

湘江易家湾段河滩冲积土重金属污染 原因分析及污染历史的探讨

南茂才¹, 林治家^{2*}, 陈新跃¹, 王珍英², 胡航²

(1. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201; 2. 湖南省地质调查院, 湖南 长沙 410116)

摘要: 测定了易家湾河滩冲积土重金属的含量, 分析其垂向分布特征, 评价其潜在生态风险, 进而探讨重金属污染源, 提出湘江重金属污染较为严重的时间段。结果表明: (1) 易家湾段 Cd, Pb, As 和 Hg 的平均值分别 1.00, 40.00, 28.40, 0.17 mg/kg, 除 Hg 外均超过长株潭地区土壤背景值, 含量分布存在明显的差异性。从垂向分布上看, 重金属含量在 0~15 cm 和 40~50 cm 段明显偏高, 尤其是 Cd 为整个剖面最小值的数十倍, 存在明显的累积性。(2) 地积累指数计算结果表明, 湘江易家湾段河滩冲积土重金属污染程度依次为 Cd>As>Pb>Hg; 重金属的潜在生态危害系数次序为 Cd>Hg>As>Pb, 其中 Cd 的影响占主导地位。(3) 由 40~50 cm 河滩冲积土中的重金属含量可知, 当时上游可能发生过大规模的重金属污染, 致使该流域水体和河滩冲积土中重金属含量超标, 经查找大量资料, 表明该流域于 2006 年前后受到上游衡阳段和株洲霞湾段重金属的污染, 致使当时沉积了大量的重金属, 因此在剖面 40~50 cm 段重金属含量超过了其背景值, 为恢复其污染历史提供了重要的依据。

关键词: 湘江; 河滩冲积土; 重金属污染; 地积累指数

中图分类号: X522 文献标志码: A 文章编号: 1672-9102(2018)02-0073-06

The Pollution History and Analysis of Heavy Metals in River Alluvial Soil of Yijiawan in Xiangjiang River

Nan Maocai¹, Lin Zhijia², Chen Xinyue¹, Wang Zhenying², Hu Hang²

(1. School of Resources, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Hunan Provincial Institute of Geological Survey, Changsha 410116, China)

Abstract: This study investigates the concentrations of heavy metals in the river alluvial soil of the Yijiawan by using the following ways, analyzes their vertical distributions, evaluates the potential ecological risk, explores the pollution sources, and puts forward the period of heavy metal pollution in Xiangjiang river. Results can be summarized as follows: (1) The concentrations of Hg, Cd, Pb, As and Hg are 1.00, 40.00, 28.40 and 0.17 mg/kg, respectively, which are all above the soil background values of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan Area except for Hg. Their vertical distributions are distinctly different. The concentration of heavy metals in 0~15 cm and 40~50 cm is higher than others. The concentrations of and Cd are ten times the minimum values of the whole profile. (2) The assessment by geoaccumulation index indicates that the pollution degree of heavy metals is Cd>As>Pb>Hg, and Cd is the predominant element among them. (3) From 40 to 50 cm river alluvial soil of heavy metal content, it may occur when the upstream has a massive wave of heavy metal pollution, cause the heavy metal content in the basin of water and River alluvial soil to find a lot of materials. It shows that the basin in 2006 by the upstream before and after the pollution of heavy metals in Hengyang and Xiawan area of Zhuzhou, deposit a lot of heavy

收稿日期: 2016-08-19

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项资助项目(201411089-02)

* 通信作者, E-mail: linzhijia@mails.ucas.ac.cn

metals at that time, so the heavy metal content in Section 40 to 50 cm is more than the background value, which provides an important basis for restoring its pollution history.

