

青岛港董家口港区临时倾倒区沉积物 质量分析与评价

姜万钧, 屈 文, 林 森, 陶卉卉

(国家海洋局 北海预报中心, 山东 青岛 266061)

摘 要: 为了研究青岛港董家口港区临时倾倒区沉积物质量情况, 对该倾倒区 2013-05、2013-08 和 2013-10 的监测数据进行分析, 研究结果表明研究区表层沉积物监测项目中 Hg, Cu, Pb, Zn, Cd, Cr、硫化物、有机碳和油类单因子质量指数均小于 1, 全部达到《海洋沉积物质量标准》中第一类评价标准要求。研究区表层沉积物重金属元素污染程度由重至轻依次为 Pb, Cd, Zn, Cu, Cr, Hg, 重金属污染程度为低污染; 各重金属元素的潜在生态风险性由大到小依次为 Cd, Pb, Hg, Cu, Cr, Zn, 重金属为低等潜在生态风险。2013 年该倾倒区的生态风险程度由重至轻依次为 5 月、10 月、8 月。掌握倾倒区沉积物重金属环境污染程度对于海洋倾倒区的科学使用和管理具有十分重要的意义。

关键词: 董家口港区; 海洋倾倒区; 重金属污染; 表层沉积物; 海洋生态风险评价

中图分类号: X826

文献标识码: A

文章编号: 1002-3682(2018)02-0050-10

doi: 10.3969/j.issn.1002-3682.2018.02.006

海洋倾倒区是用来倾倒用海项目所产生的固体废弃物的特殊功能海域^[1], 其沉积环境的污染问题日趋严重^[2-3]。倾倒至倾倒区的固体废弃物中的重金属大部分转移至悬浮颗粒物和底层沉积物中, 累积的重金属在一定条件下又释放进入上覆水成为二次污染源; 此外, 通过生物富集和放大作用, 重金属会对生态系统构成直接和间接的威胁^[4]。因此, 具有源和汇双重作用的沉积物在重金属污染评价中至关重要^[5]。全球首届沉积物质量评价会议强调了沉积物风险性评价的重要性, 并把重金属列为主要评价因子之一^[6]。前人对我国不同海域倾倒区的表层沉积物中重金属污染情况作了较多研究^[7-12], 采用富积系数法(又称单因子指数法)^[7, 13-15]、Hakanson 潜在生态危害系数法^[2, 16-18]、地累积指数法^[9, 16]对重金属富集程度和潜在生态危害程度进行了分析和评价; 对不同年际的变化趋势进行了对比研究^[17-18], 采用变异系数评价重金属的空间变化特征^[12, 21]。尽管前人做了较多有益的研究, 取得丰富的成果, 但还是存在一些不足之处, 例如在评价海域倾倒区的表层沉积物中重金属污染情况时对于沉积物重金属背景值的选择有差异, 采用《海洋沉积物质量标准》中的标准^[22]或选用国际上常用的工业化以前沉积物中重金属的全球最高背景值^[2], 使得人们对不同地区海域倾倒区的表层沉积物中重金属污染情况容易误解。

我们以青岛港董家口港区航道工程临时海洋倾倒区及其监测站位分布范围(以下简称“研究区”)2013-05、2013-08 和 2013-10 的表层沉积物监测资料为基础, 选取研究区附近工业化以前沉积物中重金属的含量作为背景值, 采用沉积物重金属富积系数法、Hakanson 潜在生态危害系数法、变异系数等指标, 对沉积物中重金属污染、空间分布特征及潜在生态风险进行分析和评价, 以期海洋倾倒区的使用、管理以及污染评估、治理等提供有用的科学依据。

收稿日期: 2018-01-02

作者简介: 姜万钧(1984-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事海洋环境监测、倾废管理方面研究. E-mail: 116666500@163.com

(李 燕 编辑)

1 材料与方法

1.1 研究区域

青岛港董家口港区航道工程临时海洋倾倒区于 2012-06-11 由国家海洋局批准使用,批准倾倒总量为 480×10^4 t,倾倒区为 $(119^\circ 55' 39''\text{E}, 35^\circ 27' 52''\text{N})$, $(119^\circ 54' 15''\text{E}, 35^\circ 26' 41''\text{N})$, $(119^\circ 54' 53''\text{E}, 35^\circ 26' 27''\text{N})$, $(119^\circ 55' 03''\text{E}, 35^\circ 28' 07''\text{N})$,四点围成矩形海域,面积为 3.1 km^2 ,离岸约 18 km。

倾倒时间为 2013-01—11,倾倒量最高为 1 月份。根据倾倒区的自然环境状况、疏浚物倾倒后悬浮泥沙扩散情况及周围海域敏感目标情况设立监测区, $D'19, D'20$ 为对照站, $D'01, D'05, D'15$ 为控制站。具体监测范围: $119^\circ 48' 19'' \sim 120^\circ 00' 55''\text{E}$, $35^\circ 22' 13'' \sim 35^\circ 28' 46''\text{N}$,监测范围 $8.5 \text{ km} \times 22.0 \text{ km}$,面积 163 km^2 。设立海底表层底质监测点 12 个,调查站位详见图 1。

