

广西廉州湾贝类养殖区重金属的含量变化 及潜在生态风险评价

陈继艺, 冀春艳, 陈旭阳, 张春华

(国家海洋局北海海洋环境监测中心站, 广西 北海 536000)

摘要:根据2012—2017年每年8月廉州湾贝类养殖区现场监测资料,探讨了重金属(Hg、Cu、Pb、Cd)在其海水和表层沉积物中的含量变化,评价了2种介质中重金属的污染状况和沉积物重金属的潜在危害状况。结果表明:海水中重金属平均含量为Cu > Pb > Cd > Hg,除Cu外,Hg、Pb、Cd的年际变化均呈明显上升趋势,其污染程度顺序为Cu > Hg > Pb > Cd,整体水质状况基本属于本底水平;表层沉积物中重金属平均含量为Pb > Cu > Cd > Hg,除Hg外,Cu、Pb、Cd的年际变化趋势和水相中的变化基本一致,其污染程度排序为Cu > Pb > Hg > Cd,整体处于中等污染水平;表层沉积物中重金属的潜在生态风险程度顺序依次为Hg > Cd > Cu > Pb,6次调查结果的综合潜在生态风险指数RI值均低于140,平均值为76.98,表明该海域属于低潜在生态风险水平。

关键词:海洋环境科学;贝类养殖区;重金属;含量变化;生态风险评价;廉州湾

DOI:10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2018. 04. 013

中图分类号:P76

文献标识码:A

文章编号:2095-4972(2018)04-0568-09

廉州湾位于北部湾顶,北海市北侧,湾口朝西呈半开敞。全湾岸线长约72 km,海湾口门宽约17 km,海湾面积190 km²[1]。海湾门口南起北海市冠头岭,北至合浦县高沙,是优良的天然港湾。海湾内滩涂较宽,分布着众多的浅海养殖区及渔业捕捞区。廉州湾贝类养殖区是广西沿海主要的海水增养殖区之一,主要养殖的经济贝类为文蛤,年产量高达10万t,其次是近江牡蛎,年产约6万t[2],其余养殖品种还包括亚洲日月蛤、毛蚶、大獭蛤等。近年来随着广西北部湾大开发及北海市“一带两湾”的提出,廉州湾沿岸港口、商贸经济及旅游业迅速发展,大量的市政生活污水和农业废水入海排放,势必对养殖环境造成一定压力。其中,重金属污染是一个重要的影响因素。海洋中重金属污染物在水体中不易被降解,能迅速地与悬浮物和沉积物结合,而结合到悬浮物中的重金属最终也会被水流搬运到沉积物中。沉积物中重金属的污染特征通常比较稳定,但亦可通过水-固循环体系重新进行污染物质交换[3]。贝类移动范围有限且对重金属有较强的吸附能力,容易导致在贝类

体内富集积累,并通过食物链的传递对人类食用安全及近岸海域生态系统造成直接或间接的威胁。对广西海水增养殖区重金属污染的研究,黎小正等(2009)、廖永志等(2014)、吴祥庆等(2010)、姚茹等(2014)做了大量的工作[4-7]。但有关廉州湾贝类养殖区海域重金属的生态环境评价及潜在生态危害评价的研究较少。本研究依据2012—2017年每年8月调查获取的监测资料,对该研究区域水相和固相重金属进行了含量变化及趋势特征分析,评价了养殖区海域重金属的污染程度及沉积物中重金属对该海域产生的潜在威胁,进一步为附近海域海洋环境保护工作提供重要数据参考。

1 样品采集与评价方法

1.1 样品采集

2012—2017年每年8月对廉州湾贝类养殖区海域进行持续监测,根据养殖区实际情况布设了7个监测站位(图1),共采集了6个航次的海水及表层沉积物样品。所有采集的样品均按照《海洋监测规范》[8]中第3~5部分相关规定进行严格操作。

收稿日期:2017-12-29

基金项目:国家海洋局南海分局海洋科学技术局长基金资助项目(1652)

