

赵明杰, 孙志佳, 闫兴国, 等. 广东吴川近岸海域表层海水重金属含量及生态风险分析[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(1): 70-76.

ZHAO Mingjie, SUN Zhijia, YAN Xingguo, et al. Analysis of heavy metal content and ecological risk in surface seawater of Wuchuan coastal area, Guangdong Province[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(1): 70-76.

广东吴川近岸海域表层海水重金属含量及生态风险分析

赵明杰¹, 孙志佳^{1*}, 闫兴国¹, 李保飞¹, 袁庆政¹, 郭志峰²

(1 中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心, 烟台 264001; 2 山东省第六地质矿产勘查院, 威海 264209)

摘要: 为了解广东吴川近岸海域重金属含量现状及其潜在风险, 以便有针对性地重金属污染进行防控, 于 2020 年 10 月采集了吴川海域 41 个站位的表层海水样, 运用综合指数法、HAKANSON 潜在生态风险指数法和相关性分析法评价了其重金属污染程度和潜在生态风险。结果表明: Cu 含量范围为 0.48~14.1 $\mu\text{g/L}$, 平均含量为 1.75 $\mu\text{g/L}$; Pb 含量范围为 0.07~7.79 $\mu\text{g/L}$, 平均含量为 0.44 $\mu\text{g/L}$; Zn 含量范围为 3.98~65.8 $\mu\text{g/L}$, 平均含量为 9.22 $\mu\text{g/L}$; Cd 含量范围为 0.03~0.17 $\mu\text{g/L}$, 平均含量为 0.05 $\mu\text{g/L}$; Cr 含量范围为 0.62~2.69 $\mu\text{g/L}$, 平均含量为 1.92 $\mu\text{g/L}$; Hg 含量范围为 0~0.039 $\mu\text{g/L}$, 平均含量为 0.021 $\mu\text{g/L}$; As 含量范围为 0.39~1.42 $\mu\text{g/L}$, 平均含量为 0.93 $\mu\text{g/L}$ 。吴川海域各重金属元素平均含量均未超过中国海水水质一类标准。通过与国内外其他海域表层重金属含量的比较, 吴川海域表层海水重金属含量整体处于中低水平。按其相关性可将吴川海域重金属元素分为 3 类: 第 1 类为 Cu-Pb-Zn-Cd 组合, 第 2 类为 Cr-As 组合, 第 3 类为 Hg 元素。第 1 类重金属元素主要来源可能为海域内来往船舶及其燃烧尾气的大气沉降, 第 2 类重金属元素可能主要来源于沿岸养殖场排放的养殖废水和溶解于海水的农药、化肥等农业活动用品。吴川近岸海域综合污染指数 (WQI) 平均值为 0.31, 整体污染程度为清洁。单项潜在生态风险指数 (E_r^i) 介于 0.2~38.95, 综合潜在生态风险指数 (RI) 介于 6.65~65.32, 整体生态危害等级为轻微。

关键词: 吴川海域; 表层海水; 重金属; 生态风险

中图分类号: P736; X55

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.305

0 引言

雷州半岛地处广东省西南, 其东南部是南海北部大片海域, 沿海水产养殖业发达, 更建有王村港、湛江港等数量众多的渔港码头^[1-2]。广东省吴川市位于雷州半岛东北部, 吴川近岸海域紧邻鉴江入海口, 接受鉴江带来的大量淡水和陆源物质, 西北部

为南三岛和东海岛, 西连湛江港, 来往船只频繁。区内潮汐属不规则半日潮^[3], 半日分潮占主要地位, 潮流较强, 表层流速高于底层, 由于该区水域开阔, 潮流为带有旋转性质的往复流, 离岸越远旋转性越明显。近年来随着沿海经济的不断发展, 吴川海域来往船只逐渐增多, 加之东海岛于 2011 年建设的宝钢湛江钢铁厂和沿岸海水养殖厂的不断增多, 吴川海域的生态环境承受的压力越来越大。

海水中的重金属来源广泛, 具有持久性、生物累积性等特点^[4-6], 海水受重金属污染后不易被发现且难于恢复^[7-8], 国内外众多学者已经对全球不同区域的海水重金属展开了不同程度的研究。1972 年, TSUTOMU^[9] 最先报道了日本北海道地区的潟湖和海湾沉积物中的重金属分布特征。MA-

