

巢湖水体沉积物重金属的分布及生态风险评价

程 杰, 李学德, 花日茂, 唐 俊, 卢洪秀

(安徽农业大学资源与环境学院, 安徽省农产品安全重点实验室, 安徽 合肥 230036)

摘 要: 为了解巢湖水体沉积物中重金属的污染现状及其潜在生态危害程度, 追溯水域污染历史, 研究随年代变化的污染梯度及规律, 对巢湖湖区及部分出入湖支流沉积物中重金属元素(Cd、Cr、Pb、Cu、Zn、Mn、Fe)的空间分布进行了调查研究, 并利用潜在生态风险指数法对其进行了综合评价分析。结果表明, 测定的巢湖水体沉积物重金属中 Zn、Cd 的含量普遍比背景值要高, 部分支流中的重金属含量比湖区要高, 并以西半湖的南淝河污染较为严重, 并已出现复合污染的趋势。沉积物中重金属的垂直分布一般规律是在 0~8 cm 段出现峰值, 且随采样深度的增加重金属含量有递减的趋势。利用潜在生态风险指数法对沉积物中重金属污染的评价结果显示, 对巢湖生态风险构成危害程度最大的重金属是 Cd, 少数样点已属强生态危害。多种重金属潜在生态危害指数表明, 南淝河已达到严重生态危害程度。

关键词: 巢湖; 沉积物; 重金属; 风险评价

中图分类号: X524 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)04-1403-06

Distribution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of Chaohu Lake

CHENG Jie, LI Xue-de, HUA Ri-mao, TANG Jun, LU Hong-xiu

(College of Environment and Resources, Anhui Agricultural University, Key Lab of Agro-food Safty of Anhui Province. Hefei 230036, China)

Abstract: Chaohu Lake is one of the five largest fresh lakes in China. The sediments of Chaohu Lake and some of its tributary rivers were sampled and analyzed for the contents of heavy metals (Cd, Cr, Pb, Cu, Zn, Mn, Fe) in order to know their spatial distribution and the potential ecological hazard. The results indicated that the levels of heavy metals in the sediments of the rivers (esp. the Nanfei River) were even higher than those of the lake. Among the heavy metals, their levels followed a decreasing order of $Fe > Mn > Zn > Cr > Pb > Cu > Cd$. Concerning the vertical distribution, the concentration of heavy metals decreased along with the increasing of depth, and the highest level is presented in the layer 0~8 cm of depth. The potential ecological risk index was used to evaluate metals pollution in sediments of Chaohu Lake. By means of the risk assessment methodology, based on available data, it was demonstrated that Nanfei River was exposed to a very high potential ecological risk. Among the analyzed heavy metals, Cd exhibited the highest pollution degree at the most of the sampling points. The other points were under a low potential ecological risk.

Keywords: Chaohu lake; sediment; heavy metals; risk assessment

重金属元素作为主要的环境污染物, 具有难降解、易积累、毒性大的特性, 且有通过食物链危害人类健康的潜在危险, 从而被环境工作者高度关注^[1-3,13]。沉积物是湖泊生态系统的重要组成部分, 进入湖泊的重金属通过絮凝或沉淀作用, 多数进入沉积物中。它一方面是重金属的汇, 另一方面沉积物中的重金属在一定条件下会重新释放进入水体而成为潜在污

染源^[17]。因此, 沉积物是水环境中重金属污染程度的“指示剂”^[14], 能明显地反映湖泊受重金属污染状况, 并对湖水具有持久影响^[4,5]。

巢湖处于安徽省中部, 是我国五大淡水湖之一。巢湖四周呈辐射状, 入湖支流主要有: 南淝河、派河、丙子埠河、双桥河、丰乐河(1976 年与杭埠河汇合)、杭埠河、兆河、柘皋河等, 这些河流进入巢湖, 经湖泊调节容蓄后, 出巢湖闸后又纳清溪河等支流来水, 经唯一出湖支流裕溪河注入长江。巢湖水位明显受河流水情控制, 多年平均水位为 8.3 m, 变幅为 2.5 m^[6], 湖区面积达 760 km², 不仅具有航运、渔业、农灌、防洪等

