

湘江衡阳段沉积物中重金属污染特征 及其初步生态风险评估

王晨^{1,2}, 曾祥英¹, 于志强¹, 盛国英¹, 傅家谟¹

(1. 中国科学院广州地球化学研究所 有机地球化学国家重点实验室,
广东省环境资源利用与保护重点实验室, 广州 510640; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 本文研究了湘江衡阳段 26 个表层沉积物中 5 种重金属 (Cd, Cu, Pb, Zn 和 Cr) 的分布特征, 并采用潜在生态危害指数法进行初步评价。研究结果显示, 湘江衡阳段沉积物呈现出以 Cd 为主的多种重金属复合污染特征, 多种重金属的综合潜在生态风险指数表明大部分研究区域水体面临很高的生态风险。

关键词: 重金属污染; 沉积物; 湘江; 潜在生态危害指数法

中图分类号: X522; X820.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-9901(2011)02-0344-06

The occurrence, distribution and risk assessment of heavy metals in sediments from Xiangjiang River (Hengyang Section)

WANG Chen^{1,2}, ZENG Xiang-ying¹, YU Zhi-qiang¹, SHENG Guo-ying¹, FU Jia-mo¹

(1. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Key Laboratory of Environmental Resources Utilization and Protection in Guangdong Province, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The occurrence and distribution of 5 heavy metals, Cd, Cu, Pb, Zn and Cr in 26 sediments collected from Xiangjiang River (Hengyang section) were analyzed. Meanwhile the potential ecological risks of these heavy metals were calculated and assessed using Lars Hanson method based on data achieved in this study. The results indicated that Xiangjiang River (Hengyang section) was polluted by these heavy metals with Cd as the main component, and high ecological risks were found in most of the sampling sites from the studied area.

Key words: heavy metal pollution; sediment; Xiangjiang River; potential ecological risk index

湖南省是我国著名的“有色金属之乡”, 其中大多数有色金属的开采冶炼都集中在湘江流域。自上世纪七十年代起, 湘江逐渐成为我国重金属污染严重的河流之一。值得注意的是, 湘江既是纳污水体, 同时也是流域内居民主要的饮用水源以及工农业用水水源 (雷鸣等, 2010)。王秋横等 (2004) 调查发现, 湘江流域常宁—衡阳段共分布着水口山矿务局等厂矿 28 个, 2004 年排入湘江的废水为 $2752 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$, 废水中有毒重金属 Cu、Hg、Cd

和 Pb 等超标异常严重。近几年湘江衡阳段沉积物中重金属的污染受到关注。唐文清等 (2008b) 于 2007 年在湘江干流憩山至熬洲江段以及主要支流蒸水、耒水和舂陵水汇入处共设立 10 个断面, 并于左右岸分别采集沉积物样品 18 个, 研究结果显示, 其中 11 个样品揭示了强的生态风险危害。邱丽君和杨喆 (2008) 研究发现, 憩山至熬洲江段 6 个监测断面沉积物中 Cd、Pb 等重金属严重超标, 综合污染指数显示出重度污染。矿山开采和金属冶炼不仅导

致湘江水体重金属污染,沿岸土壤中也富集了重金属,并通过植物根系进入蔬菜中,造成蔬菜中重金属污染超标严重(Wang et al,2008)。

为了更加详细了解湘江干流衡阳段重金属污染的现状和特点,本研究在国家环境监测部门常规监测站点的基础上,根据当地水动力条件、支流汇入以及污水排放等具体情况增加监测点,自归阳镇入境断面至王十万乡出境断面之间,共设定25个监测断面,采集沉积物样品26份,分析测试了Cd、Cu、Pb、Zn、Cr等5种重要重金属,并利用潜在生态危害指数法初步评价研究区域沉积物中重金属的生态风险水平。

1 实验部分

1.1 试剂

实验用水由Milli-Q高纯水发生器制得

($>18.2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$)。HCl由优级纯HCl等温吸收纯化得到。 HNO_3 在由优级纯 HNO_3 经石英蒸馏器亚沸蒸馏得到。标准物质GBW07129、GBW07309、GBW07103、GBW07104、GBW07105和GBW07123购自国家地质实验测试中心,W-2a和AGV-2购自美国地质调查局。

1.2 样品的采集与处理

根据设定的25个监测断面,于2010年4月采集沉积物样品26个,其中在大浦镇断面左岸和右岸分别采集两个沉积物样(HY19和HY20),采样点如图1所示。沉积物样品经冷冻干燥,用玛瑙研钵研磨达到测试要求。所有化学处理过程均在中国科学院广州地球化学研究所同位素超净化学实验室(100级)进行。沉积物中重金属的定性定量分析参照刘颖等(1996)的方法进行。

