

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2017.11.019

长寿湖水体及底泥中重金属的空间分布及污染评价^①

余凤琴, 陈元坤, 但言,
朱杰, 马跃岗, 谢勇, 李燕

重庆市水产科学研究所, 重庆 401120

摘要: 通过研究长寿湖水体及底泥重金属的质量浓度及空间分布格局, 以及利用饮用水标准、地表水标准及渔业水质标准、地质积累指数评价长寿湖水质及底泥状况。结果表明: 长寿湖的水质较好, 仅 Hg 是潜在污染物质, 最大值出现在人类活动较频繁的野猫岩区域; 底泥中的 Cd, Pb, Cu 是主要的污染物质, As 和 Hg 也已处于轻微污染的状态; 底泥中的重金属元素在空间分布中呈现出较好的一致性。相关性分析表明, 水体重金属和底泥重金属元素间的关系都不密切, 说明重金属没有特定的污染源。

关键词: 长寿湖; 重金属; 水体; 底泥; 污染评价

中图分类号: X142; X8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5471(2017)11-0119-05

由于受自然过程以及人类活动的影响, 地表水水质呈现恶化趋势。富营养化和重金属污染已成为我国湖泊面临的主要问题^[1]。重金属元素是水生生态系统中具有稳固持久性的污染物质之一^[2], 通过矿山开采、金属冶炼、金属加工及化工生产废水、化石燃料的燃烧、施用农药化肥和生活垃圾等人为污染源, 以及地质侵蚀、风化等天然源形式进入水体^[3]。水体中的重金属往往将底泥作为最后的储存库和归宿, 并且可与水相保持一定的动态平衡。当周围的环境条件变化时, 底泥中的重金属形态将发生转化并释放, 易引起二次污染^[4], 最后通过食物链威胁到人体的健康。

对长寿湖水体的主要污染重金属以及部分重金属的不同形态空间分布特征已有报道^[5-6], 但对长寿湖水体及底泥重金属的空间分布及相关性研究却很少, 开展相关研究有助于深入了解人类活动背景下的湖泊重金属响应机制, 为长寿湖周边地区生产生活及恢复长寿湖生态环境提供依据。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

长寿湖位于重庆市长寿区与垫江县境内, 地理坐标为 29°50′—30°04′N, 107°15′—107°25′E, 水域面积 60 km², 总库容 10.27 亿 m³, 是西南地区最大的人工湖泊^[7]。长寿湖的主要水源——龙溪河, 为长江的一级支流, 上游流经梁平、垫江, 周围生产方式多样。

本研究在长寿湖设置野猫岩、板桥、两河口、同心和堤坝 5 个监测点^[8-9], 其中野猫岩为入水口, 堤坝为出水口。

① 收稿日期: 2017-03-08

基金项目: 农业部重庆市重要渔业水域渔业资源环境普查(CY2016-071); 重庆市渔业资源调查财政专项。

作者简介: 余凤琴(1993-), 女, 湖北荆门人, 助理水产工程师, 本科, 主要从事渔业资源环境调查分析工作。

通信作者: 但言, 硕士。

1.2 样品采集

2016 年 6 月展开对长寿湖 5 个样点的水体及底泥样品的采集,在每个样点周围直径 200 m 范围内 3 次取样,水体及底泥重金属监测项目均为 Cu,Zn,Pb,Cd,Hg,As,水样采样方法为采水器在水面下 0.5 m 处采样,底泥采样采用彼得森抓斗式采泥器.

1.3 样品测试及数据处理

采集水样中加固定药品保存,送入实验室分析.底泥样品密封于塑料袋并于 4℃条件下保存,尽快带回实验室分析.采用原子吸收分光光度计法(AAS)测定样品中 Cu,Zn 的总量;石墨炉系统测定样品中 Pb,Cd 的总量;底泥的测定参照国家环境保护局 1997212201 实施的标准方法(GB/T1713821997 和 GB/T1714121997).