Keywords: Xiangjiang river; river alluvial soil; heavy metals contamination; index of geoaccumulation

重金属具有难降解和易积累的性质,是生态系统中不可小视的污染物^[1,2].重金属污染物进入河流水体后,会对河流生态系统造成极大的威胁,已经成为环境工作者亟待解决的问题^[3,4].受重金属污染的水体,其沉积物中重金属含量远远高于水体,同时含量也呈现出较明显的分布规律;河滩冲积土作为水环境中重金属的主要累积场所,是水环境重金属污染的敏感指示剂.河滩冲积土中重金属污染物的浓度可以反映水体的污染程度^[5-7].目前,已有很多人研究了湘江水体沉积物重金属的污染^[8-12],文章对重金属污染特征和风险性评价做了论述,但没有对湘江污染历史的恢复提供指导依据.为此,本文以湘江易家湾段河滩冲积土为研究对象,采用地积累指数法和潜在生态危害指数法对湘江长株潭段底泥的重金属污染进行分析评价,结合以往研究资料,为湘江长株潭段的污染历史做一个详细的论述,以便为湘江水污染防治提供基础数据.

1 材料与方法

1.1 河滩冲积土样品的采集

2015年9月,选取1个具有代表性的河滩冲积土剖面进行采样,分布如图1所示,剖面(N: 113°0'33.34", E: 27°57'4.93")位于湘江易家湾段河流东侧河滩冲积土上,分别采集100 cm的冲积土样品,先分层,上部30 cm,每5 cm采集1个样品,30~100 cm,每10 cm采集1个样品,依此类推;原则就是样品不跨层.河滩冲积土是指河流冲积物上发育的土壤,该类型土一般成土时间较短,发育层次不明显,土壤肥力较高,鉴于此,为防止表层的沉积土对分析结果造成影响,采样垂向间距加密.用聚乙烯保鲜袋包装、封口并标记后带回实验室,置于冰箱-20℃保存,供后续分析使用.

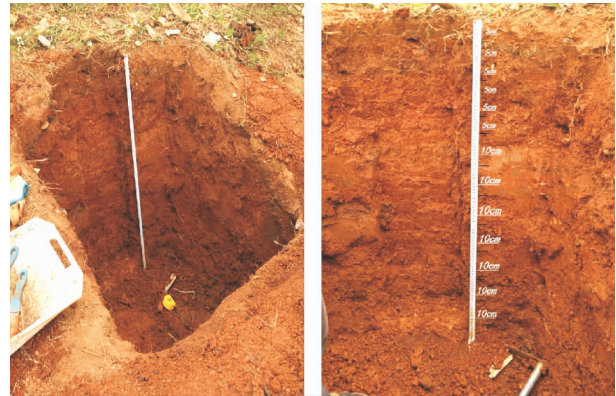


图1 易家湾河滩冲积土剖面

1.2 样品的处理与分析

将采集的土壤样品放入冷冻干燥机中冷冻干燥,脱水干燥后的土壤样品用研钵研磨至样品全部通过孔径为0.08 mm筛,于干燥器中储存、备用.本研究采用的土壤重金属总量分析是在HCl-HNO₃-HClO₄消解后,进行重金属含量测定.二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法测定As总量,火焰原子吸收分光光度法测定Pb,Cd总量,阳极溶出伏安法测定Hg总量.

1.3 河滩冲积土重金属污染程度评价方法

1.3.1 地积累指数法

为了对重金属富集情况和污染状况做出评价,本文采用德国科学家Müller提出的地积累指数法I (Igeo)^[13],这种方法广泛用于环境沉积物中重金属污染的定量分析.地积累指数既反映了重金属分布的自然变化特征,又可以判别人为活动对环境的影响,是区分人为活动影响的重要参数.其计算公式为

$$I = \log_2(C_n / 1.5B_n)$$

式中: C_n 为实测冲积土剖面中重金属的质量分数; B_n 为当地土壤重金属的背景值;1.5为考虑到成岩作用可能引起背景值波动而设定的常数.

各种重金属评价结果不仅取决于样品的实测浓度,而且与地球化学背景值的选择有密切关系.为了真实地反映土壤中重金属地球化学背景参考值,本文在评价过程中采用2002年长株潭地区土壤重金属元素背景值^[14](表1),作为此次重金属污染评价依据.

