

曼谷湾沉积物重金属元素的富集效应与生物有效性

乔淑卿^{1*}, 石学法¹, 高晶晶¹, 朱爱美¹, Narumol Kornkanitnan², 胡利民¹, 张杨硕¹ (1.国家海洋局第一海洋研究所, 海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室, 山东 青岛 266061; 2.海洋与海岸资源研究中心, 海洋和海岸资源室, 曼谷 7400)

摘要: 2010年在曼谷湾(泰国湾北部)及其北部主要河口(湄干河、拉塞河、湄南河和邦巴功河)采集了46个表层沉积物样品, 分析了样品中重金属元素(Cd、Co、Cu、Pb、Zn)的含量水平, 并用Al均一化数据, 获得消除了粒度效应的重金属地球化学特征。利用1mol/L的HCl对该区沉积物进行了处理, 通过分析沉积物重金属在酸溶相和残渣相的分布, 揭示其生物有效性。结果表明, 曼谷湾周边河流沉积物中重金属元素含量明显高于曼谷湾; 曼谷湾沉积物中重金属(Co、Cu、Pb、Zn)从北向南随着离岸距离的增加而增加, Cd没有明显分布规律; 地累积指数显示Cd和Pb存在显著的地球化学富集特征。Cd和Pb在酸溶相中的比例相对较高, 表明其生物有效性较高, 易引发二次污染。

关键词: 泰国湾; 沉积物; 粒度; 重金属; 湄南河

中图分类号: X55,P736.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-6923(2015)11-3445-07

Enrichment and bioavailability of heavy metals in sediments of the Bangkok Bay. QIAO Shu-qing^{1*}, SHI Xue-fa¹, GAO Jing-jing¹, ZHU Ai-mei¹, Kornkanitnan Narumol², HU Li-min¹, ZHANG Yang-shuo¹ (1.Key Laboratory of Marine Sedimentology and Environmental Geology, First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China; 2.Department of Marine and Coastal Resources, Marine and Coastal Resources Research Center, Bangkok 7400, Thailand). *China Environmental Science*, 2015,35(11): 3445~3451

Abstract: Forty-six surface sediment samples were collected from the Bangkok Bay (Upper/Northern Gulf of Thailand) and adjacent river-mouths (Mae Klong River, Tha Chin River, Chao Phraya River, and Bang Pakong River) in 2010. The geochemical characteristics of heavy metals (Cd, Co, Cu, Pb and Zn) were studied using Al as a reference element to normalize the grain-size effect. The biological availability was assessed based on heavy metal concentrations in acid-soluble and residual fractions after the bulk sediment samples were pretreated with 1mol/L HCl. The results showed that the concentrations of heavy metals in sediments of the river-mouths were higher than that of the Bangkok Bay. The concentrations of heavy metals increased in a seaward direction from north to south except Cd and geo-accumulation index indicates that Cd and Pb were significantly enriched in the sediments. Higher concentrations of Cd and Pb in the soluble fractions showed strong bioavailability which may easily cause secondary pollution.

Key words: Gulf of Thailand; sediments; grain size; heavy metals; Chao Phraya River

曼谷湾(泰国湾的北部)是一个三面环陆半封闭的近岸海湾, 只有南面和泰国湾中部相连(图1)。曼谷湾面积大约1万km², 水深较浅, 平均水深20m左右, 东南部最深处约40m。潮流较弱, 平均潮差1~3m, 潮流流速0.3~0.5m/s^[1]。注入曼谷湾的河流主要包括湄干河(Mae Klong River, 桂河或者夜工河)、拉塞河(Tha Chin River, 塔钦河)、湄南河(Chao Phraya River, 昭披耶河)和邦巴功河(Bang Pakong River)等4条河流中以湄南河为最大, 流域面积近16×10⁴km², 占泰国总面积的三分

之一。湄南河每年向泰国湾输入大量的泥沙, 其年平均输运大约11×10⁶t^[2]。曼谷湾气候主要受两大季风系统的影响, 干季(11~1月)受东北季风影响, 湿季(5~8月)则受西南季风影响。受潮流、河流和季节性季风的影响, 曼谷湾在干季主要是逆时

收稿日期: 2015-04-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(41206055); 国家海洋局国际合作项目: 东南亚海岸带脆弱性合作调查研究和亚洲大陆边缘“源-汇”过程与陆海相互作用(GASI-GEOGE-03)

* 责任作者, 副研究员, qiaoshuqing@fio.org.cn

针环流,湿季是顺时针环流,流速一般低于 0.07m/s ^[3].

