

钦州湾南部表层沉积物重金属 分布及生态危害评价

王恩康¹, 孙永根^{1*}, 夏 鹏¹, 佟智成², 金玉休¹,
徐艳东³, 闫文文¹, 王 晶¹

(1. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 2. 钦州市海洋环境监测预报中心, 广西 钦州 535000;
3. 山东省海洋资源与环境研究院, 山东 烟台 264006)

摘 要:分析 2013 年钦州湾南部海域的表层沉积物样品, 拟对其 7 种重金属元素质量分数的空间分布特征进行探讨。采用单因子污染指数法和潜在生态危害指数法对沉积物污染程度及其潜在生态危害进行评价, 并利用主成分分析法对其重金属的潜在来源进行解析, 结合 2011 年和 2012 年同区的调查数据对近 3 a 来重金属质量分数的变化趋势进行研究。研究发现: 重金属 Pb, Cr, Hg, As 质量分数在研究区中南部海域较高, Cu 和 Zn 在犀牛脚外侧海域质量分数整体较高, Cd 在研究区西北侧的钦州港南部海域质量分数较高; Cd 的生态危害达到中度危害水平, 其他 6 种重金属 (Cu, Pb, Zn, Cr, Hg, As) 生态危害程度较轻; 重金属的潜在来源主要为钦州港周边海上交通排污、港口疏浚和周边河流陆源排污; 2013 年调查的 Zn 和 Hg 质量分数均明显高于 2011 年和 2012 年的。

关键词:钦州湾; 表层沉积物; 重金属; 时空分布; 生态危害

中图分类号: P736.4

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2017)02-0284-11

doi: 10.3969/j.issn.1671-6647.2017.02.013

沉积物是重金属污染物的“贮存库”和载体, 其赋存的重金属会随沉积环境的改变而释放到水中, 水中的重金属也会经过物理化学作用富集在表层沉积物中; 因此, 表层沉积物同时充当着重金属的“源”和“汇”。重金属是一类难以消除的富集性污染物, 具有污染残留时间长、易蓄积、不易被微生物降解等特征, 通过食物链在生物体内循环和富集, 能破坏生物体正常的生理代谢活动, 对生物体潜在威胁极大^[1]。因此, 沉积物中重金属的污染状况是当前重金属研究的热点和首要问题^[2-3]。

钦州湾位于北部湾顶部, 广西沿岸中段; 由内湾和外湾构成, 属半封闭型的天然海湾。该湾口门宽约 29 km, 纵深约 39 km, 海湾面积约 380 km²^[4]。湾内海洋经济鱼类丰富, 沿岸红树林发育茂密, 也是白海豚的重要栖息地。一直以来, 钦州湾作为重要的环境保护区域, 其环境质量的要求相对较高。但近年来钦州湾沿岸工业发展迅速, 加上环境基础设施建设还不完善, 2012 年钦州市工业污水排放量高达 1.791×10^4 t, 对近海海域的环境污染和生态破坏逐步显现。近来对钦州湾沉积物的重金属污染研究多集中于空间分布特征方面^[2,5-6], 不能反映其重金属质量分数的时空变化规律及其潜在来源。我们以 2013 年获取的钦州湾南部海域的表层沉积物为研究对象, 在其单因子评价、潜在生态危害评价和源解析的基础上, 结合 2011 和 2012 年的重金属数据对其时间演变规律进行探索, 以为钦州湾南部海域重金属的污染治理提供数据支撑。

收稿日期: 2016-04-28

资助项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目——海岸带保护区保护范围选划方法研究(2014G16)和小尺度下的海岛景观格局变化研究(2013G14)

作者简介: 王恩康(1985-), 男, 山东即墨人, 硕士, 助理工程师, 主要从事海洋环境工程方面研究. E-mail: wekang@fio.org.cn

*** 通讯作者:** 孙永根(1981-), 男, 山东青岛人, 硕士, 工程师, 主要从事海洋环境工程方面研究. E-mail: sunyonggen@126.com

(高 峻 编辑)

1 材料与方法

1.1 研究区域的站位分布

2011-11,2012-09 和 2013-03,我们委托广西红树林研究中心在钦州湾南部海域进行表层沉积物样品采集,站位数分别为 20 站、12 站和 19 站,具体站位见图 1。样品采集按照《海洋监测规范》样品的采集、贮存和运输要求^[7]进行。采用重力抓斗采集浮泥以下 0~2 cm 表层沉积物样品密封于双层聚乙烯袋内,低温冷冻保存直至样品分析。