表1 湘江易家湾段河滩冲积土中重金属含量范围

项目	mg/kg			
	As	Pb	Cd	Hg
含量最大值	64.97	70.83	4.68	0.31
含量最小值	14.52	27.85	0.07	0.12
平均值	28.40	40.00	1.00	0.17
长株潭地区土壤重金属背景值	15.00	25.00	0.50	0.25

地积累指数共分为0~6级,表示污染程度由无至极强污染(表2)。

表2 地积累指数与重金属污染程度分级

污染程度	Igeo	级别
无	≤0	0
无-中	0~1	1
中	1~2	2
中-强	2~3	3
强	3~4	4
强-极强	4~5	5
极强	>5	6

1.3.2 潜在生态危害指数评价法

潜在生态危害指数法是瑞典科学家 Hakanson 于 1980 年提出的,是目前国内外进行重金属生态危害评价最广的一种方法^[15-17]。该方法利用沉积物中重金属相对于工业化以前沉积物的最高背景值的富集程度及相应重金属的生态毒性系数进行加权求和得到生态危害指数^[17]。主要受水体沉积物中重金属的浓度、种类、毒性水平以及水体对重金属污染的敏感性共 4 个因素的控制和影响。潜在生态危害指数法的计算方法如下:

由文献(徐争启等)^[17]可知,针对某一种重金属的潜在生态危害系数 $E_r^i = T_r^i C_r^i$; 而某一个冲积土样品中多种重金属综合潜在生态危害指数 $RI = \sum_{i=1}^n E_r^i$ 。

$$\text{由此得出 } RI = \sum_{i=1}^n T_r^i C_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i C_{\text{实测}}^i / C_n^i$$

式中: $C_{\text{实测}}^i$ 为冲积土剖面中重金属 i 的实测含量; C_n^i 为重金属 i 的参比值,采用工业化以前沉积物中重金属的最高背景值; C_r^i 为某一重金属的污染系数; T_r^i 为重金属 i 的毒性响应系数,它主要反映重金属的毒性水平和生物对重金属污染的敏感程度^[17]; E_r^i 为重金属 i 的潜在生态危害系数。

Hakanson 认为,As,Pb,Cd,Hg 的生态风险最大。将这 4 种重金属作为优先考虑对象,并根据大量数据分析,提出了重金属生物毒性系数(T_r^i)、参比值(C_n^i)和评价标准^[17](表3和表4)。

表3 潜在生态危害系数和危害指数与污染程度的关系

E_{ii}	RI	污染程度
<40	<150	轻微生态危害
40~80	150~300	中等生态危害
80~160	300~600	强生态危害
160~320	≥600	很强生态危害
≥320		极强生态危害

表4 冲积土剖面中重金属的参比值和生物毒性系数

参数	As	Pb	Cd	Hg
$C_n^i / (\text{mg/kg})$	15	25	0.5	0.25
T_r^i	10	5	30	40

2 结果与讨论

2.1 冲积土剖面中样品理化性质和重金属含量

易家湾段冲积土剖面中样品的 pH 值在 4.99~6.58 之间,湘江水偏酸性,而冲积土剖面中的 pH 偏酸性应该与水 pH 有关.底泥中的有机质在 0.27%~1.47%之间,由文献资料得知^[18],株洲霞湾高达 5%以上,湘潭一般在 2%~3%,长沙段普遍在 4%左右,出现这种现象的原因与长沙段生活污水的大量排放不无关系.湘江长株潭段有机质含量偏高,可能是长株潭近年来工业发展所来的负面影响.

2.2 地积累指数法评价结果

由于参照标准的不同,不同重金属元素含量超出标准值的大小顺序亦然不同.以长株潭地区土壤重金属背景值做参照,图 2 显示的是冲积土剖面中重金属垂向分布规律及其与长株潭地区土壤重金属背景值的关系.

