

◆特邀专稿◆

广西铁山港邻近海域表层沉积物中重金属污染现状*

青尚敏¹, 陈海南¹, 孙燕¹, 刘国强^{1,2}, 劳齐斌^{1,2**}

(1. 国家海洋局北海海洋环境监测中心站, 广西北海 536000; 2. 自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室, 广东广州 510000)

摘要:为阐明广西铁山港港口经济快速发展对海域生态环境带来的影响,基于广西铁山港湾海域19个站位表层沉积物地球化学测试分析,研究该海域中重金属元素Pb、Zn、Cu、Cd、Cr、Hg和As分布特征,并分析其潜在生态风险。结果显示,铁山港海域表层沉积物中Pb、Zn、Cu、Cd、Cr、Hg和As含量的平均值分别为10.7, 37.0, 10.4, 0.07, 25.7, 0.042和9.42 mg·kg⁻¹,重金属的含量由高至低依次为Zn>Cr>Pb>Cu>As>Cd>Hg,其含量均符合国家海洋沉积物质量一类标准。除Cu外,重金属分布情况相似,其含量总体表现为港湾内高于港湾外。与其他区域相比,铁山港海域重金属含量明显低于广西北部湾其他港口区域,处于较低水平。铁山港重金属单因子污染程度依次为Cu>As>Zn>Pb>Hg>Cd>Cr,沉积物中重金属的潜在风险程度较低;生态危害影响依次为Hg>Cd>As>Cu>Pb>Cr>Zn,处于低潜在生态风险的范畴,反映了研究海域优良的底质生态环境,但受人类活动影响,港湾内沉积物重金属总体污染程度和潜在风险指数较高,应引起警惕。

关键词:重金属 沉积物 潜在生态风险 铁山港 北部湾

中图分类号:P734 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2021)06-0568-09

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20220117.009

0 引言

重金属是一种难降解、毒性高的外源污染物,广泛分布于环境中,是一种全球性的环境公害^[1,2]。在水环境中,重金属易吸附于悬浮颗粒物中,经过沉淀

等过程沉降于沉积物,同时沉积物中的重金属因环境改变会再次释放到水环境,形成二次污染,对海洋生态系统造成极大危害^[3-5]。因此,沉积物可作为海洋环境重金属污染程度的指示剂,对评价重金属污染状况至关重要^[1,6]。

收稿日期:2021-03-22

* 广西自然科学基金项目(2020GXNSFBA297065)资助。

【作者简介】

青尚敏(1983-),男,工程师,主要从事海洋环境化学研究,E-mail:304116307@qq.com。

【**通信作者】

劳齐斌(1990-),男,工程师,主要从事海洋生物地球化学研究,E-mail:laoqibin@163.com。

【引用本文】

青尚敏,陈海南,孙燕,等.广西铁山港邻近海域表层沉积物中重金属污染现状[J].广西科学,2021,28(6):568-576.

QING S M, Chen H N, SUN Y, LIU G Q, LAO Q B. Pollution Status of Heavy Metals in Surface Sediments near Tieshangang Bay Sea Area, Guangxi [J]. Guangxi Sciences, 2021, 28(6): 568-576.

北部湾海域因具有高生产力及生物多样性,已成为广西沿海区域渔业产品的主要来源。但随着广西沿海经济的快速发展,北部湾近海区域面临着较大的生态污染风险^[1,2,7-9]。尤其在北部湾近海港口地区,随着污染物的不断排放,污染物含量明显升高^[1,2,10-12]。铁山港是位于广西北部湾东北部的重要港湾,十三五期间,铁山港积极发展临港工业、海洋运输、港口物流等临港产业,打造临港海洋装备制造制造业和海洋新兴产业聚集基地。但目前关于铁山港沉积物重金属的相关研究仍比较有限。本文对铁山港附近海域的表层沉积物中重金属含量及空间分布规律进行分析,并进行重金属污染程度和潜在生态风险评价,为日后的持续监测和污染治理提供基础,为管理部门提供科学决策依据,对北部湾经济区沿海社会、经济的可持续发展也有着重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域及样品采集

铁山港位于北部湾东北部,是一个狭长的台地溺谷型海湾,形似喇叭状,呈南北走向,水域南北长约40 km,东西最宽处10 km,是我国大陆上离欧洲、非洲、中亚、西亚最近的港口。

于2016年12月在铁山港附近海域布设19个站点(图1),根据采样站位的空间分布,将T1-T9站位划分为铁山港湾内,T10-T19站位划分为铁山港湾外。表层(0-5 cm)沉积物样品用抓斗式采泥器采集,装入聚乙烯袋中在-20℃下冷藏保存。样品带回实验室后,经过自然风干、玛瑙研磨、过筛(160目),混匀后置于聚乙烯袋中密封保存备用。