1.4 统计分析

采用标准比对法分析水体中的重金属元素,将湖泊水样中的重金属的质量浓度、我国饮用水标准、地表水标准及渔业水质标准进行对比.采用地质积累指数^[10-11](Geoaccumulation Index, Igeo)对底泥中重金属富集程度进行量化评价, Igeo 的计算公式为 $I_{geo} = \ln[C_n/1.5B_n]$. 式中: C_n 指所测的湖中底泥所含元素的浓度; B_n 是地球化学背景浓度. 常数 1.5 是考虑到成岩作用会引起背景值的变动. 地质积累指数包含 7 个等级,即 $I_{geo} \leq 0$, (0~1), (1~2), (2~3), (3~4), (4~5) 和 ≥ 5 , 分别对应几乎没有污染、没有污染到中度污染、中度污染、中度污染到重度污染、重度污染、重度污染到极度污染和极度污染.

采用皮尔逊相关系数计算水中和底质中元素浓度的相关性,显 $p < 0.05$ 时结果有统计学意义,采用分层聚类分析评估水及泥样在湖泊各样点之间的相似度,所有分析在 SPSS 18.0 中完成.

2 结果及分析

2.1 水中重金属元素

长寿湖水体中重金属元素质量浓度如下: Cu, 0.285(同心)~6.625 μg/L(野猫岩); Zn 最大质量浓度为 25.7 μg/L(同心),最低质量浓度低于检测限; Pb 最大质量浓度为 0.862 μg/L(野猫岩),最低质量浓度低于检测限; Cd, 0.002 8(板桥)~0.060 8 μg/L(野猫岩); Hg, 0.035(两河口)~0.26 μg/L(野猫岩); As, 0.786(板桥)~1.358(堤坝)μg/L(表 1).

湖水中的重金属元素质量浓度与中国卫生部饮用水标准(2005 年)、中国地表水水质标准(2002 年)、中国渔业水质标准(1989 年)比较.所测定的 5 种重金属元素中仅有 Hg 的质量浓度超过我国Ⅲ类地表水水质标准.

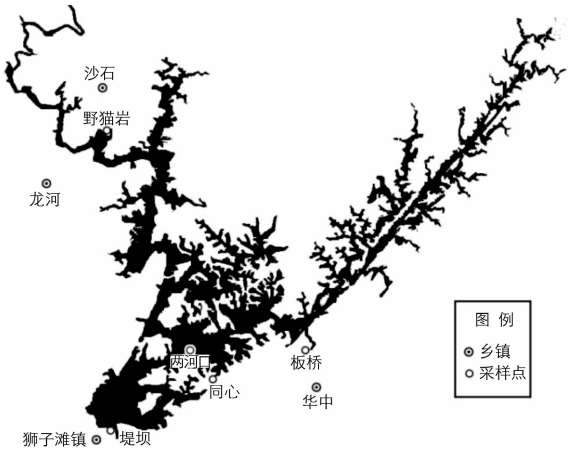


图 1 长寿湖监测位点

表 1 长寿湖水样中重金属元素质量浓度(μg/L)及与水质标准的比较

项目	平均值	最大值	最小值	饮用水 标准	地表水 Ⅰ类	地表水 Ⅱ类	地表水 Ⅲ类	渔业水 质标准
Cu	2.215	6.625	0.028 4	1 000	10	100	100	10
Zn	17.060	25.700	0	1 000	50	100	100	100
Pb	0.372	0.861	0	10	10	10	50	50
Cd	0.030	0.061	0.002 8	5	1	5	5	5
Hg	0.066	0.260	0.035 0	1	0.05	0.05	0.1	0.5
As	1.082	1.358	0.786 0	10	50	50	50	50

