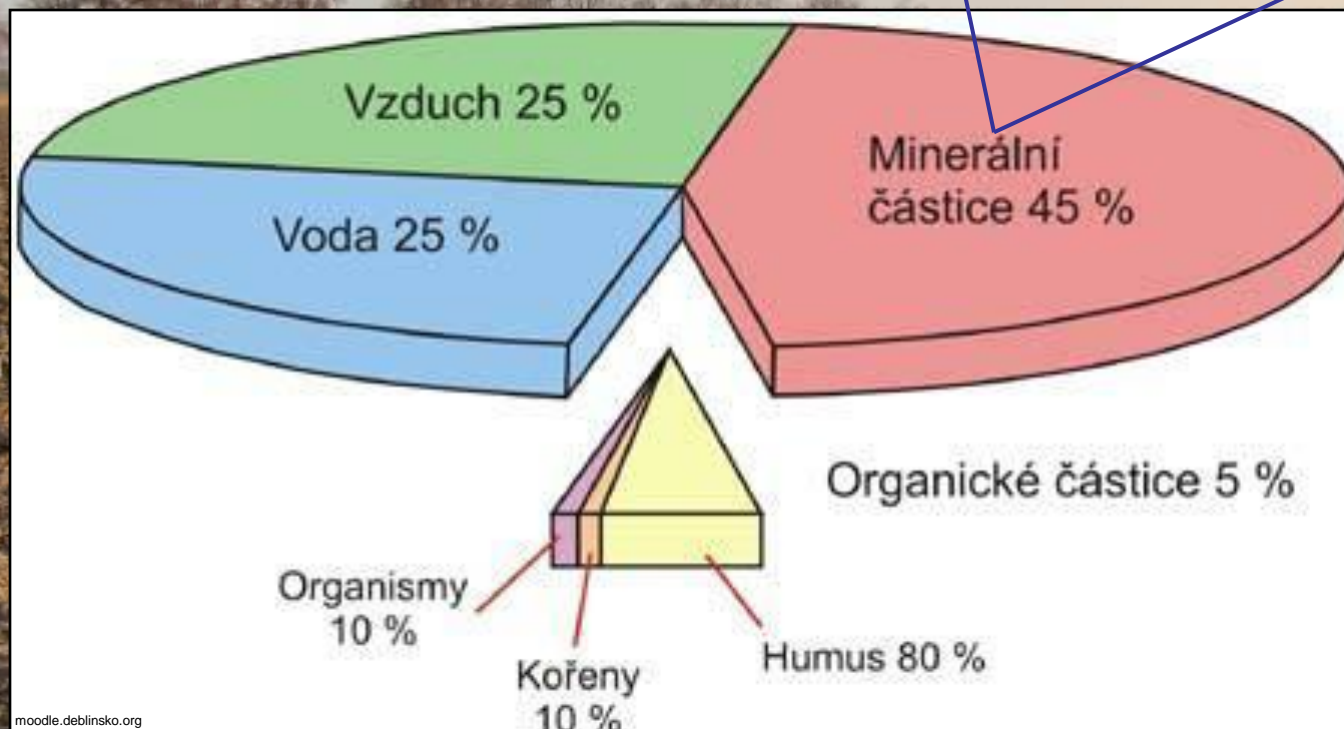
hnojení na list velmi účinné především v případě mikroprvků ale i vápníku;
v plynné podobě CO_2 nebo SO_2

- prostřednictvím spolupráce s mikroorganismy

mykorhiza (symbióza s houbami) nebo symbiotické mikroorganismy fixující
vzdušný dusík

Půda – hlavní zdroj živin

kameny a štěrk
písek (částice o velikosti 2-0,05mm)
prachové částice (0,05-0,002mm)
jílové částice (méně než 0,002mm)

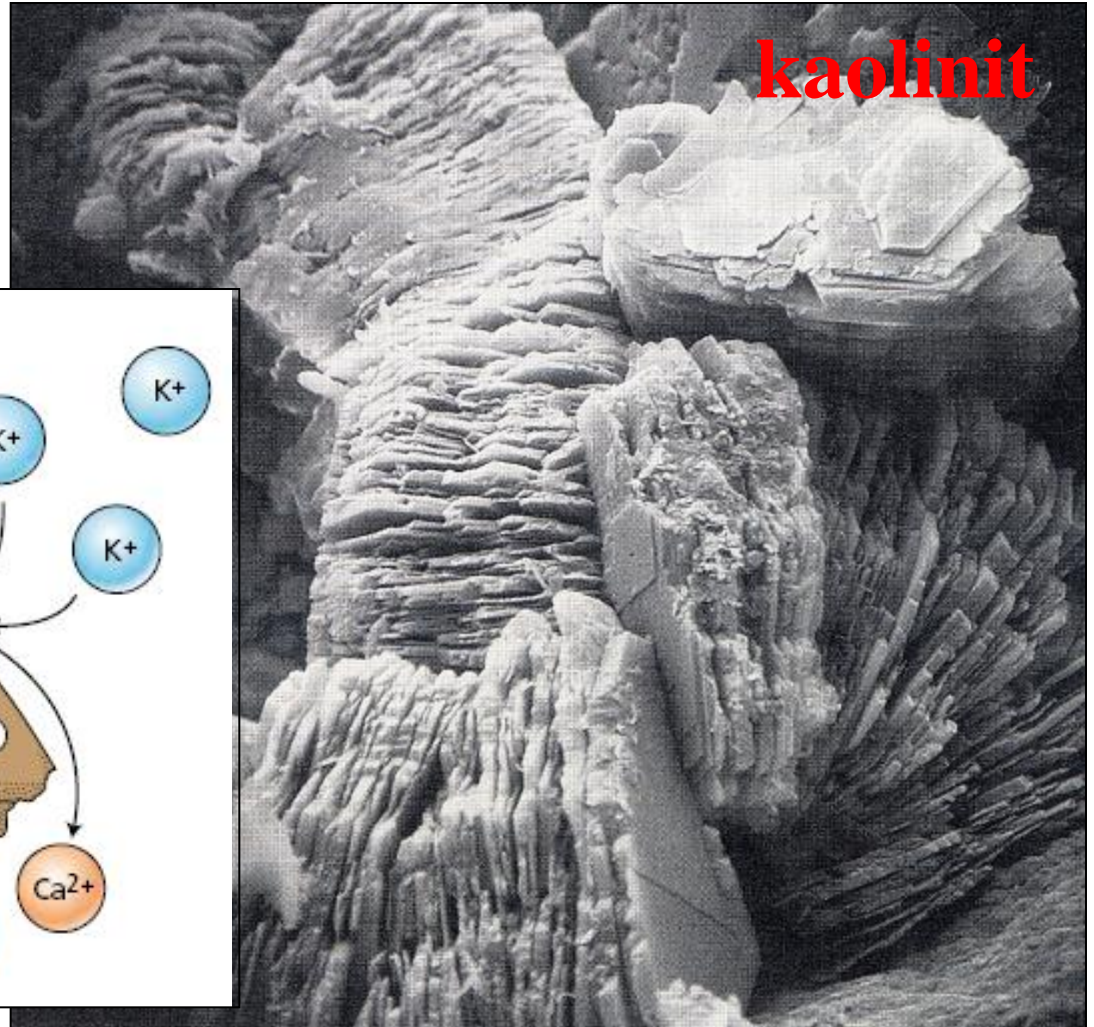
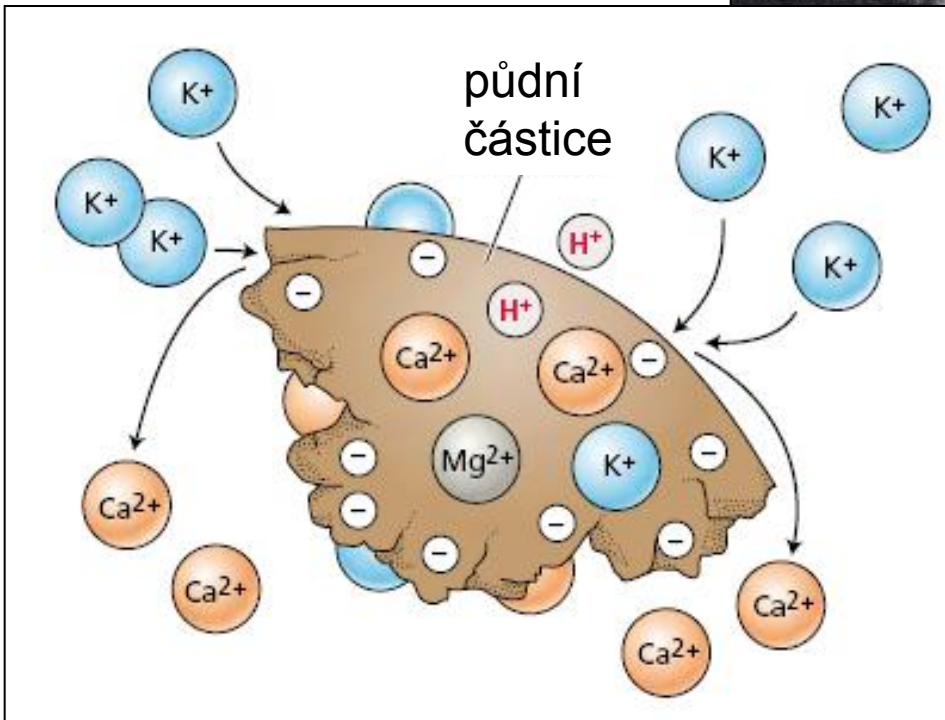


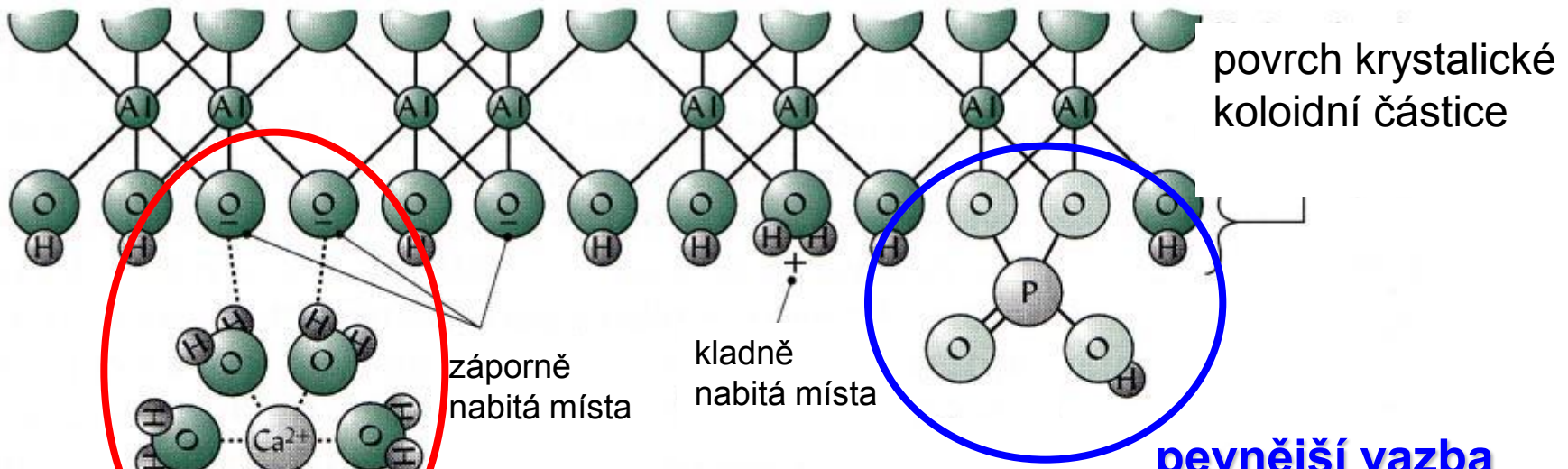
moodle.deblinsko.org

Co ovlivňuje dostupnost živin z půdy?

podloží, schopnost půdy vázat ionty z půdního roztoku, dostupnost vody – hydrologický režim, pH, provzdušnění a další faktory

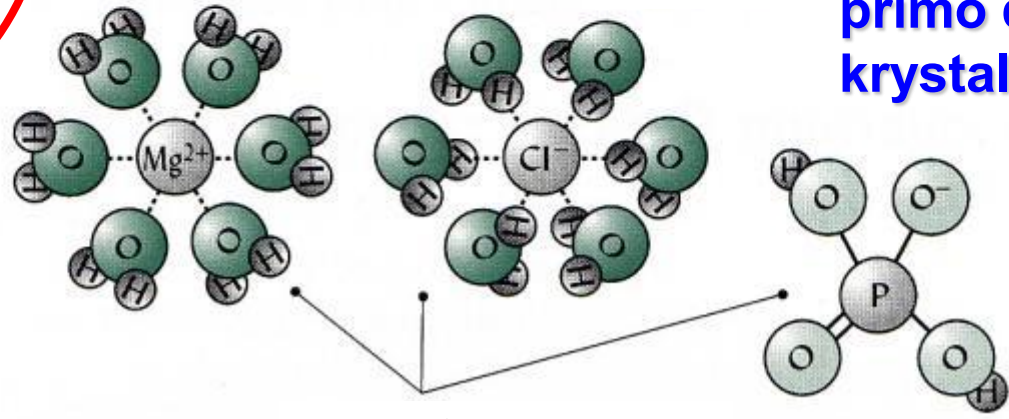
Jílové minerály a organické látky (humus) velmi efektivně váží ionty živin díky povrchovým nábojům





