

# 城乡交错带河流表层沉积物重金属污染 及潜在生态风险评价

彭越<sup>1,2</sup>, 刘国东<sup>3</sup>, 骆斌<sup>1</sup>, 叶伦文<sup>4</sup>, 吴永康<sup>1</sup>

(1. 西南民族大学 化学与环境保护工程学院, 成都 610041; 2. 四川大学  
建筑与环境学院, 成都 610065; 3. 四川大学 水利水电学院, 成都 610065; 4. 成都市规划局, 成都 610081)

**摘 要:**针对城乡交错带河流表层沉积物重金属污染问题,以成都市江安河为例进行污染分析和潜在生态风险评价。选取何家湾、马家市、金花桥、凉港大桥 4 个断面进行沉积物取样,测定其 Cu、Pb、Cr、Ni、Mn、Zn、Cd 共 7 种重金属元素的含量,并采用地积累指数法和 Hakanson 指数法进行重金属污染级数分析及潜在生态风险评价。研究表明:何家湾受到 Zn 中度污染,马家市、金花桥、凉港大桥受到 Zn 轻度污染,何家湾、金花桥和凉港大桥受到 Cu 和 Cr 轻度污染。潜在生态风险指数由大到小为何家湾>凉港大桥>金花桥>马家市,均小于 40,属轻微生态风险。城市化所带来的重金属污染初见端倪,污染分布和生态风险与沿岸工农业生产分布和城市化进程相关。城乡交错带在城市化进程中应开展环境整治并加强环境管理。

**关键词:**城乡交错带; 沉积物; 重金属污染; 生态风险

中图分类号: X131.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)06-0173-04

## Assessment on Heavy Metal Contamination and Potential Ecological Risk of Superficial Sediments from the River in Urban and Rural Ecotone

PENG Yue<sup>1,2</sup>, LIU Guo-dong<sup>3</sup>, LUO Bin<sup>1</sup>, YE Lun-wen<sup>4</sup>, WU Yong-kang<sup>1</sup>

(1. School of Chemistry and Environment Protection Engineering, Southwest University  
for Nationalities, Chengdu 610041, China; 2. College of Architecture and Environment,  
Sichuan University, Chengdu 610065, China; 3. College of Water Resources and Hydropower,  
Sichuan University, Chengdu 610065, China; 4. Chengdu Planning Bureau, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** The study on heavy metal contamination and potential ecological risk assessment of the superficial sediments was carried out in the section of Jiangnan River located in the typical urban and rural ectone of Chengdu. The sediment samples were taken from 4 sites of Jiangnan River including Hejiawan, Majiashi, Jinhuaqiao and Lianggangdaqiao. The concentrations of Cu, Pb, Cr, Ni, Mn, Zn and Cd in the sediment samples were measured, the heavy metal contamination of the river was analyzed by geo-accumulation index, and the potential ecological risk of Jiangnan River was assessed by Hakanson index. The results showed that Hejiawan was polluted by Zn in middle degree, Majiashi, Jinhuaqiao and Lianggangdaqiao were polluted by Zn in slight degree, Hejiawan, Jinhuaqiao, and Lianggangdaqiao were polluted by Cu and Cr in slight degree. Jiangnan River was in slight potential ecological risk. The 4 sites in the descending order of their potential ecological risk indexes was Hejiawan, Lianggangdaqiao, Jinhuaqiao and Majiashi. This order was related to the process of urbanization and the industry-agriculture distribution along the river. The environmental protection and management of urban and rural ectone should be strengthened during the process of urbanization.

