

长江口及毗邻海域沉积物生态环境质量评价

王丽萍¹, 周晓蔚¹, 郑丙辉², 付 青³

(1. 华北电力大学可再生能源学院水资源与水利水电工程研究所, 北京 102206;

2. 中国环境科学研究院河流与海岸带环境研究室, 北京 100012; 3. 中国环境科学研究院水环境研究所, 北京 100010)

摘要:采用地质累积指数法、潜在生态危害指数法和生物效应浓度法 3 种方法, 考虑河口的水动力过程、沉积物分布和盐度影响, 把长江口及毗邻海域划分为 7 个区域进行沉积物生态环境质量评价。结果表明, 3 种方法评价结果基本一致, 长江口及毗邻海域的底质生态环境均受到重金属不同程度的污染, 属于中低度污染, 口外区和舟山海区的沉积物质量较好, 口门、最大浑浊带和杭州湾的沉积物质量较差。用同期的底栖动物群落结构参数进行验证, 生态响应明显。

关键词:生态环境质量评价; 地质累积指数; 潜在生态危害指数; 生物效应浓度; 底栖动物群落结构; 长江口

文章编号: 1000-0933(2008)05-2191-08 中图分类号: Q178, X826 文献标识码: A

Sediments eco-environmental quality assessment in the Changjiang Estuary and its adjacent waters

WANG Li-Ping¹, ZHOU Xiao-Wei¹, ZHENG Bing-Hui², FU Qing³

1 Research Institute of Water Resources and Hydro-Electric Engineering, School of Renewable Energy, North China Electric Power University, Beijing 102206, China

2 River and Coastal Environment Research Center, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

3 Institute of Water Environment Research, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2191 ~ 2198.

Abstract: Methods of indexes of geo-accumulation, potential ecological risk index, and biological effects of concentration are applied to evaluate the eco-environmental quality of sediments in the Changjiang estuary and its adjacent waters which are divided into 7 zones by Cluster analysis in consideration of hydrodynamic process and deposition process and salinity impact. The results showed that three methods of evaluation findings are basically the same, The environment of the foundation of the study area is subject to varying degrees of heavy metal pollution, while the quality of sediments outside of the estuary and sea area nearby Zhoushan is good and poor at the estuary and turbidity maximum Zone and Hangzhou bay. The degree of Hg spatial fluctuation appears to be the highest in surface sediments, with the order of heavy metals fluctuation degree ranging as the following: Hg > Cd > Cu > Pb > As > Zn. Ecological responses are obviously discovered in the validation based on the corresponding period macrobenthic community parameters.

Key Words: eco-environmental quality assessment; geo-accumulation index; potential ecological risk index; biological

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)资助项目(2002CB412409); 国家自然科学基金资助项目(50579019); 国家科技支撑计划资助项目(2006BAC05B03-02)

收稿日期:2007-11-16; **修订日期:**2008-03-12

作者简介:王丽萍(1956~), 女, 云南昆明人, 博士, 教授, 主要从事风险管理与决策理论研究. E-mail: lpwang@ncepu.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by State key foundation research development plan 973 item (No. 2002CB412409), the National Natural Science Foundation of China (No. 50579019), National Science and Technology Planning Project (No. 2006BAC05B03-02)

Received date: 2007-11-16; **Accepted date:** 2008-03-12

Biography: WNAG Li-Ping, Ph. D., Professor, mainly engaged in risk assessment and management decision. E-mail: lpwang@ncepu.edu.cn

effects of concentration; macrobenthic community parameters; Changjiang Estuary

近年来的研究表明,通过各种途径进入水体中的金属,绝大部分将迅速转入沉积物或悬浮物内,因此许多研究者都把沉积物作为金属污染水体的研究对象^[1]。河口沉积物中的重金属元素不仅蕴含许多有价值的地质和环境信息,而且能较好地显示该地区的污染情况,反映底栖动物栖息地质量状况,是开展地球化学研究和进行生态环境质量评价的基础资料^[1,2]。因此,对沉积物中重金属污染的评价是必要的和有价值的。本文采用国际上广泛使用的地质累积指数法、潜在生态危害指数法、生物效应浓度法,从不同角度对长江口及毗邻海域沉积物中重金属 As、Cu、Zn、Cd、Pb、Hg 的污染水平和潜在的生态风险进行定量评价,为河口生态系统健康评价奠定基础。

