

## 红枫湖入库河流沉积物中重金属污染状况分析

曾艳<sup>1,2</sup>, 张维<sup>3</sup>, 陈敬安<sup>1\*</sup>, 朱正杰<sup>1</sup>, 王敬富<sup>1,2</sup>, 李键<sup>1</sup>, 杨永琼<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 贵州省环境科学研究设计院, 贵阳 550002)

**摘要:** 采用综合污染指数法和 Hakanson 生态风险指数法, 对红枫湖几条主要入湖河流入湖处以及原后五养殖区沉积物中 8 种重金属 (Cd、Pb、Cu、Co、Ni、Cr、V、Zn) 含量进行了分析。研究表明桃花源河污染最严重, 达到了中等污染水平 ( $P=2.70$ ,  $RI=171.02$ ); 后六河尽管 Zn 污染较严重, 但其生态危害性低; 其余河流的污染程度都较低。几条入湖河流的潜在生态危害性由高到低的顺序为: 桃花源河 > 后六河 > 羊昌河 > 麻线河。所研究的 8 种重金属中只有 Cd ( $E_i$  均  $\geq 40$ ) 具有较高的潜在生态风险, 桃花源河的 Cd 的  $E_i$  最高 ( $E_i=82$ )。其余重金属由于毒性系数小, 尽管部分重金属含量达到了背景值的许多倍, 但都无显著的潜在生态风险。但是后六河的 Zn 含量高过了生态效应必然浓度值 (PEL), 需引起重视。通过对桃花源河沉积物重金属含量垂向变化的研究发现, 在早期成岩过程中沉积物中 Cd、Pb、Ni、Co、Cr、Cu、V 的沉降主要受有机质的控制; Cr 不仅受有机质的影响, 还受氧化还原条件的影响; 而 Zn 则明显受粒度的控制。

**关键词:** 沉积物; 红枫湖; 生态风险; 重金属; 污染; 有机质

**中图分类号:** X142, X820.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9250(2010)04-0470-06

红枫湖位于贵州高原中部, 距贵阳市区 32 km, 地处  $106^{\circ}24'E \sim 106^{\circ}43'E$ ,  $26^{\circ}31'N \sim 26^{\circ}34'N$ , 属乌江水系, 是猫跳河的上游, 也是长江水系上游的支流之一。该湖是贵州省 1958 年开始在猫跳河干流上筑坝兴建的一座高原人工河道水库, 于 1960 年 5 月建成后, 对流域内工农业生产和旅游业发展起到了重要的支撑作用, 同时还担负着周边地区 (包括贵阳市) 供水的重任。但随着工业化和城市化的迅速发展, 大量工业和城镇污水难以完全得到控制, 加之湖周边农村面源污染和湖面投饵养殖给湖泊直接带来的巨大污染负荷, 导致红枫湖水质持续恶化, 水体富营养化程度日益加重, “蓝藻暴发”时有发生, 直接威胁着区域供水和生态安全。前人对氮磷等营养盐的输入来源、空间分布、赋存形态、内源释放机制, 以及污染物消减对策方面都做了大量的研究。

湖泊沉积物不仅是氮磷等营养元素的源和汇, 也是重金属污染的载体和蓄积库<sup>[1]</sup>, 沉积物中重金属污染对生态环境的潜在危害也不容忽视。通过各种途径进入水体的重金属绝大部分迅速转移至沉积物或悬浮物中, 悬浮物在被水流搬运迁移的过程中也可以逐渐转变为沉积物。在适宜的条件下, 有害

金属能通过各种方式从底部沉积物中重新释放出来, 以改变了的形态迁移到食物链中, 最终进入人体, 引起慢性或急性疾病。对沉积物中重金属的研究无论在研究环境中重金属污染现状及分布规律, 或是在追踪可能的重金属污染源方面, 都有着非常重要的理论和现实意义<sup>[2]</sup>。