**Key words:** urban and rural ectone; sediment; heavy metal pollution; potential ecological risk

城乡交错带是城乡要素逐渐过渡、相互渗透、相互作用的特殊地域,城市化和工业化进程较快,是人

地关系发展变化的敏感地带<sup>[1-2]</sup>,具有特殊的地域特征和独特的生态环境特点<sup>[3]</sup>。这一地带受城市扩张

影响,人地矛盾突出,其生态退化和环境污染不容忽视。不少学者针对这一特殊地域开展生态景观方面的研究<sup>[4-5]</sup>,在环境污染方面主要为土壤和大气污染。但是,专门针对这一特殊地域开展水环境污染方面研究的并不多<sup>[5]</sup>,特别是沉积物重金属污染的研究更少。

城乡交错带水体往往位于城市水体中上游,直接影响着城市水环境质量。随着城市化和工业化进程的加快,城乡交错带土地覆被的变化导致水环境发生变化<sup>[6]</sup>,重金属污染加重。重金属污染物进入水体后,多以沉积物形式存在于水体中<sup>[7]</sup>,在水环境条件发生改变时将重新释放出来,从而危害水生生态环境<sup>[8]</sup>。沉积物中的重金属污染情况及其潜在生态风险是许多环境工作者关注的问题<sup>[9-10]</sup>。

江安河是与府河、南河、沙河齐名的成都市四大水系之一,是成都市重要的水资源。随着成都城市化进程的加快,沿部分河段已经形成了具有一定规模的居住带,具有明显的城市和乡村特征。沿江安河畔分布的皮革厂和印染厂等工业厂矿以及农田,工农业生产排放的污染物与生活污水一起影响江安河的水环境质量。2011 年的调查显示,江安河河水电导率过高,已受到重金属污染<sup>[11]</sup>,但污染程度并不清楚。

因此,本文以成都市江安河为例,对城乡交错带这一特殊地域的水体沉积物重金属污染及其潜在生态风险开展研究,探讨其与城市化的关系,以期成都市城乡交错带的环境治理提供依据。

## 1 研究区域与测定方法

### 1.1 采样区概况及样品采集

江安河源于岷江,始于都江堰止于双流华阳流入锦江,流经都江堰市、温江区、双流县和武侯区等地,是双流县九江镇和武侯区金花镇的一条界河,温江、双流和武侯区段全长 18 km,处于城乡交错带。选取武侯区与双流县交界段(东经 103°57′—103°58′,北纬 30°34′—30°40′,海拔高度:677.70~689.42 m),从上游至下游设 4 个表层沉积物采样断面,分别为何家湾、马家市、金花桥和凉港大桥,如图 1 所示。每个断面设 4 个采样点,在各采样点表层(0—20 cm)以沉积物采集器取样 1~2 kg,聚乙烯塑料袋盛装、封口。弃去样品中的枯叶、干枝和石块等杂质,常温下风干研碎。因为重金属主要富集于细颗粒沉积物中,且沉积物对重金属的吸附能力与粒度有关<sup>[12]</sup>,所以将样品过 140 目筛选取细粒作为实验样品。

### 1.2 样品测定

对 4 个采样断面实验样品各取 0.5 g,用 HNO<sub>3</sub>—HF—HClO<sub>4</sub> 消解,采用原子吸收法测定重

金属元素 Cu、Pb、Cr、Ni、Mn、Zn 和 Cd 的含量<sup>[13]</sup>,同时进行空白实验和质量控制。实验中,各重金属元素取 3 个样平行测定,取平均值作为测试结果(表 1)。

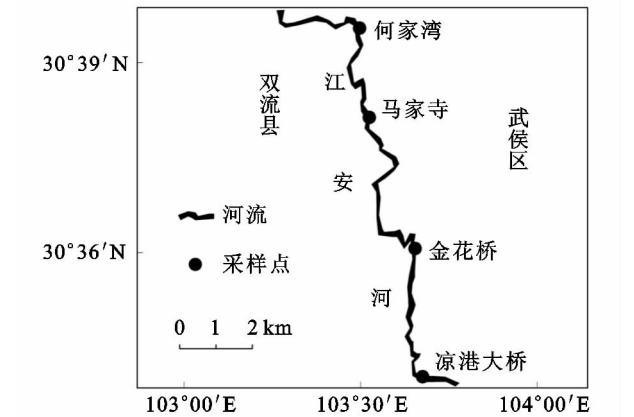


图 1 研究区地理位置及采样点示意图

表 1 各采样点表层沉积物重金属含量 mg/kg

元素	何家湾	马家市	金花桥	凉港大桥
Cu	23.2	14.8	23.2	21.6
Pb	14.9	13.7	15.2	17.2
Cr	62.8	36.9	47.5	59.0
Ni	18.2	12.4	19.8	16.6
Mn	488	518	472	486
Zn	118.0	64.6	78.3	96.0
Cd	0.096	0.077	0.124	0.136