收稿日期: 2021-11-30

资助项目: 广东湛江地区海岸带自然资源综合调查项目 (DD20208062)

作者简介: 赵明杰 (1992—), 男, 工程师, 主要从事自然资源调查与监测方面的研究工作。E-mail: 2269134565@qq.com

* 通讯作者: 孙志佳 (1991—), 男, 工程师, 主要从事自然资源调查与监测方面的研究工作。E-mail: vcszj@qq.com

HALAKSHMI 等^[10]报道了印度印诺尔港海域海水与沉积物 Cu、Zn、Pb、Cd 重金属含量,表明沉积物含量较高,主要来源于工业及城市污水等。杨文超等^[11]对大亚湾海域重金属时空分布及污染的评价结果表明,大亚湾海域一类功能区存在 Cu、Pb、Zn 的质量浓度超标现象,且 Cu、Pb、Zn 的质量浓度呈现一定的波动,没有伴随着石化区污水排放量的增长而显著上升。1985 年,柯东胜^[12]便对雷州半岛附近海域沿海海水、底质、生物体重金属含量及其分布状况进行了研究,但仅仅只对这一海区的环境质量做出了初步评价。吴川海域沿岸养殖业发达^[13],但部分地区因各种因素导致养殖尾水违规排放入海,2020 年 8 月更有媒体报道了吴川水产养殖尾水排放污染近岸海域环境事件,虽事后政府部门重拳出击整治了近岸海域水产养殖污染,但海水重金属污染问题仍需进一步研究。本文采用瑞典学者 HAKANSON^[14]于 1980 年提出的生态风险指数法对海域内的重金属存在状况和生态风险进行分析,并对各类重金属的相关性进行分析,以期吴川海域的重金属污染防控和区域内经济可持续发展提供依据。

1 材料和方法

1.1 样品采集

2020 年 10 月在广东吴川近岸海域布设了 41 个站位,采集表层海水样,所有站位均布设距海岸线 30 km 以内海域(图 1)。使用有机玻璃采水器采集水面下 0.2 m 处海水样装入塑料容器中,取样器尽量远离船体,避免船体对样品造成污染,灌装前使用海水原水清洗 3 遍容器,灌装时边晃动采水器

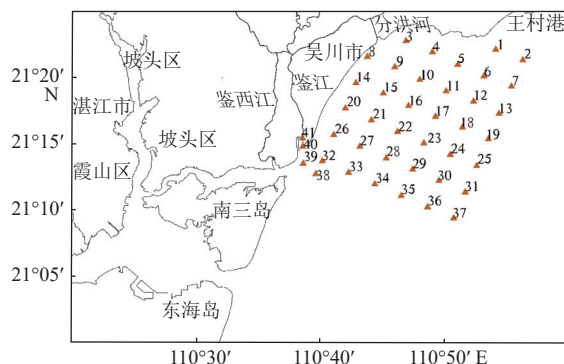


图 1 吴川近岸海域采样站位分布

Fig.1 Distribution of sampling stations in Wuchuan coastal area

边灌装,使用 0.45 μm 滤膜过滤处理(Hg 样品除外)后加入硝酸酸化,使样品 $\text{pH} < 2$,置于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱密封保存,上岸后立即运往化验室分析。相关方法参照 GB17378.3—2007《海洋监测规范第 3 部分:样品采集、贮存与运输》执行^[15]。

1.2 分析及评价标准

海水样中 Cu、Zn、Pb、Cd、As 和 Cr 均参照《HY/T147.1—2013 海洋监测技术规程 第 1 部分:海水》^[16]通过电感耦合等离子质谱法(Varian820 型电感等离子体质谱仪,美国瓦里安技术中国有限公司)测定,检出限分别为 0.12、0.10、0.07、0.03、0.05、0.05 $\mu\text{g/L}$ 。Hg 依据《GB17378.3—2007 海洋监测规范第 4 部分:海水分析》^[17]通过原子荧光法(AFS-8220 原子荧光分光光度计,北京吉天仪器有限公司)测定,检出限为 0.007 $\mu\text{g/L}$ 。本文参照《GB3097—1997 海水水质标准》^[18]中的重金属含量标准值对吴川海域海水重金属污染状况进行评价。