1 评价方法

1.1 地质累积指数法

德国科学家 Müller^[3]提出的地质累积指数(I_{geo})是一种研究水环境沉积物中重金属污染的定量指标,计算如下:

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / (k \times B_n)] \tag{1}$$

式(1)中, C_n 是指元素 n 在沉积物中的含量(指质量比,实测值); B_n 是粘质沉积岩(即普通页岩)中该元素的地球化学背景值; k 为考虑各地岩石差异可能会引起背景值的变动而取的系数(一般取值为 1.5)。表 1 给出两种地球化学背景值,考虑到以中国陆壳中地球化学背景值比普通页岩中地球化学背景值更接近研究区实际,本文采用中国陆壳地球化学背景值评价长江口沉积物污染情况。表 2 是 Müller 给出的沉积物地积累指数分级标准与污染程度之间的相互关系,地积累指数共分为 7 级,即 0~6 级,表示污染程度由无至极强。

表 1 地球化学背景值
Table 1 Geo-chemistry background (mg·kg⁻¹)

元素 Metal	Hg	Cd	As	Pb	Cu	Zn
页岩 Shale ^[4]	0.35	0.3	13	20	45	95
中国陆壳 Chinese continental crust ^[5]	0.08	0.055	1.9	15	38	86

表 2 地质累积指数与污染程度
Table 2 Index of Geo-accumulation and pollution level

污染程度 Pollution	极强 Very high	极强-强 Very high-high	强 High	强-中 High-Medium	中 Medium	中-无 Medium-low	无 Low
沉积物 I_{geo} Sediment	>5	5~4	4~3	3~2	2~1	1~0	<0
I_{geo} 分级 Grading	6	5	4	3	2	1	0

1.2 潜在生态危害指数法

瑞典科学家 Hakanson^[6]提出的沉积物中重金属潜在生态危害评价方法,数学表达式为:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \cdot C_f^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \cdot \frac{C^i}{C_n^i} \tag{2}$$

式(2)中 RI 为潜在生态危害指数; E_r^i 为某一污染物潜在生态危害指数; T_r^i 为污染物毒性响应参数; C_f^i 为某一污染物的污染指数,又称富集系数; C^i 为沉积物中某一污染物的实测浓度; C_n^i 为沉积物中相应污染物的背景值。沉积物背景值的地区性强,采用不同的背景值对计算潜在生态危害指数有较大的影响^[7],本文采用在《上海城市污水外排长江口研究》^[8]课题中选用的底质评价标准(表 3)。

式(2)不仅反映了某一特定环境中的各种污染物的影响,而且也反映了多种污染物的综合影响,并且用定量的方法划分出潜在生态危害的程度。根据文献^[9]的调整方法,有 6 种污染物(As、Cu、Zn、Cd、Pb、Hg)的评价标准见表 4。

表 3 计算潜在生态危害指数所需的参比值
Table 3 Reference value of counting the potential ecological risk index

元素 Metal	Hg	Cd	As	Pb	Cu	Zn
沉积学毒性参数 Toxic response factor	40	30	10	5	5	1
工业化前全球沉积物重金属最高背景值 (mg·kg ⁻¹) Pre-industrial heavy metals in sediments highest global background values	0.25	1	15	70	50	175
长江口沉积物重金属背景值 ^[8] (mg·kg ⁻¹) Changjiang Estuary sediments heavy metal background value	0.2	0.5	10	20	30	80

表 4 C_fⁱ 和 RI 值的评价标准
Table 4 Evaluation criteria of C_fⁱ and RI

指数类型 Index type	范围 Range	污染程度 Pollution	指数类型 Index type	范围 Range	风险程度 Risk degree
<1	低污染 Cleaner	RI	<100	低风险 Low risk	
	≥1, <3	中污染 Pollution		≥100, <200	中风险 Medium risk
	≥3, <6	较高污染 High pollution		≥200, <400	高风险 High risk
	≥6	很高污染 Very high pollution		≥400	很高风险 Very high risk

