

白马湖底泥重金属污染特征分析

郝达平¹, 刘雪梅² (1. 江苏省水文水资源勘测局淮安分局, 江苏淮安 223005; 2. 淮阴工学院生命科学与化学工程学院, 江苏淮安 223003)

摘要 [目的] 对白马湖区底泥重金属污染状况进行监测与评价。[方法] 对白马湖6个采样点位、24个底泥样品中Cu、Zn、Pb、Cd 4种重金属含量进行测定, 分析底泥表层和剖面重金属的含量及分布特征。在此基础上, 应用地积累指数法进行污染等级评价。[结果] 所有底泥样品中4种重金属含量均低于土壤环境质量标准中的三级标准。在空间分布上, 总体呈现出“湖区含量>入湖口含量>出湖口含量”的规律, 且随深度增加重金属含量递减。Cu、Zn和Pb含量一般在0.4 m深度附近开始达到或趋近土壤背景值。相关性分析及污染评价结果表明, Cu、Zn和Pb处于由无污染向中等污染过渡阶段, 而Cd的含量在部分测点已达到中等污染水平, 并呈现明显的内源污染特征。[结论] 该研究可为白马湖生态修复与保护提供科学依据。

关键词 底泥; 重金属; 地积累指数; 白马湖

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)11-03340-03

Analysis of Heavy Metal Pollution Characteristics about Bottom Sediment in Baima Lake

HAO Da-ping et al (Jiangsu Hydrology and Water Resources Investigation Bureau Huaian Branch, Huaian, Jiangsu 223005)

Abstract [Objective] The research aimed to monitor and evaluate the heavy metal pollution status about bottom sediment in Baima Lake. [Method] Based on 6 water samples and 24 sediment samples from Baima Lake, four kinds of heavy metal concentration of Cu, Zn, Pb and Cd were measured. The content and distribution characteristics of heavy metal in the surface layer and profile of the bottom sediment were analyzed. By using the index of geoaccumulation, the classes of pollution were evaluated. [Result] The results showed that 4 kinds of heavy metal content in all samples of bottom sediment didn't surpass the III level standard. In space distribution, heavy metal contents descended from Lake District to estuary to the bayou. With the increase of depth, heavy metal contents decreased. The contents of Cu, Zn and Pb arrived at or approached to the background value of soil about 0.4 m under the water surface. Correlation analysis and pollution assessment indicated that Cu, Zn and Pb were at the transitory stage from non-pollution to medium pollution. However, Cd had partially reached to medium pollution level. It presented obvious characteristics of endogenous pollution. [Conclusion] This research could provide theoretical basis for the ecological remediation and protection of Baima Lake.

Key words Bottom sediment; Heavy metal; Index of geoaccumulation; Baima Lake

白马湖位于淮安市境内东南边缘, 堤内面积113.4 km², 是白马湖地区主要的洪涝调蓄水库, 同时, 也是南水北调东线工程的过境湖泊、淮安中心城市第二水源地, 承担向17个乡镇区域供水以及向市区应急供水等任务。因此, 保障白马湖的水质安全具有重要战略意义。

白马湖主要入湖河道的浚河是洪泽县城区及沿线乡镇工业废水和生活污水的排泄通道, 其水质常年为IV-劣于V类, 水质成分复杂, 对白马湖水水质影响较大; 长期以来的污水注入以及湖区水产养殖业的过度开发导致大量污染物沉积于底泥当中, 具有较大的潜在生态风险隐患^[1-3], 而其中的重金属污染以其毒性大、难生物降解去除、能通过食物链影响人的身体健康^[4-5]。为此, 该研究对白马湖区底泥重金属污染状况进行了采样监测, 意在查明该区域底泥重金属分布规律及潜在的生态风险, 为白马湖生态修复与保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样点布设及样品采集 监测点位的布设侧重于浚河入湖口区域, 兼顾湖区北部、中部和南部区域。在调查范围内共设监测点6个, 监测点分布示意图见图1。采用荷兰Eijkkamp公司Beeker型底泥原状采样器采集样品, 按0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm、>40 cm分层取样, 6个调查点采集24个分层样。