曼谷湾是泰国人民重要的海洋资源供给区域之一,但是近年城市化和社会的发展给海洋环境带来了很大压力.曼谷湾内及邻近区域的资源主要包括:海洋渔业、贝类、土地、红树林和港口以及旅游等.其陆源污染物主要来自河流和表层径流输入以及港口、生活、工业和船排放.海洋源污染主要来自油气开采、运输和溢油等.绝大部分的城市和工业废水等污染物质通过湄干河、湄南河、拉塞河和邦巴功河流入曼谷湾^[4].其中曼谷 60%~70%的城市废水通过湄南河排入泰国湾^[5].河流入海泥沙及携带的这些污染物质绝大部分留存在曼谷湾内,很少向南进入泰国湾中下部^[6-7].

早期研究发现曼谷湾北部 4 个河口附近海域都受到重金属元素(Pb、Zn、Cu、Cd 和 Hg)不同程度的污染,尤其是 Pb 污染较明显^[8].而且,各个河口的污染重金属也不尽相同.湄干河河口附近水质受到了 V 和 Ni 的污染^[8].湄南河河口区域沉积物中存在 Cd 和 Pb 的富集^[9-10].邦巴功河

河口附近受 Cu、Pb 和 Zn 的污染^[11].曼谷湾沉积物中的金属元素含量(Al、Fe、Mn、Cu、Ni、Co、Pb 和 Cd)主要受自然输入的影响^[6].然而近年来的研究表明,废水排放和泰国汽车数量的增加导致直链烷基苯和藿烷在曼谷湾沉积物中持续增加^[12].2010 年在曼谷湾及上述的四条河流河口附近系统采集了 46 个表层沉积物样品(图 1),分析测试了全样和残渣相金属元素(Cd、Ni、Co、Cu、Pb、Al 和 Zn)含量和粒度组成,旨在研究曼谷湾沉积物中重金属元素含量水平、赋存相态和分布特征,评估污染状况,探讨重金属元素的来源,为曼谷湾重金属污染防治提供依据.

1 材料与方法

1.1 样品采集

2010 年 8 月,在泰国曼谷湾海域及邻近的湄干河、拉塞河、湄南河和邦巴功河河口附近采集了海域 28 站和陆域 18 站的表层沉积物样品(图 1).本次调查海上使用抓斗,陆上取样使用小型箱式取样器.采集未受扰动的表层样品装入自封袋,于 4°C 下低温保存.

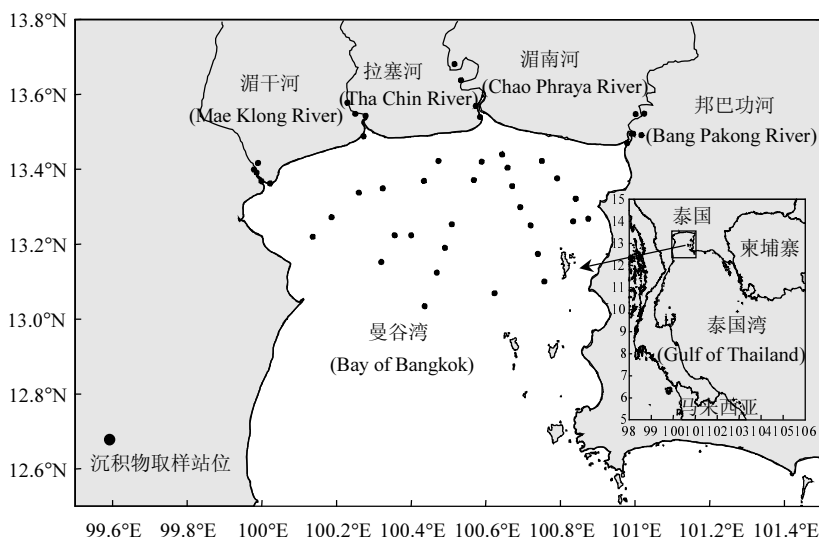


图 1 曼谷湾(泰国湾北部)及邻近河口区域表层沉积物样品取样位置

Fig.1 Sampling stations of surface sediments in the Bay of Bangkok (upper Gulf of Thailand) and adjacent rivermouth areas