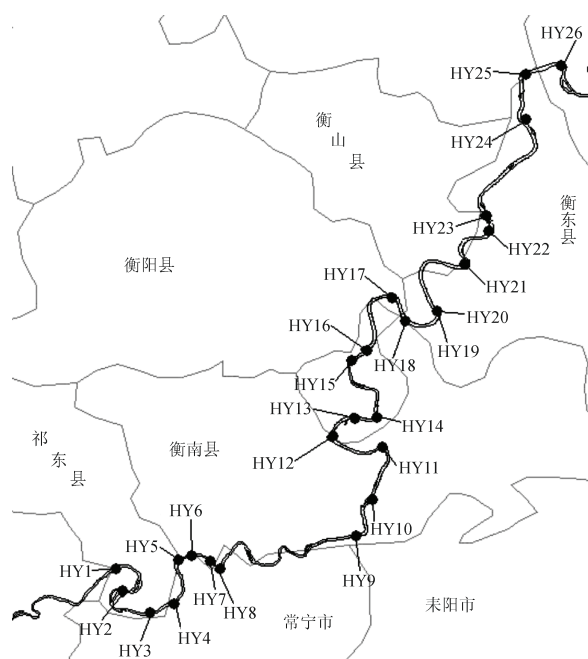


图1 湘江衡阳段沉积物采样点示意图

Fig. 1 Sampling sites in Xiangjiang River (Hengyang section)

2 结果与讨论

2.1 湘江干流沉积物中重金属分布特征

表1给出了研究区域表层沉积物中5种重金属的含量及均值。表中同时列出了辽河与大辽河(张婧等,2008)、长江下游(沈敏等,2006)和珠江水系北江沉积物(高博,2008)中几种重金属含量范围以

及均值(括号内数据)。从表中可以看出,研究区域沉积物中Cd含量为 $0.58 \sim 198.83 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,均值 $33.83 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,明显高于大辽河($0.72 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)和辽河($0.11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)两个水系的平均含量,也高于北江沉积物Cd的平均值($16.69 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$);就Pb而言,含量范围 $2.33 \sim 634.08 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其平均含量($73.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)高于辽河

($17.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 与大辽河 ($42.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 低于北江的 Pb 污染水平 ($212.78 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。Cr 平均含量 ($83.07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 低于北江 ($205.72 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和大辽河 ($112.90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); Cu 的平均含量为 $83.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 仅低于北江 ($315.55 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); Zn 的平均含量为 $574.48 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 仅低于北江 ($618.97 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 远高于长江含量水平 ($31.63 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

表1 湘江衡阳段沉积物重金属浓度 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 1 Concentration of 5 heavy metals detected in sediments from Xiangjiang River (Hengyang section)

采样点	Cr	Cu	Zn	Cd	Pb
HY1	67.81	33.81	155.69	6.41	22.88
HY2	77.85	33.60	156.61	5.87	17.06
HY3	50.98	28.84	175.73	6.11	16.41
HY4	81.28	41.80	225.62	8.56	21.86
HY5	79.54	38.75	201.01	7.27	22.66
HY6	96.84	40.40	163.73	4.01	19.86
HY7	104.99	51.71	259.81	8.64	26.77
HY8	0.39	6.95	19.34	0.58	2.33
HY9	257.52	508.06	3498.61	198.83	634.08
HY10	39.35	58.23	307.32	4.44	55.75
HY11	38.71	44.90	390.52	24.84	35.68
HY12	51.81	81.59	477.12	16.81	56.70
HY13	62.71	114.96	765.95	28.14	82.72
HY14	65.31	63.53	561.69	28.42	43.56
HY15	105.98	135.05	595.22	20.76	70.51
HY16	62.24	39.10	271.22	7.87	36.68
HY17	68.35	65.93	426.47	15.57	52.05
HY18	117.61	94.90	521.71	28.49	57.78
HY19	110.44	93.39	731.71	73.38	94.30
HY20	87.01	78.36	1320.60	121.95	133.86
HY21	105.33	104.25	873.62	77.54	80.42
HY22	110.96	113.29	786.47	50.79	84.75
HY23	107.29	108.11	786.97	38.05	93.18
HY24	94.28	79.82	505.44	34.30	56.87
HY25	61.37	58.29	413.17	38.34	45.44
HY26	53.78	44.24	345.02	23.48	38.14
均值	83.07	83.15	574.48	33.83	73.17
大辽河	48.0 ~ 247.3 (112.9)	18.2 ~ 162.3 (50.9)	/	0.30 ~ 4.81 (0.72)	20.1 ~ 100.5 (42.2)
辽河	28.7 ~ 91.3 (52.6)	8.8 ~ 27.5 (16.2)	/	0.04 ~ 0.31 (0.11)	14.4 ~ 22.2 (17.4)
长江	53.57 ~ 97.11 (73.33)	20.87 ~ 57.06 38.50	60.14 ~ 190.29 (111.65)	/	13.94 ~ 48.11 28.41
北江	8.82 ~ 2141.00 (205.72)	6.30 ~ 3414.00 (315.55)	64.07 ~ 5549.80 (618.97)	1.26 ~ 201.70 (16.69)	27.76 ~ 3029.40 (212.78)

