

BIOSORPCIA RÁDIOSTRONCIA LIŠAJNÍKMI

MARTINA KOČIOVÁ, MARTIN PIPÍŠKA^a, MIROSLAV HORNÍK^a,
JOZEF AUGUSTÍN^a

^a Katedra biotechnológií, Fakulta prírodných vied Univerzity sv. Cyrila a Metoda
v Trnave, Nám. J. Herdu 2, 917 01 Trnava

Súhrn: V krátkodobých laboratórnych experimentoch sme sledovali biosorpciu $^{85}\text{Sr}^{2+}$ iónov biomasou lišajníka *Hypogymnia sp.* z vodných roztokov s cieľom posúdiť možnú úlohu lišajníkov rastúcich na území SR pri viazaní rádionuklidov z kontaminovaného prostredia a ich potenciálneho využitia pre monitorovanie rádioaktívneho znečistenia.

Zistili sme, že množstvo viazaného rádiostroncia je funkciou počiatočnej koncentrácie SrCl_2 . Maximálne zistené hodnoty biosorpcie predstavovali 0,25 mmol Sr^{2+} /g vlhkej hmotnosti biomasy pri sorpcii z roztokov 0,1 mol/l. Pri koncentráciách stroncia < 60 nmol/L je účinnosť biosorpcie lišajníkmi blízka hodnote 90 %, čo môže slúžiť ako model pre posúdenie úlohy lišajníkov pri imobilizácii rádiostroncia z kontaminovaného životného prostredia.

Kľúčové slová: biosorpcia, *Hypogymnia sp.*, lišajník, rádiostroncium, $^{85}\text{Sr}^{2+}$

1. Úvod

Stúpajúce množstvo toxických kovov a rádionuklidov emitované do biosféry ako výsledok priemyselných aktivít znamená potenciálne nebezpečie pre životné prostredie, čo bolo už mnohokrát zdôraznené vo všetkých formách zverejňovania informácií. Hromadenie rádionuklidov v prírode je nevyhnutným dôsledkom ich vzniku pri všetkých reakciách štiepenia atómového jadra prebiehajúceho pri testovaní nukleárných zbraní, prevádzke jadrových reaktorov, reprocesovaní jadrového paliva i pri manipulácii s jadrovým odpadom. Pôda znečistená rádionuklidmi, hlavne s ^{137}Cs a ^{90}Sr predstavuje dlhodobé radiačné ohrozenie človeka prostredníctvom potravinového reťazca a iných ciest prenosu (ENTRY a WATRUD, 1998; KAPOOR a VIRARAGHAVAN, 1995).

Biologické objekty využívajú širokú paletu mechanizmov pre sorpciu a akumuláciu kovov (aktívny transport, extracelulárna tvorba komplexov, precipitácia, oxidačno-redukčné reakcie, konverzia zlúčenín na prchavé alebo menej toxické formy kovov) (GADD a SAYER, 2000).

Rastliny sú schopné akumulovať ^{137}Cs a ^{90}Sr z pôdy a ukladať tieto nuklidy do svojich pletív. Určité druhy rastlín môžu byť vhodné pre odstraňovanie rádionuklidov z kontaminovaného prostredia v dôsledku rýchleho rastu a schopnosti akumulovať veľké množstvá iónov z pôdneho roztoku (ENTRY a WATRUD, 1998).

V rastlinnej ríši majú lišajníky zvláštne postavenie, pretože na rozdiel od ostatných nižších, i vyšších rastlín nie sú jednotným organizmom, ale podvojným, zloženým z hubovej a riasovej časti. Lišajníky sa preto zaraďujú ako samostatná skupina medzi nižšie rastliny a už nie sú považované za huby. Hubovou zložkou je mykobiont, ktorý väčšinou tvoria vrekaté huby (*Ascomycetes*) a výnimočne stopkatovýtrusné huby

(*Basidiomycetes*). Tieto mykobionty sa v prírode voľne nevyskytujú, zatiaľ čo druhá zložka, riasy, môžu žiť samostatne. Ide zväčša o jednobunkové zelené guľovité riasy, menej o vláknité zelené riasy a výnimočne o modré riasy. Vzájomný vzťah oboch organizmov má charakter symbiózy. Riasa obsahuje chlorofyl, môže vytvárať sacharidy, ktoré poskytuje hube. Huba zase dodáva vodu a v nej rozpustné minerálne látky a chráni riasu pred poškodením intenzívnym svetlom, teplom a vysychaním. Fyziológia, biochémia a morfológia lišajníkov je dobre preštudovaná, avšak lišajníky naďalej ostávajú predmetom intenzívneho štúdia (pozri napr. RABŠTEINEK a kol., 1987).

