

重庆市长寿湖重金属污染评价

周莉萍^{1,2}, 金相灿², 卢少勇², 焦伟²

(1.重庆市长寿区环境保护局, 重庆 401220; 2.中国环境科学研究院湖泊环境创新基地, 国家环境保护湖泊污染控制重点实验室, 北京 100012)

摘要: 中国环境科学研究院采集了长寿湖沉积物样品, 分析其表层沉积物中 Pb、Cd、Cu、Zn、Cr、Ni、Hg、As 8 种重金属元素含量特征, 结果表明, 按照《土壤环境质量标准》, 目前长寿湖主要是 Cd、Hg 和 As 的污染, 且中部湖区沉积物重金属污染强度要高于东部和西部两区。各重金属间的相关性分析表明, Cu-Zn、Cu-Ni、Zn-Ni 之间呈极显著相关, 说明这 3 种元素污染源可能相同。由潜在生态风险评价结果可知, 长寿湖重金属污染只是略超轻微生态危害, 各重金属对长寿湖生态风险影响程度由高到低依次为: Hg>Cd>As>Pb>Ni>Cu>Cr>Zn。应用 Hakanson 潜在生态危害指数法评价其生态风险, 并提出了相关污染防治措施, 为预防和综合治理长寿湖提供了科学依据。

关键词: 长寿湖; 重金属污染; 生态风险

中图分类号: X825 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2010)07-1355-07

Access of Heavy Metals Pollution of Changshouhu in Chongqing, China

ZHOU Li-ping^{1,2}, JIN Xiang-can², LU Shao-yong², JIAO Wei²

(1.Environmental Protection Agency of Chongqing Changshou, Chongqing 401220, China; 2.State Environmental Protection Key Laboratory for Lake Pollution Control, Research Center of Lake Environment, Chinese Research Academy of Environment Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Heavy metals are mainly carried in sediments of water body, their concentrations play an important role on environmental quality of the water body. The concentrations of eight heavy metals (Pb, Cd, Cu, Zn, Cr, Ni, Hg and As) from surface sediments of Changshouhu were analyzed. The results showed that the surface sediments of Changshouhu were polluted mainly by Cd, Hg and As compared with the *Environmental quality standard for soils*, and the intensity of heavy metals pollution of middle area was higher than that of eastern and western area. According to the correlation analysis of various heavy metals, there was a remarkable correlation between Cu, Ni and Zn, which suggested they might have the same origin. Based on the potential ecological risk assessment results, the surface sediments of Changshouhu had reached a low ecological risk level, and the degree of ecological risk of different heavy metals in surface sediments in descending order was Hg>Cd>As>Pb>Ni>Cu>Cr>Zn. Ecological risk index presented by Hakanson to assess the potential ecological risk of Changshouhu was utilized, and some countermeasures for controlling of heavy metals pollution were set forth. Aim of this study is to pretend and control heavy metals pollution of Changshouhu.

Keywords: Changshouhu; heavy metals pollution; ecological risk

长寿湖位于重庆长寿区境内, 东经 107°15'~107°25', 北纬 29°50'~30°04', 水域面积约 6 667 hm², 平均

水深 15 m。湖内港汊纵横交错, 有岛屿 203 个, 是重庆市最大的湖泊旅游风景区, 同时也是重庆市重要的淡水鱼养殖基地之一, 随着旅游业、养殖业的蓬勃发展, 长寿湖已经成为集饮用、灌溉、旅游、养殖、发电为一体的多功能水体。龙溪河是长寿湖的主要水源, 其流域面积 3 248 km², 多年径流量为 54.0 m³·s⁻¹, 是重庆市辖区内流入长江的主要次级河流。由于长寿湖从 1992 年起逐步推行网箱网栏养鱼以来, 肥水养殖大

收稿日期: 2010-06-07

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2008ZX07101, 2009ZX07101); 国家高技术研究发展计划项目 (2005AA 60101005)

作者简介: 周莉萍 (1967—), 女, 学士学位, 主要从事气相色谱、原子吸收工作和研究。E-mail: cqzlp0728@163.com

通讯作者: 金相灿 E-mail: jinxiangcan2004@163.com

量泛滥,在全国均首屈一指,导致长寿湖水体急剧恶化。2004年4月虽全面拆除网箱网栏后,水质逐渐好转,但2006年后,水质出现反弹,除长寿湖周边的经济发展和旅游等外源污染外,千吨以上的网箱网栏养殖遗留的底泥等内源污染也加剧了长寿湖的水质恶化,相关研究表明目前长寿湖已处于富营养化水平^[1]。因此研究的沉积物存在的潜在生态风险显得尤为必要。

