

• 调查与评价 •

武江 (乐昌段) 水体底泥重金属污染调查

杨清伟¹, 蓝崇钰², 束文圣², 李慧²

(1 重庆交通大学河海学院, 四川 重庆 400074 2 中山大学生命科学学院, 广东 广州 510275)

摘 要: 对武江乐昌段由上游矿山废水排泄沟、中游霜降河和下游武江段 3 段水道底泥中 Pb、Zn、Cu 进行测定。结果表明, Pb 的质量比为 2.54×10^3 mg/kg、 1.33×10^3 mg/kg 和 30.7 mg/kg; Zn 的质量比为 1.01×10^3 mg/kg、 2.48×10^3 mg/kg 和 156 mg/kg; Cu 的质量比为 42.9 mg/kg、68.8 mg/kg 和 69.4 mg/kg。3 段支水道底泥污染负荷指数 (I_{PL} 值) 分别是 14.0、10.6 和 1.46。整个区域 I_{PL} 值为 6.19, 达到极强度污染程度。Pb、Zn 总体污染程度比 Cu 严重, 对武江乐昌段及其下游地区存在潜在生态风险。指出, 霜降河和废水排泄沟段底泥不能农用, 需特别谨慎地疏浚、转运和处置, 而武江段底泥则可农用。

关键词: 重金属污染; 底泥; 污染负荷指数; 武江乐昌段

中图分类号: X825 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2008)02-0018-04

Investigation on Heavy Metal Pollution in the Surface Sediments on Lechang Section of Wujiang River

YANG Qing-wei¹, LAN Chong-yu², SHU Wen-sheng², LI Hui²

(1 Chongqing Jiaotong University, Chongqing, Sichuan 400074 China;

2 Zhongshan University, Guangzhou, Guangdong 510275 China)

Abstract The Pb, Zn and Cu were detected in the surface sediments on upriver of wastewater drainage canal from Lechang mine, the middle river of Shuangjiang stream and downriver of Wujiang river. The results indicated that rates between heavy metal concentration and national control standards for the Pb in sludge were 2.54×10^3 mg/kg, 1.33×10^3 mg/kg and 30.7 mg/kg; that for the Zn 1.01×10^3 mg/kg, 2.48×10^3 mg/kg and 156 mg/kg; that for the Cu 42.9 mg/kg, 68.8 mg/kg and 69.4 mg/kg. The pollution load index (I_{PL}) of surface sediments on the 3 parts of Wujiang river was 14.0, 10.6 and 1.46 separately and showed heavy pollution. The sediments on the upriver and Shuangjiang stream could not be directly used for agriculture and should be carefully dredged, transported and treated. The sediments on the downriver of Wujiang river could be used for agriculture. The pollution levels of Pb and Zn were higher than that of Cu and it posed potential ecological risk for the local and downriver areas of Wujiang river.

Key words Heavy metal pollution; Sediment; Pollution load index (I_{PL}); Lechang section of Wujiang river

水体底泥是水生生态系统的重要组成部分, 为人类提供着大量水生食物^[1]。然而, 人类活动产生的包括重金属在内的外源性物质不断进入水体底泥, 直接影响水生生态系统的健康^[2], 并通过食物链富集和传递到人体, 表现出相当高的癌症发病率等健康问题^[3-4]。在我国, 大部分水体都不同程度地受到重金属污染^[5-7]。现以武江乐昌段水体

底泥为研究对象, 对其接纳当地金属矿山废水后重金属的污染程度进行调查, 为准确评价其环境质量

收稿日期: 2007-08-24 修订日期: 2007-12-19

基金项目: 教育部基金资助项目 (03128); 重庆市自然科学基金资助项目 (CSTC2006BB7424)

作者简介: 杨清伟 (1972-), 男, 四川重庆人, 副教授, 博士, 从事水土环境研究。

提供依据。

1 调查方法

1.1 样品采集与处理

采样地点位于武江乐昌段,其干、支流水体总长约 10 km,将其分为 3 段,分别是位于上游的矿山废水排泄沟 (长约 1 km)、中游的霜降河 (长约 1 km)和下游的武江段 (长约 6 km)。

用塑料铲共采集 9 个表层 (0 cm~10 cm)底泥样品。其中废水排泄沟为石砌小沟,水流湍急,采集 2 个样品 (样品编号为 1-1 和 1-2);霜降河段为农田耕作区,采集 4 个样品 (编号为 2-1 至 2-4);武江段采集 3 个样品 (编号为 3-1 至 3-3),每个样点再采集 3 个子样组成一个混合样。同时,在废水排泄沟和霜降河汇合处霜降河上游采集对照样品 CK1,在霜降河与武江汇合处上游约 2 km 处临近乐昌城区采集对照样品 CK2。