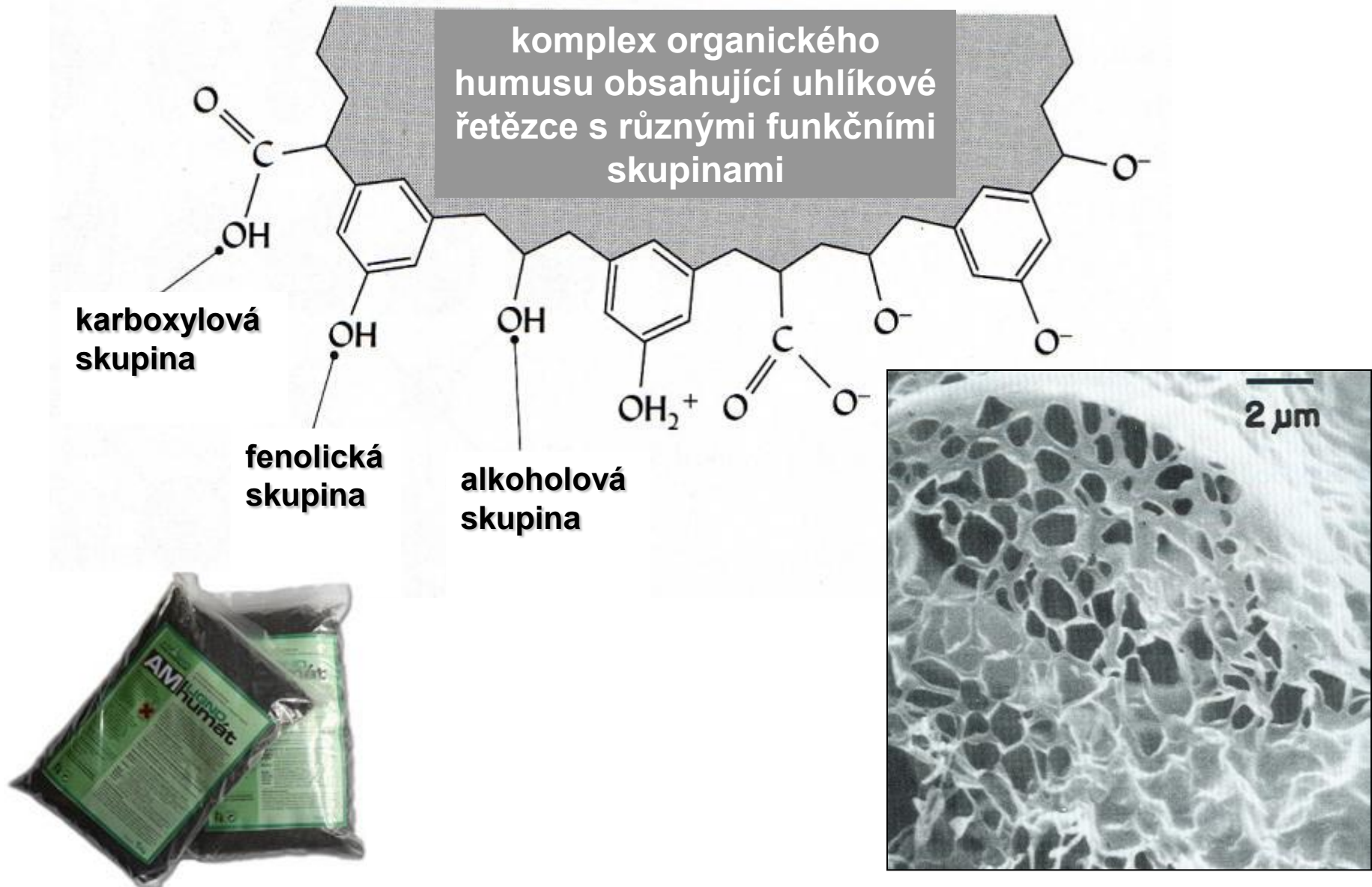
volnější vazba prostřednictvím molekul vody

pevnější vazba přímo do krystalické mřížky

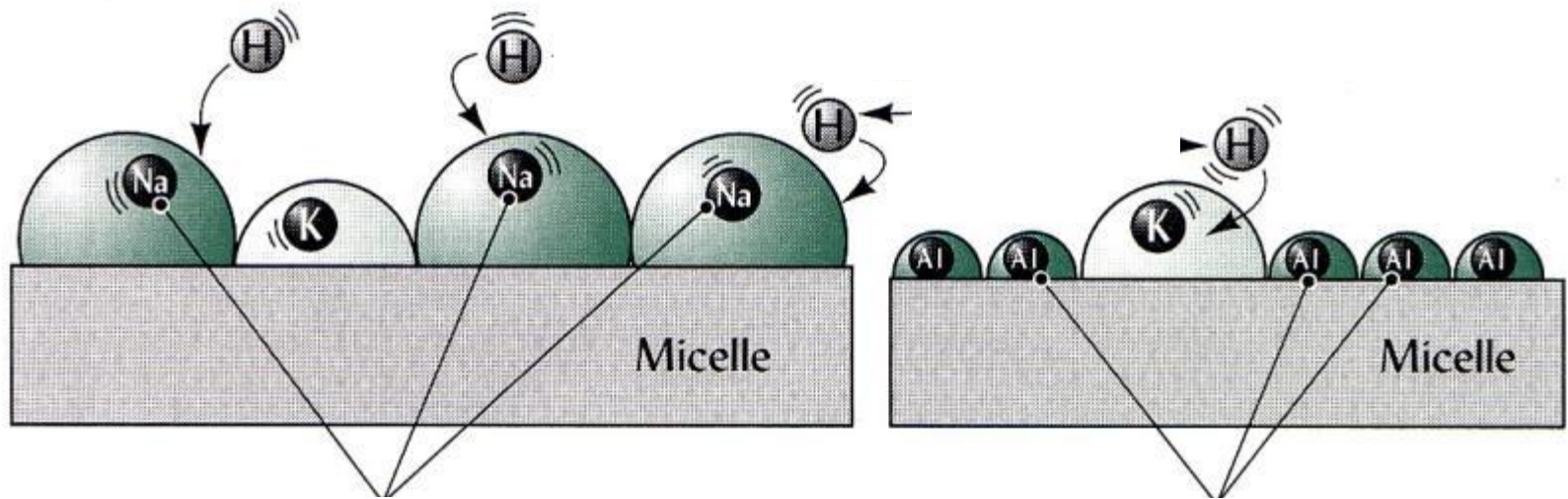
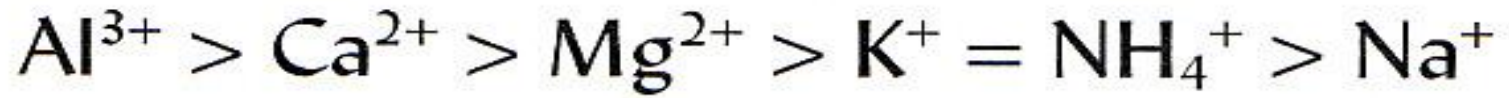


ionty v půdním roztoku mají vždy hydratační obal (jsou obalené molekulami vody)

Humusové látky se také podílejí na vazbě iontů, jsou velmi důležité pro stabilizaci pH

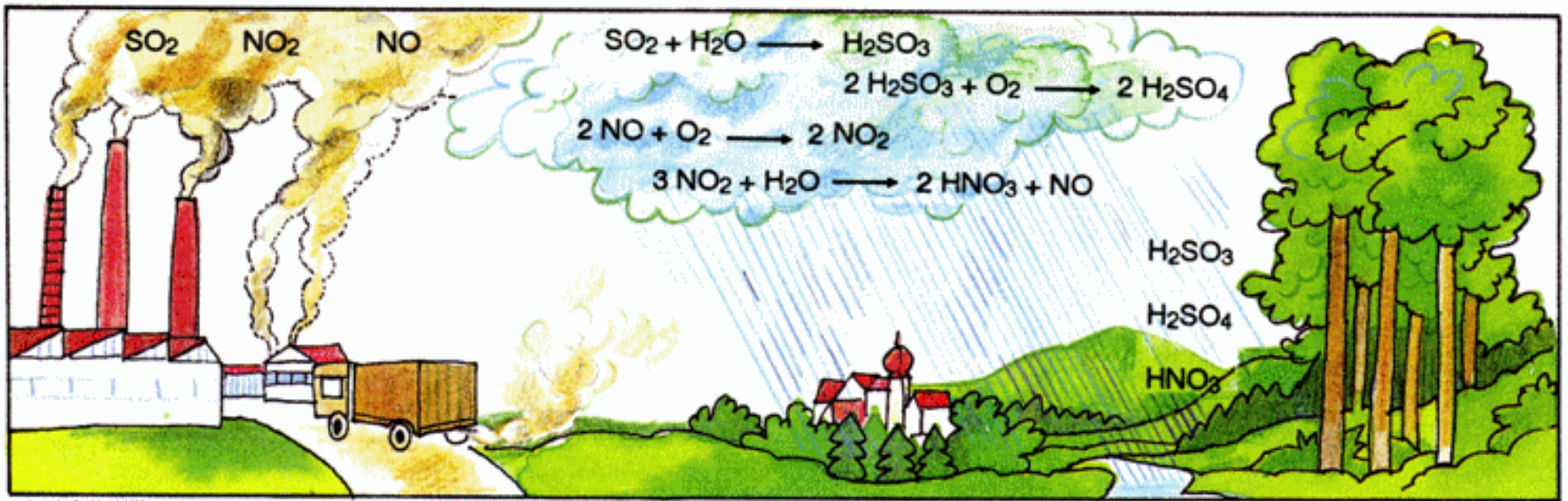


Ionty živin nejsou vázány stejně silně, záleží na velikosti iontu v hydratovaném stavu (na mocenství).



slaběji vázané monovaleční kationty
draslíku a sodíku

pevně vázaný trojmocný hlinitý
kation



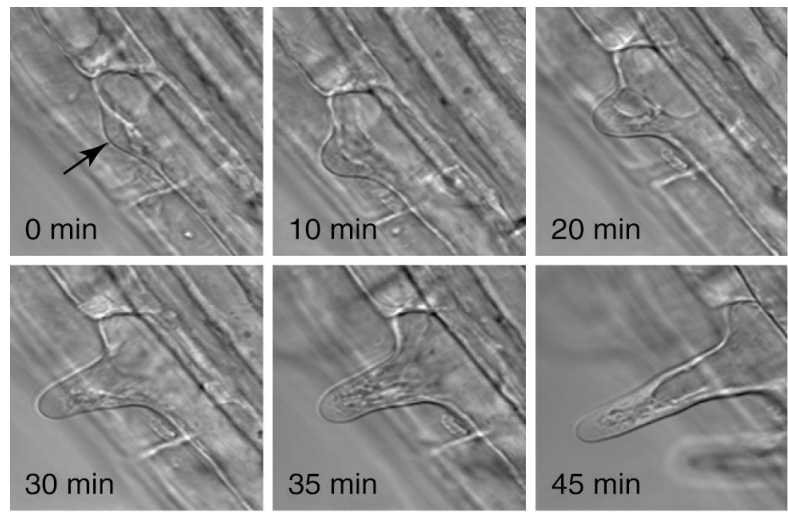
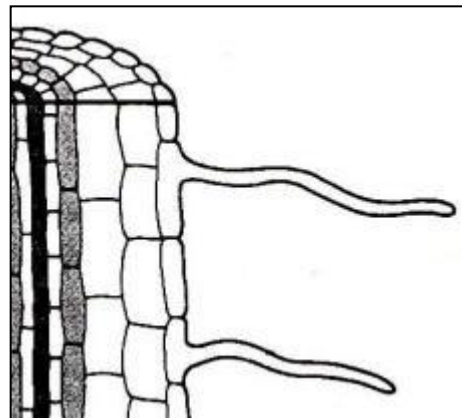
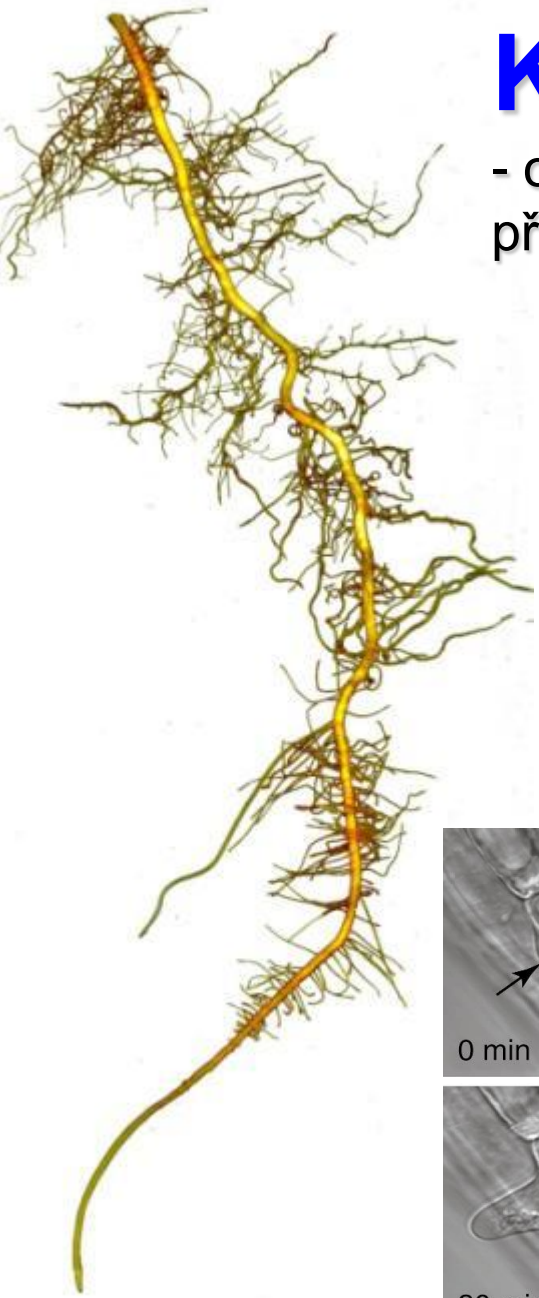
home.tiscali.cz/chemie/pH.htm