1.3 评价方法

本文采用综合指数法^[19]和 HAKANSON 潜在生态风险指数法^[13]评价海水重金属污染程度和潜在生态风险。

综合指数法中的重金属标准质量浓度采用《GB 3097—1997 海水水质标准》^[18]中的第 1 类海水水质标准值,根据综合水污染指数(water quality index, WQI)划分的总体污染水平等级见表 1^[19]。

表 1 海水重金属综合污染指数与污染程度的关系

Table 1 The sea water quality index (WQI) and the contamination status indicated

综合水污染指数(WQI)范围	污染程度
$\text{WQI} \leq 1$	清洁
$1 < \text{WQI} \leq 2$	轻度污染
$2 < \text{WQI} \leq 3$	中度污染
$\text{WQI} > 3$	严重污染

HAKANSON 潜在生态风险指数法中重金属 Cu、Zn、Pb、Cd、As、Cr、Hg 的毒性响应系数分别取值 5、1、5、30、10、2、40^[9,20-21],并根据单种重金属的潜在风险指数(E_r^i)和综合潜在风险指数(RI)的值,将生态风险分为 5 个等级(表 2)^[21-22]。

1.4 数据处理方法

采用 Excel2016 和 SPSS25 软件进行数据处理

表 2 E_r^i 和 RI 与生态风险等级的对应关系

Table 2 Relationship among E_r^i (single potential ecological risk index), RI (overall potential risk index) and ecological risk level

E_r^i	RI	生态风险等级
$E < 40$	$RI < 150$	轻微
$40 \leq E_r^i < 80$	$150 \leq RI < 300$	中等
$80 \leq E_r^i < 160$	$300 \leq RI < 600$	强生
$160 \leq E_r^i < 320$	$RI \geq 600$	很强
$E_r^i \geq 320$		极强

和分析,使用 MAPGIS 6.7 绘图。

2 结果与分析

2.1 重金属含量分布特征

运用综合指数法分析计算得知,广东吴川海域中重金属平均质量浓度由高到低依次为 $Zn > Cr > Cu > As > Pb > Cd > Hg$ (表 3),各重金属平均质量浓度均符合国家第 1 类海水质量标准。按重金属元素单项指数平均值由高到低为 $Zn > Pb > Hg > Cr > Cu > Cd = As$,对应平均值依次为 0.46、0.44、0.42、0.38、0.35、0.05、0.05。吴川海域 WQI 平均值为 0.31,最大值为 2.06,位于 22 站位,属中度污染;最小值为 0.13,位于 40 号站位,此外在 14、33、2、4 号站位附近海域 WQI 值也较高。除 22 号站位外,其余站位 WQI 值均 < 1 ,污染程度为清洁(图 2)。

表 3 吴川海域表层海水重金属含量分布特征

Table 3 Distribution characteristics of heavy metals in surface waters of Wuchuan sea areas

元素	$\mu g/L$						
	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As
最小值	0.48	0.07	3.98	0.03	0.62	ND	0.39
最大值	14.1	7.79	65.8	0.17	2.65	0.039	1.42
平均值	1.75	0.44	9.22	0.05	1.92	0.021	0.93
第1类海水水质标准	5	1	20	1	50	0.05	20
第1类海水水质标准达标率/%	97.6	97.6	97.6	100	100	100	100

22 号站位 Cu、Zn、Pb 质量浓度达到第 3 类海水水质标准,分别为 14.1、7.79、65.8 $\mu g/L$; 14 和 33 号站位 Zn 质量浓度达到第 2 类海水水质标准,分别为 26、28.1 $\mu g/L$;除此之外,其余站位的各重金属质量浓度含量均符合第 1 类海水水质标准,说明吴川海域重金属含量整体较低。吴川海域表层海水

