

Kapradina milující arzen

Rostlinný hyperakumulátor
čistí zamořenou půdu



V litosféře je arzen stopovým prvkem. Jeho průměrný obsah bývá zhruba 3 mg/kg, avšak jeho množství v horninách je různé, obvykle se pohybuje od 1 do 10 mg/kg. Do

půdy se arzen dostává:

- ze zvětrávající podložní horniny, v níž se rozpouštějí horninotvorné minerály obsahující arzen (převážně jde o sulfidy – pyrit, arzenopyrit a löllingit),
- z atmosféry v průmyslových oblastech, např. v okolí hutí či cementáren,
- z herbicidů a dalších chemických látek používaných v zemědělství či lesnictví.

V důsledku těchto vstupů jsou půdy zamořené arzenem velmi rozšířené po celém světě. V některých oblastech jsou koncentrace arzenu v půdě až desetitisícinásobně vyšší, než je obvyklé. Podzemní vody v takových územích pak silně ovlivňují zdraví celého biologického společenstva včetně člověka. Dlouhodobé pití vody se zvýšenými koncentracemi arzenu (viz Vesmír 75, 204, 1996/4, 75, 247, 1996/6, 76, 190, 1997/4 aj.) může vyvolat zhoubné bujení (rakovinu kůže, plic, prostaty, močového měchýře apod.) či podpořit vznik chorob kardiovaskulárních, reprodukčních, imunologických nebo neurologických, popřípadě různých vývojových poruch. O některých

ná schopnost byla poprvé zjištěna v rezervaci centrální Floridy. Lesní porost této oblasti byl v letech 1952–1962 ošetřován vodním roztokem pesticidu typu CCA,⁴ a poté kontaminace půdy arzenem dosáhla přibližně 360 mg/kg (průměrná koncentrace arzenu ve floridských půdách činí 0,42 mg/kg). Ze 14 různých druhů rostlin odebraných v kontaminované oblasti významně akumulovala arzen právě jen křídelnice. Chemickou analýzou usušené biomasy této kapradiny se zjistilo, že v nadzemních částech obsahuje 3280–4980 mg arzenu na kilogram. Později se odebíraly další vzorky jak z rostlin rostoucích v neznečištěných půdách (obsahujících 0,47–7,56 mg/kg), tak (znovu) z rostlin v půdách kontaminovaných arzenovým pesticidem (18,8–1603 mg/kg). Zjistilo se, že kapradina úspěšně akumuluje ve svém těle arzen nejen z kontaminované půdy, ale i z půd s normálními koncentracemi arzenu a že dosažené koncentrace v biomase křídelnice jsou tisícinásobně vyšší než u ostatních rostlin. Podobné výsledky zjistila skupina čínských vědců zkoumající vstupy arzenu do téže kapradiny na opuštěném sulfidickém ložisku Šimen v jižní Číně. Ukázalo se, že vlivem vysokých koncentrací arzenu netrpí tato rostlina nemocemi, ale naopak velmi dobře prospívá. Nejenže je křídelnice schopna růst i na místech s koncentracemi arzenu až 23 400 mg/kg (např. na haldovém materiálu zmíněného čínského ložiska), ale také může během krátké doby akumulovat velké množství arzenu z půdy ve svých listech.

Tab. I. Koncentrace arzenu v kapradině křídelnici. Kapradiny byly odebrány z oblasti neznečištěných arzenem a přesazeny do nádob (objem 2,5 l, 1,5 kg půdy o obsahu 6 mg/kg As).

1) Půda pochází z kontaminované oblasti, kde byla kapradina poprvé nalezena.
2) Půda byla uměle kontaminována ve vodě rozpustným arseničnanem draselným.

půdní typ	arzen v půdě [mg/kg]	arzen v rostlině [mg/kg]	
		2 týdny	6 týdnů
obsah	6	755	438
kontaminovaná půda As ¹	400	3 525	6 805
nízký obsah As ²	50	5 131	3 215
střední obsah As ²	500	7 849	21 290
vysoký obsah As ²	1 500	15 861	22 630

možnostech zneškodnění arzenu v půdách a vodách, které se obvykle v praxi používají, se již v tomto časopise diskutovalo (viz Vesmír 77, 323–326, 1998/6). Novou, ekonomicky nenáročnou a ekologicky šetrnou metodou je pěstování vybraných druhů rostlin, které vážou arzen ve své biomase.

