

## SROVNÁNÍ AKUMULAČNÍCH SCHOPNOSTÍ HYBRIDNÍ OSIKY A JEŘÁBU PTAČÍHO

### COMPARISON OF ACCUMULATION CAPABILITIES OF HYBRID ASPEN AND ROWAN

PAVLÍNA MÁCHOVÁ<sup>1)</sup> - JANA MALÁ<sup>1)</sup> - HELENA CVRČKOVÁ<sup>1)</sup> - JAROSLAV DOSTÁL<sup>2)</sup> - TOMÁŠ VANĚK<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady; <sup>2)</sup>Ústav experimentální botaniky AV ČR, v. v. i.

#### ABSTRACT

Phytoremediation technology is effective, non-invasive method used for removing of environmental contamination. The work compares the capability of toxic heavy metals Cd and Pb uptake by roots and aboveground tissues of micropropagated plantlets from selected hybrid aspen and rowan tree growing in trial plots in emission areas in the Ore Mountains. The two tested clones of rowan tree and hybrid aspen can accumulate high concentrations of toxic metals Cd (800 - 1,500 mg.kg<sup>-1</sup>) and Pb (5,000 - 13,000 mg.kg<sup>-1</sup>) in roots, in addition hybrid aspen accumulated more than 100 mg.kg<sup>-1</sup> Cd in stem. Both clones are characterized by ability to grow well in the extreme site conditions.

**Klíčová slova:** fytořemediace, těžké kovy, hybridní osika, jeřáb ptačí, mikropropagace

**Key words:** phytoremediation, heavy metals, hybrid aspen, rowan tree, micropropagation

#### ÚVOD

V posledních letech se do popředí zájmu ve vyspělých průmyslových zemích dostává otázka možné obnovy půd kontaminovaných těžkými kovy (MCGRATH 1998, SALT et al. 1998, MARMIROLI et al. 2003). Velmi slibně, ekologicky šetrně a ekonomicky výhodně se jeví možnost využití rostliny s fytořemediační schopností (ARTHUR et al. 2005). Byly zpracovány studie, které dokazují schopnost některých rostlin odebírat, akumulovat případně transformovat, degradovat nebo detoxifikovat různá xenobiotika, jako jsou organické a anorganické sloučeniny nebo těžké kovy z půdy (LOMBI et al. 2001). Rostliny vhodné pro fytořemediační účely by se měly vyznačovat rychlým růstem, vysokou tolerancí až resistencí k biotoxinům a vysokou akumulací schopností zvláště v nadzemní části (GARBISSU, ALCORTA 2001, LASSAT 2002). Cílem výzkumu v oblasti fytořemediace je také identifikace rostlinných druhů, které se označují jako hyperakumulátory a mají schopnost akumulovat ve svých pletivech velké množství xenobiotik (BROWN et al. 1994). Je možné předpokládat, že rostliny, které dlouhodobě přežívají v imisních oblastech, splňují výše popsané požadavky. Využití vysoce efektivních druhů rostlin pro detoxifikaci půd urychlí výzkum akumulací/detoxifikační kapacity rostlin, jejich rychlé množení za pomoci biotechnologických metod, ale i vyšlechtění rostlin se specifickou selektivitou na kontaminanty (BAKER et al. 2000).

Topol osika a hybridní topol osika patří mezi často využívané dřeviny pro biotechnologické postupy (JOACHIM 1991, DIX et al. 1997, MALÁ et al. 2006). Pro fytořemediační studii byly využity dvě navzájem srovnatelné modelové dřeviny - hybridní topol osika a jeřáb ptačí. Oba druhy rostou již desetiletí v nejvíce imisemi zasažených oblastech ČR, v Krušných horách a zároveň lze oba druhy úspěšně reprodukovat mikropropagačními technikami a je tedy možné je s úspěchem využít i pro genetické inženýrství (STETTLER et al. 1996, MALÁ et al. 2006).

V experimentech bylo provedeno srovnání schopnosti akumulace těžkých kovů v kořenech a nadzemní části mikropropagovaných rostlin perspektivních klonů hybridního topolu osiky a jeřábu ptačího rostoucích na výzkumných plochách v imisních oblastech Krušných hor.

