

Heavy Metals Distribution in Sediments and Potential Ecological Risk Assessment of Xiangxi River

Jing Ling, Shaohua Peng, Defu Liu, Ruiping Li*

Engineering Research Center of Eco-environment in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education,

China Three Gorges University, YiChang China, 443002

*Email: amylee0289@163.com

Abstract: The contents of heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, As) in surface sediments from Xiangxi River in Three Gorges Reservoir Region were determined using X-ray fluorescence spectrometer, and the ecological risk of heavy metals was further evaluated based on the method of potential ecological risk index (RI). The results showed that most of the heavy metals had similar distribution levels, and the high values located in the middle-downstream of Xiangxi River. The results of potential ecological risk assessment indicated that Xiangxi river was slightly polluted by the investigated heavy metals on average, but the sampling points of XX00 and XX02 had higher potential ecological risks than others owing to their higher RIs.

Keywords: assessment of ecological risk, sediments, Xiangxi River, heavy metals

香溪河表层沉积物重金属元素分布及潜在生态风险评价

凌 晶, 彭少华, 刘德富, 李瑞萍*

三峡库区生态环境教育部工程研究中心, 三峡大学, 宜昌 湖北, 中国, 443002

*Email: amylee0289@163.com

摘 要: 运用 X-射线荧光光谱法对三峡库区香溪河表层沉积物中的重金属元素(Cu、Pb、Zn、Cr、Ni、As)含量进行了分析测定,并进一步采用潜在生态风险指数法对该水域重金属元素的生态风险进行了评价预测。结果表明:在所考察区域内,大部分重金属元素具有相似的水平分布特征,高值区位于香溪河中下游河段;潜在生态风险评价结果显示,重金属元素平均污染程度为“轻微”,采样点 XX00 和 XX02 的潜在风险略高,其他采样点的潜在生态风险均为“轻微”。

关键词: 生态风险评价, 沉积物, 重金属, 香溪河

1 引言

香溪河发源于神农架林区,全长 94 km,流域面积 3099 km²,是三峡大坝坝首的第一条支流,流经兴山县及秭归县,于香溪镇注入长江。香溪河是兴山县境内最大水源,拥有九冲河、古夫河、高岚河三大支流^[1],平均流速 1.92m/s,平均流量 41.5m³/s^[2],大坝截流后,从秭归县香溪镇至兴山县高阳镇河段水位随之升高,流速减缓,随着水环境的改变,环境中的重金属存在形态随之发生复杂的理化与生物变化,可能已造成二次污染^[3]。

沉积物作为地球环境中三相物质循环中的一项重要环节,既是污染源更是污染汇^[4],它不断地接纳水体

中沉积下来的颗粒物,又不断地向水体中释放营养。重金属元素进入水体后绝大部分被悬浮颗粒吸附,在水动力作用的搬运过程中,当其负荷量超过搬运能力时,会逐步沉积下来^[4-8]。因此,河流沉积物成为水中重金属元素污染物的载体和指示剂,其重金属元素含量常用作判别水环境质量的重要参考指标^[9-10]。

为了对蓄水后香溪河水系重金属分布及污染状况作出评价,本实验依据 2010 年 3 月在香溪河采集的表层沉积物样品,对样品中的 Cu、Pb、Zn、Cr、Ni、As 等重金属元素的分布特征进行 X 射线荧光光谱法测定,并采用瑞典科学家 Hakanson 提出的潜在生态风险指数法(RI)^[11-15]对香溪河的重金属污染状况进行了潜在生态风险评价。

资助项目:国家自然科学基金面上项目(20977058)和环境化学与生态毒理学国家重点实验室开放基金(KF2008-05)

2 实验部分

2.1 仪器

AxiosX 射线荧光光谱仪 (XRF) (荷兰帕纳科公司): 4.2 kW 高功率、高透过率、超尖锐薄铍窗(75 μ m) 铍靶 X 光管, SuperQ4.0D 软件, 校准样品: GSS-5 (GBW07405) 土壤成分分析国家标准物质。