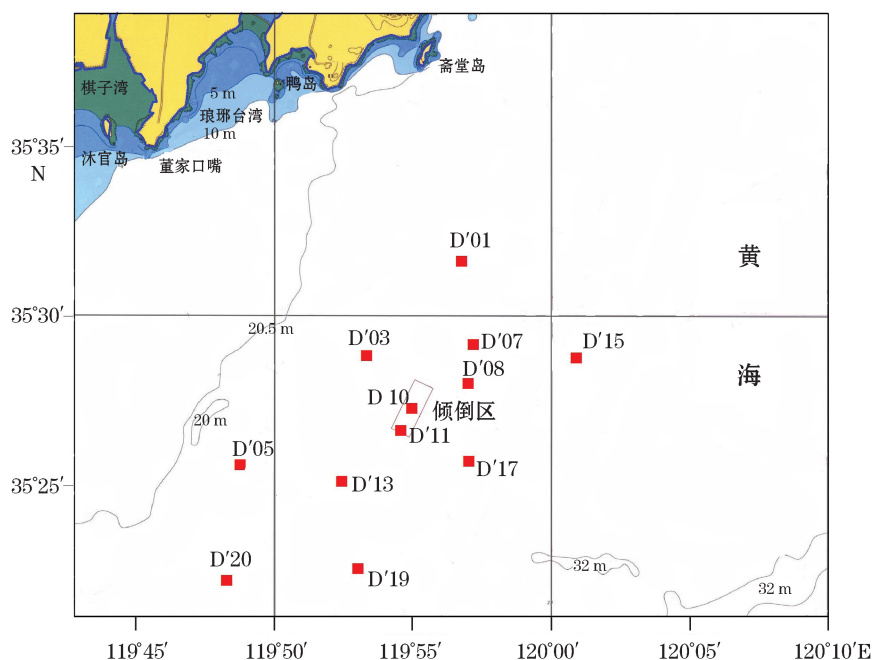


图 1 研究区 2013 年 5 月、8 月和 10 月表层沉积物调查站位分布

Fig.1 Sampling stations of the surface sediments in the study area in 2013

1.2 评价方法与标准

1.2.1 评价参数与标准

沉积物评价参数为有机碳、油类、硫化物,沉积物评价标准执行《海洋沉积物质量标准》第一类评价标准^[22],采用质量指数法,按下列公式计算:

$$I_i^i = \frac{C^i}{C_s^i}, \quad (1)$$

式中, I_i^i 为 i 项污染物的质量指数, C^i 为 i 项污染物的实测含量, C_s^i 为 i 项污染物评价标准。各评价因子质量评价标准值见表 1。

表 1 海洋沉积物质量评价标准

Table1 Evaluation criteria for marine sediment quality

项 目	有机碳 / $\times 10^{-2}$	油类 / $\times 10^{-6}$	Cu / $\times 10^{-6}$	Pb / $\times 10^{-6}$	Zn / $\times 10^{-6}$	Cd / $\times 10^{-6}$	Hg / $\times 10^{-6}$	总 Cr / $\times 10^{-6}$	硫化物 / $\times 10^{-6}$
第一类 C_s^i	≤ 2.0	≤ 500.0	≤ 35.0	≤ 60.0	≤ 150.0	≤ 0.50	≤ 0.20	≤ 80.0	≤ 300.0

1.2.2 Hakanson 潜在生态危害指数

选取常用的 Hakanson 潜在生态危害指数法,单个重金属的污染指数(C_f^i)和多种重金属的综合污染指数(C_f)、单个重金属的潜在生态危害指数(E_r^i)和多种重金属的潜在生态危害指数(ERI)的计算公式分别为

$$C_f^i = \frac{C^i}{C_n^i}, \quad (2)$$

$$C_f = \sum_{i=1}^6 C_f^i, \quad (3)$$

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i = T_r^i \times \frac{C^i}{C_n^i}, \quad (4)$$

$$ERI = \sum_{i=1}^6 E_r^i, \quad (5)$$

式中, E_r^i 为单个重金属的潜在生态危害指数, T_r^i 为重金属的毒性响应参数。 C_f^i 为 i 单个重金属的污染指数, C^i 为 i 项污染物的实测含量, C_n^i 为 i 项污染物评价标准。

关于背景值的选定, Hakanson 选取现代工业化前沉积物重金属的最高背景值为参比值^[20], 国内有学者考虑区域背景差异性后采用当地沉积物重金属背景值作参比^[24-25]。

研究表明黄海西部中陆架区重金属元素含量明显增加出现在 1970—2004 年^[26], 基本对应中国 1978 年改革开放后的大发展^[27], 因此我们选取未明显受人类活动影响的南黄海沉积物中重金属的背景值^[26-27]作参比(表 2)来评价青岛港董家口港区倾倒地表层沉积物中重金属的综合污染情况。相对应的污染程度及潜在生态风险程度见表 3^[28]。

表 2 重金属的背景参照值 C_n^i 和毒性响应参数 T_r^i

Table 2 Background reference and toxicity response parameters of heavy metals

参 数	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	Cr
$C_n^i/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	18.2	13.5	52.08	0.318	0.0253	51
T_r^i	5	5	1	30	40	2

注: Cu, Pb, Zn, Cd, Hg 五种元素数据引自文献[27], Cr 元素数据引自文献[26], 毒性响应参数引自文献[8]

表 3 C_f^i, C_f, E_r^i, ERI 指标提示的污染程度或潜在生态风险程度^[5,18]Table 3 The pollution degree or the potential ecological risk degree indicated by C_f^i, C_f, E_r^i, ERI ^[5,18]

指 标	污染程度或潜在生态风险程度			
C_f^i	$C_f^i < 1$	$1 \leq C_f^i < 3$	$3 \leq C_f^i < 6$	$C_f^i \geq 6$
	低污染	中污染	较高污染	很高污染
C_f	$C_f < 6$	$6 \leq C_f < 12$	$12 \leq C_f < 24$	$C_f \geq 24$
	低污染	中污染	较高污染	很高污染