#### MATERIÁL A METODY

##### Rostlinný materiál

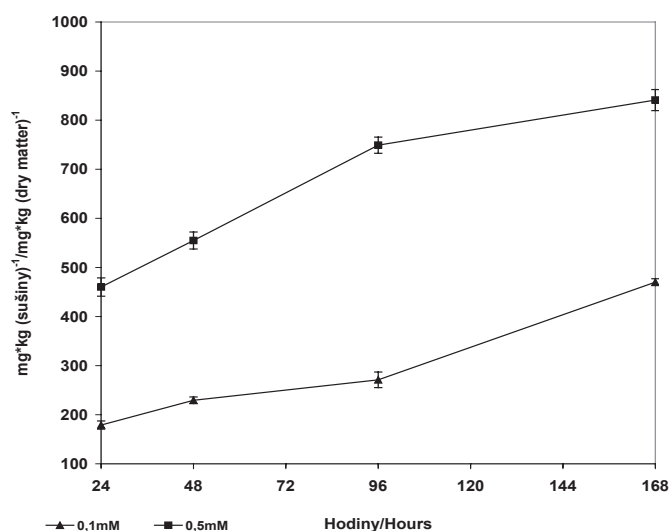
Na jaře 2004 byly odebrány dormantní pupeny z vybraných 24letých klonů hybridní osiky a jeřábu ptačího rostoucích na 4 provenienčních plochách v imisních oblastech Krušných hor. Nejúspěšnější mikropropagační metodou, která se osvědčila pro klonové množení zejména listnatých dřevin, je organogeneze. Touto metodou byly založeny primární kultury, které jsou dále udržovány v explantátové bance Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i. Pro studium adsorbce těžkých kovů byly použity klon č. 5 hybridního topolu osiky a klon č. 26 jeřábu ptačího.

##### Příprava výpěstků in vitro

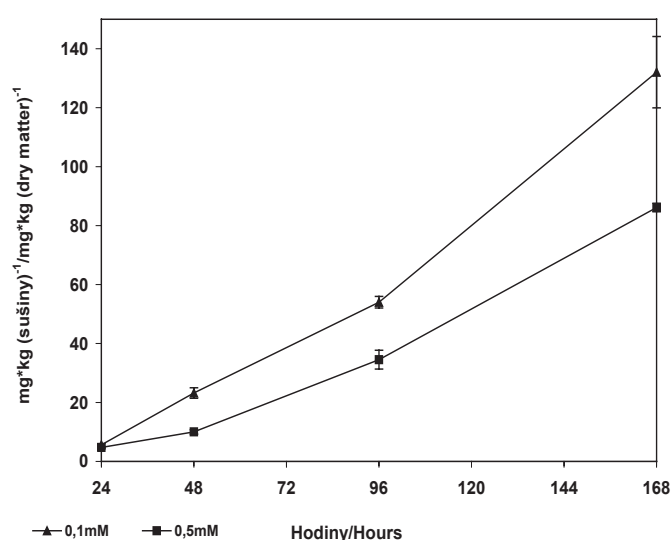
Multiplikované výhony z explantátových kultur byly zakořeňovány na 3x ředěném agarovém MS (MURASHIGE, SKOOG 1962) médiu doplněném o IBA (kyselina indolyl-3-máselná) 0,6 mg.l<sup>-1</sup>. Kultury byly pěstovány při 24 °C, 16hodinové fotoperiodě a bílém fluorescenčním světle. Zakořeněné výpěstky byly pěstovány hydroponicky v 10% roztoku MS solí. Pro další pokusy byly použity rostliny dosahující v nadzemní části cca 25 cm a s kořeny o délce cca 30 cm.

##### Kultivace výpěstků in vitro v roztoku solí těžkých kovů

Výpěstky in vitro byly pěstovány v hydroponii v semisterilních podmínkách. Jako hydroponický roztok byl použit 10% roztok MS solí doplněný 0,1 mM nebo 0,5 mM Cd (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O a Pb(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O, pH 5,6 bylo upraveno pomocí 1,0 N KOH

**Graf 1a.**

Časový průběh akumulace Cd ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) v kořenech hybridní osiky hydroponicky pěstované v 0,1 a 0,5 mM roztocích  $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Time course of Cd accumulation ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) in roots of hybrid aspen cultured in 0.1 and 0.5 mM of  $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  solutions

**Graf 1b.**

Časový průběh akumulace Cd ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) v nadzemní části hybridní osiky hydroponicky pěstované v 0,1 a 0,5 mM roztocích  $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Time course of Cd accumulation ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) in aboveground parts of hybrid aspen cultured in 0.1 and 0.5 mM of  $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  solutions

(Sigma-Aldrich Co.). Od každého klonu bylo v intervalech 24, 48, 96 a 168 hod. postupně odebráno 6 rostlin, u nichž byl stanoven obsah těžkých kovů v rostlinných pletivech. Odběr byl proveden pro obě koncentrace u obou sledovaných těžkých kovů a současně byla pro rozbor odebrána i kontrola. Statistické zpracování výsledků bylo provedeno pomocí t-testu ( $n = 6$ ).

#### Stanovení obsahu těžkých kovů v rostlinách

Pro stanovení obsahu těžkých kovů byla zvolena metoda ICP-OES (Plasma Atomic Emission Spectroscopy - kvantitativní identifikace na základě charakteristického elektromagnetického záření emitovaného při deexcitaci vybuzených atomů, resp. iontů) používaná pro stanovení prvků v mineralizátech rostlinných materiálů.