Lišajníky môžu slúžiť ako bioindikátory znečistenia prostredia, pretože akumulujú veľké množstvá rôznych znečistenín, vrátane rádionuklidov (STEINNES a NJASTAD, 1993; DRAGOVÍČ a kol., 2002). Ich morfológia sa nemení s ročným obdobím, akumulácia prebieha počas celého roka, majú značnú dlhovekosť, čo viedlo k ich použitiu ako dlhodobého indikátora znečistenia atmosféry. Lišajníky majú schopnosť akumulovať kovy v množstvách, ktoré niekoľkonásobne prevyšujú ich predpokladané fyziologické potreby. Táto vlastnosť sa vysvetľuje iónovo-výmennými vlastnosťami rastliny, tak isto ako partikulárnym rastlinným povrchom, štruktúrou a nerovnosťami, ktoré umožňujú príjem a zadržanie kovov, vrátane rádionuklidov (DRAGOVÍČ a kol., 2002). Primitívne rastliny ako sú machy a lišajníky nemajú koreňový systém, a taktiež ani žiadny nepriepustný kutikulárny materiál, ktorý by mohol limitovať viazanie katiónov kovov. Rýchlosť procesov sorpcie a uvoľňovania závisí na chemickom zložení, veľkosti a vlastnostiach (napr. rozpustnosťou) zložiek viazucich prvky a zložení substrátu (NEDIČ a kol., 2000; NEDIČ a kol., 1999). Aj z týchto dôvodov sa machy a lišajníky používajú na monitorovanie prítomnosti rôznych znečistenín v atmosfére (SLOOF a WOLTERBEEK, 1992; SLOOF, 1995).

Mechanizmus sorpcie kovov lišajníkmi ostáva aj naďalej v značnej miere neobjasnený. Štúdie zaoberajúce sa biomonitovaním zdôrazňujú význam zachytávania častíc, zatiaľ čo laboratórne štúdie poukazujú na fakt, že hlavným akumulačným mechanizmom je iónová výmena (BROWN, 1991; RICHARDSON, 1995; GARTY, 2001). Nemožno pritom vylúčiť ani účasť pasívnej difúzie a aktívneho vnútrobunkového transportu (pozri Obr. 3).

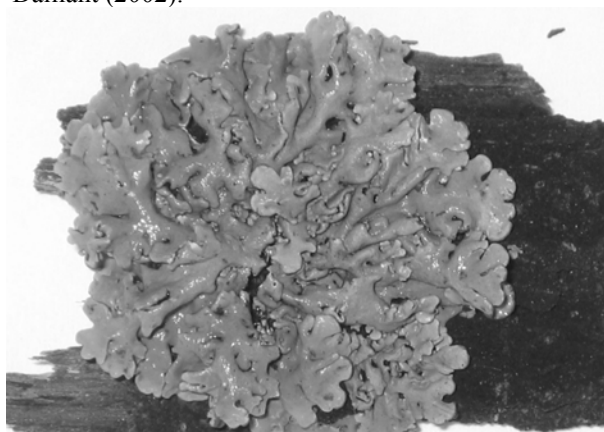
Cieľom tejto práce bolo charakterizovať biosorpčné vlastnosti lišajníkov slovenskej proveniencie. Sústredili sme sa na rádioroncium ako na významný nuklid vznikajúci v jadrových reaktoroch a vykazujúci potenciálne riziko prenikania do biosféry.

2. Materiál a metódy

2.1 Získanie biomasy lišajníkov

Biomasa lišajníka *Hypogymnia sp.* sa odobrala z kôry duba rastúceho v súvislom lesnom poraste juhovýchodných svahov pohoria Strážovské Vrchy. Odbery sa uskutočnili v období vegetačného kľudu (február – marec, 2004). Z výšky 0,7 až 2 m bola zobrať povrchová vrstva kôry duba pokrytá súvislejším porastom dobre vyvinutého lišajníka. Odobratý lišajník na kôre bol až do uskutočnenia experimentov

uchovávaný v laboratóriu pri 20°C pri dennom svete. Vlhké prostredie sa udržovalo periodickým sprejovaním prevarenou vodovodnou vodou. Pred použitím bol navlhčený lišajník oddelený od substrátu odrezaním skalpelom, zbavený drobných nečistôt a drte substrátu premytím destilovanou vodou. Voda nachádzajúca sa na povrchu a v záhyboch stielok bola opakovane odsatá do buničitej vaty s použitím mierneho tlaku. Množstvá 0,5 g vlhkej hmotnosti boli ihneď použité pre biosorpčné experimenty. V princípe išlo o postup, ktorý pre získanie biomasy použili vo svojej práci Kirchner a Daillant (2002).



