

海南花场湾表层沉积物重金属分布特征及污染评价

陈石泉¹, 蔡泽富¹, 吴钟解¹, 林国尧¹, 马 坤², 邢孔敏¹, 王道儒¹

(1. 海南省海洋与渔业科学院, 海南 海口 570125; 2. 山东枣庄市台儿庄区环保局, 山东 枣庄 277400)

摘要:对海南省花场湾内表层沉积物中重金属的含量进行测定, 探讨其分布特征、相关性及潜在生态危害程度. 含量测定结果表明, 花场湾表层沉积物中的 Cu、Pb、Zn、Cr、Cd、Hg、As 的含量范围分别为 8.41 ~ 51.45、5.96 ~ 30.73、16.87 ~ 99.15、18.60 ~ 57.80、0.12 ~ 0.76、0.020 ~ 0.073、6.02 ~ 17.56 mg/kg, 均值分别为 28.19、18.35、50.48、35.75、0.32、0.05、12.71 mg/kg. 相关性分析结果表明, Cu、Pb、Zn、Hg、Cr 及 Cd 具有相同污染源, 主要受养殖影响; 此外, Cu、As、Hg 受潮汐影响较大, Pb 与 Zn 受渔船及潮汐影响较大, Cd 与 Cr 受沿岸虾塘影响较大. 重金属潜在生态危害评价结果表明, 研究区以中等生态危害为主, 其次为强生态危害与轻微生态危害, 多种重金属潜在生态危害指数(RI)高值基本位于花场湾潟湖中心. 单金属潜在危害系数程度较高的是 Cd 与 Hg, 潜在生态风险大小依次为: Cd > Hg > As > Cu > Pb > Cr > Zn.

关键词:海洋化学; 相关性; 重金属; 沉积物; 生态危害评价; 花场湾

DOI:10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2018. 01. 010

中图分类号: P734

文献标识码: A

文章编号: 2095-4972(2018)01-0084-10

花场湾位于海南省澄迈县澄迈湾西南侧, 是一个玄武岩台地环抱的海湾, 有双杨河、美浪河、花场河和美末河等4条小河淡水注入. 研究区域属于热带季风气候区, 平均气温为 23.8℃, 雨量充沛, 年均降水量为 1 750 mm, 湾内红树林资源丰富, 已于 1995 年建立海南省花场湾红树林自然保护区, 面积约 150 hm². 其内红树有 8 科 12 种, 常见种为白骨壤(*Aricennia marina*)、桐花树(*Aegiceras corniculatum*)、木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)、秋茄(*Kandelia candel*)、榄李(*Lumnitzera racemosa*)与红海榄(*Rhizophora stylosa*)等, 群落类型有榄李群落、桐花树群落、桐花树 + 秋茄群落及红海榄群落等 4 种, 群落演替系列为桐花树 + 秋茄、桐花树、榄李 + 红海榄群落^[1]. 此外, 湾内有 3 种须根系发达喜淤泥种类海草, 其分布面积及盖度均较高, 资源丰富, 据 2016 年调查, 花场湾贝克喜盐草(*Halophila beccarii*)分布遍及整个潟湖, 多呈片状分布; 卵叶喜盐草(*Halophila ovalis*)与羽叶二药草(*Halodule*

pinifolia)成斑块状或零星分布.

近年来, 花场湾沿岸虾塘迅猛发展、周边红树林持续破坏、潟湖渔排养殖规模不断加大、牡蛎插桩及网箱养殖数目逐年增加以及口门潮汐汊道淤积、水体交换能力下降, 导致花场湾水体、沉积物及生态环境发生了很大变化, 潟湖环境污染日趋严重, 给当地渔业生产及居民健康带来极大的不利影响.

海洋环境重金属含量变化能反映一片海域的环境质量^[2], 其污染具长时间残留且易于沿食物链转移与富集, 给海洋生态环境带来严重影响, 给水生生物和人体健康带来极大不利影响^[3]. 海洋沉积物重金属含量分布及存在形态已成为海洋环境评价的一个重要指标而备受国内外科研学者关注^[4-5]. 近几年, 随着国际旅游岛建设、旅游业兴起、城镇化加速、经济特区发展以及沿海居民渔业生产的进行, 导致海南岛周边潟湖及浅海区域重金属含量发生了极大变化. 然而由于本地科研力量目前还比较薄弱, 研究较少, 仅有部

收稿日期: 2017-04-14

基金项目:国家重点研发计划项目课题资助项目(2017YFC0506104); 国家自然科学基金资助项目(41661111); 海南自然科学基金面上项目资助项目(20163092, 417198)

作者简介:陈石泉(1985 ~), 男, 高级工程师; E-mail: breezysmile. c. s. q@163. com

通讯作者:林国尧(1963 ~), 男, 副研究员; E-mail: 5267206336@qq. com

分海洋工作者对海南岛部分港湾表层沉积环境及重金属污染进行了监测和评价^[6-10],针对海南岛花场湾潟湖沉积物含量分布及污染评价尚未见报道。

本研究对 2016 年花场湾潟湖表层沉积物中重金属元素 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg 和 As 的含量进行了测定与分析,并对其潜在生态危害程度开展评价,旨在为花场湾沉积环境质量及海洋生物栖息环境健康状况研究提供基础数据,为花场湾的渔业生产、海洋环境质量保护、潟湖红树林资源、潟湖海草资源及潟湖典型生态环境可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采样