从空间分布特征看,研究区域沉积物中5种重金属含量水平变化显著,部分采样点显示临近点有

点源排放。如位于衡南县松柏镇附近的HY9采样点,地处某矿业集团的排污口下游,5种重金属含量

均显著高于其余采样点,呈现出明显的点源排放特征。研究结果与已有研究报道一致(唐文清等,2008a;邱丽君和杨喆,2008)。王秋横等(2004)(Wei et al,2009)人认为富含重金属的工业废水是湘江中重金属污染的重要来源。Zhang et al(2009)通过主成分分析,也证明了重金属是湘江流域的主要污染组分,沿岸的化工企业以及金属冶炼企业是其主要污染来源。HY20 采样点位于衡东县大浦镇附近(右岸),其沉积物中 Zn 含量水平($1320.60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)显著高于其上游采样点 HY18($521.71 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)和同一断面上河流左岸(HY19, $731.71 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),意味着河流右岸 HY20 附近有新的 Zn 输入。HY8 采样点沉积物各种重金属含量均较低,该采样点位于近尾州大坝的下游,据分析由于大坝蓄水,大量泥沙颗粒物沉淀于坝前,大坝下游沉积物很少,坝后沉积物中重金属含量相应也低。

2.2 湘江衡阳段沉积物中重金属的生态风险评估初步研究

目前,国内外用于沉积物重金属风险评估的方法主要有地累积指数法、沉积物富集系数法、潜在生态危害指数法和沉积物质量基准等。其中潜在生态危害指数法(Hakanson,1980)综合考虑了沉积物中各种重金属的浓度、种类、毒性水平的影响,因此能反映多种重金属污染的综合影响,并能定量划分出潜在生态危害的程度。湘江流域属于多种重金属复合污染,因此本研究中选择潜在生态危害指数法评价衡阳段沉积物中重金属污染现状。潜在生态危害指数(RI)的计算公式如下:

$$RI = \sum_i^m E_r^i = \sum_i^m T_r^i \times \frac{c^i}{c_n^i}$$

其中, T_r^i 为第*i*种重金属毒性响应系数,本文采用的数据来自文献(徐争启等,2008); c^i 为表层沉积物第*i*种重金属的实测值($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); c_n^i 为第*i*种重金属的背景参照值($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),在本研究中,选择以现代工业化前全球沉积物中重金属最高背景值为参照值(贾振邦等,1997); E_r^i 为第*i*种重金属的潜在生态危害系数。表2列出了 E_r^i 和RI对应的重金属污染的生态风险等级(高博,2008)。

湘江干流衡阳段沉积物中5种重金属对应的 E_r^i 和RI值见表3。

表2 E_r^i 和RI值对应的污染程度以及潜在生态风险程度(摘自高博,2008)

Table 2 Pollution degree and potential ecological risk degree corresponding to E_r, RI (from Gao,2008)

E_r^i	潜在生态 风险程度	RI	潜在生态 风险程度
$E_r < 40$	低度	$RI < 150$	低度
$40 \leq E_r < 80$	中度	$150 \leq RI < 300$	中度
$80 \leq E_r < 160$	较高	$300 \leq RI < 600$	较高
$160 \leq E_r < 320$	高	$RI \geq 600$	很高
$E_r \geq 320$	很高		

表3 湘江衡阳段沉积物中重金属的潜在生态危害评价结果

Table 3 RI of 5 heavy mentals in sedimenmts from Xiangjiang River(Hengyang section)