1.2 分析方法

粒度分析:取适量沉积物样品分别加入

30%的 H_2O_2 和 3mol/L 的 HCl ,去除沉积物中的有机质和碳酸盐.处理后的样品进行反复离心、

洗盐、直到溶液呈中性为止.然后样品经超声波震荡分散后,使用 Mastersizer2000 型激光粒度仪进行测试.

金属元素分析:沉积物样品在 60℃低温烘干,然后研磨到 200 目以上.为了研究沉积物中重金属元素的赋存形态和生物有效性,用 1mol/L 的 HCl 对研磨后的样品进行了处理,测定了全样和残渣相中的金属元素含量水平.样品分析测试步骤大体如下:取 50.00mg 在 110℃下烘干的样品于聚四氟乙烯内胆中,加 1.5mL 高纯 HNO₃ 和 1.5mL 高纯 HF,放在烘箱中 190℃保持 48h 以上.冷却后置于电热板上蒸至湿盐状,加入 1mL 的 HNO₃ 蒸干.然后加入 3mL 高纯 HNO₃、0.5mLRh 内标溶液,加盖密封放入烘箱中 150℃保持 8h 以上.然后将提取液转移至聚酯瓶中,用二次去离子水定容,上机测试.本文测定的元素 Cd、Co、Cu、Pb 为 ICP-MS(X Series2)测定,Al 和 Zn 为 ICP-OES (iCAP6300 全谱直读电感耦合等离子体发射光谱)测定.分析过程中,以 2%HNO₃ 溶液作为空白,以沉积物标准物质 GBW07311、GBW07313 为标准溶液,绘制标准工作曲线,使用

了 GSD-9 标准沉积物监测和控制数据质量.全样元素测试回收率 95.3%~105.4%.

2 结果与讨论

2.1 曼谷湾沉积物中重金属含量水平与空间分布

曼谷湾表层沉积物中重金属元素(Cd、Co、Cu、Pb 和 Zn)平均含量分别为 0.11、10.67、17.4、23.6 和 55.2mg/kg(表 1).与 1982 年样品研究结果相比,沉积物中 Cd、Co、Cu、Pb 和 Zn 含量都有所升高(这 5 种元素早期含量平均值分别为 0.015g、9.8、7.3、6.5 和 17mg/kg),尤其是 Cd 和 Pb^[6,10].

曼谷湾北部 4 条河流河口沉积物中各重金属平均含量较曼谷湾中明显高,尤其是拉塞河中的 Cd(0.17mg/kg)、湄干河沉积物中的 Co(21.70mg/kg)、湄南河中的 Cu(102.0mg/kg)与 Pb(51.0mg/kg)和邦巴功河中的 Zn(218.0mg/kg)(表 1).与 1979 和 1981 年研究结果相比,4 条河流沉积物中 Cu 和 Zn 含量呈现增加趋势,Cd 和 Pb 呈下降趋势^[13-14].

表 1 曼谷湾沉积物中重金属含量和污染累积(mg/kg)
Table 1 Concentration levels, accumulation of heavy metals in the sediments from the Bay of Bangkok (mg/kg)