2016 年 8 月,在花场湾潟湖内布设了 14 个沉

积物取样站位,涵盖整个花场湾潟湖及口门区域(图 1)。采用抓斗式采泥器(普力特 VG-mini 型,20 cm × 10 cm)将花场湾表层沉积物样品采集后(清除表层沉积物上海草、海藻及其栖息生物等)装入洁净聚乙烯自封袋用油性笔做好记录后带回实验室,用电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9076A 型)烘干,采用玛瑙三头研磨机(HLXPM 型)研磨,并过 160 目尼龙筛,称取约 0.100 0g 左右干样放入微波消解仪(WX-4000 型),消解罐中加入 7 cm³ HNO₃ 和 2 cm³ HF 消解液进行消解,反应完全后定容至 25 cm³ 容量瓶中,待测。

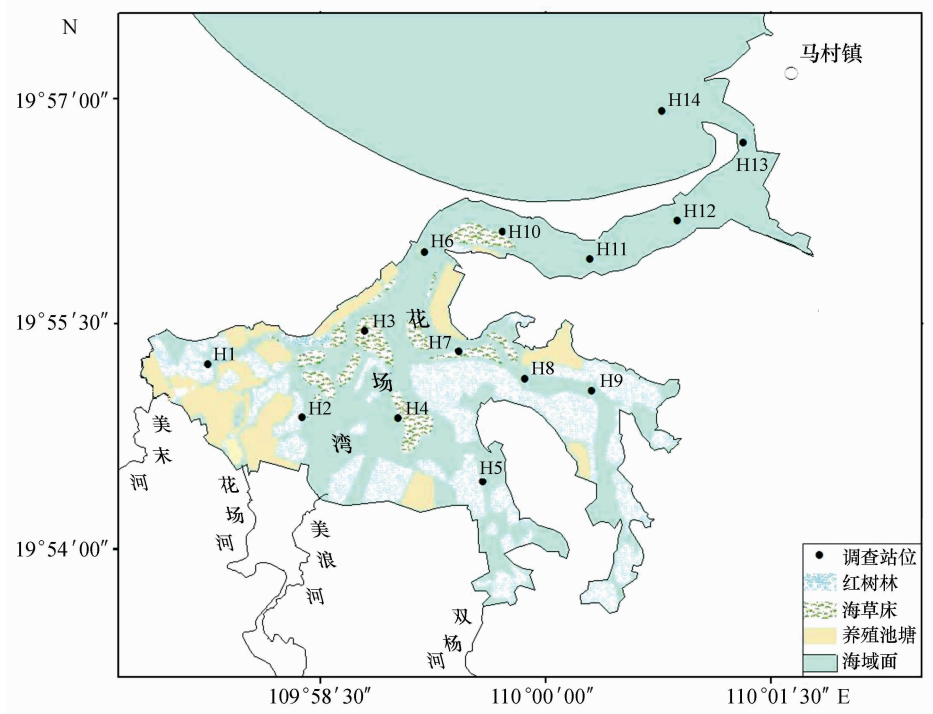


图 1 花场湾沉积物采样站位

Fig. 1 Sampling sites for sediments in Huachang Bay

1.2 样品分析

Cu、Pb、Cd 含量采用无火焰原子吸收分光光度法测定,Cu 单元素标准溶液 GBW(E)080122,线性回归拟合标准(工作)曲线方程: $A = a + bx$ ($a = 0.015\ 725$, $b = 0.000\ 003$, $r = 0.999\ 1$);Pb 单元素标准溶液 GBW(E)080129,线性回归拟合标准(工作)曲线方程: $A = a + bx$ ($a = 0.279\ 000$, $b = 0.000\ 790$, $r = 0.996\ 3$),Cd 单元素标准溶液 GBW(E)080119,线性回归拟合标准(工作)曲线方程: $A = a + bx$ ($a = 0.043\ 500$, $b = 0.008\ 520$, $r =$

0.997 7),Zn 含量采用火焰原子吸收分光光度法测定,Zn 单元素标准溶液 GBW(E)080549,线性回归拟合标准(工作)曲线方程: $A = a + bx$ ($a = 0.110\ 000$, $b = 0.005\ 300$, $r = 0.999\ 0$);以上重金属测定仪器为原子吸收分光光度仪(日立 Z-2000 型);Cr 单元素标准溶液 GBW(E)080257,线性回归拟合标准(工作)曲线方程: $A = bx + a$ ($a = -0.008\ 800$, $b = 15.587\ 000$, $r = 0.998\ 8$);Hg 单元素标准溶液 GBW(E)080124,线性回归拟合标准(工作)曲线方程: $A = a + bx$ ($a = 14.669\ 500$, $b = 537.441\ 400$, $r =$

0.998 8);As 单元素标准溶液 GBW(E) 080117,线性回归拟合标准(工作)曲线方程: $A = a + bx$ ($a = 10.252\ 900, b = 126.512\ 400, r = 0.999\ 9$);测定仪器为 AFS-933 原子荧光光度仪.所有样品的采集、保存、制备和前处理均按《海洋监测规范》^[11]的要求执行.

花场湾潟湖表层沉积物中 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Cd、Hg 及 As 等元素重金属含量数据统计与相关性分析采用软件 SPSS 19.0;潟湖各重金属含量分布特征散点图绘采用软件 Arc GIS7.3 绘制.