Vazbu iontů proto ovlivňuje pH půdy – na kyselých stanovištích (např. stanovištích ovlivněných kyselými dešti) jsou ionty vyměňovány za protony, dochází ke ztrátám bivaletních kationtů (vápenaté a hořečnaté ionty) a uvolňování toxického hlinitého kationtu Al^{3+}



Kořeny rostlin

- orgány specializované pro příjem vody a živin

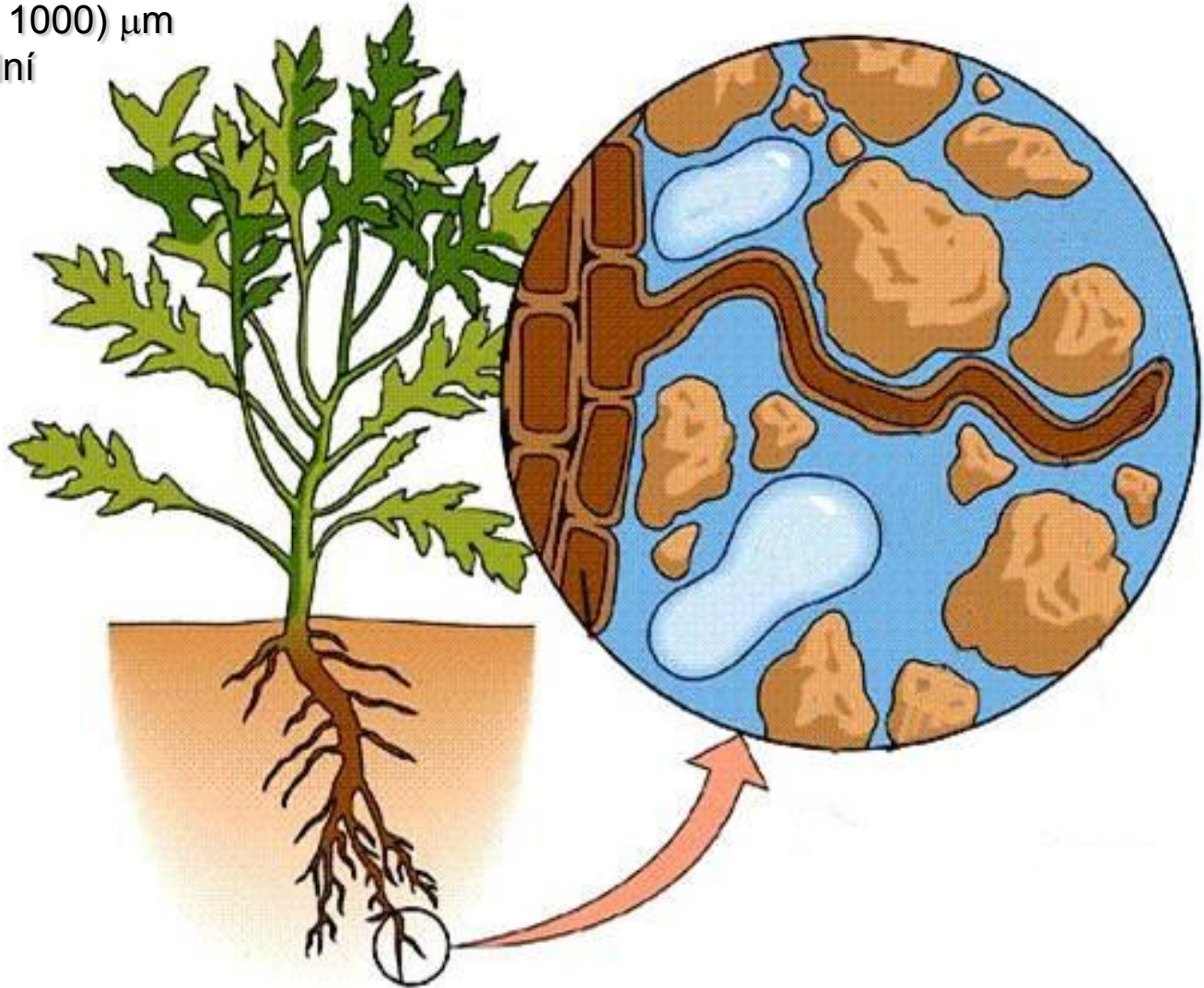


- kořenové vlásky zvětšují povrch kořene a zajišťují kontakt s okolní půdou

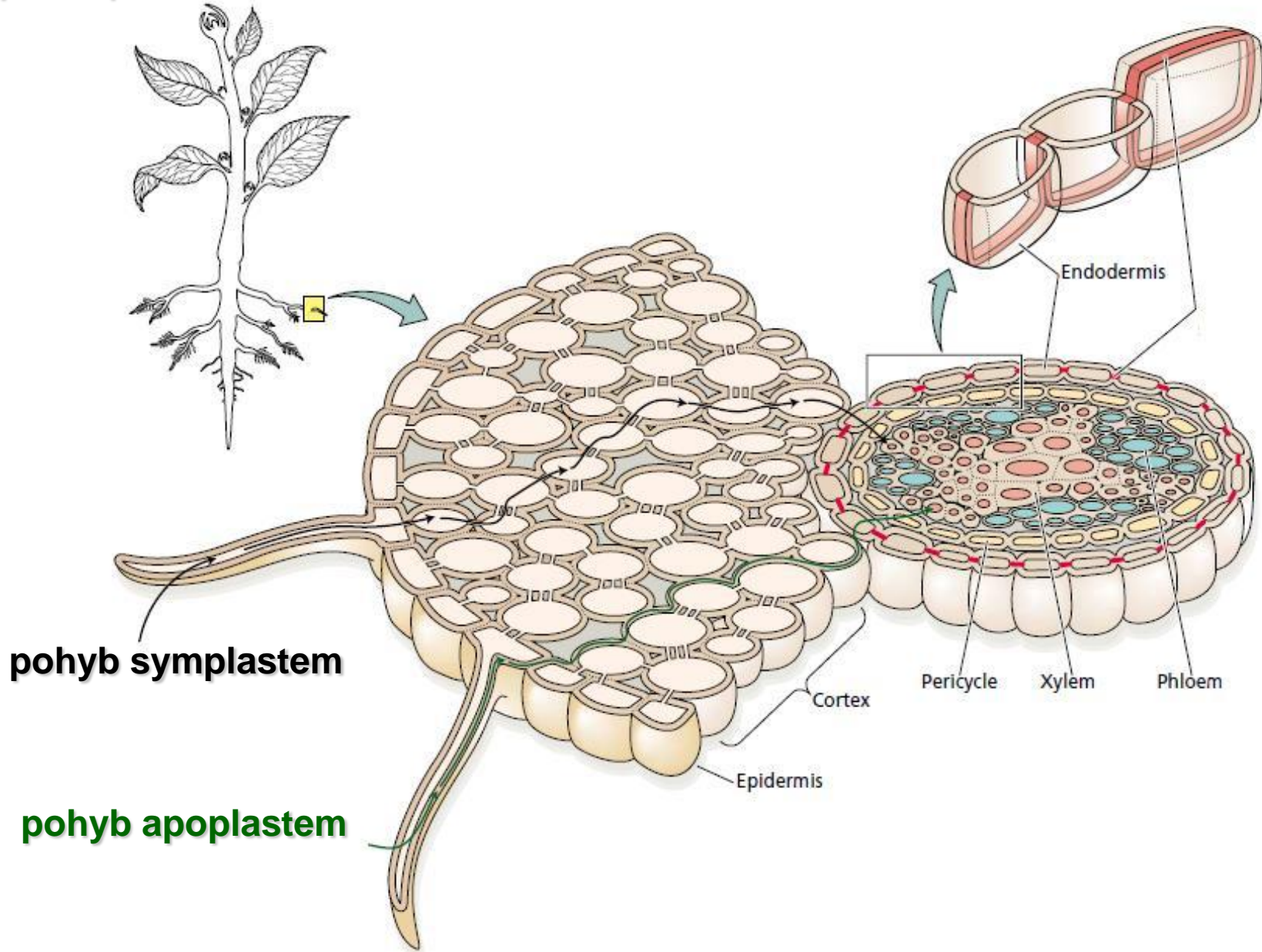
počet: kolem 100 na mm^2

délka: 200-300 (až 1000) μm

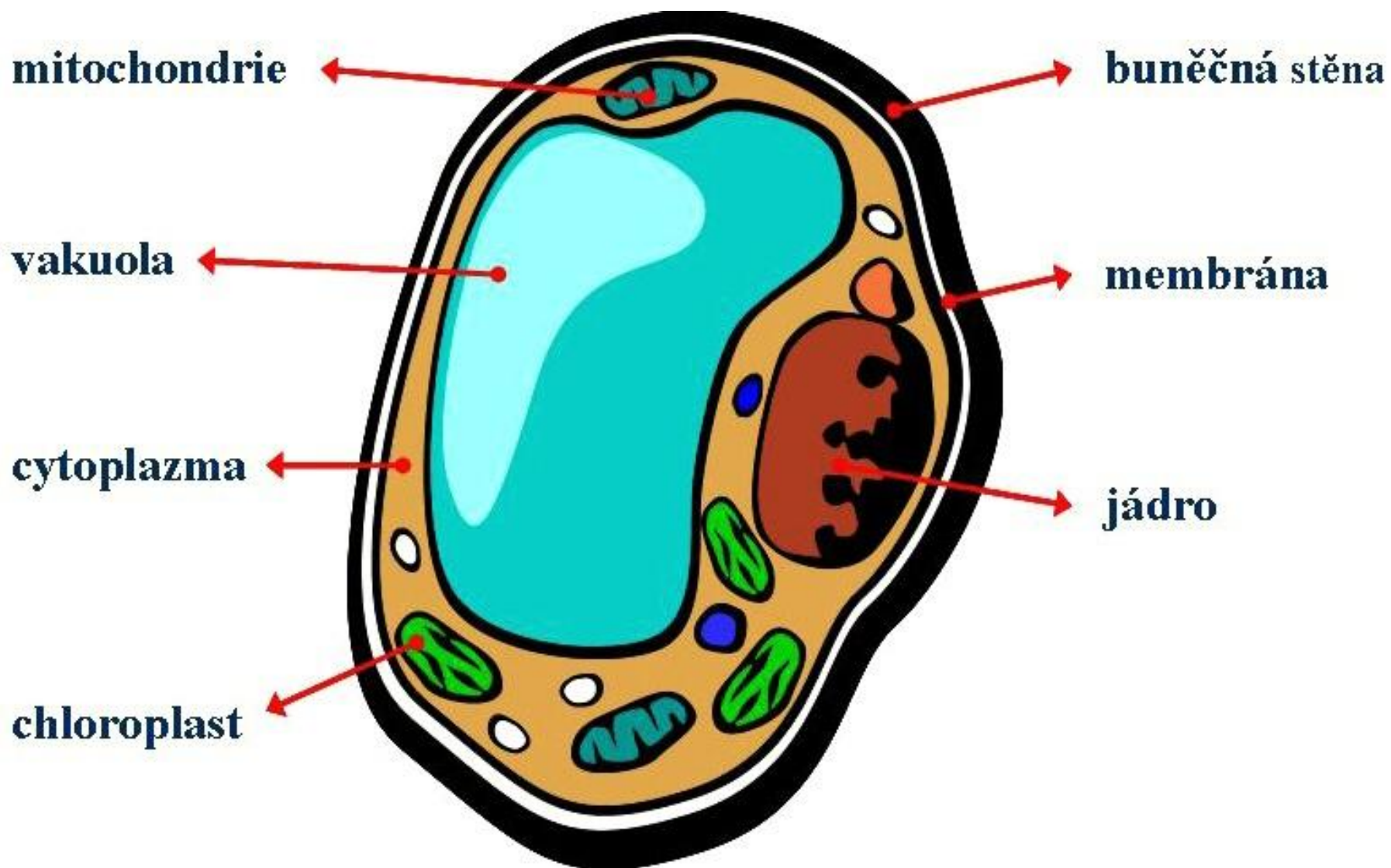
životnost: několik dní



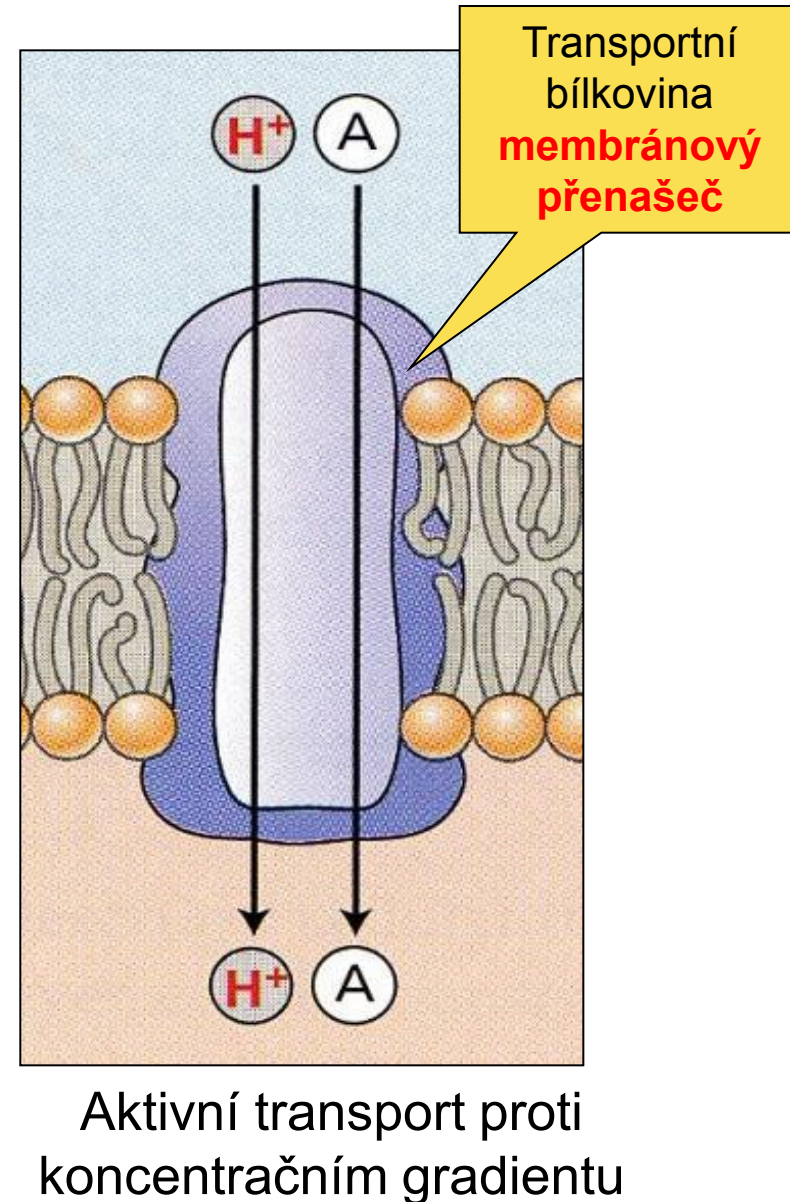
