

长江重庆城区段表层沉积物重金属污染特征分析

杨清伟¹, 肖 飞², 刘雪莲¹, 郭建谱¹

(1. 重庆交通大学省部共建水利水运工程教育部重点实验室, 重庆 400074; 2. 重庆交通大学科技处, 重庆 400074)

摘要 采用污染负荷指数法、美国国家海洋大气管理局(NOAA)水体泥沙质量标准及香港公务局疏浚污泥重金属污染程度分类法, 对长江重庆城区段(包括嘉陵江段(A)、汇合前长江段(B)与汇合后长江段(C))表层(0 ~ 10 cm)沉积物重金属 Pb、Zn、Cu 污染程度进行评价。结果表明 ①重庆城区段长江水体表层沉积物重金属质量比变异较大, 最低值均低于全球背景值而最高值则均超过全球背景值; ②Pb、Zn、Cu 平均质量比顺序为 A < B < C 且各江段均为 Pb < Zn < Cu; ③3 段水道沉积物污染负荷指数分别是 0.54(A)、0.76(B)和 1.52(C), 整个研究区域为 0.85; ④整个研究区域沉积物中 Pb 和 Zn 质量比均低于 NOAA 提出的低效应范围值, 而 Cu 质量比远高于低效应范围值, 其中两江汇合后超过中效应范围值, 表明 Pb、Zn 对水体生物没有负面影响, 而 Cu 对水体生物的负面影响较大; ⑤沉积物 Pb、Zn 属于香港公务局疏浚污泥重金属污染程度分类中的 A 类, 而 Cu 则属于 C 类, 表明沉积物受到 Cu 的严重污染, 因此疏浚和转运中需加以特别注意防止该元素的迁移。

关键词 长江; 重庆城区; 沉积物; 重金属

中图分类号: X522; TV141 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2009)01-0028-03

Characterization of heavy metal pollution in surface sediments of Chongqing section of the Yangtze River

YANG Qing-wei¹, XIAO Fei², LIU Xue-lian¹, GUO Jian-pu¹

(1. Key Laboratory for Hydraulic and Water Transport Engineering of Ministry of Education, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 2. Technology Administration, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract Using three evaluation methods, the Pollution Load Index(PLI), the NOAA Sediment Quality Standard, and the Classification of Heavy Metal Pollution in Dredging Sludge by the Hongkong Works Bureau, heavy metal pollution in the surface sediments in the Chongqing section of the Yangtze River was studied. This section includes the Jialing River section(A), and the sections before(B) and after(C) the confluence of the Jialing River and the Yangtze River. Results show that: (1) the heavy metal concentrations of the studied surface sediments varied greatly: the lowest values were lower than the global background values while the highest values were greater than the background values; (2) the mean concentrations of Pb, Zn and Cu in A were the highest, followed by those in B and C, and in each section, the Pb concentration was higher than that of Zn and the Cu concentration was the lowest; (3) the PLIs were 0.54, 0.76, and 1.52 for sections A, B, and C, respectively, and 0.85 for the whole study area; (4) the Pb and Zn concentrations of sediments were lower than the NOAA low effect range and the Cu concentration was far greater than the NOAA middle effect range, indicating no negative biological effects of Pb and Zn but significant negative effects of Cu; and (5) sediments were heavily polluted only by Cu according to the Hongkong Works Bureau, indicating that more attention must be paid to the dredging and transportation of sediments.