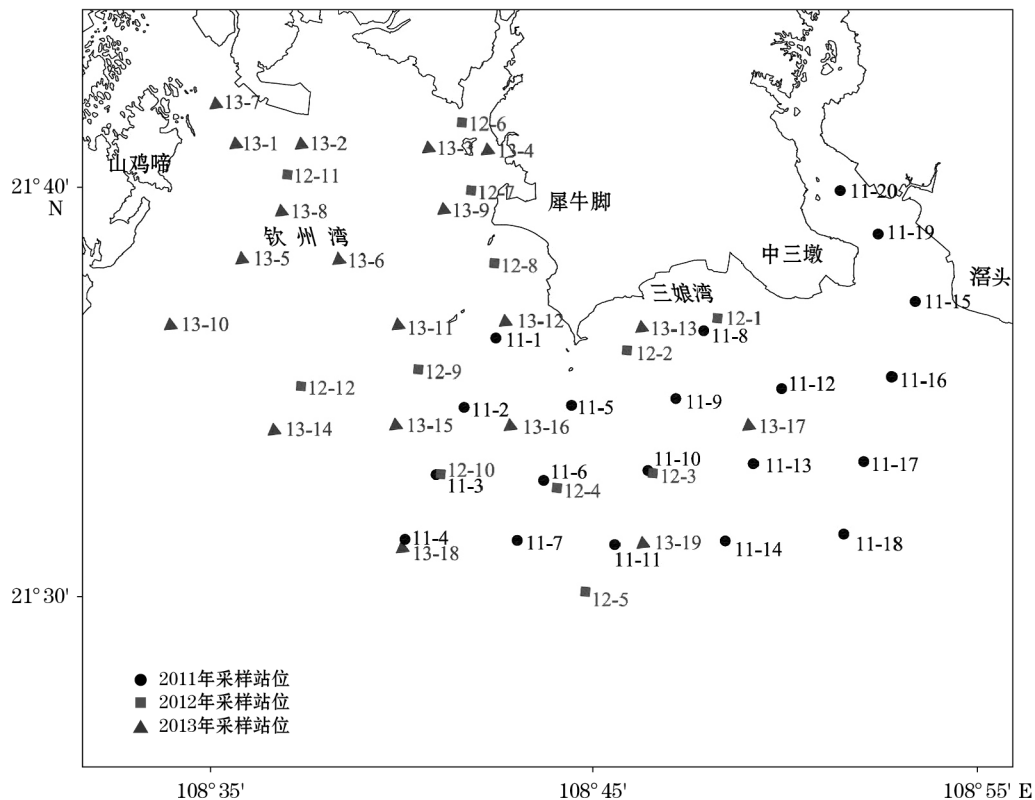


图 1 研究区域及采样站位

Fig.1 Study area and sampling sites

1.2 样品分析方法

样品分析按照《海洋监测规范》沉积物分析的方法^[8]执行,采用原子荧光光谱仪和原子吸收分光光度计测试样品中 7 项重金属元素(As, Hg, Zn, Cr, Cu, Cd, Pb),准确度($\Delta\lg C$)控制在 0.110~0.112,精密度(RSD)控制在 10%~20%。其中,As 和 Hg 采用原子荧光光谱法(SK-2003AZ)测试,Zn,Cr,Cu,Cd,Pb 采用原子吸收分光光度法(WFX-120)测试,检出限分别为 0.06,0.002,6.0,2.0,2.0,0.04,1.0 mg/kg。

1.3 评价方法

1.3.1 单因子污染评价

基于《海洋沉积物质量》^[9]中的一类沉积物质量标准,计算单一污染物的环境质量指数,其计算公式:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}, \quad (1)$$

式中: P_i 为第 i 项污染物的环境质量指数; C_i 为第 i 项污染物的实测质量分数; S_i 为第 i 项污染物的评价标准。

1.3.2 潜在生态危害评价

采用瑞典科学家 Håkanson 提出的潜在生态危害指数法^[10]对重金属的单因子富集系数和潜在生态危害指数进行评价, 计算公式:

$$C_f^i = C_D^i / C_R^i, \quad (2)$$

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i, \quad (3)$$

$$RI = \sum T_r^i \times C_D^i / C_R^i, \quad (4)$$

式中: C_f^i 为第 i 种重金属的富集系数; C_D^i 为沉积物重金属实测质量分数; C_R^i 为沉积物重金属背景值; E_r^i 为第 i 种重金属的潜在生态危害指数; T_r^i 为重金属的毒性响应系数, 用于指示重金属的毒性大小以及对生物敏感程度; RI 为重金属综合潜在生态危害指数。重金属潜在生态危害指标及其分级标准详见表 1。

表 1 潜在生态危害指标及分级^[3,10]

Table 1 Potential ecological risk indices and classification

C_f^i 范围	单要素污染程度	E_r^i 范围	单要素生态危害程度	RI 范围	综合生态危害程度
$C_f^i < 1$	轻微	$E_r^i < 40$	I (轻微)	$RI < 150$	轻微
$1 \leq C_f^i < 3$	中等	$40 \leq E_r^i < 80$	II (中等)	$150 \leq RI < 300$	中等
$3 \leq C_f^i < 6$	强	$80 \leq E_r^i < 160$	III (强)	$300 \leq RI < 600$	强
$C_f^i \geq 6$	很强	$160 \leq E_r^i < 320$	IV (很强)	$RI \geq 600$	很强
/	/	$E_r^i \geq 320$	V (极强)	/	/

注: “/”为没有指标

2 结果与讨论

2.1 重金属元素质量分数及其空间分布特征

2013-03 获取的钦州湾南部海域表层沉积物中 Cu 的变化范围为 3.78~51.96 mg/kg, 均值±偏差为 (13.54±10.05) mg/kg; Pb 的变化范围为 3.65~18.65 mg/kg, 均值±偏差为 (10.45±4.68) mg/kg; Zn 的变化范围为 8.01~496.65 mg/kg, 均值±偏差为 (134.62±132.41) mg/kg; Cd 的变化范围为 0.01~0.21 mg/kg, 均值±偏差为 (0.09±0.06) mg/kg; Cr 的变化范围为 6.48~50.41 mg/kg, 均值±偏差为 (23.34±11.06) mg/kg; Hg 的变化范围为 0.017~0.092 mg/kg, 均值±偏差为 (0.054±0.020) mg/kg; As 的变化范围为 7.64~19.70 mg/kg, 均值±偏差为 (11.97±3.15) mg/kg。其中: Pb, Cr, Hg, As 质量分数在研究区中南部海域较高, Cu 和 Zn 在犀牛脚外侧海域质量分数整体较高, Cd 质量分数高值区主要分布在研究区西北侧的钦州港南部海域, 其空间分布特征详见图 2。

2.2 重金属单因子污染指数评价

参照《海洋沉积物质量》中的沉积物质量标准^[9], 计算 2013 年每个站位各污染物的环境质量指数。结果表明: 除 Cu 和 Zn 外, 其他污染物均符合一类沉积物质量标准, 沉积物质量状态良好。所有站位的 Cu 和 Zn 分别符合二类和三类沉积物质量标准(表 2)。

