

Působení rtuti na živé organismy

Renáta Kenšová^{a,b}, David Hynek^{a,b}, Vojtěch Adam^{a,b}, René Kizek^{a,b}

^a Ústav chemie a biochemie Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika

^b Středoevropský technologický institut, Vysoké učení technické v Brně, Technická 10, 616 00 Brno, Česká republika

The influence of mercury to living organisms

This study deals with the role of mercury in the environment. It summarizes information about properties of mercury and its species, deals with individual mercury intakes into the environment, anthropogenic or natural, and it follows transport of mercury between individual components of the environment. Part of this thesis is given to the accumulation of mercury and mercury species into organisms. It points out the toxicity of mercury and mercury species, their effect to human organism. In the last chapter there is a resume of the instrumental methods which are commonly used for mercury determination.

Přijato k publikování: 8. 8. 2014

Klíčová slova: bioakumulace; detekce; onemocnění; organismus; otrava; rtuť; toxicita

Úvod

Sloučeniny rtuti patří mezi nejvíce toxické látky vyskytující se v životním prostředí. Jsou používány v různých průmyslových odvětvích, zemědělství, laboratorní technice i lékařství. Nalezneme ji v půdách, horninách, atmosféře, ve vodách, ale také v organismech. Toxicita rtuti závisí na formě, ve které se nachází. V souvislosti se sledováním rizikových prvků v životním prostředí se rtuť dostala do popředí zájmů nejenom ekologů, ale i hygieniků. Následkem antropogenního znečištění se rtuť nachází ve větší či menší míře ve všech ekosystémech. Vzhledem ke schopnosti bioakumulace rtuti v potravním řetězci je výzkumu šíření rtuti v životním prostředí v posledních letech věnována značná pozornost.

Fyzikálně-chemické vlastnosti rtuti

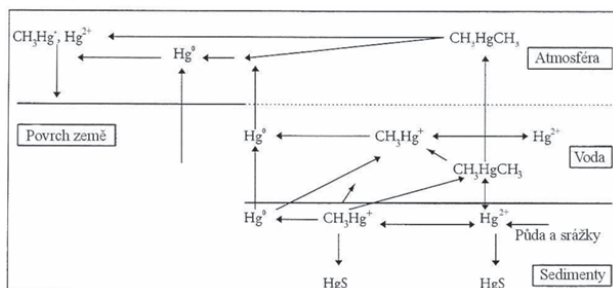
Rtuť (Hg), je kapalný kovový prvek stříbrné bílé barvy. Je nápadně těžká a dobře vede elektrický proud. Je supravodičem I. typu. Patří mezi přechodné prvky, které mají valenční elektrony v d-sféře¹. Rtuť se vyskytuje pouze v omezeném počtu oxidačních stavů (0, +I, +II). Přesto vytváří širokou škálu sloučenin, které se liší jak svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi, tak i

svou toxicitou. Mezi nejdůležitější chemické formy rtuti náleží elementární (kovová) rtuť, rtuťné (Hg_2^{2+}) a rtuťnaté (Hg^{2+}) anorganické formy rtuti a organokovové sloučeniny².

Rtuť v přírodním prostředí

Rtuť je obsažena ve více než dvaceti minerálech, zejména sulfidech spolu se zinkem, železem, mědí a jinými kovy. Jedinou rudou, z níž se rtuť efektivně průmyslově získává, je rumělka (HgS), jenž je podobně jako jiné sulfidy nerostem primárních hornin. Rumělka obsahuje přes 86% rtuti. Mnohem méně rtuti se vyskytuje jako elementární rtuť (Hg), avšak pokud jde o uvolňování rtuti do prostředí, má elementární rtuť velký význam. Oproti nerozpustné rumělce je elementární rtuť těkavá a uvolňuje se (vypařuje) z hornin do atmosféry. Rtuť se dostává do ovzduší také vulkanickou činností, z vegetace a z oceánů³. Z ovzduší je rtuť odstraňována srážkovými vodami, které průměrně obsahují 0,2 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ rtuti⁴.

Stejně jako u většiny prvků jsou hlavními vstupy rtuti do životního prostředí atmosférické emise, které mohou být antropogenního či přirozeného původu. Rtuť a její sloučeniny lze nalézt v celém ekosystému, ve všech složkách životního prostředí. Způsob transportu rtuti do životního prostředí popisuje bio-geochemický



Obr. 1: Některé z možných cest transportu rtuti v životním prostředí (převzato a modifikováno) ⁶

cyklus (Obr. 1). Tento cyklus je neustále opakován a je charakterizován jako součet všech vstupů a výstupů sloučenin rtuti v daném ekosystému. Pouze malá část rtuti je navázána do nerozpustných sloučenin nebo akumulována ve vodních potravních řetězcích a z toho důvodu nemůže být znovu uvolněna do atmosféry ^{2,5}.

