

扎龙湿地湖泊表层沉积物重金属污染评价

吴攀碧, 解启来, 卜艳蕊, 刘俊文

(华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642)

摘要:对扎龙湿地湖泊表层沉积物重金属 Cu、Zn、Cr、Pb、Cd、Ni、As 的含量进行了分析,并采用相关分析和潜在生态危害指数法对其污染状况进行了研究.结果表明,沉积物中重金属含量大小顺序为 $Zn > Cr > Pb > Ni > Cu > As > Cd$. 重金属元素含量间存在显著正相关,有机质与 Cu、Cr 和 Cd 含量间存在显著正相关,pH 与重金属含量的相关性不显著.调查区沉积物质量较好,总体潜在生态风险程度低,各种重金属元素的潜在生态风险顺序为 $Cd > Pb > As > Cu > Ni > Cr > Zn$. Cd 在部分采样点存在中等潜在生态风险,应当引起一定的重视.

关键词:表层沉积物; 重金属; 潜在生态风险指数法; 扎龙湖泊湿地; 黑龙江省

中图分类号:X53

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2010)03-0024-04

Assessment of Heavy Metals Pollution in the Surface Sediments of Lakes in Zhalong Wetland

WU Pan-bi, XIE Qi-lai, BU Yan-rui, LIU Jun-wen

(College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The contents of heavy metals including Cu, Zn, Cr, Pb, Cd, Ni and As were quantitatively analyzed in the surface sediments of lakes over the wetlands of Zhalong. The characteristics of heavy metals pollution in the surface sediments was studied by the methods of correlation analysis and potential ecological risk index. The results showed that the contents of these heavy metals in the surface sediments followed the descending of $Zn > Cr > Pb > Ni > Cu > As > Cd$ and were significantly correlated with each other, but not significantly correlated with pH. The contents of Cu, Cr and Cd were also significantly correlated with organic matter content in the surface sediments. The heavy metal contents in the surface sediments was lower than the normal level, the potential ecological risk of heavy metals in the surface sediments was generally minor, and was in the descending of $Cd > Pb > As > Cu > Ni > Cr > Zn$. The potential ecological risk of Cd has a medium potential ecological risk in some of the samplings, and should be paid more attention on it.

Key words: surface sediments; heavy metals; the method of potential ecological risk index; Zhalong wetland; Heilongjiang Province

沉积物是水环境中持久性和有毒化学污染物的“终极沉降地”和仓库^[1]. 人类活动产生不易降解的化学废弃物最终都将归于沉积物中. 因此,沉积物的污染状况是全面衡量水环境质量状况的重要因素^[2]. 重金属是自然界中普遍存在的痕量物质,也是环境中的主要污染物,其本身不会被生物降解,却可以被生物吸收,通过食物链富集,最终对人体健康造

成危害,甚至会破坏整个生态系统. 因此,开展沉积物中重金属含量特征和潜在生态风险评价的研究不仅为湿地中重金属污染的来源、现状和监测提供科学依据,而且对生物多样性和人类生存环境的保护具有深远的科学意义. 本文以湖泊表层沉积物为研究对象,通过对有机质、pH 和重金属含量的分析,探讨重金属污染状况、不同重金属与有机质含量和 pH

收稿日期:2009-03-31

作者简介:吴攀碧(1983—),女,硕士研究生;通信作者:解启来(1964—),男,教授,博士 E-mail: xieql@scau.edu.cn

的相关关系,并采用潜在生态风险指数法^[3]对其潜在生态风险进行评价。

1 研究方法

1.1 研究区自然概况

扎龙湿地地处黑龙江省西部松嫩平原乌裕尔河下游,占地(湖泊、沼泽)面积 1 240 km²,属流域下游闭流洼地,1987 年被列为国家级自然保护区,1992 年被列入国际重要湿地名录,是我国最大的以保护丹顶鹤等珍稀水禽及芦苇沼泽生态系统为主的湿地。属中温带大陆性季风气候,年平均气温 2.0~4.2℃,年平均降雨量 416 mm,降水多集中在 7—9 月份。保护区内分布众多泡沼,蒸发强烈,土地盐碱化较普遍^[4]。

1.2 样品的采集

样点主要分布在扎龙湖(图 1),共采集湖泊表层沉积物 12 个,分别标记为 Z1~Z12,采样点位置 124°12'71"~124°14'02"E、47°11'71"~47°13'35"N。采样时用 GPS 仪定位,样点地理分布如表 1 所示。采样在冰冻期进行,采集冰层以下 0~10 cm 的表层沉积物 1~2 kg,样品采集后冷冻保存。样品多为黑灰色淤泥质。