Po arzenu roste jak z vody

Američtí¹ a čínští² vědci nezávisle na sobě zjistili, že jednou z rostlin, jež absorbují arzen z půdy, je kapradina křídelnice (*Pteris vittata*). Tato rostlina (obr. 1) byla prvním nalezeným hyperakumulátorem³ arzenu. Její mimořádně

V listech má arzenu nejvíc

Koncentrace arzenu v listech křídelnice rostoucí v půdě s mimořádně vysokým obsahem arzenu 1500 mg/kg vzrostla během dvou týdnů z původních 29 na 15 861 mg/kg. Za tutéž dobu však obsah arzenu v listech kapradiny

Mgr. Petr Drahota (*1977) vystudoval Přírodovědeckou fakultu UK v Praze. Na této fakultě se jako doktorand zabývá geochemií a ložiskovou geologií ve spojení se studiem chování a migrace arzenu v životním prostředí.

1) Viz Ma L. Q. a kol., Nature 409, 579, 2001.

2) T. Chen a kol., Chinese Sci. Bull. 47, 902–905, 2002.

3) Termín hyperakumulátor poprvé použili R. R. Brooks, J. Lee, R. D. Reeves a T. Jaffre (J. Geochem. Explor. 7, 49–57, 1977) k popsaní některých rostlin silně kumulujících nikl. Původně byl definován pro rostliny obsahující více než 1000 mg kovu na kilogram v usušené tkáni. V přírodě se ale vyskytují rostliny, které ve tkáni obsahují koncentrace kovu vysoké, avšak přesto znatelně nižší než v okolní půdě. Proto byla k definici hyperakumulátoru přidána podmínka, že rostlina hromadí kov v koncentracích oproti okolní půdě vyšších.

4) CCA – chemické hnojivo obsahující anorganický arzen, měď a chrom, které se od roku 1940 užívá k ochraně lesních porostů před škůdci, houbami a suchou hnilobou.

5) K. Francesconi a kol., Sci. Total Environ. 284, 27–35, 2002.

rostoucí v „čisté“ půdě (6 mg/kg) vzrostl na 755 mg/kg, což svědčí o mimořádné akumulaci schopnosti této rostliny. Zjistilo se také, že nejnižší koncentrace arzenu bývá v kořenech, střední ve stonku a nejvyšší v listech (obr. 2). To znamená, že transport arzenu v rostlině je rychlý a snadný. Pokud se obsah arzenu v normální půdě během experimentů zvyšoval na výslednou koncentraci 100 mg/kg, rostla kapradina rychleji a výsledkem byl až 40% nárůst biomasy oproti normálu (viz tab. I).

Arzen je v rostlině přítomen zejména v toxických (trojmocných) anorganických sloučeninách a jen malá část je vázána do organických forem. Vše nasvědčuje tomu, že se do anorganických sloučenin arzen transformuje již během přenosu z kořenů do listů, kde se ukládá až 93% veškerého arzenu (obr. 3). Schopnost rostliny hromadit arzen se projevuje i při výskytu nespustných sloučenin arzenu v půdě (v takových případech hromadí ve svých listech oproti půdě až šestkrát více arzenu). Křídelnice roste převážně v oblastech s mírným klimatem, v USA se jí nejvíce daří v jihovýchodní a jižní Kalifornii, v Evropě je známa z Tunisu. Je poměrně otužilá a přizpůsobivá, má ráda slunná místa, což je pro kapradiny netypické, a alkalická prostředí, v nichž je často koncentrace arzenu zvýšená. Dorůstá do značných velikostí (bývá vysoká 30–90 cm, její listy jsou 25–60 cm dlouhé a 13–25 cm široké) a velmi rychle se rozmnožuje. Ze spor nebo oddenků jedné rostliny je možné získat během sezony tisíce dalších rostlin. Je to víceletá rostlina, a proto ji lze po vysazení na určité místo sklízet každý rok.

Poslouží kapradiny k vyčištění půdy?

V roce 2000 byl v oblasti Ron Phibun v jižním Thajsku objeven druhý rostlinný hyperakumulátor arzenu,⁵ kapradina *Pityrogramma calomelanos* (v anglicky mluvících zemích se jí říká *silver fern*, tedy stříbrná kapradina). Vzorky této kapradiny byly sebrány v půdě s koncentrací arzenu 135–510 mg/kg. Obsah ar-



zenu měla (stejně jako křídelnice) v listech mnohem vyšší než v kořenech. Také v kapradině *Pityrogramma calomelanos* je arzen přítomen převážně v anorganických sloučeninách a podobně se odlišují i jeho formy v různých částech rostliny (v listech tvoří zejména sloučeniny s trojmocným arzenem a v kořenech s arzenem pětímocným).

1. Křídelnice (*Pteris vittata*), snímek © Valquiria Campos

KYTKY LÉČÍ KRAJINU

O bylinkách je vcelku dobře známo, že pomáhají při léčbě nachlazení a mnoha dalších nemocí, filozofům občas způsobují bolesti hlavy a zamilovaným slouží k posílání šifrovaných zpráv, kterým ve věku SMS již nikdo nerozumí. Rostliny se však dají rovněž využít při odstraňování kontaminantů z půd, a tím k léčbě krajiny.

