

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897.20130228003

李仕群, 朱静媛, 崔留欣, 等. 沙颍河沈丘段底泥、土壤中砷及重金属污染与潜在生态风险评价[J]. 生态毒理学报, 2013, 8(2): 275-279

Li S Q, Zhu J Y, Cui L X, et al. Pollution and risk assessment of arsenic and heavy metals in sediments and soils from Shenqiu Section of Shaying River [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2013, 8(2): 275-279 (in Chinese)

沙颍河沈丘段底泥、土壤中砷及重金属污染与潜在生态风险评价

李仕群, 朱静媛*, 崔留欣, 程学敏, 左其亭

郑州大学 公共卫生学院 劳动卫生与环境卫生教研室 郑州 450001

摘要: 为查明沙颍河沈丘段底泥、土壤中砷(As)和重金属污染状况及其潜在生态风险, 对底泥和土壤样品中的砷(As)、铬(Cr)、汞(Hg)、镉(Cd)和铅(Pb)的含量水平进行测定, 并进行潜在生态风险指数计算。结果表明, 沙颍河沈丘段底泥中 As 含量为 9.206 ~ 11.641 mg·kg⁻¹, 距河 5 km 的白果村农田土壤中 As 含量为 8.52 ~ 80.31 mg·kg⁻¹, 超标率达到 57.8%, Cr、Hg、Cd 和 Pb 的超标率分别达到 32.8%、59.4%、67.2% 和 39.1%。沙颍河沈丘段底泥和附近村庄农田土壤中 As 和 4 种重金属的总潜在生态风险为中等生态风险, 主要来源于 Hg 和 As。

关键词: 底泥; 土壤; As; 重金属; 潜在生态风险指数法

文章编号: 1673-5897(2013)2-275-05 中图分类号: X171.5; 820.4 文献标识码: A

Pollution and Risk Assessment of Arsenic and Heavy Metals in Sediments and Soils from Shenqiu Section of Shaying River

Li Shiqun, Zhu Jingyuan*, Cui Liuxin, Cheng Xuemin, Zuo Qiting

Department of Occupational and Environmental Health Sciences, College of Public Health, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China

Received 28 February 2013 accepted 17 March 2013

Abstract: To investigate the pollution status of arsenic and heavy metals in sediments and soils from Shenqiu Section of Shaying River, the levels of As, Cr, Hg, Cd and Pb were detected and the potential ecological risks of these metals were calculated using Hakanson potential ecological risks index. The level of As was 9.206 ~ 11.641 mg·kg⁻¹ in sediments and 8.52 ~ 80.31 mg·kg⁻¹ in soil of Baiguo Village 5 km away from the river. The excessive rate of As was 57.8%. The excessive rates of Cr, Hg, Cd and Pb were 32.8%, 59.4%, 67.2% and 39.1%, respectively. The total potential ecological risks of arsenic and heavy metals in sediments and soils from Shenqiu Section of Shaying River were both medium ecological risks which were mainly caused by Hg and As.

Keywords: sediment; soil; arsenic; heavy metal; potential ecological risks index

收稿日期: 2013-02-28 录用日期: 2013-03-17

基金项目: 国家十二五重大水专项子课题(2009ZX07210-006-3-3)

作者简介: 李仕群(1986-) 女 硕士 研究方向为环境毒理学 E-mail: lscq254244679@126.com

通讯作者(Corresponding author) E-mail: yuanzhu@zzu.edu.cn;