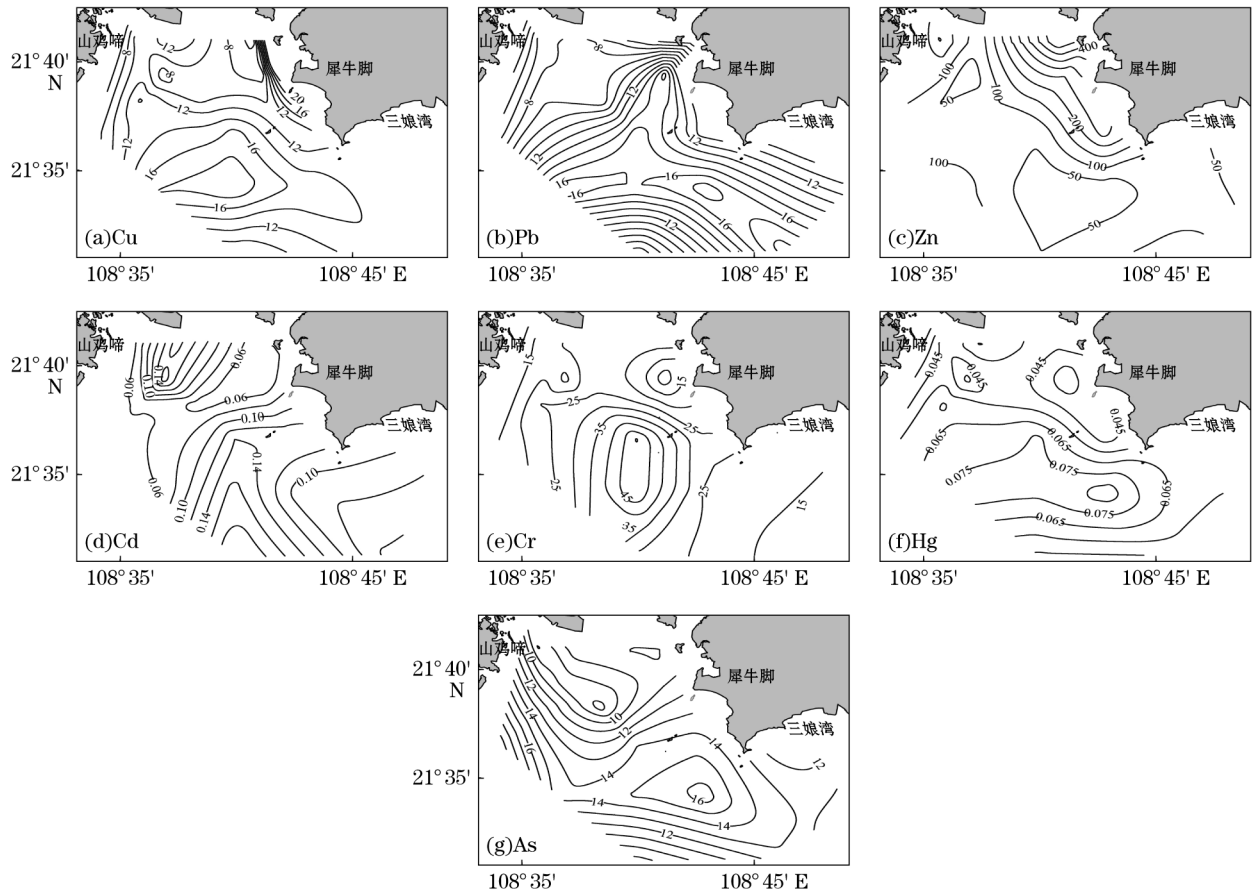


图 2 2013-03 重金属元素(Cu,Pb,Zn,Cd,Cr,Hg,As)质量分数($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的空间分布特征

Fig.2 Spatial distribution of heavy metals (Cu,Pb,Zn,Cd,Cr,Hg,As) in March 2013

表 2 重金属元素的单因子评价指数

Table 2 Single-factor evaluation indices of heavy metals in the surface sediments

站 位	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As
13-1	0.31	0.12	1.38	0.12	0.22	0.23	0.40
13-2	0.40	0.15	0.47	0.34	0.29	0.33	0.54
13-3	0.15	0.08	3.31	0.09	0.27	0.24	0.56
13-4	1.48	0.08	2.70	0.15	0.25	0.26	0.47
13-5	0.41	0.15	0.30	0.13	0.31	0.33	0.63
13-6	0.27	0.14	0.70	0.10	0.36	0.27	0.38
13-7	0.11	0.06	0.93	0.02	0.10	0.09	0.46
13-8	0.19	0.14	0.05	0.34	0.17	0.16	0.42
13-9	0.20	0.26	1.71	0.06	0.08	0.14	0.54
13-10	0.21	0.11	0.57	0.10	0.19	0.28	0.99
13-11	0.49	0.26	0.35	0.28	0.63	0.39	0.70
13-12	0.29	0.18	1.78	0.28	0.32	0.20	0.73
13-13	0.34	0.14	0.49	0.22	0.31	0.29	0.54
13-14	0.52	0.28	0.78	0.12	0.32	0.41	0.71
13-15	0.57	0.26	0.09	0.34	0.62	0.39	0.76
13-16	0.45	0.30	0.09	0.17	0.31	0.46	0.83
13-17	0.34	0.19	0.15	0.13	0.21	0.28	0.67
13-18	0.23	0.10	0.34	0.42	0.36	0.21	0.43
13-19	0.40	0.31	0.85	0.12	0.22	0.23	0.63
平均值	0.39	0.17	0.90	0.18	0.29	0.27	0.60