## 2 结果与分析

### 2.1 重金属污染分析

地积累指数法由德国学者 Müller 提出,是在实测重金属浓度的基础上,考虑当地沉积物重金属背景值,定量反映沉积物中重金属污染程度的一种方法,在国内外被广泛应用,尤其适用于现代沉积物中重金属污染评价<sup>[14]</sup>。本文采用地积累指数法分析比较 4 个沉积物采样断面的沉积物污染情况。地积累指数  $I_{geo}$  的计算公式为

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / (1.5 \times B_n)] \quad (1)$$

式中: $C_n$ ——元素  $n$  在沉积物中的含量; $B_n$ ——元素  $n$  的地球化学背景值; $I_{geo}$  分为 0~6 共 7 级<sup>[15]</sup>,污染程度由无至极强,一般以中国土壤元素几何平均值作为背景值进行划分(表 2)<sup>[16]</sup>。

根据分析测试结果计算得江安河 4 个断面 7 种重金属元素的地积累指数及污染级数(表 3)。4 个断面 Zn 的污染级数为 2 或 1,说明沉积物受到 Zn 污染,其中何家湾污染级数为 2,为中度污染,马家市、金花桥、凉港大桥污染级数为 1,为轻度污染。何家湾、金花桥和凉港大桥 Cu 和 Cr 的污染级数为 1,受重金属 Cu 和 Cr 轻度污染。4 个断面 Pb、Ni、Mn 和

Cd 四种重金属元素的污染级数均为 0,说明均未受这 4 种重金属污染。该污染情况与沿岸的工农业生产分布相关。何家湾上游及其周边城市化速度较快,长期的农业生产、迅速发展中的工业生产及增长的人口,造成该断面沉积物中度 Zn 污染(污染级数为 2),轻度 Cu 和 Cr 污染(污染级数为 1)。金花桥和凉港大桥周边除零散分布的农田外,还有印染、制鞋等中

小型企业,且其地处城乡交错带交通要道,导致轻度 Cu、Cr、Zn 污染(污染级数为 1)。可见,4 个断面的污染级数与其周边的工农业分布和城市化程度有一定的相关性。

表 2 中国土壤重金属元素背景值							mg/kg
元素	Cu	Pb	Cr	Ni	Mn	Zn	Cd
背景值	11.41	12.37	31.07	14.36	362.8	32.78	1.5

表 3 江安河各断面地积累指数及污染级数

元素	何家湾		马家市		金花桥		凉港大桥	
	$I_{geo}$	污染级数	$I_{geo}$	污染级数	$I_{geo}$	污染级数	$I_{geo}$	污染级数
Cu	0.44	1	-0.21	0	0.44	1	0.34	1
Pb	-0.32	0	-0.44	0	-0.29	0	-0.11	0
Cr	0.43	1	-0.34	0	0.03	1	0.34	1
Ni	-0.24	0	-0.80	0	-0.12	0	-0.38	0
Mn	-0.16	0	-0.07	0	-0.21	0	-0.16	0
Zn	1.26	2	0.39	1	0.67	1	0.97	1
Cd	-4.55	0	-4.87	0	-4.18	0	-4.05	0

2.2 重金属污染的潜在生态风险评价

目前,重金属污染生态风险常用的评价方法是 Hakanson 指数法。该法利用潜在生态风险指数 RI 判断沉积物中重金属污染对生态系统的危害。Hakanson 指数不仅考虑了重金属元素的背景值,而且考虑了不同重金属的生物毒性<sup>[17]</sup>,是一种理论较为完备,可定量评价重金属生态风险的有效方法。因此,采用 Haknson 指数法对江安河城乡交错段进行潜在生态风险评价。潜在生态风险指数 RI 计算公式为<sup>[18]</sup>:

$$RI=\sum_{i=1}^m E_r^i \tag{2}$$

$$E_r^i=T_r^i\times C_f^i \tag{3}$$

$$C_d=\sum_{i=1}^m C_f^i \tag{4}$$

$$C_f^i=C_D^i/C_R^i \tag{5}$$

式中: $C_f^i$ ——单一金属污染系数; $C_d$ ——多金属污染系数; $E_r^i$ ——单一金属潜在生态风险参数; $C_D^i$ ——重金属实测浓度; $C_R^i$ ——沉积物背景参考值; $T_r^i$ ——生物响应因子,即 Hakanson 毒性系数,本文以中国土壤元素的几何平均值作为背景值,如表 4 所示。

表 4 重金属元素的 Hakanson 毒性系数

元素	Cu	Pb	Cr	Ni	Mn	Zn	Cd
毒性系数	5	5	2	5	1	1	30

根据式(2)–(5)计算各断面 7 种重金属元素的  $E_r^i$  和 RI 值。沉积物中各重金属的  $E_r^i$  均值由高到低为 Cu>Pb>Ni>Cr>Zn>Cd>Mn(表 5)。4 个断面重金属的 RI 值由高到低为:何家湾(33.43)>凉港大桥(32.98)>金花桥(32.43)>马家市(23.67)。所有断面重金属  $E_r^i$  均小于 40,RI 均小于 140,属于轻

微生态风险,这与江安河城乡交错段的重金属污染程度较轻一致。但是,目前城市化所带来的重金属污染初显端倪,该问题不容忽视。现场调研中发现,该河段有生活和生产废水直接排入河流的排污口存在,生活垃圾沿岸随意堆放。因此,环境管理部门应积极做好对工业企业的环境管理,并加强城乡交错带的环境管理与整治,采取疏浚清淤措施<sup>[19]</sup>,从而减少并避免沉积物污染带来的生态风险。

表 5 沉积物中重金属的潜在生态风险指数

元素	何家湾	马家市	金花桥	凉港大桥	均值
Cu	10.17	6.49	10.17	9.47	9.07
Pb	6.02	5.54	6.14	6.95	6.16
Cr	4.04	2.38	3.06	3.80	3.32
Ni	6.34	4.32	6.89	5.78	5.83
Mn	1.35	1.43	1.30	1.34	1.35
Zn	3.60	1.97	2.39	2.93	2.72
Cd	1.92	1.54	2.48	2.72	2.17

3 结论

本文对江安河城乡交错段沉积物的重金属元素含量进行了测定,采用地积累指数法进行重金属污染级数分析,并采用 Hakanson 指数法进行潜在生态风险评价,结论如下:

(1) 江安河城乡交错段沉积物中存在重金属 Cu、Zn 和 Cr 污染;其中,何家湾断面沉积物中度 Zn 污染,轻度 Cu 和 Cr 污染,与其上游及其周边较快的城市化,长期的农业生产、迅速发展中的工业生产及增长的人口有关;金花桥和凉港大桥轻度 Cu、Cr、Zn 污染,与其周边分布有零散的农田、及印染与制鞋等中小型企业,地处城乡交错带的交通要道有关。马家

市相对其他 3 个断面城市化较慢且其周边以农业生产为主,只受到轻度 Zn 污染。

(2) 4 个断面沉积物中各重金属潜在生态风险指数均值由高到低为  $\text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Cd} > \text{Mn}$ , 均小于 40; 潜在生态风险指数值由高到低为: 何家湾(33.43) > 凉港大桥(32.98) > 金花桥(32.43) > 马家市(23.67), 均小于 140, 属于轻微生态风险。

(3) 城市化带来的江安河城乡交错段的重金属污染初见端倪, 建议对其进行疏浚清淤, 且环境管理部门应加强城乡交错带的环境管理与整治, 特别是对工业企业的环境管理, 以减少并避免沉积物污染带来的生态风险。