作者简介:陈继艺(1988—),女,助理工程师;E-mail:1575331264@qq.com

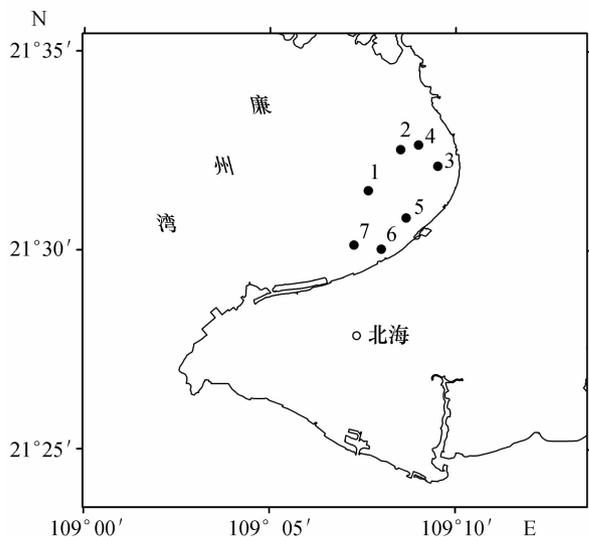


图 1 廉州湾监测站位分布

Fig. 1 Distribution of monitoring stations in Lianzhou Bay

1.2 评价方法

1.2.1 单因子污染指数法 运用单因子污染指数来反映研究区域水质重金属单项指标的污染程度,其计算公式为:

$$P_i = C_i/S_i \quad (1)$$

式(1)中: P_i 为单因子污染指数,反映 i 项重金属的污染程度, C_i 和 S_i 分别为水质重金属(Hg、Cu、Pb、Cd)的含量实测值($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)和含量评价标准值($\mu\text{g}/\text{dm}^3$).

1.2.2 单种重金属污染指数和多种重金属综合污染指数 单种重金属污染指数和多种重金属综合污染指数的计算公式分别为:

$$C_f^i = C_s^i/C_n^i \quad (2)$$

$$C_d = \sum_{n=1}^n C_f^i \quad (3)$$

式(2、3)中: C_f^i 为单种重金属污染指数,反映沉积物单因子重金属的污染程度, C_s^i 为沉积物重金属的实

测值(mg/kg), C_d 为多种重金属综合污染指数,是单因子重金属污染系数之和, C_n^i 为沉积物各重金属要素的背景计算值(mg/kg).

1.2.3 潜在生态风险指数(RI) 采纳 Hakanson (1980)学者的潜在生态风险评价法^[9]来综合反映研究区域表层沉积物重金属对其养殖海域产生的潜在影响力,其计算公式为:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n (T_r^i \cdot C_f^i) \quad (4)$$

式(4)中: RI 为沉积物重金属的综合潜在生态风险指数, E_r^i 为单种重金属的潜在生态风险系数, T_r^i 为各重金属的毒性响应系数.

2 结果与讨论

2.1 海水中重金属含量变化

2012—2017年每年8月廉州湾贝类养殖区海域水体中重金属含量分析结果见表1.由表1数据可知,除Hg和Cu外,Pb、Cd平均含量均达到《海水水质标准》^[10]中的一类水质标准要求.

研究区域海水中重金属的含量分布有所不同,表现为Hg的平均含量分布为2012年<2016年<2014年<2017年<2015年<2013年;Cu的平均含量分布为2017年<2012年<2016年<2015年<2013年<2014年;Pb的平均含量分布为2012年<2013、2017年<2014—2016年;Cd的平均含量分布为2013年<2012年<2016年<2017年<2015年<2014年.总体来看,廉州湾贝类养殖区海水中重金属含量均符合《海水水质标准》中的二类标准值(适合水产养殖).

廉州湾贝类养殖区与广西其他主要养殖区相比,海水中重金属平均含量水平相差不大;与国内其他省份贝类养殖区相比,廉州湾贝类养殖区海水中重金属Pb的平均含量处于相对较低水平(表2).

表 1 廉州湾贝类养殖区海水重金属含量($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)

Tab. 1 Heavy metals contents in seawater in shellfish culture area of Lianzhou Bay

年份	项目	Hg	Cu	Pb	Cd
2012	范围	0.017~0.039	1.0~4.9	0.2~0.9	0.07~0.49
	均值	0.026	2.6	0.4	0.25
2013	范围	0.051~0.088	3.2~6.4	0.5~0.8	0.06~0.10
	均值	0.070	4.4	0.7	0.08
2014	范围	0.034~0.053	3.2~6.8	0.6~1.2	0.14~0.86
	均值	0.040	5.5	0.8	0.36
2015	范围	0.052~0.083	3.2~4.8	0.6~1.0	0.21~0.49

