

巢湖表层沉积物与上覆水体中 重金属分配特征及其相关性研究

李国莲^{1,2}, 刘桂建¹, 姜萌萌¹, 王儒威¹, 郑刘根¹

(1. 中国科学院壳幔物质与环境重点实验室, 中国科学技术大学地球与空间科学学院, 安徽合肥 230026;

2. 安徽建筑工业学院环境工程系, 安徽合肥 230601)

摘要: 采集巢湖3个主要支流(南淝河、裕溪河与杭埠河)的河口处表层沉积物和水样各27个, 利用ICP-OES及AFS等仪器测试了沉积物中重金属(Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, As, Hg)的含量、水体可溶性的重金属含量, 并检测了各河流水体理化指标; 计算重金属在表层沉积物与水体中的分配系数; 分析每个河口处各元素的相关性。结果表明, 南淝河口处总氮总磷超过地表水环境质量的V类, 水体中重金属除元素汞以外, 含量基本低于I类地表水质标准, 大部分沉积物样品中重金属的含量均超过背景值, 南淝河口处污染最为严重, 元素Cr, Cu, Pb, Zn, As的分配系数远低于其他两河口处; 杭埠河口的Cd、Hg两元素的分配系数相对较低, 且Cu、Cd、Hg三元素的相关性很高。

关键词: 分配系数; 重金属; 巢湖; 沉积物

中图分类号: X524

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-2778.2011.01.002

Partition characteristics and correlation of heavy metal between sediment and surface water from Chaohu Lake

LI Guolian^{1,2}, LIU Guijian¹, JIANG Mengmeng¹, WANG Ruwei¹, ZHENG Liugen¹

(1. CAS Key Laboratory of Crust-Mantle Material and Environments, School of Earth and Space Sciences,
University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;

2. Department of Environment Engineering, Anhui Institute of Architecture & Industry, Hefei 230601, China)

Abstract: Twenty seven samples of water and sediment were collected in the three main estuaries (Nanfei River, Yuxi River, and Hangbu River) of Chaohu Lake respectively. The heavy metal (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, As, Hg) contents in the sediment and the dissolved contents in the water were tested with precision instruments such as ICP-OES and AFS, partition coefficients between sediment and surface water were calculated, and any correlation between two elements was analyzed for each estuary. Physical and chemical analysis of water quality indicated that the contents of TN and TP are higher than the limits of the Class V environmental quality standard in the rivers. The results of element test showed that the contents of heavy metal elements except mercury are lower than Class I environmental quality standard basically while sediment contents exceed the background values for a great number of sediment samples. The pollution is most serious at the entrance of Nanfei River, partition coefficients of element Cr, Cu, Pb, Zn and As are lower than those of the others. However, the partition coefficients of heavy metal Cd and Hg are lowest in

收稿日期: 2010-11-02; 修回日期: 2010-12-28

基金项目: 国家科技重大专项(2009ZX07101-013-01), 国家自然科学基金(40903039)资助。

作者简介: 李国莲, 女, 1979年生, 博士生。研究方向: 环境化学与污染控制。E-mail: glli@mail.ustc.edu.cn

通讯作者: 刘桂建, 教授。E-mail: lgj@ustc.edu.cn

the Hangbu River, and there is good correlation among the 3 elements of Cu, Cd and Hg.

Key words: partition coefficient; heavy metal; Chaohu Lake; sediment

0 引言

巢湖是我国五大淡水湖泊之一,水域面积约为 770 km²,平均水深 2.69 m,主要入湖支流有南淝河、派河、双桥河、杭埠河、兆河、柘皋河,而裕溪河是连接巢湖与长江的唯一出湖支流.巢湖是其沿湖地区工农业生产和人民生活用水的重要水源,也是渔业生产的重要基地.近年来巢湖各入湖河流分别接纳着周边城市的生活污水和工农业废水,向巢湖输入了大量的重金属和营养盐物质,造成巢湖及其流域生态环境受到严重破坏,湖泊水质恶化.目前对巢湖的研究主要是水体的富营养化^[1-2],沉积生源要素形态特征及生物可利用性研究^[3-6],沉积环境演化^[7-8],但对重金属的研究较少^[9-10],尤其是重金属在上覆水体和表层沉积物中分配特征研究未见报道.本文选取离城市较近南淝河口、裕溪河口和靠近大片农田的杭埠河口为采样地点,对巢湖上覆水体和表层沉积物中重金属含量进行系统研究,并分析重金属在表层沉积物及上覆水体中的分配特征,从而评价巢湖主要河口处重金属的污染程度及各河流对湖泊重金属污染的贡献作用,旨在湖泊重金属污染治理提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 样品采集和处理