1.3 基于生物效应浓度的评价

Long 等^[10]在对沉积物中污染物浓度和生物效应浓度之间的关系进行广泛研究的基础上,确定了“效应范围低(Effects range low, ERL)”和“效应浓度中等(Effects range media, ERM)”两种阈值浓度。后来他们对生物效应数据库进行了提炼精简,确定了适合于河口与海洋沉积物的新的阈值浓度^[11],小于 ERL 说明重金属对生物的负面效应基本不发生,位于 ERL 和 ERM 之间说明重金属对生物的负面效应偶尔发生,而大于 ERM 说明重金属对生物的负面效应经常发生。适合于河口与海洋沉积物的各重金属元素的 ERL 和 ERM 阈值浓度见表 5。

表 5 生物效应影响范围阈值浓度^[11]
Table 5 ERL and ERM guideline values for trace metals (mg·kg⁻¹)^[11]

元素 Metal	Hg	Cd	As	Pb	Cu	Zn
ERL	0.15	1.2	8.2	46.7	34	150
ERM	0.71	9.6	70	218	270	410

根据不同的阈值浓度,本文对每个采样点的样品进行了分析,并据此计算重金属在不同生物效应浓度范围内发生负面效应的几率。

2 实例分析

2.1 样品采集

长江口以其丰富的泥沙供应、大量的细颗粒泥沙而著称,是典型的高浊度河口。长江河口出徐六泾以后,呈“三级分汊,四口入海”的形势。崇明岛将长江河口分为南支和北支,南支又被长兴岛、横沙岛分为南港和北港,九段沙又将南港分为南槽和北槽,因而又是一个典型的分汊型河口。2005 年夏季在长江口及毗邻海域分别采集了 49 个表层沉积物样品^①,监测项目为汞、铜、铅、镉、锌和砷,采用 GB17378.5-1998 和《水和废水监测分析方法》(第四版)分析。样品的采集、预处理、储存及运输,均按照 GB17378.3 海洋监测规范第 3 部分中的相关规定执行。采样站位如图 1 所示。

2.2 沉积地球化学分区

长江河口表层沉积物粒度分布特征是河口一定动力和地貌条件下的产物,也是河口地区泥沙运动的具体

① 长江口及毗邻海域环境状况调查分析报告,中国环境科学研究院,2006 年。

反映。径流和潮流是长江河口两个主要的动力因子,两者相互消长支配着长江河口的水流特性,也导致河口沉积物分布的差异。参考文献^[12]和^[13],对 47 个表层沉积物样品进行聚类分析将长江口及毗邻海域划分为 7 个区域(图 1),各个区域的环境特征见表 6。

表 6 数据显示 7 个区域具有较明显的水动力条件、底层盐度和沉积物分布特征。站组 I 区位于河口内及口门附近,南北支拦门沙以内,这里长江径流作用较强,陆源重矿物如闪石类、帘石类和斜长石类等的含量较高,而重金属元素的含量相对较低,长江径流携带的陆源风化产物控制着该区的沉积物组成^[12]。站组 II 区位于杭州湾。站组 III 区主要分布在长江口最大浑浊带活动区,沉积物以泥质粉砂和粉砂质泥为主,这里的沉积物粒度较细,一般沉积物越细,比表面积越大,越易吸附重金属元素。频繁的盐淡水交汇、较强的絮凝作用,使得水体中高含量的细颗粒物质特别是粘土矿物沉降下来,并吸附某些金属元素;同时,适宜的水化学条件利于多种无机和有机胶体,如 Fe-Mn 水合物、絮状物的形成^[14,15],这些无机和有机胶体悬浮物通过絮凝、络合等作用,吸附了大量的金属元素。站组 IV 和 V 大致位于长江河口锋与羽状锋^[12]之间,属现代长江三角洲向陆架的过渡带,重金属含量介于 VI ~ VII 区与 II 区之间。站组 VI 和 VII 区分布于研究区东部,位于陆架残留砂和混合沉积区。这里含有较多的生物碎屑,重金属元素含量很低,属生物源区^[16]。