续表 1

年份	项目	Hg	Cu	Pb	Cd
	均值	0.066	3.9	0.8	0.34
2016	范围	0.026 ~ 0.045	2.3 ~ 4.4	0.7 ~ 0.9	0.25 ~ 0.27
	均值	0.037	3.2	0.8	0.26
2017	范围	0.041 ~ 0.049	1.0 ~ 2.5	0.4 ~ 1.0	0.24 ~ 0.34
	均值	0.045	1.9	0.7	0.30
	海水水质一类标准	≤0.05	≤5	≤1	≤1
	海水水质二类标准	≤0.2	≤10	≤5	≤5

表 2 国内不同贝类养殖区海水重金属含量比较 ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)

Tab. 2 Comparison of heavy metals contents in seawater of different shellfish culture areas in China

养殖区	年份	项目	Hg	Cu	Pb	Cd
江苏如东 ^[11]	2010	范围	0.020 ~ 0.082	0.30 ~ 5.01	0.09 ~ 4.89	0.01 ~ 0.78
		均值	0.042	2.64	1.48	0.18
宁波象山港 ^[12]	2014	范围	0.020 ~ 0.024	2.1 ~ 3.4	0.27 ~ 0.96	0.13 ~ 0.20
		均值	0.022	3.0	0.56	0.17
天津北部 ^[13]	2012	范围	0.0171 ~ 0.0845	1.72 ~ 4.19	1.34 ~ 3.74	0.229 ~ 0.299
		均值	0.0499	2.60	2.74	0.261
	2013	范围	0.0155 ~ 0.0878	1.13 ~ 4.91	0.0863 ~ 3.59	0.0785 ~ 0.274
		均值	0.0357	2.28	1.73	0.205
广西钦州 ^[4]	2006	范围	0.1 ~ 0.2	1.2 ~ 5.2	5.8 ~ 11.3	0.10 ~ 1.09
		均值	0.12	3.2	7.8	0.30
	2007	范围	<0.02 ~ 0.15	<0.2 ~ 2.4	<0.03 ~ 4.15	0.08 ~ 0.17
		均值	0.05	0.5	0.84	0.11
广西茅尾海 ^[14]	2012	范围	0.02 ~ 0.05	2.20 ~ 8.32	-	0.08 ~ 0.12
		均值	0.04	5.21	-	0.10
	2013	范围	0.04 ~ 0.06	2.60 ~ 2.80	-	0.12 ~ 0.29
		均值	0.05	2.73	-	0.20
	2014	范围	0.06 ~ 0.13	1.40 ~ 4.20	-	0.04 ~ 0.06
		均值	0.10	2.60	-	0.05

注：“-”表示文献中无相关数据

从年际变化来看(图 2), 2012—2017 年 Hg 的含量范围在 $0.017 \sim 0.088 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ 之间, 年际间虽有波动, 但整体无明显变化趋势, 平均含量为 $0.047 \mu\text{g}/\text{dm}^3$; Cu 的含量范围为 $1.0 \sim 6.8 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, 平均含量为 $3.6 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, 表现为先增加后降低的趋势, 含量峰值出现于 2014 年, 低值出现于 2017 年; Pb 的含量范围为 $0.2 \sim 1.2 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, 平均含量为

$0.7 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, 整体呈上升趋势; Cd 的含量范围为 $0.06 \sim 0.86 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, 平均含量为 $0.27 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, 明显呈先降低后增加的趋势。