采样点	E_r^i					RI
	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	
HY1	192.30	1.51	3.38	1.63	0.89	199.71
HY2	176.10	1.73	3.36	1.22	0.89	183.30
HY3	183.30	1.13	2.88	1.17	1.00	189.48
HY4	256.80	1.81	4.18	1.56	1.29	265.64
HY5	218.10	1.77	3.88	1.62	1.15	226.52
HY6	120.30	2.15	4.04	1.42	0.94	128.85
HY7	259.20	2.33	5.17	1.91	1.48	270.09
HY8	17.40	0.01	0.70	0.17	0.11	18.39
HY9	5964.90	5.72	50.81	45.29	19.99	6086.71
HY10	133.20	0.87	5.82	3.98	1.76	145.63
HY11	745.20	0.86	4.49	2.55	2.23	755.33
HY12	504.30	1.15	8.16	4.05	2.73	520.39
HY13	844.20	1.39	11.50	5.91	4.38	867.38
HY14	852.60	1.45	6.35	3.11	3.21	866.72
HY15	622.80	2.36	13.51	5.04	3.40	647.11
HY16	236.10	1.38	3.91	2.62	1.55	245.56
HY17	467.10	1.52	6.59	3.72	2.44	481.37
HY18	854.70	2.61	9.49	4.13	2.98	873.91
HY19	2201.40	2.45	9.34	6.74	4.18	2224.11
HY20	3658.50	1.93	7.84	9.56	7.55	3685.38
HY21	2326.20	2.34	10.43	5.74	4.99	2349.70
HY22	1523.70	2.47	11.33	6.05	4.49	1548.04
HY23	1141.50	2.38	10.81	6.66	4.50	1165.85
HY24	1029.00	2.10	7.98	4.06	2.89	1046.03
HY25	1150.20	1.36	5.83	3.25	2.36	1163.00
HY26	704.40	1.20	4.42	2.72	1.97	714.71
均值	1014.75	1.85	8.32	5.23	3.28	1033.42

2.2.1 重金属潜在生态风险水平

从单个重金属的潜在生态风险指数 E_i^p 的水平分析,湘江干流衡阳段沉积物中 Cd (17.40 ~ 5964.90) 的生态风险较强,明显高于 Cu (0.7 ~ 50.81)、Pb (0.17 ~ 45.29)、Cr (0.01 ~ 5.72) 和 Zn (0.11 ~ 19.99)。从各重金属 E_i^p 对 RI 值贡献来分析,Cd 对 RI 的贡献率均超过 90%,是主要风险成分。本研究中 5 种重金属的生态危害指数水平及其组成规律与邱丽君和杨喆 (2008) 报道的结果大致相当,研究结果再次表明湘江流域呈现以 Cd 污染为主的多种重金属复合污染的特征。

2.2.2 研究区域不同江段风险水平

针对本研究所涉及的 5 种重金属,研究区域内 RI 差异很大,其变化范围为 18.39 ~ 6086.91 (图

2)。从整个江段 RI 值看, HY6 (128.85)、HY8 (18.39) 和 HY10 (145.63) 风险水平低,有 7 个采样点为中度生态风险, HY12 (520.39) 和 HY17 (481.37) 面临较高生态风险;其余 14 个采样点面临很高生态危害水平, 占有所有采样点的 53.8%, 值得注意的是这些监测点全部位于研究江段的下游。总体来说,上游江段 (HY1 ~ HY8) 生态风险 (18.39 ~ 270.09) 较下游 (145.63 ~ 6086.71) 为轻,属于中度及以下水平生态风险;而下游除部分河段风险较低外,大部分河段生态风险很高。

虽然 RI 值指示 HY1 ~ HY8 江段生态风险较低,但我们必须注意到,整个研究区域中 Zn (<19.99) 和 Cr (<5.72) 生态风险均较小;对 Cu 和 Pb 来说,除了 HY9 点面临中度生态风险外,其余

