doi: 10.11720/wtyht.2022.1470

阎琨,庞国涛,李伟,等.广西茅尾海入海河口表层沉积物重金属分布及风险评价[J].物探与化探,2022,46(4):1030-1036.http://doi.org/10. 11720/wtyht.2022.1470

Yan K, Pang G T, Li W, et al. Assessing the distribution and ecological risks of heavy metals in surface sediments of the Maowei Sea estuary, Guangxi [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2022, 46(4):1030-1036.http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.1470

广西茅尾海入海河口表层沉积物 重金属分布及风险评价

阎琨^{1,2},庞国涛¹,李伟¹,毛方松¹

(1.中国地质调查局 烟台海岸带地质调查中心,山东 烟台 264000;2.中国地质大学(武汉)环境学院,湖北 武汉 430000)

摘要:为揭示茅尾海入海河口表层沉积物中重金属分布特征及生态风险,在茅岭江、大榄江、铁江入海河口采集13 件表层沉积物样品进行重金属分析。研究结果表明,茅尾海沉积物中重金属As、Cd、Cr、Cu、Hg、Pb、Zn含量平均值 分别为7.78×10⁻⁶、0.14×10⁻⁶、37.6×10⁻⁶、18.9×10⁻⁶、0.004 8×10⁻⁶、22.5×10⁻⁶、54.7×10⁻⁶,均低于GB 18668—2002的 一类标准。沉积物中重金属空间分布差异较大,茅尾海东部工业区和西部茅岭江附近具有较高的重金属含量。重 金属污染分析表明,大部分重金属元素显示为无污染—轻度污染水平,Cr具有中等污染水平;生态风险分析显示, 重金属总体处于较低潜在风险,东部工业区 Hg、Cd显示出中等生态风险。通过相关性分析、聚类分析、主成分分析 探讨重金属污染物来源,结果显示重金属污染主要受河流控制,Hg、As、Cd还受到临港工业区废水排放的影响。综 合研究表明,茅尾海生态环境总体较好,但建议重点关注东部工业区重金属排污状况。

关键词: 茅尾海; 入海河口; 沉积物; 重金属; 风险评价

中图分类号: X131 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2022)04-1030-07

0 引言

重金属在大气、水、土壤等生态介质中广泛分 布,而海洋表层沉积物往往是重金属的储存库和重 要的归宿^[1]。重金属不能降解且具有生物累积(富 集)性,可对高营养生物造成潜在威胁,近年来众多 学者对海洋沉积物重金属开展了研究^[2-5]。受河水 径流、潮汐、波浪等因素共同作用,入海河口是陆源 物质与海洋环境关系最密切、最复杂的区域,也是人 类活动对自然环境影响最复杂的地区。陆源污染物 多通过河流汇入海中,因此,对河口及周边沉积物中 重金属的研究具有重要的意义。

广西钦州湾地区是国家建设北部湾城市群的 重要支撑。钦州湾分为内湾和外湾,内湾称为茅 尾海。茅尾海属于人海河流与钦州湾外湾的交汇 部位,是河流与海洋物质、能量交换的关键地区。 前人对钦州湾表层沉积物的研究取得了一定的成 果,但也存在一些不足:张少峰等对钦州湾外湾附 近开展生态风险评价,认为生态环境较好,未对污 染物来源进行分析[2]:田海涛等对茅尾海水质及 沉积物进行系统采样,认为其总体处于生态风险 较低水平,海域养殖对茅尾海有较大影响,未讨论 其他污染途径来源[3]:张丹等对茅尾海及钦州湾 表层沉积物开展6种重金属污染评价,分析了污 染物来源,并确定了 Cd 具有中等污染水平,但缺 少对 Hg 的分析^[4]。总体看来,目前还缺少对入海 河口和茅尾海沉积物重金属来源及相关关系的研 究。本文通过对茅岭江、大榄江、钦江入海河口及 周边表层沉积物重金属含量及分布特征进行分 析,对其污染现状及生态风险进行评价,希望为重 金属污染治理提供一定依据。

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(DD20191024、ZD20220604、ZD20220131)