2.2 海水中重金属污染特征

廉州湾贝类养殖区海水水质评价采用《海水水质标准》中的二类标准进行评价. 其海水环境状况等级划分如表 3 所示^[15]. 通过将研究区域海水中单

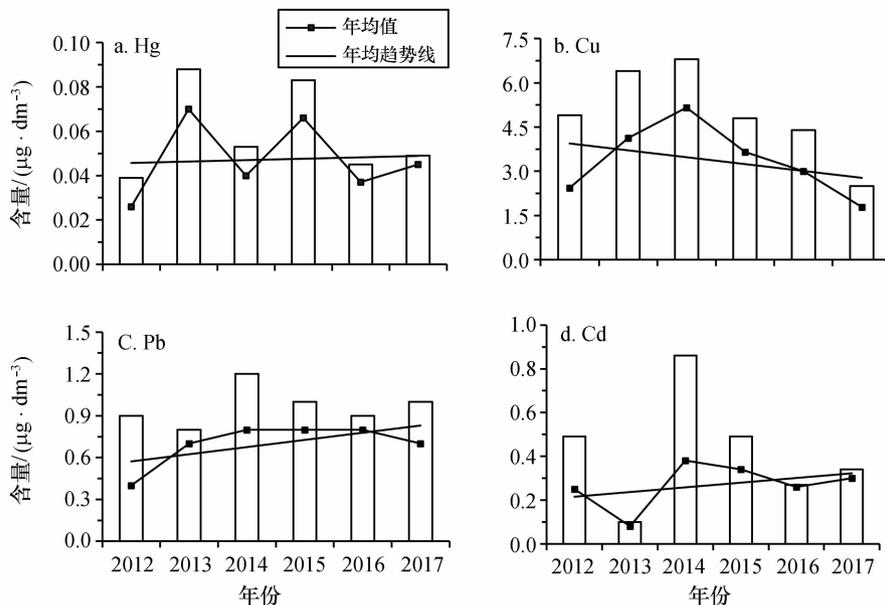


图2 廉州湾贝类养殖区海水中重金属的年度变化

Fig.2 Inter-annual changes of heavy metals in seawater in shellfish culture area of Lianzhou Bay

项重金属因子的含量值代入公式(1)计算,可得相应的海水重金属污染指数(P_i),如表4所示。

表3 海水环境污染状况等级划分

Tab.3 Classification of seawater pollution status

P_i	等级	污染程度
$P_i < 0.4$	1	自然本底
$0.4 \leq P_i < 0.6$	2	清洁
$0.6 \leq P_i < 0.8$	3	较清洁
$0.8 \leq P_i < 1.0$	4	轻度污染
$1.0 \leq P_i < 2.0$	5	中度污染
$P_i \geq 2.0$	6	重度污染

表4 廉州湾贝类养殖区海水中各重金属的污染评价

Tab.4 Evaluation of heavy metal pollution in seawater in shellfish culture area of Lianzhou Bay

年份	P_i			
	Hg	Cu	Pb	Cd
2012	0.13	0.26	0.08	0.05
2013	0.35	0.44	0.14	0.02
2014	0.20	0.55	0.16	0.07
2015	0.33	0.39	0.16	0.07
2016	0.18	0.32	0.16	0.05
2017	0.22	0.19	0.14	0.06

由表4可知,2012—2017年廉州湾贝类养殖区

总体水质状况较好,海水中 Hg、Pb、Cd 属本底水平,2013—2014年 Cu 的污染指数略有增加,属于清洁海水。

2.3 沉积物中重金属含量变化

2012—2017年廉州湾贝类养殖区海域沉积物中重金属含量分析结果见表5。结果表明,除2013年 Cu 和 Pb 外,其余年际间沉积物重金属平均含量均远低于《海洋沉积物质量》^[16]中的一类标准值(适合养殖)。

廉州湾贝类养殖区不同年份间沉积物中重金属含量存在一定差异,表现为 Hg 的平均含量分布为2017年 < 2014年 < 2016年 < 2012年 < 2013年 < 2015年; Cu 的平均含量分布为2012年 < 2014年 < 2016年 < 2017年 < 2015年 < 2013年; Pb 的平均含量分布为2012年 < 2014年 < 2017年 < 2015年 < 2016年 < 2013年; Cd 的平均含量分布为2012年 < 2015年 < 2014年,2017年 < 2013年 < 2016年。研究区域表层沉积物中重金属平均含量由大到小依次为 Pb > Cu > Cd > Hg。

廉州湾贝类养殖区与国内不同贝类养殖区对比分析发现(表6),表层沉积物重金属平均含量与广西其他贝类养殖区相比变化不大;与国内其他省份贝类养殖区相比,Pb 的平均含量略高。

从整体变化趋势来看(图3),2012—2017年廉州湾贝类养殖区海域沉积物中 Hg 和 Cu 的变化趋势一致,均表现为先增加后降低,Hg 和 Cu 的含量变化分别在 0.041 ~ 0.188 mg/kg 和 11.2 ~ 50.3 mg/kg 之

间,平均含量分别为 0.100 mg/kg 和 23.5 mg/kg;Pb 和 Cd 平均含量分别为 33.0 mg/kg 和 0.16 mg/kg,整体均呈现上升趋势,Pb 的最高含量出现在 2013 年,

Cd 的含量峰值为 2016 年.与海水中重金属的年际变化对比分析可知,除 Hg 外,沉积物中 Cu、Pb、Cd 的趋势变化规律与水相中的变化基本一致.