2.3 重金属潜在生态危害评价

单因子污染指数法仅将污染物的实测质量分数与《海洋沉积物质量》中规定的数值^[9]进行比较,未考虑不同重金属间的毒性差异,并不能很好地反映研究海域的污染程度及其潜在生态危害。有鉴于此,利用潜在生态危害指数对 2013 年钦州湾南部海域表层沉积物中的重金属进行评价,以期了解其潜在生态危害程度。

2.3.1 表层沉积物中重金属的富集特征

为保证我们选用的背景值能够最大程度代表钦州湾的实际背景,选择 Dou 等^[11]在北部湾东部的研究数据,其研究范围与我们研究区基本一致,作为本次评估的背景值较为合适。Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, Hg, As 的背景值(C_R^i)分别为 68.4, 34.2, 57.4, 0.08, 45.3, 0.09, 18.1 mg/kg。

将钦州湾南部海域表层沉积物中各重金属元素质量分数代入式(2),计算结果列于表 3 中。

表 3 表层沉积物中各重金属的富集系数(C_f^i)

Table 3 Enrichment coefficients of heavy metals (C_f^i) in the surface sediments

站 位	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As
13-1	0.16	0.21	3.60	0.76	0.38	0.51	0.44
13-2	0.21	0.26	1.22	2.13	0.51	0.73	0.60
13-3	0.07	0.15	8.65	0.54	0.47	0.52	0.62
13-4	0.76	0.14	7.07	0.91	0.45	0.58	0.52
13-5	0.21	0.26	0.80	0.79	0.56	0.73	0.69
13-6	0.14	0.24	1.83	0.60	0.64	0.60	0.42
13-7	0.06	0.11	2.43	0.13	0.18	0.19	0.51
13-8	0.10	0.24	0.14	2.13	0.30	0.36	0.46
13-9	0.10	0.45	4.47	0.39	0.14	0.30	0.60
13-10	0.11	0.19	1.48	0.63	0.33	0.61	1.09
13-11	0.25	0.46	0.92	1.75	1.11	0.87	0.77
13-12	0.15	0.31	4.65	1.75	0.57	0.44	0.80
13-13	0.17	0.25	1.28	1.38	0.55	0.63	0.60
13-14	0.27	0.50	2.03	0.74	0.57	0.90	0.78
13-15	0.29	0.46	0.23	2.13	1.10	0.87	0.83
13-16	0.23	0.52	0.24	1.04	0.54	1.02	0.92
13-17	0.17	0.33	0.40	0.80	0.37	0.62	0.74
13-18	0.12	0.18	0.89	2.63	0.64	0.47	0.48
13-19	0.20	0.55	2.23	0.73	0.39	0.51	0.70
平均值	0.20	0.31	2.35	1.15	0.52	0.60	0.66

分析钦州湾南部海域表层沉积物中各种重金属的富集系数(表 3)发现,沉积物中重金属 Zn 的富集程度最大,平均富集系数为 2.35,有 26% 的站位属于强污染水平,位于外湾东侧、犀牛脚北侧海域的 13-3 和 13-4 站的富集系数分别达 8.65 和 7.07;其次是重金属 Cd 和 As,平均富集系数分别为 1.15 和 0.66,其中, Cd 有 47% 的站位属于中等污染水平, As 仅有 1 个站位属于中等污染水平。Cr 和 Hg 富集系数平均值均小于 1,属于轻微污染,但重金属 Cr 有 2 个站位属于中等污染,重金属 Hg 有 1 个站位属于中等污染。富集程度较低的重金属依次为 Pb 和 Cu,其富集系数均小于 1,属于低污染水平。

2.3.2 潜在生态危害评价

重金属的毒性响应系数用于指示重金属的毒性水平以及对生物的敏感程度。Häkanson 的评价模型中 7 种重金属元素的毒性大小依次为 $Hg > Cd > As > Pb = Cu > Cr > Zn$ ^[10,12-13], Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, Hg, As 重金属元素的毒性响应系数(T_f^i)^[14]分别为 5, 5, 1, 30, 2, 40, 10。

分别将表 3 中各重金属元素的富集系数(C_f^i)和各重金属元素的毒性响应系数(T_f^i)代入式(3)和式(4),分别得到该海域表层沉积物中各重金属元素的潜在生态危害系数(E_f^i)和沉积物中重金属综合潜在生态危害指数(RI),将计算结果列于表 4。

表 4 表层沉积物中各重金属的潜在生态危害系数(E_i^p) 和危害指数(RI)Table 4 Potential ecological risk coefficients (E_i^p) and risk indices (RI) of heavy metals in the surface sediments

站 位	E_i^p							RI
	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As	
13-1	0.81	1.05	3.60	22.88	0.76	20.44	4.36	53.89
13-2	1.03	1.30	1.22	63.75	1.02	29.33	5.98	103.63
13-3	0.37	0.74	8.65	16.13	0.95	20.89	6.21	53.93
13-4	3.80	0.71	7.07	27.38	0.89	23.11	5.16	68.11
13-5	1.04	1.30	0.80	23.63	1.11	29.33	6.92	64.14
13-6	0.70	1.19	1.83	18.00	1.28	24.00	4.22	51.23
13-7	0.28	0.53	2.43	3.75	0.36	7.56	5.07	19.97
13-8	0.49	1.21	0.14	63.75	0.60	14.22	4.62	85.03
13-9	0.52	2.25	4.47	11.63	0.29	12.00	5.98	37.14
13-10	0.53	0.95	1.48	18.75	0.66	24.44	10.88	57.70
13-11	1.26	2.32	0.92	52.50	2.23	34.67	7.69	101.57
13-12	0.73	1.55	4.65	52.50	1.14	17.78	8.04	86.39
13-13	0.87	1.27	1.28	41.25	1.09	25.33	5.99	77.08
13-14	1.33	2.48	2.03	22.13	1.14	36.00	7.83	72.93
13-15	1.45	2.32	0.23	63.75	2.20	34.67	8.35	112.97
13-16	1.14	2.59	0.24	31.13	1.08	39.89	9.17	85.24
13-17	0.86	1.64	0.40	24.00	0.74	24.89	7.43	59.97
13-18	0.59	0.90	0.89	78.75	1.27	18.67	4.76	105.82
13-19	1.01	2.73	2.23	21.75	0.78	20.44	6.98	55.92
平均值	0.99	1.53	2.35	34.60	1.03	24.14	6.61	71.19