于 2009 年 10 月在南淝河入湖口、杭埠河入湖口、裕溪河出湖口共布设了 27 个采样点(图 1),所有采样点均使用全球卫星定位系统进行采集定位.采集湖面 0.5 m 以下处的水样 27 个于 5L 聚乙烯塑料瓶中(10%硝酸浸泡 24 h,去离子水冲洗),然后用抓斗式采样器,采集表层 0~5 cm 沉积物 1~2 kg,装入密封聚乙烯塑料袋,放入装有冰袋的保温箱暂存.

水样运回实验室后立即分出 250 mL 进行硝酸(pH<2)处理,同时经过 0.45 μm 微孔滤膜的过滤,于 4 °C 存放待进行可溶性的微量元素分析.泥样运回实验室后装入冷冻柜中冷冻保存.取沉积物 100 g 左右于培养皿中放于通风阴凉处,让其自然风干,剔除杂物,用研钵磨碎,过 120 目筛,保存于聚乙烯瓶中,用密封袋封装,置于冷藏柜中待用.样品的采集、运输、保存具体参照《水和废水监测分析方法(第四版)》^[11].

现场测试了支流水体(采样点 E0, A0, I1 处)水温、pH、溶解氧、电导率,水样运回实验室后,立即对这三个河流样品分样并进行硫酸处理(pH<2),于 24 h 内进行了高锰酸盐指数、氨氮、总磷、总氮等理

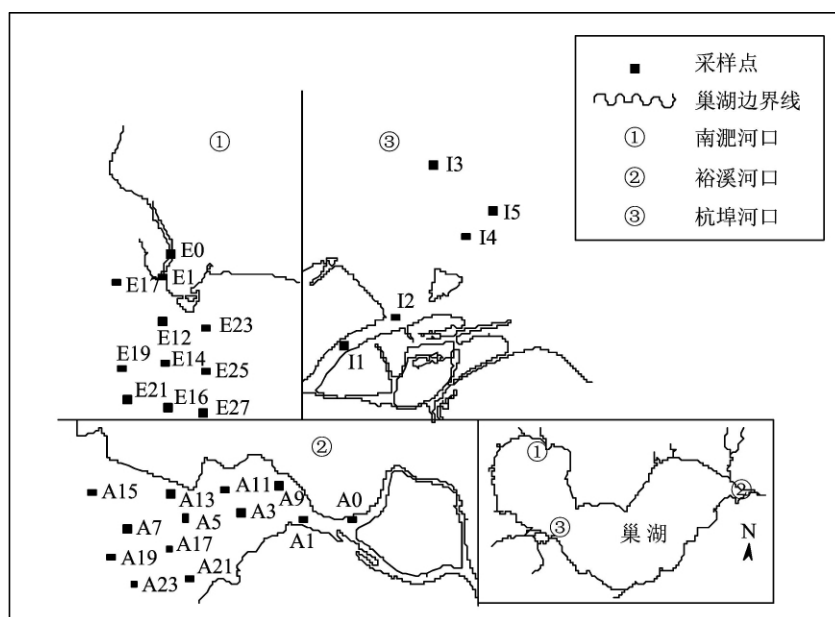


图 1 巢湖河口采样点分布

Fig. 1 Schematic illustration of sampling sites in Chaohu Lake estuaries

化指标测试,监测方法具体见文献[11].