表 5 廉州湾贝类养殖区沉积物重金属含量 (mg/kg)

Tab.5 Heavy metals contents of the sediments in shellfish culture area in Lianzhou Bay

年份	项目	Hg	Cu	Pb	Cd
2012	范围	0.126 ~ 0.142	11.2 ~ 13.8	8.9 ~ 10.2	0.05 ~ 0.14
	均值	0.130	12.6	9.7	0.11
2013	范围	0.112 ~ 0.147	44.1 ~ 50.3	62.9 ~ 68.0	0.15 ~ 0.22
	均值	0.133	47.5	65.9	0.18
2014	范围	0.051 ~ 0.067	14.8 ~ 18.0	12.9 ~ 14.7	0.09 ~ 0.23
	均值	0.059	16.4	13.6	0.15
2015	范围	0.151 ~ 0.188	22.4 ~ 31.3	40.7 ~ 41.0	0.02 ~ 0.22
	均值	0.166	26.3	40.9	0.13
2016	范围	0.056 ~ 0.090	17.4 ~ 20.9	36.2 ~ 45.2	0.20 ~ 0.26
	均值	0.068	18.9	42.2	0.22
2017	范围	0.041 ~ 0.052	15.4 ~ 21.2	23.8 ~ 28.7	0.13 ~ 0.17
	均值	0.045	19.1	25.6	0.15
海洋沉积物一类标准		≤0.20	≤35.0	≤60.0	≤0.50

表 6 国内不同贝类养殖区沉积物重金属含量比较 (mg/kg)

Tab.6 Comparison of heavy metals contents in the sediments of different shellfish culture areas in China

养殖区	年份	项目	Hg	Cu	Pb	Cd
江苏如东 ^[11]	2010	范围	0.002 ~ 0.440	5.27 ~ 40.30	4.99 ~ 60.20	0.05 ~ 0.56
		均值	0.077	11.45	18.48	0.18
宁波象山港 ^[12]	2014	范围	0.046 ~ 0.050	22.8 ~ 28.7	18.6 ~ 24.9	0.08 ~ 0.11
		均值	0.048	25.5	22.0	0.09
天津北部 ^[13]	2012	范围	0.018 ~ 0.227	28.0 ~ 30.9	20.1 ~ 22.2	0.129 ~ 0.140
		均值	0.021	29.2	21.2	0.134
	2013	范围	0.014 ~ 0.015	23.7 ~ 24.7	21.5 ~ 22.4	0.162 ~ 0.186
		均值	0.015	24.3	21.8	0.177
广西钦州 ^[4]	2007	范围	<0.002 ~ 0.140	5 ~ 39	12 ~ 38	<0.04 ~ 0.26
		均值	0.037	22	29	0.14
广西茅尾海 ^[14]	2012	范围	ND ~ 0.132	13.5 ~ 15.3	-	0.27 ~ 0.28
		均值	0.132	14.4	-	0.28
	2013	范围	0.071 ~ 0.129	7.98 ~ 25.70	-	0.08 ~ 0.28
		均值	0.091	18.19	-	0.16
	2014	范围	0.050 ~ 0.079	15.2 ~ 34.5	-	0.30 ~ 0.60
		均值	0.060	22.4	-	0.46
广西防城港 ^[17]	2006 ~ 2008	范围	0.001 ~ 0.303	1.3 ~ 23.0	5.0 ~ 58.0	0.02 ~ 0.13
		均值	0.057	10.5	18.7	0.05