第一作者: 阎琨(1988-),男,工程师,主要从事环境地质调查与评价工作。Email:544507188@qq.com

1 材料与方法

1.1 样品采集与分析

1.1.1 采样点布设与采集

2019年11月,在钦州入海河口及茅尾海周边 布设13个沉积物采样点(图1),采样方法按照《海 洋调查规范第8部分:海洋地质地球物理调查》 (GB/T 12763.8—2007)^[6],采用GPS定位,抓斗式 取样器取样,用木勺采集表层0~3 cm的沉积物,装 入密封的聚乙烯塑料袋中,冷冻运输至实验室进行 重金属分析及粒度分析。



Fig.1 Distribution of sampling stations

1.1.2 分析方法

粒度分析及重金属样品测试均在广西壮族自治 区地质矿产测试研究中心进行,依据《海底沉积物 化学分析方法》(GB/T 20260—2006)^[7]。粒度分析 采用激光粒度分析仪测定,Cr采用X射线荧光仪测 定,As、Hg采用原子荧光光谱仪测定,Pb、Cd、Cu、Zn 采用电感耦合等离子体质谱仪测定。分析测试过程 利用国家标准物质 GBW07451 和 GBW07452 控制, 测试结果符合质量控制要求。

1.2 污染及评价分析方法

目前重金属污染的评价方法很多^[8-10],不同学 者在不同研究区利用不同的方法均取得了较好的效 果^[11-15],本次笔者利用地累积指数法^[9]和潜在生态 危害评价指数方法^[10]对茅尾海入海河口进行评价。

1.2.1 地累积指数

地累积指数法是由德国学者 Muller 提出的研 究沉积物中重金属污染的定量指标^[9],考虑了自然 成岩作用和人类活动对环境的影响,被广泛用于现 代沉积物重金属污染的评价。其计算公式为:

$$I_{\text{res}} = \log_2 \left[C_i / (\mathbf{K} \times B_n) \right]^{[8-9]}$$

式中: I_{geo} 为地累积指数; C_i 为元素 i的实测值; B_n 为 所测元素的地球化学背景值;K为一般常数,本次取 值 K = 1.5。地球化学背景值的取值,可以为工业化 之前土壤背景值^[16-17],也可以为研究区沉积物背景 值。考虑到本文主要讨论近年来污染变化情况,因 此利用茅尾海沉积物背景值进行分析(表 1)^[18]。 评价标准为: $I_{geo} < 0$ 表示无污染; $0 < I_{geo} < 1$ 表示为轻 度污染; $1 < I_{geo} < 2$ 表示为偏中度污染; $2 < I_{geo} < 3$ 表 示为中度污染; $3 < I_{geo} < 4$ 表示为偏重度污染; $4 < I_{geo} < 5$ 表示为重度污染; $5 < I_{geo}$ 表示为严重污染。

1.2.2 潜在生态风险评价

Hakanson 提出的潜在生态危害评价指数方法 不仅可以反映某特定环境中的每种污染物的影响^[10],还能用定量的方法划分潜在生态危害的程 度。某单个重金属的潜在生态危害指数 *E*;的计算 公式如下:

$$E_r^i = C_f^i \times T_r^i$$
, 其中 $C_f^i = C^i / C_n^i$

式中: E_r^i 为金属 *i* 的潜在生态危害系数; C^i 为金属 *i* 的实测值; C_n^i 为金属 *i* 的参照值; T_r^i 为元素 *i* 的毒性 响应系数,本文采用 Hakanson 制定的标准化重金属 毒性系数为评价依据^[10],其中 Hg=40,Cd=30,As= 10,Cu=Pb=5,Cr=2,Zn=1。根据不同金属潜在生 态风险可以判断其生态危害: E_r^i <40 为低潜在生态 危害;40 $\leq E_r^i$ <80 为中潜在生态危害;80 $\leq E_r^i$ <160 为较高潜在生态危害;160 $\leq E_r^i$ <320 为高潜在生态 危害; E_r^i \geq 320 为很高潜在生态危害^[10,16]。

沉积物累积潜在生态危害系数 E_{RI} 为多个重金属生态危害指数之和,即: $E_{RI} = \sum E_r^i$ 。根据 E_{RI} 值,可以判断其生态危害级别,其中: $E_{RI} < 150$,具有低潜在生态危害;150 $\leq E_{RI} < 300$,具有中潜在生态危害;300 $\leq E_{RI} < 600$,具有较高潜在生态危害; $E_{RI} \ge 600$,具有很高潜在生态危害。