2.2 样品采集与制备

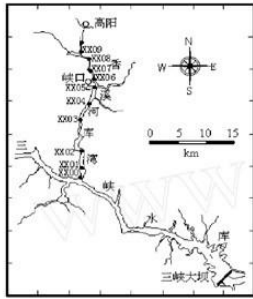


Figure1. Xiangxi Basin with the sampling sites
图 1. 香溪水库湾采样点分布图

样品于 2010 年 3 月采集于三峡库区香溪河流域河口、官庄坪、峡口镇、高岚河口、平邑口、高阳镇、白沙河和古夫镇等 10 个采样点。采样点名称及分布见图 1。每个样点大约采集样品 1-2 kg。采样后将样品装入棕色广口瓶密封后, 带回实验室。将样品平铺在塑料袋上, 置于超净实验室自然风干, 剔出砾石、杂草等物。自然风干后的样品在玛瑙研钵研磨至极细。用 200 目的尼龙分样筛, 过筛。将通过 200 目筛的沉积物收集, 放在阴凉避光处待测。

2.3 XRD 测定

Table 1. Measuring conditions of the investigated elements
表 1. 分析元素的测量条件

元素	分析线	准直器 μ m	检测器	光谱过滤器	光管电压 /K V	光管电流 /mA	角度 2T($^{\circ}$)	背景
Cr	KA	150	duplex	None	60	60	69.3618	1.2294
Ni	KA	150	duplex	Al(200 μ m)	60	60	48.6618	1.0196
Cu	KA	150	duplex	Al(200 μ m)	60	60	45.0174	1.6068
Zn	KA	150	Scint	Al(200 μ m)	60	60	41.7766	0.9184
As	KA	150	Scint	Al(200 μ m)	60	60	33.940	0.6732

Pb	LB 1	150	Scint	00 μ m) Al(200 μ m)	60	60	28.2182	1.2938
							0	

对于粉末压片法, 粒度和矿物效应的影响比较严重^[16], 要求待测样品的粒度在 200 目以上。取大于 200 目样品 4 g 左右, 加入磨具内, 用低压聚乙烯镶边垫底, 在 30 t 的压力下压制 30S 制成外径为 40 mm、内径为 37 mm 的样片。所采用的 XRF 的仪器条件见表 1。

3 结果与讨论

3.1 沉积物中重金属分布特征

Table 2. Concentrations of heavy metals in the surface sediments of Xiangxi River/mg \cdot kg⁻¹
表 2. 香溪河表层沉积物中重金属含量 (mg \cdot kg⁻¹)

	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Pb
XX09	79.4	27.7	22.5	60.7	5.9	14.0
XX08	82.8	19.3	10.6	45.0	6.3	4.3
XX07	82.9	22.3	15.6	52.7	7.6	7.5
XX06	88.7	29.6	21.0	74.9	9.1	11.8
XX05	94.5	32.3	27.5	140.6	6.9	18.6
XX04	86.5	32.5	25.1	231.4	9.6	22.0
XX03	84.0	23.8	20.8	166.8	8.5	15.9
XX02	114.5	38.3	53.6	114.4	11.5	36.3
XX01	120.6	25.1	27.7	69.2	9.2	17.0
XX00	127.3	34.9	43.8	91.1	12.0	27.5
均值	96.12	28.58	26.82	104.68	8.66	17.49
环境背景值 ^[17]	78.03	29.47	25.00	69.88	5.84	23.88

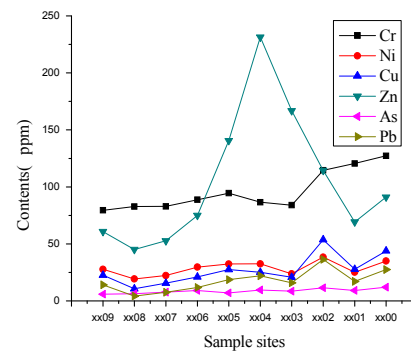


Figure 2. Variation of heavy metal concentrations in the surface sediments of Xiangxi River

图 2. 香溪河水体表层沉积物中重金属含量沿程分布

香溪河沉积物中重金属的含量及沿程分布如表 2 和图 2 所示,从表 2 可以看出,与环境背景值相比元素 As、Cr、Zn 质量分数较高,最低值明显高于环境背景值[17],说明沉积物中上述元素的人为累积量很大,富积程度高,已构成不同程度的污染;Cu 的平均质量分数与环境背景值持平,且其最低值明显低于环境背景值,最高值明显高于环境背景值,且测量值极差(最高值与最低值之差)较大,说明该元素在不同区域的富积程度存在较大差异。Ni、Pb 的平均质量分数低于环境背景值,反映上述元素的人为累积量较小,但其最高值明显高于环境背景值,说明个别区域呈现富积现象。