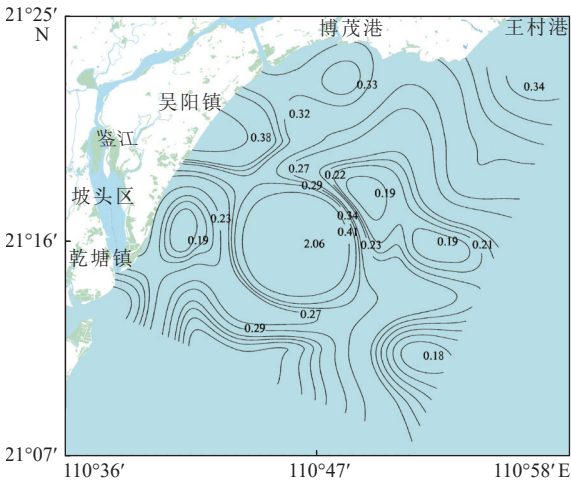


图 2 表层海水 WQI 空间分布

Fig.2 The WQI spatial distribution in the surface seawater

各重金属质量浓度分布图见图 3。

合金船舶含有 Cu、Zn^[23],另外工业也是 Cu、Zn 的重要来源^[24],Pb 的重要来源有船舶尾气的大气沉降^[23,25],吴川海域东部紧邻王村港,西部为湛江港,海域船只往来频繁,因此推测 22 号站位 Cu、Zn、Pb 含量明显较高的原因为取样前此区域经过较多船只,加之此区域易形成带有旋转性质的往复流,使得污染物不易扩散,导致局部海水 Cu、Zn、Pb 含量增高。

2.2 重金属潜在生态风险分析

运用 HAKANSON 潜在生态风险指数法计算各站位单项重金属元素潜在生态风险指数 E_r^i 和综合潜在生态风险指数 RI。分析结果表明,吴川海域各重金属元素潜在生态风险指数 E_r^i 值(0.2~38.95)均 < 40 , E_r^i 平均值从大到小为 $Hg > Pb > Cu > Cd > Cr > Zn = As$,对应值分别为 17.48、2.22、1.75、1.47、0.77、0.46、0.46。其中,Cu、Pb、Zn、Cd 在 22 站位出现最大 E_r^i 值,分别为 14.1、38.95、3.29、5.10;Cr、As 在 6 站位出现最大 E_r^i 值,分别为 1.08、0.71;Hg 在 7、14、41 站位出现最大 E_r^i 值,为 31.2。

Hg 虽然在吴川海域质量浓度分布最低,但因其毒性系数大,故其生态风险指数较高,并且 Hg 对 RI 贡献率最高,平均贡献率为 70.80%,为吴川海域主要重金属污染元素。Zn 质量浓度和单项指标数最高,但通过生态风险分析,得知在吴川海域 Zn 生态风险指数最低。

综合潜在生态风险指数 RI 值(6.65~65.32)均 < 150 (图 4),生态危害等级为轻微。其高值区分别位于 22、14、7、35 号站位附近海域。通过水质综