在受重金属污染水体中,沉积物中重金属含量可达水溶液中数百倍至数十万倍,分析和评价沉积物中污染物是环境调查评价中重要内容之一^[2-3]。关于沉积物中重金属的污染评价,目前应用较多的是 Hakan-son 生态风险指数法^[4-11],该法不仅反映某一特定环境中各种污染物影响,而且反映多种污染物的综合影响,并用定量方法划分出潜在生态风险程度^[12-13]。水系沉积物中重金属间相关性可判断其来源是否相同,若元素间显著相关,则说明它们出自同一来源可能性较大,这既可能是地球化学来源,也可能是人为活动造成的复合污染所致^[14]。

目前,国内外对长寿湖的污染研究尚不多,大多也集中于湖泊富营养化,缺乏重金属污染状况的系统调查^[15-16]。重金属作为对人类及牲畜有严重危害的污染物应引起关注,本文通过对长寿湖表层沉积物调查监测,初步分析评价了长寿湖重金属污染、分布及其生态风险,以期对重庆长寿湖重金属污染的风险管理和污染治理提供基础数据和理论依据。

1 材料与方法

1.1 采样点布设及样品采集

于2010年1月对长寿湖进行实地考察,根据水域及功能状况,将其分为西部、中部及东部3个湖区,分别为生态养殖区、生态旅游区和湿地保护区,中国环境科学研究院共布设24个底质调查点位并采集沉积物样,测定了表层沉积物中 Pb、Cd、Cu、Zn、Cr、Ni、Hg、As 等重金属指标,系统分析了不同湖区底泥重金属的污染状况。用麦哲伦 315 型定位仪导航定位,具体采样点位见图1。

在各样点用彼得森采泥器采集表层沉积物样(0~10 cm),现场立即均匀混合,装入洁净聚乙烯塑料袋后,迅速运回实验室低温(4℃)保存。

1.2 样品处理与分析

样品经冷冻干燥机干燥后,用玻璃棒压散,剔除贝壳及动植物残体等杂质,四分法取其 1/4 作实验样

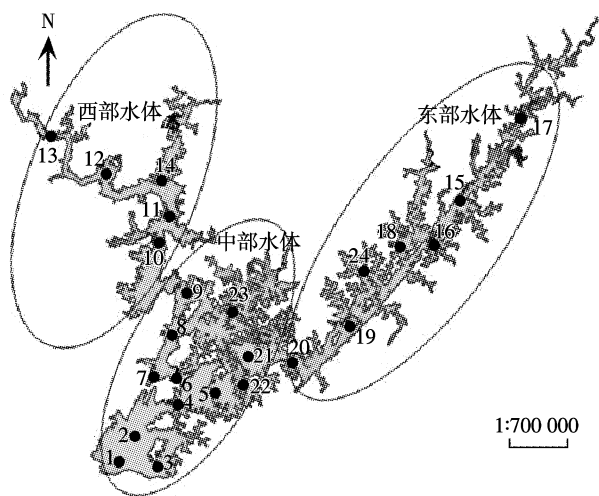


图1 采样点地理位置图

Figure 1 Geographic position of sampling sites

品,经玛瑙研钵研细过200目尼龙筛后,储于聚乙烯瓶中待测。 $\text{HNO}_3\text{--HCl--HClO}_4$ 分解法消解,ICP-AES法测定表层沉积物样中 Pb、Cd、Cu、Zn、Cr、Ni、Hg、As 含量^[17]。同时进行回收率测定,各元素测定回收率均在95%~105%范围内,所测样品设置2个平行样,测量分析的相对标准偏差均保持在10%以内,所有分析结果均以沉积物干重计。

2 结果与讨论

2.1 沉积物中各重金属含量分布

长寿湖底泥采集后,经消解,采用 ICP-AES 法测定表层沉积物样中 Pb、Cd、Cu、Zn、Cr、Ni、Hg、As 含量,结果见图2和表1。

2.1.1 沉积物中 Pb 污染现状

与《土壤环境质量标准》比较,本次监测的各点位底质样品中 Pb 含量平均值为 $34.90 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 达到土壤一级标准,其中67%底质样品达到土壤一级标准,33%样点达到土壤二级标准,最高值为 $54.30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (8# 点位),最低值为 $23.94 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (3# 点位)。

2.1.2 沉积物中 Cd 污染现状

Cd 含量平均值为 $0.77 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 超过土壤二级标准,其中17%底质样品达到土壤二级标准,63%样点达到土壤三级标准,20%样点超过土壤三级标准,最高值为 $1.46 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (7# 点位),最低值为 $0.28 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (19# 点位)。