2 结果与讨论

2.1 重金属含量及分布

茅尾海入海河口沉积物中7种重金属含量参数 统计如表1。含量最高的为Zn,含量为(15.9~123)×

表1 茅尾海入海河口沉积物重金属含量

	Table	1 Content	s of heavy m	etals in sedi	ments of Ma	owei Sea Est	uary	
参数	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn	文献来源
最大值/10-6	19.8	0.45	74.3	31.7	0.12	46	123	本次工作
最小值/10-6	1.45	0.031	12.1	7.06	0.011	8.9	15.9	本次工作
平均值/10-6	7.78	0.14	37.6	18.9	0.048	22.5	54.7	本次工作
标准差/10-6	5.21	0.12	21.1	8.72	0.038	12.1	34.9	本次工作
变异系数	0.67	0.86	0.58	0.46	0.79	0.54	0.64	本次工作
国家一类标准/10-6	20	0.50	80.0	35.0	0.2	60.0	150	GB 18668—2002
1984 年所测含量/10 ⁻⁶	12.15	0.09		17.2		27.5	66.6	李树华[17]
2010年所测含量/10-6	7.72	0.08		12.72		6.76	39.37	张丹等[4]
2011 年所测含量/10-6	13.52	0.16		16.96	0.05	23.33	60.28	田海涛[3]
2013 年所测含量/10 ⁻⁶	8.3	0.08	12.3	11.3	0.05	8.6	69.1	舒俊林等[5]
参考背景值/10-6	9.6	0.19	21.8	18.5	0.062	26.3	56.73	文献[18]





10⁻⁶,平均值为54.32×10⁻⁶,其次为Cr,含量为(12.1~74.3)×10⁻⁶。含量最少的为Cd,含量为(0.04~0.45)×10⁻⁶,平均值为0.15×10⁻⁶。7种重金属总量为(49.82~235.21)×10⁻⁶,平均值为141.70×10⁻⁶,整体优于《海洋沉积物质量标准》(GB 18668—2002)中的国家一类标准。各采样站位中,重金属总量最高的站位为MBY05、MBY26、MBY11,主要位于辣椒棰、大新围附近,含量较小的站位为HKY12、HKY13、MBY29,主要位于大榄江河口附近。各元素分布图显示(图2),茅岭江河口重金属含量相对高于大榄江、钦江;大新围、横山附近海域沉积物重金属含量高于其他地区。表层沉积物平均粒径为1.69~6.67,平均为4.61,总体表现为距离河口较近的样品粒径较大,体现河口附近水动力条件较强,远离河

口水动力较弱,沉积物粒度相对较小。

2.2 重金属污染评价

为了进一步研究重金属污染级别及生态风险, 利用地累积指数法和潜在风险评价法对其污染评价 及生态风险评估^[19]。

2.2.1 地累积指数评价

地累积指数评价结果见表 2,显示 Cr 具有指数 最大值 1.18。大部分重金属元素的指数值小于 0, 表示大部分站位均属无污染,其中 Pb 有 1 个站位属 于轻度污染,As、Cd 有 2 个站位属于轻度污染,Cu、 Hg、Zn 有 3 个站位属于轻度污染,Cr 有 4 个站位属 于轻度污染,有 2 个站位的 Cr 含量为偏中度污染, 这与历年对比中 Cr 含量增加相类似,表明茅尾海河 口地区 Cr 的污染是值得重点关注的。

表 2 茅尾海入海河口沉积物重金属地累积指数评价结果

Table 2	Evaluation results	of heavy	metal	accumulation	index i	in sediments	of	Maowei	Sea	Estuary
---------	--------------------	----------	-------	--------------	---------	--------------	----	--------	-----	---------

