

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2012.05.009

竺山湖及太湖西沿岸北段的重金属分布特征及其生态风险评价

任小龙,朱 玲,姚 华,王 苓

(江苏省水文水资源勘测局无锡分局,江苏 无锡 214031)

摘要:对竺山湖及太湖西沿岸北段底泥沉积物中 6 种重金属 Cd、As、Cr、Hg、Pb 和 Cu 的质量比进行分析,结果表明,底泥沉积物中 Cd、As、Cr、Hg、Pb 和 Cu 的平均质量比分别为 1.23 mg/kg、10.28 mg/kg、82.98 mg/kg、0.074 mg/kg、35.27 mg/kg 和 33.9 mg/kg,分别是各自背景值的 4.6 倍、1.1 倍、1.0 倍、0.7 倍、2.2 倍和 1.8 倍;底泥沉积物中重金属的垂向分布特点是:随底泥沉积物深度的增加,重金属质量比逐渐降低,并在底泥沉积物 50 cm 深处表现出明显的重金属质量比降低拐点。利用潜在生态风险指数法对竺山湖及太湖西沿岸北段的重金属生态风险进行评价,结果表明,该区域重金属生态风险值范围为 34~444,平均值为 117,太湖西沿岸大浦口区域的生态风险较大,Cd 是生态风险的主要贡献元素。建议对竺山湖以及太湖西沿岸区大浦口区域 Cd 的污染进行必要的疏浚控制,疏浚深度在底泥 50 cm 深处,以有效去除该区域的 Cd 污染。

关键词:沉积物;重金属分布;生态风险评估;竺山湖;太湖西沿岸北段

中图分类号:X502 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-6933(2012)05-0043-05

Distribution of heavy metals in sediments of Zhushan Lake and northern segment of western shore of Taihu Lake and its ecological risk assessment

REN Xiao-long, ZHU Ling, YAO Hua, WANG Ling

(Wuxi Branch of Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Wuxi 214031, China)

Abstract: The concentrations of six heavy metals, Cd, As, Cr, Hg, Pb, and Cu, in sediments of Zhushan Lake and the northern segment of the western shore of Taihu Lake were analyzed. The results show that the average concentrations of Cd, As, Cr, Hg, Pb, and Cu were 1.23 mg/kg, 10.28 mg/kg, 82.98 mg/kg, 0.074 mg/kg, 35.27 mg/kg, and 33.9 mg/kg, which were 4.6 times, 1.1 times, 1.0 times, 0.7 times, 2.2 times, and 1.8 times their background values, respectively. The concentrations of heavy metals in the sediments decreased with the increase of the sediment depth and had a significant decreasing tendency at a depth of 50 cm. The potential ecological risk index method was used to evaluate the ecological risk of heavy metals in sediments of Zhushan Lake and the northern segment of the western shore of Taihu Lake. The results show that the RI index of the study area ranged from 34 to 444, with an average value of 117, the ecological risk in the Dapukou area on the western shore of Taihu Lake was high, and Cd was the main element contributing to the ecological risk. It is suggested that the Cd pollution in the Dapukou area and Zhushan Lake should be controlled by dredging, and the dredging depth should be kept at 50 cm for effective removal of Cd pollution.

Key words: sediment; heavy metal distribution; ecological risk assessment; Zhushan Lake; northern segment of western shore of Taihu Lake

作者简介:任小龙(1977—),男,工程师,主要从事水文水资源调查分析工作。E-mail:5918045@qq.com

湖泊底泥沉积物是重金属、营养盐等污染物质的蓄积地。来自河流输入、大气沉降等的污染物质与悬浮颗粒物结合进入湖泊中,通过沉降作用,蓄积于湖泊沉积物的表层。沉积物中的重金属在物理和化学的作用下与沉积物中的有机质、铁锰氧化物、硫化物等物质结合,以不同的形态储存于沉积物中^[1-2]。这些重金属并非永久地存在于沉积物中,在外界环境条件的影响下(如 pH、氧化还原电位等)它们又被释放到间隙水中,在扩散作用下最终释放到湖泊水体中,对湖泊水质造成影响,引起“二次污染”^[3-4]。湖泊底泥是许多生物的栖息地,水生生物通过直接摄取颗粒悬浮物而将重金属蓄积于体内,部分生物被人类食用而将重金属储存于人的体内。因此,了解底泥沉积物中重金属的污染状态是非常必要的。

