

乡村内河沉积物中的重金属污染评价及资源化利用

张跃军, 孙 彬, 赵晓蕾

(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

摘 要:按季节变化采集乡村内河(横草路港)约 40~50 cm 深的柱状垂直沉积物,通过测定浮泥层、淤泥层、底泥层中 8 种重金属的含量,研究了沉积物中重金属在垂直方向上的分布特征,采用地积累指数法评价了其污染程度,分析了沉积物疏浚后资源化利用的可行性。结果表明,沉积物中重金属的垂向分布规律表现为在浮泥层、淤泥层、底泥层中的含量和地积累指数由上至下逐渐降低,即污染程度逐渐减小,其中夏季的 Cd 在浮泥层的地积累指数为 3,中度污染;春季的 Zn,夏、秋季的 Hg 在浮泥层的地积累指数均为 2,偏中度污染;春、秋季的 Cd,夏季的 Zn,冬季的 Ni、Hg 在浮泥层的地积累指数均为 1,轻度污染;四季的 Cu、Pb、Cr、As 在浮泥层的地积累指数均为 0,无污染。除浮泥层的 Zn 和 Ni 以外,沉积物各泥层中其他重金属的含量均达到 I 类或 II 类土壤环境质量标准,因此就重金属而言,横草路港沉积物疏浚后可进行资源化利用。

关键词:沉积物;重金属;污染评价;资源化利用;乡村内河

中图分类号:X53 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)04-1398-05

The Pollution Evaluation of Heavy Metals in Sediment from Country Freshwater and the Resource Use

ZHANG Yue-jun, SUN Bin, ZHAO Xiao-lei

(School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: The distribution characteristic of heavy metals at vertical orientation was studied through collecting about 40~50 cm deep vertical sediment from country freshwater(Hengcaolugang River) and determining the contents of 8 kinds of heavy metals in floating sludge, middle sludge and bottom sludge. The pollution degrees were evaluated through adopting the geo-accumulation index and the resource use feasibility of dredged sediment was analyzed. The vertical distribution characteristic of heavy metals in sediment showed that the contents and the geo-accumulation indexes in floating sludge, middle sludge and bottom sludge gradually reduced from up to down, namely pollution degrees gradually decreased vertically. In floating sludge, the geo-accumulation index of Cd in summer was 3, which was middle-pollution. The geo-accumulation indexes of Zn in spring, Hg in summer and autumn were 2, which were partial to middle-pollution. The geo-accumulation indexes of Cd in spring and autumn, Zn in summer, Ni and Hg in winter were 1, which were light-pollution. The geo-accumulation indexes of Cu, Pb, Cr, As in 4 seasons were 0, which were non-pollution. The contents of other heavy metals in each sludge layer of sediment reached I kind or II kind of soil environment quality standards except the contents of Zn and Ni in floating sludge. So dredged sludge from Hengcaolugang River could be used as a resource according to heavy metal standards.

Keywords: sediment; heavy metal; pollution evaluation; resource use; country freshwater

江南水乡河网密布,乡村内河随处可见。近年来,由于农村经济、乡镇企业的飞速发展,水环境急剧恶化,大部分内河都受到了不同程度污染,其灌溉作用逐渐消失。同时,河道的淤积状况也不容乐观,一些有

毒有害沉积物破坏了底栖生物的生态环境与生态平衡,加剧了水体污染的恶性循环,每年 5 cm 左右的淤积速度也使河道的排涝功能逐年丧失。因此,对乡村内河的清淤疏浚势在必行,而对疏浚淤泥的处置则不容忽视。目前,疏浚淤泥消纳的基本途径有水下弃置、隔离处置和资源化利用等^[1],其中农田的资源化利用具有用量大、技术简单、经济性好的优势,应优先考虑。但淤泥投放农田后可能会释放有机酸、重金属、无机盐等,对作物的产量和品质产生影响^[2-3],所以沉积物中重金属的污染程度评价是需要研究的首要问题