2.1.3 沉积物中 Cu 污染现状

各点位 Cu 含量均达到土壤一级标准,平均值为 $15.48 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,最高值为 $21.12 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (3# 点位),最低

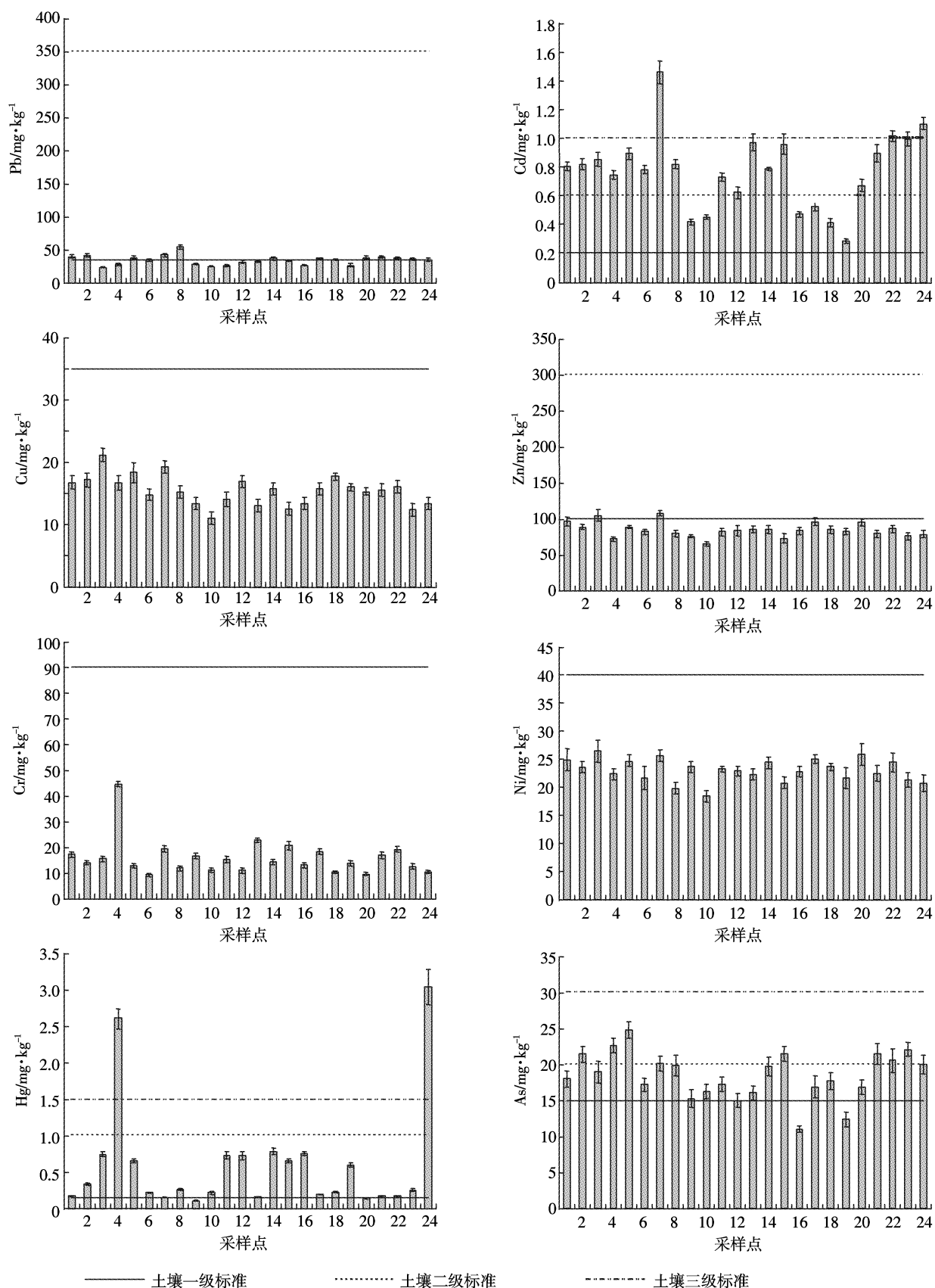


图2 长寿湖各点位表层沉积物中重金属含量

Figure 2 Concentrations of heavy metals in surface sediments of Changshouhu

值为 11.01 mg·kg⁻¹(10[#] 点位)。

2.1.4 沉积物中 Zn 污染现状

Zn 含量平均值为 85.01 mg·kg⁻¹, 达到土壤一级标准,其中 92%底质样品达到土壤一级标准,8%样点达到土壤二级标准,最高值为 108.15 mg·kg⁻¹(7[#] 点位),最低值为 65.05 mg·kg⁻¹(10[#] 点位)。