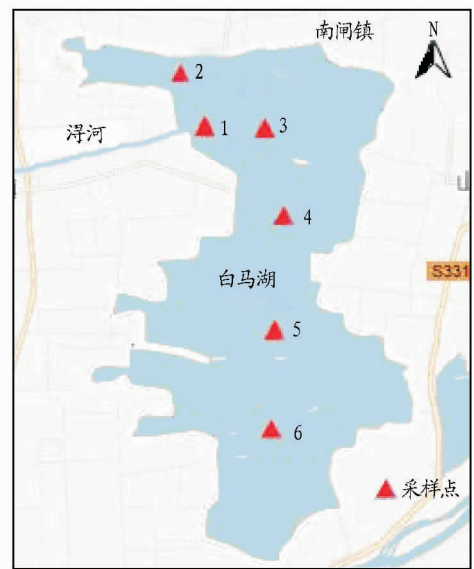


图1 白马湖底泥监测点示意

1.2 样品处理及测定 样品经自然风干, 去掉杂物及石块后研磨过100目筛, 采用四分法取样得待测样品。采用逆王水微波消解、原子吸收法测定铜(Cu)、锌(Zn)、铅(Pb)、镉(Cd)含量, 采用地质矿产部化探分析质量监控站地球化学标准参考样(GBW07406(GSS-6), 03024)对检测进行质量控制。

2 结果与分析

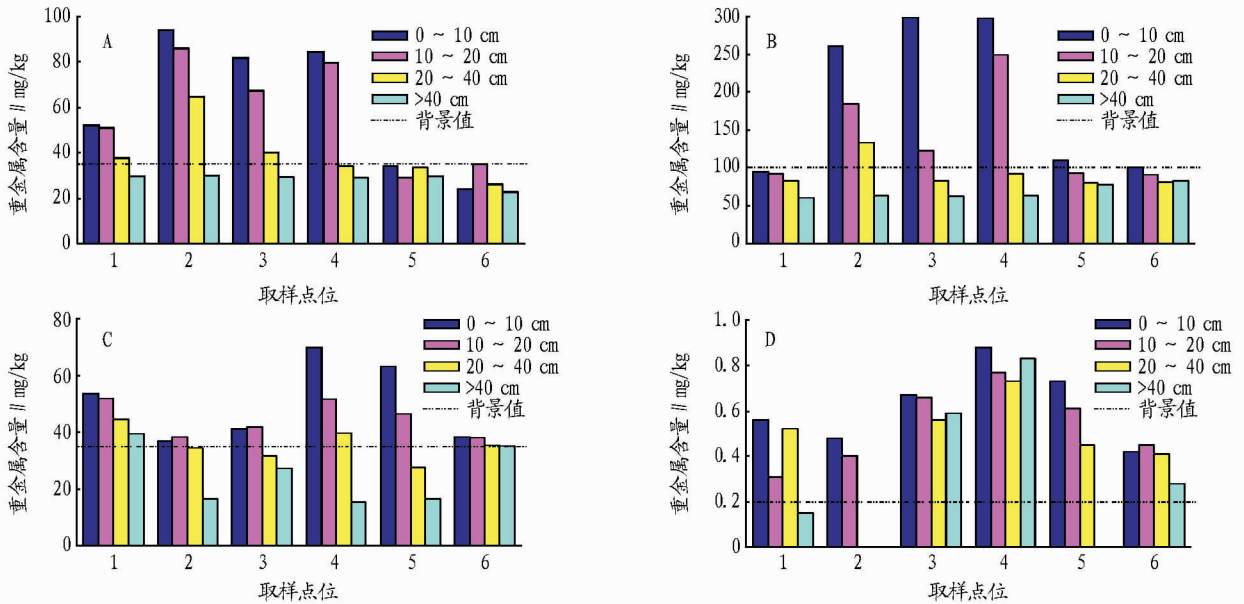
2.1 底泥中重金属含量特征 白马湖底泥中重金属在各个监测点位的含量及垂直分布见图2。由图2可以看出, 各

作者简介 郝达平(1969-), 男, 江苏淮安人, 高级工程师, 从事水资源、水环境、水生态研究。

收稿日期 2014-03-04

测点的 Cu、Zn、Pb 和 Cd 的含量值均不高于《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)中的三级标准($\text{Cu} \leq 400 \text{ mg/kg}$, $\text{Zn} \leq 500 \text{ mg/kg}$, $\text{Pb} \leq 500 \text{ mg/kg}$, $\text{Cd} \leq 1.0 \text{ mg/kg}$),但相较于一级标准,即土壤自然背景限制值($\text{Cu} \leq 35 \text{ mg/kg}$, $\text{Zn} \leq 100 \text{ mg/kg}$, $\text{Pb} \leq 35 \text{ mg/kg}$, $\text{Cd} \leq 0.2 \text{ mg/kg}$)仍存在超标现象。其中,Cu 的最高含量值出现在 2 号采样点的表层,达到 93.7

mg/kg,趋近于二级标准的临界值 100 mg/kg;2、3、4 这 3 个监测点位表层底泥中 Zn 的含量均超过二级标准限值($\text{Zn} \leq 250 \text{ mg/kg}$);Pb 含量在水平和竖直方向上的波动较小,但在 1 和 6 两测点的深层底泥中其含量高于土壤背景值;Cd 的富集程度最为显著,其中 3、4、5 监测点位的含量均值依次达到一级标准的 3.1 倍、4.0 倍和 2.2 倍。