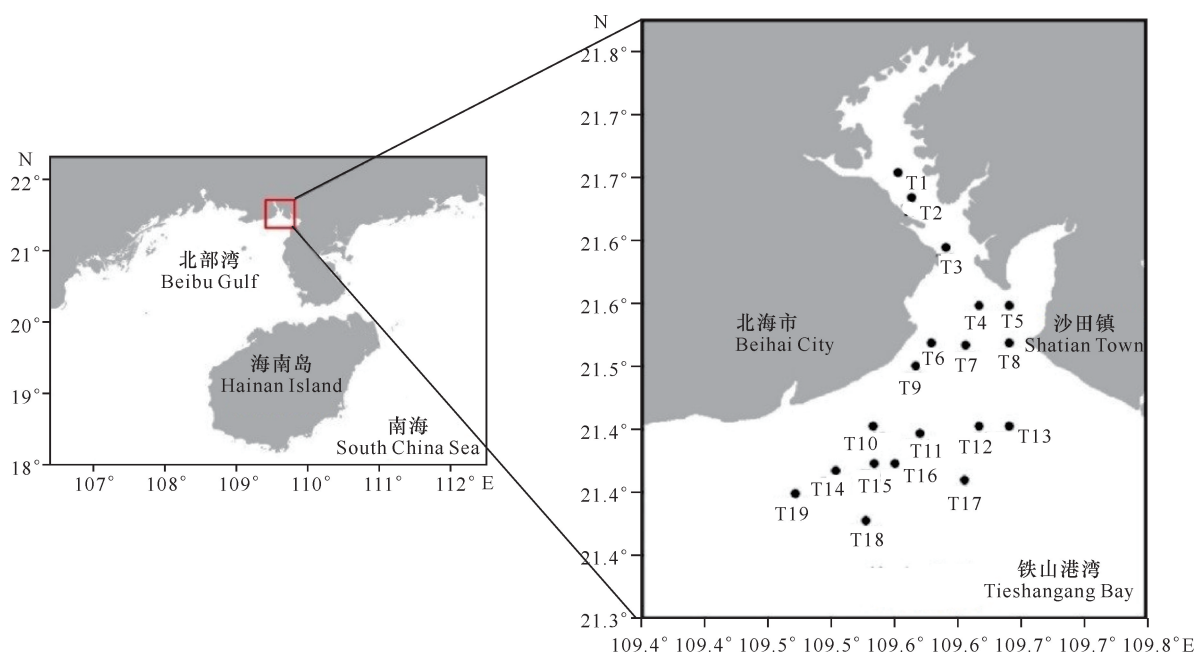


图1 研究区域及采样点

Fig. 1 Study area and sampling sites

1.2 样品分析方法

样品的实验分析根据《海洋监测规范》第5部分(GB 17378.5-2007)^[13]进行。首先称取适量的沉积物样品置于60℃烘箱内烘干,其中Hg的测试样品在自然条件下晾干;准确量取0.5 g样品于聚四氟乙烯消解罐中,加入3 mL硝酸、2 mL盐酸和2 mL氢氟酸(37%),将沉积物样品消化溶解。Cu、Pb、Zn、Cd、Cr采用原子吸收分光光度法分析,As、Hg采用原子荧光法分析。实验所用玻璃、塑料器皿均提前在(1+3)硝酸溶液中浸泡24 h以上,再用超纯水洗净

并烘干,所用试剂全部为优级纯,均采用超纯水配制试剂溶液。Pb、Zn、Cu、Cd、Cr、Hg、As的检出限分别为1.0,6.0,2.0,0.04,2.0,0.002,0.06 mg·kg⁻¹。

1.3 评价方法

1.3.1 沉积物重金属污染程度

采用单因子污染系数 C_f^i (重金属实测污染物含量与背景值的比值)反映沉积物重金属 i 的污染程度: $C_f^i < 1$,为低污染; $1 \leq C_f^i < 3$,为中污染; $3 \leq C_f^i < 6$,为较高污染; $C_f^i \geq 6$,为很高污染^[14]。多种重金属综合效应采用综合污染指数 C_d (各单因子污

染系数之和)表示: $C_d < 5$, 为低污染; $5 \leq C_d < 10$, 为中污染; $10 \leq C_d < 20$, 为较高污染; $C_d \geq 20$, 为高污染。本研究采用 20 世纪 80 年代北部湾重金属调查的平均值为背景参考值^[15,16], 如表 1 所示。

表 1 重金属的毒性系数(T_f^i)和背景参考值(C_n^i)

Table 1 Toxicity coefficient (T_f^i) and background reference value (C_n^i) of heavy metals

重金属 Heavy metals	$C_n^i (\times 10^{-6})$	T_f^i
Pb	27.100	5
Zn	90.300	1
Cu	11.000	5
Cd	0.195	30
Cr	73.300	2
Hg	0.111	40
As	15.500	10

