

胡睿, 窦衍光, 邹亮, 等. 胶州湾海域表层沉积物重金属元素分布特征与风险评价[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(11): 11-21.

胶州湾海域表层沉积物重金属元素 分布特征与风险评价

胡睿^{1,2}, 窦衍光^{1,2}, 邹亮^{1,2}, 林曦^{1,2}, 薛碧颖^{1,2}, 王蜜蕾^{1,2}, 王青^{3,4}, 解永健^{3,4}

(1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266237; 2 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266237; 3 青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局), 青岛 266100; 4 自然资源部滨海城市地下空间地质安全重点实验室, 青岛 266100)

摘要:分析了胶州湾海域 150 个站位表层沉积物 Hg、Cd、Pb、Zn、Cu、Cr、As 等 7 种重金属元素的分布特征, 对海洋沉积物质量进行标准分类, 利用地质积累指数法和潜在生态风险指数法, 对重金属元素的污染程度和生态风险等级进行评价。结果表明, 研究区表层沉积物重金属元素呈现由岸向海逐渐减少的分布特征, 且胶州湾东部近岸区域高于西部区域。经计算评价, 胶州湾内表层沉积物 7 种重金属元素平均含量均未超过《海洋沉积物质量 (GB 18668—2002)》规定的第一类沉积物标准, 研究区东侧部分站位达到二类和三类标准。研究区表层沉积物重金属总体污染程度属清洁—轻度污染, 综合潜在生态风险程度低。自 20 世纪 80 年代以来, 人类活动已成为影响胶州湾表层沉积物重金属元素分布的主要因素。

关键词:胶州湾; 表层沉积物; 重金属; 分布特征; 风险评价

中图分类号: P736.21

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.104

0 引言

近海海域是一个动态且复杂的环境系统, 大量陆源污染物汇聚于此。在其众多的污染物中, 重金属因其污染持久性、生物地球化学循环作用和生态危害性而成为独特一类^[1]。近年来, 通过重金属污染调查与研究, 揭示海洋环境和海洋沉积物的污染状况早已成为海洋科学技术的研究热点和难点问题。

胶州湾位于山东半岛南部, 是一个典型的半封闭海湾。20 世纪 70 年代以来, 胶州湾周边的青岛市人口急剧增长, 由此带来的生活污水和工农业废水通过周边河流径流汇入胶州湾中, 造成了胶州湾内生态环境急剧破坏, 对海洋生态环境和人类健康

造成严重威胁^[2]。而海域沉积物作为重金属重要的“汇”和海水二次污染的“源”, 在重金属运储和研究过程中发挥着重要作用^[3-5]。一些学者在胶州湾重金属污染方面进行了大量工作^[6-16], 但时间久远, 胶州湾海域生态环境质量亟待重新评估。

本文依托 2019 年在胶州湾海域取得的 150 个表层沉积物样品, 分析了其中 7 种重金属元素 (Cu、Pb、Zn、Cr、Cd、As、Hg), 揭示了胶州湾表层沉积物中重金属元素的分布特征, 并运用地质积累指数法和潜在生态风险指数法对胶州湾重金属的潜在生态风险进行了评价, 以期对胶州湾自然资源综合管理和生态修复工作提供支持。

1 材料与方 法

1.1 样品采集

2019 年, 在胶州湾海域布设了 150 个表层沉积物取样站位 (图 1), 采用箱式取样器进行取样。样品采集后用塑料勺取表层 0~2 cm 未受干扰的样品装入聚乙烯样品袋中, 在 0~4 °C 环境下保存待测。

收稿日期: 2021-03-28

资助项目: 中国地质调查局地质调查二级项目“青岛多要素城市地质调查”(DD20189230); 山东省自然资源厅 2019 年度省级地质勘查项目“山东省胶州湾海岸带综合地质调查项目”(鲁勘字(2019)50 号)

作者简介: 胡睿(1987—), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事海洋地质方面的研究工作. E-mail: pejahooray@hotmail.com