竺山湖是太湖西北部的半封闭型湖湾,北起百渚口,南至马山咀一线,面积 57.2km²,主要入湖河道为雅浦港、太漏运河、殷村港。受入湖河道污水汇入影响,竺山湖常年水质为劣 V 类,是太湖水质污染最严重的湖区,其底泥污染严重。太湖西沿岸北段北起师渚港,南至乌溪港,湖区面积 29.3km²,主要入湖河道包括师渚港、茭渚港、官渚港、城东港、大浦港、林庄港等,受上游来水水质影响,其水体污染严重(水质为劣 V 类),底泥也存在严重的污染风险。以往虽然也有学者对上述区域进行了相关研究,然而研究只是基于少数点位,对沉积物中污染物的了解不够全面。本研究通过对竺山湖及太湖西沿岸区进行底泥采样分析,弄清竺山湖及太湖西沿岸重金属的分布特征,在此基础上进行重金属生态风险评估,并提出重金属污染治理策略,以期为太湖污染治理提供依据。

1 重金属分布特征

1.1 采样点分布

采用全球定位系统(GPS)确定采样点位置。本次调查采样点为 77 个,实际底泥采样分析点为 15 个,采样点主要分布在竺山湖和太湖西沿岸入湖河口区域(太湖污染治理的重要区域),见图 1。采样时间为 2008 年 10 月,目的是分析竺山湖和太湖西沿岸北段 As、Hg、Cr、Cd、Pb、Cu 6 种重金属的分布特征。

1.2 样品分析方法

根据现场采集到的泥样长度(≤底泥深度),按 0~10 cm、10~20 cm、20~50 cm、50~100 cm、100~150 cm 的间距对底泥进行分层。去除泥样中的石块、残草等杂质,并按四分法进行代表性取样。样品装入聚乙烯保鲜袋中,标注编号,密封保存,并即刻

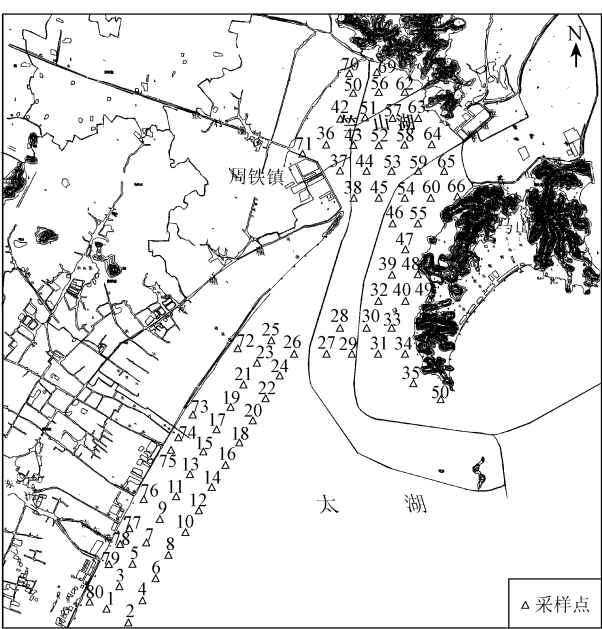


图 1 竺山湖及太湖西沿岸北段采样点分布

运抵实验室,进行底泥的物理、化学参数分析。对 Cr、Cd、Pb、Cu 的测定,先采用 HNO₃-HF-HClO₄ 法进行消解,然后用原子吸收分光光度计测定其在泥样中的质量比。对 Hg 和 As 的测定,先分别采用 H₂SO₄-HNO₃-K₂CrO₇ 法和 H₂SO₄-HNO₃ 进行消解,然后采用原子荧光法测定其在泥样中的质量比。

1.3 沉积物中重金属质量比范围

表 1^[5] 为竺山湖及太湖西沿岸北段表层沉积物中主要重金属质量比的统计结果。和太湖其他区域相比,该区域沉积物中重金属的质量比偏高,这主要由于该区域长期受到来自沿岸的污水污染。将测定的重金属质量比平均值与太湖流域重金属质量比背景值相比发现,Cd、As、Cr、Hg、Pb 以及 Cu 的质量比平均值分别为背景值的 4.6 倍、1.1 倍、1.0 倍、0.7 倍、2.2 倍和 1.8 倍,其中 Cd 的质量比平均值超过背景值的倍数最多。可见,竺山湖及太湖西沿岸北段区域重金属污染严重,需要加以关注。