1.2 样品分析方法

泥样的前处理采用(硝酸-高氯酸-氢氟酸)消解法. Cd, Cr, Cu, Pb 和 Zn 元素含量利用等离子体发射光谱(optima 7000 ICP-OES)分析, As, Hg 元素利用原子荧光分析仪(AFS9230)测试分析. 实验中元素分析的加标回收率范围 92.1%~103.4%.

2 结果与讨论

2.1 河口水体的理化性能及重金属的分布特征

从河流水体的理化性能参数可知(表 1):南淝河入湖河口处河水的电导率、高锰酸盐指数、化学需氧量、生化需氧量、总氮、总磷、氨氮指标远远高于杭

埠河及裕溪河河口处,氮磷元素含量远高于地表水质 V 标准值. 这与南淝河长期接纳了来自合肥市排放的工业生产和生活污水相关,其已成为巢湖入湖河流中污染较严重的支流之一. 而杭埠河与裕溪河河口处的理化参数值接近地表水的三类水质标准值,说明水质均已受到一定程度的污染. 巢湖区附近蕴藏有丰富的磷灰石资源,在开采过程中,有大量的尾矿粉与矿水排入湖中,可能也是导致湖内磷含量偏高的原因之一,另外杭埠河周边农业发达也会导致磷肥中大量的磷流失到巢湖, Bulut 等^[12]曾报道农作物只能吸收 10%~15% 施用的磷肥,而大部分肥料都流失了.

表 2 列出巢湖表层水体的重金属含量范围及与背景值和地表水质标准的比较,图 2 绘制了各支流

表 1 巢湖河口处河流水体理化参数(mg/L)

Tab. 1 Physical and chemical parameters of river water at the estuaries of Chaohu Lake(mg/L)

采样点	水温/°C	pH	电导率 (mS·m ⁻¹)	溶解氧	高锰酸盐指数	化学需氧量	生化需氧量	氨氮	总磷	总氮
南淝河	24.2	7.63	60.0	4.4	11.2	39.7	14.1	18.6	1.87	20.3
杭埠河	23.1	7.35	19.0	4.7	1.74	10.0	2.0	0.087	0.225	0.621
裕溪河	22.0	7.92	26.5	3.6	2.68	13.8	2.0	0.076	0.117	0.444

表 2 巢湖河口水体重金属含量

Tab. 2 Heavy metal contents of surface water at the estuaries of Chaohu Lake

	水体中重金属的含量/(μg·L ⁻¹)						
	Cr	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As
地表水环境质量一级标准限值 ^[13]	10	10	10	50	1	0.05	50
标准背景值(溶解态) ^[14]	0.5	1.8	0.2	10.0	0.07	0.01	2.0
研究区微量元素的含量范围(N=27)	0.09~2.67	ND~3.47	3.55~63.7	ND~59.9	ND~1.19	0.24~0.37	0.71~1.06
样品中超过一级标准限值/%	0	0	0	3.7	3.7	100	3.7
样品中超过背景值/%	81.4	37.0	81.4	37.0	74.1	100	37.0