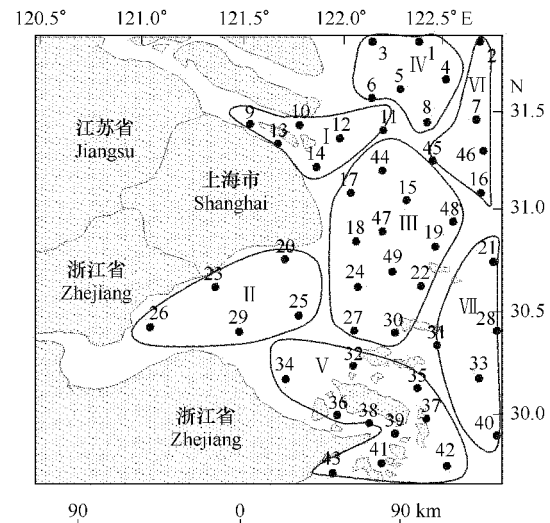


图 1 长江口及毗邻海域取样站位及分区示意

Fig. 1 The sampling stations and district indicate

表 6 长江口及毗邻海域分区环境特征

Table 6 Characteristics of sediment environment in Changjiang Estuary

站组 Group	包括站位 Stations	底层盐度(‰) Bottom salinity		粒径中值 (μm) D_{50}	沉积物类型 Sediment types	水动力类型 Hydrodynamic type
		范围 Range	平均值 Mean			
I	09, 10, 11, 12, 13, 14	≤ 2	≤ 2	51.31	YT、T、TS、ST	径流、潮流 Runoff, Trend
II	20, 23, 25, 26, 29	11.0 ~ 18.0	16.7	30.52	TS、S、ST	潮流、径流 Runoff, Trend
III	15, 17, 18, 19, 22, 24, 27, 30, 44, 47, 48, 49	18.9 ~ 31.5	21.78	18.83	S、T、ST	径流、潮流 Runoff, Trend
IV	01, 03, 04, 05, 06, 08	15.8 ~ 33.4	29.5	—	T、YT	径流、潮流 Runoff, Trend
V	32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43	22.9 ~ 34.5	29.6	—	T、ST、S	径流、潮流 Runoff, Trend
VI	02, 07, 16, 45, 46	32.7 ~ 34.3	33.6	12.73	T、YT	潮流 Runoff, Trend
VII	21, 28, 31, 33, 40	26.2 ~ 3.6	32.1	12.73	T、YT	潮流 Runoff, Trend

Y: 粘土 Clay, YT: 粘土质粉砂 Clayey silt, T: 粉砂 Silt, TS: 粉砂质砂 Silty sand, ST: 砂质粉砂 Sandy silt, S: 砂 Sand

2.3 重金属元素含量及分布趋势

调查区域表层沉积物中重金属含量分布分区表示见表 7。

从表 7 可以看出,在表层沉积物所监测的重金属中, Hg 元素的空间波动程度最高,其它重金属元素的空间波动程度较低,各重金属空间波动程度的顺序依次为 $\text{Hg} > \text{Cd} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Zn}$ 。表层沉积物中重金属元素的分布,在东西纵向上表现为从口内到口外含量增加,达到一高值后又呈下降趋势,且下降幅度较大。南北横向的变化趋势与东西纵向的有些相似,即从南向北重金属元素的含量呈先低后高、再有所降低的变化趋势。

表 7 长江口及毗邻海域沉积物中重金属含量分布

Table 7 Distribution of concentration of heavy metals in the Changjiang Estuary' sediment(mg·kg⁻¹)