Key words the Yangtze River; Chongqing urban area; sediment; heavy metal

基金项目: 重庆市自然科学基金(CSTC2006BB7424), 重庆市教育委员会科技资助项目(KJ060412), 省部共建水利水运工程教育部重点实验室开放基金(SLK2006B01)

作者简介: 杨清伟(1972—), 男, 重庆人, 教授, 博士, 主要从事水环境监测与污染控制研究. E-mail: qwyang2001@163.com

由于环境中重金属污染物的特殊毒性和长久持
留性、来源与分布的广泛性以及向环境输入量的急
剧增加^[1-2],重金属污染的生态效应和防治研究成为
全世界热点。水体沉积物作为水生生态系统的重要
组成部分,滋养着人类生存所需的大量水生食物^[3]。
然而,随着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沉积物,水生生态系统的健康
受到严重损害^[4],重金属通过食物链富集和传递到
人体,导致癌症等健康问题^[5]。在我国,众多水体都
已受到重金属的严重污染^[6-12],导致我国农产品的
源头污染没有得到有效控制,食品的重金属污染普
遍存在于各个生产、加工环节,与强调“从养殖/种植
到餐桌”的全过程管理的国际食品安全管理模式相
差甚远,这将大大阻碍中国农业产品进入国际贸易。
因此,必须在食品生产中监测关键控制点(即污染危
险性最高的地方)。显而易见,水体沉积物作为重金
属的源和汇,正是“污染危险性最高的地方”。在对
受污水体沉积物做出正确控制方法或处置之前,有
必要了解沉积物的污染程度。本文以长江重庆城区
段沉积物为研究对象,对其重金属污染程度进行分
析,以期为准确评价当前环境质量提供科学依据,以
促进区域经济与生态环境的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

本研究长江、嘉陵江两江区域分为3段,分别是
汇合处以上的嘉陵江段、汇合前长江段和汇合后长
江段(图1)。用抓斗式采样器共采集18个表层(0~
10 cm)沉积物样品,样品编号情况如图1。每个样点
采集3个子样组成1个混合样。样品采集后用干净
塑料袋盛装,于2 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 硝化,定容,保
存。大量研究表明^[9-14],沉积物中Pb、Zn和Cu是3种

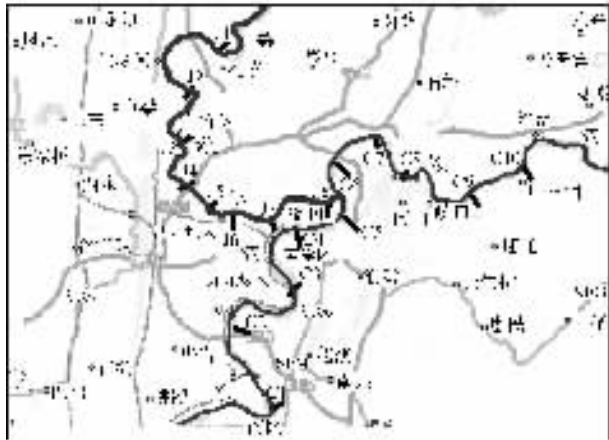


图1 沉积物采样点分布

含量丰富的重金属元素。鉴于此,本研究采用原子吸
收法对硝化液中该3种重金属进行了分析测定。

1.2 PLI 评价方法

1980年, Tomlinson等^[13]在从事重金属污染水平
的分级研究中提出污染负荷指数法(Pollution Load
Index, PLI)评价方法。该指数由评价区域所包含的
多种重金属成分共同构成,直观反映了各个重金属
对位点及区域污染的贡献程度,以及重金属在时间、
空间上的变化趋势,应用比较方便。

根据某一点的实测重金属含量,进行最高污染
系数(F_i)的计算:

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

式中: C_i 为元素*i*的实测含量; C_{0i} 为元素*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

$$I_p = \sqrt[m]{F_1 F_2 F_3 \dots F_n}$$

式中: m 为评价元素的个数。

某一区域(流域)的污染负荷指数

$$I_{pz} = \sqrt[n]{I_{p1} I_{p2} I_{p3} \dots I_{pn}}$$

式中: n 为评价点的个数(即采样点的个数)。

污染负荷指数一般分为4个等级,见表1。

表1 污染负荷指数(I_p)与相应污染分级及污染程度

I_p 值	I_p 分级	污染等级	I_p 值	I_p 分级	污染等级
< 1	0	尚清洁	$2 \leq I_p < 3$	2	强度污染
$1 \leq I_p < 2$	1	中度污染	$I_p \geq 3$	3	极强度污染