【注】 ND—not detection

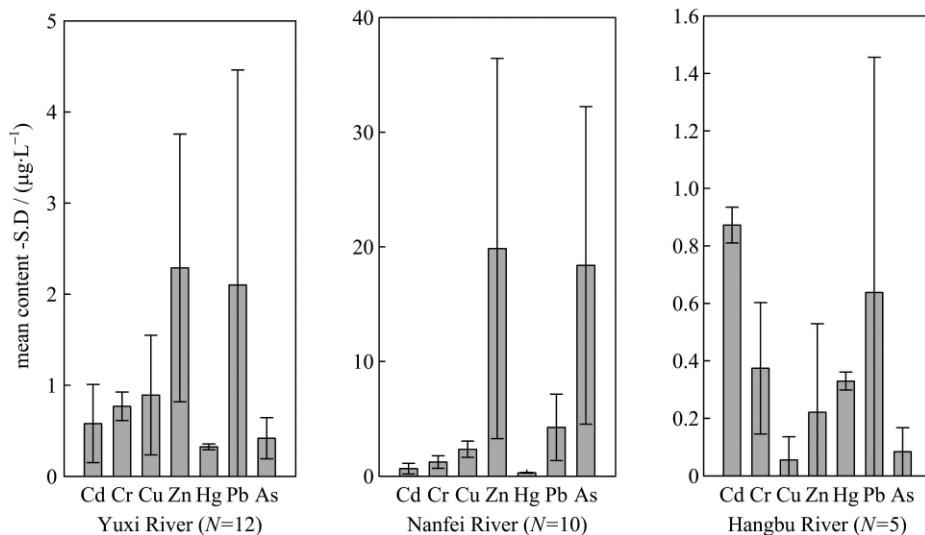


图 2 巢湖河口水体重金属含量均值及标准偏差

Fig. 2 Heavy metals mean contents and S. D of surface water at the estuaries of Chaohu Lake

河口处水体重金属的含量均值及标准差,结果显示:巢湖河口处水体重金属含量基本低于一类水质标准,但元素汞含量均介于三类与四类水质之间,说明巢湖水体已经受到汞的污染,这与王永华等^[15]报道巢湖底泥中汞的污染较为严重相吻合。

2.2 河口沉积物中重金属的含量

表 3 统计了巢湖沉积物中 7 种重金属元素的含量范围及污染水平,图 3 绘制了各河口沉积物中重金属含量箱式图,箱体的上中下线依次表示上四分位数,中位数,下四分位数,延伸的上下边缘分别表示 5th/95th 百分位数.统计结果显示,巢湖河口大部分采样点沉积物中 Cu, Pb, Cd, Hg, As 的含量都超过安徽省江淮流域湖泊沉积物背景值,其中元素

Cd, Hg 最为明显,这与程杰等^[9]报道的重金属污染物对巢湖生态风险构成危害程度最大的是 Cd 相一致,而 Cr 与 Zn 只有小部分采样点的含量超过背景值.与剂量效应的限值(TEC)^[16]比较结果表明,三个支流河口沉积物中 Cr, Cu, Pb, As 均存在潜在的生态危害。

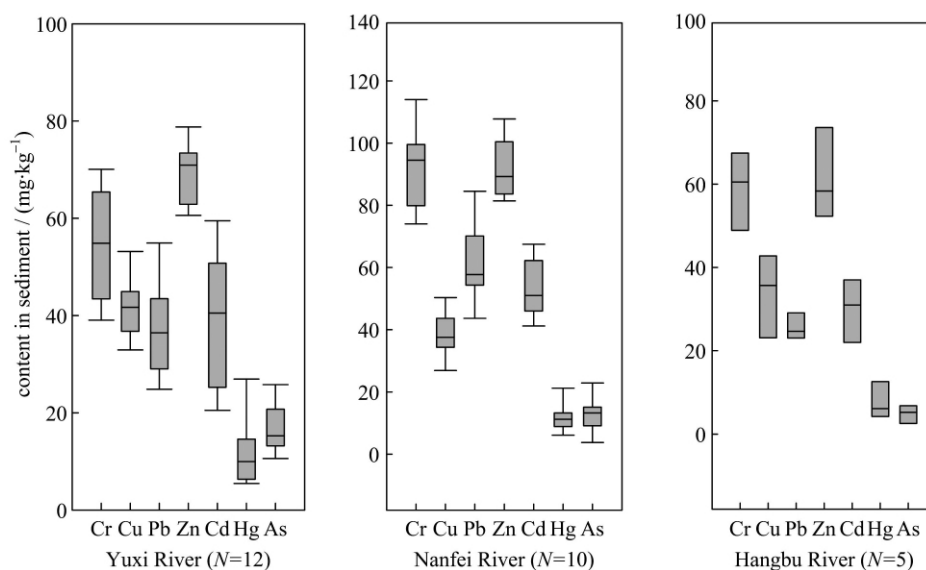
结合图 3 可以看出, Cd, Cr, Pb, Zn 元素在南淝河口处含量最高,而 Hg, As 元素在南淝河口及裕溪河口处明显高于杭埠河口处,元素 Cu 在三个河口处分布较为均匀.南淝河口处的重金属明显高于其他两河口,显然是受到上游合肥市工业与生活污染排放的直接影响,这与郑刘根等^[17]报道西巢湖沉积物受到重金属的轻度污染, Cd 的危害较严重吻合。