2.1.5 沉积物中 Cr 污染现状

各点位 Cr 含量均达到土壤一级标准, 平均值为 16.00 mg·kg⁻¹,最高值为 44.70 mg·kg⁻¹(4[#] 点位),最低值为 9.46 mg·kg⁻¹(6[#] 点位)。

2.1.6 沉积物中 Ni 污染现状

各点位 Ni 含量均达到土壤一级标准, 平均值为 23.04 mg·kg⁻¹,最高值为 26.44 mg·kg⁻¹(3[#] 点位),最低值为 18.44 mg·kg⁻¹(10[#] 点位)。

2.1.7 沉积物中 Hg 污染现状

Hg 含量除在 4[#] 和 24[#] 点位含量明显高于其他各点外,其余各点含量均较小且差别不大,各监测点位平均含量为 0.58 mg·kg⁻¹, 达到土壤二级标准, 其中 13%底质样品达到土壤一级标准,79%样点达到土壤二级标准,8%样点超过土壤三级标准,最高值为2.61 mg·kg⁻¹(24[#] 点位),最低值为 0.14 mg·kg⁻¹(20[#] 点位)。

2.1.8 沉积物中 As 污染现状

As 含量平均值为 18.48 mg·kg⁻¹, 达到土壤二级标准,其中 8%底质样品达到土壤一级标准,54%样点达到土壤二级标准,38%样点超过土壤二级标准,最高值为 24.84 mg·kg⁻¹(5[#] 点位),最低值为 11.03 mg·kg⁻¹(16[#] 点位)。

污染现状分析可知,长寿湖各点位表层沉积物中除 Cd、Hg 和 As 平均含量超过土壤一级标准外,其余 5 种重金属平均含量均达到土壤一级标准,说明目前长寿湖主要是 Cd、Hg 和 As 的污染,其余 5 种重金属

表 1 长寿湖各区表层沉积物中重金属平均含量(mg·kg⁻¹)

Table 1 Average concentrations of heavy metals in surface sediments from different areas of Lake Changshouhu(mg·kg⁻¹)

项目	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Ni	Hg	As
西部	31.09	0.71	14.15	80.75	15.03	22.25	0.52	16.87
中部	37.23	0.88	16.40	86.78	17.64	23.42	0.49	20.23
东部	33.63	0.63	14.86	85.02	13.88	22.94	0.80	16.62

污染尚属清洁范畴。中部湖区沉积物重金属污染强度要高于东部和西部两区(表 1),此区域功能上为长寿湖旅游观光区,人类活动频繁,主要是旅游船舶污染导致此区域重金属较高。值得注意的是,重金属 Hg 在 4[#] 和 24[#] 点位含量均明显高于其他各点位,这种突变性应该与人类活动有关,且由于污染影响范围较小,在元素含量变化趋势图上显示为高值点异常突起,这种污染应该是点源污染引起。

2.2 沉积物中重金属元素间的相关性分析

长寿湖表层沉积物中不同重金属含量间相关性分析结果表明(表 2),Cu-Zn、Zn-Ni、Ni-Cu、Cd-As 间均有很高相关性,表明它们同源性很高,尤其 Cu、Zn、Ni 之间,呈极显著相关,说明长寿湖沉积物中这 3 种元素可能具有相似的来源,主要来自龙溪河上游工业废水、沿湖场镇生活污水、周边果林施用化肥农药产生的面源污染等。

2.3 重金属潜在生态风险评价

选用潜在生态风险指数法评价长寿湖表层沉积物,以了解各重金属对长寿湖生态环境的潜在危害程度。据此法^[13],某区域沉积物中第 i 种重金属的潜在生态危害系数 E_r^i 及沉积物中多种重金属的潜在生态危害指数 RI 可分别表示为:

$$E_r^i=T_r^i\times C_f^i \tag{1}$$

表 2 长寿湖表层沉积物中各重金属含量间的相关矩阵

Table 2 Relative matrix between the heavy metals in surface sediment of Changshouhu

元素	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Ni	Hg	As
Pb	1							
Cd	0.456 2	1						
Cu	0.163 9	0.195 7	1					
Zn	0.246 1	0.325 2	0.749 1**	1				
Cr	-0.170 9	0.176 0	0.113 3	-0.109 4	1			
Ni	0.055 5	0.146 3	0.718 0**	0.847 2**	0.066 5	1		
Hg	-0.259 9	0.137 2	-0.018 2	-0.268 4	0.386 6	-0.216 3	1	
As	0.455 6	0.648 2*	0.259 3	-0.000 7	0.297 3	0.070 1	0.209 5	1