1.3 评价方法

花场湾表层沉积物潜在危害生态评价采用瑞典科学家 Hakanson (1980) 提出的潜在生态危害指数法^[12],目前该法已广泛应用于沉积物的重金属污染评价^[13-16].本研究所在区域为海南岛花场湾潟湖,处于南海近海海域,故重金属丰度标准采用南海近海沉积物重金属元素丰度为标准^[17](表 1),计算公式如下:

$$C_f^i = \frac{C^i}{C_n^i} \tag{1}$$

$$E_R^i = T_r^i \cdot C_f^i \tag{2}$$

$$RI = \sum_{i=1}^m E_R^i = \sum_{i=1}^m T_n^i \cdot \frac{C^i}{C_n^i} \tag{3}$$

式(1~3)中: C_f^i 为单一重金属污染系数, C^i 为重金属浓度实测值(mg/kg), C_n^i 为重金属参照值(表 1). E_R^i 为单一重金属潜在生态危害系数, T_r^i 为重金属元素*i*的毒性系数(表 1),它主要反映重金属的毒性水平和生物对重金属污染的敏感度.当 $E_R^i < 40.00$ 时,处于轻微生态危害;当 $40.00 \leq E_R^i < 80.00$ 时,处于中等生态危害;当 $80.00 \leq E_R^i < 160.00$ 时,为强生态危害;当 $160.00 \leq E_R^i < 320.00$ 时,为很强生态危害. RI 为多种重金属的潜在生态危害指数,当 $RI < 150.00$ 时,处于轻微生态危害;当 $150.00 \leq RI < 300.00$ 时,处于轻中等生态危害;当 $300.00 \leq RI < 600.00$ 时,处于强生态危害;当 $RI \geq 600.00$ 时,处于很强生态危害.

表 1 重金属参照值和毒性系数

Tab.1 Reference values and toxicity coefficient of heavy metals

金属元素	C_n^i	T_r^i
Cu	15.00×10^{-6}	5.00
Pb	20.00×10^{-6}	5.00
Zn	65.00×10^{-6}	1.00

续表 1

金属元素	C_n^i	T_r^i
Cr	61.00×10^{-6}	2.00
Cd	0.07×10^{-6}	30.00
Hg	0.03×10^{-6}	40.00
As	7.70×10^{-6}	10.00

2 结果与讨论

2.1 花场湾表层沉积物各重金属含量

通过对花场湾沉积物重金属含量测定,Cu 含量在 8.41 ~ 51.45 mg/kg 之间,均值为 28.19 mg/kg,最低值出现在 H6 站,其值为 8.41 mg/kg,最高值出现在 H2 站,其值为 51.45 mg/kg;Pb 含量在 5.96 ~ 30.73 mg/kg 之间,均值为 18.35 mg/kg,最低值出现在 H6 站,其值为 5.96 mg/kg,最高值出现在 H3 站,其值为 30.73 mg/kg;Zn 含量在 16.87 ~ 99.15 mg/kg 之间,均值为 50.48 mg/kg,最低值出现在 H4 站,其值为 16.87 mg/kg,最高值出现在 H13 站,其值为 99.15 mg/kg;Cd 含量在 0.12 ~ 0.76 mg/kg 之间,均值为 0.32 mg/kg,最低值出现在 H8 站,其值为 0.12 mg/kg,最高值则出现在 H1 站,其值为 0.76 mg/kg;Cr 含量在 18.60 ~ 57.80 mg/kg 之间,均值为 35.75 mg/kg,最低值出现在 H10 站,其值为 18.60 mg/kg,最高值出现在 H9 站,其值为 57.80 mg/kg;Hg 含量在 0.02 ~ 0.07 mg/kg 之间,均值为 0.05 mg/kg,最低值出现在 H4 及 H6 站,其值为 0.02 mg/kg,最高值出现在 H2、H3 及 H11 站,其值为 0.07 mg/kg;As 含量在 6.02 ~ 17.56 mg/kg 之间,其均值为 12.71 mg/kg,最低值出现在 H8 站,其值为 6.02 mg/kg,最高值出现在 H13 站,其值为 17.56 mg/kg(表 2).

选取同为海南岛潟湖的万宁小海及陵水新村港表层沉积物重金属含量均值进行比较^[8-9],通过分析,花场湾表层沉积物中重金属 Cu、Cr、Cd 与 As 含量均高于小海及新村港,Pb 与 Zn 含量高于新村港却低于小海,Hg 含量高于小海却低于新村港(表 3),这可能与潟湖潮汐汉道、重金属源及潟湖环境有很大影响,具体原因有待进一步调查研究.

2.2 花场湾表层沉积物中各重金属相关性分析及分布特征

沉积物中重金属相关性研究认为多种重金属之间存在高度显著相关关系,在一定程度上表明了这几种重金属含量分布规律具有相似性,能够反映这些重金属的污染可能具有同源性^[17-20].