注:A~D 依次为 Cu、Zn、Pb、Cd。

图 2 各取样点底泥中重金属含量深度分布示意

2.2 底泥中重金属含量分布特征 由图 2 可见,在区域分布上,白马湖底泥中不同重金属含量分布均呈现出“湖区 > 入湖口 > 出湖口”的总体规律,可见重金属在湖区有明显的沉降作用;不同重金属在理化性质上的差异导致了含量分布曲线上特征点位的分离,如 Cu 的最高含量出现在 2 点,Zn 的最高含量出现在 3 点,而 Pb、Cd 出现在 4 点,这一因素显著降低了同源重金属之间在监测范围内的正向相关性^[6]。

从竖直方向分布上看,随着深度的增加底泥重金属含量总体呈下降趋势,Cu、Zn 和 Pb 含量一般在 0.4 m 深度附近开始达到或趋近土壤背景值。Cu、Zn 在 2、3、4 这 3 点的垂向分布梯度较大,而在 5、6 两点波动趋于平缓,深层底泥中重金属含量缓慢上升,表明重金属在不同层次的底泥之间存在迁移;Cd 在整个区域内垂向含量波动均较小,且显著高于自然背景含量,推测底泥中存在 Cd 的历史累积污染问题。

2.3 相关性分析 重金属含量间的相关性通常被用来推测重金属的来源,若不同元素有显著的相关性,说明其来源可能相同,否则来源可能不止一个^[7]。为避免理化性质差异对取样点之间相关性的显著影响,选取浉河入湖口处 1 点位的各重金属垂向含量进行相关性分析,表 1 给出了底泥中各重金属含量之间的相关系数矩阵。

Cu、Zn 和 Pb 元素之间呈现较明显的正相关关系,表明其在该点位竖向上具有共同的变化规律,也说明这些金属在底泥中具有一定的同源性,因其处于浉河入湖口处,推测浉河水输移的人为排污为底泥中 Cu、Zn 和 Pb 的主要污染来

源。Cd 与其他金属元素的相关性较弱,结合其在深层底泥中含量水平较高这一特征,可以判定历史积蓄的内源污染为其主要来源,同时也伴随着新的外源污染输入。

表 1 重金属元素的相关矩阵

元素	Cu	Zn	Pb	Cd
Cu	1.000 0			
Zn	0.947 1	1.000 0		
Pb	0.998 0	0.950 1	1.000 0	
Cd	0.548 6	0.747 3	0.585 2	1.000 0

3 基于地积累指数的污染评价

地积累指数(I_{geo})一般用来反映底泥中重金属的富集程度^[8],根据已有的研究资料,将 I_{geo} 划分为 7 级^[9],分级标准与对应的污染程度见表 2。

表 2 地积累指数与污染程度分级

级别	I_{geo}	污染程度
I	$I_{geo} \leq 0$	无(UC)
II	$0 < I_{geo} < 1$	无-中(UMC)
III	$1 \leq I_{geo} < 2$	中(MC)
IV	$2 \leq I_{geo} < 3$	中-强(MHC)
V	$3 \leq I_{geo} < 4$	强(HC)
VI	$4 \leq I_{geo} < 5$	强-极强(HEC)
VII	$I_{geo} \leq 5$	极强(EC)

地积累指数 I_{geo} 的计算公式如下:

$$I_{geo} = \ln(C_n/AB_n) \quad (1)$$

式中, C_n 为重金属元素在底泥中的含量; A 为常数, 通常取值为 1.5; B_n 为重金属元素的环境背景值, 根据调查区域的实际情况, 选择土壤环境质量标准一类标准作为值。根据公式(1)计算得各采样点底泥中重金属的地积累指数见表 3。

由表 3 可以看出, Cu、Zn、Pb 3 种重金属的地积累指数级别基本以 I 类为主, 部分点位表层底泥中含量达到 II 类, 说明这 3 类金属尚处于由无污染向中等污染过渡阶段, 且污染范围具有显著的局部性。同时, 表层底泥的重金属含量增加表明重金属污染具有加剧的趋势, 应加强浉河的污染治理, 避免重金属在湖区蓄积而引发生态风险。底泥中 Cd 的污染等

级基本为 II 级和 III 级水平, 达到中等程度污染, 结合之前的相关性分析可以得出结论, Cd 具有显著的内源污染特性, 在底泥中的蓄积量较高。

4 结论

(1) 白马湖底泥中 Cu、Zn、Pb、Cd 4 种重金属含量均不超过土壤环境质量标准 (GB15618-1995) 中的三级标准限值。在区域分布上, 不同重金属均呈现出“湖区 > 入湖口 > 出湖口”的总体规律, 从竖直方向分布上看, 底泥重金属含量总体呈下降趋势, Cu、Zn 和 Pb 含量一般在 0.4 m 深度附近开始达到或趋近土壤背景值。