元素及元素比值	全样含量范围 (均值)	Igeo(均值)	残渣态含量范围 (均值)	残渣态/全样 (%)	湄干河	拉塞河	湄南河	邦巴功河
Cd	0.07~0.21(0.11)	1.67~3.27(2.27)	0.04~0.14(0.06)	49.7	0.16	0.17	0.16	0.12
Co	5.4~16.43(10.67)	-1.44~0.16(-0.55)	3.2~12.46(6.94)	64.6	12.35	14.3	15.6	21.67
Cu	6~36(17.4)	-0.87~1.72(0.48)	5.96~24.52(12.79)	71.8	20.4	43.3	102.3	29.2
Pb	13~36(23.6)	0.42~1.88(1.22)	11.4~14.71(12.82)	54.3	45.8	39.3	50.8	30.2
Zn	13~132(55.2)	-0.97~2.37(0.83)	12.78~84.3(38.5)	73.4	76.2	170.0	218.0	97.0
Cd/Al(×10 ⁻⁶)	0.9~4.4(2.5)	/	0.49~2.96(1.37)	/	2.9	2.8	2.1	1.4
Co/Al(×10 ⁻⁴)	0.9~6.9(2.3)	/	0.97~1.81(1.38)	/	1.84	2.7	2.0	2.7
Cu/Al(×10 ⁻⁴)	2.6~4.5(3.3)	/	1.85~2.55(3.39)	/	3.0	6.1	12.5	3.6
Pb/Al(×10 ⁻⁴)	3.3~7.4(5.0)	/	1.21~6.90(3.12)	/	7.1	6.3	7.0	3.7
Zn/Al(×10 ⁻⁴)	2.4~16.4(10.1)	/	5.31~8.99(6.97)	/	11.6	23.8	29.6	11.9

曼谷湾沉积物中重金属元素 Cu、Pb、Zn、Co 的空间分布规律与 Al 及平均粒径类似,沉积物在曼谷湾北部靠近河口区域粒度组成较细,平均粒径<30μm,随着离岸距离的增加,沉积物

逐渐变粗.相应地,金属元素高值区出现在曼谷湾靠近河口区域(图 2).这说明曼谷湾沉积物中重金属元素和 Al 都富集在细颗粒沉积物中,Cd 元素除外.