收稿日期:2007-11-01

基金项目:江苏省自然科学基金重点项目(BK2003212);“十五”国家科技攻关项目(2003BA327C)

作者简介:张跃军(1959—),男,山东苍山人,博士,教授,长期从事水溶性高分子、表面活性剂、含能材料的合成、工艺、机理和应用研究。E-mail: zhyuejun@mail.njust.edu.cn

之一。国际上重点监测和管理的重金属污染物有铜、锌、镍、铅、镉、铬、汞、砷^[4]。

本文拟采集苏州市吴江地区一条典型乡村内河(横草路港)的约 40~50 cm 深的柱状垂直沉积物,测定浮泥层、淤泥层、底泥层中的重金属含量,研究沉积物中重金属在垂直方向上的分布特征,评价其污染程度,分析疏浚淤泥作农田用土的可行性,为制定江南乡村内河清淤疏浚工程方案提供科学依据,为确定疏浚淤泥的处置方法与用途提供参考数据。

1 材料与方法

1.1 实验仪器与药品

SOLAAR32 原子吸收光谱分析仪(美国热电公司);AFS-930 荧光光谱分析仪(北京吉大小天鹅仪器有限公司),所用化学试剂均为分析纯或优级纯。

1.2 沉积物的采集与样品制备

课题组分别于 2005 年 4 月、7 月、10 月、2006 年 1 月采集了横草路港的沉积物。用自制的采样器,在 2 个固定采样点各采得 1 个约 40~50 cm 深的柱状垂直沉积物,在柱状样的上端、中段、下端各取 5~10 cm 左右的泥样,分别代表浮泥层、淤泥层、底泥层。将各层泥样在滤纸上自然风干,于研钵中碾碎,过筛,取筛下部分备用。

1.3 重金属含量测定

按照文献[5~10]的方法消解备用的各层泥样,然后用原子吸收光谱法测定铜、锌、镍、铅、镉、铬的含量,用原子荧光光谱法测定汞、砷的含量。

2 重金属污染评价方法

在受重金属污染的水体水相中,重金属的含量很少,且随机性很大,随排放状况与水利条件而变,分布往往没有规律。但在沉积物中,重金属却容易得到积累,并表现出较明显的分布规律^[11,12]。与水体相比,沉积物中的重金属具有丰度高、易于准确检测等特点,所以沉积物可以反映水体状况,是重金属污染的指示剂^[13],沉积物中的重金属对水体的影响具有持久性。常用的重金属污染评价方法主要有

地积累指数法^[14]、潜在生态危害指数法^[15]、回归过量分析法等^[16]。

2.1 地积累指数法评价沉积物的重金属污染

地积累指数(I_{geo})是德国海德堡大学沉积物研究所科学家 Muller 提出的一种研究水环境中沉积物重金属污染的定量指标。地积累指数不仅考虑了沉积成岩作用等自然地质过程造成的背景值影响,而且也充分注意了人为活动对重金属污染的影响。因此,该指数既反映了重金属分布的自然变化特征,又可以判别人为活动对环境的影响,是区分人为活动影响的重要参数。 I_{geo} 的计算公式为:

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / (1.5 \times B_n)]$$

式中: C_n 为元素 n 在沉积物中的含量, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; B_n 为元素 n 在沉积物中的地球化学背景值, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 1.5 为常数,是考虑到成岩作用可能引起背景值的变动。地积累指数共分 7 级,即 0~6 级^[17]。

2.2 地积累指数与地积累污染级数

地积累指数法中的重金属地球化学背景值如表 1 所示^[18]。

表 1 重金属地球化学背景值($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 1 Gero-chemical background values($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) of heavy metals

重金属	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	Cr	Hg	As
算术平均值	22.6	74.2	26.9	26.0	0.097	61.0	0.065	11.2
标准差	11.41	32.78	14.36	12.37	0.079	31.07	0.080	7.86