续表

指 标		污染程度或潜在生态风险程度				
E_r^i	$E_r^i < 25$	$25 \leq E_r^i < 50$	$50 \leq E_r^i < 100$	$100 \leq E_r^i < 200$	$E_r^i \geq 200$	
	低潜在生态风险	中潜在生态风险	较高潜在生态风险	高潜在生态风险	很高潜在生态风险	
ERI	$ERI < 110$	$110 \leq ERI < 220$	$220 \leq ERI < 440$	$ERI \geq 440$		
	低潜在生态风险	中潜在生态风险	较高潜在生态风险	很高潜在生态风险		

注:空白处表示无数据

1.2.3 变异系数

采用变异系数定量反映表层沉积物中各种指标含量空间波动程度的大小变异,变异系数(C_v)越大表明污染物空间分布越不均匀^[12, 21],其计算式为

$$C_v = \frac{S^2}{X},$$

(6)

式中, S 为各参数空间序列的标准偏差, X 为各参数空间序列的平均值。

2 结果与讨论

2.1 表层沉积物监测结果分析

2.1.1 表层沉积物各参数含量特征

研究区 2013-05、2013-08 和 2013-10 的监测结果(表 4)表明,各项污染物标准差在各个检测站点的检测数据离散性不高,各项数据均较接近于平均值,说明各个监测站监测含量值相近。不同污染物类型的 3 次监测的值变化幅度差异明显。

表 4 研究区表层沉积物重金属含量平均值与标准差
Table 4 Mean and standard deviation of heavy metal content in the surface sediments of the study area

时 间	统计项	有机碳 / $\times 10^{-2}$	硫化物 / $\times 10^{-6}$	油类 / $\times 10^{-6}$	Hg / $\times 10^{-6}$	Cu / $\times 10^{-6}$	Pb / $\times 10^{-6}$	Zn / $\times 10^{-6}$	Cd / $\times 10^{-6}$	Cr / $\times 10^{-6}$
5 月	标准差	0.06	2.19	6.28	0.00	0.07	0.17	1.63	0.01	0.57
	平均值	0.34	54.46	43.58	0.03	10.63	12.93	49.45	0.30	24.06
8 月	标准差	0.01	1.25	6.85	0.00	0.30	0.56	2.15	0.01	0.40
	平均值	0.57	54.02	158.92	0.03	10.20	11.64	33.05	0.27	23.55
10 月	标准差	0.01	1.00	9.02	0.00	0.15	0.54	1.95	0.01	0.30
	平均值	0.57	53.78	165.33	0.03	10.33	11.79	35.60	0.26	24.17

研究区表层沉积物中 2013-08 与 2013-10 的有机碳的含量相同,与 2013-05 相比,明显增高近一倍,标准差值却减少,说明有机碳浓度在各监测站相近程度越高;硫化物,Cu,Pb,Cd,Cr 在 3 次监测到的含量监测值均相近,没有明显的波动,但基本上有着 5、10 月两次含量监测值大于 8 月的相同特征,这些污染物的含量值标准差均出现降低趋势,同样也说明随着时间推移,各监测站监测数据更为相似;Zn 与其他重金属有所不同,其含量在 2013-05—08 间,变化幅度较大,含量值减少近 30%,标准差增加,反映出各监测站值离散性增加,数据相近度降低;Hg 是污染危害较大的重金属,但其含量值与标准差没有任何变化,反映出疏浚物的倾

倒对 Hg 的含量没有任何影响;油类与其他污染物相比,其标准差与平均值比值最大,说明油类各站点含量检测值变化明显,其平均值变化也最为明显,2013-08 与 2013-10 含量相较于 2013-05 增长近 2 倍,说明 5 月以来,可能与含油类疏浚物或倾倒区 2013-05—10 来往船只较多有关。

除油类以外,无论是有机碳、硫化物,还是重金属污染物,均大致呈现出含量平均值、标准差双降低的趋势,表明临时倾倒区的这些污染物趋于稳定,短时间没有较大的变化。唯一不同的是油类,增加近 2 倍,说明临时倾倒区含油污较多的倾倒物增加较多。总体来说,倾倒区各重金属、污染物含量值均低于第一类评价标准。

2.1.2 表层沉积物各参数相关性分析

油类、有机碳与重金属 Pb,Zn,Cd,Cu 呈现出中度负相关关系(表 5),说明油类、有机碳与重金属含量增长来源不同;硫化物污染物含量与其他污染物相关系数基本低于 0.3,与 Hg 达到低度相关,说明硫化物污染物与其他类型污染物没有明显的关系;与硫化物类似,Hg 也与其他污染物没有明显关系;重金属 Cu,Pb,Zn,Cd 四类相关关系明显,其中 Cu 与其余二者均达到中度相关关系,Pb 与 Zn,Cd 达到高度相关,Zn 含量也与 Cd 高度相关,说明这 4 类重金属污染物同源性概率较高,具有连带效应;重金属 Cr 较为独立,与硫化物污染物具有低度相关,其他污染物基本与 Cr 不相关。

因此,有机碳污染物、油类与重金属污染物疏浚物来源种类不同;重金属往往不是单一出现,而是具有裙带效应,Cu,Pb,Zn,Cd 四种重金属在该倾倒区表现较为明显,同时也说明这些重金属可能同源。