Obsahy těžkých kovů a obecně toxických prvků představují vážný problém zejména ve starých důlních oblastech. Jednou z možností nápravy je fyto-remediace, tj. biologické odstraňování kovů a dalších kontaminantů z půdního pokryvu pěstováním takových rostlin, které těžké kovy „vytahují“ z půdy a ukládají je ve svých tkáních. Vzniká tím pochopitelně problém co potom s kontaminovaným senem, ale určité řešení představuje např. spalování v cementárnách, kde jsou stopové prvky naředěny vápencem a vážou se do slínku. Zatím je známo asi 400 druhů rostlinných hyperakumulátorů, jenže většina z nich (318 druhů), jako např. některé druhy česneku, odstraňuje jenom nikl. Obsah niklu v sušených listech může dosáhnout koncentrace až tří hmotnostních procent.

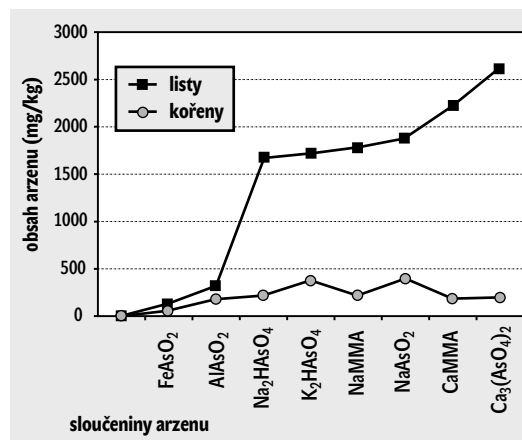
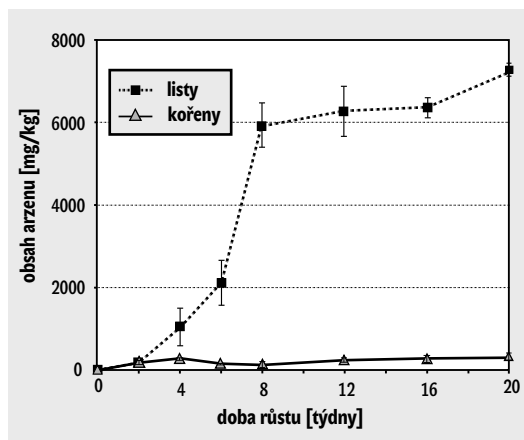
Na největším asijském ložisku arzenu v oblasti Šimen v čínské provincii Hunan se po dobu asi 1500 let těžil realgar (siričnan arzenu As_4S_4). V průběhu těžby a zpracování byla vážně

kontaminována celá oblast včetně potravinových zdrojů a dobytka. Číňané prováděli sérii pokusů jak s nekontaminovanou zemí (obsahy kolem 9 mg As/kg zeminy), tak s půdou v okolí hutí (obsahy až 3400 mg As/kg zeminy); pH půdních roztoků se pohybovalo mezi 7,4–7,8. Kapradina *Pteris vittata* roste v dané oblasti ve výškách kolem 2000 m na vápnitých podkladech a je obecně považována – podobně jako u nás slezíník routička *Asplenium ruta-muraria* – za indikátor vápenců. Neroste ale v půdách, které jsou kyselější než 4,5 pH, což je u siričnatých ložisek vážný nedostatek. Váha čerstvé biomasy vypěstované na 1 ha kontaminované půdy je sice kolem 36 t, jenže kapradina z toho tvoří jen určitou část. Při opakované sklizni tedy může pomoci při odstraňování spíše nízkých a možná středních zátěží arzenu.

Co si o tom všem máme myslet? Číňané jsou velmi optimističtí a na praktické využití kapradiny věří. Pamatuji si ale řadu experimentů např. s přesličkami, které v sobě kumulují zlato. Pokud by se podařilo na starých odkalištích zlatorudných ložisek, třeba na Roudném, pěstovat ve velkém přesličku, bylo by teoreticky možné z tuny sušiny získat až několik set gramů zlata. Problém je v přesličce, vzpírá se (mrcha) a nechce tvořit monokulturu. (Chinese Science Bulletin 47, 902, 2002/11)

Václav Cílek

/Děkuji Lene Q. Ma za poskytnutá data./



2. Změny obsahu arzenu v kapradině křídelnici během 20 týdnů růstu v půdě kontaminované pesticidem typu CCA, která obsahuje arzen v koncentraci 97 mg/kg. Nejnižší koncentrace arzenu je v kořenech, střední ve stonku a nejvyšší v listech, což svědčí o rychlém transportu arzenu v rostlině.