1.3.2 潜在生态风险评价

本研究采用 Hakanson^[17] 提出的潜在生态风险指数法来评价沉积物中重金属的生态风险。潜在生态风险指数法综合考虑了重金属的毒性、在沉积物中迁移转化规律和评价区域对重金属污染的敏感性, 以及重金属区域背景值的差异, 消除了区域差异和异源污染的影响, 可以综合反映沉积物中重金属对生态环境的影响潜力, 在国内外沉积物质量评价中应用广泛。沉积物中所有重金属的潜在生态风险指数 RI 计算公式为

$$RI = \sum_{i=1}^n E_f^i = \sum_{i=1}^n (T_f^i \times C_f^i), \quad (1)$$

式中: E_f^i 为金属 i 的潜在生态风险系数; T_f^i 为重金属毒性响应系数, 反映重金属毒性水平及生物对重金属污染的敏感程度; 重金属 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg、As 的毒性响应系数分别为 5、5、1、30、2、40、10; C_f^i 为单因子污染系数。

为定量表达海域中沉积物单个污染物的潜在生态风险, 定义潜在生态风险系数为 E_f^i , 根据 E_f^i 可将该污染物潜在生态风险程度划分为 5 个等级: $E_f^i < 40$, 为低潜在生态风险; $40 \leq E_f^i < 80$, 为中潜在生态风险; $80 \leq E_f^i < 160$, 为较高潜在生态风险; $160 \leq E_f^i < 320$, 为高潜在生态风险; $E_f^i \geq 320$, 为很

高潜在生态风险。

潜在生态风险指数 RI 定义为所有重金属的潜在生态风险系数之和, 可将其潜在生态风险程度划分为 4 个等级: $RI < 150$, 海域具有低潜在生态风险; $150 \leq RI < 300$, 海域具有中潜在生态风险; $300 \leq RI < 600$, 海域具有高潜在生态风险; $RI \geq 600$, 海域具有很高潜在生态风险。

1.4 主成分分析

重金属与环境因子之间相关性可能反映了这些重金属的来源和迁移信息^[1]。因此, 本研究利用 SPSS 对重金属和环境因子数据进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 铁山港沉积物中重金属的含量和分布

由表 2 可知, 铁山港沉积物中重金属平均含量由高至低依次为 $Zn > Cr > Pb > Cu > As > Cd > Hg$, 沉积物中 7 种重金属的最高含量均符合国家海洋沉积物质量一类标准^[13]。与其他区域相比(表 3), 铁山港沉积物中重金属含量明显低于粤西近岸^[18]、泉州湾^[19]、琼东海域^[20] 等区域。此外, 铁山港沉积物中大部分重金属(Pb、Zn、Cd、Hg 和 Cu)含量低于广西北部湾整体区域^[1], 如北海廉州湾^[15]、钦州湾^[8] 和防城港珍珠湾海域^[21], 表明铁山港海域沉积物重金属的污染程度较低。此外, 与 10 年前该区域沉积物中重金属含量对比, 6 种重金属(Pb、Zn、Cd、Hg、Cu、As)含量均降低, 进一步表明近些年铁山港海域环境状况良好。

空间分布上(图 2), Cr、Hg、As 的含量整体表现为港湾内(Cr、Hg、As 含量平均值分别为 42.7, 0.052, 13.07 $mg \cdot kg^{-1}$)高于港湾外(Cr、Hg、As 含量平均值分别为 22.9, 0.031, 5.16 $mg \cdot kg^{-1}$), Cd 含量在港湾内(平均为 0.07 $mg \cdot kg^{-1}$)和港湾外(平均为 0.07 $mg \cdot kg^{-1}$)相差不大, 而 Cu 含量呈现港湾外(平均为 12.71 $mg \cdot kg^{-1}$)高于港湾内(平均为 7.77 $mg \cdot kg^{-1}$)。虽然 Pb 和 Zn 的含量在湾内(分别为 10.5, 36.9 $mg \cdot kg^{-1}$)和湾外(分别为 10.9, 37.0 $mg \cdot kg^{-1}$)相近, 但呈现沿陆地两岸区域高, 中间航道低的分布特征, 这可能与中间航道清淤有关。

表 2 铁山港附近海域表层沉积物的重金属含量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)Table 2 Heavy metal contents in surface sediments of Tieshangang Bay ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