样品采集后用干净塑料袋盛装,于 3 h~4 h 内送到实验室,自然风干,碾碎后过 1 mm 筛,取 0.5 g 用 HNO₃+HClO₄ 消化,定容,保存。用原子吸收法对消化液中重金属 Pb、Zn 和 Cu 进行分析测定^[8]。

1.2 测定项目

Pb、Zn 和 Cu

1.3 评价方法

污染负荷指数法 (Pollution Load Index, 简称 PLI)^[9]。根据某一点的实测重金属质量比对最高污染系数 (F_i) 计算。

$$F_i = C_i / C_{0i}$$

(1)

式中: F_i ——元素 i 的最高污染系数;

C_i ——元素 i 的实测质量比;

C_{0i} ——元素 i 的评价标准即背景值 (一般选用全球普通页岩平均值作为重金属的评价标准^[7])。

某一点的污染负荷指数 (I_{PL}) 为:

$$I_{PL} = \sqrt[m]{F_1 \times F_2 \times F_3 \times \dots \times F_n}$$

(2)

式中: I_{PL} ——某一点的污染负荷指数;

m ——评价元素的个数。

某一区域 (流域) 的污染负荷指数 (I_{PLzone}) 为:

$$I_{PLzone} = \sqrt[n]{I_{PL1} \times I_{PL2} \times I_{PL3} \times \dots \times I_{PLn}}$$

(3)

式中: I_{PLzone} ——流域污染负荷指数;

n ——评价点的个数 (即采样点的个数)。

污染负荷指数 (I_{PL}) 与相应污染分级及污染程

度见表 1。

表 1 污染负荷指数 (I_{PL}) 与相应污染分级及污染程度

I_{PL} 值	< 1	$1 \leq I_{PL} < 2$	$2 \leq I_{PL} < 3$	≥ 3
I_{PL} 分级	0	1	2	3
污染等级	清洁	中度污染	强度污染	极强度污染

2 结果与分析

2.1 底泥重金属质量比

底泥重金属质量比测定结果见表 2。

表 2 底泥重金属质量比测定结果

					mg/kg
监测地点		排污沟	霜降河	武江	对照
Pb	最小值	1.31×10 ³	1.04×10 ³	13.4	1.83
	最大值	3.76×10 ³	2.05×10 ³	47.3	9.80
	中位值	2.54×10 ³	1.12×10 ³	22.5	5.82
	平均值	2.54×10 ³	1.33×10 ³	30.7	5.82
	标准偏差	1.73×10 ³	1.16×10 ³	17.0	5.64
	相对标准偏差 %	68.2	87.4	55.4	96.9
Zn	最小值	959	1.93×10 ³	140	36.9
	最大值	1.07×10 ³	3.71×10 ³	183	90.1
	中位值	1.01×10 ³	2.84×10 ³	145	63.5
	平均值	1.01×10 ³	2.48×10 ³	156	63.5
	标准偏差	77.1	727	23.5	37.6
	相对标准偏差 %	7.6	29.4	15.1	59.2
Cu	最小值	39.4	28.2	59.7	0.84
	最大值	46.4	97.6	79.0	4.33
	中位值	42.9	74.6	69.4	2.29
	平均值	42.9	68.8	69.4	2.59
	标准偏差	4.95	29.2	13.6	2.47
	相对标准偏差 %	11.5	42.4	19.6	95.4

由表 2 可见,重金属的沿程变化比较复杂。Pb、Zn 质量比较高。Pb 的最高质量比比全球背景值 (20 mg/kg^[10]) 约高 188 倍; Zn 的最高质量比比全球背景值 (95 mg/kg^[10]) 约高 30 倍; Cu 的最高质量比比全球背景值 (45 mg/kg^[10]) 约高 2 倍。同时, Pb、Zn、Cu 的最低值不及全球背景值,比广东省红壤中 Pb (34.4 mg/kg)、Zn (48.8 mg/kg)、Cu (14.4 mg/kg) 的背景值^[11]低。

相对于平均值, Pb 和 Zn 质量比沿流程增加而降低,而 Cu 随流程增加其质量比亦增加,尽管态势不明显。对照点底泥重金属 Pb、Cu 的最大值远小于全球背景值, Zn 的最大值与全球背景值相当。

研究表明, 可以将对照点作为该区域底泥重金属的背景值。

2 2 底泥重金属污染程度的 PLI 评价

各样点底泥重金属最高污染系数和流域污染负荷指数 ($I_{PL\ zone}$) 见表 3。

表 3 各样点底泥重金属最高污染系数和污染负荷指数 $I_{PL\ zone}$						
样品 编号	F_i			各样点	各段	$I_{PL\ zone}$
	Pb	Zn	Cu	I_{PL}	I_{PL}	
1- 1	65.7	10.7	0.88	8.49	10.6	6.19
1- 2	188	11.9	1.03	13.2		
2- 1	52.3	21.5	0.63	8.90	14.0	
2- 2	102	32.0	1.72	17.8		
2- 3	51.9	31.0	1.60	13.7		
2- 4	59.9	41.2	2.17	17.5		
3- 1	0.67	1.61	—	1.04	1.46	
3- 2	1.58	1.56	1.33	1.48		
3- 3	2.37	2.03	1.76	2.04		