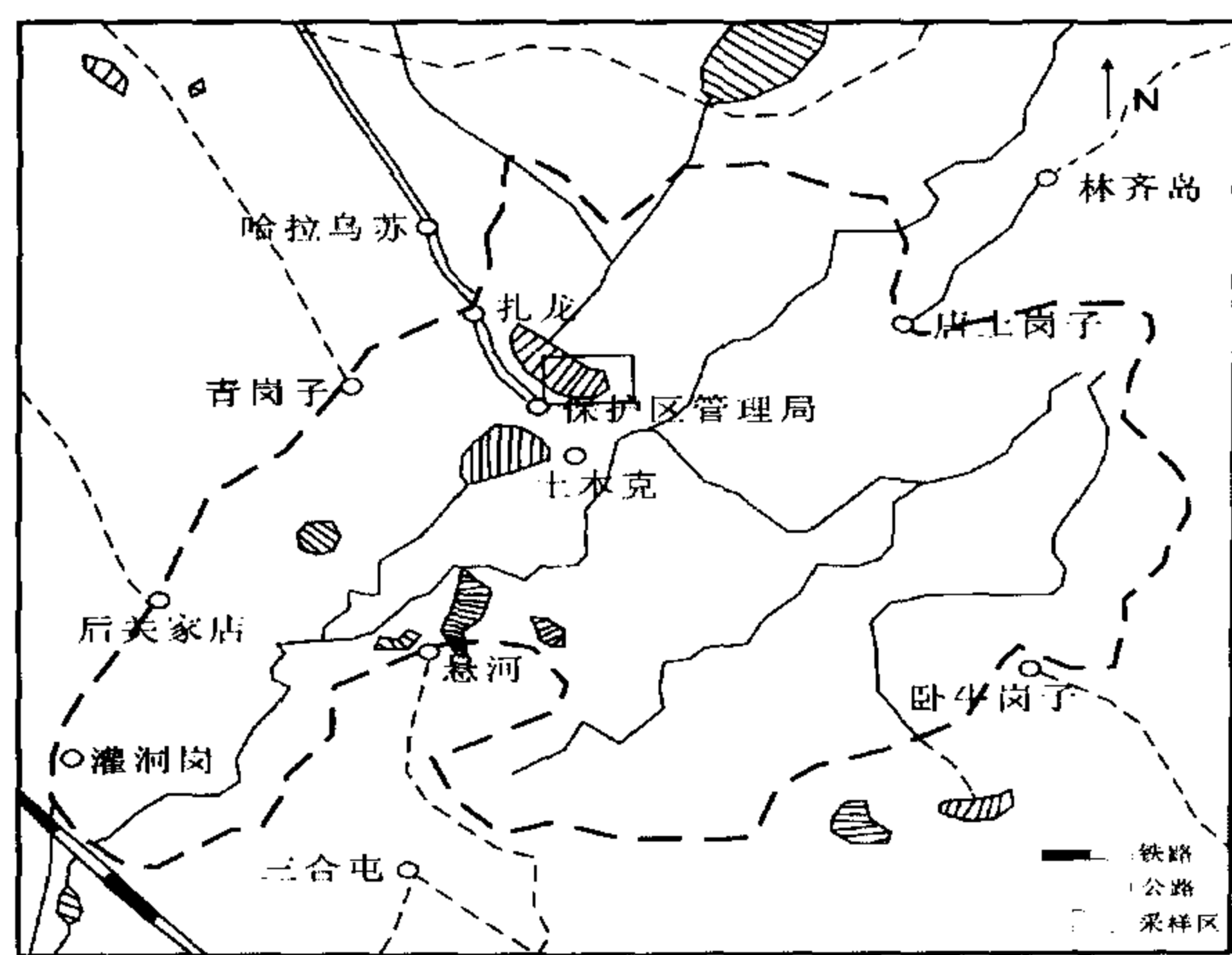


图 1 扎龙湿地采样点简图

Fig. 1 Sketch map of Zhalong wetland sampling sites

1.3 样品的处理及测定

将采集的沉积物自然风干,除去沙石、动植物碎片。一部分用玛瑙碾钵研细过 20 目尼龙筛,用于沉积物理化性状分析;另一部分用玛瑙碾钵研细过 100 目尼龙筛,用于沉积物重金属总量分析。