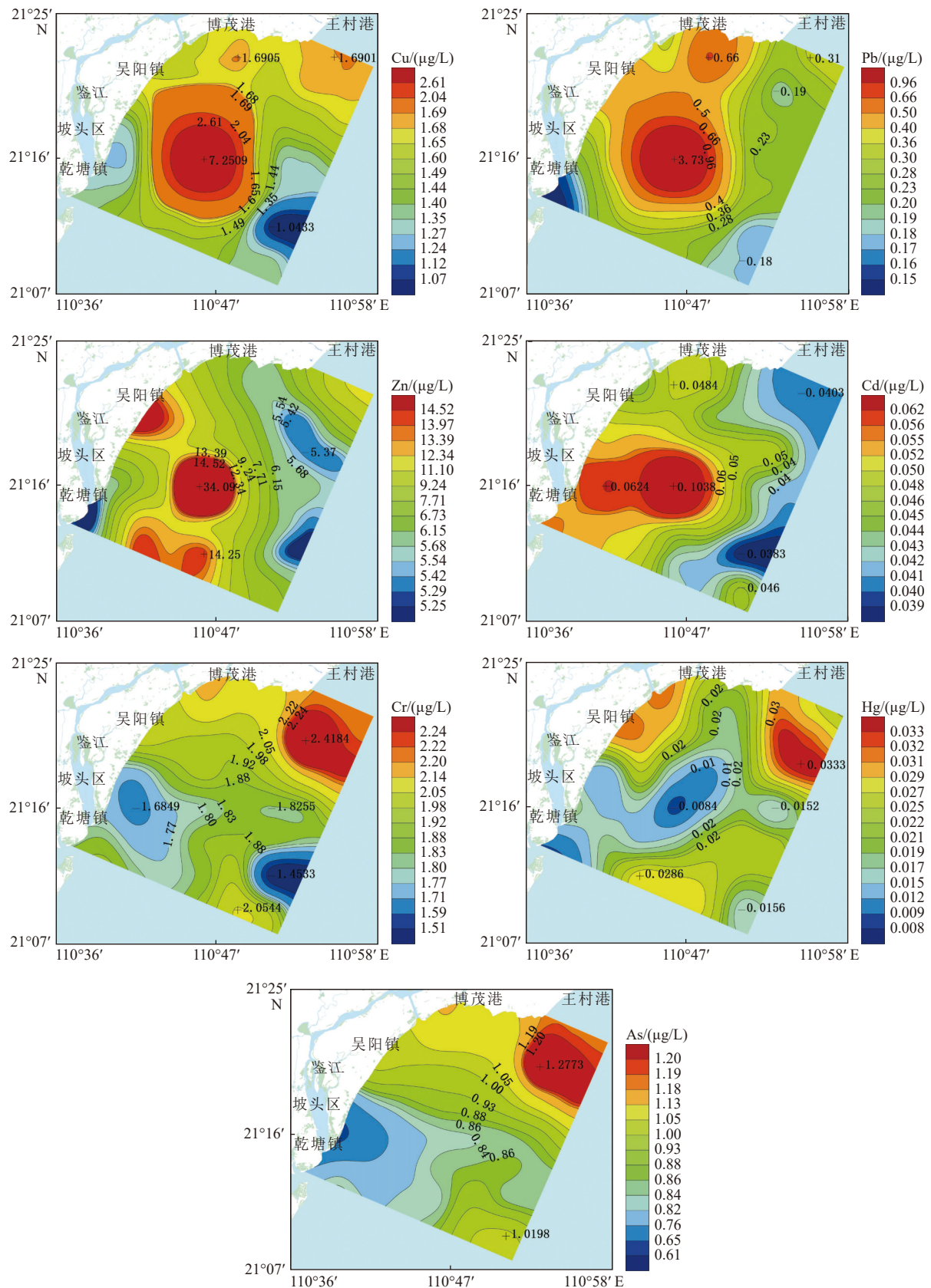


图 3 吴川海域表层海水各重金属质量浓度分布

Fig.3 Distribution of mass concentrations of heavy metals in surface waters of Wuchuan sea area

合指数和综合潜在风险指数较高站位的对比, 得出两者相对契合, 但也存在一定的差异。契合度较高

的站点有 22、14、33(35)、7(2)号站点。存在差异站点为 4 号站点, 原因可能为 4 号站点紧邻博茂港,

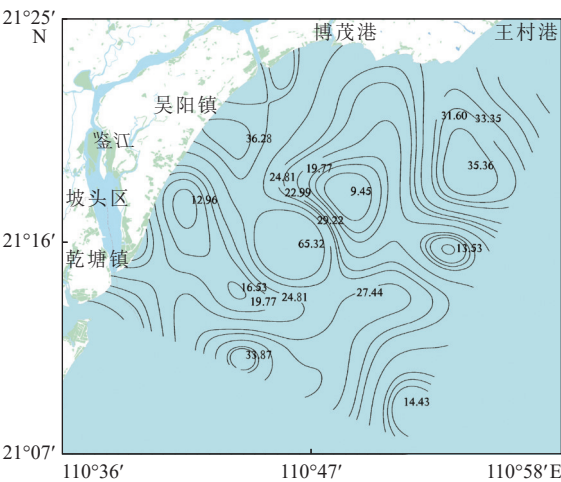


图 4 表层海水 RI 空间分布
Fig.4 RI spatial distribution in surface seawater

污染来源主要为含有 Cu、Zn 的船舶,而这 2 种重金属的 E_r^i 值和毒性系数均较低。

2.3 重金属的相关性分析

根据重金属元素间的 Pearson 相关性分析(表 4), Cu 与 Pb、Zn、Cd, Pb 与 Zn、Cd, Zn 与 Cd 相关性显著, Cr 与 As 相关性显著, Hg 与其他重金属元素皆未呈现显著性相关。可以把重金属分为 3 类:第 1 类为 Cu、Pb、Zn、Cd 4 种重金属元素,第 2 类为 Cr、As 2 种重金属元素,第 3 类为 Hg 元素。第 1 类和第 2 类重金属元素可能分别有相似的来源或具有相似的迁移累计特征。