Obr. 1: Lišajník *Hypogymnia sp.* použitý v biosorpčných experimentoch. Priemer kolónie 4 cm.

2.2 Biosorpčné experimenty s rádiostronciom

V princípe vo všetkých experimentoch bol použitý nasledovný postup: Do série 100 ml baniek s 20 ml destilovanej vody alebo roztoku požadovanej koncentrácie elektrolytov bolo pridané 20 μl $^{85}\text{SrCl}_2$ a po premiešaní po 0,5 g biomasy lišajníka (vlhká hmotnosť). Výsledný objem kvapalnej fázy vždy predstavoval 20,0 ml. Banky sa voľne uzavreli hliníkovou fóliou, umiestnili na trepačku (frekvencia 120 kyvov/min) a pri dennom osvetlení bez použitia umelého svetla sa kultivovalo pri 20°C. V programovaných časoch 0 min (pred pridaním biomasy lišajníka), 5, 10, 25, 40 min, 1, 2, 4, 6 a 24 h sa odoberali alikvotne 2 ml vzorky, zmerala sa rádioaktivita, roztok sa vrátil späť do reakčnej nádoby a pokračovalo sa v kultivácii. Na začiatku a po ukončení experimentov sa zmerala hodnota pH reakčnej zmesi. Rádioaktivita všetkých vzoriek sa merala počas 400 s.

2.3 Rádiometrická analýza

Pre meranie rádioaktivity bol použitý scintilačný gamaspektrometer 54BP54/2-X s NaI(Tl) kryštálom studňového typu Scionix, Holandsko s vyhodnocovacím programom Scintivision32, Ortec, USA. Vodný roztok $^{85}\text{SrCl}_2$ s mernou aktivitou 115,8 kBq/ml zloženia 20 mg SrCl_2/l a 3 g HCl/l dodal Alldeco, a.s. (SR).

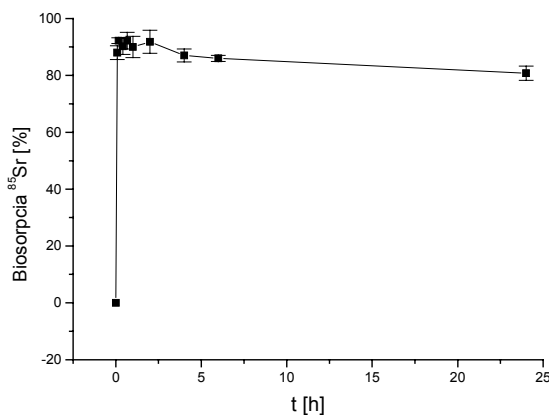
3. Výsledky a diskusia

3.1 Kinetika biosorpcie $^{85}\text{Sr}^{2+}$ iónov

Pri interakcii biomasy lišajníka s roztokom katiónov dochádza k sérii procesov, počínajúc iónovými interakciami s aniónovými funkčnými skupinami komponent vonkajšieho povrchu s následnými procesmi difúzie katiónov cez povrchové vrstvy do vnútra buniek a ďalším rozdeľovacím procesom cez zložitý membránový systém bunkových organel (rozpuštná cytoplazma – mitochondrie – vakuoly). V prípade lišajníkov napr. v porovnaní s mikroorganizmami typu kvasiniek je systém o to zložitejší, že sa jedná o symbiont fotosyntetizujúcej riasy nachádzajúcej sa v intracelulárnom priestore huby.

Stroncium sa vo všeobecnosti správa podľa pravidiel platných pre chovanie sa iných dvojmocných katiónov tejto skupiny, teda Ca^{2+} , Mg^{2+} a Ba^{2+} . Dokonale je preštudovaný transport Ca^{2+} iónov ako biogénneho prvku. Avšak iba skromné poznatky existujú o transporte Sr^{2+} a Ba^{2+} okrem iného aj z toho dôvodu, že tieto nebiogénne prvky majú toxické účinky. V mnohých prípadoch pre pochopenie pohybu stroncia v biosfere pomôže analógia s chovaním sa iných dvojmocných katiónov.

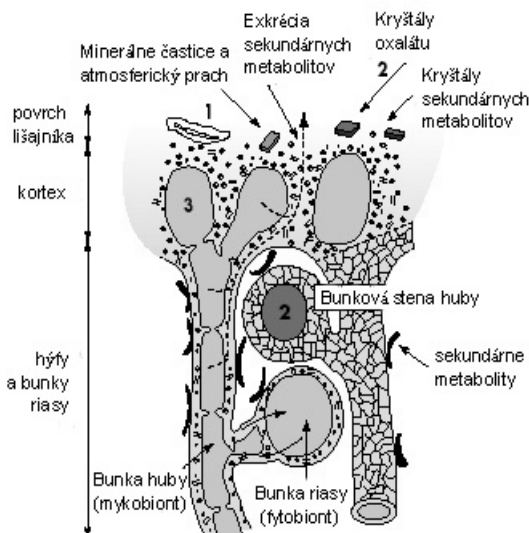
Zistili sme, že biosorpcia Sr^{2+} iónov je proces rýchly. Maximálne hodnoty biosorpcie sa dosahujú už v čase do 5 min. Koncentračná rovnováha Sr^{2+} [biomasa] / [roztok] sa v priebehu desiatok hodín nemení, alebo má iba mierny pokles (Obr. 2).