采用火焰原子吸收分光光度法(日立 Z-2300)测定样品中 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Ni 的总量^[5];石墨炉原子吸收分光光度法(日立 Z-5700)测定样品中 Cd 的总量^[5];氢化物发生原子荧光光谱法(国产,海天

AFS-8X)测定 As 总量^[5]。沉积物 pH 采用电位法^[5];有机质含量测定采用灼烧法^[5]。分析所用试剂均为优级纯,所用的水均为超纯水,分析过程加入国家标准土壤参比物质(GSS-4)进行质量控制,样品均进行平行双样测定,其结果符合质控要求。

1.4 沉积物的污染评价方法

近些年来,从沉积学角度对重金属污染及其环境风险的研究备受关注^[6-8],关于沉积物的污染评价,应用较多的有生物效应数据库、潜在生态危害评价、地质累积常数、多变脸谱图、污染负荷指数法等方法。生物效应数据库方法是目前美国、加拿大、北欧等国家和地区进行评价沉积物重金属质量基准的方法^[9]。本文主要运用潜在生态危害指数法进行评价。

潜在生态危害指数法是瑞典学者 Hakanson 于 1980 年建立的一套应用沉积学原理评价重金属污染及生态危害的方法^[4],是国内外沉积物质量评价中应用最为广泛的方法之一。其计算公式如下:

$$C_f^i = C_{\text{表}}^i / C_n^i,$$

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i,$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i, \text{ 即 } RI = \sum_{i=1}^n T_r^i \times C_{\text{表}}^i / C_n^i.$$

式中: C_f^i 为某一金属的污染参数, $C_f^i < 1$ 为轻微污染, $1 \leq C_f^i < 3$ 为中度污染, $3 \leq C_f^i < 6$ 为强污染, $C_f^i \geq 6$ 为很强污染^[3]; $C_{\text{表}}^i$ 为沉积物中重金属的实测含量; C_n^i 为计算所需的参比值,Pb、Zn、Cu、Ni、Cr、Cd、As 分别为 20、23、52.05、17.78、23.65、42.46、0.07、9.14 mg·kg⁻¹^[10]。 E_r^i 为潜在生态风险参数; $E_r^i < 40$ 为轻微; $40 \leq E_r^i < 80$ 为中等; $80 \leq E_r^i < 160$ 为强; $160 \leq E_r^i < 320$ 为很强; $E_r^i \geq 320$ 为极强^[3]。 T_r^i 为单个污染物的毒性响应参数,Pb、Zn、Cu、Ni、Cr、Cd、As 分别为 5、1、5、5、2、30、10^[10]; RI 为多种金属潜在生态风险指数,RI < 150 为轻微; $150 \leq RI < 300$ 为中等; $300 \leq RI < 600$ 为强; $RI \geq 600$ 为很强^[3]。

2 结果与分析

2.1 湖泊表层沉积物重金属含量

扎龙湿地湖泊表层沉积物 7 种重金属的平均含量、标准差和变异系数见表 1。从表 1 可看出,重金属变异系数大小顺序为: Ni > Cu > Zn > Cr > Cd > As > Pb,其中 Pb 的变异系数最低为 5.186%,分布相对来说较为均匀;Ni 的变异系数最高为 19.382%,分布最不均匀;总的来说表层沉积物这几种重金属的分布都不均匀。重金属平均含量大小顺序为: Zn > Cr > Pb > Ni > Cu > As > Cd。

表1 表层沉积物重金属含量

Tab.1 Contents of heavy metals in the surface sediments

重金属	w/(mg·kg ⁻¹)				变异系数/%
	最大值	最小值	平均值	标准差	
Pb	23.240	13.246	16.656	0.864	5.186
Zn	68.865	14.330	39.491	5.937	15.034
Cu	20.749	2.963	11.533	2.027	17.578
Ni	23.430	2.002	11.804	2.228	19.382
Cr	61.707	15.899	33.357	4.417	13.241
Cd	0.156	0.054	0.099	0.012	11.668
As	5.397	2.556	3.694	0.285	7.717

2.2 湖泊表层沉积物重金属分布特征

对湖泊表层沉积物中重金属 Cd、Cr、Ni、Pb、Cu、Zn、和 As 含量分布进行研究,其分布规律见表 2. 沉积物中重金属元素在水平分布上变化比较大,Ni 和 Cu 的最高值与最低值之比高达 11.70 和 7.00 倍.从具体的分布规律看,Pb、Zn、Cu、Ni、Cr、Cd 和 As 这 7 种重金属元素含量在 Z6 和 Z7 上特别突出,Pb、Cu、Cr、Cd 和 As 的最高值都出现在 Z6 上,Zn 和 Ni 的最高值则出现在 Z7 上.7 种重金属元素在 Z4、Z5 和 Z8 上的含量较低,Pb、Zn、Cu、Ni、Cr、Cd As 的最低值分别为 13.246、14.330、2.963、1.997、15.899、0.054、2.556 mg·kg⁻¹,重金属分布特征基本相似,高值区与低值区也大致吻合,说明它们物质来源和平面分布具有相似性.