Rostliny a kořeny byly před analýzou vícekrát promyty demineralizovanou vodou tak, aby se odstranila povrchově adhezní kontaminace těžkého kovu z roztoku a přilnuté částice perlitu. Vzorky byly následně rozdrceny na jemný prášek a cca 0,5 g rozdrcené hmoty bylo louhováno 20 minut ve skleněných digestačních nádobách ve 12ml směsi koncentrované  $\text{HNO}_3$  a koncentrované  $\text{H}_2\text{O}_2$  (5 : 1 v/v) (Lach-Ner Ltd., Czech Republic). Vlastní analýzy byly provedeny na přístroji VARIAN 725-ES Radial, s detektorem CCD, Echelleho polychromátorem a radiálně pozorovanou indukčně vázanou plazmou. Při analýze Pb byla hodnota vlnové délky spektrálních čar 220,353 nm, u analýzy Cd byla hodnota 228,802 nm.

## VÝSLEDKY

#### Kvalitativní hodnocení výpěstků in vitro

Růstové a morfologické charakteristiky klonů hybridního topolu osiky a jeřábu ptačího rostoucích v hydroponických podmínkách s obsahem sledovaných těžkých kovů byly srovnatelné s kontrolními

rostlinami. V průběhu kultivace nebyly pozorovány žádné změny ani na nadzemní části rostlin ani na kořenovém systému.

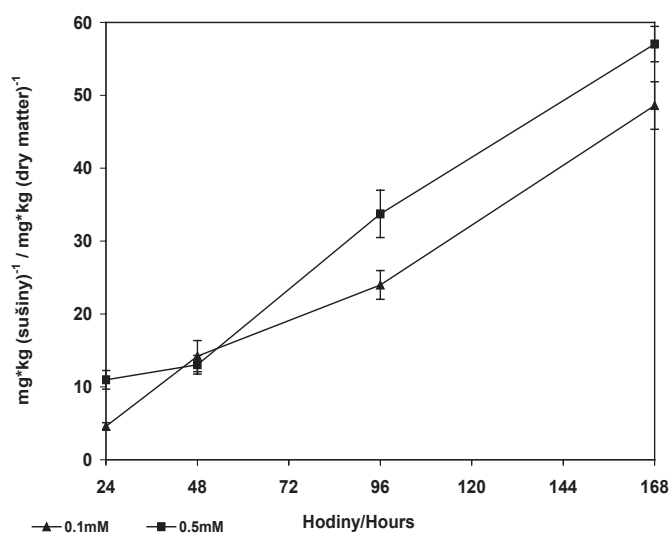
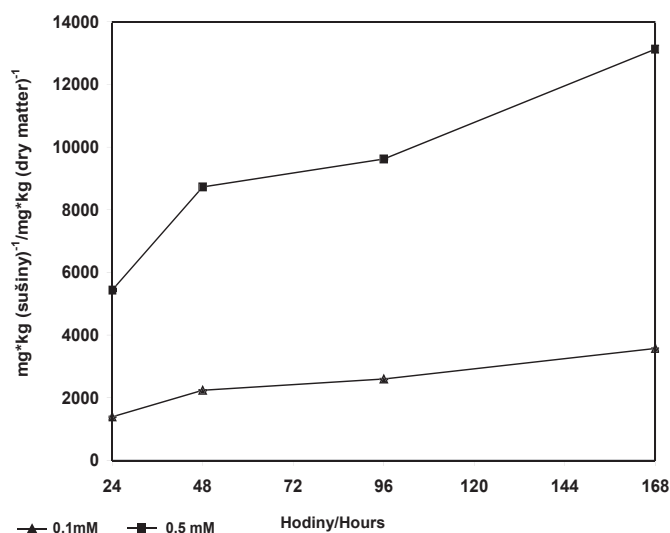
#### Kvantitativní stanovení obsahu těžkých kovů

- Koncentrace Cd v rostlinných pletivech hybridního topolu osiky

V kořenech i v nadzemní části hybridního topolu osiky se obsah Cd v závislosti na času zvyšoval téměř lineárně. V kořenech v 0,1 mM roztoku těžkého kovu došlo k navýšení obsahu Cd cca 2,5krát, z výchozí koncentrace  $173,9 \text{ mg.kg}^{-1}$  na  $436,2 \text{ mg.kg}^{-1}$  a v případě 0,5 mM roztoku těžkého kovu došlo k navýšení cca 1,7krát, z výchozí koncentrace  $487,9 \text{ mg.kg}^{-1}$  na  $826,3 \text{ mg.kg}^{-1}$  (graf 1a). V nadzemní části v 0,1 mM roztoku těžkého kovu došlo k navýšení obsahu Cd cca 23krát, z výchozí koncentrace  $5,4 \text{ mg.kg}^{-1}$  na  $126,4 \text{ mg.kg}^{-1}$  a v případě 0,5 mM roztoku těžkého kovu došlo k navýšení cca 19krát, z výchozí koncentrace  $4,6 \text{ mg.kg}^{-1}$  na  $86,2 \text{ mg.kg}^{-1}$  (graf 1b). Na základě statistického zhodnocení pomocí t-testu byly v kořenech i v nadzemní části pozorovány statisticky významné rozdíly mezi oběma sledovanými koncentracemi ( $P = 0,01$ ), v případě kontrolních rostlin byl v obou částech obsah Cd stanoven pod hranici detekce.