表 5 研究区表层沉积物各参数相关性分析表

Table 5 Correlation analysis of the parameters of the surface sediments in the study area

项 目	有机碳	硫化物	油类	Hg	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr
有机碳	1.00								
硫化物	-0.17	1.00							
油类	0.93	-0.14	1.00						
Hg	-0.33	0.49	-0.20	1.00					
Cu	-0.59	-0.20	-0.66	-0.11	1.00				
Pb	-0.73	0.23	-0.79	0.06	0.59	1.00			
Zn	-0.91	0.26	-0.95	0.31	0.61	0.86	1.00		
Cd	-0.77	0.11	-0.83	0.06	0.64	0.92	0.85	1.00	
Cr	-0.21	0.46	-0.16	0.26	0.24	0.35	0.36	0.24	1.00

注:相关系数(r)的分级: $|r| \geq 0.95$ 为显著相关; $|r| \geq 0.8$ 为高度相关; $0.5 \leq |r| < 0.8$ 为中度相关; $0.3 \leq |r| < 0.5$ 低度相关; $|r| < 0.3$ 为相关性极弱,可认为不相关

2.1.3 表层沉积物各参数变异系数

污染物变异系数反应了污染物空间分布情况,变异系数越高,空间分布越不均。2013-05 油类变异系数最大,达到 0.904 2,硫化物、Zn 分别为 0.087 7,0.053 9,变异系数较小,其余污染物变异系数极小,说明这些污染物空间分布均匀;2013-08 与 2013-10,油类变异系数降低至 0.043 1,有机碳、硫化物变异系数均下降,而 Hg,Cu,Pb,Zn,Cd,Cr 重金属污染物变异系数均呈现上升趋势,尤其是 Hg,Cu,Pb,系数增加倍数最高,说明三者空间分布均匀性降低较快(表 6)。但与其他倾倒区相比^[9, 18],研究区各污染物变异系数均较小,与各测站含量检测值标准差均说明研究区沉积物污染物空间分布均匀,空间离散型很小,空间范围内没有大的变动,这表明研究区污染物处于一个较为稳定的状态。

表 6 研究区表层沉积物重金属含量变异系数

Table 6 The coefficient of variation of heavy metal content in the surface sediments of the study area

时 间	有机碳	硫化物	油类	Hg	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr
5 月	0.012 2	0.087 7	0.904 2	0.000 2	0.000 4	0.002 2	0.053 9	0.000 1	0.013 6
8 月	0.011 3	0.023 1	0.043 1	0.062 5	0.029 1	0.048 2	0.065 1	0.052 0	0.017 0
10 月	0.011 0	0.018 7	0.054 6	0.068 2	0.014 5	0.046 1	0.054 9	0.042 2	0.012 6

2.2 表层沉积物有机碳、油类及硫化物污染情况

研究区表层沉积物有机碳、油类、硫化物质量指数均小于 1,符合《海洋沉积物质量标准》^[19] 第一类评价标准。

研究区表层沉积物中有机碳污染物质量指数经历较为明显的变化,均表现为在倾倒区附近出现最小值或最大值区域,表明倾倒活动对研究区表层沉积物中有机碳的含量有显著影响(图 2)。2013-05 有机碳污染物质量指数平均值最小,且在倾倒区北东方向很近的区域存在极小值。2013-08 与 2013-10 倾倒区有机碳质量指数较 2013-05 显著增大,但 2013-08 与 2013-10 存在不一样的分布特征,2013-08 有机碳质量指数高值范围较大,并在倾倒区近北方向出现最小值区域;而 2013-10 则相反,有机碳质量指数低值范围较大,在倾倒区东面出现最大值区域。

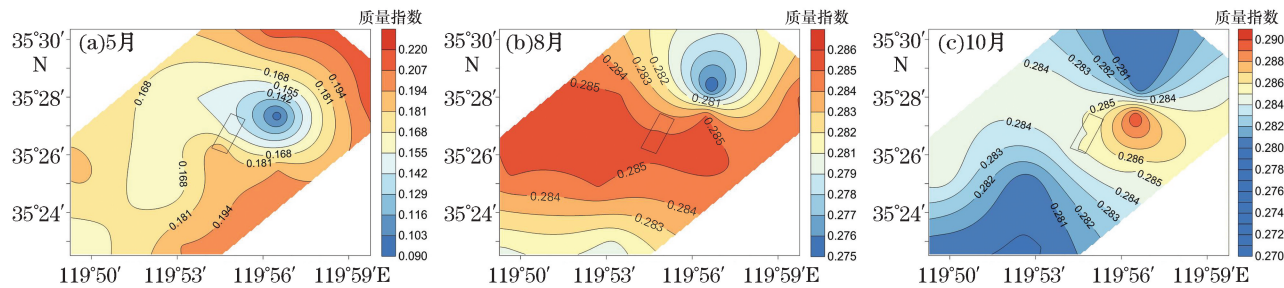


图 2 研究区表层沉积物中有机碳质量指数分布图

Fig.2 The quality index distribution of organic carbon in the surface sediments of the study area

研究区表层沉积物中硫化物质量指数在这 3 次监测中没有较明显的变化,整体分布特征为以东北西南方向为界,监测区硫化物质量指数向西北方向逐渐增大,往东南方向逐渐降低(图 3)。2013-08,2013-10 相较于 2013-05,其倾倒区外围西北部门海域质量指数超过 0.176 的面积稍大。