收稿日期: 2007-12-12

作者简介: 程 杰(1984—), 女, 安徽铜陵人, 硕士研究生, 主要研究方向为环境污染化学。E-mail: chengj1984@163.com

通讯作者: 李学德 E-mail: xuedel@ahau.edu.cn

多种功能^[5],更是合肥市及沿湖城市工农业生产和人民生活的重要水源。然而,近些年来,流域人口剧增,工农业发展迅速,在人类活动的影响下,每年接纳周边城市排入的生活污水和工农业废水,造成巢湖及其流域生态环境受到严重破坏,湖泊水质恶化,直接影响了沿湖岸人们的饮水安全和工农业生产,与太湖、滇池一起被国家列为需重点治理的“三河三湖”中的三湖。本文采样测定了部分出入巢湖的河流及湖区沉积物中重金属元素 Cd、Pb、Cu、Cr、Zn、Fe、Mn 的含量,分析了重金属的空间分布特征,并用瑞典学者 Hakanson 提出的潜在生态危害系数法^[7]对其潜在生态危害进行了评价。

1 材料与方法

1.1 样点布设与样品的采集

于 2007 年 5 月在巢湖湖区及入巢湖的河流中共布设 14 个表层沉积物采样点(见图 1),用手持式沉积物采样器采集沉积物柱状样,将采集得到的 20 cm 沉积物柱样,自上而下每 2 cm 分为一层;并在每个样点采集表层沉积物样品 1~2 kg,装入聚乙烯塑料袋带回实验室分析。

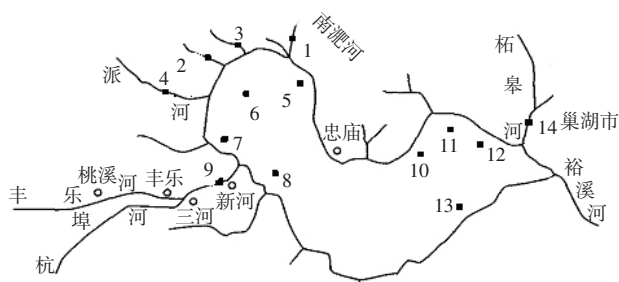


图 1 巢湖沉积物各采样点分布图

Figure 1 Sampling sites of sediments in Chaohu Lake

1.2 样品分析

将采集到的沉积物样品风干,用玻璃棒压碎,剔除石砾等杂质,混合均匀,再将样品研细过 100 目尼龙筛,装入广口聚乙烯塑料瓶中保存备用。样品经 HCl-HNO₃-HF-HClO₄ 消解后,用美国 Thermo Elemental M5 型原子吸收分光光度计测定重金属含量,同时做空白实验。所用器皿均用稀 HNO₃ 处理,去离子水洗净后烘干。

2 结果与分析

2.1 沉积物中重金属的总量分布特征

水环境中的重金属离子在水相中含量甚微,绝大部分结合于颗粒物中。排入水体的重金属污染物,由于各种物理化学过程,由水相转入固相,逐步转移为沉积物^[8]。

巢湖水体表层沉积物中 7 种重金属元素的总量见表 1。综合湖区和支流的结果来看,它们在沉积物中的平均含量顺序为 Fe(42 300 mg·kg⁻¹)>Mn(478.43 mg·kg⁻¹)>Zn(215.28 mg·kg⁻¹)>Cr(43.53 mg·kg⁻¹)>Pb(23.04 mg·kg⁻¹)>Cu(18.66 mg·kg⁻¹)>Cd(0.321 mg·kg⁻¹), Zn 和 Cd 的平均含量分别高出背景值 62 mg·kg⁻¹ 及 0.087 mg·kg⁻¹ 的 3.47 和 3.69 倍,普遍较高;其他未超出背景值。其中 Pb、Cd、Cr、Cu、Zn 总量均明显低于滇池入湖河道^[9,19]表层沉积物中几种金属的含量,这与滑丽萍等^[18]关于中国湖泊的研究结果也较类似;Cu、Pb、Zn 平均含量还低于鄱阳湖乐安河沉积物的均值^[23];而 Cd 总量高于上海崇明河流沉积物中的平均含量^[20],低于太湖流域典型湖泊^[22]及浙江东钱湖^[16]沉积物均值。

表 1 巢湖沉积物中重金属元素的总量(mg·kg⁻¹)