I _{geo} 值 级数	413 %h		上例/%								
	级奴	6条性皮 一	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn		
<0	0	无污染	84.7	84.7	53.8	76.9	76.9	92.3	76.9		
0 <i≤1< td=""><td>1</td><td>轻度污染</td><td>15.3</td><td>15.3</td><td>30.8</td><td>23.1</td><td>23.1</td><td>7.7</td><td>23.1</td></i≤1<>	1	轻度污染	15.3	15.3	30.8	23.1	23.1	7.7	23.1		
1 <i≤2< td=""><td>2</td><td>偏中度污染</td><td>0</td><td>0</td><td>15.4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></i≤2<>	2	偏中度污染	0	0	15.4	0	0	0	0		
2 <i≤3< td=""><td>3</td><td>中度污染</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></i≤3<>	3	中度污染	0	0	0	0	0	0	0		
		最大值	0.11	0.66	1.18	0.19	0.37	0.22	0.53		
$I_{\rm ge}$	0	最小值	-3.31	-3.20	-1.43	-1.97	-3.22	-2.15	-2.42		
		平均值	-1.20	-1.49	-0.02	-0.71	-1.45	-1.00	-0.92		

2.2.2 潜在生态风险评价

通过对茅尾海入海河口沉积物进行潜在生态 风险评价,得到单个重金属潜在风险评价指数(图 3)。其中,As、Cr、Cu、Pb、Zn重金属 E,值较小,均 小于40,表明生态风险较低;Cd和Hg有部分采样 站位 E,值位于40~80之间,属于中度潜在风险危



害程度,表明 Cd 和 Hg 污染应该作为风险重点决 策对象。

重金属潜在生态危害指数 E_{RI} 表明,大部分站位的 E_{RI} 值低于 150,表明处于较低风险,有 1 个站位 (MBY09)值为 191,处于中等风险。

2.3 重金属来源分析

2.3.1 相关性分析

为了对重金属污染源进行研究,对茅尾海入海河口表层沉积物重金属元素之间以及重金属与平均粒径之间进行 Pearson 相关性分析(表 3)。结果表明,平均粒径与各重金属相关性较显著($0.50 \le r \le 0.80$),表明沉积物的粒径与重金属的富集存在一定的联系,但重金属的富集除了粒径影响外,还与污染物排放、其他化学生物作用有关^[20]。As、Cr、Zn、Pb之间相关性显著($r \ge 0.80$),表明这些重金属元素具有相似来源。Cd、Cu、Hg之间及其与其他元素间相关性较显著($0.50 \le r \le 0.80$),表明这部分重金属元素含量和分布可能受到多个潜在污染源影响。

表 3 茅尾海河口沉积物中各重金属元素之间及其与中值粒径的相关系数(n=13)

Table 3 Correlation coefficients of heavy metal elements and median particle size in sediments of MaoWei Sea estuary

	Mz	As	Cd	Cr	Cu	Ησ	Ph	Zn
	1	110	Gu	- Ch	Gu	118	15	Liii
MIZ	1							
As	0.737**	1						
Cd	0.621 *	0.664 *	1					
Cr	0.731 * *	0.856 * *	0.738 * *	1				
Cu	0.567 *	0.689 * *	0.671 *	0.897 * *	1			
Hg	0.723 * *	0.866 * *	0.744 * *	0.721 * *	0.531	1		
Pb	0.747 * *	0.882 * *	0.756 * *	0.978 * *	0.833 * *	0.754 * *	1	
Zn	0.692 * *	0.802 * *	0.787 * *	0.985 * *	0.908 * *	0.667 *	0.972 * *	1

注: M_{z} 为平均粒径;"**"表示在 0.01 级别(双尾)相关性显著;"*"表示在 0.05 级别(双尾)相关性显著。

2.3.2 聚类分析

聚类分析可以较好地分析沉积物样品和元素之间的关系,利用各站位、各元素地累积指数制作重金 属双重聚类分析,可以较好地表示样品、元素、污染 程度之间的关系^[20-21](图 4)。



Fig.4 Dual hierarchical clustering analysis

Q型聚类分析可分为三簇。第一簇有6件样品,主要分布在茅岭江河口附近及茅尾海东部辣椒 槌周边,显示出轻微污染的特点,表明茅岭江可能为 潜在的污染源;第二簇有3件样品,主要位于大榄江 河口及潮间带地区,污染程度较低,表明该区域可能 距离污染源较远;第三簇有4件样品,主要位于茅尾 海东部工业区附近,污染指数较高,显示出受人类活 动、工业生产影响的特征。