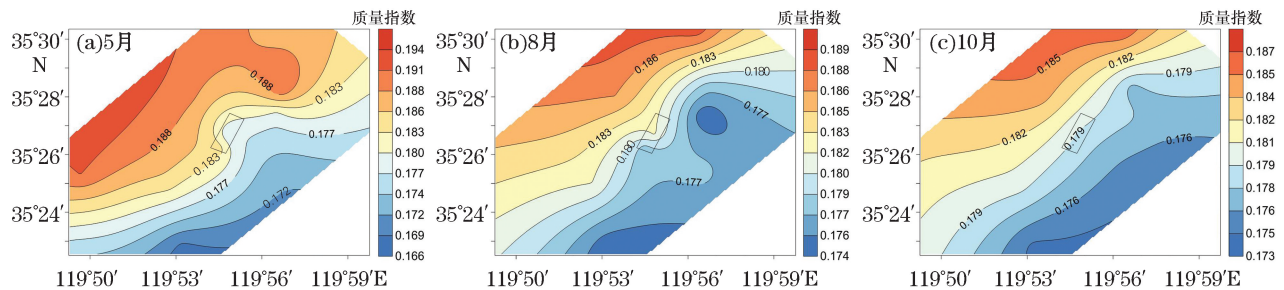


图 3 研究区表层沉积物中硫化物质量指数分布图

Fig.3 The quality index distribution of sulfide in the surface sediments of the study area

研究区表层沉积物中油类质量指数在 3 次监测中存在非常显著的变化(图 4)。2013-05 油类质量指数最小(<0.11),以倾倒入区为中心,越向外延质量指数越小;但 2013-08,2013-10 质量指数增长明显,海域绝大部分面积超过 0.30,倾倒入区北部、东北部海域最高,2013-08 倾倒入区表层沉积物中油类质量指数较 2013-10 小,2013-10 低指数区(<0.307)面积有所减少。

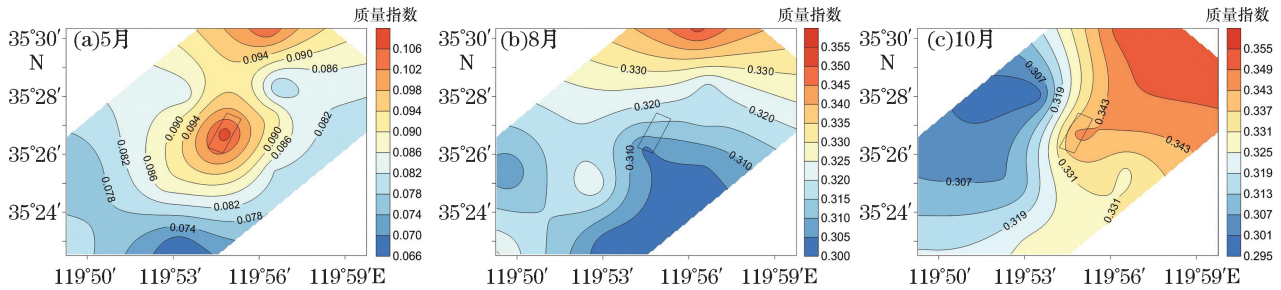


图 4 研究区表层沉积物中油类质量指数分布图

Fig.4 The quality index distribution of oils in the surface sediments of the study area

2.3 表层沉积物重金属潜在生态风险评价

以 2013-05,2013-08 和 2013-10 青岛港董家港区临时海洋倾倒入区表层沉积物重金属监测数据为基础,利用 ERI 数据分析方法,计算出重金属污染物在各个监测站点的污染指数,综合评价本倾倒入区重金属污染程度及变化趋势。

2.3.1 重金属污染指数特征

各重金属的 C_i^i 值范围为 0.10~0.98, C_i 值范围为 3.53~4.01(表 7),无论单个重金属的污染指数(C_i^i)还是多种重金属的综合污染指数(C_i)均为低污染,可见该倾倒入区海域表层沉积物综合质量状况较好。

该倾倒入区海域表层沉积物中各种重金属元素的平均污染程度由大到小依次为 $Pb > Cd > Zn > Cu > Cr > Hg$ 。其中 Pb,Zn 和 Cd 的 C_i^i 值在 3 次监测中都较其他元素显著地高,且 2013-05 较 2013-08 和 2013-10 大,表明随着倾倒入活动次数的增加显著影响了 Pb,Zn 和 Cd 的含量与分布;表明海洋临时倾倒入区海域表层沉积物中的 Pb,Zn 和 Cd 存在一段时期的污染性。

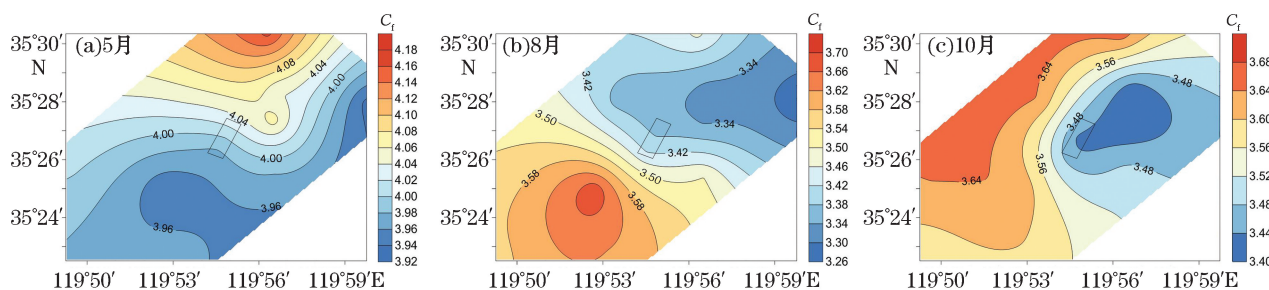
表 7 研究区 2013 年表层沉积物中重金属的 C_i^i 和 C_i 统计表