#### 参考文献:

- [1] 陈佑启, 王伟. 城乡交错带人地系统的特征及其演变机制分析[J]. 地理科学, 1998, 18(5): 418-424.
- [2] 胡聃, 王如松. 城乡交错带的生态控制论分析: 天津实例研究[J]. 生态学报, 1996, 16(1): 50-57.
- [3] 马涛, 杨凤辉, 李博等. 城乡交错带: 特殊的生态区[J]. 城市环境与城市生态, 2004, 17(1): 37-39.
- [4] 肖笃宁, 高峻, 石铁矛. 景观生态学在城市规划和管理中的应用[J]. 地球科学进展, 2001, 16(6): 818-819.
- [5] 高峻, 宋永昌. 基于遥感和 GIS 的城乡交错带景观演变研究: 以上海西南地区为例[J]. 生态学报, 2003, 23(4): 807-813.
- [6] 高雅玉, 唐家凯, 钱鞠, 等. 土地利用/覆被变化对水环境影响的研究综述[J]. 人民黄河, 2010, 32(12): 16-18.
- [7] 戴树桂. 环境化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009: 160.
- [8] 金相灿. 沉积物污染化学[M]. 北京: 中国环境科学出版

社, 1992: 147-254.

- [9] Li Chunye, He Mengchang, Zhou Yuxiang, et al. Distribution and contamination assessment of heavy metals in sediment of the Second Songhua River, China[J]. Environ. Monit. Assess, 2008, 137(1/3): 329-342.
- [10] 王岚, 王亚平, 许春雪, 等. 长江水系表层沉积物重金属污染特征及生态风险性评价[J]. 环境科学, 2012, 33(8): 2599-2605.
- [11] 高文. 成都小学生调查江安河污染状况[EB/OL]. <http://www.lvsecn.org/html/Edu/lvsehuodong/2011/0520/16784.html>.
- [12] 陈家栋, 潘宝宝, 张金池, 等. 广东大宝山矿区土壤重金属含量及其影响因素[J]. 水土保持研究, 2012, 19(6): 237-241.
- [13] 长江流域水环境监测中心. 水环境监测规范(SL219-98)[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998: 23.
- [14] Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River [J]. Geo. Journal, 1969, 2(3): 108-118.
- [15] 杨菊, 万新南. 成都市人工湖塘沉积物中重金属分布特征及污染评价[J]. 水土保持研究, 2008, 15(5): 156-157.
- [16] 周克元, 刘延国, 李均强, 等. 实用环境保护数据大全(第一分册); 环境监测分析实用数据[M]. 武汉: 湖北人民出版社, 1991: 372.
- [17] 孟昭虹, 周嘉, 郑元福. 哈尔滨市城市土壤重金属生态风险评价[J]. 水土保持研究, 2009, 16(2): 152-155.
- [18] Hankanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach [J]. Water Research, 1980, 14(8): 975-1001.
- [19] 李延吉, 宋政刚, 李润东, 等. 蒲河重金属污染现状及模糊综合评价[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2): 121-124.

(上接第 172 页)

- [10] 谢高地, 周海林, 甄霖, 等. 中国水资源对发展的承载能力研究[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 2-7.
- [11] 李丽娜, 石培基, 董翰蓉, 等. 干旱区石羊河流域水资源研究进展[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 280-284.
- [12] 吕萍, 刘东, 赵菲菲. 基于熵权的建三江分局水资源承载力模糊物元评价模型[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2): 246-250.
- [13] 温利华, 王永芹, 张广录, 等. 海河流域土地利用变化研究[J]. 东北农业大学学报, 2012, 43(5): 136-141.

- [14] 丁相毅, 贾仰文, 王浩, 等. 气候变化对海河流域水资源的影响及其对策[J]. 自然资源学报, 2010, 9(4): 78-87.
- [15] 黄永基, 马滇真. 区域水资源供需分析方法[M]. 南京: 河海大学出版社, 1990: 65-70.
- [16] 苏永红, 冯起, 刘蔚. 应用模糊综合评判方法评价石羊河流域水资源承载力[J]. 干旱区研究, 2009, 26(2): 169-175.
- [17] 孟丽红, 陈亚宁, 李卫红. 新疆塔里木河流域水资源承载力评价研究[J]. 中国沙漠, 2008, 28(1): 185-190.