由实测的 C_n 及表 1 所示的 B_n 可计算得到地积累指数, I_{geo} 与地积累污染级数如表 2 所示^[19]。

3 结果与讨论

3.1 重金属的含量、地积累指数与污染级数

按季节变化对横草路港 2 个固定采样点的各层泥样测定了 8 种重金属的含量,取其平均值计算了地积累指数,并根据表 2 确定了 8 种重金属的地积累污染级数,实验数据如表 3 所示。

3.2 重金属的垂向分布规律

由表 3 可见,横草路港沉积物中各种重金属的含量、地积累指数随季节交替并无明显的变化规律,但

表 2 地积累指数与地积累污染级数

Table 2 Gero-accumulation indexes and pollution grades

项目	污染程度						
	清洁	轻度污染	偏中度污染	中度污染	偏重污染	重污染	严重污染
I_{geo}	≤ 0	$0 < I_{geo} \leq 1$	$1 < I_{geo} \leq 2$	$2 < I_{geo} \leq 3$	$3 < I_{geo} \leq 4$	$4 < I_{geo} \leq 5$	> 5
污染级数	0	1	2	3	4	5	6

表 3 横草路港沉积物中重金属的含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)及标准差、地积累指数与地积累污染级数
Table 3 Contents($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)and standard dispersions,gero-accumulation indexes and pollution grades of heavy metals in sediment from Hengcaolugang River

C_n 及标准差、 I_{geo} 与污染级数			Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	Cr	Hg	As
春季	浮泥层	C_n , 标准差	19.33, 0.07	327.76, 15.87	35.79, 0.59	37.02, 2.65	0.22, 0.01	39.83, 1.11	0, 0	5.24, 0.09
		I_{geo}	-0.81	1.56	-0.17	-0.08	0.60	-1.20	$-\infty$	-1.68
		污染级数	0	2	0	0	1	0	0	0
	淤泥层	C_n , 标准差	18.97, 0.27	261.00, 10.58	33.83, 0.22	28.59, 0.08	0.16, 0.01	37.10, 0.18	0, 0	4.51, 0.21
		I_{geo}	-0.84	1.23	-0.25	-0.45	0.14	-1.30	$-\infty$	-1.90
		污染级数	0	2	0	0	1	0	0	0
	底泥层	C_n , 标准差	16.24, 1.49	135.53, 11.65	31.29, 0.70	23.93, 1.46	0.14, 0.01	36.40, 0.22	0, 0	3.55, 0.07
		I_{geo}	-1.06	0.28	-0.37	-0.70	-0.06	-1.33	$-\infty$	-2.24
		污染级数	0	1	0	0	0	0	0	0
夏季	浮泥层	C_n , 标准差	16.85, 1.32	189.96, 12.37	28.02, 0.11	29.69, 0.45	0.78, 0.04	60.84, 1.19	0.22, 0.01	4.65, 0.35
		I_{geo}	-1.01	0.77	-0.53	-0.39	2.42	-0.59	1.17	-1.85
		污染级数	0	1	0	0	3	0	2	0
	淤泥层	C_n , 标准差	13.72, 0.06	122.65, 11.34	27.71, 0.24	27.13, 0.46	0.61, 0.05	54.04, 0.13	0.17, 0.01	3.60, 0.32
		I_{geo}	-1.31	0.14	-0.54	-0.52	2.07	-0.76	0.80	-2.22
		污染级数	0	1	0	0	3	0	1	0
	底泥层	C_n , 标准差	12.51, 0.30	84.58, 0.22	25.48, 0.47	23.33, 0.07	0.53, 0.03	51.98, 0.02	0.15, 0.01	3.07, 0.07
		I_{geo}	-1.44	-0.40	-0.66	-0.74	1.86	-0.82	0.62	-2.45
		污染级数	0	0	0	0	2	0	1	0
秋季	浮泥层	C_n , 标准差	27.45, 1.87	81.05, 2.45	14.29, 1.18	21.57, 1.14	0.28, 0.01	60.09, 2.16	0.32, 0.02	5.78, 0.49
		I_{geo}	-0.30	-0.46	-1.50	-0.85	0.94	-0.61	1.71	-1.54
		污染级数	0	0	0	0	1	0	2	0
	底泥层	C_n , 标准差	14.59, 0.06	66.73, 4.03	10.69, 0.41	16.44, 0.57	0.08, 0	55.69, 1.08	0.16, 0.01	4.62, 0.27
		I_{geo}	-1.22	-0.74	-1.92	-1.25	-0.86	-0.72	0.71	-1.86
		污染级数	0	0	0	0	0	0	1	0
冬季	浮泥层	C_n , 标准差	23.80, 1.93	103.96, 8.59	65.84, 5.47	13.86, 1.83	0, 0	72.60, 5.48	0.18, 0.01	15.61, 1.09
		I_{geo}	-0.51	-0.10	0.71	-1.49	$-\infty$	-0.33	0.88	-0.11
		污染级数	0	0	1	0	0	0	1	0
	淤泥层	C_n , 标准差	17.48, 0.09	87.17, 7.38	59.72, 1.36	11.05, 0.61	0, 0	62.92, 0.36	0.05, 0	11.02, 0.69
		I_{geo}	-0.96	-0.35	0.57	-1.82	$-\infty$	-0.54	-0.96	-0.61
		污染级数	0	0	1	0	0	0	0	0
	底泥层	C_n , 标准差	13.45, 0.15	54.29, 0.87	54.98, 1.16	6.37, 0.11	0, 0	58.15, 1.15	0.02, 0	8.17, 0.36
		I_{geo}	-1.33	-1.04	0.45	-2.61	$-\infty$	-0.65	-2.29	-1.04
		污染级数	0	0	1	0	0	0	0	0