2 结果与分析

2.1 沉积物重金属质量比

沉积物重金属质量比测定结果见表2。可以看
出,研究区域重金属质量比从上游到下游逐渐增加。
总的来看,在平均水平上是Zn、Cu质量比高于Pb。
各段Pb的最高质量比分别为全球背景值

表2 沉积物重金属质量比

重 金属	采样点	质量比/(mg·kg ⁻¹)					变异 程度/%
		最小值	最大值	平均值	标准差	对比值	
Pb	嘉陵江	7.44	43.87	15.62	12.00	79.5 ^①	76.81
	汇合前长江	6.21	41.86	18.20	14.05	80.5 ^②	77.20
	汇合后长江	7.80	24.72	16.76	7.09	33.7 ^③	42.31
Zn	嘉陵江	7.81	110.81	36.83	33.44	158.0 ^①	90.79
	汇合前长江	1.08	131.71	74.84	62.71	558.0 ^②	83.79
	汇合后长江	46.71	149.39	121.18	43.56	71.6 ^③	35.95
Cu	嘉陵江	14.95	120.92	49.01	41.48	63.4 ^①	84.64
	汇合前长江	15.31	238.15	131.01	102.68	128.0 ^②	78.38
	汇合后长江	46.42	289.43	204.23	114.35	20.4 ^③	55.99

注:①②③分别为淮河、五里湖与深圳河沉积物重金属质
量比^[6-8]。

(20 mg/kg^[14]) 的 1~2 倍多,Zn 的最高质量比分别为全球背景值(95 mg/kg^[14]) 的 1 倍多,Cu 的最高质量比分别为全球背景值(45 mg/kg^[14]) 的 2~6 倍多;同时,Pb、Zn、Cu 的最低值(表 2)不及全球背景值。与其他水体沉积物重金属平均值相比,该研究区域沉积物中 3 种重金属质量比大多远低于淮河^[6]与太湖流域五里湖^[7]以及南方的深圳河^[8]沉积物中重金属平均质量比,但汇合后长江段沉积物中 Zn 和 Cu 显著较高。

另一方面,从两江(嘉陵江与长江)汇合前后沉积物重金属质量比变化情况看,汇合处上游的嘉陵江段明显低于长江段,且汇合后的长江段重金属质量比有明显增加,表明 Cu 和 Zn 在汇合后沉降速度加快或者汇合后江段继续有污染源向江中排放含重金属废水。

2.2 沉积物重金属污染程度的 PLI 评价

研究区内各样点重金属最高污染系数和污染负荷指数见表 3。从表 3 中可以看出,污染最严重的是两江汇合点附近的样点 C5~C7 河段,各样点 I_p 值均在 2.2 以上,表现为强度污染。就各段沉积物 I_p 值而言,表现出明显的变化趋势:嘉陵江段小于汇合前长江段,汇合前长江段小于汇合后长江段。从整个研究区域来看,表现为清洁程度的样点占 50%,中度污染占 33.33%,强度污染占 16.67;整个区域整体上表现为尚清洁程度。

表 3 水体沉积物重金属元素污染负荷指数

样号	F_i			各样点 I_p	各段 I_p	I_{Σ}
	Pb	Zn	Cu			
J1	0.56	0.31	0.69	0.49	0.54	0.85
J2	0.81	0.60	1.38	0.87		
J3	0.52	1.23	2.25	1.13		
J4	0.89	0.45	2.69	1.03		
J5	0.38	0.21	0.40	0.32		
J6	2.19	0.09	0.33	0.40	0.76	
J7	0.37	0.13	0.39	0.27		
J8	0.52	0.25	0.59	0.43		
C1	0.45	0.14	0.59	0.33		
C2	0.31	0.01	0.34	0.11		
C3	0.85	1.46	5.29	1.88	1.52	
C4	0.84	1.26	4.18	1.64		
C5	2.09	1.28	4.15	2.23		
C6	1.05	1.62	6.36	2.21		
C7	1.24	1.63	6.26	2.33		
C8	0.55	1.66	6.43	1.80		
C9	0.39	1.31	2.62	1.10		
C10	0.97	0.52	1.03	0.80		