砷(As)在自然界分布极为广泛,多数为化合物状态。目前水体、底泥、土壤等环境介质中的砷污染多数来自于工农业生产,如矿冶、金属生产、燃煤以及农药化肥的施用等^[1]。As及其无机化合物被国际癌症研究所(IARC)认定为1类致癌物,即确切致癌物,对人体健康危害极大。随着工业的发展,工业排污的增多,各个环境介质的重金属污染也日益严重。特别是水体中的重金属污染,如汞(Hg)、镉(Cd)和铅(Pb)等^[2-5],对水体、水生植物和水生动物等都会产生严重危害,而且可以通过食物链进入人体,进而影响人类健康。沙颍河是淮河主要支流之一,发源于河南省伏牛山区,流经豫、皖两省40余县市,在河南省境内全长410 km,流域面积为34 470 km²。自从2004年国内媒体多次报道了淮河流域环境污染和肿瘤村的出现,淮河污染及其健康危害一直备受人们关注。淮河干流沉积物中多种重金属含量高于全国平均水平^[6]。作为淮河支流,沙颍河的污染不容忽视。有研究发现,沙颍河沈丘段流域的居民人群的肿瘤发病率高于对照区水平^[7],当地水体、土壤存在Pb、Cd等污染并影响了当地儿童生长发育和智力状况^[8]。因此,对沙颍河沈丘段流域底泥及附近村庄的农田土壤中As、Cr、Hg、Cd和Pb的污染状况进行调查和潜在生态风险评估,以期为该地区的污染控制及进一步的健康危害研究提供科学依据。

1 材料与方法(Materials and methods)

1.1 仪器与试剂

仪器:日立Z-5000型原子吸收分光光度计(日本Nikon公司),日立2000型分光光度计(日本Nikon公司),NCG-2冷原子吸收测汞仪(金坛市华龙实验仪器厂)。

试剂:实验用水为Milli-Q高纯水发生器制得,硫酸等化学试剂为国产分析纯试剂。

1.2 样品采集及预处理

2011年4月和9月,分2次对沙颍河沈丘段流域的底泥及土壤样品进行采集。底泥样品的采集:沙颍河沈丘段深不足5 m,河宽约250~300 m,在沙颍河沈丘段的沈丘县境内选择距离市工业区上游2.0 km,避开了河流狭窄和弯道,距离槐店闸上游3.6 km处的大王楼村,设为采样断面1,为入境断面;在槐店闸处设置采样断面2,其位于工业区下游,为工业区断面;选择距离沈丘工业区18.9 km,距离槐店闸下游20.1 km的纸店镇设为断面3,为出境断面。每个断面等距设置3个采样点。采样点避开了水草茂盛、河床冲击处以及漩涡回流处。将沉积物样

品自然风干,去掉杂物及石块后,用玛瑙研钵将样品研细过100目塑料筛,供分析检测用。土壤样品的采集:在沙颍河沈丘段的沈丘县境内,选取距河岸直线距离5 km以内的纸店镇白果村和20 km以外的洪山乡洪山村,分别作为污染区和对照区,两村均位于工业区断面和出境断面之间。两区经济水平、自然气候、人口构成、农作物种类、生活习俗基本相同,附近均不存在工业污染源。在两村选择地势较平坦,土壤分布均匀的地块,分别在两村东、西、南、北、中5个方位选择5个采样点,每个采样点按照梅花桩形布点采样,取20~30个样,每份样品为1 kg左右。采样的深度为耕作上层土10~20 cm。采样点远离沟渠、道路、堆肥处及垃圾堆积处。采集来的样品平铺在牛皮纸上,置于室内自然晾干,去除根系、石块等杂质后,过100目塑料筛,供分析检测用。在样品的采集和处理过程中没有与金属接触。底泥和土壤样品的处理方法和检测方法按照国家《土壤环境监测技术规范》进行^[9]。

