

小江消落区土壤中重金属背景调查与潜在生态风险评价

付川^{1,2}, 郭劲松², 方芳²

(1. 重庆三峡学院化学与环境工程学院, 重庆 404000; 2. 重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘要 对小江消落区土壤沉积物进行采集,用原子吸收光谱法测定土样中的 Pb、Cu、Cr、Cd、Zn 等重金属的含量,用单因子指数法和 Hakanson 生态风险指数法评价了土样中重金属综合污染效应。结果表明,小江消落区主要的重金属污染因子为 Pb,生态风险影响因子顺序为 Pb > Cd > Zn > Cr > Cu。潜在生态风险因子大小顺序为 Cd > Cu > Zn > Cr > Pb,潜在生态风险指数 *RI* 平均值为 48.36,小江消落区大部分断面处于重金属中等潜在生态风险。
关键词 土壤沉积物; 重金属; 潜在生态风险
中图分类号 X820.4 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2010)04-01943-02

Background Investigation and Ecological Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Soil from Xiaojiang Drawdown Area
FU Chuan et al (Department of Chemical and Environment Engineering, Chongqing Three Gorges College, Chongqing 404000)
Abstract The soil sediments in Xiaojiang Drawdown Area were collected and the content of heavy metals such as Pb, Cu, Cr, Cd and Zn in soil samples was determined by using atomic absorption spectrometry. The compound pollution effects of heavy metals in soil samples were evaluated by using single factor index method and Hakanson ecological risk index method. The results showed that the main pollution factor in Xiaojiang Drawdown Area was Pb. The sequence of the ecological risk influence factors was Pb > Cd > Zn > Cr > Cu and the potential ecological risks was Cd > Cu > Zn > Cr > Pb. The average of potential ecological risk (*RI*) was 48.36. The most sections of Xiaojiang Drawdown Area had the middle potential ecological risks of heavy metals.
Key words Soil sediment; Heavy metals; Potential ecological risk

水体中的重金属离子在一定的物理化学作用下,最终大部分会进入沉积物。水体沉积物的生态风险评价一直是沉积物质量管理的核心问题,其中重金属更是关注的焦点之一^[1]。河流沉积物中重金属污染物较为稳定,因此,对沉积物中的重金属污染物进行分析和评价较水质分析更具有代表性。

消落带是指江河、湖泊、水库等水体因季节性涨落使土地被周期性淹没和出露成陆形成的干湿交替的水陆衔接地带。三峡库区消落带是指三峡水库正常蓄水水位为 175 m 与防洪限制水位 145 m 之间的区域,总面积达 348.93 km²。消落带作为水陆衔接的过渡地带,具有敏感而脆弱的生态系统,将引起消落区乃至库区一系列生态环境问题。笔者对小江消落区(开县段)土壤沉积物进行采集,采用原子吸收光谱法测定了沉积物中的 Pb、Cu、Cr、Cd、Zn 等重金属的含量,用单因子指数法^[2]和 Hakanson 生态风险指数法评价^[3]沉积物中重金属综合污染效应,筛选出主要风险因子,定量剖析典型污染物的潜在生态风险状况,以期三峡库区生态环境保护提供背景依据。

1 材料与方法

1.1 研究区选择及沉积物样品的采集 开县地处大巴山南坡与川东平行岭谷的结合地带,位于重庆市的东北地区,属于三峡库区腹地。由于该县位于三峡水库小江支流尾端,河谷河床平坦、地势开阔,致使开县成为三峡库区受淹面积最大的县,其消落带的土地面积将达 42.78 km²。以开县消落区作为研究对象(图 1),研究区域位于该县中部区域,即南自临江镇起,沿途经竹溪、镇安;北至汉丰、丰乐镇,达东河;

东至厚坝镇,达彭溪河。因此,研究范围主要包括南河、东河及彭溪河的消落区。



图 1 研究范围的选取以及采样点的分布情况
Fig.1 Selection of research scope and distribution situation of sampling points

按照小江河床形态、水文条件、排污口分布、支流状况等特点从小江开县段消落区选取 6 个断面进行采样,采样断面为:1 镇安、2 竹溪、3 丰乐、4 桃花溪、5 临江、6 开县调节坝。每个剖面上层按 2~5 cm 分层取样,下层为 5~10 cm 采集一个,取样深度约 30 cm,每个断面采集底泥样 3 件,样品装入聚乙烯样品袋保存。

1.2 样品分析 将样品置于背光通风处自然风干,剔除砾石、杂草等物,平摊在有机玻璃板上,反复碾压,过 20 目筛,至筛上不含泥土为止。筛下的样品用四分法缩分至 5~10 g,用玛瑙研钵研磨,样品过 100 目尼龙筛,弃去筛上杂物,筛下物质,放于棕色广口瓶中,贴上标签冷冻保存待用。