R型聚类分析将元素分为两簇,其中第一簇为As、Cd、Hg,第二簇为Cr、Zn、Pb、Cu,表明可能存在多个污染源。

2.3.3 主成分分析

为了进一步分析污染元素的来源,对7种重金属元素进行主成分分析^[19-20]。通过 KMO 和 Bartlett 的球形度检验,KMO 取样适切性量数为 0.697,Bartleet<0.05,表明数据适用于主成分分析。主成分分析显示,前两个主成分可以反映污染物 91.7%的信

息,其中第一主成分(FC1)的方差贡献率为82.8%, 7种重金属元素在FC1上均具有较高的正载荷,表 明FC1支配了研究区重金属元素的来源(图5);第 二主成分(FC2)方差贡献率为8.9%,在FC2上Hg 具有较高的正载荷,As、Cd具有中等的正载荷,表明 FC2主要支配Hg的来源,其次为As、Cd,这与聚类 分析结果一致。Hg、As、Cd在两个主成分上均具有 较高的正载荷,表明这3种元素的来源同时受两个 主成分支配。



结合前人研究成果和本次聚类分析、主成分分 析,茅尾海污染物主要有3个输入源:河流养殖输入 污染、沿岸工业污染和钦州湾海域污染物输 入^[22-23]。聚类分析结果显示,距离河口较远的站位 污染较轻,表明海域污染输入影响较小;FC1代表了 7种重金属污染的主要来源,考虑采样位置距离河 口较近,应该代表了陆源污染的输入,以生活污水、 农业养殖污水为主,其中茅岭江河口沉积物重金属 含量较高,这可能与附近的纸浆厂、选矿厂有关^[23]; FC2反映的主要污染元素为Hg、As、Cd,图2显示出 这3种元素在茅尾海东部的含量远大于西部的含 量,表明这3种元素与东部港口区污染输入有关。 根据调查可知,茅尾海东部为石油化工、造纸产业聚 集区,工业废水的排放造成了 Hg、As、Cd 的污染输入。综上所述,7 种重金属的来源主要为河流输入的生产生活及农业养殖污染物,Hg、As、Cd 同时受河流输入和临港工业废水输入控制。

3 结论

 才尾海入海河口重金属As、Cd、Cr、Cu、Hg、Pb、Zn平均含量分别为7.78×10⁻⁶、0.14×10⁻⁶、37.6×10⁻⁶、18.9×10⁻⁶、0.048×10⁻⁶、22.5×10⁻⁶、54.7×10⁻⁶, 重金属含量均低于国家一类标准值。

2)通过地累积指数法研究,沉积物重金属污染 大多处于无污染或轻度污染水平,部分站位 Cr 含量 较高,处于中等污染水平;通过潜在生态指数分析, 大部分元素处于低生态风险水平,Hg 和 Cd 处于中 等生态威胁水平;与重金属分布相对应,茅尾海东部 大新围地区处于中等生态威胁水平。

3)相关性分析、聚类分析、主成分分析表明,河 流污染为主要的污染物来源,东部工业区废水为 Hg、As、Cd的污染提供了部分来源,二者共同控制 了重金属元素的分布。

参考文献(References):

- [1] 贾振邦,霍文毅.应用次生相富集系数评价柴河沉积物重金属 污染[J].北京大学学报:自然科学版,2000,36(6):808-812.
 Jia Z B, Huo W Y.Secondary phase enrichment factor for evaluation of heavy metal pollution of sediment in the Chai River[J]. Acta Scicentiarum Naturalum Universitis Pekinesis,2000,36(6):808-812.
- [2] 张少峰,林明裕,魏春雷,等.广西钦州湾沉积物重金属污染现 状及潜在生态风险评价[J].海洋通报,2010,29(4):450-454. Zhang S F,Lin M Y,Wei C L.et al .Pollution assessment and potential ecological risk evolution for heavy metals in the sediments of Qinzhou Bay[J]. Marine Science Bulletin, 2010, 29(4):450-454.
- [3] 田海涛,胡希声,张少峰,等.茅尾海表层沉积物中重金属污染 及潜在生态风险评价[J].海洋环境科学,2014,33(2):187-191.

Tian H T, Hu X S, Zhang S F, et al. Distributionandpotential ecological risk assessment of heavy metals insurface sediments of Maowei Sea[J]. Marine Environmental Science, 2014, 33(2):187 – 191.