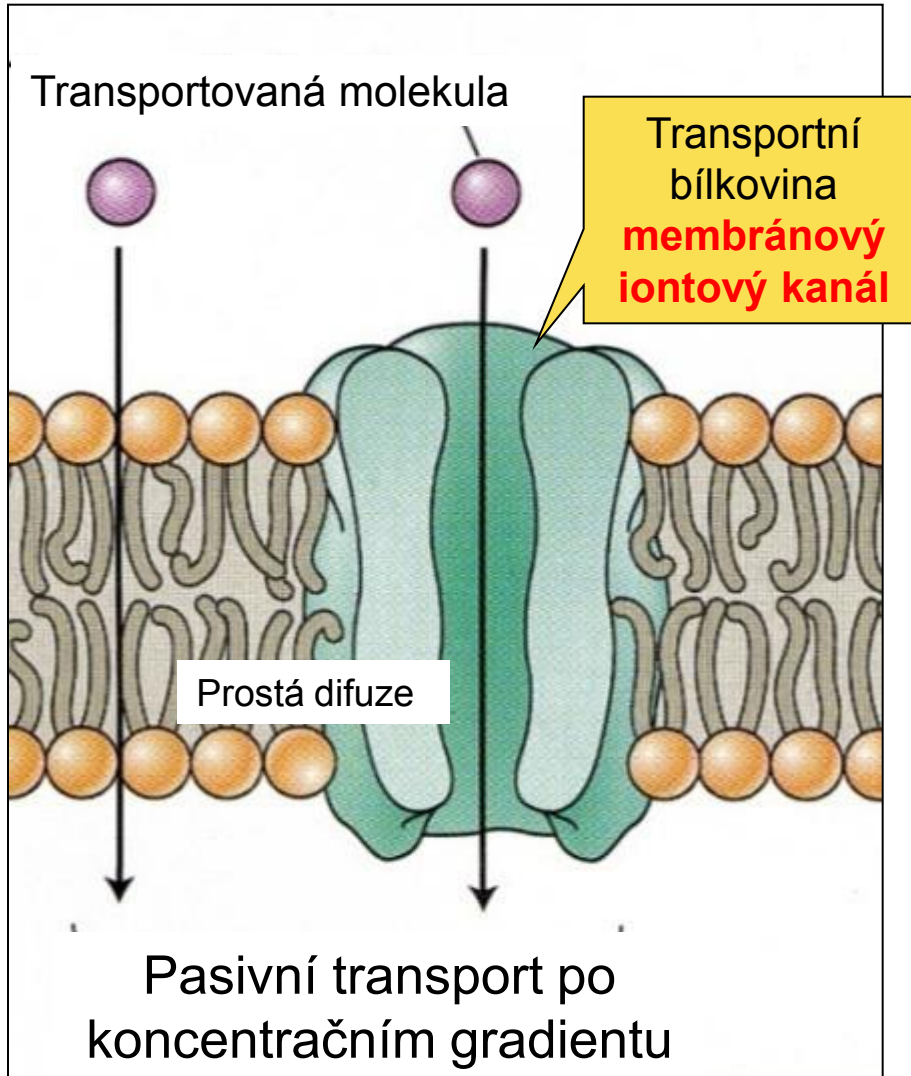
- v kořenech dochází k selekci přijímaných látek při přechodu přes plasmatickou membránu buněk kořene



rostlinná buňka

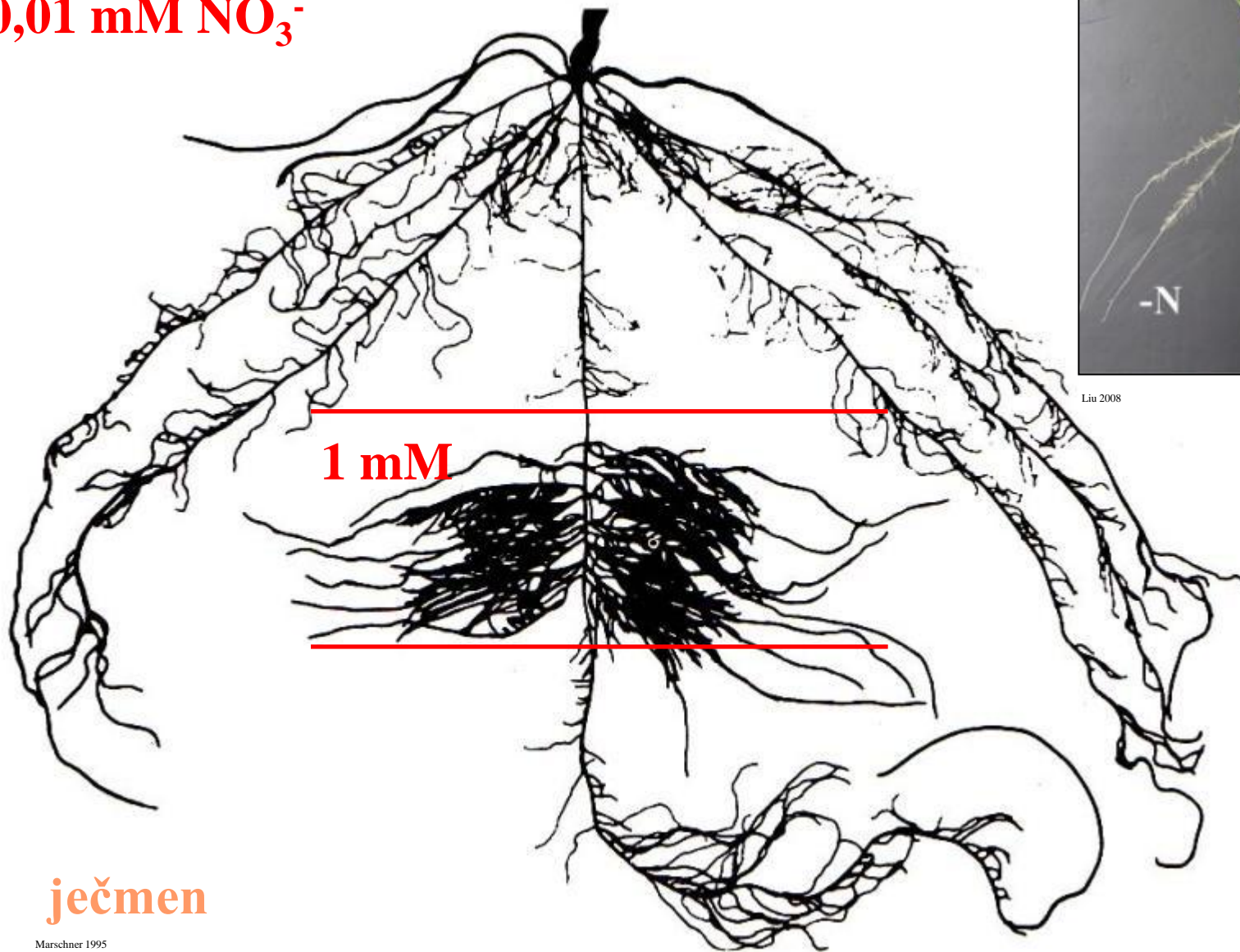


- ionty živin jsou nabité částice, nemohou přejít volně před lipidovou membránou, musí využít transportní proteiny – to buňce umožňuje selekci přijímaných látek



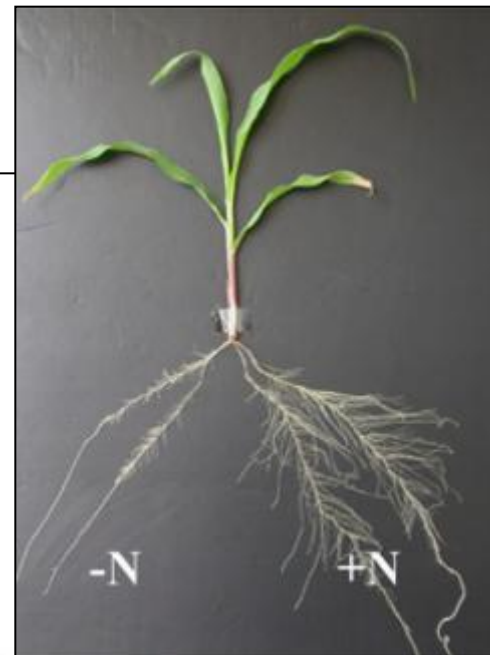
- kořeny reagují na přítomnost živin v půdě
změnami v intenzitě růstu

0,01 mM NO₃⁻



ječmen

Marschner 1995

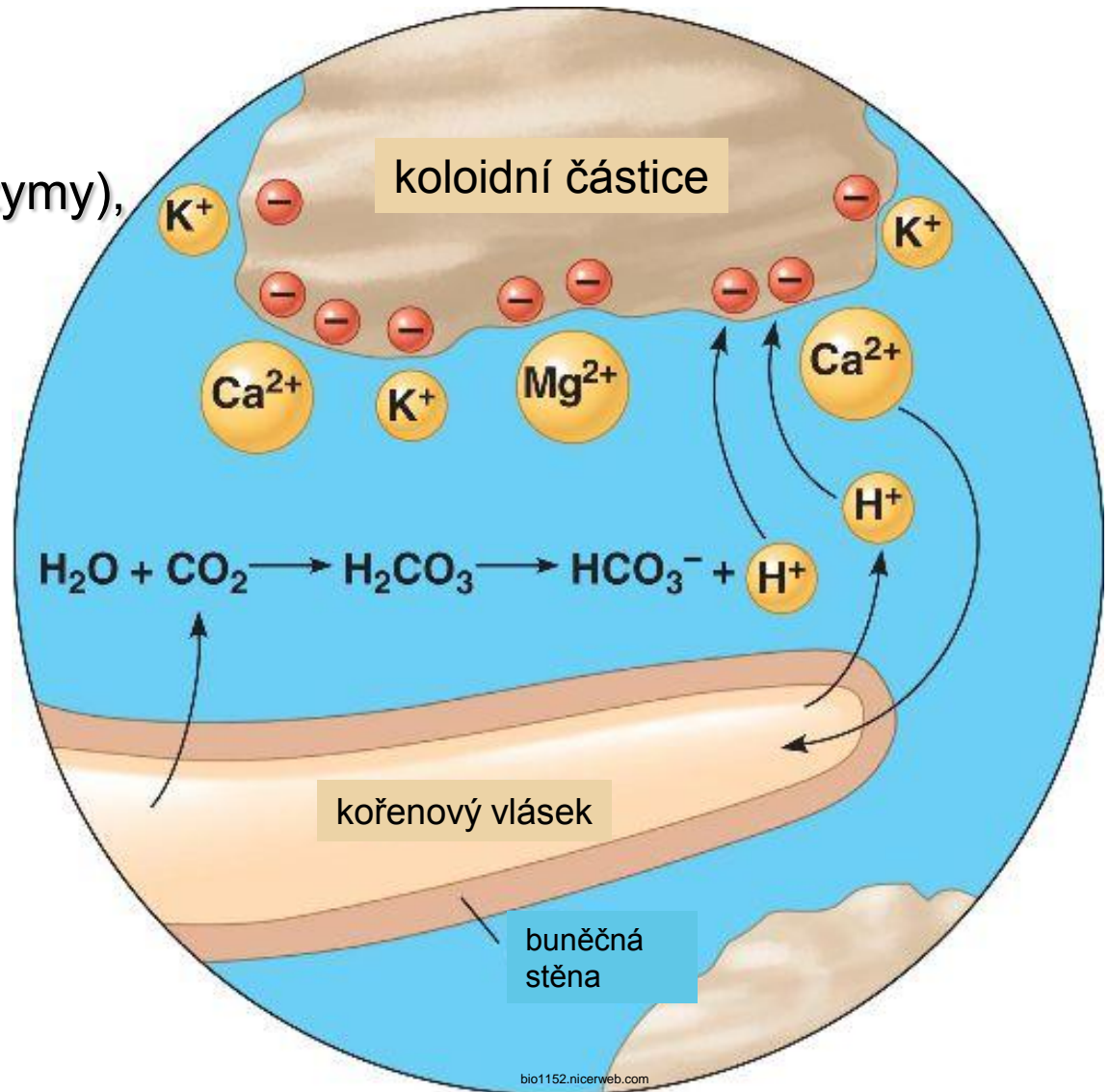


Liu 2008

- kořeny dokáží ovlivnit rozpustnost (dostupnost) živin v půdě ve svém okolí

1. vylučují protony (H^+)