1.3 样品As和重金属的测定

As的测定采用硼氢化钾—硝酸银分光光度法;镉、铅的测定采用火焰原子吸收光谱法;汞的测定采用冷原子吸收光谱法;铬的测定采用二苯碳酰二肼分光光度法^[10]。

1.4 As和重金属的潜在生态风险评估

潜在生态风险指数RI的计算公式如下:

$$C_i = C_x / C_s$$

式中, C_i 为某一项(类)重金属的单项污染指数, C_x 为底泥或土壤中该项(类)重金属的实测浓度值, C_s 为该项(类)重金属的评价标准浓度值,这里取全球沉积物工业化前背景值。As、Cr、Hg、Cd和Pb的沉积物工业化前背景值分别为15、90、0.25、1和70 mg·kg⁻¹。

$$E_r = T_r C_i$$

E_r 为某一项(类)重金属的潜在风险系数, T_r 为该项(类)金属的毒性系数。As、Cr、Hg、Cd和Pb在底泥中 T_r 分别为10、2、40、30和5。

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r$$

RI为多种金属的潜在生态风险指数。污染强度分级为: $E_r < 40$ 或 $RI < 150$ 轻微生态风险; $40 \leq E_r \leq 80$ 或 $150 \leq RI < 300$ 中等生态风险; $80 \leq E_r \leq 160$ 或 $300 \leq RI < 600$ 强生态风险; $160 \leq E_r \leq 320$ 或 $RI \geq 600$ 很强生态风险; $E_r \geq 320$ 极强生态风险。

1.5 数据分析

实验数据用EXCEL2003整理,用SPSS12.0软

件进行统计分析,采用 t 检验和方差分析,检验水准取 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果(Results)

2.1 沙颍河沈丘段 3 个断面底泥 As 及重金属污染状况

测定结果见表 1,在沙颍河沈丘段的 3 个断面底泥中,只有总 Cr 含量的差异具有统计学意义($P < 0.05$),而 As、Hg、Cd 及 Pb 的含量在 3 个断面之间的差异无统计学意义($P > 0.05$)。该县的工业断面,即入境断面和出境断面之间,并没有矿石、冶金、电镀、仪表颜料、化工、农业或火电厂等企业的存在,即没有(类)重金属污染源,这说明,从入境断面接纳的污染物浓度已经超过河水自净能力。

2.2 沙颍河沈丘段 2 个村庄农田 As 及重金属污染状况

所测定土壤的 pH 范围均在 6.5 ~ 7.5。由表 2 可知,两村土壤中 As、总 Cr、Hg、Cd、Pb 含量差异均有统计学意义($P < 0.05$)。

基于《土壤环境质量标准》(GB15618—2008)^[11]中的土壤无机污染物的环境质量第二级标准,对土壤样品检测结果进行超标率和超标倍数的统计,结果见表 3。由表可见,白果村土壤中 As 及重金属超标率从大到小依次为 Cd、Hg、As、Pb、总 Cr,最大超标倍数从大到小依次为 Pb、Cd、Hg、As、总 Cr。洪山村土壤中 As 及重金属超标率从大到小依次为 Hg、Cd、As、总 Cr、Pb,最大超标倍数从大到小依次为 Hg、Pb、Cd、As、总 Cr。

表 1 沙颍河沈丘段 3 个断面底泥中 As 及 4 种重金属的实测含量($n = 9$)
Table 1 Concentrations of As and four heavy metals in sediment of three sections in Shengju Segment of Shaying River ($n = 9$)

(mg·kg ⁻¹)					
项 目	入境断面($\bar{x} \pm s$)	工业区断面($\bar{x} \pm s$)	出境断面($\bar{x} \pm s$)	F	P
As	9.206 ± 4.987	11.641 ± 2.987	11.586 ± 4.497	0.644	0.539
总 Cr	98.467 ± 24.035	101.172 ± 30.721	64.213 ± 21.961	3.813	0.046
Hg	0.676 ± 0.275	1.098 ± 0.406	0.947 ± 0.405	2.026	0.166
Cd	0.655 ± 0.340	0.727 ± 0.153	0.701 ± 0.314	0.102	0.903
Pb	132.272 ± 34.704	143.541 ± 52.430	171.554 ± 22.498	1.651	0.225

表 2 两村农田土壤中 As 及 4 种重金属的实测含量($n = 60$)
Table 2 Concentrations of As and four heavy metals in cropland soils of two villages ($n = 60$)