站组 Group	As		Cu		Zn		Cd		Pb		Hg	
	范围 Range	平均值 Mean	范围 Range	平均值 Mean	范围 Range	平均值 Mean	范围 Range	平均值 Mean	范围 Range	平均值 Mean	范围 Range	平均值 Mean
I	7.9~8.7	8.83	17.8~34.4	24.52	60.4~89.2	69.18	0.11~0.28	0.22	15.5~26.1	18.73	0.04~0.11	0.08
II	5.72~12.3	9.92	12.8~34.1	27.02	48.3~90.4	81.12	0.09~0.18	0.15	16.9~28.2	21.42	0.05~0.9	0.08
III	7.7~13.1	10.71	16.2~32.8	25.80	61.6~96.2	76.09	0.08~0.22	0.14	12.3~25.5	21.39	0.02~0.18	0.07
IV	6.3~13.1	9.52	5.1~25.8	12.73	40.1~83.6	54.65	0.04~0.11	0.07	12.0~33.4	20.43	0.02~0.05	0.03
V	7.8~10.9	8.10	22.0~29.7	25.38	62.5~84.6	75.53	0.08~0.12	0.11	11.6~24.6	16.51	0.045~0.063	0.06
VI	6.9~9.2	8.16	15.0~22.2	18.90	60.2~74.7	68.06	0.11~0.13	0.12	20.6~34.8	24.92	0.02~0.10	0.05
VII	10.2~13.5	11.66	25.0~33.1	28.88	74.3~85.6	82.10	0.09~0.14	0.12	12.1~19.7	16.72	0.045~0.091	0.06

2.4 沉积物生态环境质量评价

根据以上 7 个分区,采用 3 种评价方法对长江口及毗邻海域沉积物进行生态环境质量评价。

2.4.1 地质累积指数法

按公式(1)计算的结果和按表 2 分级标准的分级结果见表 8。

表 8 长江口及毗邻海域地积累指数和地积累指数分级

Table 8 Index of Geo-accumulation (I_{geo}) and Index of Geo-accumulation Classify in Changjiang Estuary

站组 Group	I_{geo}						I_{geo} 分级 Grading					
	As	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	As	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg
I	1.61	-1.26	-0.91	1.34	-0.28	-1.27	2	0	0	2	0	0
II	1.75	-1.16	-0.71	0.85	-0.09	-0.67	2	0	0	1	0	0
III	1.88	-1.18	-0.78	0.67	-0.12	-0.95	2	0	0	1	0	0
IV	1.68	-2.38	-1.28	-0.28	-0.22	-2.25	2	0	0	0	0	0
V	1.82	-1.13	-0.76	0.48	-0.54	-1.09	2	0	0	1	0	0
VI	1.51	-1.61	-0.92	0.54	0.12	-1.54	2	0	0	1	1	0
VII	2.02	-0.98	-0.65	0.51	-0.45	-1.03	3	0	0	1	0	0

由表 8 可以看出,As 的 I_{geo} 为 1.51~2.02,污染级别为 2~3 级;Cu 的 I_{geo} 为 -1.13~-2.38,污染级别为 0 级;Zn 的 I_{geo} 为 -0.71~-1.28,污染级别为 0 级;Cd 的 I_{geo} 为 1.34~-0.28,污染级别 1~2 级;Pb 的 I_{geo} 为 0.12~-0.54,污染级别 1 级;Hg 的 I_{geo} 为 -0.67~-2.25,污染级别 0 级。从金属本身看污染程度的大小顺序为 As>Cd>Pb>Zn>Cu>Hg,从站组看重金属污染程度大小顺序为:Ⅱ>Ⅲ>Ⅰ>Ⅶ>Ⅴ>Ⅵ>Ⅳ。

2.4.2 潜在生态风险指数

按公式(2)计算的结果,按表 4 评价标准的评价结果如表 9。

表 9 长江口及毗邻海域沉积物污染指数和潜在生态危害指数

Table 9 Factor of contamination and the potential ecological risk factor in Changjiang Estuary

站组 Group	污染指数 C_i^j Factor of contamination						潜在生态危害指数 Eir Potential ecological risk factor						RI
	As	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	As	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	
I	0.88	0.82	0.86	0.43	0.93	0.39	8.83	8.17	8.65	4.36	9.36	3.92	43.29
II	0.99	0.90	1.01	0.30	1.07	0.38	9.92	4.50	1.01	9.14	5.35	15.36	45.29
III	1.07	0.86	0.95	0.27	1.07	0.36	10.71	4.3	0.95	8.20	5.35	14.32	43.83
IV	0.95	0.42	0.68	0.14	1.02	0.14	9.51	2.12	0.68	4.35	5.11	5.63	27.41
V	1.01	0.87	0.95	0.23	0.79	0.28	10.12	4.35	0.95	6.92	3.97	11.35	37.68
VI	0.81	0.63	0.85	0.24	1.25	0.24	8.15	3.15	0.85	7.22	6.23	9.56	35.17
VII	1.16	0.96	1.02	0.24	0.84	0.30	11.66	4.81	1.03	7.14	4.18	12.04	40.86
Σ	6.87	5.46	6.32	1.85	6.97	2.09	68.9	31.4	14.12	47.33	39.55	72.18	