2.3 湖泊表层沉积物中不同重金属含量与有机质含量、pH 的关系

沉积物中重金属含量会受水体中重金属的负荷

表3 表层沉积物中重金属质量分数与 pH、有机质质量分数相关关系¹⁾

Tab.3 Matrix of correlation between heavy metals, pH and organic matter in the surface sediments

项目	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	Cd	As	pH	有机质
Pb	1.000								
Zn	0.846 **	1.000							
Cu	0.824 **	0.989 **	1.000						
Ni	0.832 **	0.988 **	0.981 **	1.000					
Cr	0.821 **	0.881 **	0.901 **	0.900 **	1.000				
Cd	0.760 **	0.928 **	0.946 **	0.921 **	0.916 **	1.000			
As	0.881 **	0.866 **	0.863 **	0.880 **	0.911 **	0.881 **	1.000		
pH	-0.254	-0.459	-0.487	-0.476	-0.441	-0.489	-0.254	1.000	
有机质	0.173	0.479	0.564 *	0.524	0.600 *	0.694 **	0.479	0.519	1.000

1) *、** 分别表示 0.05、0.01 的显著相关(n=12).

2.4 沉积物重金属污染评价结果

根据 Hakanson^[3]的方法,以松嫩平原土壤背景值为参比值,通过计算分析出潜在生态风险参数及潜在生态风险指数值(RI)对应的污染程度和生态风险程

度和沉积物-水界面环境条件(pH 和 Eh 等)及沉积物自身的性质所影响^[11]. 本文分别对湖泊表层沉积物重金属含量、有机质含量和 pH 进行了相关分析,结果见表 3. 从表 3 可以发现,重金属元素 Pb、Zn、Cu、Ni、Cr、Cd 和 As 含量之间存在显著相关($P < 0.01$). 这表明在沉积物中上述重金属元素的含量具有共同变化的趋势,即在来源、运输、影响富集因素等方面,有较相似的地球化学行为. 沉积物的有机质含量与 Cu 和 Cr 含量间存在显著正相关($P < 0.05$),有机质含量与 Cd 含量间存在极显著正相关($P < 0.01$),这可能与有机质能与重金属产生吸附等化学作用有关. 表层沉积物的 pH 则与金属元素的含量间不存在显著相关性,可以认为 pH 对沉积物中重金属的含量并无显著影响.

表2 不同采样点表层沉积物重金属的质量分数

Tab.2 Contents of heavy metals in the surface sediments

样点	w/(mg·kg ⁻¹)						
	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	Cd	As
Z1	17.983	49.369	15.694	18.107	54.939	0.144	5.004
Z2	18.260	56.565	19.716	17.009	44.745	0.138	4.252
Z3	16.600	31.145	8.803	10.277	28.716	0.063	3.510
Z4	14.940	14.520	2.963	2.002	15.899	0.054	2.694
Z5	14.910	20.305	4.001	2.747	17.187	0.061	2.604
Z6	23.240	68.104	20.749	21.794	61.707	0.156	5.397
Z7	20.743	68.865	20.401	23.430	40.785	0.127	4.476
Z8	13.801	14.330	3.131	1.997	18.113	0.055	3.257
Z9	14.353	21.609	4.869	5.129	21.224	0.056	2.809
Z10	14.934	33.055	9.761	9.316	23.261	0.108	3.323
Z11	13.246	34.197	10.610	10.316	33.181	0.091	2.556
Z12	16.864	61.823	17.694	19.519	40.526	0.136	4.440

度,结果见表 4. 从表 4 可以看出,除 Cd 在 6 处采样点表现出中等的生态风险外,全部采样点的 E_i^p 均小于轻微生态危害的划分标准值,由此判断调查区内重金属的潜在生态风险程度低. 其中 Cd 的 E_i^p 明显大于其他

重金属的 E_r^i , 顺序由大到小依次为 $Cd > Pb > As > Cu > Ni > Cr > Zn$. 有 50% 的采样点 Cd 的 E_r^i 高于 40, 属于生态风险中等的元素, 应引起一定的重视. 在分析测定的几种重金属元素中, 尽管 Zn 的含量相对较高, 但由于其毒性系数最低, 因此表现出最弱的生态风险. 调查区多种重金属的 RI 显示: 全部采样点的 RI 均小于 100, 处于轻微的生态风险等级, 基本无潜在的生态风

险影响. 其中采样点 $Z6$ 的重金属综合潜在生态危害相对最高, $Z4$ 的 RI 最低.