结果表明:各重金属的所有潜在生态危害系数 $E_i^p < 80$, 最大值出现在 13-18 站的 Cd 元素(78.75); 所有站位的综合潜在生态危害指数 $RI < 150$, 属轻微生态危害范畴。研究海域表层沉积物重金属中除 Cd 的综合潜在生态危害系数(40~80)达到中度危害水平外, 其他 6 种重金属(Cu, Pb, Zn, Cr, Hg, As)的综合潜在生态危害系数 < 40 , 属于轻微生态危害程度。

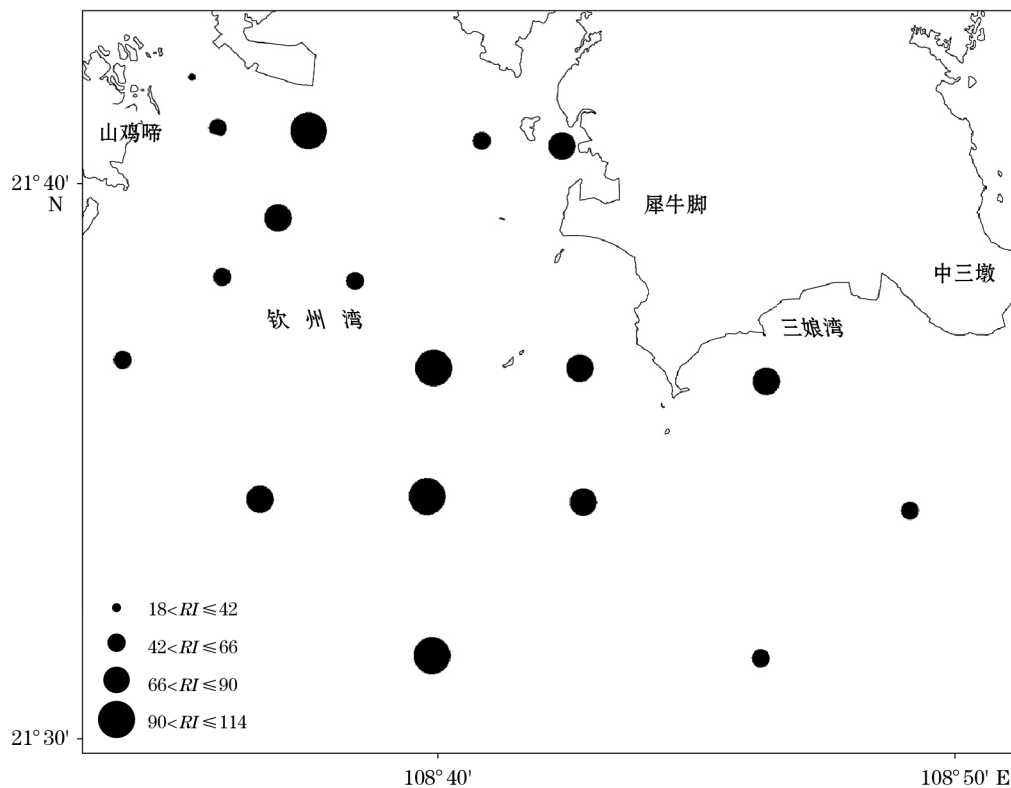


图 3 表层沉积物中重金属的潜在生态危害指数空间分布特征

Fig.3 Spatial distribution of potential ecological risk of heavy metals in the surface sediments

分析重金属的潜在生态危害指数的空间分布特征(图 3), 发现钦州港南部海域以及研究区中南部海域

潜在生态危害指数较高,而研究区西侧和东侧相对较低,其分布规律与周边海洋开发活动息息相关,其中陆源污染物、港口疏浚物和海上交通排污是重要的影响因素。

2.4 重金属污染物的源解析

主成分分析法(PCA)已广泛应用于海洋沉积物中重金属污染物的源解析^[15-19]。现以 2013 年重金属 Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, Hg 和 As 的质量分数为参数,其 Bartlett 球形检验统计量为 58.32($P < 0.01$), KMO 检验值为 0.67;表明数据间存在较强的相关关系,适宜做主成分分析。基于 SPSS 13.0 for windows 数据统计软件,在对原始矩阵数据归一化处理的基础上,按特征值 ≥ 1 的标准提取主成分;共获得 3 个主成分 PC1, PC2 和 PC3,进而对各主成分的方差贡献进行解析^[20]。3 个主成分的累计方差为 77.88%,反映了沉积物中重金属潜在来源的多数信息,其特征值和方差贡献详见表 5。

PC1 的方差贡献为 40.55%, Pb, Cr, Hg, As 占的荷载较高。Pb, Cr, Hg, As 质量分数具有较为一致的空间分布特征,在研究区中南部海域较高,在其他区域相对较低。已有研究表明, Pb 主要受陆源排污、海上交通排污及大气沉降等影响, Cr 主要为矿山开采和工业污染物等随河流输入海洋, Hg 主要来源于陆源河流输入和大气沉降等^[1, 18, 21], As 在自然环境中存在极少,受农药和化肥的使用、煤渣排污的影响较大。研究区的中部和南部为港口航运区,海上交通运输频繁,海上交通排污可能为 Pb, Cr, Hg, As 质量分数较高的主要原因。PC2 的方差贡献为 18.91%, Cu 和 Zn 占的荷载较高,两者在犀牛脚外侧海域质量分数整体较高。研究结果显示, Cu 和 Zn 主要来源一般为工业污染、陆地岩石以及土壤风化产物^[21]。犀牛脚临近海岸主要砂质海岸和基岩海岸,其 Cu 和 Zn 的背景值较高,风化产物是 Cu 和 Zn 的主要来源。PC3 的方差贡献为 18.42%, Cd 占的荷载较高,其高值区主要分布在研究区西北侧的钦州港南部海域,港口疏浚物是影响其质量分数空间分布的重要因素^[19-20]。此外研究区周边分布有多条河流,西北部有茅岭江和钦江,北部有大风江和武利江入海,陆源污染物随河流入海对研究区各元素质量分数均产生了重要影响。