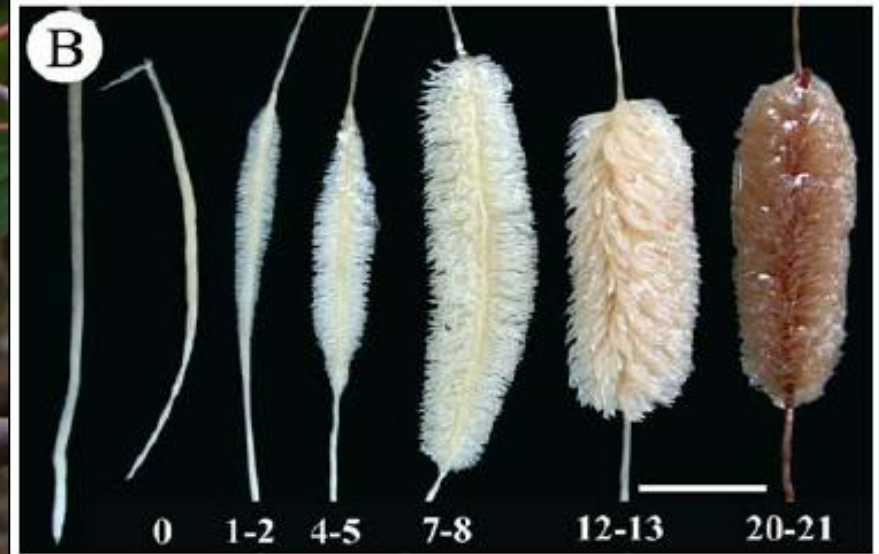
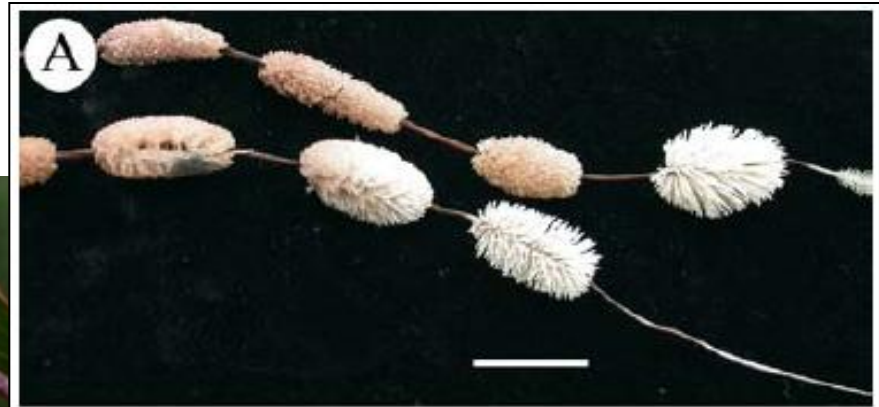
2. vylučují bílkoviny (enzymy), které rozpouští živiny vázané v půdě, např. v organických látkách



některé rostliny tvoří specifické útvary určené pro ovlivňování okolní půdy

kořenové klastry jsou specializované struktury určené pro manipulaci s okolní půdou a „těžbu“ fosforu, tvořené zmnoženými postranními kořeny nebo kořenovými vlásky

-najdeme je u rostlin, které rostou na velmi chudých půdách





Banksia grandis
(Proteaceae)

„Dauciformní kořeny“



Schoenus unispiculatus (šášina)
Cyperaceae

Shane 2006

„Kapilaroidní kořeny“

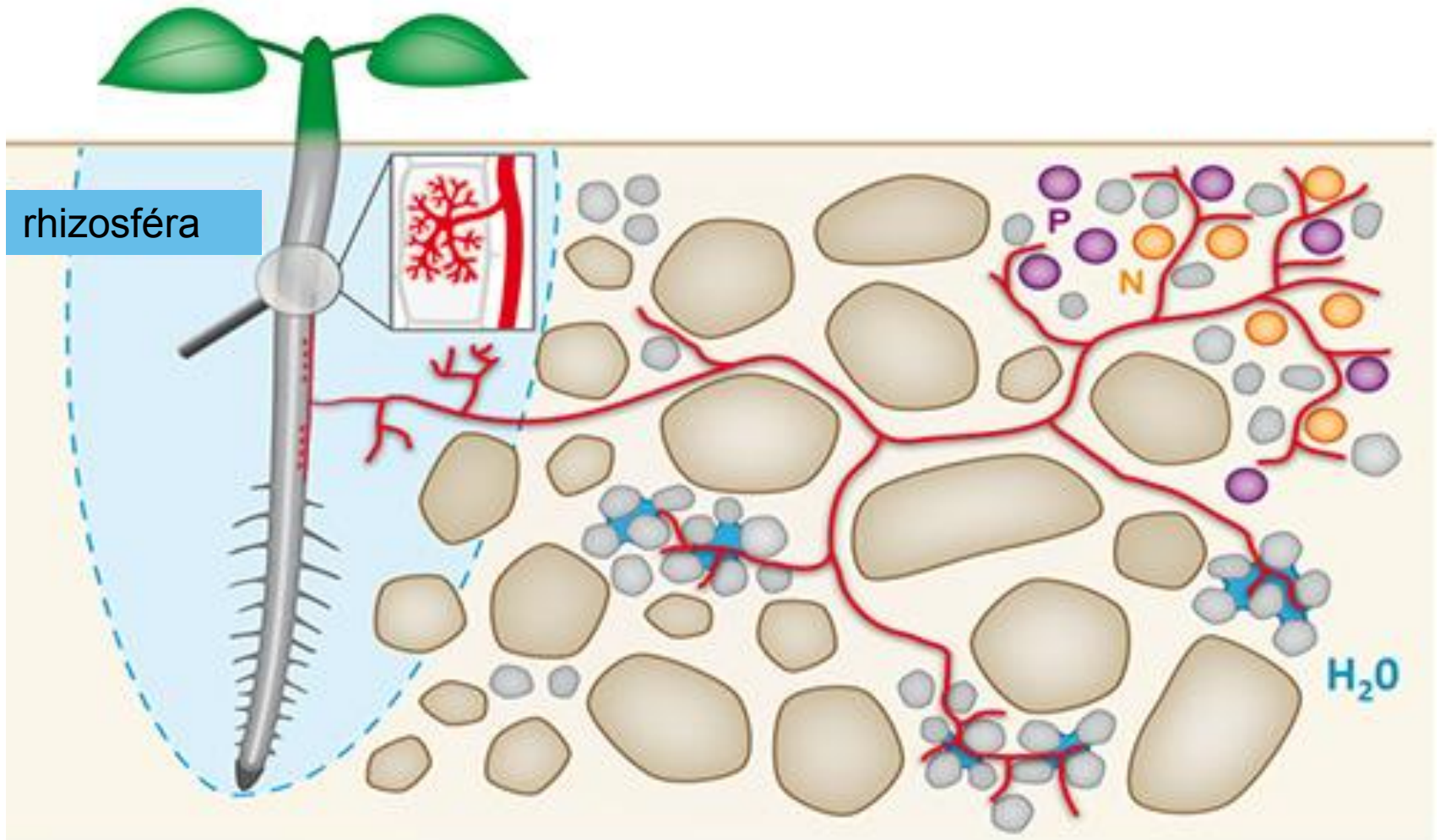


Thamnochortus fracternus
Restionaceae

foto: M. Shane

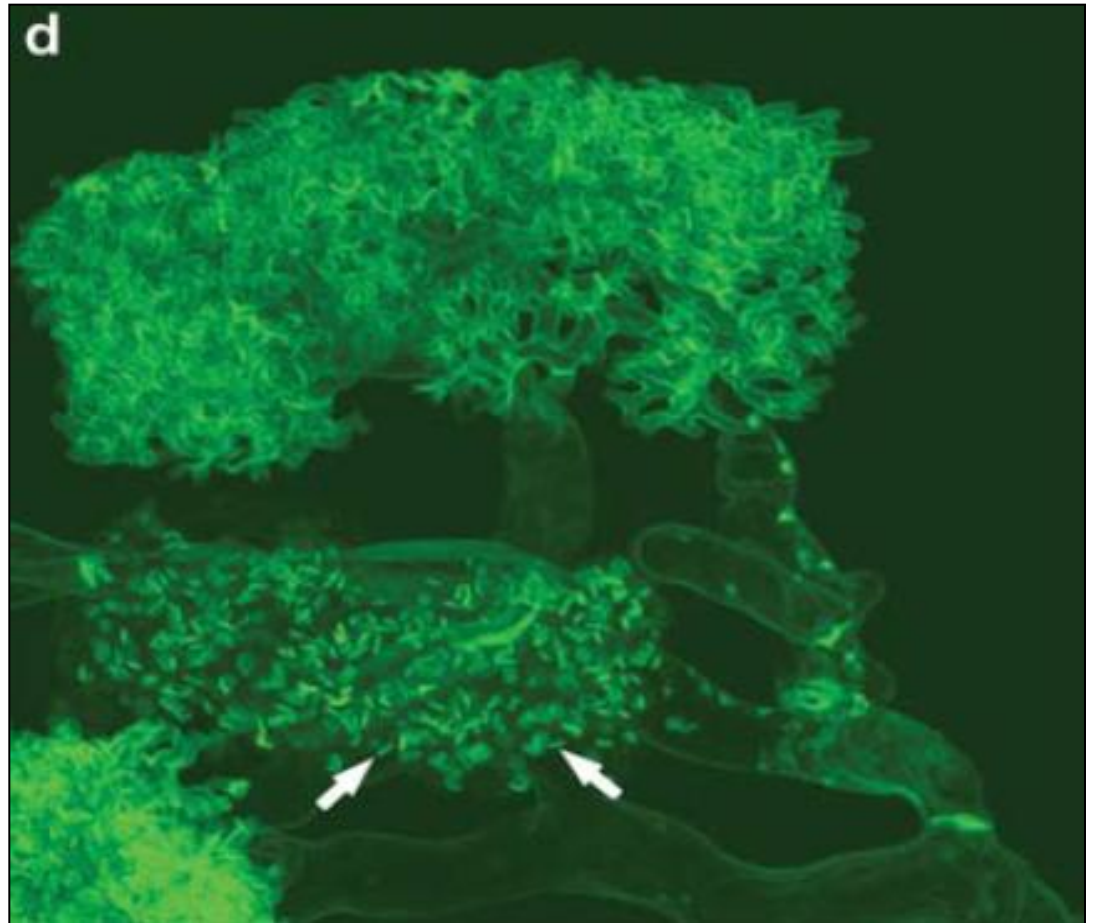
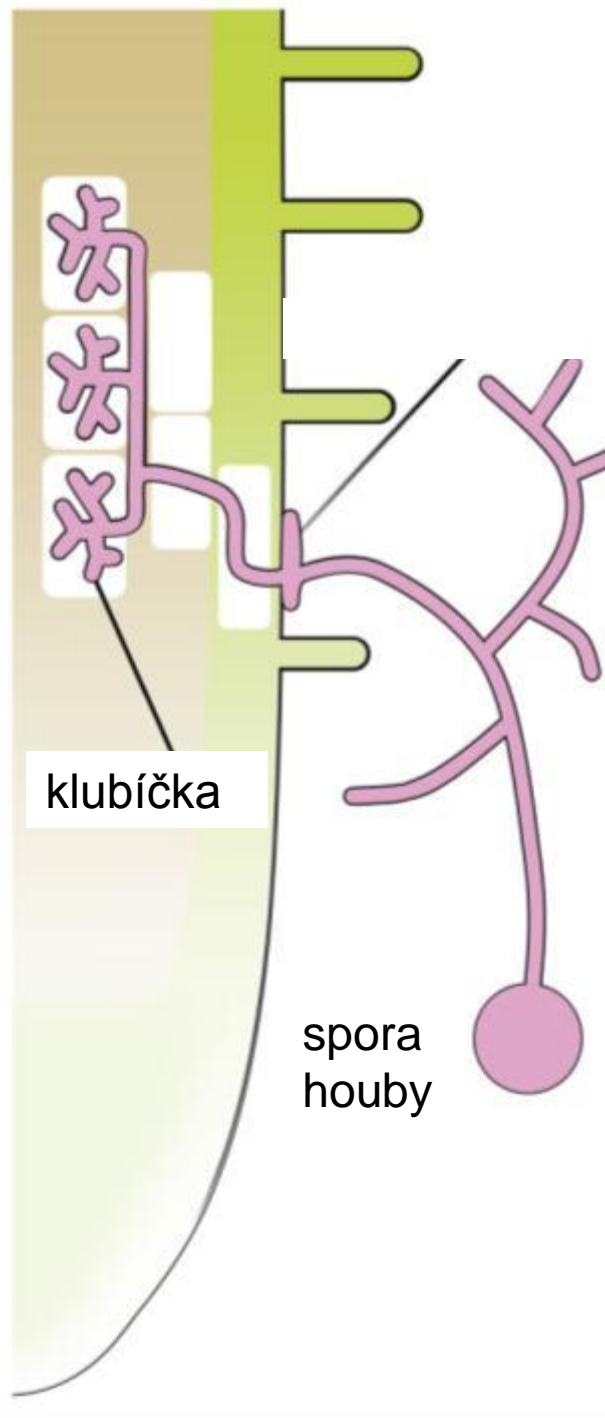
- kořeny dokáží spolupracovat s mikroorganismy v příjmu živin