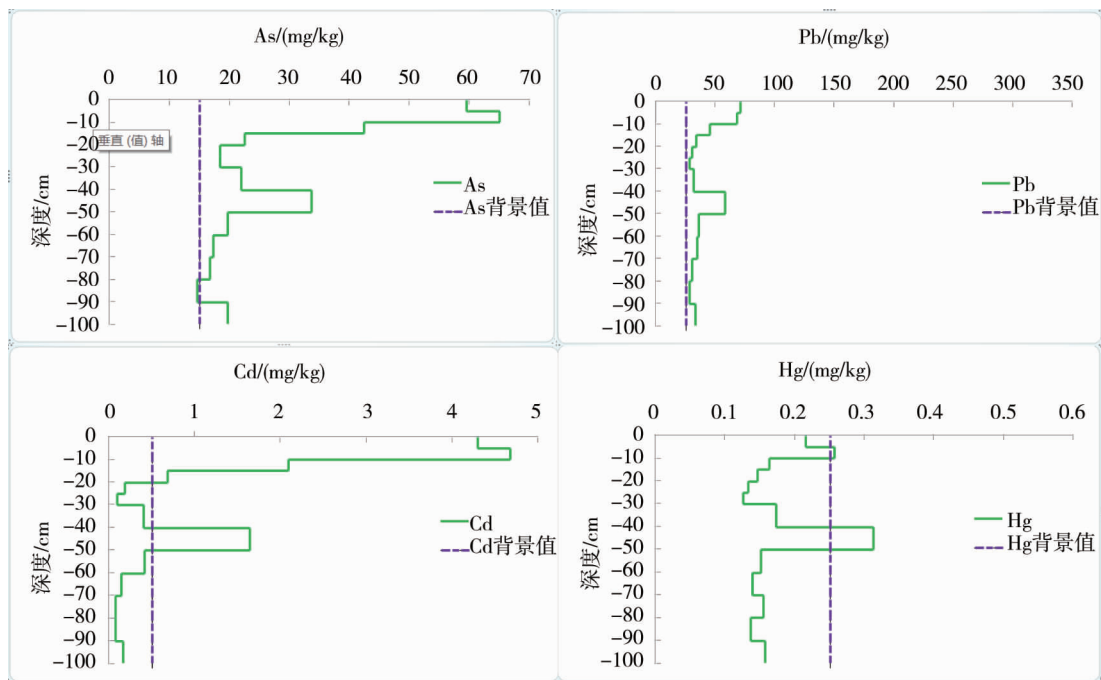


图 2 冲积土剖面中重金属垂向分布规律

由表 1 和图 2 可知,冲积土剖面中 As, Pb, Cd 和 Hg 含量平均值分别为 28.40,40.00,1.00 ,0.17 mg/kg,分别是长株潭地区土壤重金属背景值的 1.89,1.60, 2.00,0.68 倍.但是在 5~10 cm 和 40~50 cm 处 4 种元素都出现了峰值,5~10 cm 处属于表层沉积物,由于生活污水和工业废水等排放致使表层沉积物中重金属含量很高.但在 40~50 cm 处出现的峰值说明当时水体中所含金属已严重超过了水体的自净化能力,沉淀积蓄在底泥中.冲积土一般是重金属最终的沉淀场所,但是