梁莉莉<sup>[3]</sup>、黄先飞<sup>[4]</sup>、袁慧民<sup>[5, 6]</sup>、张曼华等<sup>[7]</sup>对红枫湖沉积物中重金属做过污染评价。但他们的研究都主要集中在对 Hg、As、Pb、Cd、Cu、Zn 等金属污染现状的研究, 而对红枫湖沉积物中 Cr、V、Co、Ni 等重金属含量的调查还几乎是空白, 而且前人也未对几条入库河流重金属污染情况进行考察。徐争启<sup>[8]</sup>根据 Lars Hakanson<sup>[9]</sup>的计算原则, 结合陈静生的计算方法, 重新计算了 Zn、Cu、Ni、Pb、V、Co、Cr、As、Cd、Hg 10 种重金属的毒性系数, 与 Lars Hakanson 的 7 种重金属元素的毒性系数比较, 结果一致。根据他的结果,  $Zn=1 < V=Cr=2 < Cu=Ni=Co=Pb=5 < As=10 < Cd=30 < Hg=40$ , 所以沉积物中 V、Cr、Co、Ni 的累积情况也不容忽视。对不同入库河流入湖口附近的沉积物中重金属含量进行研究, 不仅便于考察重金属的主要来源, 同时由

收稿日期: 2010-01-26; 改回日期: 2010-09-17

基金项目: 贵阳市科学技术计划项目和国家自然科学基金项目 (40721002)

第一作者简介: 曾艳 (1983—), 女, 博士研究生, 从事湖泊沉积物元素地球化学研究。E-mail: zyan-2004@163.com.

\* 通讯作者: 陈敬安, 研究员。E-mail: chenjingan@vip.skleg.cn.

于河流入湖口附近水动力作用较强,沉积物中重金属易于受到扰动而释放进入水体中。因此,对河流入湖处沉积物中重金属的研究具有重要的现实意义。原后五养殖区是红枫湖沉积物污染较重的区域,该区域也作为我们研究的对象。本文对红枫湖几条主要支流入口处以及原后五养殖区的沉积物中 8 种重金属(Cd、Pb、Cu、Co、Ni、Cr、V、Zn)含量进行了分析,旨在分析不同入湖河流以及原后五养殖区的重金属污染情况,为该湖重金属污染防治和治理提供依据。

## 1 采样与分析方法

### 1.1 样品采集

红枫湖主要水源是入湖河流,主要有羊昌河、后六河、麻线河、桃花源河、麦包河,唯一的出口为猫跳河。我们于 2008 年 8 月共采集了 7 个湖泊沉积物柱芯,采样点的分布见图 1。我们选择了主要支流入湖处且偏向湖主体的位置作为采样点,既便于对水体的污染评价,又可考查重金属的主要来

源。另外,原后五养殖区是红枫湖沉积物氮磷含量最高的区域,该区域也作为我们考查的对象。采样点③凹力是红枫湖南湖与北湖的分界点,又距西郊水厂取水点较近。

样品的采集采用中国科学院地球化学研究所自行研制的沉积物重力采样器。沉积物柱芯保持完好,悬浮层未受扰动,界面水清晰。对采集到的沉积物柱芯,从表层到底层按 0~5 cm,5~10 cm,10~20 cm,20~30 cm,……进行分样。样品装入封口袋中,运回实验室。

### 1.2 样品的处理与分析

将采集到的样品冷冻干燥(FD-1A-50),用四分法取出 5 g,研磨过 120 目筛,保存备用。取 1 g 左右于纸袋中,放置于烘箱中(30℃)烘 2~3 h。准确称取 50 mg 样品放置于 Teflon 罐中,加入 0.8 mL-HF 和 1 mL HNO<sub>3</sub>,将 Teflon 罐放置于钢罐中高温密闭消解。重金属含量的分析采用中国科学院地球化学研究所电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS),分析精度为±5%。有机碳的分析采用总碳扣除无机碳,总碳的测定采用 PE2400 II 型元素分析仪,测量误差均小于 5%。无机碳采用化学容量法测定,误差小于 5%。

## 2 结果与讨论

### 2.1 红枫湖表层沉积物重金属污染评价

#### 2.1.1 红枫湖表层沉积物中重金属含量及评价参照背景值

表 1 列出了红枫湖几个采样点沉积物柱芯表层(0~5 cm)各重金属元素的含量。为了便于比较,表 2 中列出了相关的背景资料:①贵州省土壤背景值,数据选自《中国土壤元素背景值》一书<sup>[10]</sup>;②红枫湖水水库消落区表层土壤重金属含量<sup>[11]</sup>;③ TEL 和 PEL,数据来自加拿大环境部(1996)根据数据库