Obr. 2: Kinetika biosorpcie $^{85}\text{SrCl}_2$ biomasou lišajníka *Hypogymnia sp.*. Aerácia v banke na trepačke (120 kyvov/min) pri 20°C. Obsah zložiek na 20 ml reakčnej zmesi: 0,4 μg (2,52 nmol) SrCl_2 o celkovej aktivite 1 180 Bq. Počiatočné pH 5,5; po ukončení experimentu pH 4,7. Výsledky piatich nezávislých experimentov s koncentráciou biomasy (vl. hm.): 0,5 g/20 ml. Štandardná chyba priemeru je vyznačená chybovými úsečkami a je menšia ako 4%.

Na základe znalostí o fyzikálnochemických vlastnostiach zlúčenín stroncia a znalosti štruktúry a metabolizmu lišajníkov možno predpokladať, že proces prebieha nasledovným mechanizmom: lišajníky intracelulárne syntetizujú rad takých

organických kyselín ako sú kyselina šťaveľová a ďalšie sekundárne metabolity kyslej povahy. Kasama a kol. (2003) a Purvis a kol. (2004) využitím RTG difrakčnej analýzy a rastrovacej elektrónovej mikroskopie identifikovali na povrchu stielok prítomnosť kryštálov oxalátu vápnika $(\text{COOH})_2\text{Ca}$, ktorý v dôsledku nízkej rozpustnosti vo vode i v lipofilných komponentoch bunky prakticky nedifunduje ani nie je prenášaný transportnými mechanizmami bunky (LISCI a kol., 2003). V dôsledku podobnosti dvojmocných kationov prvkov 2A skupiny Mendelejevovej tabuľky sa dá predpokladať, že stroncium bude pri interakciách s biomasou lišajníkov tvoriť analogické zlúčeniny, teda aj oxaláty a karbonáty vyznačujúce sa obmedzenou rozpustnosťou vo vodnom prostredí a to buď ako kryštály samotných Sr^{2+} solí, alebo ako Sr^{2+} ióny zabudované do kryštalických štruktúr solí vápnika. Na možnosť vzniku takýchto kryštálov upozornili Kim a Heinrich (1995). Uvedení autori usudzujú, že inkorporácia Sr^{2+} a Ca^{2+} iónov do kryštálov oxalátu je bežný fenomén vyskytujúci sa v prírode. Schéma morfológie stielky lišajníkov je znázornená na Obr. 3.



Obr. 3: Možné spôsoby biosorpce rádiostroncium v extracelulárnom a intracelulárnom priestore lišajníkov.

1. Zachytenie spadu nerozpustných rádioaktívnych častíc. 2. Tvorba komplexov rozpustných solí so sekundárnymi metabolitmi na povrchu alebo v bezprostrednej blízkosti stielky. 3. Biosorpčia a translokácia rozpustných solí do intracelulárneho priestoru a následné interakcie s komponentmi buniek. Schéma subcelulárnej organizácie stielky, upravené podľa SARRET a kol., (1998).

Hlavným mechanizmom vychytávania kationov kovov lišajníkom pri krátkodobých laboratórnych experimentoch je komplexácia kationov s funkčnými skupinami na povrchu lišajníka alebo precipitácia na povrchu bunkových stien. Avšak aj transport kationov kovov do intracelulárneho priestoru zahŕňajúci metabolické procesy môže prispievať k ich vychytávaniu lišajníkom, hlavne pri dlhších inkubačných časoch (RICHARDSON, 1995; HAAS a kol., 1998). Naše experimenty

s lišajníkom inaktivovaným pôsobením teploty nad 60°C ukázali, že percento akumulovaného stroncia takto upraveným lišajníkom je takmer identické s percentom akumulovaného stroncia natívnym lišajníkom, čo poukazuje na fakt, že transmembránový transport pri akumulácii Sr^{2+} iónov biomasou lišajníka nehrá podstatnú úlohu.