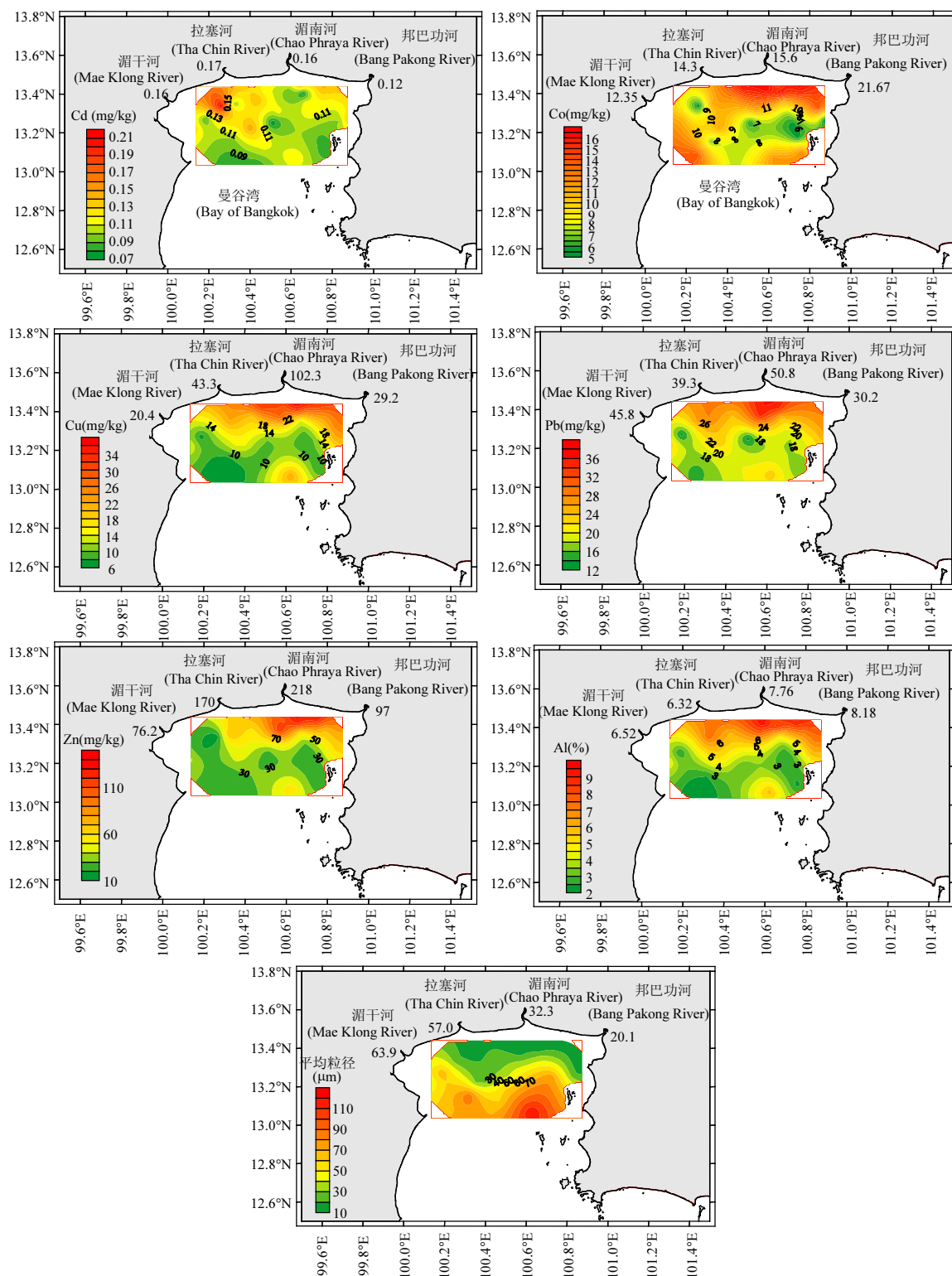


图2 曼谷湾(泰国湾北部)及邻近河口区域表层沉积物金属元素含量和平均粒径空间分布

Fig.2 Distribution of metals and mean grain size of surface sediments in the Bay of Bangkok (upper Gulf of Thailand) and adjacent rivermouth areas

表 2 显示,除了 Cd 之外,重金属元素和 Al 与黏土粒级组分的相关系数都在 0.6 以上.湄干河和拉塞河近河口沉积物组成略粗,平均粒径 $>50\mu\text{m}$.湄南河和邦巴功河沉积物粒度组成较细,平均粒径小于 $40\mu\text{m}$.而河流沉积物重金属元素含量与粒度组成关系不明显(图 2).图 2 和表 2 都显示曼谷湾沉积物中重金属元素 Cu、Pb、Zn 和 Co 与沉积物粒度组成密切相关.Cd 可能来源于人类活动或者受沉积环境如 pH 值、Eh、水体盐度以及水动力因素等因素的影响.

早期研究结果显示,在泰国湾沉积物中 Al、

Ti 和 Sc 的协变性一致,这些元素可以作为标准化元素消除粒度和矿物等对沉积物中其他人类输入金属元素浓度的影响^[7].选择 Al 作为标准化元素,来消除粒度和矿物的影响.曼谷湾沉积物中重金属元素(Cd、Co、Cu、Pb 和 Zn)与 Al 的比值分别为 2.5×10^{-6} 、 2.3×10^{-4} 、 3.3×10^{-4} 、 5.0×10^{-4} 、 10.1×10^{-4} (表 1).四条河流沉积物中各重金属元素与 Al 比值与曼谷湾相比,变化较大.邦巴功河 Pb/Al 和 Cd/Al、湄干河中的 Cu/Al 和 Co/Al、湄南河中的 Cd/Al 和 Co/Al 均低于曼谷湾中的平均值.

表 2 曼谷湾沉积物中金属元素含量(mg/kg)之间与 Al(%)和沉积物各粒级组分(%)的相关性分析

Table 2 Correlations of heavy metals, Al and sand, silt and clay fractions of the sediments from the Bay of Bangkok