注:“ND”表示未检出;“-”表示文献中无相关数据

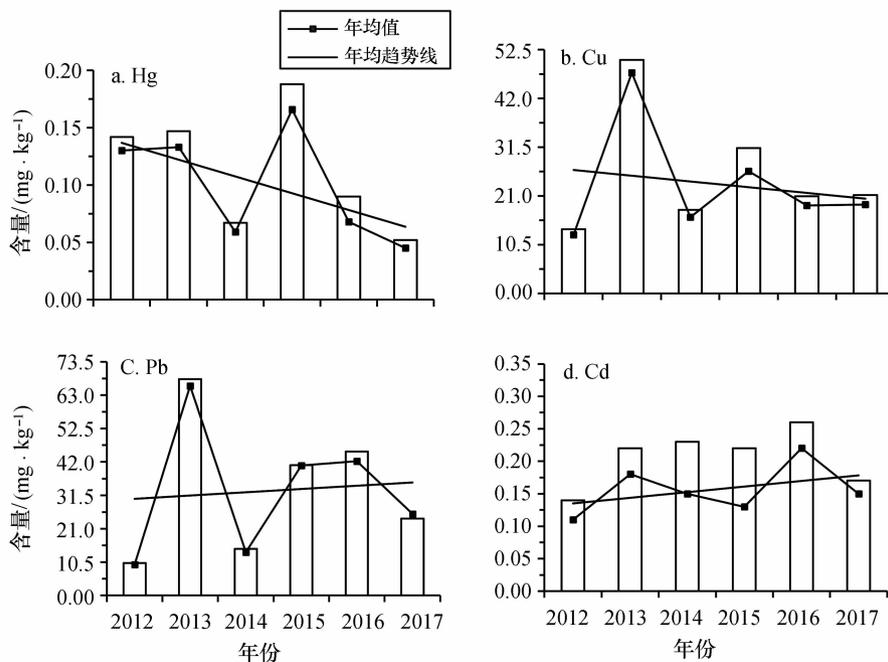


图3 廉州湾贝类养殖区沉积物中重金属的年际变化

Fig. 3 Inter-annual changes of heavy metals in the sediments in shellfish culture area of Lianzhou Bay

2.4 沉积物重金属污染特征

考虑到沉积物背景值的区域特征,本研究采用1988年廉州湾表层沉积物中重金属 Hg、Cu、Pb、Cd 调查值作为背景参考值 (C_n^i),分别为 0.111、11.0、27.1、0.195 mg/kg^[1]. 沉积物中通常采用单种重金属污染指数 (C_f^i) 来反映 i 项重金属的污染程度. 研究区域仅监测沉积物中 4 项重金属,不能满足 Hakanson 提出潜在生态风险指数法的 8 项监测指标要求时,多种重金属综合污染指数 C_d 和 RI 污染指数的污染分级均参照马德毅等(2003)的研究成果^[18],其分级范围可依据所测重金属的数量及种类进行相应的调整^[19]. C_f^i 和 C_d 的污染程度划分如表 7 所示. 通过将研究区域表层沉积物中单项重金属因子的含量值代入公式(2)和(3),可得出相应的 C_f^i 值和 C_d 值(表 8). 从单种重金属污染指数来看,沉积物中 Cu 的平均 C_f^i 值最大(2.13),表现为中等污染水平. 从年际间比较,2013 年 Cu 的 C_f^i 值最高,达到 4.32,

处于较高污染水平;2014、2016—2017 年的 Hg, 2012、2014、2017 年的 Pb,以及除 2016 年外的 Cd 污染系数均小于 1,属于低污染水平;其余年份间的重金属 C_f^i 值均在 1~3 之间,属于中等污染水平. 从综合污染指数 C_d 来看,2012、2014、2017 年的 C_d 值均小于 5,属于低污染水平,其余年份均处于中等污染水平. 该养殖海域表层沉积物重金属整体处于中等污染水平,其单因子污染顺序依次为 Cu > Pb > Hg > Cd.

2.5 沉积物中重金属的潜在生态风险评价

单种重金属污染指数 (C_f^i) 和多种重金属的综合污染指数客观反映了评价区域的污染特征,但不能有效揭示沉积物中重金属的毒性水平、生态风险程度以及重金属污染的敏感性. 根据潜在生态风险污染系数 RI 值来反映区域沉积物的潜在生态风险水平. 研究区域表层沉积物中重金属 Hg、Cu、Pb、Cd 的毒性响应系数分别为 40、5、5、30^[20]. 沉积物中重

表 7 沉积物重金属污染程度划分

Tab. 7 Classification of heavy metal pollution in the sediments

C_f^i	单因子污染程度	C_d	综合污染程度
$C_f^i < 1$	低污染	$C_d < 5$	低污染
$1 \leq C_f^i < 3$	中污染	$5 \leq C_d < 10$	中污染
$3 \leq C_f^i < 6$	较高污染	$10 \leq C_d < 20$	较高污染
$C_f^i \geq 6$	高污染	$C_d \geq 20$	高污染

表 8 研究区域沉积物中各重金属的污染评价

Tab. 8 Assessment of heavy metal pollution of the sediments in study area

年份	C_f^i				C_d
	Hg	Cu	Pb	Cd	
2012	1.17	1.15	0.36	0.56	3.24
2013	1.20	4.32	2.43	0.92	8.87
2014	0.53	1.49	0.50	0.77	3.29
2015	1.50	2.39	1.51	0.67	6.06
2016	0.61	1.72	1.56	1.13	5.02
2017	0.41	1.74	0.94	0.77	3.86
平均值	0.90	2.13	1.22	0.80	5.06

金属的 E_r^i 和 RI 污染系数的具体分级见表 9。将廉州湾贝类养殖区沉积物各重金属的污染指数 (C_f^i) 和毒

性响应系数 (T_r^i) 代入公式(4) 进行计算, 可得到该海域沉积物的 E_r^i 和 RI 污染指数值, 结果列于表 10。

表 9 沉积物重金属潜在生态风险程度划分

Tab. 9 Classification of potential ecological risk of heavy metals in the sediments