由表 3 可见, 污染最严重的是霜降河段, 各样点 I_{PL} 多在 13 以上, 特别是样 2- 2 其 I_{PL} 值达最高 (17.8)。该段水体底泥整体 I_{PL} 值远大于 3 达到 14.0 属极强度污染。污染最轻微的是武江段, 各样点 I_{PL} 基本上在 2 以下, 最低值 (样 3- 1) 接近 1, 整体 I_{PL} 在 1~ 2 之间, 属中度污染。废水排泄沟虽然最大、最低 I_{PL} 值均比霜降河低, 但都远远 > 极强度污染的临界值, 整体 I_{PL} 远 > 3 超过 10 属极强度污染。

从整个研究区域来看, 最高 I_{PL} 值 (样 2- 2

17.8) 达到最低 I_{PL} 值约 (样 3- 1, 1.04) 17 倍。全部样点 I_{PL} 值按数值大小从低到高的排序形成 2 个非常明显的等级: $1 \leq I_{PL} < 2$ 和 $I_{PL} \gg 3$ 整个研究区底泥重金属污染达到极强度污染程度。

2 3 底泥农用安全性评估

《农用污泥污染物控制标准值》(GB 4284-84) 规定: 酸性土壤 (pH 值 < 6.5) 最高容许 Pb 及其化合物 (以 Pb 计) 质量比为 300 mg/kg, Zn 及其化合物 (以 Zn 计) 质量比为 500 mg/kg, Cu 及其化合物 (以 Cu 计) 质量比为 250 mg/kg。据此, 将研究区内底泥按照农用污泥污染物控制标准值分为 3 类: 安全类、污染类和危险类。安全类指所有重金属质量比符合上述农用质量标准, 污染类指 Zn 不超过农用标准的 1 倍且 Pb 和 Cu 符合上述农用质量标准, 危险类则指任何重金属质量比超出污染类分类依据。以此为据并结合表 2 可见, 废水排泄沟和霜降河段底泥重金属 Pb、Zn 质量比都大大超过污染类限值, 而 Cu 符合农用质量标准。但基于 Pb 的特殊毒性^[3-4], 判定这 2 段底泥为危险类污染物质。对于武江段而言, 其底泥 Pb、Zn、Cu 质量比都远远低于上述农用质量标准, 因此其属于安全类底泥, 可以农用。

2 4 底泥疏浚安全性评价

既要保持水道基底不致过高、水道变窄, 又要保证水道两边农田不受来自底泥重金属的污染, 需要对污染底泥进行安全疏浚和转运。参考《香港公务局疏浚污泥重金属污染程度分类》方法, 提出了 3 种判定淤泥污染程度的方法 (表 4)^[12]。

表 4 香港公务局疏浚污泥重金属污染程度分类						m g/k g
类别	Pb	Zn	Cu	含 义		
A	0~ 64	0~ 140	0~ 54	未受污染, 不用采取特殊疏浚、转运和弃置措施		
B	65~ 74	150~ 190	55~ 64	中等污染, 疏浚和转运中需特别注意, 尽量减少污染物通过溶出和再悬浮释放		
C	> 75	> 200	> 65	严重污染, 疏浚和转运中需高度注意, 不容许在公布的弃置场弃置, 弃置时必须与周围环境有效隔离		

由表 4 可见, 废水排泄沟底泥 Pb、Zn 均属于 C 类而 Cu 属于 A 类, 霜降河 Pb、Zn、Cu 均属于 C 类, 武江 Pb、Zn、Cu 分属 A、B、C 类。总体上, 霜降河底泥重金属明显属于严重污染等级, 疏浚和转运中需加以特别注意; 废水排泄沟底泥非常接近严重污染等级, 疏浚和转运过程中要尽量减少污染物的溶出; 武江段底泥可以归为稍微污染程度, 特别是天然有毒元素 Pb 质量比远小于安全级的临界上限,

因此, 基本不用疏浚、转运和弃置, 在疏浚、转运和弃置的过程中无需特别注意防范其泄露和溶出等。

3 结论

(1) 构成武江 (乐昌段) 水道的三段支水道 (上游的矿山废水排泄沟、中游的霜降河和下游的武江) 底泥重金属 Pb 平均质量比分别为 2.54×10^3 mg/kg, 1.33 $\times 10^3$ mg/kg 和