Do akej miery je biosorpcia stroncia závislá na takých premenných ako je fyziologické štádium lišajníka a prítomnosť iných živín v prostredí by si vyžiadalo detailnejšie štúdium, napr. v závislosti na klimatických podmienkach a ročnom období. Lišajníky použité v našej práci boli odobraté z kôry stromov v zimnom období v čase vegetačného pokoja (sněhová pokrývka, nízke priemerné teploty). Išlo teda o podmienky zodpovedajúce nízkej metabolickej aktivite a v podmienkach limitácie živinami.

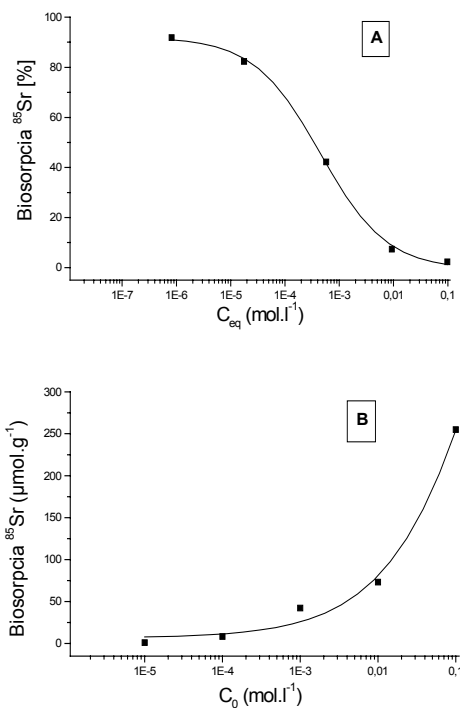
3.2 Vplyv počiatočnej koncentrácie SrCl_2 na biosorpciu $^{85}\text{Sr}^{2+}$

V princípe sa biosorpcia Sr^{2+} iónov riadi zákonitosťami adsorpčných rovnováh a rozdeľovacích rovnováh medzi koncentráciou iónov v roztoku a v bunkovej hmote. Získané experimentálne údaje o biosorpcii ^{85}Sr sú uvedené v Tab. 1 a na Obr. 4. Vysoké hodnoty biosorpcie stroncia až 225 $\mu\text{mol/g}$ (vl. hm.) po 24 h interakcii sa zistili pri počiatočnej koncentrácii $c_0 = 0,1 \text{ mol/l SrCl}_2$. Pri najnižších hodnotách počiatočných koncentrácií stroncia (daných koncentráciou SrCl_2 ako nosiča v používaných prípravkoch rádionuklidu) bioakumulácia po 24 h interakcii dosahovala hodnoty nad 91 % z počiatočnej koncentrácie stroncia (Obr. 4).

Keďže sa rádiostroncium dostáva ako kontaminant do prostredia v stopových hmotnostných množstvách, na základe výsledkov sorpčných experimentov v tejto práci sa dá predpokladať, že rádionuklid bude zachytávaný lišajníkmi rastúcimi v prírode s vysokou účinnosťou. Tento poznatok vyplynul aj z meraní mnohých autorov, ktorí zistili vysokú koncentráciu rádiocézia a rádiostroncium v lišajníkoch rastúcich v kontaminovaných lokalitách, najmä po úniku rádionuklidov z jadrových reaktorov a v lokalitách používaných pre testovanie jadrových zbraní. Avšak v literatúre sme nenašli práce, ktoré by opisovali kinetiku biosorpcie rádiostroncium v širších koncentračných rozsahoch nosičov.

Ani pri najvyššej študovanej počiatočnej koncentrácii $c_0 = 0,1 \text{ mol/l SrCl}_2$ a koncentrácii biomasy lišajníka 10 g/l (vl. hm.) sa nedosiahol stav nasýtenia biomasy Sr^{2+} iónmi. Biosorpcia z roztoku $c_0 = 0,1 \text{ mol/l SrCl}_2$ po 24 h interakcii predstavovala 0,225 mol SrCl_2/kg , teda 19,71 g Sr^{2+}/kg (vl.hm.) Aj v prípade, že nejde o stav nasýtenia, tieto hodnoty sa zdajú byť značne vysoké. Budka a kol. (2002) v práci venovanej distribúcii ťažkých kovov v lišajníkoch iných rodov a študovaných z iných ako rádiobiologických dôvodov taktiež zistili pozoruhodne vysoké hodnoty bioakumulácie draslíka, vápnika a iných prvkov.

Z porovnania výsledkov tejto práce s výsledkami práce Budka a kol. (2002) vyplýva, že pri lišajníkoch možno očakávať skutočne extrémne vysoké hodnoty biosorpcie nielen rádiostroncium a rádiocézia, ale aj ďalších rádionuklidov zo skupiny katiónov kovov.