表 1 竺山湖及西沿岸北段表层沉积物中主要重金属质量比的统计结果

重金属	mg/kg			
	最大值	最小值	平均值	背景值 ^[5]
Cd	6.820	0.060	1.230	0.27
As	33.900	3.270	10.280	9.40
Cr	202.530	33.840	82.980	79.30
Hg	0.261	0.025	0.074	0.11
Pb	59.560	22.060	35.270	15.70
Cu	140.100	15.230	33.900	18.90

1.4 沉积物中重金属的垂直分布

竺山湖及太湖西沿岸北段水域底泥沉积物中 Cu、Pb、Cr、Cd、Hg、As 6 种重金属的垂直分布各不相同。重金属的高质量比值有的处于底泥表层或近表

表 2 不同采样点不同层次底泥沉积物中 Cr、As 、Cu、Hg、Pb、Cd 的垂直分布																		mg/kg
采样点	0 ~ 10 cm						10 ~ 20 cm						20 ~ 50 cm					
	w(Cr)	w(As)	w(Cu)	w(Hg)	w(Pb)	w(Cd)	w(Cr)	w(As)	w(Cu)	w(Hg)	w(Pb)	w(Cd)	w(Cr)	w(As)	w(Cu)	w(Hg)	w(Pb)	w(Cd)
01	76.70	9.95	24.11	0.0703	36.46	5.85	72.10	9.48	28.28	0.0904	34.84	6.82	60.47	11.00	18.65	0.0951	28.20	6.64
06	79.39	11.00	27.35	0.0824	39.44	—	81.72	9.24	23.41	0.0581	36.47	—	104.16	12.20	30.81	0.0356	33.93	—
09	39.58	10.00	32.97	0.0739	43.99	1.13	49.97	10.60	24.77	0.0605	37.74	0.53	57.20	12.20	37.84	0.0857	47.22	0.62
14	70.38	10.30	22.87	0.0771	33.97	—	72.06	7.54	19.51	0.0604	29.15	—	80.71	9.24	19.43	0.0279	27.93	—
31	78.15	8.99	23.97	0.1163	35.94	—	71.76	5.35	19.30	0.0718	29.68	—	76.63	4.73	19.06	0.0522	28.68	—
32	104.37	12.40	36.37	0.1214	42.36	—	82.74	10.10	25.84	0.0802	35.63	—	—	—	—	—	—	—
35	71.32	5.01	19.06	0.0727	31.22	—	71.02	3.97	16.31	0.0634	24.90	—	66.21	3.27	16.34	0.0628	26.48	—
37	160.51	12.70	84.61	0.2335	40.38	0.54	148.99	14.60	76.14	0.1534	47.83	0.57	93.50	12.90	33.74	0.0836	41.01	0.85
41	80.50	8.96	27.72	0.0817	42.55	—	68.08	5.92	19.45	0.0714	31.24	—	67.92	4.73	19.01	0.0516	28.08	—
42	52.70	20.70	76.97	0.2610	51.08	0.36	46.93	33.90	78.94	0.1296	48.74	0.42	—	—	—	—	—	—
48	71.24	4.58	19.07	0.0394	27.64	—	70.96	4.38	18.26	0.0384	25.78	—	75.00	5.30	20.17	0.0390	27.31	—
55	50.08	8.13	22.52	0.0744	44.95	0.15	33.84	5.84	27.08	0.0551	37.76	0.14	56.73	6.04	21.43	0.0438	37.92	—
57	200.00	19.10	94.70	0.1926	56.05	1.06	120.33	13.20	49.95	0.1216	44.91	1.06	60.45	5.01	16.04	0.0349	22.06	0.12
65	173.01	13.40	95.99	0.1355	39.28	0.90	117.95	11.00	63.91	0.0906	32.92	0.57	—	—	—	—	—	—
69	153.30	15.60	140.10	0.1643	59.56	0.63	54.37	16.60	64.47	0.1141	38.74	0.73	—	—	—	—	—	—