组分	Al	Zn	Cd	Co	Cu	Pb	砂粒级组分	粉砂粒级组分	黏土粒级组分
Al	1.000	0.910	0.236	0.681	0.962	0.925	-0.795	0.703	0.816
Zn	0.993	1.000	0.040	0.738	0.933	0.905	-0.687	0.580	0.771
Cd	0.186	0.254	1.000	-0.073	0.226	0.287	-0.310	0.314	0.220
Co	0.952	0.955	0.169	1.000	0.677	0.629	-0.482	0.316	0.761
Cu	0.950	0.961	0.255	0.980	1.000	0.922	-0.735	0.641	0.773
Pb	-0.062	-0.051	0.264	-0.112	-0.101	1.000	-0.743	0.648	0.784
砂粒级组分	-0.857	-0.862	-0.230	-0.889	-0.876	0.166	1.000	-0.971	-0.811
粉砂粒级组分	0.772	0.777	0.177	0.849	0.826	-0.260	-0.974	1.000	0.648
黏土粒级组分	0.870	0.874	0.304	0.786	0.796	0.099	-0.835	0.690	1.000

注:表右上和左下部分分别为全样和残渣相沉积物中金属元素和沉积物粒度组成相关系数

2.2 曼谷湾沉积物中重金属形态分析与生物有效效应

从表 1 可以看出,残渣相中重金属元素占其总相态中的比例较高,总的顺序为: Zn(73.4%)>Cu(71.8%)>Co(64.6%)>Pb(54.3%)>Cd(49.7%).残渣态重金属元素 Zn、Co、Cu 和 Al 的相关系数高达 0.95 以上,与黏土粒级组分的相关系数在 0.75 以上,而 Cd 和 Pb 与 Al 和黏土粒级组分没有显著相关性(表 2).这表明 Zn、Co、Cu 主要赋存在细粒级沉积物,并且主要以残渣相存在,具有相同的地球化学行为,生物有效性较低.Pb 和 Cd 在残渣相和酸溶相中比例相当,并且以残渣态存在曼谷湾中与 Zn、Co 和 Cu 具有不同来源的性质.1mol/L 的 HCl 溶液不仅可以破坏碳酸盐的晶格,也破坏黏土矿物和氧化物的晶格,将这些矿物中的金属元素释放出来^[15].酸溶相中的重金属元

素比例越高,就越容易在适宜的条件下释放出来,造成曼谷湾的二次污染.因此,相比较而言,泰国湾沉积物中 Pb 和 Cd 的生物有效性较高,潜在生态风险较大.

2.3 曼谷湾沉积物中重金属污染累积评价及来源分析

利用地累积指数方法评估了曼谷湾沉积物中重金属元素的污染程度^[16].地累积指数的具体计算公式为: $I_{\text{geo}}=\log[C_n/(KB_n)]$,式中: C_n 是元素 n 在曼谷湾中的实测含量; B_n 为该元素的地球化学背景值; K 取值为 1.5.根据 I_{geo} 可将污染等级分为清洁(≤ 0)、轻度污染(0~1)、偏中度污染(1~2)、中度污染(2~3)、偏重污染(3~4)、重污染(4~5)和严重污染(>5)^[16].曼谷湾中重金属元素含量背景值采用这个区域 1983 年和 1984 年发表的数据^[6,10].研究结果表明,曼谷湾沉积物中 Cd 地累

积指数值均大于 1,其中绝大部分区域表现为中度污染(I_{geo} 2~3),拉塞河河口个别采样点为偏重污染(I_{geo} 2~3)。也有学者提出泰国湾近岸沉积物中 Cd 的环境质量基准为 $10\mu\text{g/g}$ ^[17]。虽然曼谷湾沉积物中 Cd 含量较 20 世纪升高,但是还未超过环境质量基准数值。研究区 Pb 地累积指数小于 2,北部的河口区域表现为偏中度污染(I_{geo} 1~2),尤其是湄南河河口附近,指数较高。Co 基本为清洁($I_{\text{geo}} < 0$),只有湄南河河口附近 4 个采样点低累积指数显示轻度污染(I_{geo} 0~1)。Cu 和 Zn 地累积指数变化比较大,湄南河河口附近 Cu 偏中度污染、Zn 偏重污染,而研究区其他区域基本为清洁或者轻度污染(表 1)。