注: * 显著性相关(样本数 $n=24$, 显著性水平 $P<0.05$); ** 极显著性相关(样本数 $n=24$, 显著性水平 $P<0.01$)。

$$RI=\sum_{i=1}^n E_i^i=\sum_{i=1}^n T_i^i\times C_f^i=\sum_{i=1}^n T_i^i\times C_i^i/C_n^i \tag{2}$$

其中 C_f^i 为重金属富集系数($C_f^i=C_i^i/C_n^i$); C_i^i 为表层沉积物中重金属 i 浓度实测值; C_n^i 为所需参比值,采用现代工业化前沉积物中重金属的正常最高背景值^[8](表 3); T_i^i 为重金属 i 的毒性系数(有关毒性系数为 Cd=30、Pb=5、Cu=5、Ni=5、Cr=2、Zn=1、As=10、Hg=40),它

表 3 重金属元素背景参考值(mg·kg⁻¹)

Table 3 Background reference values of heavy metals(mg·kg⁻¹)

元素	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Ni	Hg	As
含量	25	0.5	30	80	60	40.1	0.25	15

表 4 重金属潜在生态危害系数 E_i^i 、潜在生态危害指数 RI 与污染程度的关系

Table 4 Potential ecological risk factor (E_i^i) and potential ecological risk index (RI) about pollution level

E_i^i	RI	生态危害程度
$E_i^i<40$	$RI<150$	轻微
$40\leq E_i^i<80$	$150\leq RI<300$	中等
$80\leq E_i^i<160$	$300\leq RI<600$	强
$160\leq E_i^i<320$	$RI\geq 600$	很强
$320\leq E_i^i$		极强

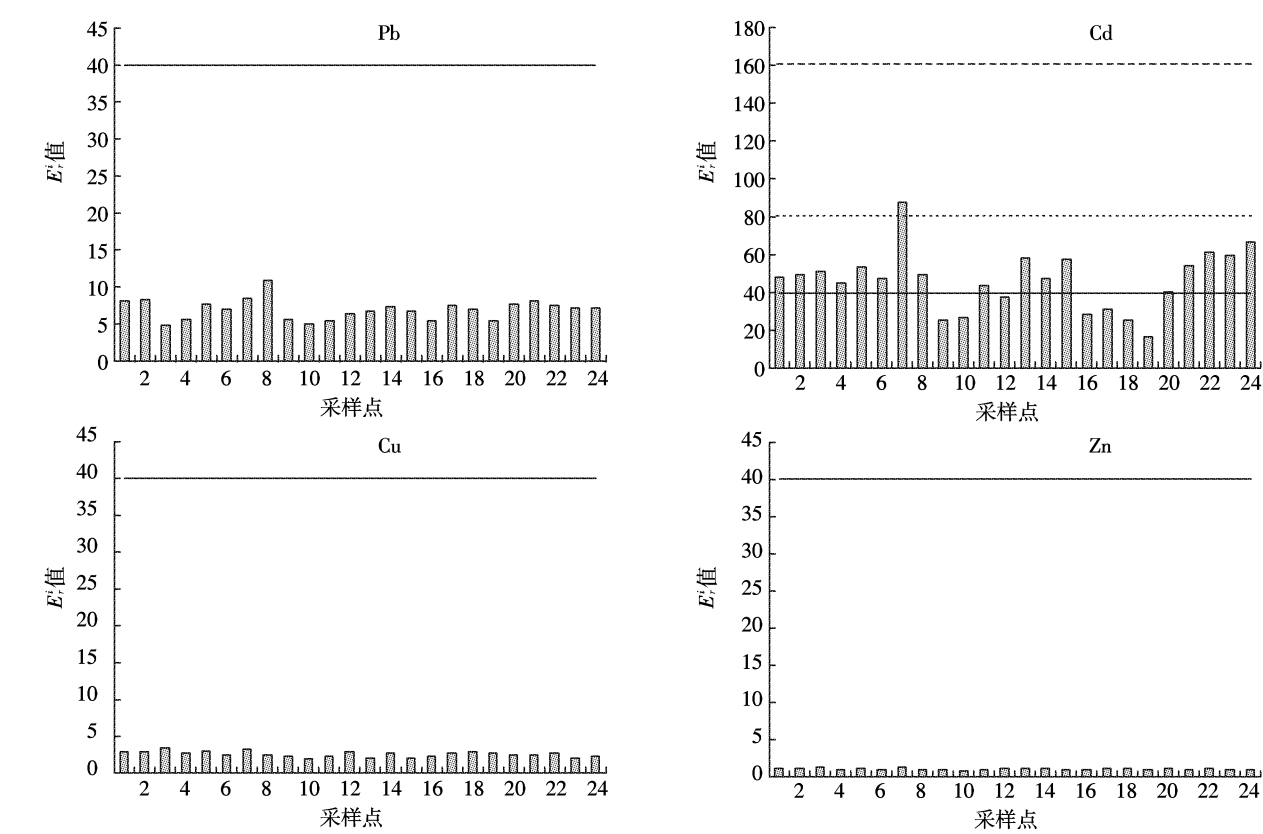
主要反应重金属的毒性水平和生物对重金属污染的敏感程度^[13]。沉积物重金属生态危害程度的划分标准见表 4。