表 2 花场湾表层沉积物中重金属含量

Tab.2 Contents of heavy metals in surface sediments of Huachang Bay

站位	沉积物重金属含量/mg·kg ⁻¹						
	Cu	Pb	Zn	Cr	Cd	Hg	As
H1	45.05	16.47	42.89	48.00	0.76	0.04	14.57
H2	51.45	22.87	59.46	29.10	0.44	0.07	14.14
H3	35.09	30.73	68.57	29.80	0.34	0.07	15.53
H4	29.23	7.36	16.87	31.70	0.40	0.02	15.87
H5	21.12	14.51	38.14	53.60	0.48	0.03	11.48
H6	8.41	5.96	26.78	20.00	0.19	0.02	11.73
H7	16.72	13.31	40.24	30.30	0.21	0.06	12.86
H8	19.77	19.62	49.00	30.60	0.12	0.05	6.02
H9	11.91	12.56	28.08	57.80	0.29	0.05	9.46
H10	35.49	13.76	24.27	18.60	0.34	0.03	7.85
H11	24.62	24.57	66.87	31.30	0.19	0.07	13.09
H12	31.33	25.13	80.53	32.70	0.36	0.06	15.12
H13	19.82	26.63	99.15	57.10	0.19	0.04	17.56
H14	44.59	23.42	65.92	29.90	0.21	0.05	12.69
平均值	28.19	18.35	50.48	35.75	0.32	0.05	12.71

表 3 花场湾与小海、新村港表层沉积物重金属含量平均值对比

Tab.3 Comparison of average heavy metal contents in sediments of Xiaohai, Xincun lagoon and Huachang Bay

地点	重金属含量平均值/mg·kg ⁻¹						
	Cu	Pb	Zn	Cr	Cd	Hg	As
小海	6.63	31.55	65.41	31.55	0.115	0.05	6.24
新村港	22.10	13.41	37.64	9.10	0.225	0.13	0.48
花场湾	28.19	18.35	50.48	35.75	0.320	0.05	12.71

散点分布图能很好显示重金属含量空间分布特征(图 2a~g)。由散点图可见,Cu、As、Hg 含量主要在潟湖中心及口门分布稍高,含量高值区位于潟湖中心区域(图 2a、f、g),该区域主要为养殖区域及入海口;Pb 与 Zn 的含量高值区则主要位于港内航道(图 2b、c),该区域为养殖区、交通航道区及入海口;Cd 与 Cr 含量高值区则主要位于港内靠近潟湖沿岸(图 2d、e),经调查发现,花场湾沿岸分布众多养殖虾塘,因此,Cd 及 Cr 受沿岸虾塘影响较多。

相关性分析结果表明,Cu 与 Pb(相关系数 $r=0.711$)、Zn($r=0.699$)成极正显著相关,与 Cd($r=0.641$)成显著正相关;Pb 与 Zn($r=0.629$)、Hg($r=0.538$)成显著正相关;Zn 与 Hg($r=0.663$)成极正显著相关,与 Cr($r=0.571$)成显著正相关;Cr 与 Hg

($r=0.663$)成极正显著相关。由此可见,Cu、Pb、Zn、Hg、Cr 及 Cd 具有相同的污染源(表 4)。

现场调查发现,花场湾虾塘养殖主要集中在潟湖周边沿岸,其中美末河及花场河之间沿岸虾塘分布最为集中,花场湾最里端有 4 条淡水径流输入(图 1)。在海洋环境中表层沉积物重金属积累除金属自然循环有关外,更可能是由于工农业和生活排污导致。陈松等(1987)研究厦门港湾表层沉积物中重金属的富集和来源时,结合沉积物中重金属的迁移、吸附及累积作用分析,认为径流输入对 Pb、Zn 的累积较为明显,人为排放对 Pb、Zn 影响最大,对 Cu、Cr 的影响次之^[21],刘金虎等(2015)研究莱州湾表层沉积物中重金属时,认为 Pb、Hg 在表层沉积物中富集主要与陆源污染生活排污、工农业排放的废