表 4 重金属元素相关性分析
Table 4 The relativity of heavy metals

元素	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As
Cu	1						
Pb	0.988**	1					
Zn	0.867**	0.873**	1				
Cd	0.888**	0.896**	0.770**	1			
Cr	-0.015	-0.096	-0.068	-0.015	1		
Hg	-0.181	-0.215	-0.065	-0.239	0.405**	1	
As	-0.005	-0.067	-0.05	-0.141	0.729**	0.354*	1

注: * 在 0.05 级别(双尾)相关性显著; ** 在 0.01 级别(双尾)相关性显著。

船舶尾气的大气降沉是水体 Pb 的重要来源,合金船舶含有 Cu 和 Zn^[23],船舶防腐材料是 Cd 的重要来源之一^[26],而生活污水、旅游设施及养殖饲料、鱼药也是 Hg、Cd、Cu、Zn 的重要来源^[27],海水养殖及农业活动都会带入 Cr、Hg、As^[24,28]。又由于吴川海域沿岸港口众多,海域船只来往频繁,沿岸分布有众多的海水养殖场,鉴江及其支流携带上游排放的生活污水及农业用水汇入海水,农药、化肥等随灌溉渠或其他地表径流汇入鉴江。根据各重金属之间的相关性和相关资料所显示的重金属的可能来源并结合研究区实际,推测第 1 类重金属污染来源可能与来往船舶及其燃烧尾气的大气沉降、鉴江及其支流携带的生活污水相关;第 2 类重金属污染来源可能与沿岸海水养殖有关;Hg 即有可能来源于鉴江及其支流携带的生活污水和农业用水,又有可能来源于沿岸的海水养殖,由于其来源的广泛性, Hg 和其他重金属元素未呈现出显著相关性。

2.4 与其他海域表层重金属含量的比较

与其他近岸海域表层重金属含量的对比表明(表 5),吴川近岸海域表层海水中 Cu 含量与红海湾含量相当, Pb 含量与大亚湾和红海北部海域含量处

表 5 不同海域表层海水中重金属含量比较
Table 5 Comparison of heavy-metal concentrations in seawater of different sea areas

元素	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As
本研究	1.75	0.44	9.22	0.05	1.92	0.021	0.93
黄骅 ^[9]	2.09	1.20	25.10	0.047	0.39	0.036	0.80
滨海县 ^[29]	2.23	0.70	9.18	0.08	—	0.033	1.99
连云港 ^[30]	25	100	7.3	43	52	—	—
红海湾 ^[31]	1.8	1.6	24.5	0.033	0	0.0015	2.4
钦州市 ^[5]	5.06	0.70	12.5	0.12	2.38	0.048	0.61
大亚湾 ^[24]	0.87	0.59	7.20	0.14	0.97	0.060	0.74
灯楼角 ^[24]	0.73	1.06	5.83	0.043	0.96	0.069	0.58
红海北部 ^[32]	3.24	0.59	10.14	0.24	—	—	—

于同一水平,Zn含量与滨海县、北部湾近岸海域含量相当,Cd、As含量与黄骅近岸海域含量相当,Hg含量略低于滨海县、黄骅近岸海域含量。Cu、Pb、Cd、Hg含量整体处于较低水平,Zn含量整体处于中等水平,Cr、As含量整体处于中高水平。综合比较表明研究区近岸海水重金属含量处于中低水平。

3 结论

(1)吴川近岸海域7种重金属元素平均质量浓度均符合国家一类海水质量标准,海域WQI平均值为0.31,整体污染程度为清洁。除22号站位因Cu、Zn、Pb质量浓度较高,WQI值为2.06,属中度污染外,其余站位WQI值均<1,污染程度为清洁。通过对国内外其他海域表层重金属含量的比较,吴川海域表层海水重金属含量整体处于中低水平。

(2)单项潜在生态风险指数(E_r^i)介于0.2~38.95,综合潜在生态风险指数(RI)介于0.59~87.38,整体生态危害等级为轻微。Hg对RI贡献率最高,平均贡献率为70.80%,为吴川海域主要重金属污染元素。

(3)吴川近岸海域内重金属元素按其相关性可以分为2类:第1类为Cu-Pb-Zn-Cd组合,第2类为Cr-Hg-As组合。第1类重金属可能主要来源于海域内来往船舶及其燃烧尾气的大气沉降;第2类重金属污染来源可能主要来源于沿岸养殖场排放的养殖废水和溶解了农药、化肥等农业活动用品的人海地表径流。