表 3 各采样点的地积累指数

测点	深度 cm	Cu		Zn		Pb		Cd	
		I_{geo}	等级	I_{geo}	等级	I_{geo}	等级	I_{geo}	等级
1	0~10	-0.01	I	-0.67	I	0.03	II	0.90	II
	10~20	-0.04	I	-0.71	I	-0.02	I	0.05	II
	20~40	-0.48	I	-0.86	I	-0.24	I	0.79	II
	>40	-0.83	I	-1.31	I	-0.41	I	-1.00	I
2	0~10	0.84	II	0.80	II	-0.50	I	0.68	II
	10~20	0.71	II	0.29	II	-0.45	I	0.42	II
	20~40	0.30	II	-0.17	I	-0.61	I	-	I
	>40	-0.80	I	-1.25	I	-1.67	I	-	I
3	0~10	0.64	II	0.99	II	-0.35	I	1.16	III
	10~20	0.36	II	-0.30	I	-0.33	I	1.14	III
	20~40	-0.39	I	-0.86	I	-0.73	I	0.90	II
	>40	-0.84	I	-1.27	I	-0.95	I	0.98	II
4	0~10	0.69	II	0.98	II	0.41	II	1.55	III
	10~20	0.60	II	0.73	II	-0.02	I	1.36	III
	20~40	-0.62	I	-0.71	I	-0.40	I	1.28	III
	>40	-0.85	I	-1.25	I	-1.78	I	1.47	III
5	0~10	-0.63	I	-0.46	I	0.27	II	1.28	III
	10~20	-0.86	I	-0.69	I	-0.18	I	1.02	III
	20~40	-0.65	I	-0.90	I	-0.93	I	0.58	II
	>40	-0.82	I	-0.95	I	-1.66	I	-	I
6	0~10	-1.12	I	-0.59	I	-0.45	I	0.49	II
	10~20	-0.58	I	-0.73	I	-0.46	I	0.58	II
	20~40	-1.01	I	-0.89	I	-0.57	I	0.45	II
	>40	-1.21	I	-0.85	I	-0.57	I	-0.10	I

(2) 相关性分析表明: Cu、Zn 和 Pb 元素之间呈现较明显的正相关关系, 推测浉河水输移的上游排污为底泥中 Cu、Zn 和 Pb 的主要污染源; Cd 与其他金属元素的相关性较弱, 结合其在深层底泥中含量水平较高这一特征, 判定历史积蓄的内源污染为其主要来源, 同时也伴随着新的外源污染输入。

(3) 地积累指数的污染评价结果表明, Cu、Zn、Pb 3 种重金属尚处于由无污染向中等污染过渡阶段, 且污染范围具有限制的局部性特征, 但重金属污染加剧的趋势应引起重视; 底泥中 Cd 的污染已达到 III 级, 属于中等强度污染, 应作为重金属污染治理工作的重点。

参考文献

[1] 唐振武, 程家丽, 岳勇, 等. 武汉典型湖泊沉积物重金属累积特征及其环境风险[J]. 湖泊科学, 2009, 21(1): 61-68.
[2] 刘文新, 梁兆坤, 汤鸿霄. 乐安江沉积物中金属污染的潜在生态风险评价[J]. 生态学报, 1999, 19(2): 206-211.

[3] YI Y J, WANG Z Y, ZHANG K, et al. Sediment pollution and its effect on fish through food chain in the Yangtze River[J]. International Journal of Sediment Research, 2008, 23: 338-347.
[4] YU G B, LIU Y, YU S, et al. Inconsistency and comprehensiveness of risk assessments for heavy metals in urban surface sediments[J]. Chemosphere, 2011, 85(6): 1080-1087.
[5] SANTOS BERMEJO J C, BEHRAN R, GOMEZ ARIZA J L. Spatial variations of heavy metals contamination in sediments from Odiel River (Southwest Spain)[J]. Environment International, 2003, 29(1): 69-77.
[6] YU R I, YUAN X, ZHAO Y H, et al. Heavy metal pollution in intertidal sediments from Quanzhou Bay, China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2008, 20: 664-669.
[7] 管东生, 陈玉娟, 阮国标. 广州城市及近郊土壤重金属含量特征及人类活动的影响[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2001, 40(4): 93-101.
[8] 柴世伟, 温琰茂, 张云霓, 等. 广州市郊区农业土壤重金属含量特征[J]. 中国环境科学, 2003, 23(6): 592-596.
[9] SINGH M, ANSARI A A, MULLER G, et al. Heavy metals in freshly deposited sediments of the Gomati River (a tributary of the Ganga River): effects of human activities[J]. Environmental Geology, 1997, 29(3): 246-252.