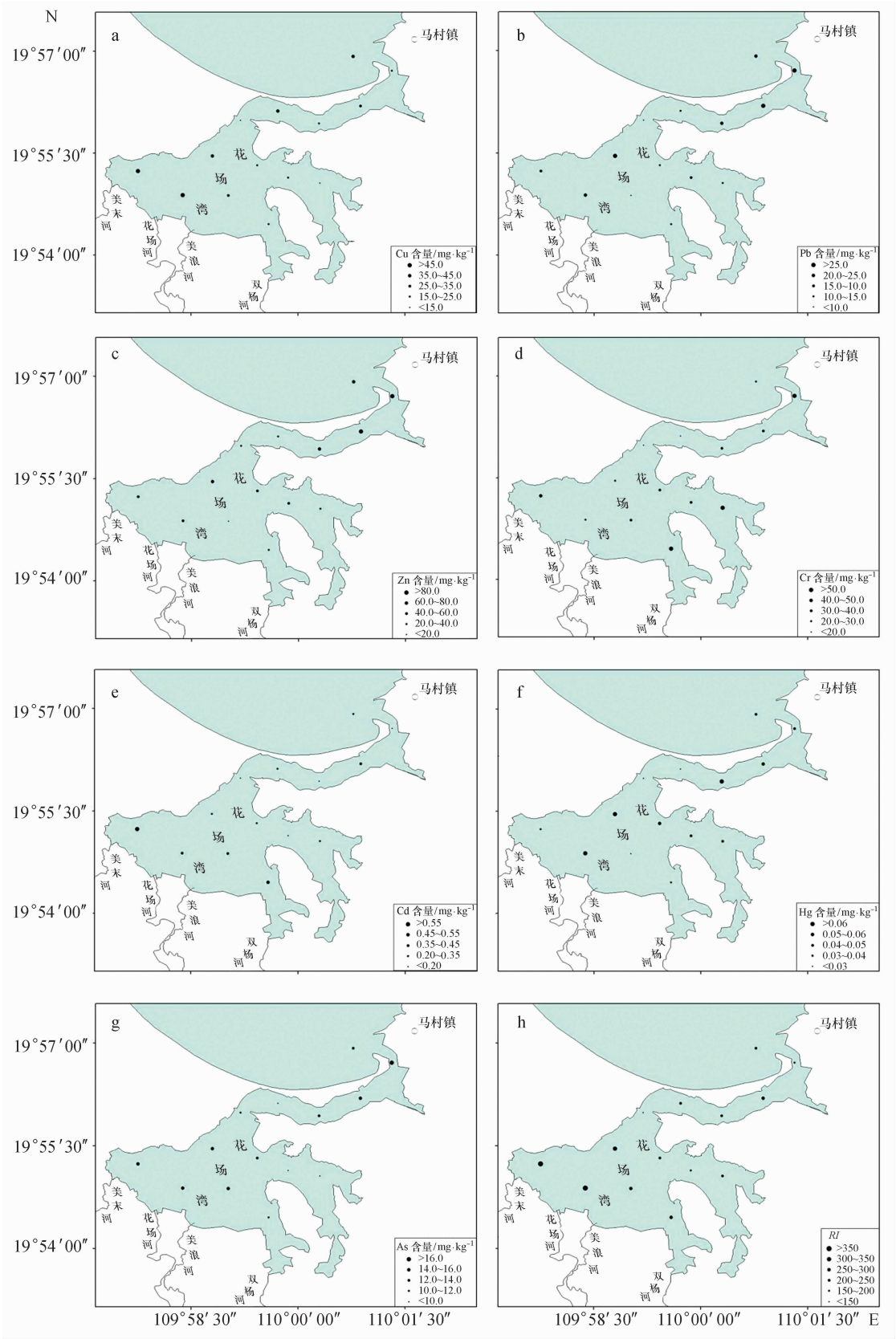


图2 花场湾表层沉积物重金属含量及 RI 散点分布

Fig.2 Scatter distribution of RI , and contents of heavy metals in the surface sediments of Huachang Bay

气废渣直接相关^[22],姚藩照等(2010)研究厦门西海域沉积物中重金属的赋存状态及潜在迁移性时,认

为沉积物中重金属潜在迁移指数由大到小顺序为 $Cd > Zn > Cu > Pb > Cr$,其中尤以 Cd 潜在迁移危险

最大^[23].

综上所述与分析,花场湾表层沉积物重金属 Cu、Pb、Zn、Hg、Cr 及 Cd 具有相同污染源,主要受到该海域养殖影响,且 Cu、As 及 Hg 含量在入海口值较高,可能受到潮汐搬运与迁移影响较大;Pb 与 Zn 含量的高值区出现在航道区,受到渔船污染或潮汐影响较大;Cd 与 Cr 含量高值区靠近潟湖里端沿岸,可能受到沿岸虾塘的影响较大(表 4).

表 4 花场湾表层沉积物 7 种重金属含量相关性分析
Tab.4 Correlation analysis of the contents of 7 heavy metal in the surface sediments of Huachang Bay

因子	Cu	Pb	Zn	Cr	Cd	Hg	As
Cu	1.000						
Pb	0.711**	1.000					
Zn	0.699**	0.629*	1.000				
Cr	0.516	0.460	0.571*	1.000			
Cd	0.641*	0.444	0.337	0.430	1.000		
Hg	0.396	0.538*	0.663**	0.663**	0.396	1.000	
As	0.093	0.308	0.015	-0.390	-0.292	-0.040	1.000

注:“**”表示 $p < 0.01$ 时,极显著相关;“*”表示 $p < 0.05$ 时,显著相关

2.3 重金属潜在生态危害评价

经计算,花场湾潟湖以中等生态危害为主,占总站位数的 71.43%,其次为强生态危害,占总站位数的 21.43%;轻微生态危害,占总站位数的 7.14%(表 5、6);RI 高值站位基本位于花场湾潟湖中心(图 2h).

单一重金属潜在生态危害系数的结果(表 5、7)表明,单一重金属潜在生态危害系数最高的为 Cd 与 Hg,其中 Cd 研究区以强生态危害为主,占总站位数的 57.14%;其次为很强生态危害,占总站位数的

35.72%;再次为中等生态危害,占总站位数的 7.14%. 研究区 Hg 以中等生态危害为主,占总站位数的 50.00%;其次为强生态危害,占总站位数的 35.71%;再次为生态轻微危害程度,占总站位数的 14.29%. 其余 As、Pb、Zn、Cr 及 Cu 目前均处在生态轻微害.

根据 E_R^i 均值大小可见,花场湾表层沉积物中 Cd 潜在风险最大,Hg 次之,Zn 风险最小,各金属元素潜在生态风险大小依次为: Cd > Hg > As > Cu > Pb > Cr > Zn.