表 3 巢湖河口沉积物中重金属含量

Tab. 3 Heavy metal contents of sediment at the estuaries of Chaohu Lake

	沉积物中重金属含量/(mg·kg ⁻¹)						
	Cr	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As
TEC	43.4	31.6	35.8	121	0.99	0.18	9.79
背景值*	80	32	29	83	0.162	0.048	8.8
巢湖河口沉积物中 重金属含量范围值(N=27)	38.72~115.30	23.1~54.66	22.35~85	51.32~108.34	0.19~0.68	0.016~0.307	1.35~27.54
裕溪河口重金属含量均值	54.72	41.54	37.35	69.21	0.40	0.12	16.67
南淝河口重金属含量均值	92.39	38.28	61.86	91.51	0.53	0.12	12.70
杭埠河口重金属含量均值	57.89	35.37	26.01	57.19	0.28	0.09	3.93
超过 TEC 限值的百分比/%	85.1	92.6	63.0	0	0	11.1	70.4
超过背景值百分比/%	29.6	88.9	77.8	29.6	100	92.6	74.1

【注】*来源于“安徽省江淮流域区域生态地球化学调查”项目 9 个湖泊 663 件沉积物样品统计结果



Note: Cd-Cd×10², Hg-Hg×10²

图 3 巢湖河口沉积物重金属含量分布

Fig. 3 Distribution of heavy metal contents of sediment at the estuaries of Chaohu Lake

2.3 河口沉积物与水体中重金属的分配系数

污染物在颗粒物-水相间的分配系数指在水-颗粒物两相体系达平衡状态时, 污染物在颗粒物和水中浓度的比值^[18], 是描述污染物在水环境中行为的重要物理化学特征参数. 直接计算天然水体物理化学条件下污染物在沉积物-水间的分配系数, 更能反映污染物在水相和颗粒物相间的迁移能力及可能的潜在生态危害^[19]. 水体沉积物是污染物的载体和水系统中的内源污染源. 吸附作用是金属污染物从液相转为固相的重要途径, 重金属在沉积物、悬浮物中的吸附作用, 是通过离子交换、专属吸附、非专属吸附以及络合吸附等进行的. 这里采用分配系数来定性分析水体重金属的生态危害. 分配系数的表达式为

$$K_d = \frac{C_s}{C_w}$$

式中, $C_s/(mg \cdot kg^{-1})$, $C_w/(mg \cdot L^{-1})$ 分别为体系达平衡状态时固相(沉积物)和液相(溶解态)中重金属含量.

表 4 和图 4 统计计算了巢湖三个主要入湖河口处重金属在固-水两相中的分配系数, 由统计和分析结果知, 各元素在水体和沉积物中的分配系数均不相同, 这可能是由于各元素化学性质和吸附特征各不相同, 从而造成了各污染物在两相中分配的差异. 南淝河口各元素(除 Cd, Hg)的 $\log K_d$ 值明显低于其他两河口, 这可能与南淝河口处较高的电导率相关(表 1), 由于常量离子的增加, 碱金属和碱土金属离子和吸附在颗粒物表面上的金属离子发生竞争吸

表 4 巢湖河口水体沉积物中重金属分配系数均值

Tab. 4 Mean partition coefficients ($\log K_d$) between water and sediment at the estuaries of Chaohu Lake