采样点	50 ~ 100 cm						100 ~ 150 cm					
	w(Cr)	w(As)	w(Cu)	w(Hg)	w(Pb)	w(Cd)	w(Cr)	w(As)	w(Cu)	w(Hg)	w(Pb)	w(Cd)
01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
06	90.89	10.40	25.24	0.0324	27.80	—	90.34	8.23	22.44	0.0407	26.43	—
09	62.44	10.30	25.51	0.0377	44.88	0.71	—	—	—	—	—	—
14	87.12	12.20	23.51	0.0289	26.35	—	91.70	7.77	22.09	0.0249	26.39	—
31	99.77	10.50	29.66	0.0375	32.51	—	101.24	10.00	30.37	0.0331	32.58	—
32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	78.60	7.10	21.53	0.0390	27.67	—	100.39	10.30	30.75	0.0570	33.10	—
37	103.25	10.60	31.67	0.0352	35.72	1.68	96.04	20.50	29.15	0.0300	33.75	0.12
41	68.32	5.06	21.32	0.0378	27.16	—	79.36	7.55	22.63	0.0372	25.18	—
42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
48	112.54	12.00	35.12	0.0383	37.73	—	91.41	8.96	28.23	0.0371	30.00	—
55	44.18	12.80	22.97	0.0434	0.43	—	38.66	8.66	15.23	0.0425	35.24	28.46
57	74.02	7.20	21.65	0.0280	25.52	0.06	—	—	—	—	—	—
65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

层,有的处于深层。在表层底泥中,底泥多为最近沉降下来的,重金属与颗粒物结合,使底泥对生物体构成生态风险。重金属较多处于深层沉积物中,可能是因为这些区域的底泥中重金属富集时间较长。沉积物中重金属的富集大致发生在 20 世纪 80 年代,在适当的条件下重金属会向下迁移,使得表层沉积物中的重金属质量比低于历史沉积层深层中的重金属质量比。表 2 为竺山湖及太湖西沿岸北段水域不同采样点不同层次(0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm、20 ~ 50 cm、50 ~ 100 cm、100 ~ 150 cm)底泥沉积物中的 Cr、As 、Cu、Hg、Pb、Cd 6 种重金属的垂直分布情况。

从表 2 可以看出,Cr 在沉积物中的质量比较高,分布规律不明显,但其质量比极值出现在沉积物 50 cm 深度以上;底泥中 As 的质量比在表层较高,逐渐向底层降低,50 cm 以上深度的底泥沉积物中 As 的质量比较高,50 cm 以下较低且基本趋于稳定;Cu 在沉积物中的分布无明显规律,但各个采样点的质量比极值基本出现在表层底泥 50 cm 以上,且在底泥

表层与底层中的质量比差别不大,所测点底泥沉积物中 Cu 的质量比都较低,只是在个别区域出现质量比高的现象,这与个别区域的特型污染输入有关;Hg 的质量比有自底泥表层向底层逐渐降低的趋势,最大值几乎都集中到表层 10 cm 左右的底泥中,在 50 cm 以下的底泥沉积物中 Hg 的质量比逐渐趋于稳定,且明显低于表层;Pb 的质量比在垂直层面沉积物中的差异较小,最大值基本出现在 50 cm 以上的底泥沉积物中,随着沉积物深度的增加,Pb 的质量比逐渐趋于稳定甚至减小;在所测点中,只有 8 个点测出了 Cd,其中,大浦口区域(01 号采样点)底泥沉积物中 Cd 的质量比极高,这与有关部门的研究结论相同,原因可能是大浦口的电镀以及印染等废水的输入。

2 重金属生态风险评价

2.1 评价方法

瑞典科学家 Hakanson^[6] 于 1980 年提出了潜在生态风险指数法来进行重金属生态危害评价。该方

法是目前学者较多采用的重金属生态危害评价方法^[7-10]。潜在生态风险评价是基于元素丰度和释放能力的原则,假设了如下前提条件:①元素丰度响应,即潜在生态风险指数,随沉积物中重金属污染程度的加重而增加;②多污染物协同效应,即沉积物的金属生态危害具有加和性,多种金属污染的潜在生态风险更大,Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、As、Hg 是需要优先考虑的重金属;③各重金属元素的毒性响应不同,生物毒性强的重金属对潜在生态风险指数具有较高的权重。

潜在生态风险指数可以反映 4 方面的情况:①表层沉积物中重金属的质量比;②重金属污染物的种类数;③重金属的毒性水平;④水体对重金属污染的敏感性。在这些前提条件下产生如下生态风险评价指标:单一金属污染系数 C_f^i ,不同金属生物毒性响应系数 T_r^i ,单一金属潜在生态风险系数 E_r^i ,多金属潜在生态风险指数 R_i ,其关系用以下公式表达:

$$C_f^i = C_d^i / C_r^i \tag{1}$$

$$E_r^i = T_r^i C_f^i \tag{2}$$

$$R_i = \sum_{i=1}^r E_r^i = \sum_{i=1}^r T_r^i C_f^i = \sum_{i=1}^r T_r^i C_d^i / C_r^i \tag{3}$$