将实测长寿湖表层沉积物中各重金属含量分别代入上式,可计算出潜在生态危害系数 E_i^i 和指数 RI , 分别代表各样点单个污染物潜在生态危害程度和总生态风险程度,评价结果详见图 3~图 5。

由图 3~图 5 可见,以单个重金属潜在生态危害系数评价,长寿湖表层沉积物中主要生态风险因子是元素 Cd 和 Hg, 其中 Cd 在各采样点平均 E_i^i 值为 46.28,达到中等生态危害,而 Hg 在各采样点平均 E_i^i 值为 93.56,达到强生态危害,特别是 4[#] 和 24[#] 点位,其 E_i^i 值均超过 320,已具极强生态危害,需引起注意。其余 6 种元素 E_i^i 值均小于 40,属轻微生态危害,各重金属对长寿湖生态风险影响程度由高到低依次为: Hg>Cd>As>Pb>Ni>Cu>Cr>Zn。以多个重金属潜在生态危害指数评价,24 个采样点平均 RI 值为 166.18,说明目前长寿湖重金属污染只是略微超过轻微生态危害。

3 结论

(1)与《土壤环境质量标准》比较,目前长寿湖主



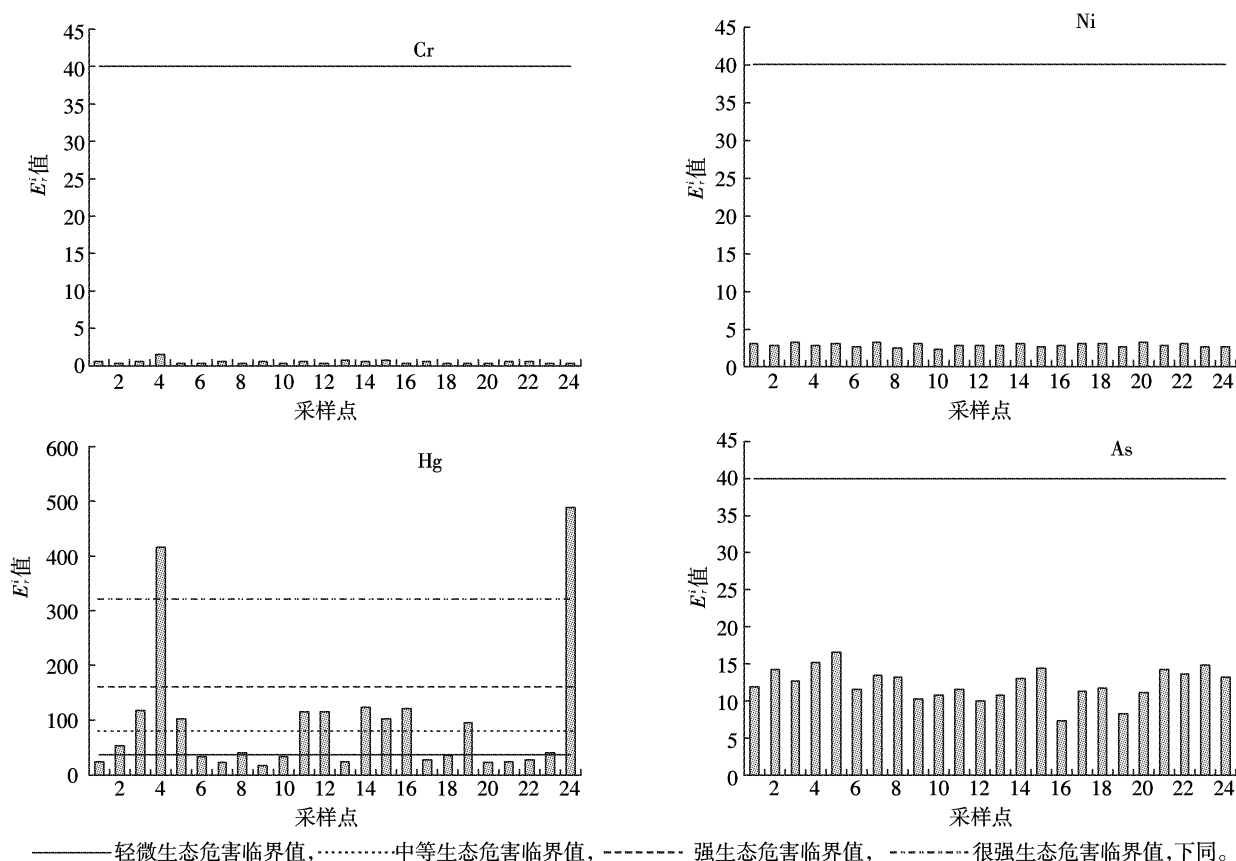
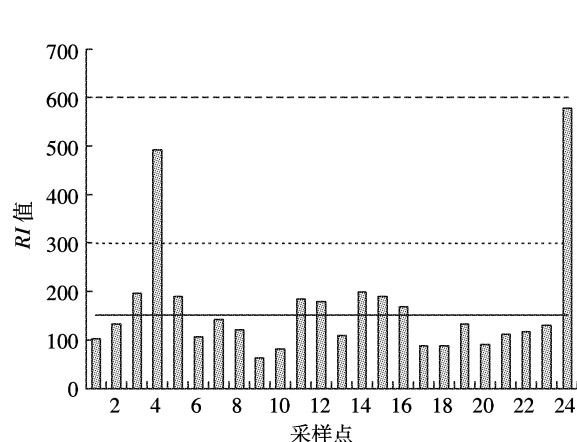
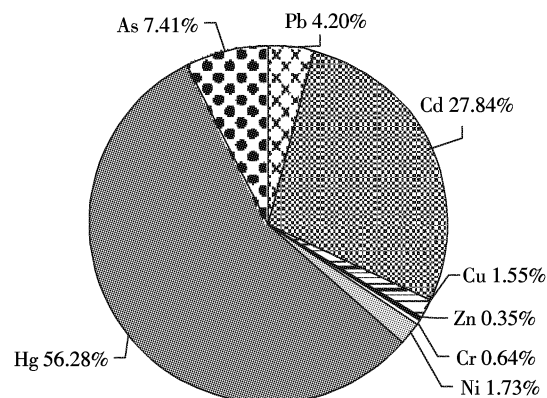
图3 长寿湖各点位重金属生态危害系数 E_i^i Figure 3 Potential ecological risk factor (E_i^i) of heavy metals in Changshouhu图4 长寿湖各点位生态危害指数 RI Figure 4 Potential ecological risk index (RI) of Changshouhu