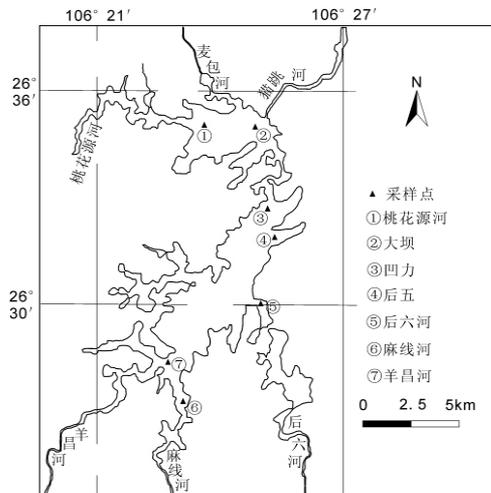


图 1 红枫湖采样点分布图

Fig. 1 Location of sampling sites in the Hongfeng Lake

表 1 红枫湖表层 5cm 沉积物中重金属含量

Table 1 The contents of heavy metals in the surface sediments of the Hongfeng Lake

ug/g

采样点	Cd	Pb	Cu	Ni	Co	Cr	V	Zn
桃花源河	1.640	89.6	150.9	89.8	55.8	160.2	240	194.2
大坝	1.142	58.2	49.9	42.2	21.2	107.2	180	106.8
凹力	1.048	48.0	53.3	53.6	19.2	97.8	193	145.6
后五	0.960	44.0	69.9	52.4	23.6	171.4	238	139.6
后六河	1.416	72.1	50.5	38.9	17.0	84.1	252	628.0
麻线河	0.958	48.4	54.4	61.0	28.8	128.2	216	177.6
羊昌河	1.096	48.4	60.0	52.8	24.2	92.2	146	200.0

法初步制定的沉积物质量暂行标准, TEL(Threshold Effect Level)指产生生态效应的临界浓度, PEL(Probable Effect Level)指必然产生生态效应的浓

度值,前者简称生态效应临界浓度值,后者简称生态效应必然浓度值<sup>[12]</sup>。

表2 红枫湖沉积物重金属污染评价参照标准

Table 2 The assessment standards for heavy metals of the Hongfeng Lake

ug/g

	Cd	Pb	Cu	Ni	Co	Cr	V	Zn
贵州土壤背景值	0.659	35.2	32.0	39.1	19.2	95.9	138.8	99.5
红枫湖水库消落区表层土壤重金属含量	0.32	32.86	—	—	—	39.82	—	—
TEL	0.6	35	36	16	—	42	—	123
PEL	3.5	91	197	43	—	160	—	315

研究结果表明,按照生态危害临界浓度值(TEL)标准,除了大坝处采样点沉积物 Zn 的含量未超标外,其余各个采样点的重金属含量均超标。桃花源河、凹力、后五、麻线河以及羊昌河采样点沉积物中的 Ni 含量和后六河采样点沉积物 Zn 含量更是超过了生态效应必然浓度值(PEL)。

### 2.1.2 红枫湖表层沉积物中重金属综合污染指数分析

以水库消落区表层土壤重金属含量为参照,能更好的反映径流输入对湖泊沉积物重金属富集的影响。通过表2中消落区土壤中 Cd、Pb、Cr 的含量可以看出,它的重金属含量处于一个较低的水平,消落区的土壤流失对湖泊沉积物中重金属的污染影响不大。但是由于前人<sup>[11]</sup>对红枫湖水库消落区表层土壤重金属含量的研究仅是针对个别重金属,数据不全面。所以本文选择了贵州 A 层土壤背景值为参照,计算了红枫湖表层沉积物的重金属的污染系数(表3)。

本文选用均方根综合污染指数评价法<sup>[13]</sup>评价

各个点位的重金属综合污染情况,公式如下:

$$P = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_i^*)^2}$$

式中, P 为污染综合指数; n 为参加评价的污染物种类;  $C_i^*$  为污染系数,即沉积物中第 i 种污染物的实测含量与所选参照背景值之比。

研究结果表明,后六河沉积物中 Zn 污染最严重( $C_i^*=6.31$ ),其次就是桃花源河沉积物中的 Cu、Co、Pb、Cd、Ni,以及后六河沉积物中的 Cd 和 Pb( $C_i^*$ 均大于 2),其余的采样点位沉积物的各种金属污染系数大部分在 1~2 之间,只有后六河的 Ni、Co 和 Cr 污染系数小于 1。各个点的综合污染指数只有桃花源河和后六河大于 2。而后六河综合污染指数较高,主要是 Zn 严重污染的贡献。其余各个点位的综合污染指数均在 1~2 之间。表明红枫湖沉积物中重金属受到人为来源的污染,桃花源河污染程度最严重,后六河次之,其余采样点位的污染程度都较轻。