表 9 给出了长江口及毗邻海域表层沉积物中各种重金属的污染指数。统计结果表明,海域表层沉积物中重金属 Pb、As 和 Zn 的污染程度较大,污染指数大小顺序是 $Pb > As > Zn > Cu > Hg > Cd$, Pb 和 As 是主要环境污染因子;污染程度较低的重金属依次是 Cd 和 Hg,其污染指数均小于 1,属于低污染水平。站组污染的严重顺序是 $II > III > VII > I > V > VI > IV$ 。

由表 9 给出的单个重金属的潜在生态危害指数和多个重金属的潜在生态危害指数表明:长江口及毗邻海域表层沉积物中的重金属对海洋生态系统的潜在生态危害轻微,其轻微潜在生态危害程度顺序是 $Hg > As > Cd > Pb > Cu > Zn$, Hg、As 是主要潜在生态风险因子;站组的潜在生态风险高低顺序是 $II > III > I > VII > V > VI > IV$ 。

长江口及毗邻海域表层沉积物中大多重金属元素的污染程度与其潜在生态危害程度顺序存在一定的不一致性,表明只有把重金属在沉积环境中的污染程度与其对海洋生态系统的潜在生态危害程度相结合,才能全面反映沉积物中重金属的污染状况。

2.4.3 基于生物效应浓度的评价

根据表 5 不同的阈值浓度,本文对每个采样站点的样品进行了分类,并据此计算了重金属在不同生物效应浓度范围内的发生几率,计算结果见表 10。

表 10 长江口及毗邻海域重金属在不同生物效应浓度范围内的发生几率

Table 10 Heavy metal concentrations in different biological effects occurred within the scope of probability in Changjiang Estuary (%)

站组 Group	Hg			As			Cu		
	< ERL	ERL-ERM	> ERM	< ERL	ERL-ERM	> ERM	< ERL	ERL-ERM	> ERM
I	100(6/6)	0	0	50(3/6)	50(3/6)	0	73(5/6)	17(1/6)	0
II	100(6/6)	0	0	20(1/5)	80(4/5)	0	80(4/5)	20(1/5)	0
III	92.7(11/12)	8.3(1/12)	0	17(2/12)	83(10/12)	0	92.7(11/12)	8.3(1/12)	0
IV	100(6/6)	0	0	50(3/6)	50(3/6)	0	100(6/6)	0	0
V	100(8/8)	0	0	12.5(1/8)	87.5(7/8)	0	100(8/8)	0	0
VI	100(5/5)	0	0	60(3/5)	40(2/5)	0	100(5/5)	0	0
VII	100(5/5)	0	0	0	100(5/5)	0	100(5/5)	0	0

(m/n) m 代表落在不同生物效应浓度范围的样品数, n 代表分析的样品总量 (m/n) m representative fall on different biological effects of the concentration of a few samples, n representative of the total sample

由表 10 可以看出,长江口及毗邻海域各采样点的 Cd、Pb、Zn 的数值均低于 ERL,说明这 3 种元素对生物的负面效应较低;Hg、As、Cu 在站组 VII 的数值也全部低于 ERL,说明 6 种重金属在站组 VII 对生物的负面效应较低。Hg、As、Cu 三种元素在 III 站组位于 ERL 和 ERM 之间的几率分别是 8.3%、80%、20%,说明重金属对生物的负面效应偶尔发生,与其它 6 个站组比较,站组 VII 生物的负面效应较高。在绝大多数采样点,As 在 ERL 和 ERM 之间的发生几率较大,说明大部分样品的 As 经常会对生物产生负面效应。