	沉积物和水体中重金属分配系数($\log K_d$)/(kg · L ⁻¹)						
	Cr	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As
均值 ^[20]	—	4.2	5.1	3.7—	3.6	4.9	2.5
范围 ^[20]	—	0.7~6.2	2.0~7.0	1.5~6.2	0.5~7.3	3.8~6.0	1.6~4.3
统计样品数 ^[20]	—	12	24	18	21	2	18
研究区的范围(N=27)	4.6~5.9	4.0~5.6	3.7~5.6	3.2~5.5	2.4~3.7	1.7~2.9	2.4~5.2
裕溪河口分配系数均值(N=12)	4.9	4.8	4.6	4.6	2.9	2.5	4.6
南淝河口分配系数均值(N=10)	4.9	4.2	4.3	3.8	3.0	2.6	2.9
杭埠河口分配系数均值(N=5)	5.3	5.5	4.9	5.3	2.5	2.3	4.5

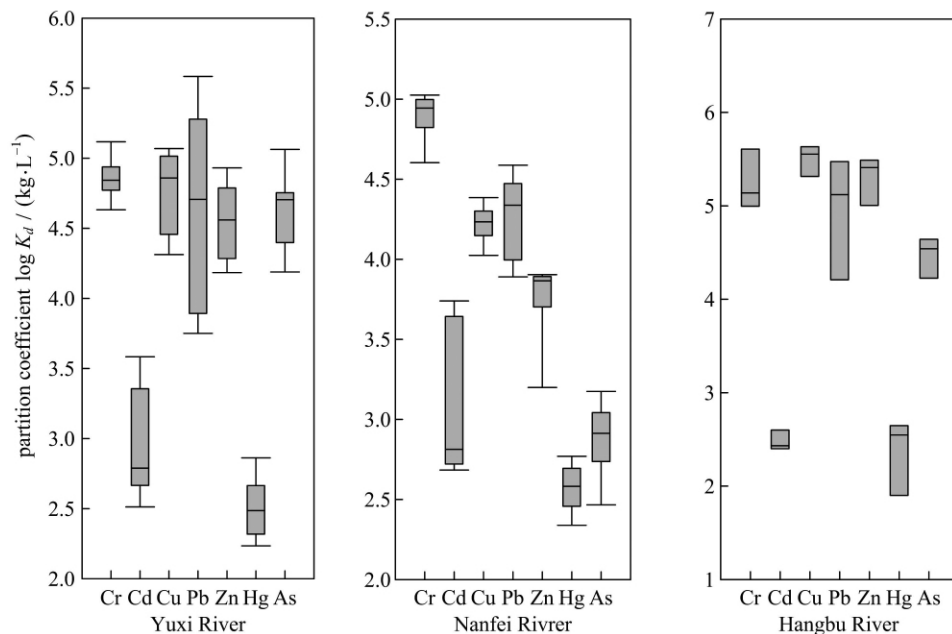


图 4 巢湖河口重金属分配系数

Fig. 4 Partition coefficient of heavy metal elements from Chaohu Lake estuaries

附而使重金属解吸下来,从而使水中重金属含量显著增加,这也说明南淝河口处的生态危害相对较大.巢湖水系 Cd, Hg 两元素的分配系数相对偏低,这证实了巢湖 Hg, Cd 污染较严重,与 Tang 等^[21]报道巢湖湾区沉积物中镉较高的平均含量(0.26 mg/kg)吻合.另外相对于其他两河口,杭埠河口的 Cd, Hg 两元素分配系数稍偏低,本文认为,可能与不同的污染来源导致重金属元素的存在形态差异有关,即杭埠河口处 Hg, Cd 的有效态含量比例较高.

2.4 河口沉积物中重金属的来源分析

由表 5 可知,南淝河口处部分元素两两间存在一定的相关性,但相关性不强,裕溪河口处 Cd, Cr, As, Hg 元素间存在一定的相关性,其他元素间的相关性不强.因分布于南淝河和裕溪河周边的工厂企业较多,且来源于两城市的生活污水也会通过部分支流进入巢湖,这说明这两河口受多源性污染.杭埠河口处 Cu, Cd, Hg 元素相关性很强,而元素 As, Cr, Pb, Zn 有明显的相关性,从沉积物中重金属含