表 5 主成分分析(PCA)计算结果

Table 5 Calculation results of principal component analysis(PCA)

主成分	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As	特征值	方差贡献	累积方差贡献
PC1	0.22	0.70	-0.58	0.47	0.79	0.88	0.61	2.84	40.55%	40.55%
PC2	0.69	0.13	0.62	-0.55	-0.03	0.27	0.26	1.32	18.91%	59.46%
PC3	0.56	-0.39	0.21	0.57	0.41	0.01	-0.54	1.29	18.42%	77.88%

2.5 重金属元素的时间变化趋势

分析钦州湾南部海域 2011-11, 2012-09 和 2013-03 表层沉积物调查数据,对钦州湾南部海域表层沉积物重金属的时间变化趋势进行研究(表 6)。运用潜在生态危害指数法对调查数据进行处理,分别得到研究区域潜在生态危害指数分布特征(图 4)。

表 6 2011—2013 年重金属质量分数的时间变化特征($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 6 Temporal characteristics of heavy metals in 2011—2013($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

污染物	2011 年		2012 年		2013 年	
	质量分数范围	均值	质量分数范围	均值	质量分数范围	均值
Cu	0.32~14.47	7.68	6.80~26.10	16.52	3.78~51.96	13.54
Pb	2.80~20.68	10.13	9.60~32.20	17.39	3.65~18.65	10.45
Zn	17.66~66.09	43.99	24.60~82.50	56.01	8.01~496.65	134.62
Cd	0.02~0.26	0.12	0.06~0.47	0.18	0.01~0.21	0.09
Cr	1.44~9.12	3.95	/	/	6.48~50.41	23.34
Hg	0.011~0.074	0.035	0.018~0.081	0.047	0.017~0.092	0.054
As	5.07~29.15	13.18	12.86~22.25	16.84	7.64~19.70	11.97

分析可知, 1) Cu 质量分数在 2011—2012 年增幅很大,其平均质量分数从 7.68 mg/kg 增加至 16.52 mg/kg,增幅高达 115%,但 2012—2013 年有小幅回落,降幅 18%;2) Pb 质量分数在 2011—2012 年增幅较大,增幅达 72%,但 2012—2013 年也出现小幅回落,降幅约 40%;3) Zn 质量分数在 2011—2012 年出现小幅增加,增幅约 27%,随后在 2012—2013 年出现大幅增长,增幅高达 140%;4) Cd 质量分数在 2011—2012 年出现 50%的增幅,在 2012—2013 年又出现大幅回落,降幅达 50%;5) Cr 质量分数在 2012 年调查中未检,质量分数在这 3 a 增加将近 7 倍;6) Hg 质量分数呈现出逐年增加的趋势,增幅分别为 37%和 15%;7) As 质量分数在 2011—2012 年出现小幅增加,增幅为 28%,但之后 2 a 又出现小幅降低,降幅约 9%。Cu, Zn, Hg 和 Pb 在 2012 年和 2013 年质量分数均高于 2011 年,主要应与钦州港持续建设以及周边海域交通运输等人类活动不断增强有关;2012 年 Cd 和 As 质量分数均高于 2011 年和 2013 年,可能与钦州港的港池疏浚量年际变化有关,具体原因待进一步研究。