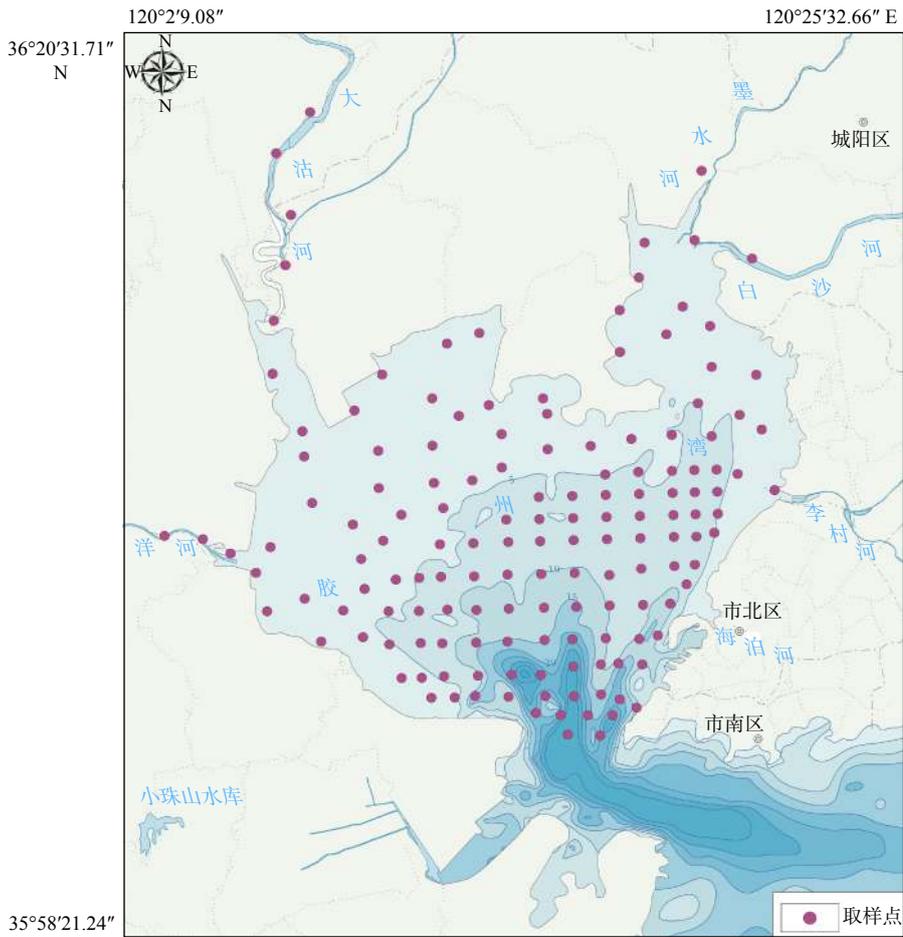


图 1 胶州湾表层沉积物样品站位分布

Fig.1 Distribution of surface sediments samples from Jiaozhou Bay

1.2 分析测试

重金属元素的测试由自然资源部海洋地质测试检测中心完成,依照《GB/T 20260—2006 海底沉积物地球化学分析方法》中的具体要求执行。室内将样品解冻至室温,在烘箱中($<60\text{ }^{\circ}\text{C}$)烘干 24 h,用研钵将其研碎并全部通过 250 目筛,充分混匀后取样以供测定。Cu、Pb、Zn 采用 X 荧光光谱法(XRF)测定,Cr、Cd 采用等离子质谱法(ICP-MS)测定,As、Hg 采用原子荧光光谱法(AFS)测定。为检测分析方法的精确性,将所有测试结果与标准沉积物样品进行对比,结果发现分析误差均 $<5\%$,表示测试结果准确可靠。

1.3 质量评价方法

1.3.1 地质积累指数法

地质积累指数法最早由 MÜLLER 于 1969 年提出^[17],是一种研究沉积物中重金属污染的定量指标,可以反映沉积物中的重金属富集程度,被广泛

应用于沉积物中重金属污染研究。其计算公式为:

$$I_{\text{geo}} = \log_2(C_n/kB_n)$$

式中: C_n 为重金属元素 n 在沉积物中的实测含量;

B_n 为重金属元素 n 在沉积母质中的地球化学背景值,根据以往的研究^[15,18],本文选取胶州湾中生代花岗岩中重金属元素的含量:As(6.28)、Cd(0.049)、Cr(66.63)、Cu(19.25)、Hg(0.23)、Pb(19.49)、Zn(39.98)^[19],单位 $\mu\text{g/g}$ 。

k 为考虑各地岩石的岩性差异可能会引起的背景值的变动而取的系数,通常取 1.5。

依据 I_{geo} 值将重金属污染程度划分为 7 个等级,即 0~6 级,表示污染程度由无污染至极强污染,地质积累指数与重金属污染程度关系见表 1。

1.3.2 潜在生态风险指数法

潜在生态风险指数法由 HAKANSON^[20] 于 1980 年提出,该方法综合考虑了重金属的毒性和评价区域重金属背景值差异,消除了区域差异和异源污染的影响,成为当前国际应用于沉积物重金属污染评价最广泛的方法之一^[21-23]。其计算公式为:

表 1 地质积累指数法污染程度分级

Table 1 Index of geoaccumulation and pollution levels

I_{geo}	$I_{geo} \leq 0$	$0 < I_{geo} \leq 1$	$1 < I_{geo} \leq 2$	$2 < I_{geo} \leq 3$	$3 < I_{geo} \leq 4$	$4 < I_{geo} \leq 5$	$I_{geo} > 5$
级别	0	1	2	3	4	5	6
污染程度	清洁	轻度	偏中度	中度	偏重度	重度	严重

$$C_f^i = \frac{C_i}{C_n^i}$$

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_f^i$$

$$E_r^i = T_r^i * C_f^i$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i * C_f^i = \sum_{i=1}^n T_r^i * \frac{C_i}{C_n^i}$$

E_r^i 为污染物 i 的潜在生态风险参数;

C_f^i 为污染物 i 的污染系数;

C_i 为污染物的实测含量;

C_n^i 为污染物 i 计算时的参比值, 一般采用物业化以前的沉积物重金属最高背景值(表 2)^[24];

T_r^i 为污染物 i 的毒性响应参数, 反映重金属毒性及生物对重金属污染的敏感程度(表 2);

RI 为污染物潜在生态风险指数。 C_f^i 、 C_d 、 E_r^i 与 RI 值与潜在生态风险指数关系见表 3。

式中: C_d 为污染物总体污染参数;

表 2 重金属的背景参照值和毒性系数

Table 2 Background reference values and toxicity coefficient of heavy metals

重金属元素	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Cr	As
C_n^i /(mg/kg)	0.25	1	70	175	50	90	15
T_r^i	40	30	5	1	5	2	10

表 3 潜在生态风险指数法污染程度分级

Table 3 Potential ecological risk index and pollution levels

C_f^i	单因子污染程度	C_d	综合污染程度	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
<1	低	<8	低	<40	低	<150	低
1~3	中等	8~16	中等	40~80	中等	150~300	中等
3~6	重	16~32	重	80~160	较重	300~600	重
≥ 6	严重	≥ 32	严重	160~320	重	≥ 600	严重
				≥ 320	严重		

2 重金属分布特征

从表层样重金属元素统计分析中可以看到(表 4), 研究区内沉积物重金属元素平均含量未超过国家海洋沉积物质量第一类标准, 总体重金属污染物含量不高。根据胶州湾表层沉积物重金属元素分布(图 2)可以看到, 除 Hg 元素外, 其余 6 种重金属元素分布总体特征比较相似, 高值区大多分布在湾内自西侧洋河河口至东南侧大港码头一线的近岸海域, 低值区分布在湾内中西部远岸海域, 分布较为均匀。Hg 元素含量总体不高, 在湾东侧大港码头至北侧白沙河、墨水河河口段含量较高。