曼谷湾沉积物中重金属元素的含量和相态分布主要受人为排放和自然环境的影响。曼谷湾北部 4 条河流每年向曼谷湾排放 $43 \times 10^9 \text{m}^3$ 和 $38 \times 10^6 \text{t}$ 水沙,携带大量的工农业和生活污染物进入海洋^[2]。其中,重金属元素(As、Cd、Cr、Cu、Fe、Hg、Mn、Pb 和 Zn)量每年就有 $1.86 \times 10^3 \text{t}$ ^[5]。从 20 世纪 50 年代开始泰国汽车数量明显增加,大量的富含 Pb 和烃类的污染物质排入大气,部分通过河流进入曼谷湾^[12,14]。这可能造成曼谷湾沉积物中重金属元素整体呈增加趋势,而 Cd 和 Pb 污染较严重。研究发现这两种重金属元素在酸溶态中比例占到 50%,说明这两种元素较不稳定,更容易受自然因素的影响富集在沉积物或者释放到水体环境中。季节性变化、生物作用和沉积物的再悬浮等沉积物环境都能造成沉积物中重金属元素含量的变化。尤其是曼谷湾大量淡水的注入,曼谷湾盐度在 15~30 之间^[17]。其沉积物中的重金属元素的地球化学特征有可能随着沉积环境的变化而改变。

3 结 论

3.1 曼谷湾沉积物中重金属元素(Cd、Co、Cu、Pb 和 Zn)含量较上世纪都出现明显增加的趋势,尤其是 Cd 和 Pb 含量上升趋势明显。根据地累积指数评估结果,不同重金属元素的污染程度大体从大到小依次为: Cd>Pb>Zn>Cu>Co。Cd 和 Pb 在绝大部分研究区域为中度-偏中度污染。

3.2 曼谷湾表层沉积物中重金属 Co、Cu、Pb 和 Zn 含量的分布与 Al 类似,呈现北部近河口区域向海递减的趋势,而 Cd 的含量分布没有明显规律,仅拉塞河口附近含量较高。

3.3 重金属元素的残渣态表现为: Zn、Cu 和 Co 主要以残渣相存在,生物有效性较低;而 Pb 和 Cd 酸溶相比比例较高,容易在适宜的条件下释放出来,造成曼谷湾的二次污染。

3.4 曼谷湾北部 4 条入海河流河口沉积物中重金属含量明显高于泰国湾北部。河流输入是曼谷湾重金属元素的主要来源。目前总体来说曼谷湾重金属元素污染不是特别严重。可是,重金属元素污染输入的主要形态以及在曼谷湾中随着沉积环境不同而重金属浓度发生怎样的变化还有待于进一步的研究。

参考文献:

- [1] Buranapratheprat A. Oil spill trajectory model testing in the upper Gulf of Thailand, Proceedings of the international workshop on environmental sensitivity index mapping for oil spill in the Southeast Asian Seas [Z]. 2000:142-152.
- [2] Milliman J D, Farnsworth K L. River discharge to the coastal ocean: a global synthesis [M]. 2011, Cambridge University Press.
- [3] Wattayakorn G, King B, Wolanski E, et al. Seasonal dispersion of petroleum contaminants in the Gulf of Thailand [J]. Continental Shelf Research, 1998,18:641-659.
- [4] Wattayakorn G. Environmental issues in the Gulf of Thailand [M]. Wolanski E. The environment in Asia Pacific Harbours. Springer, 2006:249-259.
- [5] Cheevaporn V, Menasveta P. Water pollution and habitat degradation in the Gulf of Thailand [J]. Marine Pollution Bulletin, 2003,47:43-51.
- [6] Windom H L, Silpipat S, Chanpongsang A, et al. Trace metal composition of and accumulation rates of sediments in the Upper Gulf of Thailand [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1984, 19:133-142.
- [7] Srisuksawad K, Pornthekasemsan B, Nouchpramool S, et al. Radionuclide activities, geochemistry, and accumulation rates of sediments in the Gulf of Thailand [J]. Continental Shelf Research, 1997,17:925-965.
- [8] Censi P, Spoto S, Saiano F, et al. Heavy metals in coastal water systems. A case study from the northwestern Gulf of Thailand [J]. Chemosphere, 2006,64:1167-1176.
- [9] Chongrak P. Heavy metal pollution in the Chao Phraya River