站号 Stations	Pb	Zn	Cu	Cd	Cr	Hg	As
T1	3.9	19.1	3.2	-	-	0.021	4.83
T2	10.9	46.5	7.6	0.07	-	0.043	18.41
T3	11.2	47.7	7.6	0.06	-	0.044	13.02
T4	11.0	42.5	6.2	0.05	-	0.096	19.22
T5	11.3	38.2	6.1	0.08	-	-	13.12
T6	12.6	43.3	6.1	0.09	-	0.051	8.32
T7	7.1	14.3	8.3	0.06	-	0.041	-
T8	11.6	37.5	8.3	0.08	-	0.070	14.62
T9	15.3	42.9	16.5	0.07	42.7	-	-
T10	14.0	54.0	10.2	0.13	-	0.044	7.20
T11	9.3	26.1	10.3	0.07	23.6	0.043	4.53
T12	12.2	33.3	11.3	0.08	-	0.004	1.75
T13	13.3	33.0	11.4	0.07	-	0.006	7.72
T14	14.7	45.9	9.3	0.07	-	0.047	5.51
T15	10.6	38.9	18.5	0.06	23.2	0.041	4.28
T16	10.6	38.9	18.5	0.06	23.2	-	-
T17	16.4	44.3	12.5	0.07	46.6	-	-
T18	5.3	26.7	10.1	0.04	11.1	-	-
T19	2.6	29.2	15.0	-	9.7	-	-
一类标准* The first class standard*	≤ 60	≤ 150	≤ 35	≤ 0.5	≤ 80	≤ 0.2	≤ 20
范围 Range	2.6 - 16.4	14.3 - 54.0	3.2 - 18.5	0.04 - 0.13	9.7 - 42.7	0.004 - 0.096	1.75 - 19.22
平均值 Average values	10.7	37.0	10.4	0.07	25.7	0.042	9.42

注：“-”表示该站无相关数据，*表示国家海洋沉积物质量一类标准

Note: “-” represents no relevant data at this station, * indicates national first class marine sediment quality standard

表 3 铁山港沉积物中重金属含量与其他区域对比情况 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)Table 3 Comparison of heavy metal content in sediments of Tieshangang Bay with other areas ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

区域 Regions	Pb	Zn	Cu	Cd	Cr	Hg	As	参考文献 References
中国浅海沉积物 Sediments in the shallow sea of China	20.0	65.0	15.0	0.07	60.0	0.03	7.70	[3]
粤西近岸 Coastal of western Guangdong Province	44.29	139.93	43.83	0.38	86.97	0.13	20.83	[18]
泉州湾 Quanzhou Bay	67.7	179.6	71.4	0.59	82.0	0.40	21.7	[19]
太湖流域 Taihu Lake Basin	37.00	163.62	44.71	0.479	102.46	0.109	13.34	[5]
琼东海域 Eastern Hainan Island	19.2	81.4	29.4	0.19	57.3	-	-	[20]
北部湾 Beibu Gulf	14.64	52.37	15.07	0.06	44.42	0.06	7.82	[1]
北海廉州湾 Lianzhou Bay in Beihai	29.5	68.0	15.9	0.30	-	0.079	-	[15]
钦州湾 Qinzhou Bay	31.3	60.0	19.8	0.08	-	0.046	-	[8]

续表 3

Continued table 3

区域 Regions	Pb	Zn	Cu	Cd	Cr	Hg	As	参考文献 References
防城港珍珠湾 Pearl Bay in Fangcheng-gang	11.0	30.0	6.3	0.03	-	0.017	-	[21]
北部湾背景值 Background value of Beibu Gulf	27.1	90.3	11	0.195	73.3	0.111	15.5	[15,16]
铁山港(2009年) Tieshangang Bay (2009)	15.9	61.1	13.1	0.27	-	0.068	10.1	[14]
铁山港 Tieshangang Bay	10.7	37.0	10.4	0.07	25.7	0.042	9.42	本研究 This study