值得注意的是, 不同重金属元素的变化幅度较

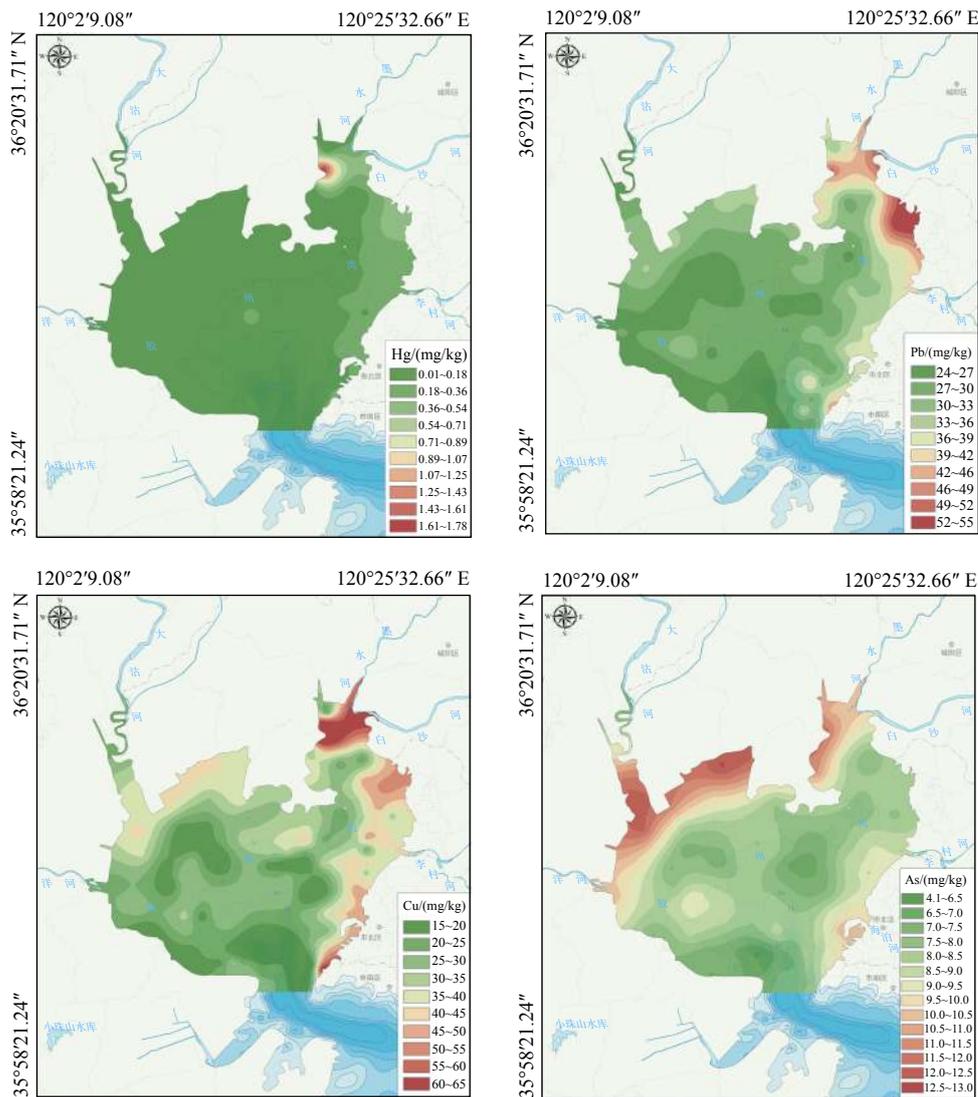
大, 其中 Pb、Zn、Cu、Cr 元素极值差与标准差较其他元素明显偏大, 某些站位 Pb、Zn、Cu、Cr 元素含量达到国家海洋沉积物二类甚至三类标准。对照海洋沉积物标准, 绘制了胶州湾海洋沉积物质量分类图(图 3)。可以看到, 胶州湾大部分海域沉积物属于一类, 重金属浓度总体偏低, 沉积环境质量较好; 二类沉积物主要分布在湾内西北侧大沽河口附近沿岸与湾内东侧沿岸海域, 这些区域 Pb、Zn、Cu、Cr 元素浓度有所升高; 三类沉积物主要集中在大港码头、墨水河和白沙河河口处, 为本研究沉积物重金属含量最大值分布区。

此外, 同胶州湾外海相比(表 4), 湾内 7 种重金属含量明显偏高。同表 4 列举的国内外其他海湾相比, 本研究区大多数重金属含量(Hg、Pb、Zn、Cr)比北部湾和美国加利福尼亚湾要高, 但均低于中国

表 4 表层样重金属元素含量

Table 4 Heavy metal contents in surface sediments of Jiaozhou Bay

重金属元素	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Cr	As
平均值($n=150$)	0.11	0.10	30.58	85.50	30.15	62.94	8.54
最大值	1.83	0.67	70.30	829.00	114.00	169.00	15.50
最小值	0.0092	0.04	18.50	18.30	6.00	13.90	4.10
标准差	0.17	0.10	8.50	73.79	16.11	20.36	2.19
国家标准 I / II / III 类 ^[25]	0.2/0.5/1	0.5/1.5/5	60/130/250	150/350/600	35/100/200	80/150/270	20/65/93
胶州湾外海平均值 ^[26]	0.04	0.09	25.25	47.51	17.57	48.58	8.44
中国泉州湾 ^[27]	0.40	0.59	67.70	179.60	71.40	82.00	21.70
北部湾 ^[28]	0.06	0.16	27.99	67.28	58.26	53.65	9.53
美国加利福尼亚湾 ^[29]	0.05	0.33	10.90	59.00	15.00	39.0	5.10
爱琴海(莱斯沃斯岛) ^[30]	—	0.15	46.00	85.90	30.00	97.60	—