Table 7 Statistics of C_i^i and C_i of heavy metals in the surface sediments of the study area

监测时间	C_i^i						C_i
	Hg	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	
5 月	0.11	0.58	0.96	0.95	0.94	0.47	4.01
8 月	0.10	0.56	0.86	0.63	0.84	0.46	3.46
10 月	0.10	0.57	0.87	0.68	0.83	0.47	3.53

图 5 表明,研究区 2013-05 倾倒入区及附近海域普遍污染指数较高(>3.92),污染中心区域位于倾倒入区北部海域;2013-08 污染中心区域转移至倾倒入区西南部海域,污染指数也降低至 3.26~3.70,相较于 2013-05,重金属污染程度降低;2013-10,污染中心区域面积虽有扩散,包括倾倒入区西南部、西部、以及西北部海域,但其污染指数普遍小于 3.68,相较于 2013-08,其较高污染海域面积略有扩大。

重倾倒入区表层沉积物污染指数总体处于低污染程度,并随着时间推移,呈现降低趋势,重金属污染物也由北部核心区域转移至倾倒入区西部及西南部海域。

图5 研究区表层沉积物中重金属污染指数 C_i 分布图Fig.5 The pollution index C_i distribution of heavy metals in the surface sediments of the study area

2.3.2 重金属潜在生态危害指数

根据重金属潜在生态危害指数(ERI)值计算结果,研究区 2013-05 ERI 值的范围是 40.95~44.02,均值为 42.02;2013-08 ERI 值的范围是 35.15~40.70,均值为 37.90;2013-10 ERI 值的范围是 35.67~39.33,均值为 37.94;2013-05、2013-08 及 2013-10 的 ERI 值远小于 110,表明该海域表层沉积物重金属对海洋生态系统的潜在风险较低。

从 ERI 值分布情况来看(图 6),随着时间推移, ERI 值核心区域在发生转移,2013-05 倾倒区北部海域为相对高 ERI 值区域,2013-08 及 2013-10 相对较高 ERI 值核心转移至倾倒区西部、西南部海域,与污染指数均展现出类似的转移过程。重金属 ERI 值降低、核心区域转移过程表明,随着时间的推移,倾倒区海底沉积物持续覆盖,表层沉积物重金属也被覆盖,其对海域重金属污染潜在危害降低,并且倾倒区及附近海域随着洋流、潮汐等作用,覆盖的速度不同,由此出现核心区域转移的现象,不同地区 ERI 值降低幅度也不同。

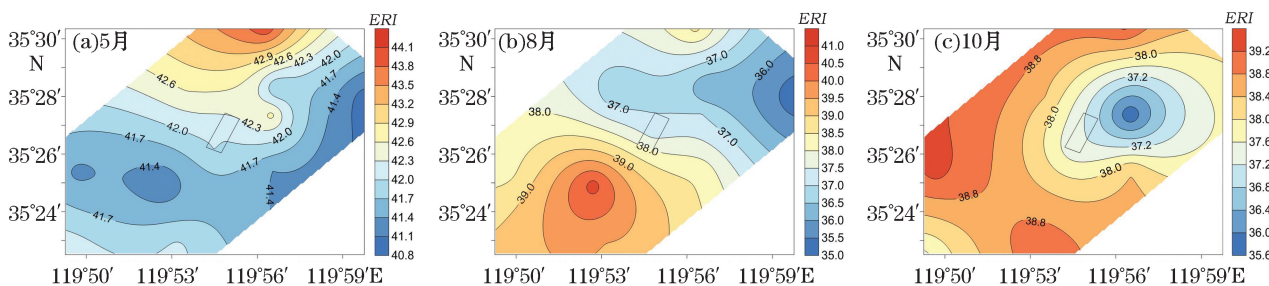
图6 研究区表层沉积物中重金属潜在生态危害指数 ERI 值分布图

Fig.6 The potential ecological risk index distribution of heavy metals in the surface sediments of the study area

Hg、Pb、Cd 是研究区域 2013 年的主要污染重金属,其潜在生态风险指数的贡献率平均值为 10.77%、11.43%和 66.22%,占有重金属贡献率的 88.54%,Cu、Cr 和 Zn 的贡献率最小,只分别占 7.28%、2.39%和 1.91%(表 8)。因此,Hg、Pb、Cd 是研究区海域的主要风险因子,对海洋生态具有较高的潜在生态危害性。

综上所述,从污染程度角度看,研究区表层沉积物重金属元素污染程度由重至轻依次为 Pb、Cd、Zn、Cu、Cr、Hg;从生态危害的角度看,各重金属元素的潜在生态风险性由大到小依次为 Cd、Pb、Hg、Cu、Cr、Zn。 ERI 值表明该倾倒区的生态风险程度由重至轻依次为 5 月、10 月、8 月。

表 8 不同重金属的 *ERI* 平均值及对 *ERI* 的贡献率表

Table 8 The mean of *ERI* and the contribution rate to *ERI* of different heavy metals