注:“-”表示该站无相关数据

Note:“-” represents no relevant data at this station

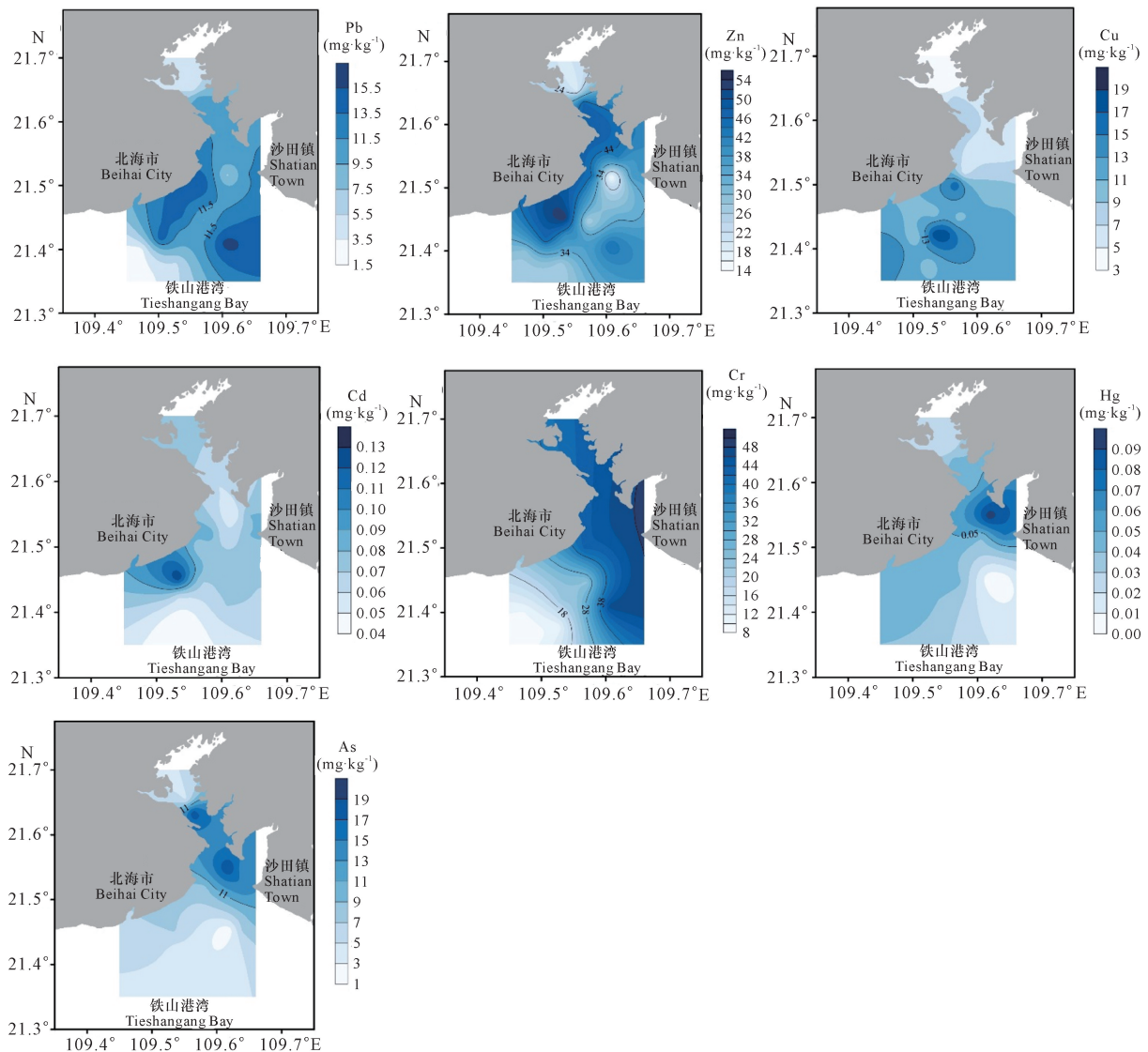


图2 铁山港附近海域表层沉积物重金属的平面分布图

Fig. 2 Distribution map of heavy metals in surface sediments of Tieshangang Bay

2.2 重金属污染评价

2.2.1 单因子污染评价

如表4所示,Pb、Zn、Cu、Cd、Cr、Hg和As的单因子污染系数 C_f^i 平均值排序为Cu(0.94)>As

表4 铁山港沉积物中重金属的污染指数

Table 4 Pollution index of heavy metals in sediments of Tieshangang Bay

站位 Stations	单因子污染系数 C_f^i Single factor pollution coefficient C_f^i							C_d
	Pb	Zn	Cu	Cd	Cr	Hg	As	
T1	0.14	0.21	0.29	-	-	0.19	0.31	1.15
T2	0.40	0.51	0.69	0.36	-	0.39	1.19	3.54
T3	0.41	0.53	0.69	0.31	-	0.40	0.84	3.18
T4	0.41	0.47	0.56	0.26	-	0.86	1.24	3.80
T5	0.42	0.42	0.55	0.41	-	-	0.85	2.65
T6	0.46	0.48	0.55	0.46	-	0.46	0.54	2.96
T7	0.26	0.16	0.75	0.31	-	0.37	0.00	1.85
T8	0.43	0.42	0.75	0.41	-	0.63	0.94	3.58
T9	0.56	0.48	1.50	0.36	0.58	-	-	3.48
T10	0.52	0.60	0.93	0.67	-	0.40	0.46	3.57
T11	0.34	0.29	0.94	0.36	0.32	0.39	0.29	2.93
T12	0.45	0.37	1.03	0.41	-	0.04	0.11	2.41
T13	0.49	0.37	1.04	0.36	-	0.05	0.50	2.80
T14	0.54	0.51	0.85	0.36	-	0.42	0.36	3.03
T15	0.39	0.43	1.68	0.31	0.32	0.37	0.28	3.77
T16	0.39	0.43	1.68	0.31	0.32	-	-	3.13
T17	0.61	0.49	1.14	0.36	0.64	-	-	3.23
T18	0.20	0.30	0.92	0.21	0.15	-	-	1.77
T19	0.10	0.32	1.36	-	0.13	-	-	1.92
平均值 Average values	0.40	0.41	0.94	0.37	0.35	0.38	0.56	2.88