Table 1 Contents of heavy metals in sediments of Chaohu Lake(mg·kg⁻¹)

采样点	Cu	Pb	Cd	Cr	Fe	Zn	Mn
巢湖湖区							
11	18.50	15.17	ND	32.68	45 186	88.13	922.39
10	14.56	13.53	0.066 8	24.13	22 677	64.67	441.03
13	14.36	19.64	0.015 0	34.46	35 678	45.32	244.35
5	17.32	17.26	0.261 6	54.76	51 928	459.64	817.76
8	7.82	12.35	0.275 9	39.24	52 026	68.30	611.07
7	6.57	5.43	0.401 5	32.67	25 985	32.44	304.31
12	43.22	26.90	0.289 8	37.41	40 783	101.53	494.44
6	15.93	10.78	0.131 3	44.46	44 577	58.31	184.04
平均	17.29	15.13	0.180 2	37.48	39 855	114.79	502.42
入湖河流							
2	7.76	10.05	0.338 9	25.44	33 817	35.64	546.52
14	14.72	13.64	ND	34.90	30 970	44.23	361.93
3	27.42	17.92	0.260 8	58.72	49 702	193.83	500.00
4	6.28	6.25	0.287 6	26.51	43 290	42.82	146.10
1	53.04	140.20	1.816 7	109.70	59 293	809.07	429.99
9	13.70	13.43	0.344 8	54.39	56 281	969.96	694.12
平均	20.49	33.58	0.508 1	51.61	45 559	349.26	446.44

注:ND 为未检测出。

同时还可看出,巢湖沉积物中重金属分布具有明显的空间差异性:支流沉积物中重金属(除 Mn 外)的平均含量均高于湖区,如 Pb 在河流沉积物中的平均含量是湖区沉积物的 2.2 倍,Cd 在河流沉积物中的平均含量是湖区沉积物的 2.82 倍。而除 Mn 含量的最高值出现在 12 号采样点外,各重金属含量的最高值

均出现在支流入湖口,且多数出现在穿行合肥市区的人湖河流南淝河,如Cr、Pb、Cu、Fe、Cd在南淝河入湖口处含量分别高达109.7、140.2、53.04、59 293及1.8167 mg·kg⁻¹;Zn在南淝河入湖口处的含量也很高,为809.07 mg·kg⁻¹,最高值则出现在丰乐河入湖口(969.96 mg·kg⁻¹)。由此可见,巢湖入湖支流重金属污染相当严重,河口区的含量相对较高,这说明巢湖沉积物中较高的重金属含量主要与沿湖经济的迅猛发展及人类活动使排入湖泊的污染物含量增加等原因有关,这一现象与王永华等^[12]对巢湖底泥污染物的研究结果一致。特别是南淝河,接纳了周边大部分的生

活及工业污水,其重金属污染应引起足够的重视。另外,集水区母岩类型和土壤类型、大气降水、地表径流对沉积物中重金属元素含量也有影响^[9]。

2.2 重金属元素含量垂向分布特征

巢湖沉积物主要是由周围河系及水土流失带来的冲积物所形成,为了反映湖区沉积物中重金属含量随采样深度的变化特征,将相应层位中重金属的总量数据作图(见图2)。不同样点中不同重金属含量的垂向分布并不完全相同,但都有其相对一致的垂直分布特征,即沉积物中重金属元素的含量由底部到表层表现出明显的逐渐增加趋势,少数采样点沉积物中重金