- estuary, Thailand [J]. Marine Pollution Bulletin, 1982,16:775-784.
- [10] Hungspreugs M, Yungthong C. A history of metal pollution in the Upper Gulf of Thailand [J]. Marine Pollution Bulletin, 1983, 14:465-469.
- [11] Cheevaporn V, Jacinto G S, Sandiego-McGlone M L. History of heavy metal contamination in Bangpakong River estuary, Thailand [J]. Journal of The Science Society of Thailand, 1994,20: 9-12.
- [12] Boonyatumanond R, Wattayakorn G, Amano A, Inouchi Y, et al. Reconstruction of pollution history of organic contaminants in the upper Gulf of Thailand by using sediment cores: First report from Tropical Asia Core (TACO) project [J]. Marine Pollution Bulletin, 2007,54:554-565.
- [13] Polprasert C, Vongvisessomjai S, Lohani B N, et al. Heavy metals, DDT and PCB in the Upper Gulf of Thailand [J]. Environmental Engineering Division and Water Resources Engineering Division, Bangkok, 1979:319.
- [14] Menasveta P, Cheevaparanapiwat V. Heavy metals, organochlorine pesticides and PCBs in green mussels, mullets and sediments of river mouths in Thailand [J]. Marine Pollution Bulletin, 1981,12:19-25.
- [15] 乔淑卿,杨作升,潘燕俊,等.沉积物中碳酸盐(方解石和白云石)测定方法的研究 [J]. 中国海洋大学学报:自然科学版, 2006,36: 484-488.
- [16] Muller, G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River [J]. Geojournal, 2, 1969:108-118.
- [17] Tun Z H E, Parkpian P, Delaune R, et al. Cadmium concentration in sea bottom sediment and its potential risk in the upper Gulf of Thailand [J]. Journal of Environmental Science and Health Part A, 2009,44:244-248.
- 致谢:** 现场采样工作由国家海洋局第一海洋研究所刘升发副研究员、姚政权副研究员、李传顺副研究员和徐兴永研究员以及泰国朱拉隆功大学 Penjai Sompongchaiyakul 博士等协助完成,在此表示感谢.特别感谢国家海洋局第一海洋研究所吴斌博士后在重金属元素分析方法方面给予的帮助!
- 作者简介:** 乔淑卿(1979-),女,山东武城人,副研究员,博士,主要从事海洋沉积学研究.发表论文 15 篇.

“十二五”期间大江大河流域环境治理见成效

“‘十二五’期间全国完成水土流失综合治理面积 26.15 万 km²,治理小流域 2 万余条,实施坡改梯 2000 多万亩,在长江上中游、黄河上中游、丹江口库区及上游等区域建成了一批水土流失重点治理工程。”2015 年 11 月 5 日,水利部水资源司副司长石秋池在“大江大河流域环境治理措施成效”新闻通气会上说。

为维护生态用水需求,水利部开展水资源调度和生态补水,指导开展黄河、黑河、塔里木河等流域水资源统一调度,黄河干流已实现连续 16 年不断流,河口生态持续好转;黑河下游东居延海实现连续 11 年不干涸,形成了近 40km² 水面,但全国尚有 11.7%的河段水质劣于 V 类,丧失基本使用功能。

为严格流域水资源节约保护,至 2014 年底,全国有效灌溉面积达 9.85 亿亩,不仅节约了水资源,还节约了化肥使用和流失量,减轻了面源污染;出台《全国重要饮用水水源地名录》,对供水人口 50 万以上的 175 个重要饮用水水源地开展达标建设,连续四年水质达标率 95%以上。

在内蒙古、宁夏等七省区开展水资源使用权确权登记和水权交易试点,基本完成 53 条重要跨省江河水量分配方案制定.水利部等十部门联合完成了 2013、2014 年度考核,2014 年全国用水总量为 6095 亿 m³,比 2013 年减少近 88.4 亿 m³;全国万元工业增加值用水量 59.5m³,比 2010 年下降 31.9%,农田灌溉水有效利用系数由 2010 年的 0.5 提高到 0.531;重要江河湖泊水功能区达标率达到 67.5%,有效促进了大江大河环境改善。

摘自《中国环境网》

2015-11-06