表 5 巢湖河口沉积物中重金属的相关性

Tab. 5 Correlations between heavy metal elements of sediment from Chaohu Lake estuaries

	correlation between vectors of values						
	Cr	Cu	Pb	Zn	Cd	As	Hg
Cr ¹	1.00						
Cu	0.33	1.00					
Pb	0.32	0.42	1.00				
Zn	0.37	0.13	0.52	1.00			
Cd	0.56	0.42	0.02	-0.24	1.00		
As	0.43	0.41	0.10	0.18	0.46	1.00	
Hg	-0.05	0.63	0.45	0.24	-0.07	0.54	1.00
Cr ²	1.00						
Cu	-0.10	1.00					
Pb	-0.01	0.19	1.00				
Zn	-0.52	0.41	-0.07	1.00			
Cd	0.52	-0.15	-0.35	-0.68	1.00		
As	0.55	-0.25	0.13	-0.02	-0.34	1.00	
Hg	0.47	-0.52	0.05	-0.36	-0.13	0.79	1.00
Cr ³	1.00						
Cu	0.08	1.00					
Pb	0.69	-0.22	1.00				
Zn	0.63	0.17	0.91	1.00			
Cd	0.41	0.94	0.05	0.38	1.00		
As	0.90	0.37	0.61	0.67	0.67	1.00	
Hg	0.25	0.89	-0.34	-0.04	0.88	0.42	1.00

【注】 1—Entrance of Nanfei River 2—Entrance of Yuxi River
3—Entrance of Hangbu River

量均值(表 3)知, Cu, Cd, Hg 三元素含量均超过背景值,而 As, Cr, Pb, Zn 四个元素均低于背景值,这说明 As, Cr, Pb, Zn 可能来源于自然源, Cu, Cd, Hg 可能主要来源于杭埠河口处农田化肥农药的流失,因化肥的大量使用可导致农业土壤中重金属含量增加^[22].

3 结论

通过对巢湖三个主要支流河口处重金属水体含量的分布特征及分配系数分析可知:巢湖水体已经受到轻微重金属污染,南淝河口相对其他河口污染较为严重,从分配系数来看,南淝河口存在一定的生态危害,且南淝河口及裕溪河口处重金属来源复杂,而杭埠河口重金属污染源简单,主要来源于农业生产.

参考文献(References)

- [1] Cheng Wenming. Research on eutrophication and prevention of Chinese lake [M]//Department of Standards, Science and Technology, State Environmental Protection Administration of China. Countermeasures Research on Prevention of Water Pollution and Eutrophication Control for Chaohu Lake. Beijing: China Environmental Science Press, 2001: 33-38.
程文明. 中国湖泊富营养化及其防治研究[M]//国家环境保护总局科技标准司. 巢湖水污染防治和富营养化控制的对策研究. 北京: 中国环境科学出版社, 2001: 33-38.
- [2] Yin Fucui, Zhang Zhiyuan. Survey of Chaohu lake eutrophication research[J]. Journal of Lake Sciences, 2003, 15(4): 377-384.
殷福才, 张之源. 巢湖富营养化研究进展[J]. 湖泊科学, 2003, 15(4): 377-384.
- [3] Wang Xuwei, Wang Xinyuan, Feng Yi, et al. Study on content of total phosphorus and forms of inorganic phosphorus in sediments of Chaohu Lake[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(4): 56-59.
王绪伟, 王心源, 封毅, 等. 巢湖沉积物总磷含量及无机磷形态的研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(4): 56-59.
- [4] Pan Chengrong, Wang Jiaquan, Zheng Zhixia, et al. Forms of phosphorus and nitrogen existing in sediments in Chaohu Lake[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2007, 23(1): 43-47.
潘成荣, 汪家权, 郑志侠, 等. 巢湖沉积物中氮与磷赋存形态研究[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(1): 43-47.