E_r^i	单因子潜在生态风险程度	RI	综合潜在生态风险程度
$E_r^i < 40$	低潜在生态风险	$RI < 140$	低潜在生态风险
$40 \leq E_r^i < 80$	中潜在生态风险	$140 \leq RI < 280$	中潜在生态风险
$80 \leq E_r^i < 160$	较高潜在生态风险	$280 \leq RI < 560$	高潜在生态风险
$160 \leq E_r^i < 320$	高潜在生态风险	$RI \geq 560$	很高潜在生态风险
$E_r^i \geq 320$	很高潜在生态风险		

表 10 研究区域沉积物重金属的潜在生态风险评价

Tab. 10 Potential ecological risk assessment of heavy metals of the sediments in study area

年份	E_r^i				RI	潜在生态风险程度
	Hg	Cu	Pb	Cd		
2012	46.80	5.75	1.80	16.80	71.15	低风险
2013	48.00	21.60	12.15	27.60	109.35	低风险
2014	21.20	7.45	2.50	23.10	54.25	低风险
2015	60.00	11.95	7.55	20.10	99.60	低风险
2016	24.40	8.60	7.80	33.90	74.70	低风险
2017	16.40	8.60	4.70	23.10	52.80	低风险
平均值	36.13	10.66	6.08	24.10	76.98	低风险

从表 10 可以看出, 该养殖海域沉积物中单项重金属的平均 E_r^i 值均小于 40, 潜在生态风险水平较低; 单因子 Hg 的平均 E_r^i 值为 36.13, 潜在生态危害最大, 接近中等生态危害水平, 其中 2012、2013、2015 年 Hg 的潜在生态风险指数分别达到了 46.80、

48.00 和 60.00; 各重金属的平均潜在生态危害程度由大到小表现为 $Hg > Cd > Cu > Pb$ 。从多种重金属的潜在生态风险程度 RI 值来看, 6 次调查结果的 RI 平均值均小于 140, 属于低潜在生态风险水平, 其中 2013 年的 RI 值最高, 达到 109.35, 主要原因是 Hg

的 E_i^r 值偏高引起的. 总体来看, 廉州湾贝类养殖区沉积物中重金属的潜在生态危害程度属于低潜在生态风险的范畴.

3 结论

(1) 廉州湾贝类养殖区海水中重金属含量处于较低水平, 均符合海水水质标准中的二类标准值(适合水产养殖); 4 种重金属的平均含量 ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$) 依次为 $\text{Cu}(3.6) > \text{Pb}(0.7) > \text{Cd}(0.27) > \text{Hg}(0.047)$, 除 Cu 外, Hg、Pb、Cd 的年际变化均呈明显上升趋势. 海水中重金属的单因子污染程度顺序为 $\text{Cu}(0.36) > \text{Hg}(0.24) > \text{Pb}(0.14) > \text{Cd}(0.05)$, 整体水质状况基本属于本底水平.

(2) 表层沉积物中重金属含量除 2013 年 Cu 和 Pb 外, 其余重金属平均浓度均满足一类海洋沉积物标准, 与国内其他主要贝类养殖区相比, Pb 的平均

含量略高; 各重金属含量 (mg/kg) 顺序为 $\text{Pb}(33.0) > \text{Cu}(23.5) > \text{Cd}(0.16) > \text{Hg}(0.10)$, 除 Hg 外, 沉积物中 Cu、Pb、Cd 的年际变化趋势和水相中的变化基本一致. 从单种重金属的污染指数 (C_f^i) 来看, Cu 的平均 C_f^i 值最高(2.13), 属于中等污染水平, 其中 2013 年达到最大值(4.32); 各重金属的污染程度由大到小依次为 $\text{Cu}(2.13) > \text{Pb}(1.22) > \text{Hg}(0.90) > \text{Cd}(0.80)$. 从多种重金属综合污染指数 (C_d) 来看, 平均 C_d 值为 5.06, 属于中等污染水平.

(3) 该养殖海域沉积物重金属的整体生态风险水平较低, 风险系数均值为 76.98; 各重金属污染因子的潜在生态风险系数顺序为 $\text{Hg}(36.13) > \text{Cd}(24.10) > \text{Cu}(10.66) > \text{Pb}(6.08)$, 其中 Hg 的潜在生态风险指数最大, 相对贡献率达到 23%, 表明研究区域主要受 Hg 的潜在生态风险影响.