2.3 沉积物生物安全性评估

采用美国国家海洋大气管理局(NOAA)水体泥沙质量标准^[15]对研究区域沉积物可能存在的生物危害性进行评价。NOAA 标准规定了 Pb、Zn 和 Cu 质量比(mg/kg)的低效应范围值(46.7, 150, 34)与中效应范围值(218, 410, 270)。低于低效应范围值表

明不会对水域发生负面生物影响,高于中效应范围值则可能会对水域造成毒性影响,介于两者之间,则可能对水域生物发生负面影响。结果表明,整个研究区域沉积物中 Pb 和 Zn 质量比均低于低效应范围值,对水体生物没有影响,而 Cu 质量比远高于低效应范围值,其中两江汇合后更是超过中效应范围值,因此,沉积物中 Cu 对水体生物的负面影响较大。

2.4 沉积物疏浚安全性评价

为了能够保持水道基底不致过高、水道变窄,常常需要对污染沉积物进行安全疏浚和转运。为此,参考香港公务局疏浚污泥重金属污染程度分类方法^[12],提出了 3 种判定淤泥污染程度的方法(表 4)。

表 4 香港公务局疏浚污泥重金属污染程度分类

类别	mg/kg			含义
	Pb	Zn	Cu	
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,疏浚和转运中须高度注意,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

以表 4 为据并结合表 2,可以看出,沉积物 Pb、Zn 属于 A 类,而 Cu 则属于 C 类。尽管 Pb 和 Zn 的含量尚属安全级别,但由于这 3 种元素同时共存于沉积物中,且沉积物中 Cu 属于严重污染等级,因此,疏浚和转运中需加以特别注意防止该元素的迁移。

3 结 论

a. 长江重庆城区段表层沉积物重金属质量比变异较大,最低值均低于全球背景值,最高值则均超过全球背景值,Pb、Zn、Cu 平均质量比为嘉陵江段小于汇合前长江段,汇合前长江段小于汇合后长江段,各江段均为 Pb < Zn < Cu。

b. 沉积物污染负荷指数评价结果表明,整个研究区域 3 种重金属元素的总体污染程度为可接受水平。

c. 整个研究区域沉积物中 Pb 和 Zn 质量比均低于 NOAA 提出的低效应范围值,而 Cu 质量比远高于低效应范围值,其中两江汇合后超过中效应范围值,表明 Pb、Zn 对水体生物没有影响,而 Cu 对水体生物的负面影响较大。

d. 沉积物 Pb、Zn 属于香港公务局疏浚污泥重金属污染程度分类中的 A 类,而 Cu 则属于 C 类,表明沉积物受到 Cu 的严重污染,因此,疏浚和转运中需加以特别注意防止该元素的迁移。

(下转第 43 页)

较大,而其他指标都有可提高空间,因此,这两个分区水资源承载能力的潜力较大。而虽然深圳区综合评分值也接近 0.5,但其水资源可利用量较小,并且其他指标的利用效率已较高,因此,深圳区水资源承载能力已相对较小。

东莞和广州两分区水资源承载能力综合评分值都在 0.4 以下,表明这两个分区的水资源的开发利用程度已较高,其水资源承载能力已相对较小。

5 结 语

由于东江流域水资源在时间和空间上的分布都非常不均匀,80% 以上水资源分布在汛期,空间上东江流域中上游水资源量相当丰富,且人口密度较小、经济欠发达,而下游人口非常密集,经济发达,水资源量相对较小,再加上经济发展带来的严重水污染,使水资源承载能力越来越小。以上诸多原因造成了整个东江流域水资源承载能力呈现中上游高下游低的分布趋势。为此,为了保证流域的可持续发展,建议调整流域中下游区域(东莞区、深圳区和广州区)经济产业结构,进行水资源合理配置,并加强废水的处理力度,提高水资源重复利用率。