Obr. 4: Závislosť biosorpcie ^{85}Sr lišajníkom *Hypogymnia sp.* (0,2 g/20 ml, vl. hm.) na počiatočnej koncentrácii SrCl_2 . Stav po 24 h reakcie pri 20°C. Číselné údaje v Tab. 1.
 A. Vzťah medzi hodnotou biosorpcie rádiostroncia ^{85}Sr (%) a rovnovážnou koncentráciou Sr^{2+} iónov (C_{eq}) v semilogaritmickej vynesení.
 B. Vzťah medzi hodnotou biosorpcie stroncia ($\mu\text{mol/g}$, vl. hm.) a počiatočnou koncentráciou C_0 SrCl_2 (mol/l) v semilogaritmickej vynesení.

Tab. 1: Vplyv počiatočnej koncentrácie chloridu stroncatého C_0 na biosorpciu Sr^{2+} biomasou *Hypogymnia sp.* (0,2g/20 ml, vl. hm.). Hodnoty po 24h interakcie pri 20°C.

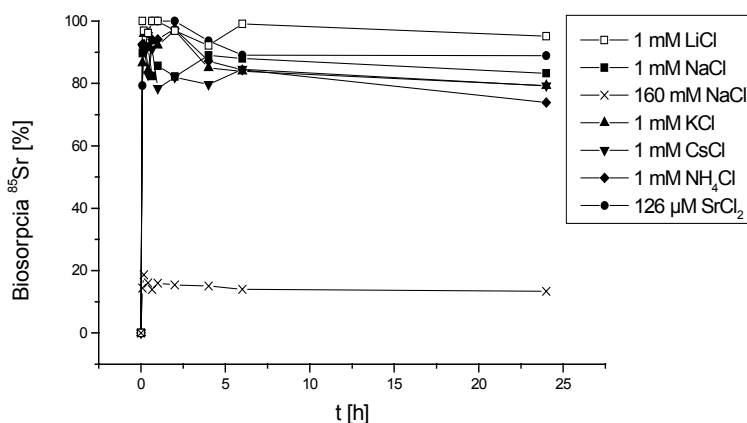
| $C_0 \text{ Sr}^{2+}$ | 0,1 | 0,01 | 0,001 | 0,0001 | 0,00001 |
|-----------------------|--------|--------|-------|--------|---------|
| [mol/l] | 0,1 | 0,01 | 0,001 | 0,0001 | 0,00001 |
| [mg/l] | 8 762 | 876,2 | 87,62 | 8,762 | 0,8762 |
| C_{eq}^* | 97 750 | 9 269 | 578,4 | 17,65 | 0,82 |
| [$\mu\text{mol/l}$] | 97 750 | 9 269 | 578,4 | 17,65 | 0,82 |
| C_{eq}^{**} | 2 250 | 731 | 421,6 | 82,35 | 9,18 |
| [$\mu\text{mol/l}$] | 2 250 | 731 | 421,6 | 82,35 | 9,18 |
| C_{eq}^* | 8 565 | 812,15 | 50,68 | 1,546 | 0,0717 |
| [mg/l] | 8 565 | 812,15 | 50,68 | 1,546 | 0,0717 |
| C_{eq}^{**} | 197 | 64,05 | 36,94 | 7,216 | 0,8045 |
| [mg/l] | 197 | 64,05 | 36,94 | 7,216 | 0,8045 |
| Biosorpcia [%] | 2,3 | 7,3 | 42,2 | 82,4 | 91,8 |
| [$\mu\text{mol/l}$] | 225 | 73,1 | 42,2 | 8,2 | 0,9 |
| [mg/g] | 19,7 | 6,4 | 3,7 | 0,7 | 0,08 |

* Rovnovážna koncentrácia Sr^{2+} iónov v roztoku po 24h interakcie s biomasou.

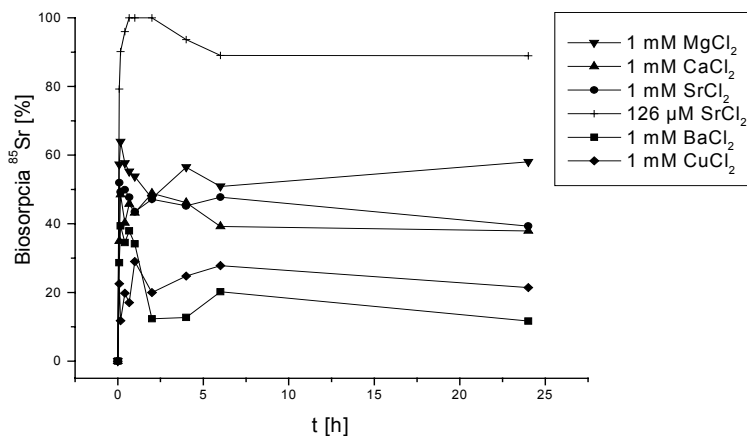
** Rovnovážna koncentrácia Sr^{2+} iónov v biomase po 24h interakcie s roztokom.