注：“-”表示该站无相关数据

Note:“-” represents no relevant data at this station

2.2.2 潜在生态风险评价

从铁山港湾附近海域整体上来看(表5),所有重金属因子在各站位的潜在生态风险系数均小于40,平均值为0.41-15.27;各重金属潜在生态风险系数平均值由大到小依次为Hg>Cd>As>Cu>Pb>Cr>Zn;所有站位的重金属综合潜在生态风险指数RI为7.89-60.00,平均值为31.77,铁山港港湾内RI指数高于湾外。RI最大值远低于150,依据总潜在生态风险指数分级判断,铁山港湾海域沉积物中重金属的潜在风险程度较低,处于低潜在生态风险的范畴,反映了研究海域优良的底质生态环境,然而港湾内沉积物重金属总体污染程度和潜在风险指数相对

(0.56)>Zn(0.41)>Pb(0.40)>Hg(0.38)>Cd(0.37)>Cr(0.35),均小于1,属于低污染水平。从综合污染指数 C_d 来看,所有站位重金属的 C_d 均小于5,属于低污染程度。

湾外较高,其污染风险应引起警惕。

2.3 重金属和TOC含量主成分分析

为进一步了解铁山港海域重金属的来源及主控因素,本研究对沉积物中重金属和总有机碳(TOC)含量进行主成分分析,分析结果见表6。当特征值大于1时,可提取2种成分,可分别解释总因子的45.254%和28.248%,累积贡献率为73.502%。在成分1中,Hg、As和TOC具有较高的载荷值,这些重金属含量高值分布主要在湾内,表明这些重金属在湾内沉积物中富集与沉积物中有机质含量有关。Hg主要来源于冶金、石化产品等,As来源于工业生产、网箱养殖等^[22]。成分2中,Pb、Zn和Cd具有较高的

表5 铁山港表层沉积物中重金属的潜在生态风险指数及程度

Table 5 Potential ecological risk index and degree of heavy metals in surface sediments of Tieshangang Bay

站点 Stations	潜在生态风险参数 E_f^i Potential ecological risk parameters E_f^i							RI	风险程度 Risk level
	Pb	Zn	Cu	Cd	Cr	Hg	As		
T1	0.72	0.21	1.45	-	-	7.57	3.11	13.07	低 Low
T2	2.01	0.51	3.45	10.77	-	15.50	11.88	44.12	低 Low
T3	2.07	0.53	3.45	9.23	-	15.86	8.40	39.53	低 Low
T4	2.03	0.47	2.82	7.69	-	34.59	12.40	60.00	低 Low
T5	2.08	0.42	2.77	12.31	-	-	8.46	26.05	低 Low
T6	2.32	0.48	2.77	13.85	-	18.38	5.37	43.17	低 Low
T7	1.31	0.16	3.77	9.23	-	14.77	-	29.25	低 Low
T8	2.14	0.42	3.77	12.31	-	25.23	9.43	53.29	低 Low
T9	2.82	0.48	7.50	10.77	1.17	-	-	22.73	低 Low
T10	2.58	0.60	4.64	20.00	-	15.86	4.65	48.32	低 Low
T11	1.72	0.29	4.68	10.77	0.64	15.50	2.92	36.52	低 Low
T12	2.25	0.37	5.14	12.31	-	1.44	1.13	22.63	低 Low
T13	2.45	0.37	5.18	10.77	-	2.16	4.98	25.91	低 Low
T14	2.71	0.51	4.23	10.77	-	16.94	3.56	38.71	低 Low
T15	1.96	0.43	8.41	9.23	0.63	14.77	2.76	38.20	低 Low
T16	1.96	0.43	8.41	9.23	0.63	-	-	20.66	低 Low
T17	3.03	0.49	5.68	10.77	1.27	-	-	21.24	低 Low
T18	0.98	0.30	4.59	6.15	0.30	-	-	12.32	低 Low
T19	0.48	0.32	6.82	-	0.26	-	-	7.89	低 Low
平均值 Average values	1.98	0.41	4.71	10.95	0.70	15.27	6.08	31.77	低 Low

注：“-”表示该站无相关数据

Note: “-” represents no relevant data at this station

载荷值,其含量在湾内和湾外相近,可能具有相似的来源。

表6 铁山港沉积物中重金属含量和 TOC 主成分分析

Table 6 Results of PCA of heavy metal concentrations and TOC in the Tieshangang Bay

元素 Elements	因子载荷 Factor load	
	成分 1 Component 1	成分 2 Component 2
Pb	-0.132	0.859
Zn	0.518	0.712
Cu	-0.668	-0.211
Cd	-0.217	0.809
Hg	0.823	-0.127
As	0.944	-0.133
TOC	0.909	0.011
特征值 Eigenvalue	3.168	1.977
贡献率 Contribution rate	45.254%	28.248%
累计贡献率 Cumulative contribution rate	45.254%	73.502%