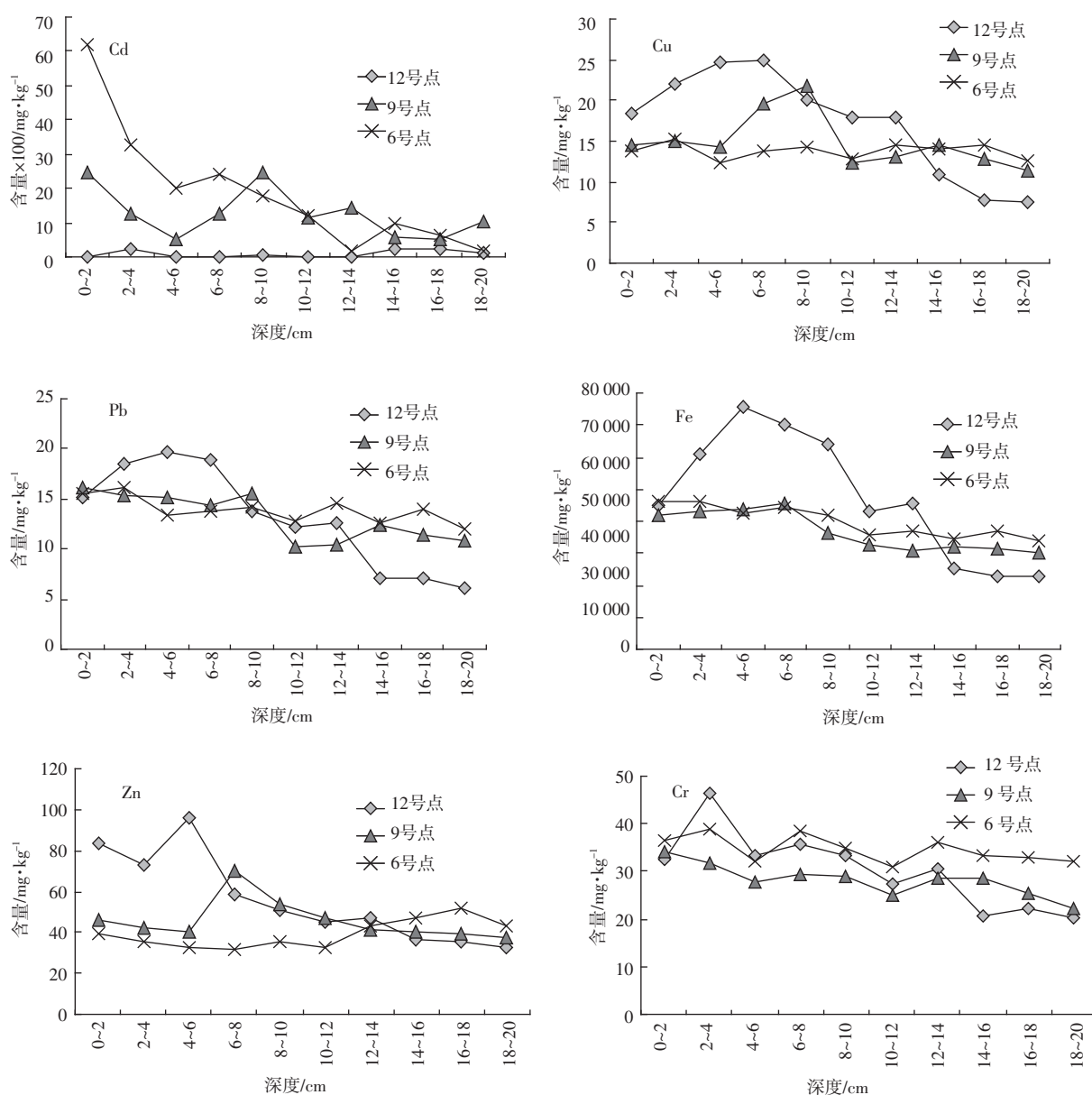


图2 不同采样点沉积物重金属元素垂向分布图

Figure 2 The vertical distribution of heavy metals in sediments of different sites

属在表层 0~6 cm 有所下降。这是因为随着巢湖水体重金属污染的加剧,沉积物中的重金属含量从底层向表层逐渐增大,表层重金属含量降低可能是由于人类活动造成沉积物的扰动所致。

总体来说,沉积物柱样中各金属元素的含量在 14~20 cm 段中均变化不大,由底部至表层含量在 8~14 cm 段中迅速增加,并在 0~8 cm 段达到峰值或较大值,虽然此段沉积物中重金属含量波动较大,但整体仍表现出由下向上含量有所增大的特征,说明巢湖的重金属污染是近几十年人为污染的结果。