(mg·kg ⁻¹)								
项 目	白果村			洪山村			t	P
	最小值	最大值	$\bar{x} \pm s$	最小值	最大值	$\bar{x} \pm s$		
As	8.52	80.31	34.67 ± 14.37	4.13	91.39	29.04 ± 16.93	- 2.028	0.045
总 Cr	44.38	528.90	184.80 ± 97.12	44.20	364.75	154.20 ± 67.60	- 2.067	0.041
Hg	0.25	4.13	1.14 ± 0.83	0.16	2.24	0.87 ± 0.50	- 2.246	0.027
Cd	0.13	1.98	0.55 ± 0.30	0.06	1.59	0.45 ± 0.24	- 2.073	0.040
Pb	8.36	370.02	90.00 ± 55.89	18.42	283.05	68.01 ± 52.28	- 2.300	0.023

表 3 两村农田土壤中 As 及 4 种重金属超标率、超标倍数的比较($n = 60$)
Table 3 Comparisons of excessive rates of As and four heavy metals in cropland soils of two villages ($n = 60$)

项 目	土壤环境质量二级标准* /(mg·kg ⁻¹)	白果村		洪山村	
		超标率/%	最大超标倍数	超标率/%	最大超标倍数
As	30	57.8	2.68	26.7	3.05
总 Cr	200	32.8	2.65	20.3	1.82
Hg	0.70	59.4	3.20	54.7	5.90
Cd	0.45	67.2	3.52	45.3	4.40
Pb	80	39.1	3.54	17.2	4.63

注: * 土壤环境质量二级标准来源于《土壤环境质量标准》(GB15618—2008)^[11]。

2.3 沙颍河沈丘段底泥的 As 及重金属污染潜在生态风险评价

对沙颍河 3 个断面底泥中 As、总 Cr、Hg、Cd 和 Pb 共 5 种(类)重金属进行潜在生态风险评价,得到单因子潜在生态风险系数 E_i 和综合潜在生态风险系数 RI。结果见表 4。3 个断面总潜在生态风险系数均大于 150,属于中等生态风险。

表 4 沙颍河沈丘段 3 个断面底泥中 As 及 4 种重金属的潜在生态风险评价结果

Table 4 Potential ecological risk assessment results of As and four heavy metals in sediment of three sections in Shengqu Segment of Shaying River

采样断面	E_i					RI
	As	总 Cr	Hg	Cd	Pb	
入境断面	5.988	1.562	145.520	19.430	8.525	181.026
工业区断面	7.150	1.803	154.267	20.035	12.228	195.484
出境断面	8.484	2.497	135.573	23.035	11.201	180.791

2.4 沙颍河沈丘段农田土壤的 As 及重金属污染潜在生态风险评价

对两村农田中 As、Hg、Cd、Pb、Cr 共 5 种(类)重金属进行潜在生态风险评价,得到单因子潜在生态风险系数 E_i 和综合潜在生态风险系数 RI,结果见表 5。白果村和洪山村农田土壤中 5 种(类)重金属的单因子潜在生态风险系数从大到小依次为 Hg、As、Cd、Pb、总 Cr。其中,白果村 Hg 的潜在生态风险系数大于 160,属于很强生态风险;洪山村 Hg 的潜在生态风险系数大于 80,属于强生态风险。两村的 Cd、Pb、As、Cr 的潜在生态风险系数均小于 40,属于轻微生态风险。两村总潜在生态风险系数均大于 150,属于中等生态风险。

表 5 两村农田土壤中 As 及 4 种重金属的潜在生态风险评价结果

Table 5 Potential ecological risk assessment results of As and four heavy metals in cropland soils of two villages

研究区	E_i					RI
	As	总 Cr	Hg	Cd	Pb	
白果村	23.114	4.107	182.253	16.401	6.429	232.303
洪山村	19.362	3.427	138.643	13.418	4.857	179.707