聚类分析结果将 5 个监测点分为 3 组(图 2): 组 1 包括板桥和同心, 组 2 包括两河口和堤坝, 组 3 为野猫岩。

水样中各金属元素的相关性如表 2 所示。Cu 和 Cd 之间的正相关关系有统计学意义, Zn 和 Pb 之间的负相关关系有统计学意义。

2.2 底泥中重金属元素

底泥中的重金属元素见表 3, 各金属变化范围如下: Cu, 13 877.2(两河口)~20 761.4 mg/kg(堤坝); Zn, 86.9(野猫岩)~113.6 mg/kg(板桥); Pb, 31 533.2(野猫岩)~36 506.7 mg/kg(同心); Cd, 1 138.1(野猫岩)~5 904.2 mg/kg(板桥); Hg, 0.16(同心)~0.22 mg/kg(板桥); As, 11.5(野猫岩)~16.4(板桥)mg/kg(表 3)。

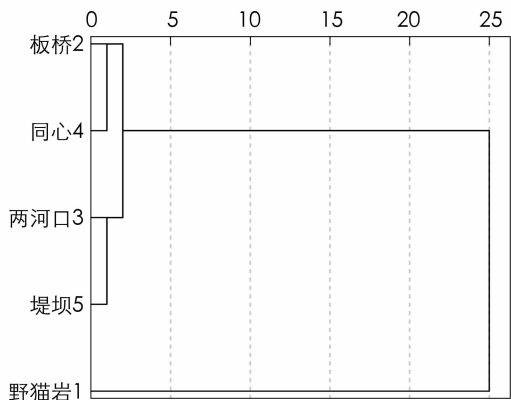


图 2 长寿湖各样点水样重金属元素聚类分析

表 2 长寿湖各点水样重金属元素相关性分析(n=5)

	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	As
Cu	1					
Zn	-0.519	1				
Pb	0.765	-0.940*	1			
Cd	0.973**	-0.500	0.755	1		
Hg	0.769	-0.420	0.626	0.666	1	
As	-0.239	-0.463	0.326	-0.152	0.005	1

注: * $p<0.05$, 结果有统计学意义; ** $p<0.01$, 结果极有统计学意义。

表 3 长寿湖各监测断面底泥重金属质量分数

	平均值	标准差	最大值	最小值
Cu	16 436.2	2 564.6	20 761.4	13 877.2
Zn	100.7	11.2	113.6	86.9
Pb	33 858.2	2 039.2	36 506.7	31 533.2
Cd	3 141.0	1 970.8	5 904.2	1 138.1
Hg	0.18	0.02	0.22	0.16
As	14.3	1.8	16.4	11.5

底泥样品聚类分析将 5 个监测点分为 2 组(图 3): 组 1 包括野猫岩、两河口、同心及堤坝, 组 2 为板桥。

底泥中重金属元素的相关性如表 4 所示。Hg 和 Pb 之间的负相关关系有统计学意义。

Igeo 指数评价结果如表 5 所示。参照中国陆壳(CCC)和上层陆壳(UCC)背景值, 底泥中除 Zn 之外的 5 种重金属均有不同程度的污染。

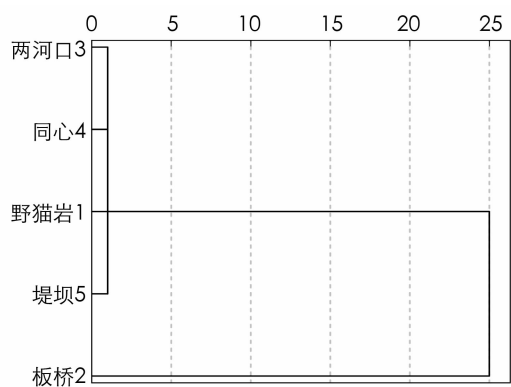


图 3 长寿湖各样点底泥重金属元素聚类分析

3 讨 论

3.1 长寿湖重金属的空间分布格局

长寿湖作为较典型的人工湖泊, 上世纪末受网箱养殖的影响较大, 近年来逐步呈现富营养化^[7,12]和重金属污染的趋势, 已有研究显示由于人类输入及采矿活动的不同, 不同湖泊中重金属的质量浓度有很大差异^[13]。湖区周围分布着果园、林地、养殖场、乡镇企业, 生产方式的多样化导致长寿湖水质的差异性有统计学意义。长寿湖湖水中重金属和底泥中重金属的含量呈现不同的空间分布格局: 湖水中较高质量浓度的重金属主要集中在人类活动频繁的野猫岩采样点; 长寿湖底泥中重金属的空间分布呈现出较大的一致性, 说明底泥中重金属的主要来源相似, 没有特定点源污染。