参考文献:

- [1] 时翠,林进清,薛峭.雷州半岛近岸海域水环境质量综合评价[J].*热带地理*,2013,33(4):202-203.
- [2] 薛峭,何健,时翠,等.雷州半岛近岸海水水质评价[J].*安徽农业科学*,2014,42(1):387-393.
- [3] 付东洋,杨锋,梁晓军,等.雷州半岛近海水质环境关键因子时空变化与评价[J].*广东海洋大学学报*,2014,36(6):58-64.
- [4] 巩慧敏,刘永,肖雅元,等.近海海水和表层沉积物重金属污染与生态风险评价:以海南新村港为例[J].*农业现代化研究*,2018,39(4):700-708.
- [5] 李萍,郭钊,莫海连.广西近岸海域海水表层重金属的含量分布特征及污染评价[J].*科技通报*,2018,34(3):223-233.
- [6] 崔衍波,冯永亮,刘群群,等.东营市三个河口区域表层海水重金属的分布与生态风险评价[J].*中国海洋大学学报*,2019,49(1):93-101.
- [7] 雷富,张荣灿,陈宪云,等.夏季广西北部湾近岸海域海水和表层沉积物中重金属污染现状与评价[J].*海洋技术*,2013,32(2):94-100.
- [8] 徐轶肖,谢谊,赵鹏,等.北部湾涠洲岛海水重金属污染现状研究[J].*生态环境学报*,2018,27(5):908-915.
- [9] 刘宪斌,朱浩然,郭夏青,等.河北黄骅近岸海域表层海水重金属污染特征及生态风险评价[J].*安全与环境学报*,2020,20(2):747-755.
- [10] MAHALAKSHMI N, REVATHY K, RAGHUNATHAN C. Distribution of heavy metal in marine water and sediment of Bay of Bengal off ennore seacoast subjected to different pollution loads by environment, north-east coast of India[J]. *Journal of Experimental Zoology India*, 2012, 15(2): 387-394.
- [11] 杨文超,黄道建,陈继鑫,等.大亚湾海域2009—2018年重金属时空分布及污染评价[J].*华南师范大学学报*,2020,52(5):65-75.
- [12] 柯东胜.粤西沿海海水、底质、生物体重金属含量及其分布状况的研究[J].*海洋通报*,1985,4(4):20-24.
- [13] 刘太胜,杨波,何宁,等.茂名市海水养殖尾水污染综合评价研究[J].*生态科学*,2021,40(4):195-201.
- [14] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach[J]. *Water Research*, 1980, 14(8): 975-1001.
- [15] 国家海洋局,国家海洋环境监测中心,中国国家标准化委员会.海洋监测规范第3部分:样品采集、贮存与运输:GB 17378.3—2007[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [16] 国家海洋局.海洋监测技术规范第1部分:海水:HY/T147.1—2013[S].北京:中国标准出版社,2013.
- [17] 国家海洋局,国家海洋环境监测中心,中国国家标准化委员会.海洋监测规范第4部分:海水分析:GB 17378.4—2007[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [18] 国家环境保护局,国家海洋局.海水水质标准:GB 3097—1997[S].北京:中国标准出版社,1997.
- [19] 王毅,王少鹏,王英辉,等.防城港近岸海域及河口溶解态重金属污染特征[J].*广西大学学报*,2018,43(5):2069-2078.
- [20] 周笑白,梅鹏蔚,彭露露,等.渤海湾表层沉积物重金属含量及潜在生态风险评价[J].*生态环境学报*,2015,24(3):452-456.
- [21] 刘慧杰,刘文君,刘继平,等.南中国海表层海水重金属含量及其潜在生态风险分析[J].*中国环境科学*,2017,37(10):3891-3898.
- [22] 陈明,蔡青云,徐慧,等.水体沉积物重金属污染风险评价研究进展[J].*生态环境学报*,2015,24(6):1069-1074.
- [23] 罗万次,苏搏,刘熊,等.广西北仑河口红树林保护区表层海水溶解态重金属时空分布及其影响因素[J].*海洋通报*,2014,33(6):668-675.
- [24] 杨华,王少鹏,余克服.南海北部珊瑚生长区海水重金属污染特征[J].*生态环境学报*,2017,26(2):668-675.
- [25] 李洪涛,刘阳,于国庆,等.2013年威海南部近岸海域表层海水重金属分布特征及污染评价[J].*河北渔业*,2016(8):21-28.
- [26] 易志全,杨艺文,张际标,等.湛江港海水中铜、锌、铅、镉的周年变化与水质评价[J].*广东海洋大学学报*,2011,31(1):73-79.
- [27] 李劳钰,王宗灵,魏修华,等.南黄海西部冬季表层水中的溶解态重金属分布特征分析[J].*海洋科学进展*,2009,27(2):94-100.