综合分析结果,长江口及毗邻海域基于生物效应浓度的沉积物质量好坏顺序为 $VII > VI > IV > V > I > II > III$ 。

2.4.4 三种方法评价结果综合与生物响应验证

综合 3 种评价方法分析的结果可以看出,长江口及毗邻海域的环境污染因子是 As,主要潜在生态风险因子是 Hg、As,As 和 Hg 应作为污染重点控制对象。沉积物质量好坏通过 3 种评价方法得到结果分别为 $IV > VI > V > VII > I > III > II$ 、 $IV > VI > V > VII > I > III > II$ 、 $VII > VI > IV > V > I > II > III$,虽然有差别,但质量较好的区域和质量较差的区域在 3 种评价方法中还是比较一致的,即站组 IV、VI 质量较好,站组 I、II、III 较差,而站组 VII、V 有些漂移。

为验证评价结果,与同期的底栖动物响应进行比较。为便于比较,对各站组大型底栖动物的群落结构参数^①进行标准化处理,比较结果见图 2。

从图 2 可以看出,站组 VI、VII 的底栖生物群落结构最为复杂,生物多样性最高,其次是站组 IV、V,站组 I、II、III 的底栖生物群落结构简单,生物多样性最低。与上述 3 种方法评价结果基本相符。

3 讨论

(1) 目前用于河流和近海沉积物环境质量评价方法较多,如地质累积指数法、潜在生态危害指数法、生物效应浓度法、脸谱法、元素相关图法和回归过量分析法等。每种评价方法都有一定的侧重点,采用多种评价指标进行沉积物重金属污染综合评价,以便相互补充,相互借鉴,使评价结果更符合实际情况。

(2) 本文采用地质累积指数法、潜在生态危害指数法和生物效应浓度法 3 种方法,对长江口及毗邻海域的生态环境质量进行评价。3 种评价方法相对而言潜在生态危害指数评价方法的分辨率较高,在数据缺乏情况下可采用这种方法。

(3) 由于水环境沉积物污染的模糊性及长序列数据的缺乏,使得人们对环境背景值和污染物浓度等参数的率定不可避免地带有模糊性、不精确性。对具有不确定性的水生态系统进行生态环境质量评价,需要引进新的思路和方法,如用模糊数进行分析等。

4 结论

把长江口及毗邻海域划分为 7 个区域,各个区域具有较明显的水动力、盐度、沉积物分布和生物群落结构特征;采用地质累积指数法、潜在生态危害指数法和生物效应浓度法 3 种方法,结果显示 3 种评价方法得出的结论基本一致;在表层沉积物所监测的重金属中,Hg 元素的空间波动程度最高,其它重金属元素的空间波动程度较低,各重金属空间波动程度的顺序依次为 $Hg > Cd > Cu > Pb > As > Zn$;从沉积物污染状况来看,长江口口门、杭州湾和最大浑浊带的重金属污染水平较高,属于中低度污染,其中 As 污染程度较高;3 种不同的评价方法的结果和同期的底栖生物群落结构响应基本一致,说明口外区和舟山海区的沉积物质量较好,长江口口门、最大浑浊带和杭州湾的沉积物质量较差。

References:

- [1] Ma D Y, Wang J Y. Evaluation on potential ecological risk of sediment pollution in main estuaries of China. *China Environmental Science*, 2003, 23 (5): 521 — 525.
- [2] Zhang X F, Mei X Y, Tong C F, *et al.* Changing nitrogen levels in surface sediments of island wetlands developing to land in the Yangtze River estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1116 — 1121.
- [3] Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 1969, 2: 108 — 118.
- [4] Zhang J C. *Geography to learn basic manual data*. Beijing: Ocean Press, 1986. 50 — 86.
- [5] Li T. Element abundances of China's continental crust and its sedimentary layer and upper continental crust. *Geochimica*, 1994, 23(2): 140 — 145.
- [6] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sediment to logical approach. *Water Research*, 1980, 14(8): 975 — 1001. 986.
- [7] Jia Z B, Liang T, Lin J Z, *et al.* Study on Heavy Metal Contamination and Potential Ecological Risk in Hong Kong Rivers. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 1997, 33(4): 485 — 492