表 4 长寿湖各点底泥重金属元素相关性分析($n=5$)

	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	As
Cu	1					
Zn	0.346	1				
Pb	0.074	-629	1			
Cd	-0.267	-0.459	-0.709	1		
Hg	-0.034	0.620	-0.993**	0.628	1	
As	-0.241	0.758	-0.567	0.784	0.482	1

表 5 基于不同地壳背景值下长寿湖底泥重金属元素的地质积累指数 mg/kg

项 目	Cu		Zn		Pb		Cd		Hg		As	
	CCC ^a	UCC ^b	CCC ^a	UCC	CCC ^a	UCC	CCC ^a	UCC	CCC ^a	UCC	CCC ^a	UCC
Bn	38	25	86	71	15	20	0.055	0.049	0.08	0.089	1.9	1.5
野猫岩	5.62	6.04	-0.39	-0.20	7.25	6.96	9.53	9.65	0.38	0.28	1.40	1.64
板桥	5.90	6.32	-0.17	0.02	7.31	7.02	9.95	10.07	0.36	0.25	1.57	1.81
两河口	5.49	5.91	-0.23	-0.04	7.36	7.07	10.33	10.45	0.33	0.22	1.69	1.93
同心	5.63	6.04	-0.34	-0.15	7.39	7.10	10.88	11.00	0.31	0.20	1.60	1.84
堤坝	5.63	6.05	-0.13	0.06	7.27	6.99	11.18	11.29	0.59	0.48	1.75	1.99

注：a 为中国陆壳；b 为上层陆壳^[14]；Bn 为背景值。

3.2 湖水中重金属与水质标准对比

湖水中的重金属元素质量浓度与中国卫生部饮用水标准(2005 年)、中国地表水水质标准(2002 年)、中国渔业水质标准(1989 年)比较,发现长寿湖水水质总体状况较好,所测定的 5 种重金属元素的质量浓度均低于我国饮用水卫生标准和渔业水质标准上限,仅有 Hg 的质量浓度超过我国Ⅲ类地表水水质标准,但低于Ⅳ类水标准. Hg 环境污染的来源有天然释放和人为 2 个方面. Hg 的自然来源较人为因素复杂,主要包括火山与地热活动;土壤、自然水体、植物表面的蒸腾作用;森林火灾;岩石风化等. 对湖水中 Hg 的来源和质量浓度的控制应该引起重视.

3.3 Igeo 指数评价底泥中重金属

Igeo 指数法考虑了人为污染因素、环境地球化学背景值,还特别考虑到自然成岩作用对背景值的影响,给出很直观的重金属污染级别,是用来反映沉积物中重金属富集程度的常用指标. 在评估底质重金属元素的富集程度时,不同的背景值 Bn 对评估结果有较大的影响. 本研究中将底泥中重金属元素分别和中国陆壳,上层陆壳中的重金属元素质量分数进行对比. 评价结果表明,长寿湖底泥重金属污染严重,主要污染物为 Cu,Pb,Cd,Hg,As($I_{geo} \geq 0$),Cd,Pb 是最严重的污染物,以 CCC 为背景值时 $Cd: 9.53 \leq I_{geo} \leq 11.18$, $Pb: 7.25 \leq I_{geo} \leq 7.39$;以 UCC 为背景值时 $Cd: 9.65 \leq I_{geo} \leq 11.29$, $Pb: 6.96 \leq I_{geo} \leq 7.10$. 堤坝由于长期处于静水状态,是长寿湖内重金属污染相对严重的区域. 底泥重金属积累是一个长期过程,且会随着水文变化和人类活动的干扰再次释放到水体造成二次污染,因此应当引起湖泊管理上的重视.