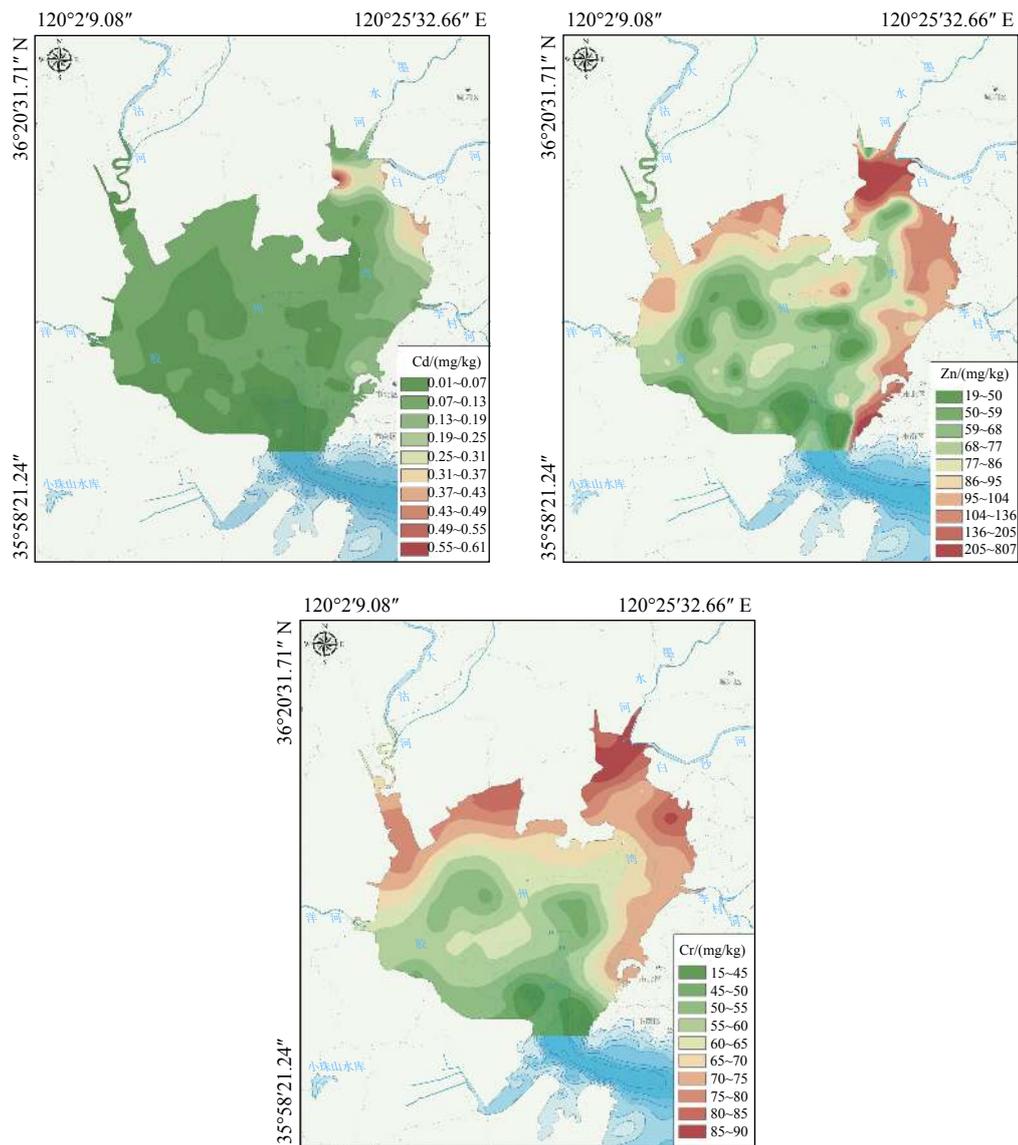


图 2 胶州湾表层沉积物重金属元素含量分布

Fig.2 Distribution of heavy metal contents in the surface sediments from Jiaozhou Bay

泉州湾和爱琴海(莱斯沃斯岛)。总体来看,胶州湾表层沉积物重金属分布呈现由岸向海逐渐减少的分布特征,且东部区域高于西部区域。这主要是由于青岛市工业区位于胶州湾东部沿岸,湾内沉积物重金属含量受陆源物质输入、工业污染及人类活动等影响所致。

3 重金属污染与风险评价

3.1 地质积累指数法评价

根据地质累计指数计算公式得到出各重金属元素 I_{geo} 值,由结果可以看到(表 5),研究区 Hg、Cu、Cr、As 4 种元素 I_{geo} 平均值为负,总体污染程度为

清洁, Cd、Pb、Zn 3 种元素 I_{geo} 平均值均 < 1 , 总体属轻度污染。结合图 4 可以看到, 在全部 150 个站位中, Hg 元素中有 4 个站位超标, 其中 1 个属中度污染; Cd 元素中有 78 个站位超标, 约占总站位数的 52%, 其中有 10 个站位属偏中度污染, 有 2 个站位属中度污染, 有 3 个站位属偏重度污染; Pb 元素中有 66 个站位超标, 占总数的 44%, 其中 3 个属偏中度污染; Zn 元素的污染面积较大, 共有 115 个站位超标, 达到总站位数的 76.7%, 其中 4 个属偏中度污染, 3 个属中度污染, 1 个属偏重度污染; Cu 元素中有 67 个站位超标, 其中 6 个属偏中度污染; Cr 元素的污染面积较小, 只有 5 个站位超标, 属轻度污染; As 元素中有 32 个站位超标, 均属于轻度污染。根据地质积累指数法结果判断, 本区域重金属污染

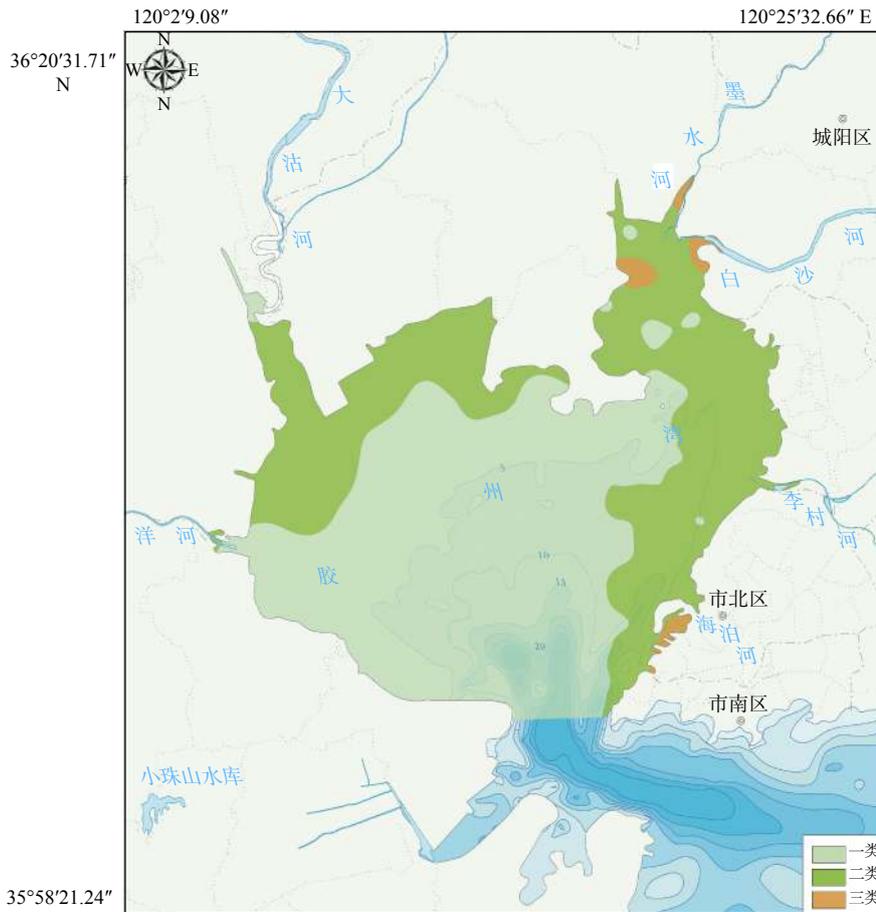


图 3 胶州湾海洋沉积物质量标准分类

Fig.3 The standard classification of marine sediment quality of Jiaozhou Bay

表 5 胶州湾表层沉积物重金属元素 I_{geo} 值

Table 5 Geoaccumulation index (I_{geo}) of heavy metals in surface sediments of Jiaozhou Bay