- Koncentrace Pb v rostlinných pletivech hybridního topolu osiky

Obsah Pb se v kořenech hybridního topolu osiky výrazně zvyšoval, v nadzemní části mělo zvýšení v sledovaném časovém intervalu lineární charakter. V pletivech kořenů v 0,1 mM roztoku těžkého kovu došlo k navýšení obsahu Pb cca 2,6krát, z výchozí koncentrace  $137,6 \text{ mg.kg}^{-1}$  na  $356,9 \text{ mg.kg}^{-1}$  a v případě 0,5 mM roztoku těžkého kovu došlo k navýšení cca 2,4krát, z výchozí koncentrace  $5429,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  na  $13051,4 \text{ mg.kg}^{-1}$  (graf 2a). V nadzemní části v 0,1 mM roztoku těžkého kovu došlo k navýšení obsahu Pb cca 10,8krát, z výchozí koncentrace  $4,6 \text{ mg.kg}^{-1}$  na  $49,8 \text{ mg.kg}^{-1}$  a v případě 0,5 mM roztoku těžkého kovu došlo k navýšení cca 5,2krát, z výchozí koncentrace  $10,9 \text{ mg.kg}^{-1}$  na  $56,7 \text{ mg.kg}^{-1}$  (graf 2b).



Graf 2a.

Časový průběh akumulace Pb ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) v kořenech hybridní osiky hydroponicky pěstované v 0,1 a 0,5 mM roztocích  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Time course of Pb accumulation ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) in roots of aspen cultured in 0.1 and 0.5 mM of  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  solutions

Graf 2b.

Časový průběh akumulace Pb ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) v nadzemní části hybridní osiky hydroponicky pěstované v 0,1 a 0,5 mM roztocích  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Time course of Pb accumulation ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) in aboveground parts of aspen cultured in 0.1 and 0.5 mM of  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  solutions

Na základě vyhodnocení pomocí t-testu byly pozorovány statisticky významné rozdíly mezi oběma sledovanými koncentracemi v obou sledovaných částech ( $P = 0,01$ ), u kontrolních rostlin byl obsah Pb v kořenech i v nadzemní části pod hranici detekce.

- Koncentrace Cd v rostlinných pletivech jeřábu ptačího

V kořenech a v nadzemní části jeřábu ptačího se obsah Cd ve sledovaném časovém intervalu zvyšoval. V pletivech kořenů v 0,1 mM roztoku těžkého kovu došlo k navýšení obsahu Cd cca 5,4krát, z výchozí koncentrace  $83,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  na  $449,7 \text{ mg.kg}^{-1}$  a v případě 0,5 mM roztoku těžkého kovu došlo k navýšení cca 3krát, z výchozí koncentrace  $510,6 \text{ mg.kg}^{-1}$  na  $1514,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  (graf 3a). V nadzemní části v 0,1 mM roztoku těžkého kovu došlo k navýšení obsahu Cd cca 4,4krát, z výchozí koncentrace  $0,41 \text{ mg.kg}^{-1}$  na  $1,8 \text{ mg.kg}^{-1}$  a v případě 0,5 mM roztoku těžkého kovu došlo k navýšení cca 4,8krát, z výchozí koncentrace  $0,6 \text{ mg.kg}^{-1}$  na  $2,88 \text{ mg.kg}^{-1}$  (graf 3b). Na základě statistického zhodnocení byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi oběma sledovanými koncentracemi u kořenové i nadzemní části ( $P = 0,01$ ), v případě kontrolních rostlin nebyl v kořenech ani v nadzemní části stanoven žádný obsah Cd.