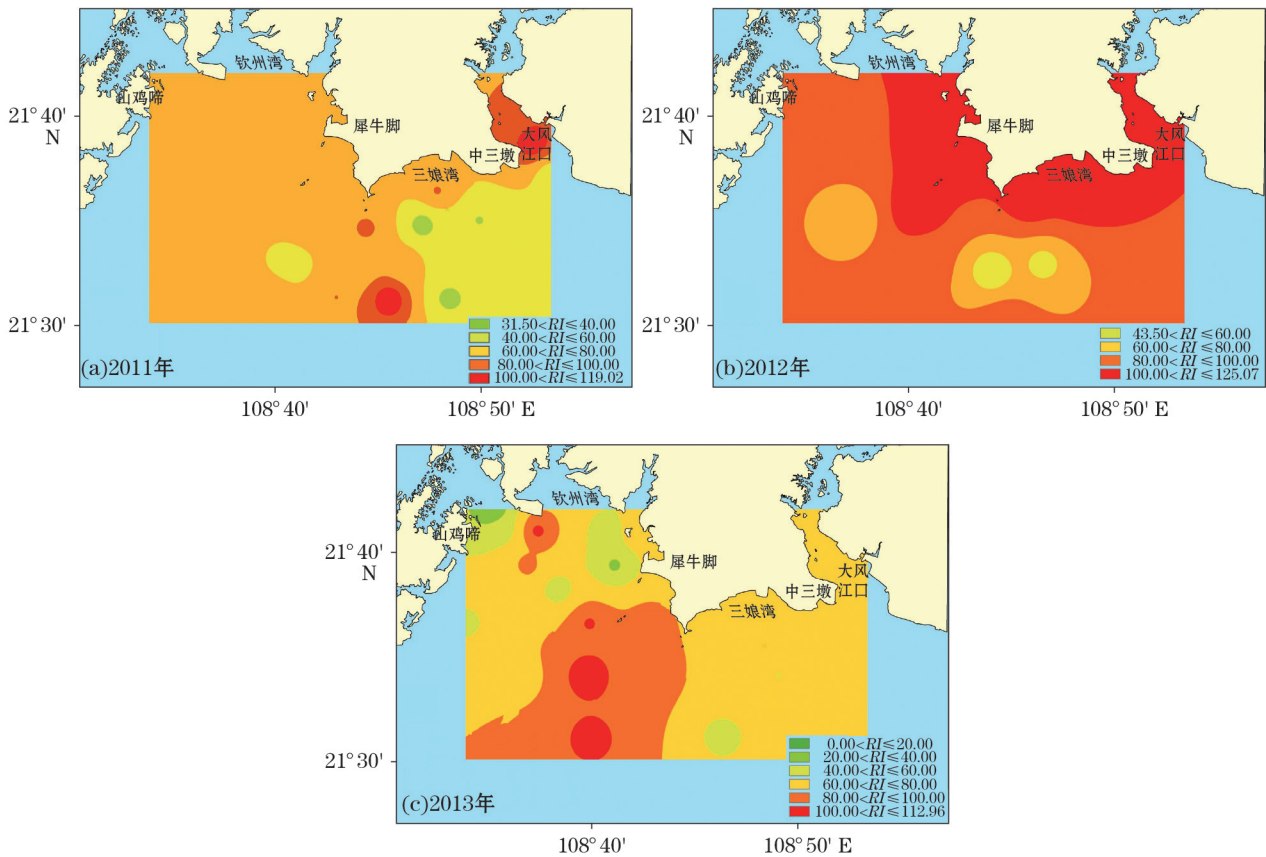


图 4 2011—2013 年危害指数(RI)分布特征

Fig.4 Distribution characteristics of risk indices(RI) in 2011—2013

2011—2013 年研究区全域的综合生态危害指数 < 150,属轻微生态危害范畴,这说明研究区各年份表层沉积物潜在生态危害程度较低,但仍表现出了一定的空间分异性。2011 年大风江口和研究区南部综合生态危害程度较周边区域高(图 4a), 2012 年自犀牛脚至大风江口综合生态危害程度较周边区域高(图 4b), 2013 年研究区西南部综合生态危害程度较周边区域高(图 4c)。三年综合生态危害指数高值区出现摆动变化,主要与研究区周边港口建设、海上交通和陆域排污有关。

3 结 论

为深入了解钦州湾南部海域重金属的污染现状、潜在来源及时间变化趋势,对该海域近 2011—2013 年的 7 种重金属元素质量分数进行分析,研究发现:

1)2013-03 表层沉积物中 Pb,Cr,Hg,As 质量分数在研究区中南部海域较高,Cu 和 Zn 在犀牛脚外侧海域质量分数整体较高,Cd 质量分数高值区主要分布在研究区西北侧的钦州港南部海域;除 Cu 和 Zn 外,其他重金属元素均符合一类沉积物质量标准,沉积物质量状况良好。

2)由潜在生态危害评价结果可知,Cd 的生态危害程度达到中度危害,其他 6 种重金属(Cu,Pb,Zn,Cr,Hg,As)的生态危害程度较轻;钦州港南部海域以及研究区中南部海域潜在生态危害指数较高,而研究区西侧和东侧相对较低。

3)基于主成分分析法对沉积物中重金属的潜在来源进行了解析,主要为钦州港周边海上交通排污、港口疏浚和周边河流陆源排污等不同排污途径输入。

4)2011—2013 年钦州湾南部海域表层沉积物中重金属质量分数的时间变化趋势表明,2013 年 Zn 和 Hg 的质量分数均明显高于 2011 年和 2012 年的;其他 4 种(Cu,Pb,Cd,As)重金属质量分数变化不大。

参考文献(References):

- [1] TANG D G, KENT W W, PETER H S. Distribution and partitioning of trace metals (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) in Galveston Bay waters[J]. *Marine Chemistry*, 2002, 78(5): 29-45.
- [2] 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. 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.
- [3] CHEN Z L, SUN Q B, BAO J M, et al. Temporal-spatial characteristics and ecological risk assessment of pollutants in surface sediment of Jinzhou Bay[J]. *Marine Environmental Science*, 2015, 34(4): 494-498. 陈兆林, 孙钦帮, 包吉明, 等. 金州湾表层沉积物污染物时空分布特征及生态风险评价[J]. *海洋环境科学*, 2015, 34(4): 494-498.
- [4] Compiling Committee of Records of China Bays. Records of China bays 12th fascicule (The bays in Guangxi)[M]. Beijing: Ocean Press, 1993: 144-148. 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志第十二分册(广西海湾)[M]. 北京: 海洋出版社, 1993: 144-148.
- [5] ZHANG B H, CHEN S L, LIU Y X, et al. Sediment characteristics and differentiation in the Qinzhou Bay, Guangxi, China[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2011, 30(4): 66-70. 张伯虎, 陈沈良, 刘焱雄, 等. 广西钦州湾海域表层沉积物分异特征与规律[J]. *热带海洋学报*, 2011, 30(4): 66-70.
- [6] 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. 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.
- [7] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China Standardization Administration of the People's of China. The specification for marine monitoring Part 3; Sample collection, storage and transportation: GB 17378.3—2007[S]. Beijing: Standard Press of China, 2008. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会. 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, 2008.
- [8] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China Standardization Administration of the People's of China. The specification for marine monitoring: Part 5 Sediment analysis: GB 17378.5—2007[S]. Beijing: Standard Press of China, 2008. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会. 海洋监测规范: 第 5 部分 沉积物分析: GB 17378.5—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [9] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China Standardization Administration of the People's of China. Marine sediment quality GB 18668—2002[S]. Beijing: Standard Press of China, 2002. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会. 海洋沉积物质量: GB 18668—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [10] HÅKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control—a sedimentological approach[J]. *Water Research*, 1980, 14(8):