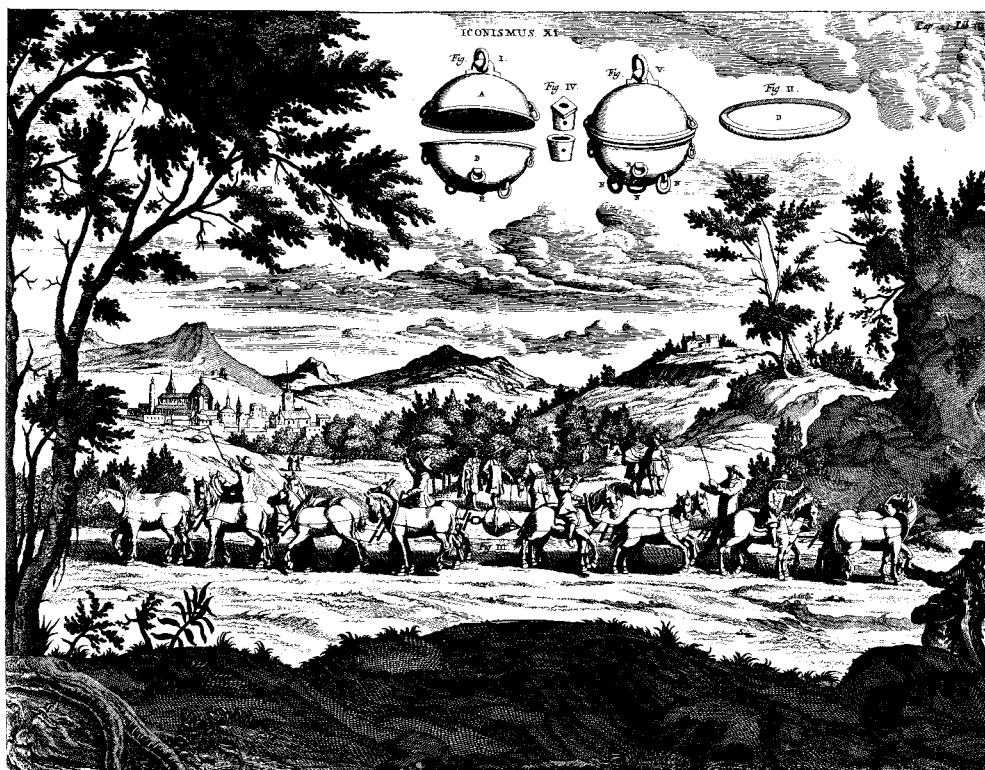
3. Koncentrace arzenu v kapradině po 18 týdnech růstu v umělé kontaminované půdě různými sloučeninami arzenu. NaMMA – monomethylarzonát sodný, CaMMA – monomethylarzonát vápenatý (organické látky vznikající metylací anorganických sloučenin arzenu v redukčním prostředí; patří mezi pesticidy).

Objev rostlin s mimořádnou schopností hromadit arzen ve své tkáni přináší nové možnosti zneškodnění arzenu v půdách. K tomu, aby taková metoda byla efektivní, je však třeba plně pochopit procesy kontrolující absorpci a přemísťování kovů z půdy do rostlin. Poznání těchto procesů může být podnětem pro genetické inženýrství, které by například mohlo absorpční vlastnosti kapradin milujících arzen ještě zvýšit.

1 + 1 = 1

IVO OPRŠAL

(aneb malá pocta Izákovi Newtonovi a jeho zákonu akce a reakce.
Poznámka k článku Počátky studia vakua, Vesmír 83, 42, 2004/1)



Na rytině na s. 42 je skutečně 8 párů koní, které se snaží odtrhnout od sebe 2 magdeburské polokoule. Pokud bychom zavedli sílu (ne výkon) jednoho koně, a to si můžeme dovolit, pak jsou polokoule odtrhávány silou (a o tu v pokusu jde) 4 párů koní, a nikoli párů 8, jak víme ze zákona akce a reakce. Proto si myslím, že popis k tomuto obrázku je zavádějící. Zmíněné vyobrazení je totiž ekvivalentní situaci, kdy by na jedné ze stran místo čtveřice párů bylo jen zakotvení táhla příslušné polokoule v nějakém pevném bodě (např. zdi). Stejná chyba se s touto rytinou táhne českou literaturou – viz např. P. Augusta, J. Klůna: Tajemství přesnosti, Albatros, Praha 1983. Ve skutečnosti rytina ukazuje sílu 4 párů koní odtrhávající polokoule. Teprve ono zakotvení na straně jedné a přítomnost všech 8 párů na straně druhé by opravňovaly k použití věty, že polokoule drží u sebe tak silně, že je neodtrhne ani 8 párů koní (rozuměno „drží u sebe silou 8 párů koní“).