表3 红枫湖表层 5 cm 沉积物中重金属富集系数

Table 3 Accumulation coefficients of heavy metals in the surface sediments of the Hongfeng Lake

采样点	$C_i^*$								P
	Cd	Pb	Cu	Ni	Co	Cr	V	Zn	
桃花源河	2.49	2.54	4.72	2.3	2.91	1.67	1.73	1.95	2.70
大坝	1.73	1.65	1.56	1.08	1.10	1.12	1.29	1.07	1.35
凹力	1.59	1.36	1.67	1.37	1.00	1.02	1.39	1.46	1.38
后五	1.46	1.25	2.18	1.34	1.23	1.79	1.71	1.40	1.57
后六河	2.15	2.05	1.58	0.99	0.89	0.88	1.82	6.31	2.67
麻线河	1.45	1.37	1.70	1.56	1.50	1.34	1.56	1.78	1.54
羊昌河	1.66	1.38	1.88	1.35	1.26	0.96	1.05	2.01	1.49

注:以贵州土壤背景值为参照

### 2.1.3 红枫湖表层沉积物中重金属污染的生态危害评价

沉积物重金属污染的生态风险评价可以为环境规划管理和污染防治提供依据。重金属污染方面的评价方法很多,目前对湖泊沉积物中重金属污染的

风险评价多采用 Lars Håkanson 沉积物生态风险指数法<sup>[14-17]</sup>。它不仅反映了某一特定环境下沉积物中各种污染物对环境的影响,反映了环境中多种污染物的综合效应,而且用定量方法划分出了潜在的生态风险程度<sup>[18]</sup>。

Lars Håkanson 生态风险指数法的评价公式为: $E_i^p = T_i \times C_i$ ;  $RI = \sum E_i^p$

式中  $C_i$  为重金属的富集系数 ( $C_i = C_i^s / C_i^n$ ;  $C_i^s$  为表层沉积物重金属  $i$  含量的实测值;  $C_i^n$  为计算所需参照值);  $T_i$  为重金属  $i$  的毒性系数,反映其毒性水平和生物对其的污染的敏感程度;  $E_i^p$  为某区域沉积物中第  $i$  种重金属的潜在生态危害系数(前面已经列出);  $RI$  为某区域沉积物中多种重金属的潜在生态危害指数。

表4 沉积物中重金属生态危害程度划分标准(文献[9, 16])

Table 4 Criteria for dividing the ecological risk degrees of heavy metals in sediments (From ref. [9, 16])

生态危害系数或指数	生态危害程度
$E_i^p < 40$ 或 $RI < 150$	轻微
$40 \leq E_i^p < 80$ 或 $150 \leq RI < 300$	中等
$80 \leq E_i^p < 160$ 或 $300 \leq RI < 600$	较强
$E_i^p \geq 160$ 或 $RI \geq 600$	很强

潜在生态风险性指数综合评价反映沉积物中重金属的污染水平及潜在的生态危害性。Cd、Pb、Cu、Ni、Cr、Zn 生态危害系数的计算参照生态危害临界

值(TEL), Co、V 生态危害系数的计算参照贵州省土壤背景值。研究区的潜在生态风险性指数统计见表5。在所研究的几个点位, Cd 的  $E_i^p$  均  $\geq 40$ , 即具有较高的潜在生态风险, 桃花源河点位 Cd 的  $E_i^p$  最高 ( $\geq 80$ )。不同采样点位 Cd 的生态危害由高到低的排列顺序为: 桃花源河 > 后六河 > 大坝 > 羊昌河 > 凹力 > 后五 > 麻线河。其余的重金属由于其毒性系数小, 尽管部分重金属浓度超过背景值许多倍, 但无显著的潜在生态风险。