3 讨论(Discussion)

3.1 沙颍河沈丘段底泥及土壤中 As 及重金属污染状况

污染水体的重金属等污染物在物理沉淀、化学

吸附等作用下进入底泥,在一定条件下又会再次释放进入水体。河流底泥作为水环境中重金属的主要蓄积库,可以反映水体受重金属污染的状况。对沙颍河沈丘段 3 个断面底泥的检测发现,只有总 Cr 的含量在不同断面间存在差异,而 As、Hg、Cd、Pb 的含量差异没有统计学意义,因沙颍河沈丘段不存在新的重金属的污染来源,这说明该段 As、Hg、Cd、Pb 污染主要来自上游,且污染程度较大,已经观察不到该段河流的自净作用。

污水灌溉等途径可造成土壤重金属污染。沙颍河沈丘段附近的白果村农田大部分直接利用沙颍河或通过沟渠引沙颍河进行灌溉,而离河较远的洪山村主要是机井汲水或自来水灌溉。两区农田土壤中 As、总 Cr、Hg、Cd、Pb 等含量的差异具有统计学意义(见表 2),这说明土壤污染差异与其灌溉水的差异有关。参照《土壤环境质量标准》(GB15618—2008)^[11],白果村土壤中 As 的含量在 8.52 ~ 80.31 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,超标率达到 50% 以上,但 Cd 的超标率最高(67.2%),Pb 的超标倍数最大(3.54);洪山村土壤 As 的含量在 4.13 ~ 91.39 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,超标率不到 30%,而 Hg 的超标率和超标倍数最大,这说明两地区土壤污染的重金属类型不同。从超标率看,白果村农田土壤中 As 及总 Cr、Hg、Cd、Pb 等重金属污染程度均高于洪山村。

3.2 沙颍河沈丘段底泥及土壤中 As 及重金属污染的潜在生态风险评价

Hakanson^[12] 提出的潜在生态风险指数评价法是目前评价河流底泥质量应用较为广泛的方法之一。相较于传统的平均指数法、模糊数学法、等标负荷法等环境质量评价方法,潜在生态风险指数评价法的优势在于考虑到重金属的生物毒性,能够反映多种污染物的综合影响,并且给出判定潜在生态风险程度的标准。

Hg 和 As 均为环境生态风险评价常见贡献因子。在沙颍河沈丘段附近村庄白果村农田土壤的潜在生态风险评价中,以 Hg 和 As 为主要贡献因子。沙颍河沈丘段 3 个断面底泥中砷的单因子潜在生态风险指数均小于 40,判定为“轻微”生态风险;白果村和洪山村农田土壤中 As 的单因子潜在生态风险指数较底泥中指数有所升高,但均小于 40,属于“轻微”生态风险。无论在底泥还是土壤中,As 和其他重金属的总生态风险指数均高于 150,判定为中等生态风险,这说明多种污染物共存导致生态毒性增

加。其中,对生态风险贡献最大的是 Hg,其单因子潜在生态风险指数在底泥和农田土壤中均达到了强生态风险水平;在白果村农田土壤中达到很强生态风险水平,说明当地 Hg 污染更为严重。在我国其他地区的潜在生态风险评价中也有相似报道,在湘江株洲段河流底泥^[13]和南通市河流底泥中^[14],Hg 对其生态风险影响最大;而在湖南采矿区和冶炼区水稻土重金属潜在生态风险评价^[15]中,As 的贡献位于第二位,仅次于 Cd。总之,淮河沙颍河流域重金属污染状况严重,亟待环境治理。

通讯作者简介:朱静媛(1976—),女,预防医学博士,讲师,主要研究方向为土壤污染及其健康危害,发表学术论文 30 余篇。

参考文献:

- [1] Patel K S, Shrivastava K, Brandt R, et al. Arsenic contamination in water, soil, sediment and rice of central India [J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2005, 27 (2): 131 – 145
- [2] 吴思英, 田俊, 王绵珍, 等. 镉污染对育龄妇女生殖健康的影响[J]. *中华流行病学杂志*, 2004, 25(10): 852 – 855
Wu S Y, Tian J, Wang J Z, et al. The effect of cadmium pollution on reproductive health in females [J]. *Chinese Journal of Epidemiology*, 2004, 25(10): 852 – 855 (in Chinese)
- [3] 朱中平, 沈彤, 俞翠莲, 等. 环境铅污染对儿童行为影响的队列研究[J]. *环境与健康杂志*, 2006, 23(2): 102 – 105
Zhu Z P, Shen D, Yu C P, et al. A cohort study of the effect of environmental lead exposure on children behavior problems [J]. *Journal of Environment and Health*, 2006, 23(2): 102 – 105 (in Chinese)
- [4] Needham L L, Barr D B, Caudill S P, et al. Concentrations of environmental chemicals associated with neurodevelopmental effects in U.S. population [J]. *Neuro-Toxicology*, 2005, 26(4): 531 – 545
- [5] McDermott S, Wu J, Cai B, et al. Probability of intellectual disability is associated with soil concentrations of arsenic and lead [J]. *Chemosphere*, 2011, 84(1): 31 – 38
- [6] 罗斌, 刘玲, 张金良, 等. 淮河干流沉积物中重金属含量及分布特征[J]. *环境与健康杂志*, 2010, 27(12): 1122 – 1127
- [7] Luo B, Liu L, Zhang J L, et al. Levels and distribution characteristics of heavy metals in sediments in main stream of Huaihe River [J]. *Journal of Environment and Health*, 2010, 27(12): 1122 – 1127 (in Chinese)
- [8] Li P, Zhu J Y, Ba Y, et al. Helicobacter pylori infection and immune factors on residents in high-incidence areas of cancer along S River [J]. *Life Science Journal*, 2011, 8(3): 500 – 504
- [9] Tang C Y, Li A Q, Guan Y B, et al. Influence of polluted SY River on child growth and sex hormones [J]. *Biomedical and Environmental Science*, 2012, 25(3): 291 – 296
- [10] 国家环境保护总局. HJ/T 166—2004 土壤环境监测技术规范[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002
- [11] 刘凤枝, 马锦秋. 土壤检测分析实用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 102 – 121
- [12] 国家环境保护总局. GB15618—2008 土壤环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008
- [13] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach [J]. *Water Research*, 1980, 14(8): 975 – 1001
- [14] 漆燕, 成应向, 刘湛, 等. 河流底泥重金属污染及潜在生态风险评价——以湘江株洲段为例[J]. *四川环境*, 2011, 30(6): 104 – 107
- [15] Qi Y, Cheng X Y, Liu Z, et al. Pollution and potential ecological risk assessment of heavy metals in river sediments—Case study on the Zhuzhou Section of Xiang River [J]. *Sichuan Environment*, 2011, 30(6): 104 – 107 (in Chinese)
- [16] 蒋庆丰, 游珍, 倪黎明, 等. 南通市河流底泥重金属污染及潜在生态风险评价[J]. *水资源保护*, 2010, 26(5): 11 – 15
- [17] Jiang Q F, You Z, Ni L M, et al. Pollution and potential ecological risk assessment of heavy metals in river sediments of Nantong [J]. *Water Resources Protection*, 2010, 26(5): 11 – 15 (in Chinese)
- [18] 雷鸣, 曾敏, 郑袁明, 等. 湖南采矿区和冶炼区水稻土重金属污染及其潜在风险评价[J]. *环境科学学报*, 2008, 28(6): 1212 – 1220
- [19] Lei M, Zeng M, Zheng Y M, et al. Heavy metals pollution and potential ecological risk in paddy soils around mine areas and smelting areas in Hunan Province [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(6): 1212 – 1220 (in Chinese)