- [5] Tang Baojing, Chen Lei, Jiang Xia, et al. Phosphorus speciations in sediments and their relationships with soluble phosphorus concentrations in porewater in Lake Chaohu [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(9): 1 867-1 873.
汤宝靖, 陈雷, 姜霞, 等. 巢湖沉积物磷的形态及其与间隙水磷的关系 [J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(9): 1 867-1 873.
- [6] Huang Q H, Wang J Z, Wang D H, et al. Origins and mobility of phosphorus forms in the sediments of Lakes Taihu and Chaohu, China [J]. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 2005, 40(1): 91-102.
- [7] Yao Shuchun, Li Shijie. Sedimentary records of eutrophication in Chaohu Lake [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(2): 343-347.
姚书春, 李世杰. 巢湖富营养化过程的沉积记录 [J]. *沉积学报*, 2004, 22(2): 343-347.
- [8] Jia Tiefei, Zhang Weiguo, Yu Lizhong. Metal element enrichment characteristics of sediments in Chaohu Lake since the 1860s and its implication to human activity [J]. *Geographical Research*, 2009, 28(5): 1 217-1 226.
贾铁飞, 张卫国, 俞立中. 1860s 以来巢湖沉积物金属元素富集特点及其对人类活动的指示意义 [J]. *地理研究*, 2009, 28(5): 1 217-1 226.
- [9] Cheng Jie, Li Xuede, Hua Rimao, et al. Distribution and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Chaohu Lake [J]. *Journal of Agro-Environment Science* [J]. 2008, 27(4): 1 403-1 408.
程杰, 李学德, 花日茂, 等. 巢湖水体沉积物重金属的分布及生态风险评估 [J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(4): 1 403-1 408.
- [10] Xu Shengyou, Ye Linlin, Zhu Yan, et al. Chemical speciation of heavy metals from Chaohu Lake sediments using BCR procedure [J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, 31(9): 20-28.
徐圣友, 叶琳琳, 朱燕, 等. 巢湖沉积物中重金属的 BCR 形态分析 [J]. *环境科学与技术*, 2008, 31(9): 20-28.
- [11] Wei Fusheng. Method of Analyzing and Monitoring the Water and Wastewater [M]. 4ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
魏复盛. 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.
- [12] Bulut E, Aksoy A. Impact of fertilizer usage on phosphorus loads to Lake Uluabat [J]. *Desalination*, 2008, 226: 289-297.
- [13] National Environmental Protection Agency. GB3838-2002: Environmental Quality Standard for Surface Water [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
国家环境保护总局. GB3838-2002: 地表水环境质量标准 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [14] Li Jian, Zeng Beiwei, Yao Yueyun, et al. Studies on environmental background levels in water of Dongting Lake system [J]. *Journal of Environmental Science*, 1986, 7(4): 62-68.
李健, 曾北危, 姚岳云, 等. 洞庭湖水系水体环境背景值调查研究 [J]. *环境科学*, 1986, 7(4): 62-68.
- [15] Wang Yonghua, Liu Zhengyu, 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): 501-506.
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): 501-506.
- [16] MacDonald D D, Ingersoll C G, Berger T A. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems [J]. *Achieves of Environmental Contamination and Toxicology*, 2000, (39): 20-31.
- [17] Zheng L G, Liu G J, Kang Y, et al. Some potential hazardous trace elements contamination and their ecological risk in sediments of western Chaohu Lake, China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2010(166): 379-386.
- [18] Jin Xiangcan. Sediment Pollution Chemistry [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1992: 376.
金相灿. 沉积物污染化学 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992: 376.
- [19] Chen Jingsheng, Zhou Jiayi. Research on Heavy Metal Pollution in the Water Environment of China [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1992: 99-134.
陈静生, 周家义. 中国水环境重金属研究 [M]. 北京: 中国环境科学社, 1992: 99-134.
- [20] Allison J D, Allison T L. EPA/600/R-05/074: Partition coefficients for metals in surface water, soil, and waste [M]. U. S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development, 2005: 12-16.
- [21] Tang W Z, Shan B Q, Zhang H, et al. Heavy metal sources and associated risk in response to agricultural intensification in the estuarine sediments of Chaohu Lake Valley, East China [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2010(176): 945-951.
- [22] Huang S S, Liao Q L, Hua M, et al. Survey of heavy metal pollution and assessment of agricultural soil in Yangzhong district, Jiangsu Province, China [J]. *Chemosphere*, 2007(67): 2 148-2 155.