由于所研究的金属的种类与 Lars Håkanson 的研究有一些差别, Lars Håkanson 的研究中包括 PCB 和 Hg, 而 PCB 和 Hg 的毒性系数都为 40。依照表4中生态危害指数(RI)进行评级是非常保守的评价, 因为毒性系数高的污染物对 RI 的贡献相对较大。研究结果表明, 潜在的生态危害程度高到低的排列顺序为: 桃花源河 > 后六河 > 羊昌河 > 麻线河 = 大坝 > 后五 > 凹力, 且桃花源河沉积物中重金属的潜在生态风险远大于其他几条入库河流。桃花源河沉积物重金属含量已经到达了中等污染水平。

表5 红枫湖沉积物中重金属的潜在生态危害系数( $E_i^p$ )和危害指数(RI)

Table 5 Potential ecological risk coefficients( $E_i^p$ ) and indices(RI) of heavy metals in the sediments of the Hongfeng Lake

采样点	$E_i^p$								RI
	Cd	Pb	Cu	Ni	Co	Cr	V	Zn	
桃花源河	82.00	12.79	20.96	28.06	14.53	7.63	3.46	1.58	171.02
大坝	57.10	8.32	6.93	13.19	5.52	5.10	2.59	0.87	99.61
凹力	52.40	6.86	7.41	16.75	4.99	4.66	2.78	1.18	97.03
后五	48.00	6.29	9.70	16.38	6.15	8.16	3.43	1.13	99.24
后六河	70.80	10.29	7.01	12.16	4.44	4.00	3.63	5.11	117.44
麻线河	47.90	6.91	7.56	19.06	7.50	6.10	3.11	1.44	99.59
羊昌河	54.80	6.92	8.33	16.50	6.30	4.39	2.10	1.63	100.97

## 2.2 红枫湖沉积物柱芯重金属垂直分布特征

湖泊沉积物是沉积历史的直接记载, 而重金属元素的垂直分布特征是污染历史的反映, 因此研究沉积物柱芯元素的垂直分布是追踪污染历史的重要手段。以上不同的评价方法结果都表明桃花源河污染最严重, 达到了中等污染水平, 后六河尽管 Zn 污染较严重, 但是其生态风险较低, 其余河流的污染程度都较低。因此, 我们对桃花源河垂直分布情况做了分析。我们采得桃花源河沉积物柱芯 48 cm, 共分得 6 个样品。图2是桃花源河点位的沉积物柱芯重金属元素含量垂直变化图。Cd、Cu、Ni、Co 具有相似的垂向变化趋势, 从底部到顶部逐渐升高, 到表层 5~10 cm 处达到最大值, 表层 5cm 又有所降低。

相关性分析结果也表明 Cd、Cu、Ni、Co 之间具有显著的相关性 ( $P < 0.05$ ), 反映了这些重金属具有相似的来源或受某些因素共同控制。而 Pb、Cr、V、Zn 与其他重金属之间的相关性不显著或相关性极差。

为了进一步研究这些重金属在红枫湖中沉降的控制因素, 我们分析了沉积物柱芯有机质和 Zr、Mo、Rb 等金属元素的含量。Zr 没有明显人为来源的影响, 可作为陆源碎屑的指示剂<sup>[19, 20]</sup>; Mo 在缺氧环境中富集的特点使其可被用于反应氧化还原环境<sup>[21]</sup>; 而 Rb 与粘土含量具有显著的正相关关系<sup>[19, 22]</sup>。

所研究元素与 Zr 含量剖面变化的相关性极差, 可能说明了这些元素受到人为来源的影响。通过金

属元素与 Zr 含量比值消除陆源碎屑影响后, Cd/Zr、Pb/Zr、Ni/Zr、Co/Zr、Cr/Zr 均与 TOC 显著正相关 ( $P < 0.05$ ); Cu/Zr、V/Zr 与 TOC 的相关性也分别到达了 0.743 和 0.611。这表明在剔除陆源碎屑影响之后, Cd、Pb、Ni、Co、Cr、Cu、V 的沉降受有

机质的影响。Cr 与 Mo 相关性显著 ( $P < 0.05$ ), 表明了 Cr 的沉降不仅受有机质的影响, 还受氧化还原条件的影响。而 Zn 则与 Rb 显著正相关 ( $P < 0.05$ ), 反映了红枫湖中 Zn 的沉降明显受粒度的控制, 主要在粘土中富集。