重金属元素	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Cr	As
I_{geo} 最大值	2.41	3.19	1.27	3.79	1.98	0.76	0.72
I_{geo} 最小值	-5.23	-0.88	-0.66	-1.71	-2.27	-2.85	-1.20
I_{geo} 平均值	-2.17	0.13	0.02	0.31	-0.10	-0.75	-0.19
总体污染程度	清洁	轻度	轻度	轻度	清洁	清洁	清洁

程度总体偏低,属清洁-轻度污染程度,但 Cd、Pb、Zn 污染程度略高,在湾内东侧码头、河口等处汇集,且部分站位已属偏重度污染,亟需关注。各重金属元素污染程度依次为 $Zn > Cd > Pb > Cu > As > Cr > Hg$ 。

3.2 潜在生态风险指数法评价

根据 C_f^i 、 C_d 、 E_r^i 与 RI 值计算结果,研究区重金属单因子污染程度与生态危害程度评价结果见表 6。从单因子污染程度 C_f^i 结果来看, Hg 元素有 12 个站位属于中等污染, 1 个严重污染; Cd 元素全部为低

污染站位; Pb 元素 1 个站位属于中等污染; Zn 有 4 个站位中等污染, 1 个站位重污染; Cu 元素有 7 个站位属于中等污染; Cr 有 7 个站位属于中等污染; As 有 2 个站位属于中等污染。从综合污染程度 C_d 结果来看,研究区绝大部分站位为低风险污染,仅有 4 个站位达到中等污染或重污染程度,分别位于大港码头与墨水河与白沙河口处。从单因子潜在生态风险程度 E_r^i 结果来看,除 Hg 元素外, Cd、Pb、Zn、Cu、Cr、As 元素全部为低风险程度。Hg 元素共有 13 个站位属于中等风险、2 个较重风险、1 个重风险,皆位于湾内东侧区域。从综合潜在生态风险程度 RI 结果来看(图 5),只有 1 个站位达到重风

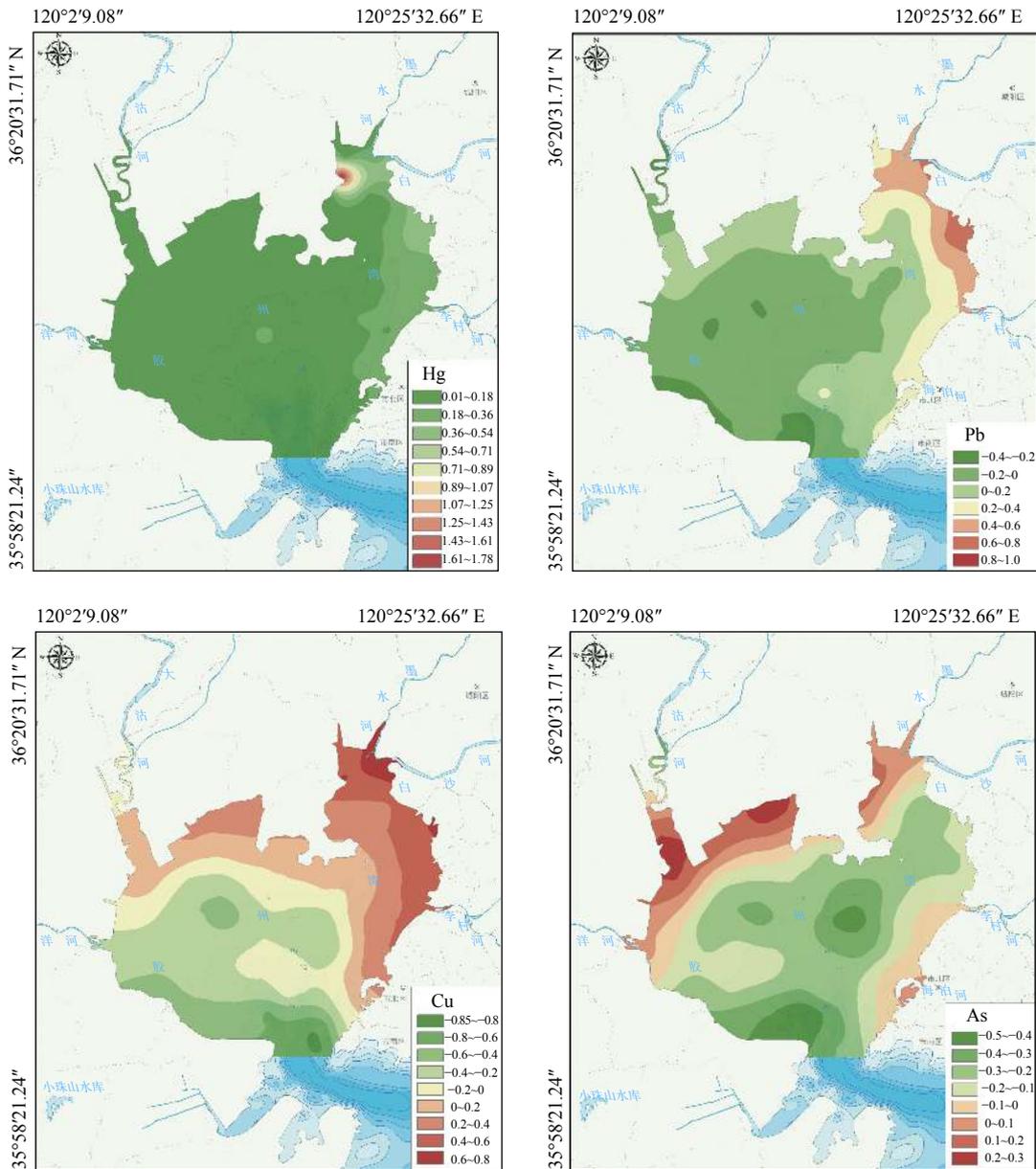
险级别, RI 值为 344.08, 这是由于该站位 Hg 元素含量较高且 Hg 毒性系数最大所致, 除此站位外其余站位皆为低风险程度。研究区重金属元素生态风险参数排序依次为 $Hg > As > Cu > Cd > Pb > Cr > Zn$ 。