采用王水对样品进行消解,将消解液用 HNO₃ 溶液定容,

基金项目 国家水体污染控制与治理重大专项子课题(2009ZX07104-003-02);重庆市科委基金项目(CSTC2008BB7363);重庆市教委基金资助项目。
作者简介 付川(1974-),男,重庆人,在读博士,副教授,从事环境科学研究。
收稿日期 2009-10-26

TAS-986 原子吸收分光光度法测定,测定方法引用 GB7475-87。

2 潜在生态风险评价的理论基础

潜在生态风险评价基于元素丰度和释放能力的原则,评价假设了前提条件^[1]。①元素丰度响应,即潜在生态风险指数(risk index, *RI*) 随沉积物中金属污染程度的加重而增加。②多污染物协同效应,即沉积物的金属生态危害具有加和性,多种金属污染的潜在生态风险更大,铜、锌、铅、镉、铬是优先考虑对象。③各重金属元素的毒性响应具有差异,生物毒性强的金属对 *RI* 具有较高的权重,在这些前提条件下产生如下评价指标: 单一金属污染系数 C_f^i , 多金属污染度 C_H , 不同金属生物毒性相应因子 T_f^i , 单一金属潜在生态风险因子 E_f^i , 多金属潜在生态风险指数 *RI*。其关系如下:

$$C_f^i = C_D^i / C_R^i, C_H = \sum_{i=1}^m C_f^i$$
$$E_f^i = T_f^i \times C_f^i, RI = \sum_{i=1}^m E_f^i$$

式中, C_D^i 为样品实测浓度; C_R^i 为沉积物背景参考值; T_f^i 为不同金属生物毒性相应因子; *RI* 为重金属在水相、沉积物固相和生物相之间的响应关系。

根据文献^[5]和三峡库区金属污染的特征,采用工业化前全球沉积物最高背景值为参比值,并设定了 5 种重金属生物毒性响应因子 T_f^i (表 1)。

表 1 评价参数
Table 1 The evaluation parameters

参数 Parameters	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
C_R^i	1	90	50	70	175
T_f^i	30	2	5	5	1

表 3 沉积物中重金属污染单因子评价结果

Table 3 The single factor evaluation results of heavy metal pollution in sediments

样品 Samples	污染指数 C_f^i Pollution index					综合污染指数 C_H	综合污染等级
	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Integrated pollution index	Integrated pollution grade
1	0.82	0.32	0.19	1.14	0.49	2.97	低污染
2	0.87	0.45	0.27	1.52	0.22	3.33	低污染
3	1.74	0.77	1.18	3.81	0.47	7.97	中污染
4	0.87	1.21	0.36	1.29	0.58	4.31	低污染
5	0.74	1.06	0.41	1.29	0.44	3.95	低污染
6	1.05	0.69	0.45	1.83	0.41	4.44	低污染

3.2 沉积物中重金属生态风险评价 根据 Hakanson 的方法,将现场实测的湿地沉积物中 Cd、Pb、Cu 和 Zn 含量,应用潜在生态风险指数法对各处的污染程度及潜在生态风险进行分析。分析出潜在生态风险参数 E_f^i 及潜在生态风险指数值 *RI*,评价污染程度和生态风险程度的原则见表 4^[1]。

由表 5 可知,小江消落区沉积物 5 种重金属的潜在生态风险因子大小顺序为 Cd > Cu > Zn > Cr > Pb; Cd 为最主要的生态风险贡献因子,几乎所有的断面 Cd 的风险因子都到达中等和可观级,潜在生态风险等级断面 3 达到可观风险,这反映了消落区小江段重金属污染的普遍性。

4 结论

由测量结果可以看出,采用单因子指数法和 Hakanson 生态风险指数法,通过分析消落区小江段 6 个断面沉积物中典型重金属污染物 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr 的含量,定量确定消

3 结果与分析

3.1 沉积物中重金属污染评价 对 6 个断面的沉积物样品进行测试,重金属含量结果见表 2。

表 2 沉积物中重金属测定平均结果

Table 2 The average content of heavy metals in sediments

样品 Samples	mg/kg				
	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
1	0.830	28.726	9.680	79.880	85.820
2	0.873	40.356	13.230	106.560	39.050
3	1.750	68.880	58.760	266.460	83.010
4	0.875	108.550	17.830	90.580	100.740
5	0.750	94.940	20.540	90.630	77.410
6	1.060	62.020	9.680	127.780	71.370