3 讨论

铁山港港湾内人类活动频繁,生活污水、工业废水、农业污水等向海湾内直接排放会造成海域环境重金属聚集。此外,港湾内受潮流影响小,水动力条件较弱,易于淤积,人为排入的物质因絮凝作用容易发生沉淀,且淤泥底质易吸附、积累重金属元素,进一步加剧重金属富集^[3]。李萍等^[23]对铁山港区域用海环境质量状况调查分析显示,其水质状况在近港口和工业用海海域较差,且随时间推移污染物有逐渐扩散的趋势,主要受到沿岸工业污水和生活污水排放的影响。由于铁山港湾中部区域航道清淤,底部沉积物可能已经被清理,导致部分重金属在中间航道位置的含量较低。

Cu 含量由近岸向外海逐渐增加,表明铁山港沉积物中的 Cu 可能不是陆源输入,而是受控于自然地质背景因素或与外海物质来源有关。北部湾其他海域部分重金属含量也呈类似分布,即外海重金属含量

高于近海区域^[1]。受季风影响,北部湾环流呈季节性变化,这种环流可将其他海域污染物通过琼州海峡或越南近岸带入广西北部湾,从而导致北部湾外海域出现较高浓度的污染物^[1,23-25]。

铁山港作为广西北部湾经济区重要的港口区域,化工产业的发展受到较严格的控制,该区域污染源主要为生活排污、部分工业废水和农业废水排放,以及来往船只带来的船舶污染。尽管铁山港区域重金属污染总体处于较低水平,但随着港口海湾经济不断发展,城市化、工业化进程趋势加快,可能会导致海域环境潜在危害程度不断增加,类似的情况已经出现在北部湾部分港口区域,如防城港近岸和钦州湾沉积物和水体中部分重金属含量在近20年呈显著增长的趋势^[1,2]。因此,仍需要高效且及时的环保预防措施严格管理铁山港区域的生态环境,以达到生态环境的可持续发展。

4 结论

铁山港海域表层沉积物中Pb、Zn、Cu、Cd、Cr、Hg和As含量的平均值分别为10.7,37.0,10.4,0.07,25.7,0.042,9.42 mg·kg⁻¹,重金属的含量由高至低依次为Zn>Cr>Pb>Cu>As>Cd>Hg,均低于中国其他近海环境,且低于广西北部湾其他港湾区域,符合国家海洋沉积物质量一类标准;Pb、Zn、Cd、Cr、Hg和As的分布情况相似,其含量总体表现为港湾内高于港湾外,而Cu的含量呈现港湾外高于港湾内。铁山港重金属单因子污染程度依次为Cu>As>Zn>Pb>Hg>Cd>Cr,沉积物中重金属的潜在风险程度较低,生态危害影响依次为Hg>Cd>As>Cu>Pb>Cr>Zn,处于低潜在生态风险的范畴,反映研究海域优良的底质生态环境,但港湾内沉积物重金属总体污染程度和潜在风险指数较高,应引起警惕。

致谢:

感谢国家海洋局北海海洋环境监测中心站环境监测与工程研究室提供基础数据。

参考文献

- [1] LAO Q B, SU Q Z, LIU G Q, et al. Spatial distribution of and historical changes in heavy metals in the surface seawater and sediments of the Beibu Gulf, China [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, 146: 427-434.
- [2] LIU G Q, LAO Q B, SU Q Z, et al. Spatial and seasonal characteristics of dissolved heavy metals in the aquacul-

- ture areas of Beibu Gulf, South China [J]. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 2020, 26(7): 1957-1969.
- [3] 曾维特,杨永鹏,张东强,等.海南岛北部海湾沉积物重金属来源、分布主控因素及生态风险评价[J]. *环境科学*, 2018, 39(3): 1085-1094.
- [4] 张伟,张洪,单保庆.北运河源头区沙河水库沉积物重金属污染特征研究[J]. *环境科学*, 2012, 33(12): 4284-4290.
- [5] 张杰,郭西亚,曾野,等.太湖流域河流沉积物重金属分布及污染评估[J]. *环境科学*, 2019, 40(5): 2202-2210.
- [6] 陈思杨,宋琍琍,刘希真,等.浙江典型海湾潮间带沉积物污染及生态风险评价[J]. *中国环境科学*, 2020, 40(4): 1771-1781.
- [7] 姜发军,尹闯,张荣灿,等.2010年冬季广西北部湾近岸海域表层海水和沉积物中重金属污染现状及评价[J]. *海洋环境科学*, 2013, 32(6): 824-830.
- [8] 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.
- [9] 刘保良,陈旭阳,魏春雷,等.广西海域沉积物重金属、滴滴涕、多氯联苯含量及生态风险分析[J]. *海洋湖沼通报*, 2019(4): 125-132.
- [10] 付文超,孟范平,王志峰,等.北部湾潮间带沉积物和双壳类动物中的重金属:污染特征与生物积累[J]. *环境科学学报*, 2013, 33(5): 1401-1409.
- [11] XU Y Y, WANG Y H, LI J, et al. Distributions, possible sources and biological risk of DDTs, HCHs and chlordanes in sediments of Beibu Gulf and its tributary rivers, China [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2013, 76(1/2): 52-60.
- [12] ZHANG J L, LI Y Y, WANG Y H, et al. Spatial distribution and ecological risk of polychlorinated biphenyls in sediments from Qinzhou Bay, Beibu Gulf of South China [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 80(1/2): 338-343.
- [13] 国家海洋环境监测中心.海洋监测规范第5部分:沉积物分析:GB 17378.5-2007[S].北京:全国海洋标准化技术委员会,2007.
- [14] 陈旭阳,刘保良.广西铁山港海域沉积物重金属污染现状及潜在生态风险评价[J]. *海洋通报*, 2012, 31(3): 297-301.
- [15] 刘国强,张春华,魏春雷,等.广西廉州湾沉积物重金属污染现状及其生态风险评价[J]. *海洋通报*, 2012, 31(6): 707-712.
- [16] 王志峰,王建春,程凤莲.北部湾潮间带沉积物中重金属和多氯联苯的分布特征及生态风险评价[J]. *环境化学*, 2012, 31(9): 1293-1302.
- [17] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach [J]. *Water Research*, 1980, 14(8): 975-1001.
- [18] ZHANG L, SHI Z, ZHANG J P, et al. Spatial and seasonal characteristics of dissolved heavy metals in the east and west Guangdong coastal waters, South China [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 95(1): 419-426.
- [19] YU R L, YUAN X, ZHAO Y H, et al. Heavy metal