Toxicita rtuti

Toxicita rtuti závisí na chemických a fyzikálních vlastnostech jednotlivých forem rtuti, tj. na rozpustnosti, intoxikační cestě, době expozice, na jejím množství a především na mobilitě forem. Platí, že čím mobilnější je forma rtuti, tím je toxicitější ^{6,7}. Elementární rtuť a její sloučeniny (anorganické i organické) jsou vysoce jedovaté látky působící akutní i chronické otravy. Toxicita je dána zejména reakcí rtuťnatého kationtu se sulfhydrylovými skupinami (-SH) biomolekul s následnou změnou propustnosti buněčných membrán a poškozením nitrobuňčných enzymů (kationty rtuti i ve velmi malých koncentracích inhibují některé enzymové reakce vazbou na aktivní centra enzymů). Anorganické formy rtuti jsou považovány za méně toxické než organické ⁸.

Expoziční cesta rtuti je u lidí nejčastěji inhační, orální a dermální. Expozice sloučeninami rtuti se u lidí projevuje imunologickými, neurologickými, reprodukčními, vývojovými, genotoxickými a karcinogenními účinky a mohou končit i smrtí ².

Při otravě člověka rtuť záleží na formě rtuti, druhu otravy (akutní, chronická) a vstupní cestě rtuti do organismu. Při akutní expozici vysokým koncentracím par elementární rtuti jsou kritickým orgánem plic. Vzniká erozivní

bronchitida, doprovázená zvracením a průjmy. Při chronické expozici je nejvíce postižen mozek. Počáteční příznaky jsou nespecifické (únava, bolesti hlavy, nechutenství atd.), později se objevuje typický třes, který postupně postihuje celé tělo. U lidí profesionálně exponovaným parám kovové rtuti bylo zjištěno zvýšené procento výskytu chromozómových aberací lymfocytů ⁸.

Při akutní otravě anorganickými sloučeninami rtuti (chlorid, dusičnan, kyanid rtuťnatý) jsou kritickým orgánem ledviny a trávicí ústrojí. Při perorálním příjmu již po několika minutách po požití toxické dávky (0,2 – 1,0 g) dochází ke zvracení krvavého obsahu, následují kolikové bolesti břicha a průjmy. Během 24 hodin se vyvine obraz selhání ledvin s nekrotizací epitelových buněk proximálního tubulu ⁹. Při chronické otravě anorganickými sloučeninami, i elementární rtuť, byl popsán nefrotický syndrom, zvýšená sekrece slin a záněty dásní. U malých dětí do čtyř let vzniká syndrom akrodyne (růžová nemoc), který je charakterizován ekzémem po celém těle, otoky, loupáním kůže a zimnicí. Po přerušení expozice rtuti příznaky postupně mizí ⁹.

Mezi akutní a chronickou otravou organickými sloučeninami nejsou velké rozdíly. Alkylsloučeniny významným způsobem poškozují zejména centrální nervový systém, dochází k atrofii mozku se ztenčením vrstvy mozkové kůry ¹⁰. Tyto změny jsou provázeny histologickými změnami v mozkové hmotě. Výraznými klinickými příznaky jsou poruchy chování, řeči, polykání a sluchu. Typický je svalový třes a zúžení zorného pole ¹¹.

Některými autory je uváděn mutagenní účinek organických forem rtuti, především methylrtuti ⁸. Methylrtuť může pravděpodobně sloužit jako donor methylové skupiny při alkylačních reakcích na DNA.

V posledních letech se stále častěji poukazuje na možné teratogenní a neurotoxické účinky organických forem ⁸. Prokázalo se, že rtuť je schopna proniknout přes placentární bariéry a způsobit otravu plodu. Intenzita průniku je dána chemickou vazbou rtuti. Nejmenší schop-

nost průniku má anorganická rtuť, vyšší je u arylrtuťnatých sloučenin, nejvyšší pak alkylrtuťnatých sloučenin. Placenta může do určité míry ochránit plod před akutní otravou methylrtuť. V případech chronických zátěží mateřského organismu rtuť bylo naopak zjištěno, že plod doslova vychytává rtuť přestupující placentou a kumuluje ji především v mozku a červených krvinkách. Rtuť rovněž negativně ovlivňuje životnost spermií i přežívání embryí¹².