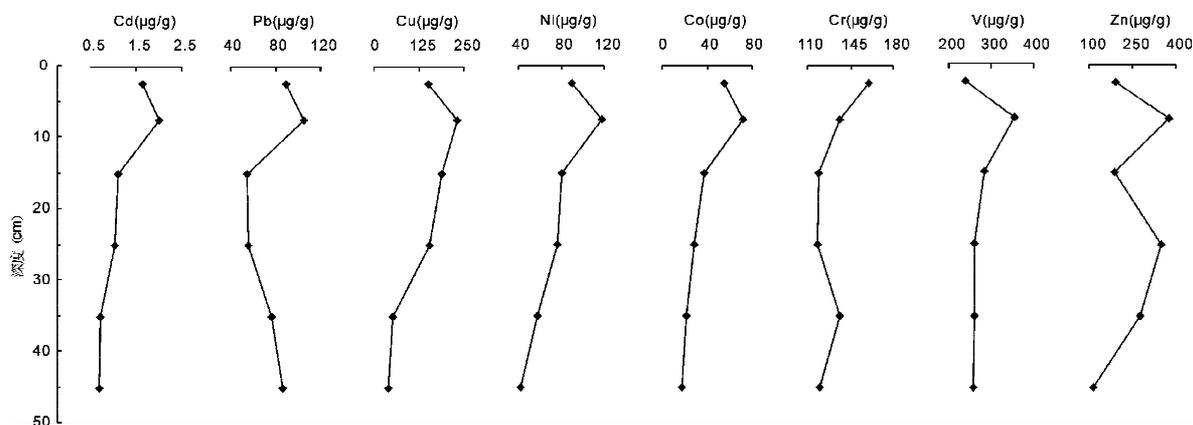


图2 桃花源河沉积物柱芯重金属含量垂直变化图

Fig. 2 Vertical distribution of heavy metals in the sediment core of the Taohuayuan River

### 3 结论

1) 通过不同的评价方法对红枫湖几条入库河流表层沉积物重金属污染情况进行了分析, 结果都表明, 桃花源河污染最严重, 达到了中等污染水平; 后六河尽管 Zn 污染较严重, 但是其生态风险程度较低; 其余河流的污染程度和潜在的生态危害性都较低。几条入库河流的潜在生态危害由高到低的顺序

为: 桃花源河 > 后六河 > 羊昌河 > 麻线河。

2) 后五养殖区对红枫湖水体富营养化的贡献很大, 但是对沉积物中重金属污染的影响不明显。

3) 通过对桃花源河沉积物重金属含量垂向变化的研究发现, 在剔除陆源碎屑影响之后, 在早期成岩过程中沉积物中 Cd、Pb、Ni、Co、Cr、Cu、V 的沉降主要受有机质的控制; Cr 不仅受有机质的影响, 还受氧化还原条件的影响; 而 Zn 则明显受粒度的控制。

### 参 考 文 献

- [1] Milenkovic N, Damjanovic M, Ristic M. Study of heavy metal pollution in sediments from the iron gate (Danube river), Serbia and Montenegro[J]. Polish Journal of Environmental Studies, 2005, 14(6): 781-787.
- [2] 姚志刚, 鲍征宇, 高璞. 湖泊沉积物中重金属的环境地球化学[J]. 地质通报, 2005, 24(10): 997-1001.
- [3] 梁莉莉, 王中良, 宋柳霆. 贵阳市红枫湖水体悬浮物中重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(2): 119-125.
- [4] 黄先飞, 秦樊鑫, 胡继伟, 等. 红枫湖沉积物中重金属污染特征与生态危害风险评价[J]. 环境科学研究, 2008, 21(2): 18-23.
- [5] 袁惠民, 陈文生. 红枫湖沉积物中主要重金属潜在生态危害性评价[J]. 贵州环保科技, 1997, 3(3): 39-43.
- [6] 袁惠民, 陈文生. 红枫湖底质中重金属的分布与污染评价研究[J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 1993, 11(1): 6-10.
- [7] 张曼华, 申德君, 吴晓林, 等. 红枫湖水体中重金属污染的现状分析[J]. 贵州大学学报: 自然科学版, 2007, 24(3): 327-330.
- [8] 徐争启, 倪师军, 虞先国, 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.
- [9] Hakanson L. An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution-Control-A Sedimentological Approach[J]. Water Research, 1980, 14(8): 975-1001.