式中: C_d^i 为样品中 i 金属质量比的实测值; C_r^i 为沉积物中 i 金属质量比的背景值。

Hakanson^[6]根据大量数据,提出了重金属的生态危害风险指数和生态危害程度分级标准(表 3)。

表 3 E_r^i 和 R_i 的阈值区间和生态危害程度分级

E_r^i	R_i	生态危害程度
<40	<150	轻微
40 ~ 80	150 ~ 300	中等
80 ~ 160	300 ~ 600	强
160 ~ 320	≥600	很强
≥320		极强

2.2 评价结果与分析

经计算,竺山湖和太湖西沿岸北段 6 种金属的潜在生态风险指数见表 4。

表 4 竺山湖和太湖西沿岸北段重金属潜在生态风险指数

采样点	R_i		采样点	R_i	
	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm		0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm
01	382.8	444.1	41	112.3	97.3
06	112.4	107.5	42	101.7	93.1
09	102.0	62.0	48	92.5	91.5
14	103.7	98.7	55	40.9	34.0
31	114.4	98.9	57	140.9	113.2
32	137.0	112.5	65	114.2	77.2
35	98.8	94.7	69	115.0	93.1
37	105.8	95.7			

使用 surfer 软件的克里金(Kriging)插值法生成竺山湖及太湖西沿岸北段 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 底泥的重金属生态风险指数分布图(图 2 ~ 3)。由图

2 ~ 3 可见,重金属生态风险指数小于 170 ~ 180 的区域占到 95% 以上,也就是说 95% 的区域为轻微生态风险状态;生态风险较大区域主要在大浦口附近,其最高生态风险指数达到 400 以上,表明该区域已处于重度生态风险状态,对人类和生物种群已产生明显危害。

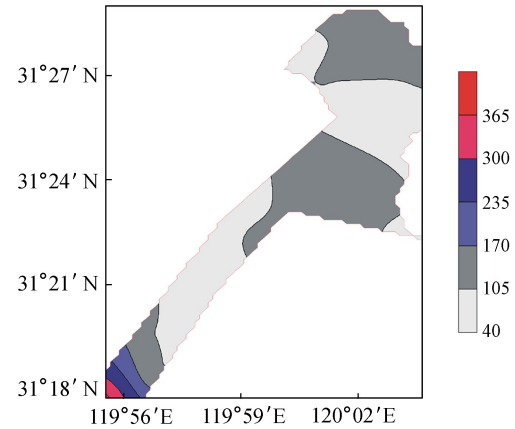


图 2 竺山湖及太湖西沿岸北段 0 ~ 10 cm 底泥生态风险指数 R_i

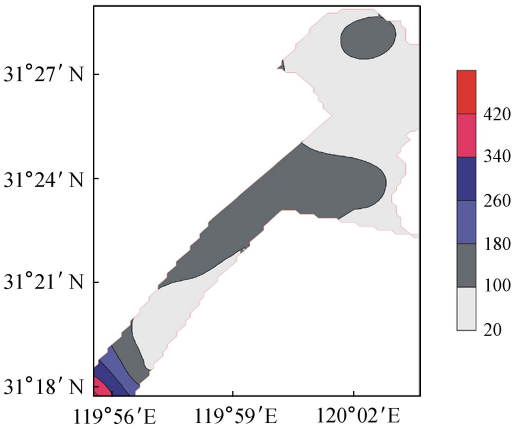


图 3 竺山湖及太湖西沿岸北段 10 ~ 20 cm 底泥生态风险指数 R_i

3 结论与建议

- a. 竺山湖及太湖西沿岸区域表层沉积物中 Cd、As、Cr、Hg、Pb 以及 Cu 的质量比平均值分别为 1.23 mg/kg、10.28 mg/kg、82.98 mg/kg、0.074 mg/kg、35.27 mg/kg 和 33.9 mg/kg,分别是各自背景值的 4.6 倍、1.1 倍、1.0 倍、0.7 倍、2.2 倍和 1.8 倍。
- b. 竺山湖及太湖西沿岸区域沉积物中的重金属的质量比均表现为随着沉积物深度的增加而逐渐降低的趋势,且在沉积物 50 cm 深处出现明显的拐点。
- c. 竺山湖及太湖西沿岸区域 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 底泥沉积物的生态风险指数平均值分别为 120 和 114,大浦口局部区域的重金属生态风险相对较大,Cd 对生态风险的贡献最大。

d. 建议对竺山湖以及太湖西沿岸区大浦口区域 Cd 的污染进行必要的疏浚控制,疏浚深度在底泥 50 cm 深处,以有效去除该区域的 Cd 污染。

参考文献:

[1] 陈静生. 水环境化学[M]. 北京:高等教育出版社, 1987.