- pollution in intertidal sediments from Quanzhou Bay, China [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20(6):664-669.
- [20] XU F J, TIAN X, YIN X B, et al. Trace metals in the surface sediments of the eastern continental shelf of Hainan Island: Sources and contamination [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 99(1/2):276-283.
- [21] 吴祥庆, 黎小正, 兰柳春, 等. 广西防城珍珠港珍珠养殖区表层沉积物重金属污染评价[J]. *海洋通报*, 2010, 29(5):584-587.
- [22] 陈思杨, 宋珊瑚, 刘希真, 等. 浙江典型海湾潮间带沉积物污染及生态风险评价[J]. *中国环境科学*, 2020, 40(4):1771-1781.
- [23] 李萍, 莫海连, 郭钊. 广西铁山港区域用海环境质量评价[J]. *科技通报*, 2018, 34(11):242-250.
- [24] GAO J S, WU G D, YA H Z. Review of the circulation in the Beibu Gulf, South China Sea [J]. *Continental Shelf Research*, 2017, 138:106-119.
- [25] GAO J S, WU G D, NGUYEN K C, et al. Counter-wind deep current in the northern Beibu Gulf in boreal winter [J]. *Journal of Ocean University of China*, 2019, 18(1):57-68.

Pollution Status of Heavy Metals in Surface Sediments near Tieshangang Bay Sea Area, Guangxi

QING Shangmin¹, Chen Hainan¹, SUN Yan¹, LIU Guoqiang^{1,2}, LAO Qibin^{1,2}

(1. Marine Environmental Monitoring Centre of Beihai, State Oceanic Administration, Beihai, Guangxi, 536000, China; 2. Key Laboratory of Marine Environmental Survey Technology and Application, Ministry of Natural Resources, Guangzhou, Guangdong, 510000, China)

Abstract: In order to clarify the impact of the rapid economic development of Tieshangang Bay on the coastal marine ecological environment, based on the geochemical test and analysis of surface sediments at 19 stations in the sea area of Tieshangang Bay in Guangxi, the distribution characteristics of heavy metals Pb, Zn, Cu, Cd, Cr, Hg and As in this area were studied and the potential ecological risks were analyzed. The results showed that the average contents of Pb, Zn, Cu, Cd, Cr, Hg and As in the surface sediments of Tieshangang Bay were 10.7, 37.0, 10.4, 0.07, 25.7, 0.042 and 9.42 mg · kg⁻¹, respectively. The contents of heavy metals showed the decreased trend from Zn > Cr > Pb > Cu > As > Cd > Hg, which were in line with the first class of national marine sediment quality standards. Except for Cu, the distribution of heavy metals was similar, and the content in the inner bay was generally higher than that outside the bay. Compared with other areas, the content of heavy metals in Tieshangang Bay was significantly lower than that in other port areas of the Guangxi Beibu Gulf, at a low level. The single factor pollution degree of heavy metals in Tieshangang Bay was arranged in the following order: Cu > As > Zn > Pb > Hg > Cd > Cr, and the potential risk of heavy metals in sediments was lower. The impact of ecological hazards was Hg > Cd > As > Cu > Pb > Cr > Zn, which was in the category of low potential ecological risk, reflecting the excellent sediment ecological environment in the study area. However, due to the influence of human activities, the overall pollution degree and potential risk index of heavy metals in sediments in the inner bay were relatively higher, which should cause enough vigilance.

Key words: heavy metals, sediment, potential ecological risk, Tieshangang Bay, Beibu Gulf

责任编辑: 陆雁