图5 不同重金属对潜在生态危害指数的贡献图

Figure 5 Contribution of various heavy metals to potential ecological risk index

要是 Cd、Hg 和 As 的污染,中部湖区沉积物重金属污染强度要高于东部和西部两区,主要来源于旅游船舶污染;治污方案是机动船舶要全部安装油水分离器,尽快开展长寿湖船舶污染整治,不准直排入长寿湖。

(2)不同重金属含量间相关性分析表明,Cu、Zn、

Ni 之间呈极显著相关,说明长寿湖沉积物中这 3 种元素污染源可能相同,主要来自龙溪河上游工业废水、生活污水以及周边果林施用化肥农药产生的面源污染等;治污方案是关停上游小型造纸厂,沿湖场镇尽快建设污水处理场和垃圾中转站,沿湖 50 m 范围

建设绿化带。

(3)由潜在生态风险评价结果可知,目前长寿湖沉积物重金属污染只是略微超过轻微生态危害,主要生态风险因子是元素Cd和Hg,分别达到中等生态危害和强生态危害,各重金属对长寿湖生态风险影响程度由高到低依次为: $Hg > Cd > As > Pb > Ni > Cu > Cr > Zn$ 。

参考文献:

- [1] 张 晟, 李崇明, 张 勇, 等. 长寿湖富营养化调查[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(3):32-34.
ZHANG Sheng, LI Chong-ming, ZHANG Yong, et al. Eutrophication investigation of Changshou Reservoir in Chongqing[J]. *Chongqing Environmental Science*, 2003, 3(5):32-34.
- [2] 程永前, 蒋大和, 马红梅, 等. 常州市河流重金属污染评价[J]. 环境保护科学, 2007, 33(2):76-78.
CHENG Yong-qian, JIANG Da-he, MA Hong-mei, et al. Evaluation of heavy metals pollution in Changzhou's rivers[J]. *Environmental Protection Science*, 2007, 33(2):76-78.
- [3] 马德毅. 海洋沉积物的污染指示作用和监测方法[J]. 海洋通报, 1993, 12(5):89-96.
MA De-yi. Pollution indicating effects and monitoring methodology of marine sediments[J]. *Marine Science Bulletin*, 1993, 12(5):89-96.
- [4] 卢少勇, 焦 伟, 金相灿, 等. 滇池内湖滨带沉积物中重金属形态分析[J]. 中国环境科学, 2010, 30(4):487-492.
LU Shao-yong, JIAO Wei, JIN Xiang-can, et al. Speciation of heavy metals in sediments from inner lakeside belt of Lake Dianchi [J]. *China Environmental Science*, 2010, 30(4):487-492.
- [5] 李 梁, 胡小贞, 刘婷婷, 等. 滇池外海底泥重金属污染分布特征及风险评价[J]. 中国环境科学, 2010, 30(1):46-51.
LI Liang, HU Xiao-zhen, LIU Pin-ting, et al. Heavy metals distribution characteristics and potential ecological risk evaluation in the sediment of outer area of Lake Dianchi[J]. *China Environmental Science*, 2010, 30(1):46-51.
- [6] 焦 伟, 卢少勇, 李光德, 等. 滇池内湖滨带重金属污染及其生态风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(4):740-745.
JIAO Wei, LU Shao-yong, LI Guang-de, et al. Heavy metals pollution and potential ecological risk assessment of Inner lakeside belt of Lake Dianchi[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(4):740-745.
- [7] 罗先香, 张 蕊, 杨健强, 等. 莱州湾表层沉积物重金属分布特征及污染评价[J]. 生态环境学报, 2010, 19(2):262-269.
LUO Xian-xiang, ZHANG Rui, YANG Jian-qiang, et al. Distribution and pollution assessment of heavy metals in surface sediment in Laizhou Bay[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(2):262-269.
- [8] Seralathan K B, Prabhu D B, Lee K J, et al. Assessment of heavy metals (Cd, Cr and Pb) in water, sediment and seaweed in the pulicat lake, southeast India[J]. *Chemosphere*, 2008, 71(7):1233-1240.