 [4] 张丹,黎大荣,陈建华,等.钦州湾及其入海河流表层沉积物中 重金属分布及污染特征分析[J].安全与环境工程,2014,21
 (5):11-15.

Zhang D, Li D R, Chen J H, et al. Distribution and pollution characteristics of heavy metals in marine and riverine sediments of Qinzhou Bay, China [J]. Safety and Environmental Engineering, 2014,21(5):11-15.

- [5] 舒俊林,王运芳,韦细姣.钦州湾表层沉积物重金属分布特征
 [J].广西科学院学报,2013,29(4):224-226.
 Shu J L,Wang Y F,Wei X J.Spatial distribution of heavy metals in surface sediment from Qin Zhou Bay[J].Journal of Guangxi Academy of Sciences,2013,29(4):224-226.
- [6] GB/T 12763.8—2007 海洋调查规范第 8 部分:海洋地质地球 物理调查[S].
 GB/T 12763.8—2007 Specifications for marine survey part 8: Ma-

rine Geological and geophysical survey[S].

- [7] GB/T 20260—2006 海底沉积物化学分析方法[S].
 GB/T 20260—2006 Methods for chemical analysis of seafloor sediments[S].
- [8] 丁喜桂,叶思源,高宗军.近海沉积物重金属污染评价方法[J]. 海洋地质动态,2005,21(8):31-36,38.
 Ding X G, Ye S Y, Gao Z J.Methods of heavy metal pollution evaluation for offshore sediments[J].Marine Geology Letters,2005,21 (8):31-36,38.
- [9] Muller G.Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River [J].Geojournal, 1969, 2(3): 108 – 118.
- [10] Hakanson L.An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach [J]. Water Research, 1980, 14 (8): 975 - 1001.
- [11] 李平,郭晓娟,杨清书,等.珠江磨刀门河口表层沉积物中重金 属的分布特征及生态风险评价[J].海洋环境科学,2017,36 (5):746-753.

Li P, Guo X J, Yang Q S, et al.Distribution characteristics and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments in Modaomen distributary mouth of Pearl River Estuary [J]. Marine Environmental Science, 2017, 36(5):746-753.

[12] 袁国明,何桂芳.广东柘林湾至大埕湾海域表层沉积物重金属 分布与环境地球化学特征[J].地球与环境,2015,43(2):190-197.

Yuan G M, He G F. Distribution and environmental geochemistry characteristics of heavy metals in surface sediment from Zhelin Bay to Dacheng Bay, Guangdong Province, China [J]. Earth and Environment, 2015, 43(2):190 – 197.

[13] 吴振,王松涛,刘金庆,等.日照市海岸带土壤和海底沉积物重 金属分布与环境质量评价[J].海洋地质与第四纪地质,2019, 39(1):59-68.

Wu Z, Wang S T, Liu J Q, et al. Distribution of heavy metals in soils and surface sediments along Rizhao coast and environmental assessment [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2019, 39 (1):59-68.

[14] 闫兴成,杨晓薇,黄烯茜,等.太湖主要人湖河口表层沉积物重
 金属分布特征及风险评价[J].生态环境学报,2016,25(9):
 1515-1521.

Yan X C, Yang X W, Huang X Q, et al. Distribution and risk assessment of heavy metals in the surface estuarine sediments of main inflow rivers in Taihu Lake [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2016, 25(9): 1515 – 1521.

 [15] 王勤,彭渤,方小红,等.湘江长沙段沉积物重金属污染特征及 其评价[J].环境化学,2020,39(4):999-1011.
 Wang Q, Peng B, Fang X H, et al. Characteristics and assessment of heavy metal contamination in sediments from Changsha section of the Xiangjiang River, Hunan Province of China[J].Environmental Chemistry, 2020, 39(4):999-1011.

[16] 黎清华,万世明,李安春,等.广西钦州湾—防城港潮间带表层 沉积物重金属生态风险评价[J].海洋科学进展,2012,30(1): 141-154.

Li Q H, Wan S M, Li A C, et al. Ecological risk assessment of heavy metals in sediments of the intertidal zone from the Qinzhou Bay to the Fangcheng Port of Guangxi Province [J]. Advances in Marine Science, 2012, 30(1): 141 - 154.

[17] 李树华.中国海湾志广西海湾分册[M].北京:海洋出版社, 1993.