3.3 Vplyv Me^+ a Me^{2+} iónov na biosorpciu $^{85}Sr^{2+}$

Ako je zrejme z výsledkov na Obr. 5, jednomocné kationy alkalických kovov a NH_4^+ iónov v koncentrácii 1 mmol/l nemajú kompetitívny účinok na biosorpciu stroncia, i keď ide o vysoký molárny nadbytok ku stronciu (126 μ mol/l $SrCl_2$). Roztok 160 mmol/l NaCl (fyziologický roztok 0,9 % NaCl) spôsobil 86 % inhibíciu biosorpcie stroncia. Z toho vyplýva, že Na^+ ióny a podľa všetkého aj ďalšie jednomocné kationy



Obr. 5: Vplyv iónov alkalických kovov a NH_4^+ iónov na biosorpciu $^{85}Sr^{2+}$ biomasou lišajníka *Hypogymnia sp.* Aerácia v banke na trepačke (120 kyvov/min) pri 20°C. Obsah zložiek na 20 ml reakčnej zmesi v destilovanej vode: biomaso 0,6 g vl. hm.; $^{85}SrCl_2$ o celkovej aktivite 350 Bq. Počiatočné pH 5,5, po ukončení experimentu pH 4,7.



Obr. 6: Vplyv iónov kovov alkalických zemín a Cu^{2+} iónov na biosorpciu $^{85}Sr^{2+}$ biomasou lišajníka *Hypogymnia sp.* Aerácia v banke na trepačke (120 kyvov/min) pri 20°C. Obsah zložiek na 20 ml reakčnej zmesi v destilovanej vode: biomaso 0,52 g vl. hm.; $^{85}SrCl_2$ o celkovej aktivite 370 Bq. Počiatočné pH 5,5, po ukončení experimentu pH 4,7.

pri vysokých koncentráciách budú znižovať hodnoty sorpcie stroncia lišajníkmi.

Dvojmocné katióny alkalických zemín Ca^{2+} , Ba^{2+} , Mg^{2+} a Cu^{2+} iónov v koncentrácii 1 mmol/l výrazne znižujú hodnoty biosorpcie stroncia, pričom účinok klesá v rade $\text{Ba}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ (Obr. 6). Či sa jedná o súťaž o väzbové aniónové miesta na povrchu stielok lišajníka alebo či ide o inhibičný účinok študovaných katiónov na biologický systém, nie je možné posúdiť na základe experimentálnych údajov získaných v tejto časti práce. Je všeobecne známe, že Ba^{2+} a Cu^{2+} ióny vykazujú výrazný inhibičný efekt na mnohé prokaryotické i eukaryotické mikroorganizmy i na vyššie rastliny.

4. Záver

Lišajník *Hypogymnia sp.* vyskytujúci sa v súvislom lesnom poraste juhovýchodných svahov pohoria Strážovské Vrchy sa vyznačuje vysokou rýchlosťou biosorpcie $^{85}\text{Sr}^{2+}$ a vysokou účinnosťou viazania $^{85}\text{Sr}^{2+}$ zo zriedených vodných roztokov $^{85}\text{SrCl}_2$. Koncentračná rovnováha sa ustáli v priebehu niekoľkých minút, čo naznačuje, že ide o interakcie Sr^{2+} iónov s aniónovými skupinami lokalizovanými na povrchu stielok lišajníka alebo v jeho blízkosti. Prítomnosť dvojmocných katiónov kovov alkalických zemín a meďnatých iónov, nie však jednomocných katiónov alkalických kovov a amóniových iónov výrazne znižuje účinnosť biosorpcie rádiostroncia.

Na základe poznatkov získaných v laboratórnych experimentoch možno usudzovať, že zachytenie rádiostroncia lišajníkmi z kontaminovaného životného prostredia výrazne spomalí kolobeh tohto rádionuklidu v prírode.

Oznam

Táto práca vznikla za finančnej podpory ŠP VaV „Ekologizácia a racionalizácia primárnej rastlinnej produkcie“, ČÚ 03/VE04/SE06 Fytoremediácia pôd znečistených ťažkými kovmi.