- Koncentrace Pb v rostlinných pletivech jeřábu ptačího

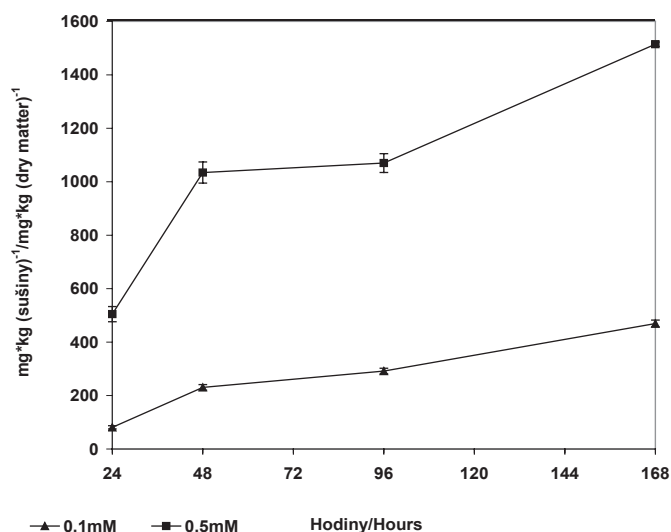
Obsah Pb se v kořenech jeřábu ptačího a při 0,1 mM koncentraci těžkého kovu zvyšoval lineárně. V 0,1 mM roztoku těžkého kovu došlo k navýšení obsahu Pb cca 2,5krát, z výchozí koncentrace  $249,4 \text{ mg.kg}^{-1}$  na  $625 \text{ mg.kg}^{-1}$  a v případě 0,5 mM roztoku těžkého kovu došlo k navýšení cca 2,2krát, z výchozí koncentrace  $2577,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  na  $5728,3 \text{ mg.kg}^{-1}$  (graf 4a). V nadzemní části v případě 0,1 mM roztoku těžkého kovu nebyl během prvních dvou odběrů detekován žádný obsah Pb, v dalších odběrech (96 hod. a 168 hod.) byl stanoven obsah Pb na  $1,8 \text{ mg.kg}^{-1}$  a  $2,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Při použití 0,5 mM roztoku těžkého kovu byl obsah Pb v rostlinném pletivu v průměru  $3,4 \text{ mg.kg}^{-1}$  (graf 4b). Na základě statistického zhodno-

cení byly pozorovány statisticky významné rozdíly mezi oběma sledovanými koncentracemi u obou sledovaných částí ( $P = 0,01$ ), u kontrolních rostlin nebyl v kořenech i v nadzemní části stanoven žádný obsah Pb.

## DISKUSE

V současných průmyslově vyspělých zemích se do popředí zájmu ekologických aktivit dostává možnost využití rychle rostoucích lesních dřevin s vysokou schopností akumulace toxických sloučenin (LOMBI et al. 2001). Perspektivní se jeví především rostliny se selektivní schopností delší dobu akumulovat těžké kovy bez viditelného poškození či retardace růstu (RASKIN et al. 1997, LASAT 2002). V současnosti již byly stanoveny latentní akumulace těžkých kovů v pletivech pro 200 druhů rostlin (ZENK 1996, VACEK et al. 2006). Rychle rostoucí pionýrské dřeviny, jako jsou hybridní topol osika a jeřáb ptačí, by se mohly úspěšně využít pro odstraňování znečišťujících látek z prostředí včetně těžkých kovů z půd (DIX et al. 1997). Tyto druhy jsou vhodné i pro množení pomocí mikropropagačních technik a mohly by být tedy i s výhodou využity pro fytořediční výsadby (MALÁ et al. 2006). Pro podobné účely popsali využití rodu *Salix* STOLTZ a GREGER (2002). FRENCH et al. (2006) na základě tříletých fytoředičních pokusů s rostlinami rodu *Salix*, *Populus* a *Alnus* popsali výrazné snížení obsahu méně mobilních prvků (Cd a Zn) v kontaminovaných půdách.

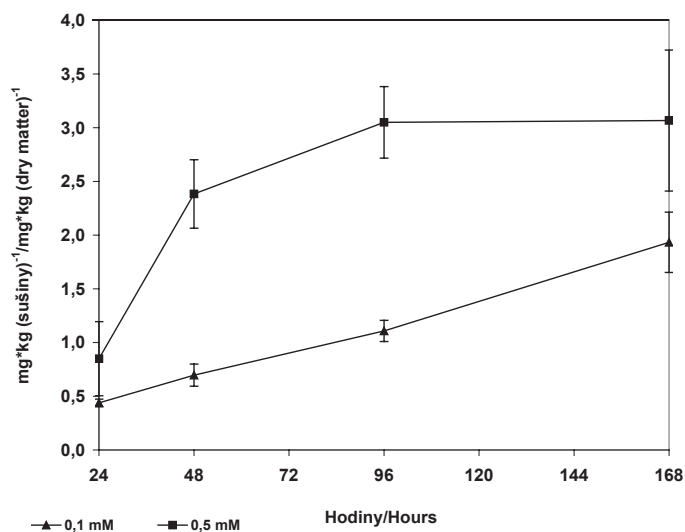
V prováděných pokusech se srovnávala fytořediční schopnost dvou druhů (hybridní topol osika a jeřáb ptačí) pro dva toxické těžké kovy (Cd a Pb). Vybrané klony obou druhů pocházely z vyselektovaných stromů rostoucích na imisemi ohrožených provenienčních plochách v Krušných horách (MALÁ et al. 2006). Rostliny byly



**Graf 3a.**

Časový průběh akumulace Cd ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) v kořenech jeřábu ptačího hydroponicky pěstovaného v 0,1 a 0,5 mM roztocích  $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$