Li S H.China Bay chronicle Guangxi Bay volume [M].Beijing:China Ocean Press, 1993.

 [18] 中国水产科学院南海水产研究所.茅尾海生态环境现状调查与 评估报告[R].2013.
 Nanhai Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery

Sciences. Investigation and assessment report on ecological environment of Maowei Sea[R].2013.

[19] 肖彩玲,陈路锋,李雁宾.胶州湾沉积物重金属分布特征及生态 风险评价[J].中国科技论文,2017,12(9):1079-1086. Xiao C L, Chen L F, Li Y B.Distribution characteristics and potential risk assessment of heavy metals in the sediment of Jiaozhou Bay

[J].China Sciencepaper, 2017, 12(9): 1079 – 1086.

[20] 冯晓博,肖凯,李海龙,等.广东海陵岛北部海域表层沉积物重

金属分布特征与污染评价[J].海洋环境科学,2021,40(4): 507-514.

Feng X B, Xiao K, Li H L, et al. Distribution characteristics and pollution assessment of heavy metals in the surface sediments in the northern Hailing island sea areas, Guangdong province [J]. Marine Environmental Science, 2021, 40(4):507-514.

- [21] 李录峰,刘爽,谢垚晶,等.条子河表层沉积物中重金属污染特 征及风险评价[J].中国科技论文,2015,10(15):1735-1740. Li L F,Liu S,Xie Y J, et al. Pollution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of Tiaozi River[J].China Sciencepaper,2015,10(15):1735-1740.
- [22] 林红梅,王伟力,林彩,等.钦州湾及其邻近海域重金属的时空 变化特征和影响因素[J].应用海洋学学报,2020,39(4):490-500.

Lin H M, Wang W L, Lin C, et al. Temporal and spatial variations of heavy metals and influencing factors in Qinzhou Bay and its adjacent waters in 2013~2014[J].Journal of Applied Oceanography, 2020, 39(4):490 – 500.

[23] 朱学韬,林海英,冯庆革,等.广西北部湾表层沉积物重金属污染水平、生态风险评价和源分析[J].环境工程,2021,39(8):
 69-76.

Zhu X T, Lin H Y, Feng Q G, et al. Pollution and risk assessment, source analysis of heavy metals in surface sediments of Beibu Gulf, Guangxi[J].Environmental Engineering, 2021, 39(8):69–76.

Assessing the distribution and ecological risks of heavy metals in surface sediments of the Maowei Sea estuary, Guangxi

YAN Kun^{1,2}, PANG Guo-Tao¹, LI Wei¹, MAO Fang-Song¹

(1. Yantai Geological Survey Center of Coastal Zone, China Geological Survey, Yantai 264000, China; 2. School of Environmental Studies, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430000, China)

Abstract: A total of 13 surface sediment samples were collected from estuaries of the Maoling, Dalan, and Qinjiang rivers for heavy metal analysis, aiming to study the distribution characteristics and ecological risk of heavy metals in the surface sediments of the Maowei Sea estuary. The results are as follows. The average contents of heavy metals As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, and Zn in Maowei Sea sediments were 7.78×10^{-6} , 0.14×10^{-6} , 37.6×10^{-6} , 18.9×10^{-6} , 0.0048×10^{-6} , 22.5×10^{-6} , and 54.7×10^{-6} , respectively. They are all lower than the class–I standard specified in GB18668—2002. The heavy metals in the sediments show quite different spatial distribution, with high content of heavy metals concentrating in the industrial zone to the east of the Maowei Sea and near the Maoling River to the west of the Maowei Sea. The analysis of heavy metal pollution shows that most elements are at levels of no pollution to moderate pollution, and Cr is at a medium pollution level. As indicated by the ecological risk analysis, the heavy metals generally show potentially low potential risks, and Hg and Cd in the industrial zone to the east show moderate ecological risks. The sources of heavy metal pollution is mainly controlled by rivers, and Hg, As and Cd are also affected by wastewater discharged from the port industrial zone. This comprehensive study shows that the Maowei Sea has a good ecological environment overall, but it is recommended to focus on the drainage of heavy metal pollution in the industrial zone to the west of the Maowei Sea.

Key words: Maowei Sea; estuary; sediments; heavy metals; risk assessment