综合以上分析可见,巢湖沉积物柱样 20 cm 以下段位可以代表无外来污染的历史阶段。而姚书春等^[10]的研究得出巢湖沉积物平均沉积速率为 $0.24 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$,与资料记载的我国湖泊的沉积速率 ($0.1 \sim 0.5 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$) 吻合^[10],所以可以用 20 cm 柱样中重金属含量的垂向变化代表七八十年来巢湖重金属污染的历史。由于各重金属最高含量基本都出现在 0~8 cm 段,分析这一段沉积物所对应的历史时期可见,大约是 20 世纪 70 年代以来至今(相当于 1974—2007 年),这一时期前后由于人类活动加剧的影响,有大量的外源重金属污染物进入水体并蓄积于沉积物中,造成巢湖水环境明显恶化,重金属含量偏高。姚书春等^[10]对巢湖沉积记录的研究结果也认为 1972 年到 2002 年是富营养化加剧时期,与人为营养物质排放入湖直接相关。

2.3 重金属生态风险评价

从表 1 可以看出,巢湖水体已受到重金属的污染,表层沉积物已经恶化。采用瑞典学者 Hankanson^[7,11] 1980 年提出的潜在生态危害系数法对巢湖沉积物中重金属的潜在生态危害进行评价。沉积物重金属生态危害指数的计算公式为:

$$RI = \sum_i^m E_r^i = \sum_i^m T_r^i \times \frac{c^i}{c_n^i}$$

式中: RI 为沉积物中多种重金属潜在生态危害指数; c^i 为实测值; c_n^i 为参比值; T_r^i 为第 i 种重金属的毒性系数; E_r^i 为第 i 种重金属的潜在生态危害系数。Hankanson 指出了几种重金属毒性系数值: $\text{Cd}=30$, $\text{Pb}=5$, $\text{Cr}=2$, $\text{Zn}=1$ 。并以安徽土壤背景值^[12]作为各重金属的参比值: Pb 、 Cd 、 Cu 、 Cr 、 Zn 分别为 26、0.087、20、66 和 $62 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。根据它们与污染程度的关系划分为: 当 $E_r^i < 40$, $40 \leq E_r^i < 80$, $80 \leq E_r^i < 160$, $160 \leq E_r^i < 320$, $E_r^i \geq 320$ 时,分别属轻微、中等、强、很强、极强生态危害; 而当 $RI < 150$, $150 \leq RI < 300$, $300 \leq RI < 600$, $RI \geq 600$ 时,分别属低度、中等、强、严重生态危害。

将实测各重金属含量数据代入公式,得各采样点单一重金属的潜在生态危害系数和多种重金属潜在生态危害指数(见表 2)。则由表 2 可以看出,各采样点中 Cu 、 Pb 、 Cr 和 Zn 的潜在生态危害系数均小于 40,属于低生态危害,这与王永华等^[12]的研究结果相吻合;但 Cd 污染较严重,除 11、12、14、15 和 6 号采样点属轻微和中等生态危害区外;2~5、8~10 及 13 号采样点均属于强生态危害区;1 号样点已属极强生态危害区, Cd 的生态危害程度远高于其他元素,这一现象在程南宁^[16]、弓晓峰等^[11]的研究中均有报道。分析总的潜在生态风险 RI ,只有 1 号采样点的 $RI \geq 600$,达到严重生态危害,其余均为低度生态风险。从上述分析可以看出,不论是以单个重金属的生态危害系数看,还是从多个重金属的潜在生态危害指数看,污染最严重的是 1 号样点的入湖口处,主要重金属污染物是 Cd ,因此对达到或接近强生态危害的入湖河流 Cd 污染应引起高度重视,避免污染进一步加剧。

表 2 各采样点表层沉积物中重金属的潜在生态危害系数
Table 2 The potential ecological risk factors of heavy metals in the surface sediments of different sites

采样点		E_r^i					RI
		Cu	Pb	Cd	Cr	Zn	
巢湖湖区	11	4.625	2.917	—	0.99	1.421	9.954
	8	1.954	2.375	95.14	1.189	1.102	101.8
	7	1.643	1.044	138.4	0.99	0.523	142.6
	10	3.64	2.602	23.03	0.731	1.043	31.05
	5	4.33	3.319	90.21	1.659	7.414	106.9
	13	3.59	3.777	5.172	1.044	0.731	14.31
	12	10.81	5.173	99.93	1.134	1.638	118.7
	6	3.983	2.073	45.28	1.779	0.94	54.05
	2	1.941	1.933	116.9	0.771	0.575	122.1
	14	3.68	2.623	—	1.058	0.713	8.074
入湖河流	4	1.571	1.202	99.17	0.803	0.691	103.4
	1	13.26	26.96	626.4	3.324	13.05	683.0
	9	3.425	2.583	118.9	1.648	15.64	142.2
	3	6.855	3.446	89.93	1.347	3.126	104.7