参考文献:

- [1] 李树华, 黎广钊, 叶维强, 等. 中国海湾志广西海湾分册[M]. 北京: 海洋出版社, 1993: 52-108.
- [2] 黎小正. 广西合浦廉州湾增养殖区水域营养水平分析与评价[J]. 广西科学院学报, 2007, 23(1): 39-44.
- [3] 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.
- [4] 黎小正, 吴祥庆, 庞燕飞, 等. 广西主要海水贝类养殖区环境质量状况评价[J]. 广西科学院学报, 2009, 25(2): 111-115.
- [5] 廖永志, 冯少波, 冯钊, 等. 广西合浦廉州湾贝类养殖区表层沉积物重金属汞和砷污染评价[J]. 南方农业学报, 2014, 45(2): 305-308.
- [6] 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.
- [7] 姚茹, 黎小正. 广西沿海主要贝类养殖区海水、表层沉积物及近江牡蛎体内重金属镉监测与评价[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(1): 316-318.
- [8] 国家海洋局. 海洋监测规范: GB 17378—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [9] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach[J]. Water Research, 1980, 14(8): 975-1 001.
- [10] 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.
- [11] 廖勇, 黄厚见, 李磊, 等. 江苏如东贝类养殖区重金属的含量分布特征及潜在生态风险评价[J]. 中国环境监测, 2012, 28(6): 4-8.
- [12] 徐国锋, 何东海, 毛伟宏, 等. 象山港毛蚶种苗区重金属的含量分布特征及生态风险评价[J]. 应用海洋学学报, 2016, 35(3): 348-354.
- [13] 何荣, 刘洋. 天津北部近岸增养殖区重金属污染的调查与评价[J]. 海洋湖沼通报, 2015(4): 149-154.
- [14] 朱文娟, 黄祥娟, 张栋, 等. 茅尾海养殖区重金属污染调查与评价[J]. 海洋开发与管理, 2016, 33(2): 36-38.
- [15] 贾晓平, 杜飞雁, 林钦, 等. 海洋渔场生态环境质量状况综合评价方法探讨[J]. 中国水产科学, 2003, 10(2): 160-164.
- [16] 国家海洋局. 海洋沉积物质量: GB 18668—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [17] 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.
- [18] 马德毅, 王菊英. 中国主要河口沉积物污染及潜在生态风险评价[J]. 中国环境科学, 2003, 23(5): 521-525.
- [19] 刘成, 王兆印, 何耘, 等. 环渤海湾诸河口潜在生态风险评价[J]. 环境科学研究, 2002, 15(5): 33-37.
- [20] 蒋红, 胡益峰, 徐灵燕, 等. 舟山排污口邻近海域沉积物污染及潜在生态风险评价[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(1): 50-52.

Variation of heavy metals in shellfish culture area of Lianzhou Bay, Guangxi and potential ecological risk assessment

CHEN Ji-yi, JI Chun-yan, CHEN Xu-yang, ZHANG Chun-hua

(Beihai Marine Environment Monitoring Center Station of SOA, Beihai 536000, China)

Abstract: According to the on-site monitoring data of shellfish culture area in Lianzhou Bay in August from 2012 to 2017, the contents of heavy metals (Hg, Cu, Pb and Cd) in seawater and surface sediments were discussed, and the pollution status of heavy metals in two media and potential hazards of heavy metals in sediments were evaluated. The results showed that the average contents of heavy metals in seawater were $Cu > Pb > Cd > Hg$. The inter-annual variations of Hg, Pb and Cd all showed an obvious upward trend except for Cu. The pollution level was $Cu > Hg > Pb > Cd$ while the overall water quality of heavy metals was basically at the background level. The average contents of heavy metals in surface sediments were $Pb > Cu > Cd > Hg$. The inter-annual variations of Cu, Pb and Cd were basically the same as those in the aqueous phase except for Hg. The pollution level was $Cu > Pb > Hg > Cd$ while the overall pollution level was medium. The potential ecological risk level of heavy metals in surface sediments was $Hg > Cd > Cu > Pb$ and the synthetical potential ecological risk index RI was less than 140 with an average 76.98 from the results of 6 surveys. It indicates that the area was in the state of low potential ecological risk level.

Key words: marine environmental science; shellfish culture area; heavy metal; content change; ecological risk assessment; Lianzhou Bay

DOI:10.3969/J. ISSN.2095-4972.2018.04.013

(责任编辑:王 静)