表 5 花场湾表层沉积物中单一重金属潜在生态危害系数与多种重金属的潜在生态危害指数
Tab.5 Potential ecological risk coefficient of Single heavy metals and potential ecological risk coefficient of various heavy metals in the surface sediments of Huachang Bay

站位	E_R^i							RI
	Cu	Pb	Zn	Cr	Cd	Hg	As	
H1	15.02	4.12	0.66	1.57	350.77	57.60	18.92	448.66
H2	17.15	5.72	0.91	0.95	203.08	112.00	18.36	358.18
H3	11.70	7.68	1.05	0.98	156.92	116.80	20.17	315.30
H4	9.74	1.84	0.26	1.04	184.62	32.00	20.61	250.11
H5	7.04	3.63	0.59	1.76	221.54	49.60	14.91	299.06
H6	2.80	1.49	0.41	0.66	87.69	36.80	15.23	145.09
H7	5.57	3.33	0.62	0.99	96.92	92.80	16.70	216.94
H8	6.59	4.91	0.75	1.00	55.38	78.40	7.82	154.85
H9	3.97	3.14	0.43	1.90	133.85	72.00	12.29	227.57
H10	11.83	3.44	0.37	0.61	156.92	40.00	10.19	223.37

续表 5

站位	E_R^i							RI
	Cu	Pb	Zn	Cr	Cd	Hg	As	
H11	8.21	6.14	1.03	1.03	87.69	112.00	17.00	233.10
H12	10.44	6.28	1.24	1.07	166.15	91.20	19.64	296.03
H13	6.61	6.66	1.53	1.87	87.69	64.00	22.81	191.16
H14	14.86	5.86	1.01	0.98	96.92	75.20	16.48	211.32
平均值	9.40	4.59	0.78	1.17	149.01	73.60	16.51	255.05

表 6 花场湾表层沉积物中多种重金属潜在危害指数占比

Tab. 6 Percentage of potential ecological risk coefficient for various heavy metals in the surface sediments of Huachang Bay			
RI	程度划分	站位	占比/%
<150.00	轻微生态危害	H6	7.14
150.00 ~ 300.00	中等生态危害	H4, H5, H7 ~ H14	71.43
300.00 ~ 600.00	强生态危害	H1 ~ H3	21.43
>600.00	很强生态危害	-	0.00

注:“-”表示未发现

表 7 花场湾表层沉积物中单一重金属的潜在生态危害系数占比

Tab. 7 Percentage of potential ecological risk coefficient of single heavy metal in the surface sediments of Huachang Bay															
E_R^i	程度划分	Cu		Pb		Zn		Cr		As		Cd		Hg	
		站位	占比/%	站位	占比/%	站位	占比/%	站位	占比/%	站位	占比/%	站位	占比/%	站位	占比/%
<40.00	轻微生态危害	H1 ~ H14	100.00	H1 ~ H14	100.00	H1 ~ H14	100.00	H1 ~ H14	100.00	H1 ~ H14	100.00	-	0.00	H4, H6	14.29
40.00 ~ 80.00	中等生态危害	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	H8	7.14	H1, H5, H8 ~ H10, H13, H14	50.00
80.00 ~ 160.00	强生态危害	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	H3, H6, H7, H9 ~ H11, H13, H14	57.14	H2, H3, H7, H11, H12	35.71
160.00 ~ 320.00	很强生态危害	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	H1, H2, H4, H5, H12	35.72	-	0.00

注:“-”表示未发现

2.4 讨论

波浪、潮汐和潮流是影响潟湖沉积物环境的主要动力因素,花场湾潟湖有双杨河、美浪河、花场河和美末河等 4 条淡水小河注入,其与外海进行物质能量交换和交通往来只有一条潮汐汉道.因此,潮汐汉道是潮流作用主导的沉积环境之一,当流速变小,沉积物输运能力下降,口门内将发生淤积^[24].花场湾潮汐汉道方面研究较少,其近岸波浪传播能量较

弱,波浪较小,泥沙难以全面起动,加上沿岸水流流速较小,沿岸输沙能力由西向东逐渐减弱^[25].

由于波浪输沙能力不强,导致花场湾口门及航道沉积物重金属含量比港内其他区域高,例如 Cu、As 及 Hg 含量在潟湖中心与口门处值较高,Pb 与 Zn 含量的高值区则位于港内航道,这与花场湾重金属含量高值主要位于航道及口门等调查事实相符.

沿岸分布的港口、码头以及船舶修造厂是海洋

表层沉积物重金属污染来源之一^[26],Hg、Cd 及 As 主要来自人类活动^[27],Cd、Cr、Cu、Pb 和 Zn 主要来自陆源输入,As 主要通过海洋环境进入海洋沉积物中^[28],Cd 主要来自工业污染^[29],Cu 和 Cr 主要来自沿岸养殖^[30]. 花场湾 Cu、As 及 Hg 含量在潟湖中心及口门分布稍高,该区域主要为渔排养殖区域、网箱养殖区域以及沿岸虾塘排污,主要受养殖污水影响;Pb 与 Zn 含量高值区主要位于港内航道,该处为潟湖航道以及渔排养殖区域,主要受渔船及养殖污水影响;Cd 与 Cr 含量高值区主要位于港内深处,主要受沿岸虾塘养殖影响,这与花场湾潟湖沉积物重金属 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg 及 As 之间相关性分析结论相符.