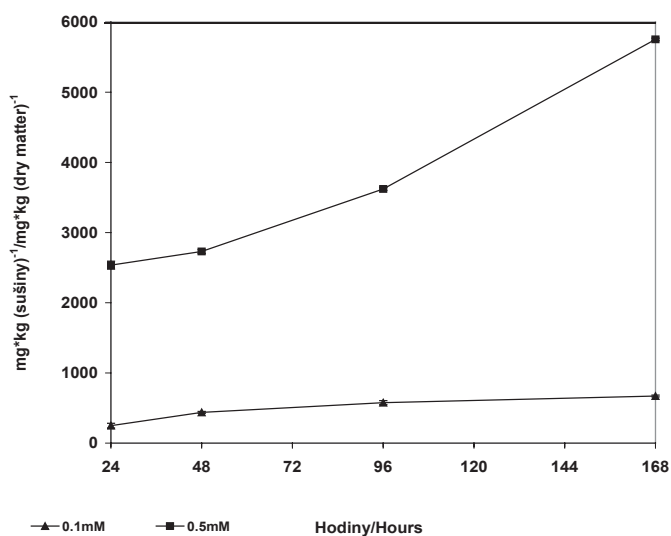
Time course of Cd accumulation ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) in roots of rowan tree cultured in 0.1 and 0.5 mM of  $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  solutions



**Graf 3b.**

Časový průběh akumulace Cd ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) v nadzemní části jeřábu ptačího hydroponicky pěstovaného v 0,1 a 0,5 mM roztocích  $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$

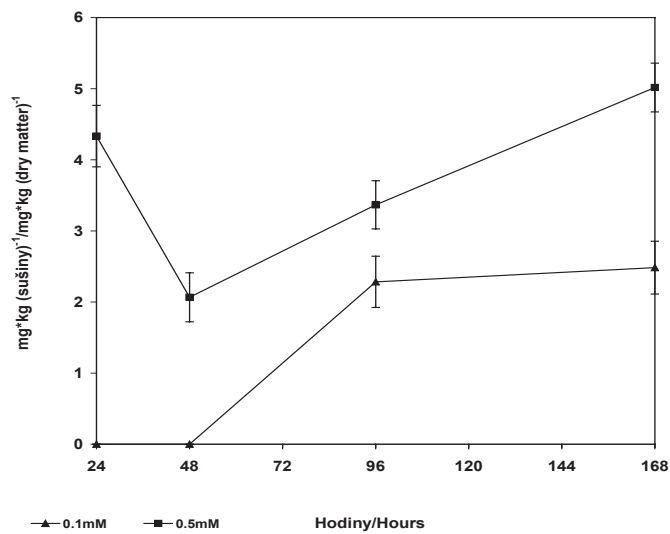
Time course of Cd accumulation ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) in aboveground parts of rowan tree cultured in 0.1 and 0.5 mM of  $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  solutions



**Graf 4a.**

Časový průběh akumulace Pb ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) v kořenech jeřábu ptačího hydroponicky pěstovaného v 0,1 a 0,5 mM roztocích  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Time course of Pb accumulation ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) in roots of rowan tree cultured in 0.1 and 0.5 mM of  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  solutions



**Graf 4b.**

Časový průběh akumulace Pb ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) v nadzemní části jeřábu ptačího hydroponicky pěstovaného v 0,1 a 0,5 mM roztocích  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Time course of Pb accumulation ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) in aboveground parts of rowan tree cultured in 0.1 and 0.5 mM of  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  solutions

namnoženy pomocí metody *in vitro* (organogeneze), aby byl odstraněn vliv genotypu a z důvodu odstranění vlivu edafonu byly pěstovány v semisterilních hydroponických podmínkách (MARSCHNER et al. 1996, WHITING et al. 2001). Použité koncentrace těžkých kovů a pH používaných hydroponických roztoků byly stanoveny na základě již dříve provedených pokusů, kde byly vyhodnoceny jako nejvhodnější z hlediska akumulční kapacity rostlin (KAHLE 1993, KALIŠOVÁ-ŠPIROCHOVÁ et al. 2003). Z výsledků experimentů vyplývá, že byly významné rozdíly jak v akumulaci, tak i translokaci těžkých kovů u sledovaných klonů lesních dřevin. Pb i Cd byly akumulovány především v pletivech kořenů a jejich koncentrace se lineárně zvyšovala v souvislosti s délkou experimentu. Hybridní topol osika ve srovnání s jeřábem ptačím vykazoval vyšší akumulční schopnost obou těžkých kovů. Pb se většinou akumulovalo v pletivech kořenů obou klonů, zatímco v nadzemní části lineárně vzrůstal obsah Cd (tab. 1, 2). Zjištěná rozdílná dynamika distribuce Cd a Pb v rostlinných pletivech hybridního topolu osiky a jeřábu ptačího byla popsána i u dvou klonů *Salix* (VANDECASTEELE et al. 2005). Převažující akumulace Pb v kořenech klonů hybridního topolu osiky a jeřábu ptačího by mohla být vysvětlena tvorbou málo rozpustných sloučenin v průběhu procesu detoxifikace kovů a jejich ukládání v buňkách (HALL 2002).