Literatúra

- BROWN, D.H.: Lichen mineral studies-currently clarified or confused? Symbiosis, 1991, 11, s. 207-233.
- BUDKA, D., PRZYBYLOWICZ, W.J., MESJASZ-PRZYBYLOWICZ, J., SAWICKA-KAPUSTA, K.: Elemental distribution in lichens transplanted to polluted forest sites near Kraków (Poland). Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B, 2002, 189, s. 499-505.
- DRAGOVIČ, S., STANKOVIČ, S., NEDIČ, O.: Desorption of $^{137}\text{Cs}^+$ from mosses. J. Serb. Chem. Soc., 2002, 67, s. 587-591.
- ENTRY, J. A., WATRUD, L. S.: Potential remediation of ^{137}Cs and ^{90}Sr contaminated soil by accumulation in Alamo switch grass. Water Air Soil Pollut., 1998, 104, s. 339-352.
- GARTY, J.: Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichen. Theory and application. Crit. Rev. Plant. Sci., 2001, 20, s. 309-371.

- HAAS, J.R., BAILEY, E.H., PURVIS, O.W.: Bioaccumulation of metals by lichen: Uptake of aqueous uranium by *Peltigera membranacea* as a function of time and pH. *Am. Mineral.*, 1998, 83, s. 1494-1502.
- KAPOOR, A., VIRARAGHAVAN, T.: Fungal biosorption – an alternative treatment option for heavy metal bearing wastewaters: a review. *Biores. Technol.*, 1995, 53, s. 195-206.
- KASAMA, T., MURAKAMI, T., OHNUKI, T.: Accumulation mechanisms of uranium, copper and iron by lichen *Trapelia involuta*. *Proceedings of the 8th International Symposium on Biomineralization*, 2003, s. 298-301.
- KIM, T.W., HEINRICH, G.: Use of a laser microprobe mass analyzer for detection of strontium incorporation in oxalate-crystals of *Beta vulgaris* leaf. *J. Plant Physiol.*, 1995, 146, s. 217-221.
- KIRCHNER, G., DAILLANT, O.: The potential of lichens as long-term biomonitors of natural and artificial radionuclides. *Environ. Pollut.*, 2002, 120, s. 145-150.
- LISCI, M., MONTE, M., PACINI, E.: Lichens and higher plants on stone: a review. *Int. Biodeterior. Biodegradation*, 2003, 51, s. 1-17.
- NEDIČ, O., STANKOVIČ, A., STANKOVIČ, S.: Organic cesium carrier(s) in lichen. *Sci. Total Environ.*, 1999, 227, s. 93-100.
- NEDIČ, O., STANKOVIČ, A., STANKOVIČ, S.: Specificity of lichen species in respect to ^{137}Cs binding. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 2000, 76, s. 311-318.
- PURVIS, O.W., BAILEY, E.H., McLEAN, J., KASAMA, T., WILLIAMSON, B.J.: Uranium biosorption by the lichen *Trapelia involuta* at a uranium mine. *Geomicrobiol. J.*, 2004, 21, s. 159-167.
- RABŠTEINEK, O., PORUBA, M., SKUHROVEC, J.: Lišejníky, mechorasty a kapradňorosty ve fotografii. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1987, 224 s.
- RICHARDSON, D.H.S.: Metal uptake in lichens. *Symbiosis*, 1995, 18, s. 119-127.
- SARRET, G., MANCEAU, A., HAZEMANN, J.L.: Uptake mechanisms for the fixation of heavy metals by lichens. *Newsletter, ESRF*, 1998, s. 51-52.
- SLOOF, J.E.: Lichens as quantitative biomonitors for atmospheric trace-element deposition using transplants. *Atmosph. Environ.*, 1995, 29, s. 11-20.
- SLOOF, J.E., WOLTERBEEK, B.Th.: Lichens as biomonitors for radiocaesium following the Chernobyl accident. *J. Environ. Radioact.*, 1992, 16, s. 229-242.
- STEINNES, E., NJASTAD, O.: Use of mosses and lichens for regional mapping of ^{137}Cs fallout from the Chernobyl accident. *J. Environ. Radioact.*, 1993, 21, s. 65-73.

Biosorption of Radiostrontium by Lichens

Abstract: In short-time laboratory experiments biosorption of $^{85}\text{Sr}^{2+}$ from water solutions by biomass of lichen *Hypogymnia sp.* grown in the forest Stáňovské Vrchy was studied. The amount of radiostrontium bound is function of the initial SrCl_2 concentration and is not dependent on viability of the biomass. Maximal observed values of biosorption by native lichen biomass were 0,25 mmol Sr^{2+}/g (wet weight) at the initial concentration 0,1 mol/l of SrCl_2 . The efficiency of lichen biosorption from diluted SrCl_2 solution (< 60 nmol/l) reached 90 %. Obtained data can serve as a model of the role of lichens in immobilization of radiostrontium from contaminated environment and as a tool for radioactivity monitoring.

Key words: biosorption, *Hypogymnia sp.*, lichen, radiostrontium, $^{85}\text{Sr}^{2+}$