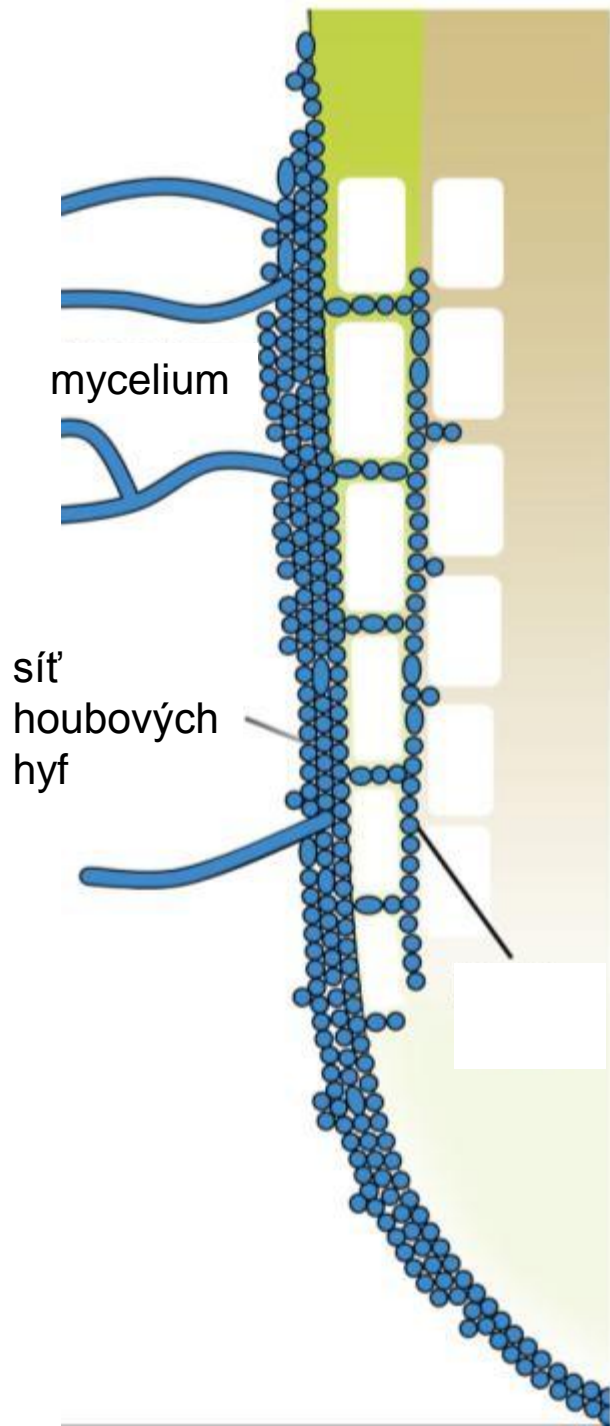
Mykorrhiza – spolupráce mezi houbou a rostlinou, houba zprostředkovává příjem živin a vody, rostlina poskytuje houbě cukry, které vyrábí fotosyntézou



Arbuskulární mykorrhiza

- hospodářsky nejvýznamnější
 - houba tvoří struktury uvnitř buněk kořene
- klubička** – arbuskuly, pro výměnu látek





Ektomykorhiza

- typická pro lesní společenstva
- houba neproniká do nitra buněk, tvoří síť na povrchu kořene



- kořeny dokáží spolupracovat s mikroorganismy v příjmu živin

Symbióza s mikroorganismy fixujícími vzdušný dusík

spolupráce mezi rostlinou a **bakteriemi nebo sinicemi**, které jsou schopné štěpit trojnou vazbu plynného dusíku (N_2)

Fixace molekulového dusíku

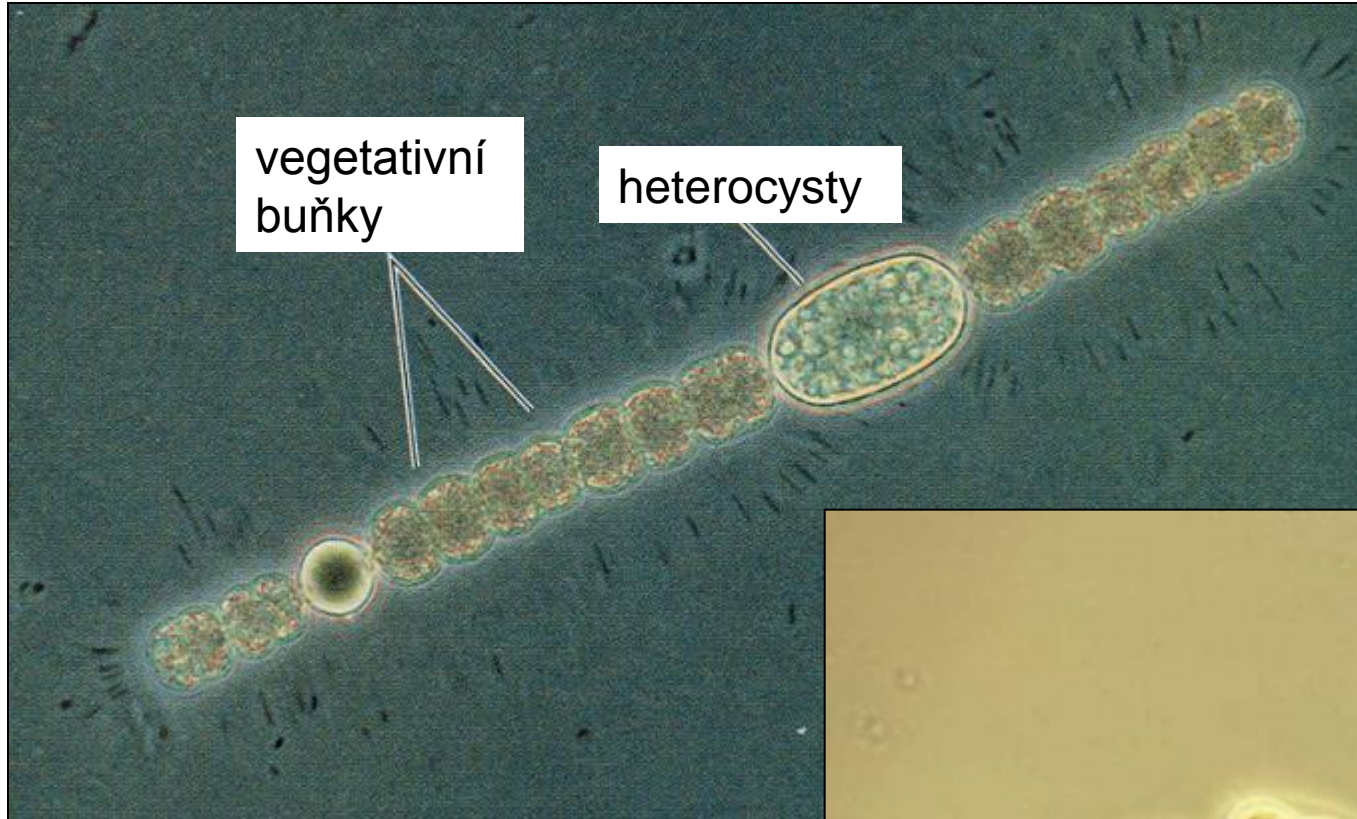
- celosvětově - kolem $170 \cdot 10^6$ tun ročně
- energeticky velmi náročná reakce
- rostliny nejsou vybaveny potřebným enzymem - **nitrogenázou**



průmyslově **Haber-Boschův proces**

reakce molekulového dusíku s vodíkem při vysoké teplotě ($400-650^{\circ}C$) a tlaku (150-400 atmosfér) v přítomnosti železa jako katalyzátoru

Volně žijící **sinice**, schopné fixace vzdušného dusíku



nitrogenáza je velmi citlivá
k přítomnosti kyslíku – nutná
ochrana – vznik specializovaných
struktur (heterocysty, hlízky)



Sinice žijící v symbióze s rostlinami

sinice spolupracují např. s následujícími druhy rostlin:

Gunnera, cykasy, kapradiny (*Azolla*)

cykasy



Gunnera



Bakterie žijící v symbióze s rostlinami

- **gram pozitivní aktinomyceety** (*Frankia*) + různé dvouděložné rostliny, často stromy a keře (*Alnus*, *Casuarina*, *Datista*, *Ceanothus*)



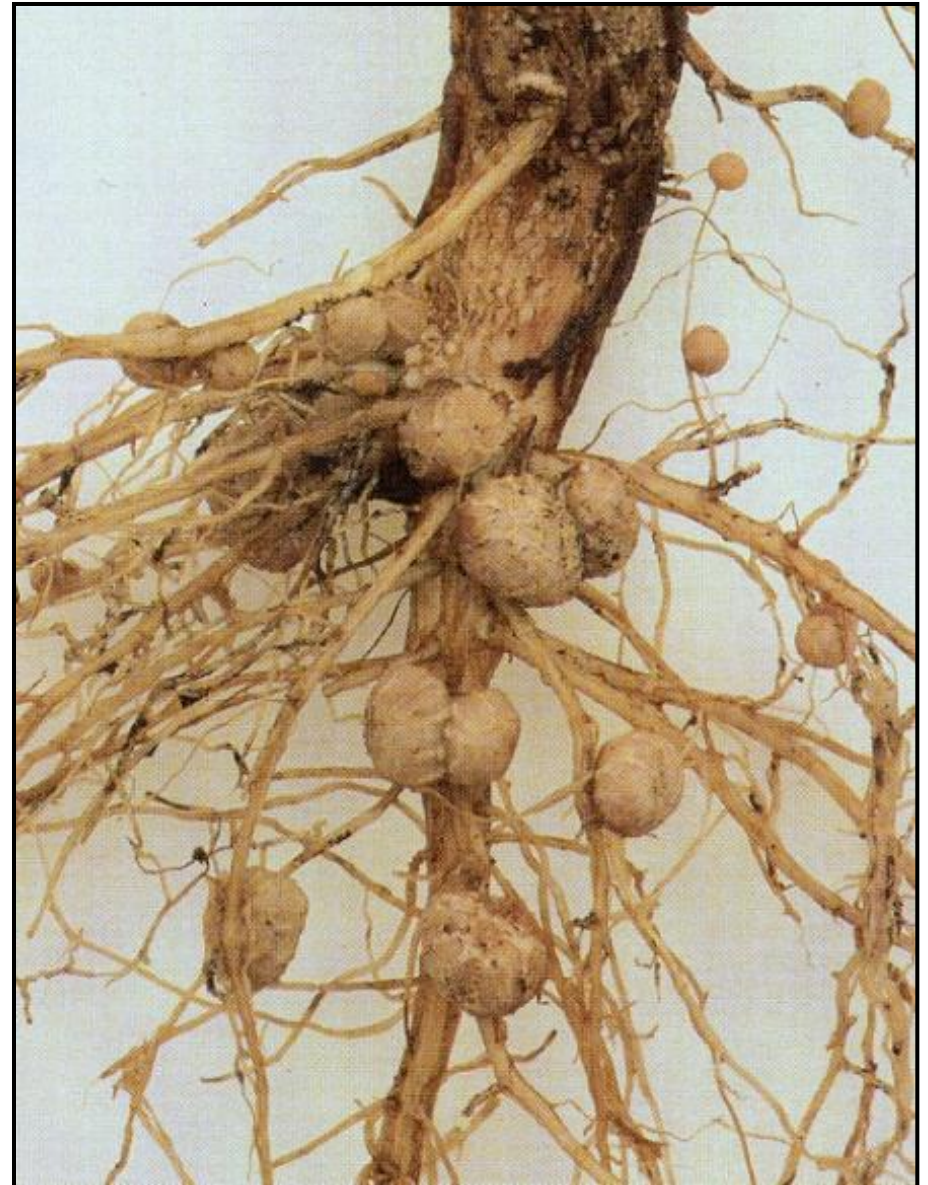
Bakterie žijící v symbióze s rostlinami

- **gram negativní bakterie** (*Rhizobia*) + bobovité rostliny

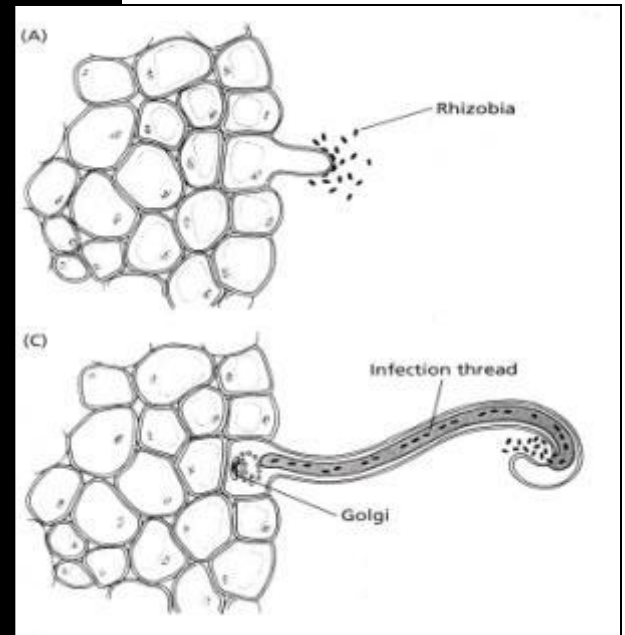
v rostlině se vyskytují ve specializovaných útvarech – hlízkách, proto označovány jako **hlízkové bakterie**



botany.hawaii.edu



Buchanan 2000



botany.hawaii

Rhizobia vstupují do kořenů kořenovými vlásky, následně dojde ke vzniku hlízky. Uvnitř hlízky barvivo leghemoglobin, které reguluje pohyb kyslíku a chrání nitrogenázu před zničením.