## ZÁVĚR

Fytoremediace jako technologie pro odstraňování kontaminací z životního prostředí se vyznačuje efektivností a ekologickou šetrností. Oba testované klony hybridní osiky i jeřábu ptačího mohou v kořenech akumulovat vysoké koncentrace toxických kovů, Cd ( $800 - 1\,500 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) a Pb ( $5\,000 - 13\,000 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), klon hybridního topolu osiky akumuloval též v nadzemní části více než  $100 \text{ mg.kg}^{-1}$  Cd. Oba testované klony se vyznačovaly schopností velmi dobrého růstu v extrémních podmínkách na původních stanovištích. Popsaný experiment je možné využít jako vhodný modelový systém pro testování genotypů vyznačujících se tolerancí k těžkým kovům a vysokou schopností akumulace těžkých kovů.

### Poděkování:

Příspěvek vznikl v rámci projektů MŠMT č. 2B06187 a OC118. a VZ 0002070202.

## LITERATURA

- ARTHUR, E. L., RICE, P. J., ANDERSON, T. A., BALADI, S. M., HENDERSON, K. L. D., COATS, J. R. Phytoremediation – An overview. *Crit. Rev. Plant. Sci.*, 2005, vol. 24, s. 109-122.
- BAKER, A. J. M., MCGRATH, S. P., REEVES, R. D., SMITH, J. A. C. Metal hyperaccumulator plants: A review of the ecology and physiology of a biochemical resource for phytoremediation of metal-polluted soils. In Terry, N. and Banuelos, G. (eds.): *Phytoremediation of contaminated soil and water*. Boca Raton, FL: Lewis Publ., 2000, s. 85-107.
- BROWN, S. L., CHANEY, R. L., ANGLE, J. S., BAKER, A. J. M. Phytoremediation potential of *Thlaspi-Caerulescens* and bladder campion for zinc-contaminated and cadmium-contaminated soil. *J. Environ. Qual.*, 1994, vol. 23, s. 1151-1157.
- DIX, M. E., KLOPFENSTEIN, N. B., ZHANG, J. W., KIM, M. S. Potential use of *Populus* phytoremediation of environmental pollution in riparian zones. In Klopfenstein, N. B., Chun, Y. W., Kim, M. S., and Ahuja, M. R. (eds.): *Micropropagation, genetic engineering, and molecular biology of Populus*. Rocky Mountain Forest and Range Experimental Station Fort Collins, CO., 1997, s. 206-212.
- KAHLE, H. Response of roots of trees to heavy metals. *Environ. Exp. Bot.*, 1993, vol. 33, s. 99-119.
- FRENCH, C. J., DICKINSON, N. M., PUTWAIN, P. D. Woody biomass phytoremediation of contaminated brownfield land. *Environ. Pollution*, 2006, vol. 141, s. 387-395.
- GARBISU, C., ALKORTA, I. Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. *Bioresour. Technol.*, 2001, vol. 77, s. 229-236.
- HALL, J. L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *J. Exp. Bot.*, 2002, vol. 53, s. 1-11.
- JOACHIM, H. F. Hybrid Aspen – schnellwüchsige, leistungsfähige und vielseitig einsetzbare Baumarten. IFE-Berichte aus Forschung und Entwicklung, Institut für Forstwissenschaften Eberswalde, 1991.
- KALIŠOVÁ-ŠPIROCHOVÁ, I., PUNČOCHÁŘOVÁ, J., KAFKA, Z., KUBAL, M., SOUDEK, P., VANĚK, T. Accumulation of heavy metals by *in vitro* cultures of plants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2003, vol. 3, s. 69-276.
- LASAT, M. M. Phytoextraction of toxic metals: a review of biological mechanisms. *J. Environ. Qual.*, 2002, vol. 31, s. 109-120.
- LOMBI, E., ZHAO, F. J., DUNHAM, S. J., MCGRATH, S. P. Phytoremediation of heavy metal-contaminated soils. *J. Environ. Quality*, 2001, vol. 30, s. 1919-1926.
- MARMIROLI, N., MAESTRI, A., TISSUT, M. Phytoremediation and phytotechnologies: basic data. In Vaněk, T. and Schwitzguébel, J.-P. (eds.): *Phytoremediation Inventory COST Action View..* UOCHAB, AVCR, 2003, s. 1-9.
- MARSCHNER, P., GODBOLD, D. L., JENTSCHKE, G. Dynamics of lead accumulation in mycorrhizal and non-mycorrhizal Norway spruce (*Picea abies* (L) KARST). *Plant Soil*, 1996, vol. 178, s. 239-245.
- MCGRATH, S. P. Phytoextraction for soil remediation.. In Brooks, R. R. (ed.): *Plants that hyperaccumulate heavy metals*. CAB International, Wallingford, UK, 1998, s. 261-287.
- MALÁ, J., MÁCHOVÁ, P., CVRČKOVÁ, H., ČÍŽKOVÁ, L. Aspen micropropagation: use for phytoremediation of soils. *J. For. Sci.*, 2006, vol. 52, s. 101-107.