注:因 2005 年 10 月采样时吴江市水利局刚对横草路港进行了清淤疏浚,故秋季所取的柱状样中没有淤泥层,主要原因是浮泥层与淤泥层没有明显界线,所取的浮泥层实际是浮泥与淤泥的混合成分。

其在垂直方向上的分布却是有规律可寻的。

重金属的垂向变化反映了不同时期沉积物的重金属输入量,也是重金属随时间序列的变化。但横草路港是一个浅水河,沉积物常常受到扰动,因此重金属的垂向变化不一定与沉积时间完全对应,反映的是总体趋势^[20]。由表 3 可见,所有重金属在浮泥层、淤泥层、底泥层的含量和地积累指数均依次减小,这表明横草路港沉积物中重金属的垂向分布规律表现为在浮泥层、淤泥层、底泥层由上至下逐渐降低,即污染程度逐渐减小。

3.3 各种重金属的污染程度评价

对沉积物进行清淤疏浚时,由于浮泥层具有很大的流动性,蓄积在其中的重金属极易扩散进入水体,形成二次污染,所以尤其要关注重金属在浮泥层的污染程度。根据表 3 中各种重金属在浮泥层的地积累指数与地积累污染级数,可将横草路港沉积物中各种重金属的污染程度分为 4 类:夏季的 Cd 在浮泥层的地积累指数为 3,中度污染;春季的 Zn,夏、秋季的 Hg 在浮泥层的地积累指数均为 2,偏中度污染;春、秋季的 Cd,夏季的 Zn,冬季的 Ni、Hg 在浮泥层的地积累

指数均为 1,轻度污染;四季的 Cu、Pb、Cr、As 在浮泥层的地积累指数均为 0,无污染。

3.4 疏浚淤泥资源化利用的可行性分析

根据 GB 15618—1995 土壤环境质量标准^[21],针对土壤的应用功能和保护目标,可将土壤环境质量分为三类:

I 类:主要适用于国家规定的自然保护区(原有背景重金属含量高的除外)、集中式生活饮用水源地、茶园、牧场和其他保护地区的土壤,土壤质量基本保持自然背景水平;