- 975-1001.
- [11] DOU Y G, LI J, ZHAO J T, et al. Distribution, enrichment and source of heavy metals in surface sediments of the eastern Beibu Bay, South China Sea[J].*Marine Pollution Bulletin*, 2013, 67: 137-145.
- [12] LIU W X, LUAN Z K, TANG H X. Environmental assessment on heavy metal pollution in the sediments of Lean River with potential ecological risk index[J].*Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(2): 206-211. 刘文新, 栾兆坤, 汤鸿霄. 乐安江沉积物中金属污染的潜在生态风险评价[J].*生态学报*, 1999, 19(2): 206-211.
- [13] XIA P, MENG X W, YIN P, et al. Heavy metal pollution and its potential ecological risk in the sediments from the Beihai intertidal zone of Guangxi Province[J].*Advances in Marine Science*, 2008, 26(4): 471-477. 夏鹏, 孟宪伟, 印萍, 等. 广西北海潮间带沉积物中重金属的污染状况及其潜在生态危害[J].*海洋科学进展*, 2008, 26(4): 471-477.
- [14] ZHANG L X, JIANG X S, ZHAO M, et al. Accumulation of heavy metals in surface sediments from the sea region of Yangshan in the Yangtze Estuary with assessment of their potential ecological risk[J].*Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(3): 351-356. 张丽旭, 蒋晓山, 赵敏, 等. 长江口洋山海域表层沉积物重金属的富集及其潜在生态风险评价[J].*长江流域资源与环境*, 2007, 16(3): 351-356.
- [15] HU N J, LIU J H, HUANG P, et al. The distribution and risk assessment of metals in surface sediments of the Laizhou Bay in the Bohai Sea[J].*Haiyang Xuebao*, 2012, 34(2): 92-100. 胡宁静, 刘季花, 黄朋, 等. 渤海莱州湾表层沉积物中金属元素分布及环境质量[J].*海洋学报*, 2012, 34(2): 92-100.
- [16] LAN X H, MI B B, LI R H, et al. Distribution of heavy metals in surface sediments in the eastern Bohai Sea and the northern Yellow Sea[J].*China Environmental Science*, 2014, 34(10): 2660-2668. 蓝先洪, 蜜蓓蓓, 李日辉, 等. 渤海东部和黄海北部沉积物中重金属分布特征[J].*中国环境科学*, 2014, 34(10): 2660-2668.
- [17] PETRONIO B M, CARDELLICCHIO N, CALACE N, et al. Spatial and temporal heavy metal concentration (Cu, Pb, Zn, Hg, Fe, Mn, Hg) in sediments of the Mar Piccolo in Taranto (Ionian Sea, Italy)[J].*Water, Air & Soil Pollution*, 2012, 223(2): 863-875.
- [18] YE R, JIANG Z C, GUO Q R, et al. Source analysis and ecological risk assessment for heavy metals in the sediments of the Yangshan Deepwater Harbor in autumn and winter[J].*Marine Science Bulletin*, 2015, 34(1): 76-82. 叶然, 江再昌, 郭清荣, 等. 洋山深水港区海域秋、冬季沉积物中重金属来源分析及生态风险评价[J].*海洋通报*, 2015, 34(1): 76-82.
- [19] PAN J J, PAN J F, WANG M. Trace elements distribution and ecological risk assessment of seawater and sediments from Dingzi Bay, Shandong Peninsula, North China[J].*Marine Pollution Bulletin*, 2014, 89: 427-434.
- [20] XU Y D, WEI X, XIA B, et al. Potential ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of the Eastern Laizhou Bay[J].*Advances in Marine Science*, 2015, 33(4): 520-528. 徐艳东, 魏潇, 夏斌, 等. 莱州湾东部海域表层沉积物重金属潜在生态风险评价[J].*海洋科学进展*, 2015, 33(4): 520-528.
- [21] HU N J, SHI X F, HUANG P, et al. Distribution of metals in surface sediments of Liaodong Bay, Bohai Sea[J].*China Environmental Science*, 2010, 30(3): 380-388. 胡宁静, 石学法, 黄朋, 等. 渤海辽东湾表层沉积物中金属元素分布特征[J].*中国环境科学*, 2010, 30(3): 380-388.

Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments in Southern Waters of Qinzhou Bay

WAGN En-kang¹, SUN Yong-gen¹, XIA Peng¹, TONG Zhi-cheng², JIN Yu-xiu¹,
XU Yan-dong³, YAN Wen-wen¹, WANG Jing¹

(1. *The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China;*

2. *Qinzhou Marine Environmental Monitoring and Forecasting Center, Qinzhou 535000, China;*

3. *Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006, China)*

Abstract: Based on the survey data of surface sediments obtained from the southern waters of Qinzhou Bay in March 2013, this study analyzed the spatial characteristics of seven heavy metals. By means of the methods of single factor contaminant index and the potential ecological risk index, an assessment research was carried out to examine the contamination level of the surface sediments. Then, compared with the survey data in November 2011 and September 2012, we studied the temporal trend of heavy metals. The results showed that, 1) the contents of Pb, Cr, Hg and As were higher in the central south region of the study area, and those of Cu and Zn were higher in the adjacent waters of Xiniujiang. Meanwhile, the content of Cd was higher in the northwest region of the study area, i.e., the south of Qinzhou Port. The ecological risk of Cd reached a medium hazard level, and yet the other six heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cr, Hg, As) had relatively low values; 2) the potential sources of heavy metals were mainly the marine traffic pollution, harbor dredging and terrestrial pollution via rivers; 3) the contents of Zn and Hg in 2013 were obviously higher than those in 2011 and 2012.

Key words: Qinzhou Bay; surface sediment; heavy metals; temporal-spatial distribution; ecological risk

Received: April 28, 2016