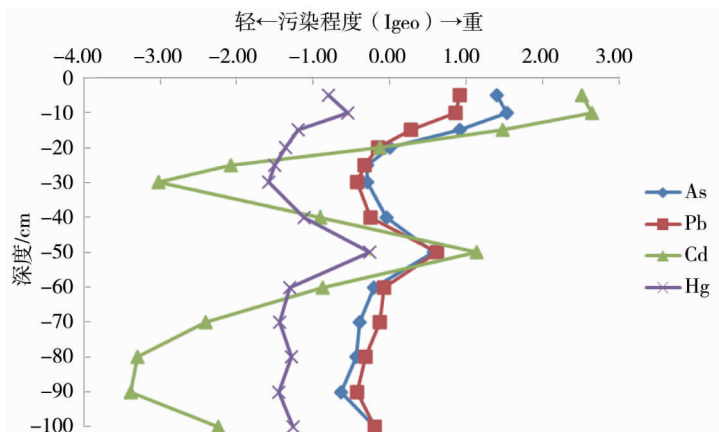


图 3 冲积土中重金属地累积指数

当发洪水引起水环境剧烈变化的时候,沉积在冲积土中的重金属将会重新悬浮或者溶解进入水体,造成水

体重金属含量升高.根据已有调查资料^[19],2005年湘江衡阳段监测点河滩冲积土为重度污染;株洲江段下游130 km处河滩冲积土中镉含量为4~8 mg/L.湘江河滩冲积土中重金属累积造成的历史性污染严重,表现越来越突出.2006年1月,株洲水利公司对霞湾港清淤导流,河滩冲积土中所含的大量镉进入水体,造成了“镉污染事件”,导致长沙、株洲、湘潭水质出现不同程度污染.由此可见,在剖面40~50 cm段对应的正是2006年前后沉积的河滩冲积土,给当地的环境和人民群众的身体健康造成较大影响.

采用2002年长株潭的土壤背景值作为参比值,湘江易家湾段河滩冲积土I_{geo}及其分级如表5所示.由表5和图3可知,13个样品中Hg的I_{geo}值都小于0,说明该流域段冲积土没有受到Hg的污染;造成污染的元素为As,Pb,Cd,尤其是Cd的污染较为突出,3种元素在0~15 cm和40~50 cm处对环境造成了污染,其污染程度由强至弱依次为Cd>As>Pb>Hg.

表5 湘江易家湾段河滩冲积土I_{geo}及其分级

样号(深度/cm)	As		Pb		Cd		Hg	
	I _{geo}	级别	I _{geo}	级别	I _{geo}	级别	I _{geo}	级别
1(0~5)	1.40	2	0.92	1	2.52	3	-0.80	0
2(5~10)	1.53	2	0.86	1	2.64	3	-0.54	0
3(10~15)	0.91	1	0.27	1	1.48	2	-1.20	0
4(15~20)	0.00	0	-0.15	0	-0.13	0	-1.36	0
5(20~25)	-0.29	0	-0.33	0	-2.08	0	-1.50	0
6(25~30)	-0.29	0	-0.43	0	-3.03	0	-1.58	0
7(30~40)	-0.04	0	-0.25	0	-0.91	0	-1.12	0
8(40~50)	0.58	1	0.62	1	1.13	2	-0.26	0
9(50~60)	-0.20	0	-0.08	0	-0.88	0	-1.31	0
10(60~70)	-0.39	0	-0.13	0	-2.41	0	-1.43	0
11(70~80)	-0.43	0	-0.32	0	-3.30	0	-1.28	0
12(80~90)	-0.63	0	-0.43	0	-3.38	0	-1.45	0
13(90~100)	-0.20	0	-0.19	0	-2.24	0	-1.26	0

2.3 潜在生态危害指数评价法评价结果

湘江易家湾段河滩冲积土重金属的潜在生态危害系数 E_r^i 值及危害指数RI值如表6.由表6可知,该剖面13个采样点中,样品1和2的生态危害达到了强的程度,其次是样品3和8,其生态危害达到了中等程度;而各个元素的RI值,Cd为最大,其生态危害达到了很强的程度,对各个元素的RI值进行排序,其危害程度依次为Cd>Hg>As>Pb.

表6 湘江易家湾段河滩冲积土重金属的潜在生态危害系数 E_r^i 值及危害指数RI值

样号(深度/cm)	E_r^i				RI
	As	Pb	Cd	Hg	
1(0~5)	39.65	14.17	257.64	34.51	345.96
2(5~10)	43.31	13.60	280.68	41.14	378.73
3(10~15)	28.27	9.07	125.58	26.13	189.05
4(15~20)	15.02	6.78	41.10	23.36	86.26
5(20~25)	12.26	5.98	10.68	21.20	50.11
6(25~30)	12.26	5.57	5.52	20.02	43.37
7(30~40)	14.59	6.31	23.94	27.66	72.51
8(40~50)	22.44	11.52	98.70	50.02	182.67
9(50~60)	13.06	7.11	24.42	24.24	68.83
10(60~70)	11.45	6.87	8.46	22.19	48.98
11(70~80)	11.12	6.03	4.56	24.69	46.39
12(80~90)	9.68	5.59	4.32	21.90	41.49
13(90~100)	13.10	6.57	9.54	25.10	54.32
RI	246.21	105.15	895.14	362.16	