II 类:主要适用于一般农田、蔬菜地、茶园、果园、牧场等土壤,土壤质量基本上对植物和环境不造成危害和污染;

III 类:主要适用于林地土壤及污染物容量较大的高背景值土壤和矿产附近等地的农田土壤(蔬菜地除外),土壤质量基本上对植物和环境不造成危害和污染。

按照 GB 15618—1995,对表 3 中 8 种重金属在各泥层含量最大的泥样进行泥质分类,结果如表 4 所示。

表 4 横草路港沉积物各泥层中重金属的最大含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)及相应的泥质分类

Table 4 Maximum contents($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)and relevant sludge sorts of heavy metals in each sludge layer of sediment from Hengcaolugang River

重金属	浮泥层		淤泥层		底泥层	
	C_n	泥质分类	C_n	泥质分类	C_n	泥质分类
Zn	327.76	III 类	261.00	II 类	135.53	II 类
Ni	65.84	III 类	59.72	II 类	54.98	II 类
Cd	0.78	II 类	0.61	II 类	0.53	II 类
Hg	0.32	II 类	0.17	II 类	0.16	II 类
Pb	37.02	II 类	28.59	I 类	23.93	I 类
As	15.61	II 类	11.02	I 类	8.17	I 类
Cu	27.45	I 类	18.97	I 类	16.24	I 类
Cr	72.60	I 类	62.92	I 类	58.15	I 类

由表 4 可见,除浮泥层的 Zn 和 Ni 以外,横草路港沉积物各泥层中的其他重金属含量均达到 I 类或 II 类土壤环境质量标准,而 Zn 和 Ni 在浮泥层的含量分别超过 II 类标准($300\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $60\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)的 9.3%和 9.7%,超标不算很多。因此,就重金属而言,横草路港沉积物疏浚后可进行资源化利用。

4 结论

(1)横草路港沉积物中重金属的垂向分布规律表

现为在浮泥层、淤泥层、底泥层中的地积累指数由上至下逐渐降低,即污染程度逐渐减小。

(2)横草路港沉积物中的重金属总体来说有一定程度污染,其中 Cd 为中度污染;Zn、Hg 为偏中度污染;Ni 为轻度污染;Cu、Pb、Cr、As 均无污染。

(3)横草路港沉积物中的重金属含量介于 I 类和 III 类土壤环境质量标准之间,就重金属而言,横草路港沉积物疏浚后可进行资源化利用。

参考文献:

- [1] 邵立明,何晶晶,洪祖喜.城市受污染疏浚底泥特性与作绿地用土的可行性分析[J].上海环境科学,2003,22(12):962-966.
SHAO Li-ming, HE Pin-jing, HONG Zu-xi, et al. Characteristics of urban polluted dredged materials and feasibility study of its beneficial use as greening vegetative soil[J]. *Shanghai Environmental Sciences*, 2003, 22(12):962-966.
- [2] 朱广伟,陈英旭,王凤平,等.城市河道疏浚底泥农田应用的初步研究[J].农业环境保护,2001,20(2):101-103.
ZHU Guang-wei, CHEN Ying-xv, WANG Feng-ping, et al. Application of sediment dredged in in grand canal on agriculture[J]. *Agro-environmental Protection*, 2001, 20(2):101-103.
- [3] Schmidt J P. Understanding phytotoxicity thresholds for trace elements in land-applied sewage sludge[J]. *J Environ Qual*, 1997, 26(1):4-10.
- [4] 李幼萌.国际疏浚物污染研究进展[J].中国港湾建设,2000,3:54-55.
LI You-meng. A Survey of worldwide research on contamination by dredged material[J]. *Chain Harbour Engineering*, 2000, 3:54-55.
- [5] GB/T 17138—1997,土壤质量铜、锌的测定 火焰原子吸收分光光度法[S].
GB/T 17138—1997, Soil quality mensurations of copper, zinc spectrophotometer method of flame atom absorption[S].
- [6] GB/T 17139—1997,土壤质量镍的测定 火焰原子吸收分光光度法[S].
GB/T 17139—1997, Soil quality mensurations of nickel spectrophotometer method of flame atom absorption[S].
- [7] GB/T 17140—1997,土壤质量铅、镉的测定 KI-MIBK 萃取火焰原子吸收分光光度法[S].
GB/T 17140—1997, Soil quality mensurations of lead, cadmium spectrophotometer method of flame atom absorption of KI-MIBK extraction [S].
- [8] GB/T 17137—1997,土壤质量总铬的测定 火焰原子吸收分光光度法[S].
GB/T 17137—1997, Soil quality mensurations of chromic spectrophotometer method of flame atom absorption[S].
- [9] NY/T 395—2000,土壤中汞的测定 原子荧光法[S].
NY/T 395—2000, Mensurations of hydrargyrum in soil fluorometry method of atom[S].
- [10] NY/T 395—2000,土壤中砷的测定 氢化物-非色散原子荧光法[S].
NY/T 395—2000, Mensurations of arsenic in soil fluorometry method of hydride-nondispersive atom[S].
- [11] Ramamoorthy S, Rust B R. Heavy metal exchange processes in sediment Em Dash water systems[J]. *Environmental Geology*, 1978, 2(3):