3.3 胶州湾重金属污染来源分析

近海沉积物中金属元素的来源主要有自然来源和人为来源。工业发展之前主要来自河流经过的地区, 由于岩石风化, 可溶性物质和悬浮物随着河流径流而迁移进入海洋。工业发展后, 矿山开发的废弃物、工厂的排放物、农肥农产品的废弃物、大量生活污水都直接或间接通过河流排入海, 造成河口海岸区的污染^[1]。由表 7^[12] 可以看到, 在

20 世纪 80 年代之前, 胶州湾海域物质来源以大沽河、洋河、墨水河、白沙河、李村河、海泊河等沿岸河流输沙为主, 根据以往的研究^[31-32], 同时期胶州湾表层沉积物中重金属以自然来源为主, 受人为影响较小。

现阶段胶州湾重金属分布高值区主要位于湾内东部和西北部近岸海域。其中胶州湾东部沿岸自青岛市工业发展以来, 一直是主要的钢铁、化工、纺织、电力等重工业和港口的主要聚集区, 结合表 7 可以看到, 随着胶州湾周边人口快速增长和工农业的飞跃式发展, 导致工农业废水、生活污水和固体垃圾的排放量逐渐增加。有研究表明^[33], 胶州湾东岸工业污水年排放量由 20 世纪 80 年代的约 7.0×10^7 t/a 快速增加至 90 年代初的约 1.0×10^8 t/a, 之后



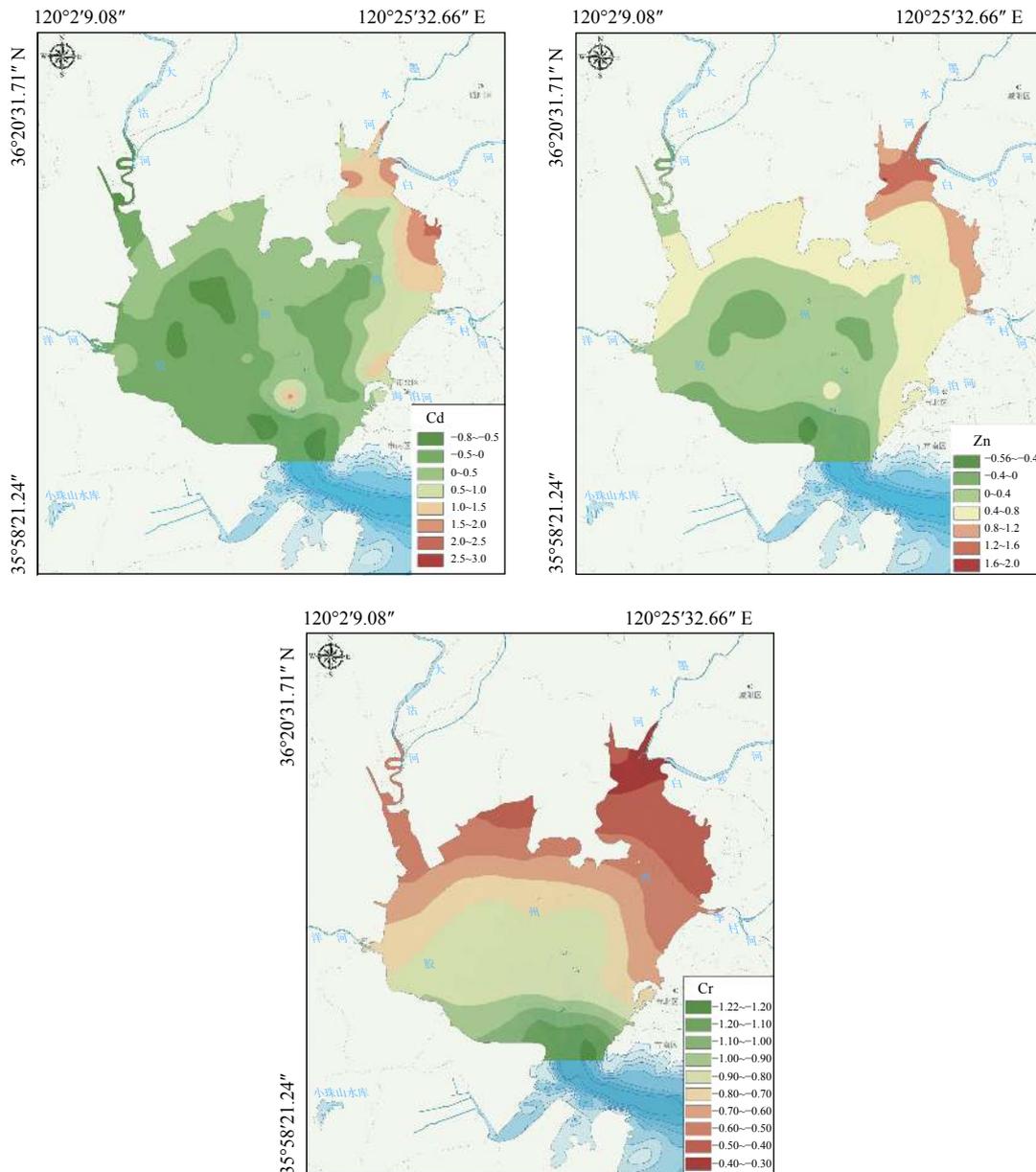


图 4 胶州湾表层沉积物重金属元素 I_{geo} 值分布

Fig.4 Distribution of heavy metal elements I_{geo} in surface sediments of Jiaozhou Bay

表 6 胶州湾表层沉积物重金属元素生态风险评价

Table 6 Potential ecological risk assessments of heavy metals in surface sediments of Jiaozhou Bay