3 结论

通过对巢湖出入湖河流及湖区沉积物中重金属含量的调查与分析评价,表明重金属污染物在不同样点、不同剖面中分布不同,具有一定的迁移转化特性。

(1)各重金属污染中, Zn 、 Cd 的含量较背景值普遍偏高;且支流中的含量比湖区相对要高,并以 1 号采样点(南淝河)污染最为严重;值得注意的是,南淝

河已出现复合污染的趋势。

(2)通过对沉积物柱状样的分析发现,各重金属元素含量的垂直变化比较一致,呈现出由底部向表层逐步增加的趋势,少数样点的个别重金属含量波动较大,但峰值基本都出现在0~8 cm段。

(3)从潜在生态污染程度分析,各重金属污染物对巢湖生态风险构成危害程度最大的是Cd;污染最严重的是南淝河的入湖口处,已属严重生态危害,其余均为低度生态风险。

参考文献:

- [1] 简敏菲,游海,倪才英. 鄱阳湖饶河段重金属污染水平与迁移特性[J]. 湖泊科学, 2006, 18(2): 127-133.
JIAN Min-fei, YOU hai, NI Cai-ying. Characteristics of heavy metals contaminant status and migration in Raohe River of Lake Poyang[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2006, 18(2): 127-133.
- [2] 简敏菲,弓晓峰,游海,等. 鄱阳湖水环境及其水生维管束植物重金属污染[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(6): 589-593.
JIAN Min-fei, GONG Xiao-feng, YOU Hai, et al. Assessment of pollution of heavy metals in water sediments and aquatic plants in Poyang Lake Basins[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2004, 13(6): 589-593.
- [3] Ikem A, Egiebor N O, Nyavor N O. Trace elements in water, fish and sediment from Tuskegee Lake, Southeastern USA [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2003, 149: 51-75.
- [4] 尚英男,倪师军,张成江,等. 成都市河流表层沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 生态环境, 2005, 14(6): 827-829.
SHANG Ying-nan, NI Shi-jun, ZHANG Cheng-jiang, et al. Pollution of heavy metals in the surface sediments from rivers in Chengdu and their potential ecological risk [J]. *Ecology and Environment*, 2005, 14(6): 827-829.
- [5] 贾振邦,赵智杰,杨小毛,等. 洋涌河、茅洲河和东宝河沉积物中重金属的污染及评价[J]. 环境化学, 2001, 20(3): 212-219.
JIA Zhen-bang, ZHAO Zhi-jie, YANG Xiao-mao, et al. Pollution and assessment of heavy metals in Yangyong River, Maozhou River and Dongbao River sediments, Shenzhen[J]. *Environmental Chemistry*, 2001, 20(3): 212-219.
- [6] 阎伍玖,张建春,纪敏. 巢湖流域河水中N, P盐分组成特征分析[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(2): 35-38.
YAN Wu-jiu, ZHANG Jian-chun, JI Min. Characteristics of N, P formation in main rivers of Chaohu Lake Valley[J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1999, 5(2): 35-38.
- [7] Lars Hakanson. An ecological risk index for aquatic pollution control—A sediment logical approach[J]. *Water Research*, 1980, 14(8): 975-986.
- [8] 吕兰军. 鄱阳湖水及其沉积物中的重金属调查 [J]. 上海环境科学, 1994, 5: 17-21.
LU Lan-jun. Survey of heavy metals in water and sediment of Poyang Lake[J]. *Shanghai Environmental Sciences*, 1994, 5: 17-21.
- [9] 李仁英,杨浩,陈捷,等. 盘龙江口滇池沉积物重金属的分别及污染评价[J]. 土壤, 2006, 38(2): 186-191.
LI Ren-ying, YANG Hao, CHEN Jie, et al. Distribution and pollution evaluation of heavy metals in sediments of Lake Dianchi in the estuary of the Panlongjiang River[J]. *Soils*, 2006, 38(2): 186-191.
- [10] 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.
YAO Shu-chun, LI Shi-jie. Sedimentary records of eutrophication for the last 100 years in Chaohu Lake [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(2): 343-347.
- [11] 弓晓峰,陈春丽,周文斌,等. 鄱阳湖底泥中重金属污染现状评价[J]. 环境科学, 2006, 27(4): 732-736.