(上接第 30 页)

参考文献：

[1] SINGH O V ,LABANA S ,PANDEY G ,et al. Phytoremediation : an overview of metallic ion decontamination from soil[J]. Applied Microbiology and Biotechnology 2003 61 :405-412.

[2] 陈怀满. 土壤-植物系统中的重金属污染[M]. 北京 :科学出版社 ,1996.

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

[4] WRIGHT P ,MASON C F. Spatial and seasonal variation in heavy metals in the sediments and biota of two adjacent estuaries ,the orwell and the stour ,in eastern England[J]. The Science of the Total Environment ,1999 226 :139-156.

[5] SOTO D ,JARA F. 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.

[6] 黄宏 ,郝亚娟 ,王晓栋 ,等. 淮河沉积物中重金属污染及潜在生态危害评价[J]. 环境污染与防治 ,2004 ,26(3) :207-208 231.

[7] 刘爱菊 ,孔繁翔. 底泥疏浚对五里湖沉积物生物毒性的

参考文献：

[1] 张跃 ,邹寿平 ,宿芬. 模糊数学方法及其应用[M]. 北京 :煤炭工业出版社 ,1992.

[2] 王煜 ,杨立彬 ,张新海 ,等. 西北地区水资源承载能力研究[J]. 水科学进展 2001 ,13(4) :523-529.

[3] 李娟 ,纪昌明. 水资源承载能力理论探析与研究发展趋势[J]. 人民长江 2004 ,35(10) :41-45.

[4] 姚治君 ,王建华 ,江东 ,等. 区域水资源承载力的研究进展及其理论探析[J]. 水科学进展 2002 ,13(1) :111-115.

[5] 黎清霞. 南方经济发达城市水资源承载能力评价指标探讨[J]. 中山大学学报 2005 44(S) :340-342.

[6] 陈洋波 ,李长兴 ,冯智瑶 ,等. 深圳市水资源承载能力模糊综合评价[J]. 水力发电 2004 33(3) :1-14.

[7] 陈洋波 ,陈俊合 ,李长兴 ,等. 基于 DPSIR 模型的深圳市水资源承载能力评价指标体系[J]. 水利学报 ,2004(7) :98-103.

[8] 秦莉云 ,金忠青. 淮河流域水资源承载能力的评价分析[J]. 水文 2001 21(3) :14-17.

[9] 王好芳 ,董增川. 区域水资源可持续开发评价的层次分析[J]. 水力发电 2002(7) :12-14.

(收稿日期 2007-05-08 编辑 :傅伟群)

影响[J]. 环境污染与防治 2006 28(12) :881-883.

[8] 黄奕龙 ,王仰麟 ,岳隽. 深圳市河流沉积物重金属污染特征及评价[J]. 环境污染与防治 2005 27(9) :711-715.

[9] 乔胜英 ,蒋敬业 ,向武 ,等. 武汉市湖泊中重金属污染状况[J]. 水资源保护 2007 23(1) :45-48.

[10] 成新. 太湖流域重金属污染亟待重视[J]. 水资源保护 2002 ,18(4) :39-41.

[11] 崔慧敏. 拒马河悬浮沉积物对重金属的吸附—解吸研究[J]. 水资源保护 2000 ,16(1) :25-28.

[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.

[13] 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]. Helgoländer Meeresunters ,1980 33 :566-575.

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

[15] LONG E R ,MORGAN L G. The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the national status and trends program[R]. Seattle :NOAA ,1990.

(收稿日期 2008-05-30 编辑 :傅伟群)