3 结论

1) 地积累指数法和潜在生态危害指数法均显示 Cd 造成的污染是最突出的。

2) 由于本文缺乏湘江流域年降雨量资料,由剖面 40~50 cm 段出现的峰值推测该流域于 2006 年前后受到的污染较严重,对衡阳段和株洲霞湾段样品采集点密度应当做加密研究。

3) 前人对湘江流域重金属污染研究比较广泛,着重论述了湘江流域表面沉积物污染,本文的新颖之处是采集了垂向剖面的重金属污染物,以此来探讨和解释近年来该流域沉积物污染的走势。

参考文献:

- [1] Rajkumar K, Sivakumar S, Senthilkumar P, et al. Effects of selected heavy metals (Pb, Cu, Ni, and Cd) in the aquatic medium on the restoration potential and accumulation in the stem cuttings of the terrestrial plant, *Talinum triangulare* Linn [J]. *Ecotoxicology*, 2009, 18(7): 952-960.
- [2] 叶华香. 扎龙湿地沉积物营养盐和重金属空间分异规律及潜在生态风险研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2014.
- [3] 王龙凤. 南四湖表层沉积物中典型重金属污染研究[D]. 济南: 济南大学, 2014.
- [4] 刘金虎. 莱州湾多相介质重金属污染特征及其在食物链(网)的传递与生物放大作用[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2013.
- [5] 朱余银, 戴塔根, 吴玺虹. 湘江长株潭段底泥重金属污染现状评价[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 2012, 43(9): 3710-3717.
- [6] 刘韵琴, 刘云国, 郭一明, 等. 基于多层次灰色理论的重金属污染水资源开发潜力评价——以湘江长株潭段为例[J]. *湖南大学学报(自然科学版)*, 2014, 29(7): 84-89.
- [7] 陈晨. 湘江长沙段重金属污染底泥的植物修复研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2013.
- [8] 余光辉, 陶建军, 李博超. 湖南省湘江流域环境污染的安全性研究[J]. *环境科学与管理*, 2010, 35(5): 9-12.
- [9] 许友泽, 刘锦军, 成应向, 等. 湘江底泥重金属污染特征与生态风险评价[J]. *环境化学*, 2016, 35(1): 189-198.
- [10] 唐文清, 曾荣英, 冯泳兰, 等. 湘江衡阳段沉积物重金属污染特征与生态风险评价[J]. *环境与健康杂志*, 2009, 26(5): 437-438.
- [11] 尹春艳, 于一尊, 唐晓燕, 等. 湘江三角洲沉积物元素重金属污染地球化学特征[J]. *江西科学*, 2010, 28(2): 210-214.
- [12] 钱慧琳, 杨双波, 朱燕彬, 等. 2014年湘江长沙段底泥重金属污染现状评价[J]. *科技视界*, 2015(16): 19-20.
- [13] Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J]. *Geochemical Journal*, 1969, 2: 108-118.
- [14] 国家标准化委员会. GB 15618—1995 土壤环境质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [15] 许振成, 杨晓云, 温勇, 等. 北江中上游底泥重金属污染及其潜在生态危害评价[J]. *环境科学*, 2009, 30(11): 3262-3268.
- [16] 乔胜英, 蒋敬业, 向武, 等. 武汉地区湖泊沉积物重金属的分布及潜在生态效应评价[J]. *长江流域资源与环境*, 2005, 14(3): 353-357.
- [17] 徐争启, 倪师军, 庾先国, 等. 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J]. *环境科学与技术*, 2008, 31(2): 112-115.
- [18] 李军, 刘云国, 许中坚. 湘江长株潭段底泥重金属存在形态及生物有效性[J]. *湖南科技大学学报(自然科学版)*, 2009, 24(1): 116-121.
- [19] 邱丽君. 湘江衡阳段底泥重金属沉积现状分析[J]. *科技资讯*, 2008(8): 166-168.