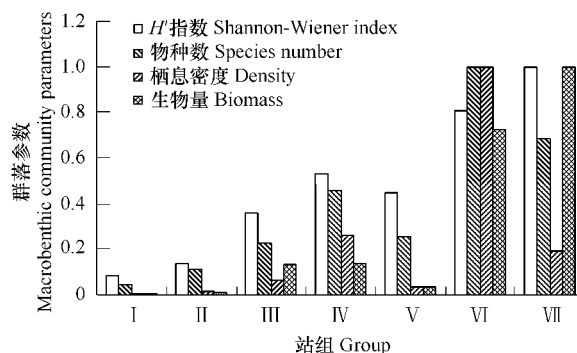


图 2 长江口各站组底栖生物的群落结构参数

Fig. 2 The macrobenthic community parameters of different station groups in Changjiang Estuary

① 长江口及毗邻海域环境状况调查分析报告, 中国环境科学研究院, 2006 年

- [8] Wu G Y. South of the Yangtze River estuary south coast tidal flat substrate metal pollution and Evaluation. *Marine Environmental Science*, 1994, 13 (2) : 45 — 51.
- [9] Liu C, Wang Z Y, He Y, *et al.* Evaluation on the Potential Ecological Risk for the River Mouths around Bohai Bay . *Research of Environmental Sciences*, 2002, 15 (5) : 33 — 37.
- [10] Long E R, Morgan L G. NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52. The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the national status and trends program, 1990, 8 — 60.
- [11] Long E R, Macdonald D D, Smith S L, *et al.* Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 1995, 19 (1) : 81 — 97.
- [12] Meng Y, Liu C Z, Cheng J. Geochemical characteristics of heavy metal elements in the surface sediments in the yangtze river estuarine area and evaluations of the bed materials . *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2003, 23 (3) : 37 — 43.
- [13] Liu H, He Q, Men Y, *et al.* Characteristics of Surface Sediment Distribution and Its Hydrodynamic Responses in the Yangtze River Estuary. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62 (1) : 81 — 92.
- [14] Tian R, Chen J, Zhou J. Dual filtration effects of geochemical and biogeochemical processes in the Changjiang Estuary . *China J. Oceanol. Limnol.*, 1991, 9 (1) : 33 — 43.
- [15] Zwolsman J J. Spatial and temporal distribution of trace metals in sediments from the Scheldt Estuary, South-West Netherlands. *Estuary Coastal and Shelf Science*, 1996, (43) : 55 — 79.
- [16] Shen H T, Xiao C Y, Sun J M. A study of turbidity maximum in the Changjiang Estuary. *Acta Geographica Sinica*, 1992, 47 (5) : 472 — 480.

参考文献:

- [1] 马德毅, 王菊英. 中国主要河口沉积物污染及潜在生态风险评价. *中国环境科学*, 2003, 23 (5) : 521 ~ 525.
- [2] 张修峰, 梅雪英, 童春富, 等. 长江口岛屿沙洲湿地陆向发育过程中表层沉积物氮营养盐的变化. *生态学报*, 2006, 26 (4) : 1116 ~ 1121.
- [4] 张家诚. 地学基本数据手册. 北京: 海洋出版社, 1986. 50 ~ 86.
- [5] 黎彤. 中国陆壳及其沉积层和上陆壳的化学元素丰度. *地球化学*, 1994, 23 (2) : 140 ~ 145.
- [7] 贾振邦, 梁涛, 林健枝, 等. 香港河流重金属污染及潜在生态危害研究. *北京大学学报(自然科学版)*, 1997, 33 (4) : 485 ~ 492.
- [8] 吴国元. 长江河口南支南岸潮滩底质金属污染与评价. *海洋环境科学*, 1994, 13 (2) : 45 ~ 51.
- [9] 刘成, 王兆印, 何耘, 等. 环渤海湾诸河口潜在生态风险评价. *环境科学研究*, 2002, 15 (5) : 33 ~ 37.
- [12] 孟翊, 刘苍宇, 程江. 长江口沉积物重金属元素地球化学特征及其底质环境评价. *海洋地质与第四纪地质*, 2003, 23 (3) : 37 ~ 43.
- [13] 刘红, 何青, 孟翊, 等. 长江口表层沉积物分布特征及动力响应. *地理学报*, 2007, 62 (1) : 81 ~ 92.
- [16] 沈焕庭, 肖成猷, 孙介民. 长江河口最大浑浊带研究. *地理学报*, 1992, 47 (5) : 472 ~ 480.