Již před několika desítkami let se zjistilo, že toxicita rtuti může být snížena přítomností selenu. Účinek selenu se projevuje při akutních a chronických otravách jak anorganicky, tak i organicky vázanou rtuť¹³.

Metody stanovení rtuti

Pro stanovení celkového obsahu rtuti ve vzorku je třeba převést veškeré chemické formy rtuti na formu jednu a to anorganickou. Vzniklou anorganickou rtuť je možné detekovat jako atomární rtuť. Oxidace chemických forem rtuti se provádí silnými kyselinami (kyselina chlorovodíková, kyselina sírová, kyselina dusičná) a oxidačními činidly (peroxid vodíku, dichroman draselný, manganistan draselný) v kyselém prostředí, UV zářením a mikrovlnným zářením. Účinná je i fotooxidace, tj. kombinace chemické oxidace s působením UV záření^{2,5}. Kvlastnímu stanovení celkového obsahu rtuti se používá atomová absorpční spektrometrie (AAS), atomová fluorescenční spektrometrie (AFS), atomová emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-AES), hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP – MS) a atomová emisní spektrometrie s mikrovlnně indukovaným plazmatem (MIP – AES). Uvedené techniky se liší citlivostí. Výhodou spojení GC – AES a GC – ICP – MS je možnost multielementární analýzy. Některé tyto techniky využívají metodu generování studených par¹⁴. Pro stanovení celkového obsahu rtuti byly vyvinuty speciální analyzátory, např. TMA 254 (Tesla, ČR) a AMA 254 (Altec, ČR)^{2,5,15}. Tyto analyzátory umožňují přímé stanovení rtuti v pevných, plynných a kapalných vzorcích bez potřeby předchozí chemické úpravy vzorku¹⁴.

Tato práce byla financována z projektu NANOLABSYS CZ.1.07/2.3.00/20.0148.

The authors declare they have no potential conflicts of interests concerning drugs, products, services or another research outputs in this study.

The Editorial Board declares that the manuscript met the ICMJE „uniform requirements“ for biomedical papers.

Literatura

1. Greenwood, N.N.; Earnshaw, A. Chemistry of the elements, Pergamon Press, 1984.
2. Houserova, P.; Janak, K.; Kuban, P.; Pavlickova, J.; Kuban, V. Chemical forms of mercury in aquatic ecosystems - Properties, levels, cycle and determination. *Chemicke Listy*. 2006, 100, 862-876.
3. Šimek, M. Základy nauky o půdě: Biologické procesy a cykly prvků, Jihočeská univerzita, Biologická fakulta, 2003.
4. Svobodova, Z.; Hejtmanek, M. Rtuť ve vodním prostředí. *Živa*. 1982, 93-95.
5. Zavadská, M.; Zemberyova, M. Determination and speciation of organomercurials in environmental samples by AAS. *Chemicke Listy*. 1999, 93, 91-98.
6. Fara, M. Specifika emisí rtuti ze zdrojů znečišťování ovzduší vzhledem k potřebám modelů rozptylu znečištění v ovzduší a posuzování potenciálních rizik životním prostředím. Praha, 2004.
7. Tichý, M. Toxikologie pro chemiky: toxikologie obecná, speciální, analytická a legislativa, Karolinum, 1998.
8. Bencko, V.; Cikrt, M.; Lener, J. Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka, Grada, 1995.
9. Berlin, M. Toxicology of metals II. Environmental health effects series. U. S. Environmental Protection Agency. 1977, 206 - 221.
10. Merian, E.; Clarkson, T.W. Metals and their compounds in the environment: occurrence, analysis, and biological relevance, VCH, 1991.
11. Clarkson, T.W. The toxicology of mercury. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*. 1997, 34, 369-403.
12. Klaverkamp, J.F.; Macdonald, W.A.; Lillie, W.R.; Lutz, A. JOINT TOXICITY OF MERCURY AND SELENIUM IN SALMONID EGGS. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 1983, 12, 415-419.
13. Birge, W.J.; Black, J.A.; Westerman, A.G.; Hudson, J.E. The effect of mercury on reproduction of fish and amphibians., New York, 1979.
14. Popl, M.; Fährnich, J.; fakulta, V.š.c.-t.v.P.C.-i. Analytická chemie životního prostředí, VŠCHT, 1999.

15. Krystek, P.; Ritsema, R. Mercury speciation in thawed out and refrozen fish samples by gas chromatography coupled to inductively coupled plasma mass spectrometry and atomic fluorescence spectroscopy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2005, 381, 354-359.



Článek je volně šiřitelný pod licencí Creative Commons (BY-NC-ND). Musí však být uveden autor a dokument nelze měnit a používat pro komerční účely.