海草床生态系统对表层重金属具有很强的富集与吸附作用,分布于海草床水环境与沉积环境中的 Cu、Pb、Cd 和 Zn 含量一般比较低^[31]. 花场湾海草资源主要为贝克喜盐草(*Halophila beccarii*)、卵叶喜盐草(*Halophila ovalis*)及羽叶二药草(*Halodule pinifolia*)3 种海草,虽然种类较少,然而均为喜淤泥性种类^[32],尤以须根发达的贝克喜盐草为优势种,其分布遍及整个潟湖,覆盖度达到 50.00%~95.00%,这些海草对其栖息环境中重金属具有很强的富集及吸附作用.

此外,花场湾周边遍布红树林,对表层沉积物的重金属也具有一定吸附作用. 这与本次调查沉积物中重金属含量呈现出潟湖中心明显高于潟湖沿海岸海草与红树林分布区相符(图 1).

潜在生态危害指数分析结果表明,研究区内以中等生态危害为主,其次为强生态危害与轻微生态危害,RI 高值基本位于花场湾潟湖中心. 单金属潜在危害系数程度较高的为 Cd 与 Hg,其余均处在轻

微生态危害. 这很大程度上与潮汐汉道及水体相互交换相关,由于花场湾风浪输沙能力较低,导致潟湖航道与口门重金属含量值偏高;潟湖沿岸分布的红树林及海草对重金属又有一定的富集与吸附作用,使得潟湖沿岸沉积物重金属含量明显低于航道及潟湖中心.

3 结论

(1)花场湾表层沉积物中的重金属 Cu 含量在 8.41~51.45 mg/kg 之间,均值为 28.19 mg/kg;Pb 含量在 5.96~30.73 mg/kg 之间,均值为 18.35 mg/kg;Zn 含量在 16.87~99.15 mg/kg 之间,均值为 50.48 mg/kg;Cr 含量在 18.60~57.80 mg/kg 之间,均值为 35.75 mg/kg;Cd 含量在 0.12~0.76 mg/kg 之间,均值为 0.32 mg/kg;Hg 含量在 0.020~0.073 mg/kg 之间,均值为 0.050 mg/kg;As 含量在 6.02~17.56 mg/kg 之间,均值为 12.71 mg/kg;花场湾 Cu、Cr、Cd 与 As 含量均高于万宁小海及陵水新村港,Pb 与 Zn 含量高于陵水新村港低于万宁小海,Hg 含量高于万宁小海低于陵水新村港.

(2)花场湾表层沉积物重金属 Cu、Pb、Zn、Hg、Cr 及 Cd 具相同污染源,主要受到养殖污染影响. 此外,Cu、As、Hg 还受潮汐影响较大,Pb 与 Zn 受渔船或潮汐影响较大,Cd 与 Cr 受沿岸虾塘养殖的影响较大.

(3)研究区内以中等生态危害为主,其次为强生态危害与轻微生态危害,RI 高值基本位于花场湾潟湖中心. 单金属潜在危害系数程度较高为 Cd 与 Hg,7 种表层沉积物重金属的潜在生态风险大小依次为: Cd > Hg > As > Cu > Pb > Cr > Zn.

参考文献:

- [1] 吴瑞,张光星,涂志刚,等. 海南省花场湾红树林资源现状调查分析[J]. 热带农业科学, 2015, 35(7): 54-56.
- [2] 郑盛华,杨妙峰,席英玉,等. 东山湾表层沉积物 5 种重金属元素含量分布及其与主要环境因子的关系[J]. 应用海洋学学报, 2014, 33(2): 251-257.
- [3] 何桂芳,袁国明,李凤岐. 珠江口沿岸城市经济发展对珠江口水质的影响[J]. 海洋环境科学, 2004, 23(4): 50-52.
- [4] Bastami K D, Bagheri H, Kheirabadi V, et al. Distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments along southeast coast of the Caspian Sea[J]. Marine Pollution Bulletin, 2014, 81: 262-267.
- [5] Farkas A, Erratico C, Vigano L. Assessment of the environmental significance of heavy metals pollution in surficial sediments of the River Po[J]. Chemosphere, 2007, 68(4): 761-768.
- [6] 阳杰,曹玲珑,姜万钧,等. 洋浦港近岸海域沉积物中重金属含量分布特征及污染评价[J]. 海洋湖沼通报, 2012(4): 121-127.
- [7] 曹玲珑,王平,田海涛,等. 海南东寨港重金属在多种环境介质中污染状况及评价[J]. 海洋通报, 2013, 32(4): 403-408.
- [8] 林钟扬,倪建宇,时连强,等. 海南小海表层沉积环境及重金属污染综合评价[J]. 海洋学研究, 2011, 29(2): 12-24.