- 165-172.
- [12] Salomons W, Rooij D, Kerdijk N M, et al. Sediments as a source for contaminants[J]. *Hydrobiologia*, 1987, 13:30-38.
- [13] 黄顺生, 范迪富, 陈 宝, 等. 太湖北部沉积物重金属污染及其潜在生态危害评价[J]. *江苏地质*, 2005, 29(1):43-45.
HUANG Sun-sheng, FAN Di-fu, CHEN Bao, et al. A temporal assessment on ecological risk caused by heavy metals in the North Taihu basin[J]. *Jiangsu Geology*, 2005, 29(1):43-45.
- [14] Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J]. *Geology J*, 1969, 2:108-118.
- [15] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach[J]. *Water Res*, 1980, 14:975-1001.
- [16] Hilton J. A Mathematical model for analysis of sediment coke data: Implications for enrichment factor calculations and trace-metal transport mechanisms[J]. *Chemical Geology*, 1985, 48:281-291.
- [17] 郁亚娟, 黄 宏, 王晓栋, 等. 淮河沉积物中重金属的测定和污染评价[J]. *环境科学研究*, 2003, 16(6):26-28.
YU Ya-juan, HUANG Hong, WANG Xiao-dong, et al. Sedimentary heavy metal pollution in the Huaihe River[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2003, 16(6):26-28.
- [18] 周克元, 刘延国, 李均强, 等. 实用环境保护数据大全 (第一分册)——环境监测分析实用数据[M]. 武汉:湖北人民出版社, 1991. 372.
ZHOU Ke-yuan, LIU Yan-guo, LI Jun-qiang, et al. Date of applied environmental protection(first volume): Applied date of environmental supervision analysis[M]. Wuhai: Hubei Renming Press, 1991. 372.
- [19] 戴秀丽, 孙 成. 太湖沉积物中重金属污染状况及分布特征探讨[J]. *上海环境科学*, 2001, 20(2):71-74.
DAI Xiu-li, SUN Cheng. The characteristics of heavy metal distribution and pollution in the sediment from Lake Taihu[J]. *Shanghai Environmental Sciences*, 2001, 20(2):71-74.
- [20] 袁旭音, 陈 骏, 吕宝源, 等. 太湖沉积物微量元素特征和变化: 自然与人类活动的影响[J]. *地质评论*, 2003, 49(5):552-560.
YUAN Xu-yin, CHEN Jun, LV Bao-yuan, et al. Characteristics and variation of trace elements in sediments from Taihu Lake: Effects of natural processes and human activities[J]. *Geological Review*, 2003, 49(5):552-560.
- [21] GB 15618—1995, 土壤环境质量标准[S].
GB 15618—1995, Environmental quality standard of soil[S].