4 结 论

长寿湖水水质重金属仅 Hg 是潜在污染物质;底泥中的 Cd,Pb,Cu 是主要的污染物质,As 和 Hg 也已处于轻微污染的状态;底泥中的重金属元素在空间分布呈现出较好的一致性;相关性分析表明:水体和底泥各重金属元素间的关系都不密切,说明重金属没有特定的污染源.

参考文献:

[1] GONG X F, CHEN C L, ZHOU W B, et al. Assessment on Heavy Metal Pollution in the Sediment of Poyang Lake [J]. Environmental Science, 2006, 27(4): 732—736.

[2] 金相灿. 中国湖泊富营养化 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.

[3] 葛俊森, 梁 渠. 水中重金属危害现状及处理方法 [J]. 广州化工. 2007, 35(5): 69—70, 80.

[4] CAILLE N, TIFFREAU C, LEYVAL C, et al. Solubility of Metals in an Anoxic Sediment During Prolonged Aeration [J]. *Science of the Total Environment*, 2003, 301(1—3): 239—250.

[5] 周莉萍, 金相灿, 卢少勇, 等. 重庆市长寿湖重金属污染评价 [J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(7): 1355—1361.

[6] 白薇扬, 张成, 赵铮, 等. 三峡库区长寿湖水体不同形态汞的空间分布特征 [J]. *环境科学*, 2015, 36(8): 2863—2869.

[7] 杨志敏, 熊海灵, 张晟, 等. 重庆市长寿湖富营养化评价及氮磷平衡研究 [J]. *水土保持学报*, 2005, 19(2): 73—75.

[8] 陈大庆. *河流水生生物调查指南* [M]. 北京: 科学出版社, 2014.

[9] 国家环境保护总局. *水和废水监测分析方法* [M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.

[10] MULLER G. Index of Geoaccumulation in Sediments of the Rhine Rivery [J]. *Geological Journal*, 1969, 2: 108—118.

[11] 刘晖, 张昭, 李伟. 梁子湖水体和底泥中微量元素及重金属的空间分布格局及污染评价 [J]. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(Z1): 105—111.

[12] 杨钢, 张晟, 李崇明, 等. 重庆长寿湖水水质富营养化的调查及评价 [J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2003, 28(3): 492—495.

[13] OLIAS M, CERON J C, MORAL F, et al. Water Quality of the Guadiamar River after the Aznalcollar spill(SW Spain) [J]. *Chemosphere*, 2006, 62(2): 213—225.

[14] 黎彤. 中国陆壳及其沉积层和上陆壳的化学元素丰度 [J]. *地球化学*, 1994, 23(2): 140—145.

On Spatial Distribution and Evaluation of Heavy Metals in Water and Sediments at Changshou Lake

YU Feng-qin, CHEN Yuan-kun, DAN Yan,
ZHU Jie, MA Yue-gang, XIE Yong, LI Yan

Chongqing Fishery Sciences Research Institute, Chongqing 401120, China

Abstract: For this study, water and sediment were sampled from Changshou Lake, consequently about 5 heavy metals were determined for spatial and quality assessment. The results showed that Hg was the potential pollutant in water, and the maximum concentrations occurred in the sites close to Yemaoyan, an area with intense human activities. While in terms of sediment, As, Hg, Cu and particularly Cd, Pb was the major pollutant. cluster and correlation analyses demonstrated heavy metal in the sediment showed strong correlations. Correlations between the elements was not obvious, explained that there is no specific pollution source of heavy metals.

Key words: Changshou Lake; heavy metals; water; sediment; pollution assessment

责任编辑 包颖 崔玉洁