对沉积物中重金属元素的分布进行分析,可以追踪其污染源等信息 [18]。图 2 显示,香溪河沉积物中 Cr、Ni、Cu、As、Pb 有着相似的水平分布特征,从上游到下游,呈现先稍微下降再明显上升的现象,而元素 Zn 在 XX04 采样点(峡口镇滚转码头)的积累比较大,大部分元素高值区均位于河流中下游河段,该位置的特点说明城市的人为活动对沉积物中重金属元素含量有一定的影响。

3.2 潜在生态风险指数评价

本实验采用潜在生态危害指数 RI (Ecology risk index)[15]法进行香溪河水体沉积物重金属的污染评价,根据潜在生态危害系数法,沉积物中金属元素 i 的潜在生态危害系数(E_r^i)和多种金属的潜在生态风险指数(RI)可分别表示为:

$$C_f^i = C_s^i / C_n^i \quad (1)$$

$$E_r^i = T_r^i * C_f^i \quad (2)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i * C_s^i / C_n^i \quad (3)$$

式中: C_f^i 、 C_s^i 及 C_n^i 分别为金属 i 的富集系数、质量分数实测值($mg \cdot kg^{-1}$)及参考值($mg \cdot kg^{-1}$)。为了增强评价结果的可比性,参考值选用工业化以前沉积物中金属的全球最高背景值; T_r^i 为金属元素 i 的毒性系数,各金属元素的参考值及毒性系数见表 3。

Table 3. Reference value (C_n^i) and toxicity coefficient(T_r^i) of each metal in sediments

表 3. 沉积物中各金属元素的参考值(C_n^i)及毒性系数(T_r^i)^[19]

元素	$C_n^i/(mg \cdot kg^{-1})$	T_r^i
Cr	60	2
Ni	20 ^[20]	5 ^[21]

Cu	30	5
Zn	80	1
As	15	10
Pb	25	5

依据 E_r^i 可将沉积物中金属污染状况划分为 5 个等级;依据 RI 可将沉积物中金属污染程度划分为 4 个等级。根据潜在生态风险指数的控制因素,调整后的分级标准列于表 4。表 5 给出了不同采样点水体沉积物中金属的潜在生态危害系数(E_r^i)和风险指数(RI)。

Table 4. Relationship between potential ecological risk coefficients (E_r^i), risk indices (RI) of metals and pollution level

表 4. 金属潜在生态危害系数(E_r^i)、风险指数(RI)与污染程度的关系^[22]

指数	项目	污染程度等级划分				
E_r^i	范围	<10	10-20	20-40	40-80	≥80
	生态危害程度	轻微	中等	强	很强	极强
RI	范围	<30	30-60	60-120	≥120	
	生态危害程度	轻微	中等	强	很强	

Table 5. Potential ecological risk coefficients (E_r^i) and risk indices (RI) of metals in sediments in different sampling positions of Xiangxi river

表 5. 香溪河不同采样点水体沉积物中金属的潜在生态危害系数(E_r^i)和风险指数(RI)

项目	E_r^i						RI
	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Pb	
XX00	4.24	8.73	7.30	1.15	8.00	5.50	34.92
XX01	4.02	6.28	4.62	0.87	6.13	3.40	25.32
XX02	3.82	9.58	8.93	1.43	7.67	7.25	38.68
XX03	2.80	5.95	3.47	2.09	5.67	3.80	23.78
XX04	2.88	8.13	4.18	2.89	5.69	4.40	28.17
XX05	3.15	8.08	4.58	1.76	4.60	3.72	25.89
XX06	2.96	7.40	3.50	0.93	6.07	2.36	23.22
XX07	2.76	5.58	2.60	0.66	5.07	1.50	18.17
XX08	2.76	4.83	1.77	0.56	4.20	0.86	14.98
XX09	2.65	6.93	3.75	0.76	3.93	2.80	20.82
均值	3.20	7.15	4.47	1.31	5.70	3.56	25.40