Tato symbióza je velmi agronomicky významná!

Při intenzivním hospodaření nicméně přirozené mechanismy nestačí pro udržení vysoké zemědělské produkce a zároveň udržení půdní úrodnosti – **je nutno živiny dodávat v podobě hnojiv**

Nástup aplikace minerálních hnojiv znamenal zemědělskou revoluci

- **superfosfát** – Anglie, poč. 19. st
- **draselná hnojiva** – Německo 1861
- **dusíkatá hnojiva**

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 1903

NH_3 1913

Fe, 450°C, 20 MPa



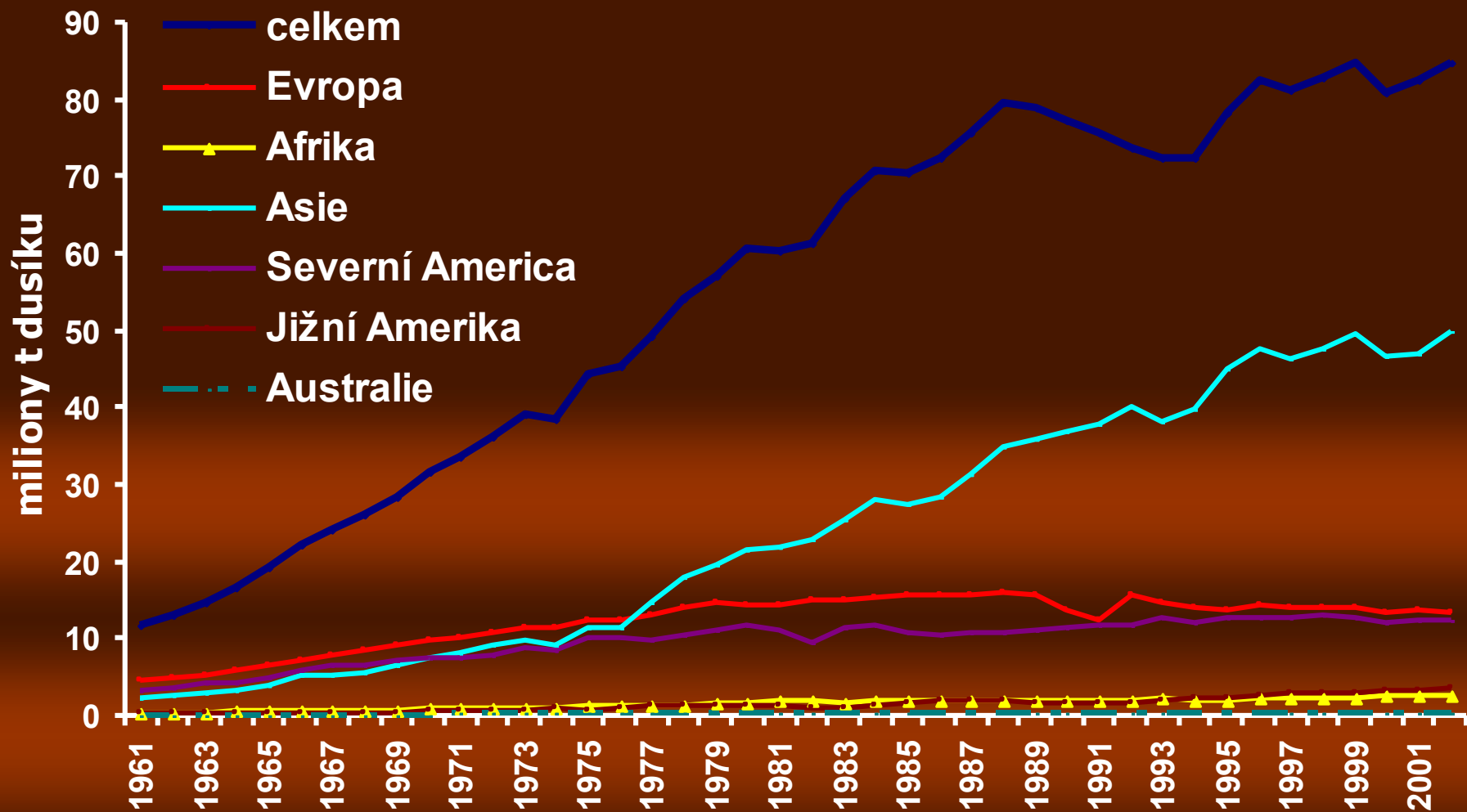
Fritz Haber – princip syntézy 1908
Carl Bosch – chemická firma BASF
zavedení do provozu 1913



Food and Agriculture
Organization of the
United Nations

for a world without hunger

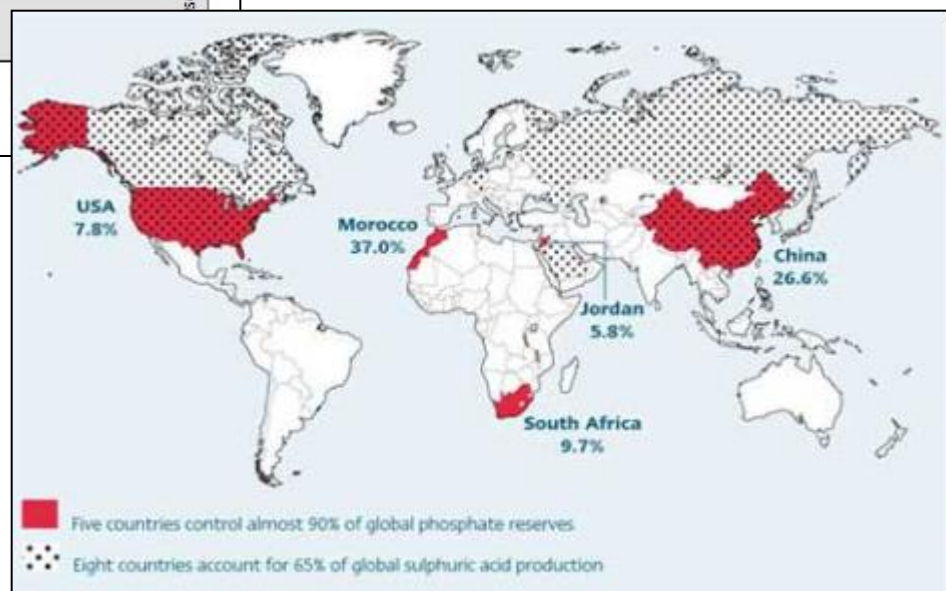
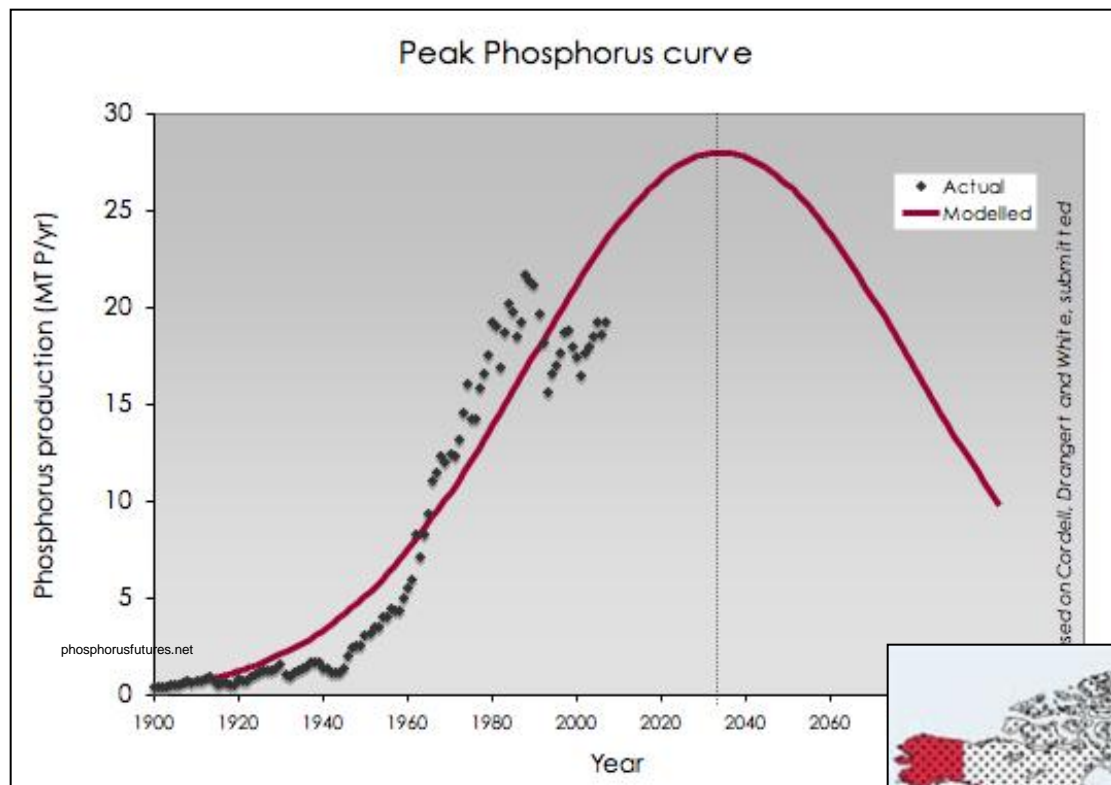
spotřeba dusíkatých hnojiv



Eutrofizace – nežádoucí důsledek nadměrné aplikace fosfátových hnojiv



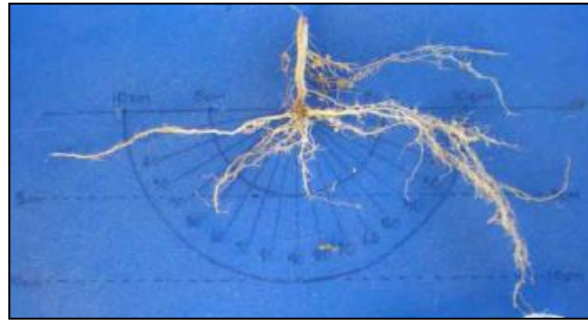
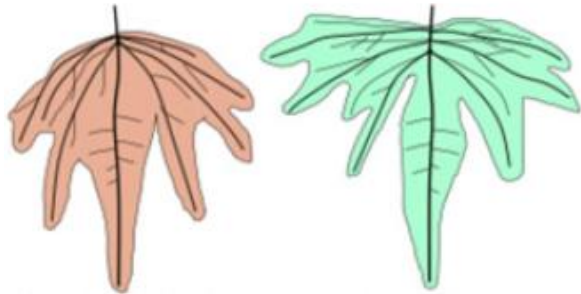
Fosfátová hnojiva nejsou neomezeným zdrojem



nutná je ochrana půdy proti erozi,
utužování v důsledku pojezdů
zemědělské techniky, optimalizace
dávkování hnojiv