- [10] 国家环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [11] 范成五, 熊元, 秦松. 红枫湖水库消落区典型土壤养分与重金属含量调查[J]. 西南农业学报, 2008, 21(4): 1029—1032.
- [12] Smith S L. The development and implementation of Canadian sediment quality guidelines[A]. In: Munawar M and Dave G. (eds.) Development and progress in sediment quality assessment Rational, challenges, technology and strategies[C]. SPB Academic Publishing, Amsterdam, The Netherlands; 1996, 223—249.
- [13] 范成新, 朱育新, 吉志军, 等. 太湖宜溧河水系沉积物的重金属污染特征[J]. 湖泊科学, 2002, 14(3): 235—241.
- [14] Blom G, Winkels H J. Modelling sediment accumulation and dispersion of contaminants in Lake IJsselmeer (The Netherlands)[J]. Water Science and Technology, 1998, 37(6): 17—24.
- [15] Chapman P M, Wang F Y. Assessing sediment contamination in estuaries[J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2001, 20(1): 3—22.
- [16] 马德毅, 王菊英. 中国主要河口沉积物污染及潜在生态风险评价[J]. 中国环境科学, 2003, 23(5): 521—525.
- [17] 陈守莉, 王平祖, 秦明周, 等. 太湖流域典型湖泊沉积物中重金属污染的分布特征[J]. 江苏农业学报, 2007, 23(2): 124—130.
- [18] 刘成, 王兆印, 何耘, 等. 环渤海湾诸河口潜在生态风险评价[J]. 环境科学研究, 2002, 15(5): 33—37.
- [19] Koinig K A, Shotyk W, Lotter A F, *et al.* 9000 years of geochemical evolution of lithogenic major and trace elements in the sediment of an alpine lake — the role of climate, vegetation, and land—use history[J]. Journal of Paleolimnology, 2003, 30(3): 307—320.
- [20] 田正隆, 戴英, 龙爱民, 等. 南沙群岛海域沉积物稀土元素地球化学研究[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(1): 8—14.
- [21] Adelson J M, Helz G R, Miller C V. Reconstructing the rise of recent coastal anoxia; molybdenum in Chesapeake Bay sediments[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2001, 65(2): 237—252.
- [22] Dasch E J. Strontium isotopes in weathering profiles, deep-sea sediments, and sedimentary rocks[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1969, 33(12): 1521—1552.

## Analysis of Heavy metal Pollution in the Sediment of the Inflow-lake Rivers of the Hongfeng Lake

ZENG Yan<sup>1,2</sup>, Zhang Wei<sup>3</sup>, CHEN Jing-an<sup>1</sup>, ZHU Zheng-jie<sup>1,3</sup>,  
WANG Jing-fu<sup>1,2</sup>, LI Jian<sup>1</sup>, Yang Yong-qiong<sup>1,2</sup>

(1. The State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Guizhou Research and Designing Institute of Environmental Science, Guiyang 550002, China)

**Abstract:** Based on the analysis of the contents of 8 heavy metals (Cd, Pb, Cu, Co, Ni, Cr, V, Zn) in the sediments of 4 main inflow-lake rivers of the Hongfeng Lake and Houwu fish-farm, the quality status of these sediments was evaluated by adopting comprehensive pollution index and Hakanson ecological risk index. The sediments of the Taohuayuan River are most seriously polluted, reaching a moderate level of pollution ( $P=2.70$ ,  $RI=171.02$ ). Although the concentrations of Zn in the sediments of the Houliu River are high, the ecological risk is slight. The sediments of the other rivers have low pollution levels. The potential ecological risks follow the order of Taohuayuan River > Houliu River > Yangchang River > Maxian River. Overall potential ecological risk is mainly attributed to Cd, whose potential ecological risks in all the sediments were identified to be moderate or severe, and the others only caused slight ecological risks. A analysis of the variations of the contents of the 8 heavy metals and TOC, Mo and Rb along with the depth profile shows that the deposition of Cd, Pb, Ni, Co, Cr, Cu, and V is controlled mainly by the variation of TOC during early diagenetic processes. Cr was determined in terms of redox conditions and diagenetic processes, and Zn was mainly governed by particle or grain size.

**Key words:** sediment; Hongfeng Lake; ecological risk; heavy metal; pollution; TOC