根据 Hakanson 的生态风险指数法,采用单因子指数法对 8 个断面的沉积物样品中重金属污染要素进行分析和评价,因该研究的污染要素(Pb、Cd、Zn、Cr、Cu) 少于 Hakanson 提出生态风险指数法^[1]时的 8 项,以 C_H 表征的综合污染程度定义为 $C_H < 5$,低污染; $5 \leq C_H < 10$,中污染; $10 \leq C_H < 20$,较高污染; $C_H \geq 20$,很高污染。利用污染指数和综合污染指数对小江消落区沉积物重金属污染进行污染评价。

由表 3 可知,小江消落区主要的重金属污染因子为 Pb,其影响因子顺序为 Pb > Cd > Zn > Cr > Cu。综合污染程度评价采样点 3 丰乐沉积物中重金属为中度污染,其他采样点沉积物中重金属为低污染。说明消落区小江段重金属污染较轻。采样点 3 丰乐最靠近开县城市区域,其沉积物中重金属达到中度污染,这说明引起重金属污染主要是由于城市开发过程的生活污染源导致的,而农村区域目前重金属污染的程度还不严重。

表 4 潜在风险评价指标与分级关系

Table 4 The potential risk evaluation index and the classification relation

潜在生态风险因子 E_f^i Potential ecological risk factor		潜在生态风险指数 <i>RI</i> Potential ecological risk index	
单一金属阈值区间 Threshold interval of single heavy metal	风险因子等级 Risk factor grade	5 种金属阈值区间 Threshold interval of 5 kinds of heavy metals	风险指数等级 Risk index grade
<30	I 低值	<110	A 低值
30~60	II 中等	110~220	B 中等
60~120	III 可观	220~440	C 可观
120~240	IV 高值	>440	D 高值
>240	V 极高		

落区小江段沉积物重金属污染物的污染指数和综合污染指
(下转第 2011 页)

河南、安徽、湖北、湖南、江西) 2004 年的资源和能源消费状况进行了实证分析,结果表明,该地区的人均生态赤字为 $-1.305\text{ hm}^2/\text{人}$,接近于开封市的生态赤字水平^[60]。

3 结论

运用生态足迹分析法,对 1999 ~ 2007 年开封市的生态足迹变化进行了动态分析。结果表明,在 1999 ~ 2007 年开封市人均生态足迹需求呈现整体上升趋势,由 1999 年的 $1.54\text{ hm}^2/\text{人}$ 上升到 2007 年的 $1.94\text{ hm}^2/\text{人}$,其中可耕地的人均生态足迹需求所占比重最大;在分析年份中,开封市人均生态承载力变化幅度不大,为 $0.33 \sim 0.38\text{ hm}^2/\text{人}$;从 1999 年到 2007 年,开封市万元 GDP 生态足迹呈明显下降趋势,从 $3.58\text{ hm}^2/\text{万元 GDP}$ 降低到 $1.76\text{ hm}^2/\text{万元 GDP}$;1999 ~ 2007 年开封市处于生态赤字阶段,除 2003 年外,生态赤字均表现出明显的加重趋势,由 1999 年的 $-1.20\text{ hm}^2/\text{人}$ 变为 2007 年的 $-1.57\text{ hm}^2/\text{人}$,涨幅为 30.83%。因此,要实现开封市经济社会的可持续发展,必须改变思想、转变观念、发展科技、提高生态资源生产力,树立正确的科学发展观,构建真正的资源节约型、环境友好型的生产、生活体系。

参考文献

[1] REES W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out [J]. Environment and Urbanization, 1992, 4 (2): 121 - 130.
[2] WACKERNAGEL M, ONISTO L, BELLO P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept [J]. Ecological Economics, 1999, 29 (3): 375 - 390.
[3] 徐中民, 张志强, 程国栋. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析 [J]. 地理学报, 2000, 55 (5): 607 - 616.
[4] 徐中民, 张志强, 程国栋, 等. 中国 1999 年生态足迹计算与发展能力分析 [J]. 应用生态学报, 2003, 14 (2): 280 - 285.
[5] 张红霞, 苏勤, 章锦河, 等. 1990 - 1999 年安徽省生态足迹的动态测度与分析 [J]. 生态学杂志, 2006, 25 (1): 39 - 44.