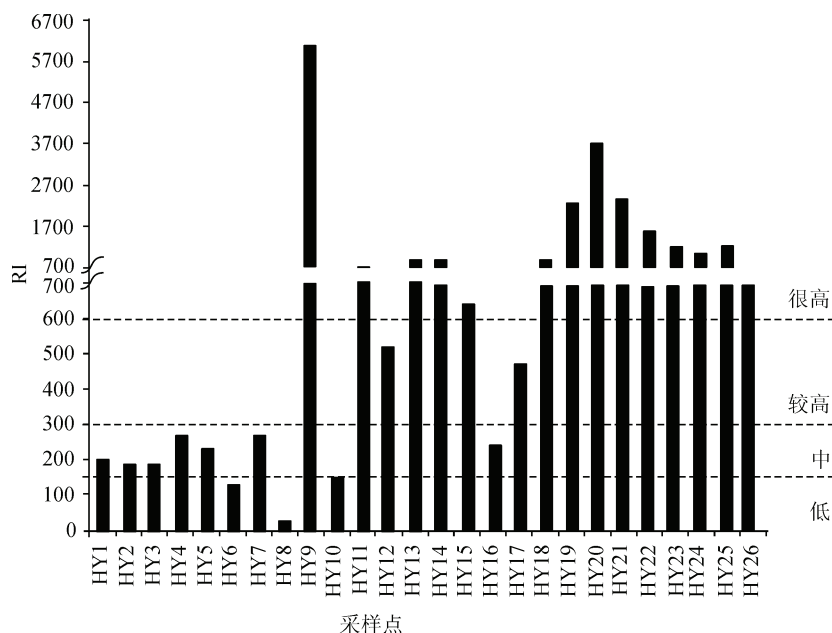


图2 湘江干流衡阳段沉积物重金属污染风险等级

Fig. 2 Potential ecological risks caused by heavy metals in Xiangjiang River (Hengyang section)

各采样点风险也较低。总的潜在生态危害指数 (RI 值) 主要由于 Cd 的风险贡献。从表 3 可以看出,上游江段两个采样点 (HY6 和 HY8) Cd 的 E_i^p 小于 150, 风险较低, 其余区域 Cd 风险中等; 而下游 18 个采样点中, HY10 的 Cd (133.20) 风险较低, HY16 (236.10) 为中等风险; 其余区域均面临很高的 Cd 污染风险。

湘江水体的重金属污染及其潜在的生态危害, 尤其是 Cd 污染, 应该引起相关管理部门的重视, 一

方面加强对污染源的监测管理, 同时对污染江段采取有效的治理措施。

3 结论

(1) 湘江衡阳段沉积物中重金属污染非常严重, 呈现出以 Cd 为主的多种重金属复合污染的特征。按生态风险危害指数大小, 各重金属生态风险危害顺序为 Cd > Cu > Pb > Zn > Cr。

(2) 本研究区域中, 有 14 个采样点面临着非常

高的生态风险危害。鉴于湘江流域的特殊现状,既是纳污水体,又是饮用水源,水体中严重的重金属污染、当地居民的饮水摄食暴露水平以及健康风险需要开展进一步的研究。

参考文献

- 高 博. 2008. 典型环境样品中重金属污染及 Cd 和 Pb 同位素示踪的初步研究[D]. 北京:中国科学院.
- 贾振邦,梁涛,林健枝,等. 1997. 香港河流重金属污染及潜在生态危害研究[J]. *辽宁城乡环境与科技*, 17(2): 1-5.
- 雷 鸣,秦普丰,铁柏清. 2010. 湖南湘江流域重金属污染的现状与分析[J]. *农业环境与发展*, 2: 62-65.
- 刘 颖,刘海臣,李献华. 1996. 用 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素[J]. *地球化学*, 25(6): 552-558.
- 邱丽君,杨 喆. 2008. 湘江衡阳段地泥重金属沉积现状分析[J]. *科技资讯*, 8: 166-168.
- 沈 敏,于红霞,邓西海. 2006. 长江下游沉积物中重金属污染现状与特征[J]. *环境监测管理*与技术, 18(5): 15-18.
- 唐文清,曾荣英,冯泳兰,等. 2008a. 湘江(衡阳段)河流沉积物中重金属潜在生态风险评估[J]. *环境监测管理*与技术, 20(5): 25-27.
- 唐文清,刘 利,冯泳兰,等. 2008b. 河流地泥重金属污染现状分析及评价——以湘江衡阳段为例[J]. *衡阳师范学院学报*, 29(6): 55-58.
- 王秋横,王淑云,刘美英. 2004. 湖南湘江流域污染的安全评价[J]. *中国给水排水*, 20(8): 104-106.
- 徐争启,倪师军,庾先国,等. 2008. 潜在生态危害指数法评价重金属毒性系数计算[J]. *环境科学与技术*, 31(2): 112-115.
- 张 婧,王淑秋,谢 琰,等. 2008. 辽河水系表层沉积物中重金属分布及污染特征研究[J]. *环境科学*, 29(9): 2414-2418.
- Hakanson L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control of sediment[J]. *Water Res*, 14(8): 975-1001.
- Wang L X, Guo Z H, Xiao X Y, et al. 2008. Heavy metal pollution of soil and vegetables in the midstream and downstream of the Xiangjiang River, Hunan Province[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 18: 353-362.
- Wei C Y, Wang C, Yang L S. 2009. Characterizing spatial distribution and sources of heavy metals in the soils from mining-smelting activities in Shuikoushan, Hunan Province, China [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 21: 1230-1236.
- Zhang Q, Li Z W, Zeng G M, et al. 2009. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques in red soil hilly region: a case study of Xiangjiang watershed, China[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152: 123-131.