从表 5 可以看出,采样点位 XX00(香溪河与长江的交汇处)、XX02(靠近河口)的 RI 为 30 以上,潜在生态风险程度达“中等”,其他采样点位的 IR 均小于 30,潜在生态风险程度为“轻微”。对于单个

元素来说, 所有元素的单项潜在生态危害系数都小于 10, 潜在生态风险程度为“轻微”, 10 个采样点重金属元素的单项潜在生态风险系数从大到小的顺序为: Ni>As>Cu>Pb >Cr>Zn, 而且大部分元素的高单项潜在生态风险系数位于香溪河的中下游, 进一步说明城市的人为活动对沉积物中重金属元素含量的影响。

4 结论

(1) 香溪河沉积物中 6 种重金属元素 Cr、Ni、Cu、Zn、As、Pb 的质量分数较高, 大部分采样点位的测量值高于研究区的环境背景值, 且具有相似的水平分布特征, 高值区位于香溪河中下游河段。

(2) 对香溪河沉积物中 As、Cu、Pb、Ni、Cr 和 Zn 的污染程度研究表明, 香溪河平均处于重金属元素的“轻微”污染程度。采样点位 XX00 (香溪河与长江的交汇处) 和 XX02 (靠近河口) 的 RI 为 30 以上, 潜在生态风险程度达“中等”, 其他采样点位的污染程度较低。

(3) 研究区重金属元素的单项潜在生态风险系数从大到小顺序为: Ni>As >Cu>Pb >Cr >Zn。

References(参考文献)

[1] Tang T, Li D-F, Pan W-B, et al, River Continuum Characteristics of Xiangxi River, *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(1), P141-144.

[2] State Environmental Protection Administration. Monitoring and Analyzing Methods of Water and Wastewater [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
国家环境保护总局, 水和废水监测分析方法, 北京: 中国环境科学出版社, 2002.

[3] FORSTNER U. Metal Pollution in the Aquatic Environment [M]. Berlin: Springer Verlag, 1978, 110-192.

[4] Prasadka K, Sanders R, Jickells T, Has the Role of Estuaries as Sources or Sink of Dissolved Inorganic Phosphorus Changed Over Time Results of a Kd Study [J], *Marine Pollution Bulletin*, 1998, 36(9), P718-728.

[5] Ankley G T. Technical Basis and Proposal for Deriving Sediment Quality Criteria for Metal [J], *Toxicol. Chem.*, 1966, 15(12), P2056-2066.

[6] Cochran J K, Hirschberg D J, Wang D J, et al, Atmospheric Deposition of Metals to Waters: Evidence from Salt Marsh deposit [J], *Estuarine Coastal Shelf Science*, 1998, 46, P503-522.

[7] Chen Jingsheng, A Number of Issues in Metal Pollution of Sediments [J], *Environmental Science Series*, 1983, 4(8), P1-2 (Ch).
陈静生, 沉积物金属污染研究中的若干问题[J], 环境科学丛刊, 1983, 4(8), P1-2.

[8] Zhang Xiaojun, Hu Ming-an, Distribution Characteristics of Heavy Metals in the Water and Stream Sediments of Daye Iron Mountain Area Rivers [J], *Geological Science and Technology Information*, 2006, 25(2), P89-92 (Ch).
张晓军, 胡明安, 大冶铁山地区河流水体及水系沉积物中重金属元素分布特征[J], 地质科技情报, 2006, 25(2), P89-92.

[9] Akcaay H, Oguz A, Karapire C, Study of heavy metal pollution

and speciation in Buyak Menderes and Gediz river sediments [J], *Water Research*, 2003, 37, P813-822.

[10] Fan Chengxin, Zhu Yuxin, Ji Zhijun, Zhang Lu, Yang Longyuan, Characteristics of the Pollution of Heavy Metals in the Sediments of Yilihe River, Taihu Basin[J], *Journal of Lake Science*, 2002, 14(3), P234-241.
范成新, 朱育新, 吉志军, 太湖宜溧河水系沉积物的重金属污染特征[J], 湖泊科学, 2002, 14(3), P234-241.

[11] Hakanson L, An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control: a Sediment Ecological Approach [J], *Water Res.*, 1980, 14, P975-1000.