- 201-210.
- [28] 彭修强, 项立辉, 郭娜, 等. 南黄海南部海域表层沉积物重金属来源解析及风险评价[J]. *环境科学学报*, 2015, 35(11): 3628-3638.
- [29] 裘奕斐, 王静, 徐敏. 江苏滨海县近岸海域海水、沉积物和生物体重金属分布及健康风险评价[J]. *南京师大学报(自然科学版)*, 2021, 44(1): 71-78.
- [30] 许星鸿, 姚海洋, 孟霄, 等. 连云港附近海域海水、表层沉积物和水产品的重金属污染及生态风险评价[J]. *海洋湖沼通报*, 2019, 5: 110-116.
- [31] 孙钦帮, 高范, 王阳, 等. 广东红海湾海域表层水环境中重金属含量特征及污染评价[J]. *海洋环境科学*, 2018, 37(5): 685-698.
- [32] ALI A A M, HAMED M A, ABD EL-AZIM H. Heavy metals distribution in the coral reef ecosystems of the Northern Red Sea[J]. *Helgoland Marine Research*, 2011, 65(1): 67-80.

Analysis of heavy metal content and ecological risk in surface seawater of Wuchuan coastal area, Guangdong Province

ZHAO Mingjie¹, SUN Zhijia^{1*}, YAN Xingguo¹, LI Baofei¹, YUAN Qingzheng¹, GUO Zhifeng²

(1 Yantai Coastal Zone Geological Survey Center, China Geological Survey, Yantai 264001, China;

2 Shandong Province Sixth Geological and Mineral Exploration Institute, Weihai 264209, China)

Abstract: To understand the status and potential risks of heavy metal content in the coastal waters of Wuchuan, Guangdong Province, surface seawater samples were collected from 41 stations in October 2020, and the degree of heavy metal pollution and potential ecological risks were evaluated by comprehensive index method, Hakan-son potential ecological risk index method, and correlation analysis method. The results show that the content of Cu ranged 0.48-14.1 $\mu\text{g/L}$ (1.75 $\mu\text{g/L}$ on average), Pb 0.07-7.79 $\mu\text{g/L}$ (0.44 $\mu\text{g/L}$), Zn 3.98-65.8 $\mu\text{g/L}$ (9.22 $\mu\text{g/L}$), Cu 0.48-14.1 $\mu\text{g/L}$ (1.75 $\mu\text{g/L}$), Cd 0.03-0.17 $\mu\text{g/L}$ (0.05 $\mu\text{g/L}$), Cr 0.62-2.69 $\mu\text{g/L}$ (1.92 $\mu\text{g/L}$), Hg 0-0.039 $\mu\text{g/L}$ (0.021 $\mu\text{g/L}$), As 0.39-1.42 $\mu\text{g/L}$ (0.93 $\mu\text{g/L}$). The average content of heavy metal elements in Wuchuan sea area did not exceed the first-class benchmark of China's national marine water quality criteria. By comparing the contents of heavy metals in the surface waters of other sea areas in China and the world, the contents of heavy metals in the surface waters of Wuchuan sea area are generally at a medium or low level. According to their correlation, the heavy metal elements in Wuchuan sea area were divided into three types: Cu-Pb-Zn-Cd assemblage, Cr-Hg-As assemblage, and Hg element. The main source of the first type may be the atmospheric deposition from marine vessel emission in the sea area, and the second type may be mainly from aquaculture wastewater from coastal farms and agricultural activities using pesticides and fertilizers. The average comprehensive pollution index of the Wuchuan coastal waters was 0.31, indicating an overall clean state of pollution. The single potential ecological risk index ranged from 0.2 to 38.95, and the overall potential ecological risk index ranged from 0.59 to 87.38, showing that the overall ecological hazard scale was low.

Key words: Wuchuan sea area; surface seawater; heavy metal; ecological risk