	Hg		Cd		Pb		Zn		Cu		Cr		As		C_d	RI
	C_f^i	E_r^i														
最大值	7.32	292.80	0.67	20.10	1.00	5.02	4.74	4.74	2.28	11.40	1.88	3.76	1.03	10.33	18.23	344.08
最小值	0.04	1.47	0.04	1.20	0.26	1.32	0.10	0.10	0.12	0.60	0.15	0.31	0.27	2.73	1.17	9.90
平均值	0.45	18.03	0.10	2.92	0.44	2.18	0.49	0.49	0.60	3.01	0.70	1.40	0.57	5.69	3.35	33.74

一直保持在约 $9.8 \times 10^7 t/a$ 的水平;此外,由胶州湾西北部沿岸入海的大沽河是青岛地区的母亲河,其干流及支流流经青岛市主要农作物产区,因此,作为农药重要组分的重金属元素 As 随河水汇入胶州湾,并在河口区域出现了高值区。

4 结论

(1)研究区表层沉积物 7 种重金属元素 Hg、Cd、Pb、Zn、Cu、Cr、As 的分布在胶州湾内呈现由岸向

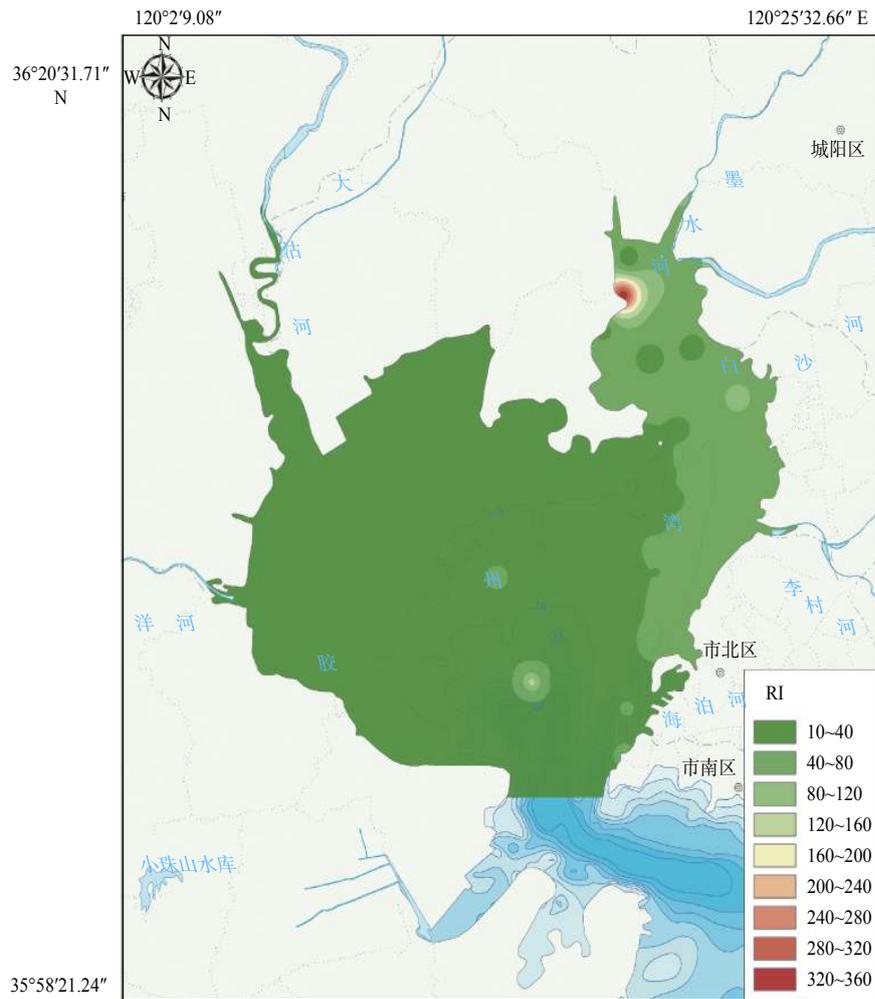


图 5 胶州湾表层沉积物重金属元素 RI 值分布

Fig.5 Distribution of heavy metal elements RI in surface sediments of Jiaozhou Bay

表 7 胶州湾沉积物主要来源

Table 7 Main sources of Jiaozhou Bay sediments

时段	/(10 ⁴ t/a)			
	1952—1959年	1960—1969年	1970—1979年	1980—1989年
沿岸河流输沙	215.3	140.8	41.5	2.94
固体垃圾排放	60	100	100	161.15
海岸侵蚀	1	1	1	1
大气沉降	6.5	6.5	6.5	6.5

海逐渐减少的分布特征,且东部区域高于西部区域。高值区主要分布于胶州湾内东部和西北部近岸海域,低值区分布在湾内中西部远岸海域。

(2)研究区表层沉积物 7 种重金属元素平均含量均未超过《海洋沉积物质量(GB 18668—2002)》^[25] 规定的第一类沉积物标准,胶州湾东部海域部分站位表层沉积物重金属元素 Hg、Pb、Zn、Cu、Cr 含量较高,沉积物质量达到二类和三类沉积物标准。

(3)研究区表层沉积物重金属污染程度总体偏低,属清洁—轻度污染程度,但 Cd、Pb、Zn 污染面

积较大,在胶州湾东部码头、河口等处汇集,部分站位属偏重度污染。各重金属元素污染程度依次为 Zn > Cd > Pb > Cu > As > Cr > Hg。研究区表层沉积物重金属综合潜在生态风险程度低,研究区重金属元素生态风险参数排序依次为 Hg > As > Cu > Cd > Pb > Cr > Zn。

(4)自 20 世纪 80 年代以来,进入胶州湾的工农业废水、生活污水和固体垃圾的排放量逐渐增加,人类活动已成为影响胶州湾表层沉积物重金属元素分布的主要因素。

参考文献:

- [1] 李玉, 闫国旺, 张亚亚. 近海重金属污染调查与分析[M]. 南京: 河海大学出版社, 2019: 1-17.
- [2] 张珂, 王朝晖, 冯杰, 等. 胶州湾表层沉积物重金属分布特征及污染评价[J]. *分析测试学报*, 2011, 30(12): 1406-1411.
- [3] FORSTNER U. Metal pollution in the aquatic environment[M]. New York: Springer-Verlag, 1979: 110-192.
- [4] LIVETT E A. Geochemical monitoring of atmospheric heavy metal pollution: theory and applications[J]. *Advances in Ecological Research*, 1988, 18: 65-177.
- [5] 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.
- [6] 殷效彩, 杨永亮, 余季金, 等. 胶州湾表层沉积物重金属分布研究[J]. *青岛大学学报(自然科学版)*, 2001, 14(1): 76-80.
- [7] 李玉, 俞志明, 曹西华, 等. 重金属在胶州湾表层沉积物中的分布与富集[J]. *海洋与湖沼*, 2005, 36(6): 580-589.
- [8] 李玉, 俞志明, 宋秀贤. 运用主成分分析(PCA)评价海洋沉积物中重金属污染来源[J]. *环境科学*, 2006, 27(1): 137-141.
- [9] 刘飞, 钟少军, 蒲晓强, 等. 胶州湾李村河口沉积物中重金属分布特征及其控制因素[J]. *海洋科学*, 2006, 30(4): 30-35.
- [10] 徐晓达, 林振宏, 李绍全. 胶州湾重金属污染研究[J]. *海洋科学*, 2005, 29(1): 48-53.
- [11] 陈正新, 王保军, 黄海燕, 等. 胶州湾底质痕量元素污染研究[J]. *海洋与湖沼*, 2006, 37(3): 280-288.
- [12] 何书锋, 李广雪, 史经昊. 胶州湾表层沉积物重金属元素分布特征及其影响因素[J]. *海洋地质前沿*, 2013, 29(4): 41-48.
- [13] 王红晋, 叶思源, 杜远生, 等. 胶州湾东部和青岛前海表层沉积物重金属分布特征及其对比研究[J]. *海洋湖沼通报*, 2007(4): 80-86.
- [14] 肖彩玲, 陈路锋, 李雁宾. 胶州湾沉积物重金属分布特征及生态风险评价[J]. *中国科技论文*, 2017, 12(9): 1079-1086.
- [15] 董贺平, 邹建军, 李广雪, 等. 胶州湾西北部沉积物中重金属元素分布特征及评价[J]. *海洋地质动态*, 2007, 23(8): 4-9.
- [16] 刘珊珊, 张勇, 毕世普, 等. 青岛近海底质沉积物重金属元素分布特征及环境质量评价[J]. *海洋环境科学*, 2015, 34(6): 891-897.
- [17] MULLER G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J]. *Geojournal*, 1969, 2: 108-118.
- [18] 何书锋. 胶州湾沉积物重金属元素地球化学特征及其环境记录[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [19] 青岛海洋地质研究所. 青岛市1: 5万环境地质调查与评价报告[R]. 青岛: 青岛海洋地质研究所, 2004.
- [20] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach[J]. *Water Research*, 1980, 14(8): 975-1001.
- [21] 周凤霞. 从海岸带到深海部分化学参数的环境特征与指示意义[D]. 北京: 中国科学院, 2016: 1-20.
- [22] 徐争启, 倪师军, 庾先国, 等. 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J]. *环境科学与技术*, 2008, 31(2): 112-115.
- [23] 徐刚, 刘健, 孔祥淮. 南黄海西部陆架区表层沉积物重金属污染评价[J]. *海洋环境科学*, 2012, 31(2): 181-185.
- [24] 丁喜桂, 叶思源, 高宗军. 近海沉积物重金属污染评价方法[J]. *海洋地质动态*, 2005, 21(8): 31-36, 38.
- [25] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局GB 18668—2002, 海洋沉积物质量[S]. 北京: 中国标准出版社.
- [26] 青岛海洋地质研究所. 青岛市地质环境质量评价和生态与许可可持续发展报告[R]. 青岛: 青岛海洋地质研究所, 2006.
- [27] 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.
- [28] 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(1/2): 137-145.
- [29] SCHIFF K C, WEISBERG S B. Iron as a reference element for determining trace metal enrichment in Southern California coastal shelf sediments[J]. *Marine Environmental Research*, 1999, 48(2): 161-176.
- [30] ALOUPI M, ANGELIDIS M O. Geochemistry of natural and anthropogenic metals in the coastal sediments of the island of Lesbos, Aegean Sea[J]. *Environmental Pollution*, 2001, 113(2): 211-219.
- [31] 戴纪翠, 宋金明, 李学刚, 等. 人类活动影响下的胶州湾近百年来环境演变的沉积记录[J]. *地质学报*, 2006, 80(11): 1770-1778.
- [32] 戴纪翠, 宋金明, 郑国侠. 胶州湾沉积环境演变分析[J]. *海洋科学进展*, 2006, 24(3): 397-406.
- [33] 张拂坤. 胶州湾入海污染物容量研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.

DISTRIBUTION PATTERN AND RISK ASSESSMENT FOR HEAVY METALS IN THE SURFACE SEDIMENTS OF JIAOZHOU BAY

HU Rui^{1,2}, DOU Yanguang^{1,2}, ZOU Liang^{1,2}, LIN Xi^{1,2}, XUE Biying^{1,2},
WANG Milei^{1,2}, WANG Qing^{3,4}, XIE Yongjian^{3,4}

(1 Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266237, China;

2 Laboratory for Marine Mineral Resources, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology(Qingdao), Qingdao 266237, China;

3 Qingdao Geo-Engineering Surveying Institute(Qingdao Geological Exploration Development Bureau), Qingdao 266100, China;

4 Key Laboratory of Geological Safety of Coastal Urban Underground Space, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266100, China)

Abstract: In this paper, the distribution patterns of heavy metals of Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Cr and As taken from 150 surface sediment samples of Jiaozhou Bay are analyzed for assessment of environment qualities. The pollution level and ecological risk of the heavy metals are evaluated with the geological accumulation index and the potential ecological risk index. The results show that the amount of heavy metal elements in surface sediments of Jiaozhou Bay gradually decrease from coast towards the sea in general, and is relatively higher in the eastern nearshore area comparing to the western. According to our evaluation, the overall quality of sediments in Jiaozhou Bay is quite good, and the sediment quality according to average content of heavy metal elements belongs to the first type of sediments stipulated in Specifications of Marine Sediment Quality (GB 18668—2002), except for the sediments in the eastern part, which may reach the second or even the third type of sediment according to the standards. The overall heavy metals pollution levels of the sediments are clean to light polluted, and the integrated potential ecological risk is low. Since 1980s, human activities have become the main factor affecting the distribution of heavy metals in the surface sediments of Jiaozhou Bay.

Key words: Jiaozhou Bay; surface sediment; heavy metals; distribution pattern; risk assessment