30.7 mg/kg, Zn 为 1.01×10^3 mg/kg, 2.48×10^3 mg/kg 和 156 mg/kg, Cu 为 42.9 mg/kg, 68.8 mg/kg 和 69.4 mg/kg。废水排泄沟和霜降河底泥重金属明显高于武江段。整个区域底泥重金属 Pb、Zn、Cu 最高值分别为 3.76×10^3 mg/kg, 3.71×10^3 mg/kg 和 97.6 mg/kg, 远远高于对照点质量比。与全球背景值相比, 武江 (乐昌段) 水道沉积物中重金属污染严重程度为 $Pb \approx Zn \gg Cu$ 。

(2) 3 段支水道中污染程度最为严重的是霜降河段, 其次是矿山废水排泄沟段, 武江干流段则最低, 相应污染负荷指数 I_{PL} 值分别是 14.0、10.6 和 1.46, 表明相应污染程度为极强度污染、极强度污染和中度污染。整个研究区域 I_{PL} 值为 6.19, 达到极强度污染程度。

(3) 与国家农用污泥标准相比, 霜降河和废水排泄沟段底泥危险性非常高, 不宜农用; 而武江底泥则可安全用于农业用途。底泥疏浚安全性评估表明, 上述两段水道底泥需要进行疏浚和转运, 且在过程中需加以特别防范, 以防止污染物泄露, 而武江段底泥则基本无需疏浚, 疏浚与转运过程中无需特别安全防范措施。

[参考文献]

[1] STEELE J.H. The structure of marine ecosystems[M]. Cambridge MA: Harvard University Press, 1974.

[2] WRIGHT P, MASON C.F. Spatial and seasonal variation in

[26] 中国 21 世纪议程管理中心, 环境无害化技术转移中心. 化学工业区应急响应系统指南[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 83-89.

[27] SAFER. Real-time integrated software for chemical emergency management[EB/OL]. [2007-02-04]. <http://www.safer-system.com>.

[28] DILLON M.B, BASKETT R.L, FOSTER K.T, et al. The NARAC emergency response guide to initial airborne hazard estimates[M]. U.S. NARAC Publication, 2004.

[29] U.S. Environmental Protection Agency, National Oceanic and Atmospheric Administration. CAMEO: Computer-aided management of emergency operations[M]. U.S. NOAA (EPA) Publi-

cation, 2004.

[30] CERC. GASTAR-dense gas dispersion model[EB/OL]. [2007-02-04]. <http://www.cerc.co.uk/software/gastar.htm>.

[31] LUKETA-HANLIN A. A review of large-scale LNG spills: Experiments and modeling[J]. Journal of Hazardous Materials, 2006(132): 119-140.

[32] HANNA S.R, CHANG J.C, STRAITS D.G. Hazardous gas model evaluation with field observations[J]. Atmosphere and Environment, 1993(27A): 2265-2285.

[33] 郁建桥, 张璘, 徐亮, 等. 环境污染事故应急监测装备的配置思路[J]. 环境监测管理, 2007, 19(2): 4-6.

heavy metals in the sediments and biota of two adjacent estuaries: the owell and the stour in eastern england[J]. The Science of the Total Environment, 1999, 226: 139-156.

[3] SOTO D, JARA E. Using natural ecosystem services to diminish salmon-farming footprints in southern Chile[C] // Bert T.M. Ecological and Genetic Implications of Aquaculture Activities. Netherlands: Springer, 2007: 459-475.

[4] USEPA. Update: Listing of fish and wildlife advisories. Fact Sheet (EPA Publication No. EPA-823-R-97-007)[R]. Washington DC: Office of Water, USEPA, 1997.

[5] 利锋, 韦献革, 余光辉, 等. 佛山水道底泥重金属污染调查[J]. 环境监测管理, 2006, 18(4): 12-14, 18.

[6] 沈敏, 于红霞, 邓西海. 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, 2006, 18(5): 15-18.

[7] 牛红义, 吴群河, 陈新庚, 珠江 (广州河段) 表层沉积物中的重金属污染调查与评价[J]. 环境监测管理, 2007, 19(5): 23-25.

[8] 城乡建设环境保护部环境保护局. 环境监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1986.

[9] TOMLINSON D.L, WILSON J.G, HARRIS C.R, et al. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index[J]. Helgolander Meeresunters, 1980, 33: 566-575.

[10] FÖSTNER U, WITTMANN G.T.W. Metal pollution in the aquatic environment 2nd Edition[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1981: 133-135.

[11] 许炼烽, 刘腾辉. 广东土壤环境背景值和临界含量的地带性分异[J]. 华南农业大学学报, 1996, 17(4): 58-62.

[12] 李朝方, 赖炳秀. 深圳市河道淤泥污染程度分析[J]. 中国农村水利水电, 2006(9): 47-50.

(上接第 11 页)

本栏目责任编辑 姚朝英