总体来说, 目前扎龙湿地湖泊表层重金属元素对环境有一定的负面影响, 但还没有造成污染, 重金属元素的潜在生态风险顺序是 $Cd > Pb > As > Cu > Ni > Cr > Zn$, Cd 在局部地区存在中等潜在生态风险, 应当引起一定的重视.

表 4 表层沉积物重金属潜在生态风险参数和潜在生态风险指数
Tab. 4 Potential ecological risk assessment of heavy metals in the surface sediments

样点	E_r^i							RI
	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	Cd	As	
Z1	4.445	0.948	4.413	3.828	2.588	59.178	5.475	80.875
Z2	4.513	1.087	5.544	3.596	2.108	56.712	4.652	78.212
Z3	4.103	0.598	2.476	2.173	1.353	25.890	3.841	40.433
Z4	3.693	0.279	0.833	0.423	0.749	22.192	2.948	31.116
Z5	3.685	0.390	1.125	0.581	0.810	25.068	2.850	34.509
Z6	5.744	1.308	5.835	4.608	2.907	64.110	5.905	90.416
Z7	5.127	1.323	5.737	4.953	1.921	52.192	4.897	76.151
Z8	3.411	0.275	0.880	0.422	0.853	22.603	3.563	32.008
Z9	3.547	0.415	1.369	1.084	1.000	23.014	3.073	33.503
Z10	3.691	0.635	2.745	1.969	1.096	44.384	3.636	58.156
Z11	3.274	0.657	2.984	2.181	1.563	37.397	2.796	50.852
Z12	4.168	1.188	4.976	4.127	1.909	55.890	4.858	77.116

3 结论

湖泊表层沉积物中重金属的含量大小依次为: $Zn > Cr > Pb > Ni > Cu > As > Cd$. 沉积物中重金属元素含量之间存在显著相关 ($P < 0.01$); 有机质含量与重金属元素 Cu 、 Cr 含量间存在显著相关 ($P < 0.05$), 有机质含量与重金属元素 Cd 含量间存在极显著相关 ($P < 0.01$); pH 则与金属元素的含量间不存在显著相关. 单项潜在生态风险参数和综合指数的评价结果表明, 调查区表现为轻微的综合潜在生态风险, 即对环境有轻微的生态风险影响. 除 Cd 在部分采样点处于中等潜在生态风险外, 其他重金属元素潜在生态风险轻微. 各重金属元素的生态风险顺序为: $Cd > Pb > As > Cu > Ni > Cr > Zn$.

参考文献:

[1] SALOMONS W, KERDIJK H, BRIL J, et al. Sediment as a sources for contaminants [J]. Hydrobiologia, 1987, 149: 13-30.

[2] 郑习健. 珠江广州河段底泥的污染分析[J]. 长江建设, 1996(5): 17-18.

[3] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollu-

tion control: A sedimentological approach [J]. Water Research, 1980, 14: 975-1001.

[4] 侯松岩, 陈权. 扎龙湿地对防洪减灾的作用[J]. 黑龙江水利专报, 2003, (1): 68-69.

[5] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.

[6] CAEIRO S, COSTA M H, RAMOS T B, et al. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach [J]. Ecological Indicators, 2005, 5: 151-169.

[7] OUTRIDGE P M, STEM G A, HAMILTON P B, et al. Trace metal profiles in the varied sediment of an Arctic lake [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2005, 69 (20): 4881-4894.

[8] 刘文新, 李向东. 深圳湾水域中重金属在不同相间的分布特征[J]. 环境科学学报, 2002, 22(3): 305-309.

[9] 刘文新, 栾兆坤, 汤鸿霄. 应用多变脸谱图进行河流与湖泊表层沉积物重金属污染状况的综合对比研究[J]. 环境化学, 1997, 16(1): 23-29.

[10] 李健, 郑春红. 环境背景值手册[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1988: 21.

[11] 何孟尝, 王子建, 汤鸿霄. 乐安江沉积物重金属污染及生态风险性评价[J]. 环境科学, 1999, 23(1): 7-10.

【责任编辑 周志红】