[6] 谭庆, 汪正祥, 雷耘, 等. 湖北省近 20 年生态足迹演化 [J]. 生态学杂志, 2008, 27 (6): 974 - 977.
[7] 张丽霞, 谷艳芳, 李俊娇, 等. 河南省开封和封丘地区春秋两季农田杂草群落生态特征比较 [J]. 河南大学学报: 自然科学版, 2008, 38 (3): 288 - 292.
[8] 武继承, 龚子同, 姚健. 河南开封土壤养分变化特征及其持续利用途径研究 [J]. 土壤通报, 2001, 32 (4): 155 - 159.
[9] 刘剑锋, 张可慧, 孟令尧. 生态足迹分析法在衡水生态市建设规划中的应用研究 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (6): 2681 - 2683.
[10] 刘焱, 胡远满, 李月辉, 等. 生态足迹方法及研究进展 [J]. 生态学杂志, 2006, 25 (3): 334 - 339.
[11] 魏静, 冯忠江, 郑小刚, 等. 1995 - 2004 年河北省生态足迹分析与评价 [J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22 (6): 175 - 180.
[12] 开封市统计局. 开封统计年鉴 (2000 ~ 2006) [M]. 开封: 年鉴社, 2000 - 2006.
[13] 开封市统计局, 国家统计局开封调查队. 开封统计年鉴 (2007 ~ 2008) [M]. 开封: 年鉴社, 2007 - 2008.
[14] 张恒义, 刘卫东, 王世忠, 等. “省公顷”生态足迹模型中均衡因子及产量因子的计算——以浙江省为例 [J]. 自然资源学报, 2009, 24 (1): 82 - 92.
[15] 魏明, 王洪军, 柳新伟. 青岛市生态足迹动态研究 [J]. 生态环境, 2006, 15 (4): 761 - 764.
[16] 张衍广, 李茂玲. 基于 EMD 的中国生态足迹与生态承载力的动力学预测 [J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23 (1): 13 - 17.
[17] 王安周, 耿秀丽, 张桂宾. 基于生态足迹和 R/S 分析的河南省可持续发展评价 [J]. 地域研究与开发, 2009, 28 (2): 104 - 107.
[18] 孙衍芹, 刘存岐. 河北省 2006 年生态足迹和生态承载力分析 [J]. 中国生态农业学报, 2009, 17 (3): 588 - 592.
[19] 谌伟, 李小平, 孙从军, 等. 1999 - 2005 年上海市纵向时间序列生态足迹分析 [J]. 生态环境, 2008, 17 (1): 422 - 427.
[20] 张桂宾, 王安周. 中国中部六省生态足迹实证分析 [J]. 生态环境, 2007, 16 (2): 598 - 601.
[21] 桑秋, 苏飞, 张平宇. 辽宁省耕地生态足迹动态分析 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36 (3): 1142 - 1143, 1173.
[22] 贾俊松, 谢冬明, 郑博福, 等. 江西鄱阳湖区及五河流域生态足迹的时空比较分析 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36 (35): 15612 - 15614, 15636.
[23] 关劲桥. 江西省 2003 年生态足迹区域分异研究 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (26): 12636 - 12637, 12659.
[24] 陈志超, 王宇, 周玉秀. 基于生态足迹模型的河南省生态承载力分析 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36 (4): 1683 - 1684.

(上接第 1944 页)

表 5 沉积物中重金属污染潜在风险评价
Table 5 Potential risk evaluation on heavy metal pollution in sediments

样品 Samples	潜在生态风险因子 E_i^p Potential ecological risk factor					风险指数 R_i Risk index	风险等级 Risk degrade
	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn		
1	24.77	0.64	5.71	0.49	0.97	32.58	中等
2	26.21	0.91	7.61	0.22	1.32	36.26	中等
3	52.43	1.53	19.03	0.47	5.88	79.34	可观
4	26.21	2.41	6.47	0.58	1.78	37.45	中等
5	22.49	2.11	6.47	0.44	2.05	33.57	中等
6	31.77	1.38	9.13	0.41	2.27	44.96	中等

数的范围,得出消落区小江段沉积物为污染程度目前还不严重。潜在生态风险指数 R_i 范围为 32.58 ~ 72.34,消落区小江段大部分断面处于中等潜在生态风险。

监测和评价结果表明,引起重金属污染的原因主要是库岸的污染源。对于小江消落区中重金属污染,一方面要加强上游工农业废水排放的严格管理,减少外源性污染物的排放,另一方面要改善内源性环境,清除污染沉积物,以控制河岸土壤沉积物中重金属向小江水体中释放,避免形成二次污染。

参考文献

[1] HAKANSON L. An ecology risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach [J]. Water Res, 1980, 14 (8): 975 - 1001.
[2] 韩春梅, 王林山, 巩宗强, 等. 土壤中重金属形态分析及其环境学意义 [J]. 生态学杂志, 2005, 24 (12): 1499 - 1502.
[3] 王鑫, 孙丽娜, 孙铁珩, 等. 细河流域土壤中重金属的污染现状及潜在生态风险 [J]. 环境科学研究, 2009, 22 (1): 66 - 70.
[4] 杨继松, 孙丽娜, 杨晓波, 等. 沈阳市细河沿岸农田土壤重金属污染评价 [J]. 农业环境科学学报, 2007, 26 (5): 1933 - 1936.
[5] 朱广伟, 陈英旭, 周根娣, 等. 运河 (杭州段) 沉积物中重金属分布特征及变化 [J]. 中国环境科学, 2001, 21 (1): 65 - 69.