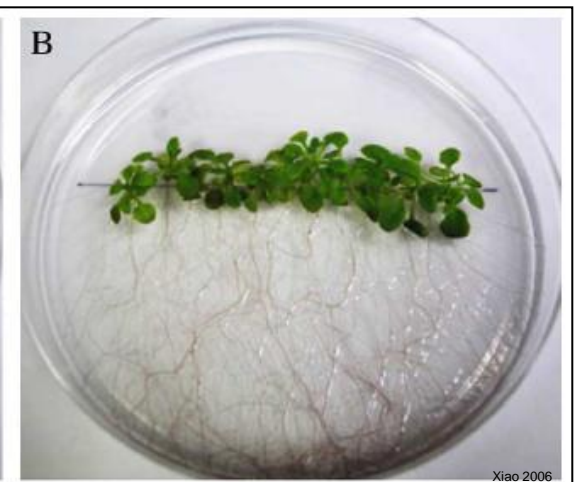
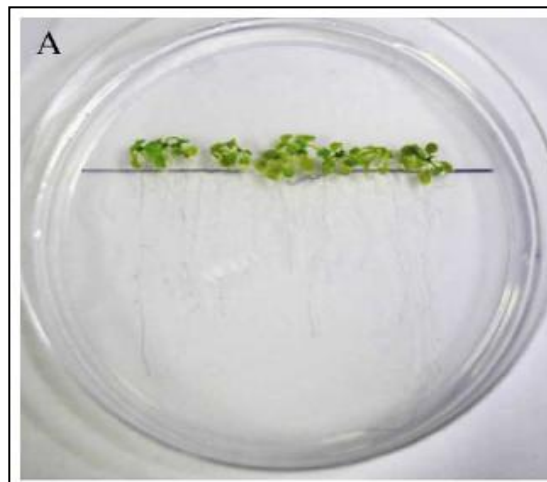
Hledání vhodných kultivarů



Lynch 2011

Potenciál genetických manipulací

Arabidopsis s vneseným genem pro kyselou fosfatázu z vojtěšky



Xiao 2006

K čemu jsou jednotlivé minerální živiny potřeba a jak se na rostlině projeví jejich nedostatek?

dusík (N), fosfor (P) a síra (S) jsou stavební kameny organických látek

dusík

- rostliny jej potřebují v největším množství (2-5% sušiny) ze všech makroprvků
- součást bílkovin a dalších organických látek
- nedostatek se projevuje zpomalením rychlosti růstu, žloutnutím listů (chloróza) často v kombinaci s červenáním



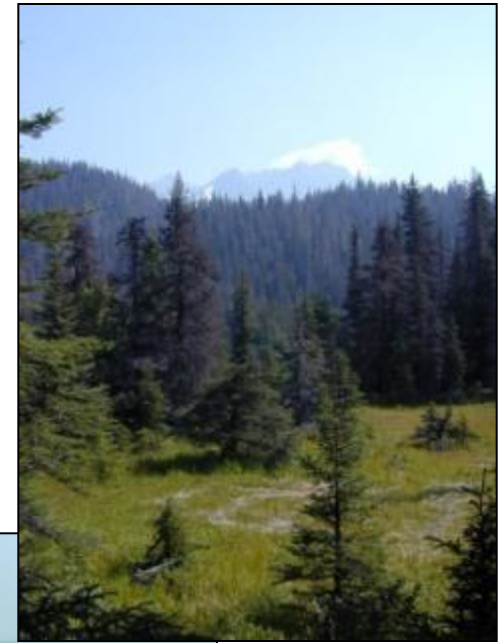
**Dusík přijímán ve formě anorganických iontů:
dusičnanů (nitrátů) NO_3^-
amonných iontů NH_4^+**

dostupnost jednotlivých forem dusíku různá v různých prostředích

v kyselé nebo zamokřené půdě
převažuje amonný iont



**v provzdušněné půdě převažuje
dusičnan**



Dusičnany musí být nejprve redukovány na amonné ionty, ty jsou pak začleněny do aminokyselin a dalších dusíkatých látek.

Dusičnany jsou v rostlině také skladovány ve vakuole. To představuje riziko pro člověka.

Nitráty (dusičnany) v potravinách představují riziko

- nad 1-2% DW toxické pro přežvýkavce

-riziko v potravě člověka – redukce v játrech na nitrit
methemoglobinemia, vznik nitrosaminů

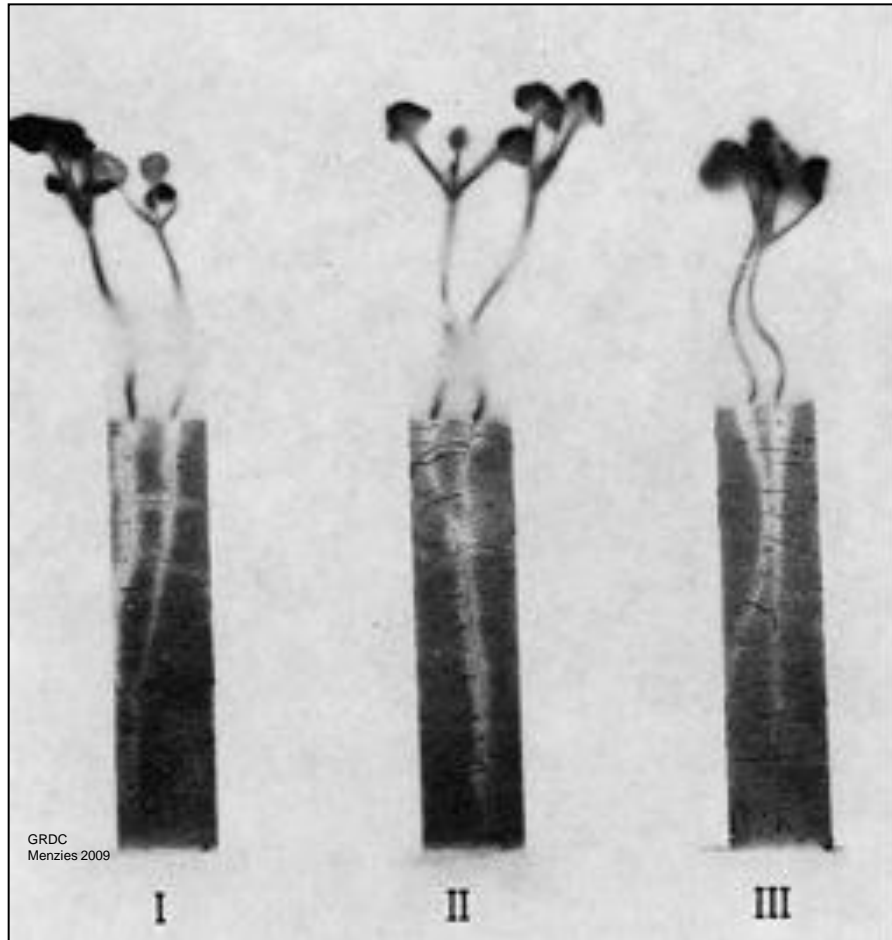
limity pro obsah nitrátů v některé zelenině - EC directive 466/2001
sbírka zákonů 53/2002 plus novelizace 306/2004



dusitan sodný a draselný E 250, 249; dusičnan sodný a draselný E 251, E 252

fosfor (P)

- složka nukleových kyselin, membrán, význam v přenosu energie (ATP)
- tvoří 0,2-0,5% sušiny
- přijímán v podobě H_2PO_4^-
- velmi často limitující živina – špatná rozpustnost v půdě, tvorba sraženin s vápníkem



kontrolní
rostlina

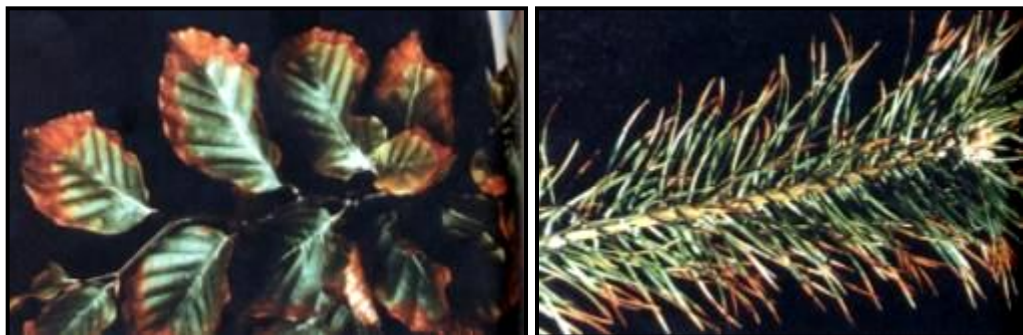


P deficientní
rostlina

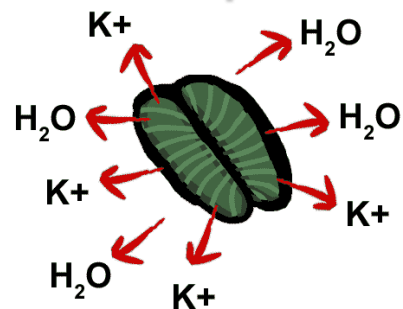


draslík (K)

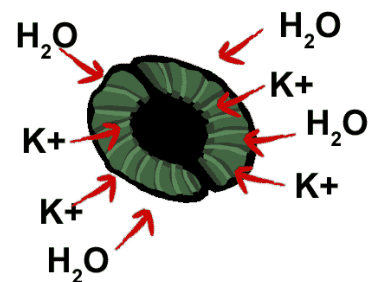
hlavní osmotikum rostlinné buňky



zavírání průduchů

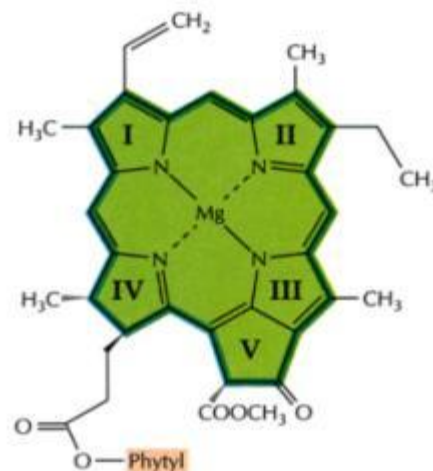
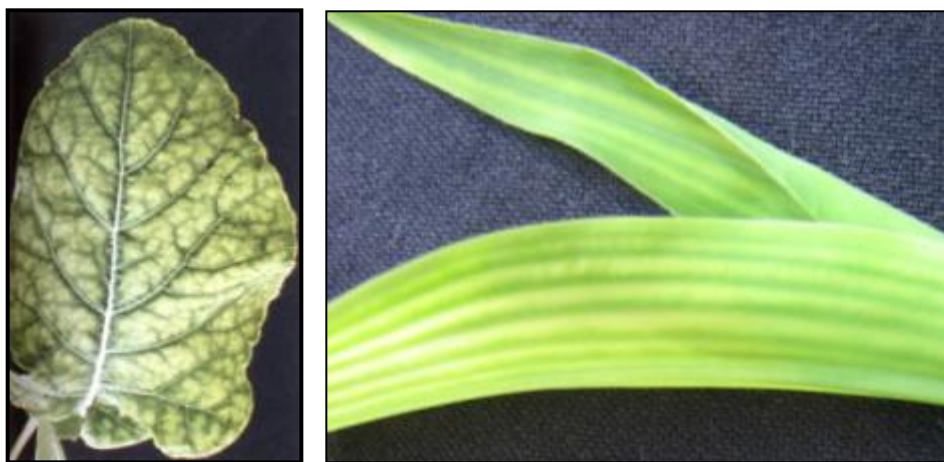


otevírání průduchů



hořčík (Mg)

součást chlorofylu



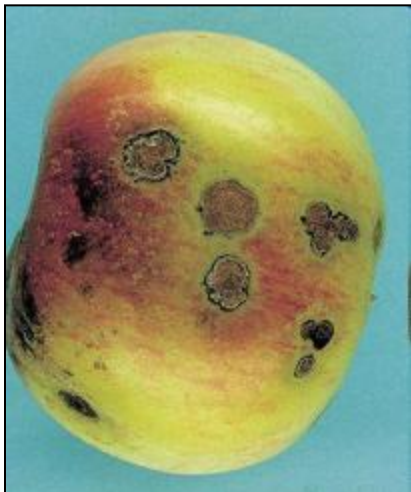
Chlorophyll a

vápník (Ca)

účast v přenosu signálu v buňce, stavební funkce v buněčné stěně

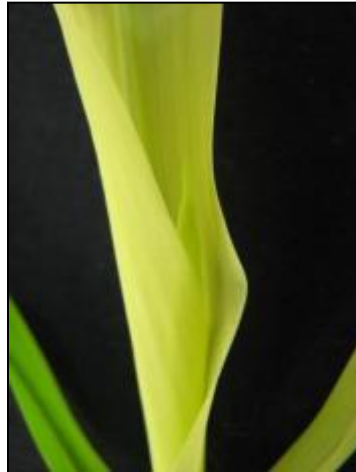


při nedostatku borcení apikálních částí
rostliny, poškození plodů

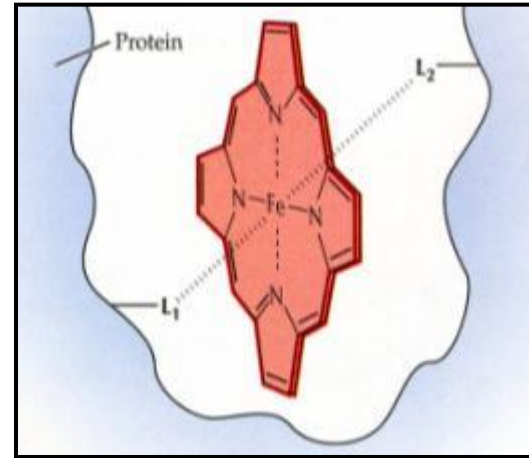


železo (Fe)

- nezbytné pro fungování některých enzymů
- dobře dostupné v zamokřené nebo kyselé půdě, při vyšším pH půdy naopak dostupnost špatná



hemový protein



Fe-S protein