GONG Xiao-feng, CHEN Chun-li, ZHOU Wen-bin, et al. Assessment on heavy metal pollution in the sediment of Poyang Lake [J]. *Environmental Science*, 2006, 27(4): 732-736.
- [12] 王永华,钱少猛,徐南妮,等. 巢湖东区底泥污染物分布特征及评价[J]. 环境科学研究, 2004, 17(6): 22-26.
WANG Yong-hua, QIAN Shao-meng, XU Nan-ni, et al. Characteristics of distribution of pollutants and evaluation in sediment in the east area of Chaohu Lake[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2004, 17(6): 22-26.
- [13] 陈怀满,郑春荣,王慎强,等. 不同来源重金属污染的土壤对水稻的影响[J]. 农村生态环境, 2001, 17(2): 35-40.
CHEN Huai-man, ZHEN Chun-rong, WANG Shen-qiang, et al. Effect of soils polluted by different heavy metal sources on rice[J]. *Rural Eco-Environment*, 2001, 17(2): 35-40.
- [14] Wojciech Tylmann. Lithological and geochemical record of anthropogenic changes in recent sediments of a small and shallow lake (Lake Pusty Staw, northern Poland)[J]. *Journal of Paleolimnology*, 2005, 33: 313-325.
- [15] Shang G P, Shang J C. Spatial and temporal variations of eutrophication in western Chaohu Lake, China [J]. *Environ Monit Assess*, 2007, 130: 99-109.
- [16] 程南宁,李巍,冉光兴,等. 浙江东钱湖底泥污染物分布特征与评价[J]. 湖泊科学, 2007, 19(1): 58-62.
CHENG Nan-ning, LI Wei, RAN Guang-xing, et al. Characteristics and risk evaluation of pollutants in sediments of Lake Dongqian Zhejiang Province[J]. *J Lake Sci*, 2007, 19(1): 58-62.
- [17] 刘红磊,尹澄清. 城市湖泊表层沉积物中的重金属污染现状及其稳定度分析——以武汉墨水湖为例[J]. 生态毒理学报, 2007, 2(2): 214-219.
LIU Hong-lei, YIN Cheng-qing. Heavy metals pollution status and its stability assessment in surface sediments of urban lake—A case study of Moshui Lake in Wuhan[J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2007, 2(2): 214-219.
- [18] 滑丽萍,华璐,高娟,等. 中国湖泊底泥的重金属污染评价研究[J]. 土壤, 2006, 38(4): 366-373.
HUA Li-ping, HUA Luo, GAO Juan, et al. Heavy metal pollution of sediments of lakes in China[J]. *Soils*, 2006, 38(4): 366-373.
- [19] 李发荣. 滇池入湖河道底质污染及防治对策研究 [J]. 环境科学导刊, 2007, 26(3): 5-7.
LI Fa-rong. Research and countermeasures on substrate pollution of

- river channels following to Dianchi Lake[J]. *Environmental Science Survey*, 2007, 26(3):5-7.
- [20] 王 军, 陈振楼, 王 初, 等. 上海市崇明岛城镇河流沉积物重金属累积与环境风险[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(7): 1518-1522.
- WANG Jun, CHEN Zhen-lou, WANG Chu, et al. Heavy metals accumulation in river sediments of Chongming Island, Shanghai City, and its environmental risk[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(7): 1518-1522.
- [21] 万金保, 闫伟伟, 谢 婷. 鄱阳湖流域乐安河重金属污染水平[J]. *湖泊科学*, 2007, 19(4): 421-427.
- WAN Jin-bao, YAN Wei-wei, XIE Ting. Research on heavy metals pollution status of Le'an River, Lake Poyang Basin [J]. *Journal Lake Science*, 2007, 19(4): 421-427.
- [22] 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分布特征[J]. *江苏农业学报*, 2007, 23(2): 124-130.
- CHEN Shou-li, WANG Ping-zu, QIN Ming-zhou, et al. Distribution characterization of heavy metal pollution in typical sediment from Lake Taihu region [J]. *Jiangsu Journal of Agriculture Science*, 2007, 23(2): 124-130.