时 间	项 目	Hg	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	<i>ERI</i>
5 月	E_r^i	4.35	2.92	4.79	0.95	28.07	0.94	42.02
	贡献率	10.35%	6.95%	11.40%	2.26%	66.80%	2.25%	
8 月	E_r^i	4.15	2.80	4.31	0.63	25.08	0.92	37.90
	贡献率	10.95%	7.40%	11.37%	1.67%	66.17%	2.44%	
10 月	E_r^i	4.18	2.84	4.37	0.68	24.92	0.95	37.94
	贡献率	11.01%	7.48%	11.51%	1.80%	65.69%	2.50%	

注:空白处表示无数据

3 结 论

为了研究青岛港董家口港区航道工程临时海洋倾倒区沉积物中重金属污染情况,我们选取研究区附近工业化以前沉积物中重金属的含量作为背景值,采用沉积物重金属富积系数法、Hakanson 潜在生态危害系数法、变异系数等指标,对研究区域沉积物中的重金属含量、空间分布特征、潜在生态风险进行了分析与评价,得到如下结论:

1)倾倒区及附近海域表层沉积物污染物各项含量均小于第一类评价标准。各污染物相关性分析表明,Cu,Pb,Zn,Cd 四种重金属在该倾倒区表现较为明显,同时也说明这些重金属可能同源。各重金属污染物含量标准差以及差异系数表明,本区表层沉积物污染物空间分布均匀,空间离散型很小,本区污染物处于一个较为稳定的状态。

2)从污染程度角度分析,研究区表层沉积物重金属元素污染程度由重至轻依次为 Pb,Cd,Zn,Cu,Cr,Hg,重金属污染程度为低污染。

3)从生态危害的角度分析,各重金属元素的潜在生态风险性由大到小依次为 Cd,Pb,Hg,Cu,Cr,Zn,重金属为低等潜在生态风险。

4)2013 年该倾倒区的生态风险程度由重至轻依次为 5 月、10 月、8 月。

尽管本文因地制宜地采用研究区附近的重金属背景值进行分析和评价,但是所采用的数据并不具有权威性,对于倾倒区沉积物质量分析与评价标准的采用,除了满足国家质检部门有关标准的要求外,还应考虑不同地方的差异。本文的研究也仅能够起抛砖引玉的作用,希望本研究工作能够为有关标准的制定提供有益依据,为海洋倾倒区的使用、管理以及污染评估、治理等提供有用的科学依据。掌握倾倒区沉积物重金属环境污染程度对于海洋倾倒区的科学使用和管理具有十分重要的意义。

参考文献 (References):

[1] JIANG S Y, MIAO F M, WEN Y B. Discussion on status of ocean dump area in Pearl River Estuary[J]. Marine Environmental Science, 2009, 28(4): 460-462. 江四义, 苗丰民, 温玉波. 珠江口海洋倾倒区现状与存在问题讨论[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(4): 460-462.

[2] ZHANG L X, REN S, CAI J. Enrichment of heavy metals in the surface sediments from the three regions of random dumping in East China Sea and assessment of their potential ecological risk[J]. Marine Science Bulletin, 2005, 24(2): 92-96. 张丽旭, 任松, 蔡健. 东海三个倾倒区表层沉积物重金属富积特征及其潜在生态风险评价[J]. 海洋通报, 2005, 24(2): 92-96.

[3] HAN D M, HU X F, JIANG Z Y, et al. Heavy metals in water and sediment of dumping site in Yangtze River Estuary: water-sediment partition and ecological risk[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science), 2017, 35(3): 1-6. 韩德明, 胡险峰, 蒋真毅, 等. 长江口倾倒区海域水体与沉积物中重金属的分配与生态风险[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2017, 35(3): 1-6.