- MURASHIGE, T., SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.*, 1962, vol. 15, s. 473-797.
- RASKIN, I., SMITH, R. D., SALT, D. E. Phytoremediation of metals: Using plants to remove pollutants from the environment. *Curr. Opin. Biotech.*, 1997, vol. 8, s. 221-226.
- SALT, D. E., SMITH, R. D., RASKIN, I. Phytoremediation. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 1998, vol. 49, s. 643-668.
- STETTLER, R. F., BRADSHAW, H. D., HEILMAN, P. E., HINCKLEY, T. M. *Biology of Populus and its implications for management and conservation*. Ottawa, Ontario, Canada, NRC Research Press, 1996.
- STOLTZ, E., GREGER, M. Accumulation properties of As, Cd, Cu, Pb and Zn by four wetland plant species growing on submerged mine tailings. *Environ. Exper. Bot.*, 2002, vol. 47, s. 271-280.
- VACEK, J., PETŘEK, J., HAVEL, L., ADAM, V., VÍTEČEK, J., BABULA, P., KIZEK, R. Simultaneous determination of eight biologically active thiol compounds using gradient elution liquid chromatography with coul-array detection. *J. Sep. Sci.*, 2006, vol. 29, s. 1166-1173.
- WANDECASTEELE, B., MEERS, E., VERVAEKE, P., DE VOS, B., QUATAERT, P., TACK, F. M. G. Growth and trace metal accumulation of two *Salix* clones on sediment - derived soil with increasing contamination levels. *Chemosphere*, 2005, vol. 58, s. 995-1002.
- WHITING, S. N., DE SOUZA, M. P., TERRY, N. Rhizosphere bacteria mobilize Zn for hyperaccumulation by *Thlaspi caerulescens*. *Environ. Sci. Technol.*, 2001, vol. 35, s. 3144-3150.
- ZENK, M. H. Heavy metal detoxification in higher plants - a review. *Gene*, 1996, vol. 179, s. 21-30.

## COMPARISON OF ACCUMULATION CAPABILITIES OF HYBRID ASPEN AND ROWAN

### SUMMARY

The restoration of soils contaminated by toxic heavy metals represents a major task of environmental policy of all industrial countries (MCGRATH 1998, SALT et al. 1998, MARMIROLI et al. 2003). The use of plants for phytoremediation purposes appears as a promising, environmentally friendly and cost-effective approach (ARTHUR et al. 2005). Aspen (*Populus tremula*) and especially hybrid aspen (*Populus tremula* × *P. tremuloides*) together with rowan tree (*Sorbus aucuparia*) represent mutually comparable model soil-cleaning trees for phytoremediation. The reasons for their choice for phytoremediation study are: both species survive for decennia in forest areas of the Ore Mountains, the most contaminated region of the Czech Republic, and both are amenable to tissue culturing, micropropagation techniques, and genetic engineering. Micropropagated plantlets derived from selected clones of the hybrid aspen (*Populus tremula* × *Populus tremuloides*) and the rowan tree (*Sorbus aucuparia*) were used to determine the uptake of Cd and Pb. Samples of roots and aboveground parts from plantlets grown in aseptic conditions in hydroponic media supplemented by the heavy metal salts were taken at 24, 48, 96, and 168 hrs. The concentrations and distributions of the accumulated metals were determined using the ICP-OES method. Generally, amounts of accumulated Cd and Pb increased linearly and were higher in the roots than in aboveground parts of both clones at all intervals (Cd on average in hybrid aspen 800 mg.kg<sup>-1</sup>, in rowan tree 15,000 mg.kg<sup>-1</sup>; Pb on average in hybrid aspen 13,000 mg.kg<sup>-1</sup> and in rowan tree 5,000 mg.kg<sup>-1</sup>). The hybrid aspen clone, however, accumulated in aboveground parts higher amounts of Cd (cca 100 mg.kg<sup>-1</sup>) than Pb (cca 50 mg.kg<sup>-1</sup>). The amounts of Pb and Cd were much lower in rowan tree clone (about 3 mg.kg<sup>-1</sup> of both metals). It could be concluded that hybrid aspen displayed high efficacy of uptake of Cd and Pb. It represents a prospective tree for phytoremediation of polluted soils. Described model system may serve as a valuable tool for initial testing of genotypes for high tolerance and accumulating of heavy metals.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Pavlína Máchová, Ph.D., Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.  
Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Česká republika  
tel.: 257 892 268; e-mail: machova@vulhm.cz