- [9] Sadiq R, Husain T, Bose N, et al. Distribution of heavy metals in sediment pore water due to offshore discharges: an ecological risk assessment[J]. *Environmental Modeling & Software*, 2003, 18(5):451-461.
- [10] Kwon Y T, Lee C W. Ecological risk assessment of sediment in wastewater discharging area by means of metal speciation[J]. *Micro-Chemical Journal*, 2001, 70(3):255-264.
- [11] Brian R, Neil R, Han D Y, et al. An assessment of toxicity in profundal lake sediment due to deposition of heavy metals and persistent organic pollutants from the atmosphere[J]. *Environment International*, 2008, 34(3):345-356.
- [12] 陈伯扬. 重金属污染评价及方法对比-以福建浅海沉积物为例[J]. 地质与资源, 2008, 17(3):213-218.
CHEN Bo-yang. Assessment of heavy metal pollution and method comparison: A case study of the shallow-sea sediments in Fujian[J]. *Geology and Resources*, 2008, 17(3):213-218.
- [13] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sediment logical approach[J]. *Water Research*, 1980, 14(8):995-1001.
- [14] 王永华, 刘振宇, 刘 伟, 等. 巢湖合肥区底泥污染物分布评价与相关特征研究[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2003, 39(4):502-506.
WANG Yong-hua, LIU Zhen-yu, LIU Wei, et al. Distribution and correlation characteristics between pollutants in sediment in Chaohu Lake, China[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2003, 39(4):502-506.
- [15] 杨志敏, 熊海灵, 张 晟, 等. 重庆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.
YANG Zhi-min, XIONG Hai-ling, ZHANG Sheng, et al. Assessment of eutrophication and balance of N and P in Changshou Reservoir[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(2):73-75.
- [16] 何太蓉, 刘存东, 庄红娟. 重庆市清水溪河流沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 环境工程学报, 2009, 3(7):1329-1332.
HE Tai-rong, LIU Cun-dong, ZHUANG Hong-juan. Pollution of heavymetals in the sediments from Qingshui Stream in Chongqing and its potential ecological risk assessment[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2009, 3(7):1329-1332.
- [17] 吴君兰, 张国平, 朱 恩, 等. 土壤中重金属含量检测技术的研究[J]. 上海农业学报, 2005, 21(4):82-85.
WU Jun-lan, ZHANG Guo-ping, ZHU En, et al. Study on the heavy metal content testing in soil[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2005, 21(4):82-85.
- [18] 陈静生, 周家义. 中国水环境重金属研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992: 168-170.
CHEN Jing-sheng, ZHOU Jia-yi. Research of heavy metal in water environment, China[M]. Beijing: China Environment Science Press, 1992:168-170.