[12] Tang Yinjian, Application of Hakanson Index Method Assessing Ecological Risk of Heavy Metal from Sediments in the Water, *Environmental Science Survey*, 2008, 27(3), P66-68 (Ch).
唐银健, Hakanson 指数法评价水体沉积物重金属生态风险的应用进展, 环境科学导刊, 2008, 27(3), P66-68.

[13] Huang Xianfei, Qin Fanxin, Hu Jiwei, Li Cunxiang, Pollution Characteristic and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Superficial Sediments of Hongfeng Lake [J], *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(2), P18-23 (Ch).
黄先飞, 秦樊鑫, 胡继伟, 李存雄, 红枫湖沉积物中重金属污染特征与生态危害风险评价[J], 环境科学研究, 2008, 21(2), P18-23.

[14] Qiao Shengying, Jiang Jin-ye, Xiang Wu, Tang Junhong, Distribution of Heavy Metals in Sediments in Lakes in Wu han with Assessment on Their Potential Ecological Risk [J], *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005, 12(3), P353-357 (Ch).
乔胜英, 蒋敬业, 向武, 武汉地区湖泊沉积金属的分布及潜在生态效应评价[J], 长江流域资源与环境, 2005, 12(3), P353-357.

[15] Liu Fangwen, Yan Wen, Wang Wenzhi, et al, Pollution of heavy metals in the Pearl River Estuary and its Assessment of Potential Ecological Risk [J], *Marine Environmental Science*, 2002, 21(3), P34-38.

[16] Guo Wei, Studies of the X-ray Fluorescence Analysis Technique on Ferroalloy, Chengdu University of Technology [D], 2008.
郭伟, 铁合金 X 荧光分析技术的研究, 成都理工大学[D], 2008.

[17] Tang Jiang, Zhong Yuanping, Wang Li, Background Value of Soil Heavy Metal in the Three Gorges Reservoir District [J], *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 6(4), P848-852 (Ch).
唐将, 钟远平, 王力, 三峡库区土壤重金属背景值研究, 中国生态农业学报, 2008, 16(4), P848-852.

[18] Wang Gui, Zhang Lijie, Characteristics and Morphology of Heavy Metal Distribution in the Estuarine Sediments [J], *Marine Geology Letters*, 2002, 18(12), P1-5 (Ch).
王贵, 张丽洁, 海湾河口沉积物重金属分布特征及形态研究 [J], 海洋地质动态, 2002, 18(12), P1-5.

[19] Liu Huili, Cui Longpeng, Assessment of Pollution and Environmental Status of Metals in Sediments of Subsidence -Land-Water-Ponds in Huainan Mining Area [J], *Research of Environmental Sciences*, 2009, 22(5), P601-606 (Ch).
刘慧力, 崔龙鹏, 淮南矿区水体沉积物中金属污染及环境现状评价, 环境科学研究, 2009, 22(5), P601-606.

[20] Fan Wenhong, Zhang Bo, Chen Jingsheng, Zhang Rong, Deng Baoshan, Pollution and Potential Biological Toxicity Assessment Using Heavy Metals from Surface Sediments of Jinzhou bay [J], *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2006, 26(6), P1000-1005 (Ch).
范文宏, 张博, 陈静生, 张融, 邓宝山, 锦州湾沉积物中重金属污染的潜在生物毒性风险评价[J], 环境科学学报, 2006, 26(6), P1000-1005.

[21] Xu Zhengqi, Ni Shijun, Tuo Xianguo, Zhang Chengjiang, Calculation of Heavy Metals Toxicity Coefficient in the Evaluation of Potential Ecological Risk Index [J], *Environmental Science & Technology*, 2008, 31(2), P112-115 (Ch).
徐争启, 倪师军, 庾先国, 张成江, 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算, 环境科学与技术, 2008, 31(2),

P112-115.

- [22] Lei Kai, Lu Xinwei, Wang Lijun, Zhai Yuiang, Huang Jing, Qu Yazhai, Distribution and Evaluation on Potential Ecological Risk of Heavy Metals in Wei River Surface Sediment of Xi an [J], *Geological Science and Technology Information*, 2008, (27),

P83-87 (Ch).

雷凯, 卢新卫, 王利军, 翟雨翔, 黄静, 屈雅斋, 渭河西安段表层沉积物重金属元素分布及潜在生态风险评价, *地质科技情报*, 2008, (27), P83-87.