[2] 陈静生,刘玉机. 中国水环境重金属研究[M]. 北京:中国环境科学出版社,1992.

[3] 范英宏,林春野,何孟常,等. 大辽河水系表层沉积物中重金属的迁移特征及生物有效性研究[J]. 环境科学, 2008,29(12):3469-3476.

[4] 魏俊峰,吴大清,彭金莲,等. 污染沉积物中重金属的释放及其动力学[J]. 生态环境,2003,12(2):127-130.

[5] QU W C, DICKMAN M, WANG S M. Multivariate of analysis of heavy metal and nutrient concentrations in

sediments of Taihu Lake[J]. China Hydrobiologia,2001, 450:83-89.

[6] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control;a sedimentological approach[J]. Water Research, 1980,14(8):975-1001.

[7] 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.

[8] 乔胜英,蒋敬业,向武,等. 武汉地区湖泊沉积物重金属的分布及潜在生态效应评价[J]. 长江流域资源与环境,2005,14(3):353-357.

[9] 汤莉莉,牛生杰,徐建强,等. 外秦淮河疏浚后底泥重金属污染与潜在生态风险评价[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(3):424-430.

[10] 万金保,王建永,吴丹. 乐安河沉积物重金属污染现状评价[J]. 环境科学与技术,2008,31(11):130-133.

(收稿日期:2012-02-14 编辑:彭桃英)

(上接第 37 页)

[2] 金辉. 东江干流东莞段水质研究[J]. 环境科学研究, 2001,14(3):45-48.

[3] 马小玲. 东江流域水资源制度研究初探[EB/OL]. [2003-09-16]. <http://www.riel.whu.edu.cn/article.asp?id=25596>,2003:415-418.

[4] 甘华阳,梁开,郑志昌. 珠江口沉积物的重金属背景值及污染评价分区[J]. 地球与环境,2010,38(3):344-350.

[5] 杨永强. 珠江口及近海沉积物中重金属元素的分布、赋存形态及其潜在生态风险评价[D]. 北京:中国科学院研究生院,2007.

[6] 吕文英,汪玉娟,刘国光. 北京底泥中重金属污染特征及生态危害评价[J]. 中国环境监测,2009,25(3):69-72.

[7] 牛红义,吴群河,陈新庚. 珠江(广州河段)表层沉积物中的重金属污染调查与评价[J]. 环境监测管理与技术,2007,19(2):23-25.

[8] FORSTNER U. Lecture notes in earth sciences: contaminated sediments [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1989:107-109.

[9] 广东省环境监测中心站. 广东省土壤环境背景值数据集[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990.

[10] HAKANSON L. A ecological risk index for aquatic pollution control;a sedimentological approach[J]. Water Research, 1980,14(8):975-1001.

[11] 刘芳文,颇文,王文质,等. 珠江口沉积物重金属污染及其潜在生态危害评价[J]. 海洋环境科学,2002,21(3):34-38.

[12] 徐争启,倪师军,庾先国,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.

[13] 黎彤. 地球和地壳的化学元素丰度[M]. 北京:地质出版社,1990.

(收稿日期:2011-06-20 编辑:彭桃英)

《水资源保护》征订启事

中国科技核心期刊 RCCSE 中国核心学术期刊

《水资源保护》是河海大学和中国水利学会环境水利研究会共同主办的科学技术期刊,创刊于 1985 年,双月刊,国内外公开发行,国内统一连续出版物号:CN32-1356/TV,ISSN 1004-6933。

《水资源保护》主要刊登与水资源保护有关的基础研究,应用技术,工程措施,综合述评,以及水资源管理、评价、监测、优化配置,节水技术,水环境污染控制等方面的文章。近年来,重点关注与水有关的生态环境领域中的研究方向,新增设相关的基础研究、防治技术、城市水环境治理等内容。

主要读者对象:与水资源保护工作有关的工程技术人员、科研人员、管理人员以及大专院校的师生。

《水资源保护》邮发代号:28-298,双月刊,每期定价 12 元,全年共 72 元,每逢单月出版。可在全国各地邮局订阅,也可直接与编辑部联系订阅。

地 址:210098 南京市西康路 1 号 河海大学《水资源保护》编辑部
电话/传真:(025)83786642 E-mail:bh@hhu.edu.cn
网 址:kbb.hhu.edu.cn/web/indexbh.asp? d_id=34