- [9] 陈石泉, 张光星, 吴钟解, 等. 新村港表层沉积物重金属分布特征及污染评价[J]. 海洋湖沼通报, 2014(4): 144-152.
- [10] 罗昆, 李亮, 龙根元, 等. 海南岛南部海域沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 上海海洋大学学报, 2017, 26(1): 85-92.
- [11] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB 17378—2007 海洋监测规范 第5部分: 沉积物分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 8-23.
- [12] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control; a sediment to logical approach[J]. Water Research, 1980, 14(8): 975-1 001.
- [13] 张丽旭, 任松, 蔡健. 东海三个倾倒区表层沉积物重金属富集特征及潜在生态风险评价[J]. 海洋通报, 2005, 24(2): 92-96.
- [14] 孙钦帮, 陈燕珍, 孙丽艳, 等. 辽东湾西部海域表层沉积物重金属的含量分布与污染评价[J]. 应用海洋学学报, 2015, 34(1): 73-79.
- [15] 杨丽虹, 张杰宁, 邓永智. 湄洲湾海域表层沉积物重金属含量的分布特征及潜在生态风险评价[J]. 应用海洋学学报, 2014, 33(4): 567-573.
- [16] 陈康, 方展强, 安东, 等. 珠江口沿岸水域表层沉积物中重金属含量分布及污染评价[J]. 应用海洋学学报, 2013, 32(1): 20-28.
- [17] 赵一阳, 鄢明才. 中国浅海沉积物化学元素丰度[J]. 中国科学, 1993, 23(10): 1 084 -1 090.
- [18] 郑娜, 王起超, 郑冬梅, 等. 不同污染类型河流沉积物的汞、铅、锌污染特征研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(2): 155-158.
- [19] 马丽, 陆志强, 陈维芬, 等. 同安湾表层沉积物重金属污染特征及潜在生态风险评价[J]. 台湾海峡, 2010, 29(2): 283-289.
- [20] 霍云龙, 陈金民, 林彩, 等. 三沙湾表层沉积物重金属含量分布及生态风险评估[J]. 应用海洋学学报, 2015, 34(3): 356-364.
- [21] 陈松, 许爱玉, 骆炳坤. 厦门港湾表层沉积物中重金属的富集和来源探讨[J]. 台湾海峡, 1987, 6(2): 139-145.
- [22] 刘金虎, 宋骏杰, 曹亮. 莱州湾表层沉积物中重金属时空分布! 污染来源及风险评价[J]. 生态毒理学报, 2015, 10(2): 369-381.
- [23] 姚藩照, 张宇峰, 胡忻. 厦门西海域沉积物中重金属的赋存状态及潜在迁移性[J]. 台湾海峡, 2010, 29(4): 532-538.
- [24] 龚文平, 陈明和, 温晓骥, 等. 海南陵水黎安港潮汐汉道演变及其稳定性分析[J]. 热带海洋学报, 2004, 23(4): 25-43.
- [25] 阎勇, 杨树森. 花场湾自然条件及海床演变分析[J]. 水道港口, 2006, 27(6): 147-151.
- [26] 张际标, 刘加飞, 张才学, 等. 湛江表层沉积物重金属分布及污染评价[J]. 海洋环境科学, 2012, 31(5): 644-649.
- [27] 刘琼玉, 洪华生, 红丽玉. 厦门西海域表层沉积物重金属的分布特征及来源探讨[J]. 海洋通报, 1995, 14(6): 46-52.
- [28] 郭笑宇, 黄长江. 粤西湛江港海底沉积物重金属的分布特征与来源[J]. 热带海洋学报, 2006, 25(5): 91-97.
- [29] 汤红亮, 王超, 李勇, 等. 里运河底泥重金属空间分布特征[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2006, 34(1): 18-21.
- [30] 韦肖杭, 张敏, 姚伟忠. 养殖池塘沉积物的重金属分布及污染特征[J]. 宁波大学学报: 理工版, 2004, 17(4): 380-384.
- [31] 许战州, 朱艾嘉, 蔡伟叙, 等. 流沙湾海草床重金属富集特征[J]. 生态学报, 2011, 31(23): 7 244-7 250.
- [32] 陈石泉, 吴钟解, 王道儒, 等. 海南岛海草床种间关系研究[J]. 海洋通报, 2013, 32(1): 51-56.

Distribution characteristics of heavy metals and its evaluation in the surface sediment of Huachang Bay, Hainan Province

CHEN Shi-quan¹, CAI Ze-fu¹, WU Zhong-jie¹, LIN Guo-yao¹, MA Kun¹, XING Kou-min¹, WANG Dao-ru¹

(1. Hainan Academy of Ocean and Fisheries Sciences, Haikou 570125, China;

2. Environment protection agency of taierzhuang, Zaozhuang 277400, China)

Abstract: Distribution characteristics, correlations and ecological risk of heavy metals in the surface sediments are

studied with heavy metal data obtained from Huachang Bay of Hainan Province. Results show that the contents of heavy metals Cu, Pb, Zn, Cr, Cd, Hg and As are 28.19, 18.35, 50.48, 35.75, 0.32, 0.05 and 12.71 mg/kg, with ranges from 8.41 to 51.45, 5.96 to 30.73, 16.87 to 99.15, 18.60 to 57.80, 0.12 to 0.76, 0.020 to 0.073, 6.02 to 17.56 mg/kg. Results of correlation analysis showed that Cu, Pb, Zn, Hg, Cr and Cd has the same source of impacts, mainly from the pollutants from mariculture. Besides, Cu, As and Hg is mostly effected by tides. Pb and Zn is mostly impacted both by tides and fishing boats. Cd and Cr is mostly impacted by shrimp ponds. Potential ecological risk assessment shows that high potential ecological risk coefficient (*RI*) for multi-species heavy metals is basically located in the central of Huachang Bay. The waters studied show a medium ecological risk in genera, and the strong and slight ecological risk is minor. The potential hazard factors for Cd and Hg are higher assessed by single metal and the potential risks decrease in orders from Cd to Hg, As, Cu, Pb, Cr and Zn.

Key words:marine chemistry; correlation; heavy metals; sediments; ecological risk assessment; Huachang Bay
DOI:10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2018. 01. 010

(责任编辑:方建勇)