- [4] CHENG J S, DENG B S, TAO S, et al. Environmental geochemistry[M]. Beijing: China Ocean Press, 1990: 196-235. 陈静生, 邓宝山, 陶澍, 等. 环境地球化学[M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 196-235.
- [5] CHAPMAN P M, WANG F Y. Appropriate applications of sediment quality values for metals and metalloids[J]. Environmental Science & Technology, 1999, 33(22): 3937-3941.
- [6] CHAPMAN P M. Sediment quality assessment: status and outlook[J]. Journal of Aquatic Ecosystem Health, 1995, 4(3): 183-194.
- [7] ZHENG L, CUI W L, JIA Y G. Evaluation on heavy metal contamination and potential ecological risk in Qingdao dumpsite[J]. Marine Environmental Science, 2008, S2(27): 45-48. 郑琳, 崔文林, 贾永刚. 青岛海洋倾倒区沉积物重金属污染及其生态风险评价[J]. 海洋环境科学, 2008, S2(27): 45-48.
- [8] HU Y F, JIANG H. Evaluation on heavy metals contamination and potential ecological risk in the surface sediments of Xi Xie-zhi ocean dumping site and its adjacent sea area in Zhoushan city[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2012, 32(4): 48-53. 胡益峰, 蒋红. 舟山西蟹峙海洋倾倒区及邻近海域表层沉积物重金属污染及其生态风险评价[J]. 广东海洋大学学报, 2012, 32(4): 48-53.
- [9] ZHANG L, REN R Z, WU F C, et al. Analysis on the distribution of surface sediment heavy metals contamination and the influencing factors of temporary ocean dumping site in Lanshan port[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2012, 1(11): 130-136. 张亮, 任荣珠, 吴凤丛, 等. 岚山港临时海洋倾倒区表层沉积物重金属污染分布及影响因素分析[J]. 海洋湖沼通报, 2012, 1(11): 130-136.
- [10] LIU G Q, LIU B L, QING S M, et al. Assessment on pollution and potential ecological risk of heavy metals in the sediments of the temporary marine dumping area of Fangchenggang[J]. Ecological Science, 2013, 32(2): 177-182. 刘国强, 刘保良, 青尚敏, 等. 防城港临时性海洋倾倒区沉积物重金属污染现状及其生态风险评价[J]. 生态科学, 2013, 32(2): 177-182.
- [11] 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.
- [12] NING X X, XIA B X, JIANG J C, et al. Enrichment and risk assessment of heavy metals in surface sediments of Yantai Port ocean dumping site[J]. Marine Sciences, 2013, 37(4): 88-94. 宁璇璇, 夏炳训, 姜军成, 等. 烟台港倾倒区表层沉积物重金属的富集特征及风险评价[J]. 海洋科学, 2013, 37(4): 88-94.
- [13] LI S Y, MIAO F M, LIU G X. The distribution and environmental background values of the heavy metals in the sediment of the North Huanghai Sea[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1994, 12(3): 20-24. 李淑媛, 苗丰民, 刘国贤. 北黄海沉积物中重金属分布及环境背景值[J]. 黄渤海海洋, 1994, 12(3): 20-24.
- [14] DU J T, CHEN H T, TIAN L. Heavy metals in the surface sediments of the North Yellow Sea and its ecological risk[J]. Periodical of Ocean University of China(Natural Science Edition), 2010, 40(Suppl.1): 167-172. 杜俊涛, 陈洪涛, 田琳. 北黄海表层沉积物中重金属含量及其污染评价[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2010, 40(增1): 167-172.
- [15] XU G, LIU J, KONG X H. An evaluation on heavy metal contamination in surface sediments on the west South Yellow Sea[J]. Marine Environmental Science, 2012, 31(2): 181-185. 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.
- [16] LIU J P, LAN D Z. Accumulation and potential ecological risk of heavy metals in surface sediments from two random dumping areas in Xiamen seas[J]. Journal of Subtropical Resources and Environment, 2009, 4(2): 68-73. 刘洁平, 蓝东兆. 厦门海域废弃物倾倒区表层沉积物重金属富集特征及其生态危害评价[J]. 亚热带资源与环境学报, 2009, 4(2): 68-73.
- [17] ZHENG L, LIU Y, YUAN Y, et al. Enrichment of heavy metals in the surface sediments from the dumping areas in Bohai Sea and assessment of their potential ecological risk[J]. Marine Science Bulletin, 2014, 33(3): 342-348. 郑琳, 刘艳, 袁媛, 等. 渤海倾倒区沉积物重金属富集特征及其潜在生态风险评价[J]. 海洋通报, 2014, 33(3): 342-348.
- [18] SUN T M, WANG X L, LU S L, et al. Assessment of the current pollution situations of heavy metal sediment and the potential ecological risk in Lianyungang dumping areas[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2015(3): 163-169. 孙同美, 王晓亮, 陆士良, 等. 连云港倾倒区沉积物重金属污染现状及其潜在生态风险评价[J]. 海洋湖沼通报, 2015(3): 163-169.
- [19] MIAO A Y. Distribution patterns of heavy metals in surface sediments of the Bohai Sea and the Yellow Sea and ecological risk assessment[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015. 苗安洋. 渤、黄海表层沉积物重金属分布特征及生态风险评价[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
- [20] ZHANG N X, CAO C H, REN R Z, et al. Heavy metals in the surface sediment of the dumping ground outside Jiaozhou Bay and their potential ecological risk[J]. Environmental Science, 2011, 32(5): 1315-1320. 张乃星, 曹丛华, 任荣珠, 等. 胶州湾外海洋倾倒区表层沉积物中的重金属及其潜在生态风险[J]. 环境科学, 2011, 32(5): 1315-1320.
- [21] HUANG Y Y, LI S W, LAN H, et al. Evaluation on heavy metals contamination and potential ecological risk in the surface sediments of the temporary marine dumping area of Dongding and its adjacent sea area[J]. Journal of Fisheries Research, 2017, 39(1): 63-71. 黄央央, 李少伟, 蓝虹, 等. 东碇临时海洋倾倒区及邻近海域表层沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 渔业研究, 2017, 39(1):

- 63-71.
- [22] National Center of Ocean Standards and Metrology. Marine sediment quality. GB 18668—2002[S]. Beijing: Standards Press of China, 2002; 2. 国家海洋标准计量中心. 海洋沉积物质量 GB 18668—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002; 2.
- [23] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach[J]. Water Research, 1980, 14(8): 975-1001.
- [24] NING X X, XIA B X, BO Y T, et al. Plankton community in the sea area of Yantai west port ocean dumping site[J]. Environmental Monitoring in China, 2013, 30(4): 123-128. 宁璇璇, 夏炳训, 伯云台, 等. 烟台西港倾倒区海域浮游生物的群落特征[J]. 中国环境监测, 2013, 30(4): 123-128.
- [25] HE M C, WANG Z J, TANG H X. Pollution and ecological risk assessment for heavy metals in sediments of Le'an river[J]. Environmental Science, 1999, 20(8): 8-11. 何孟常, 王子健, 汤鸿霄. 乐安江沉积物重金属污染及生态风险性评价[J]. 环境科学, 1999, 20(8): 8-11.
- [26] HU R, LIU J, QIU J D. Geochemical characteristics of heavy metal elements in the sediments of last 50 years in the western middle shelf of South Yellow Sea[J]. Marine Geology Frontiers, 2012, 28(11): 31-37. 胡睿, 刘健, 仇建东. 南黄海西部中陆架区近 50 年来沉积物重金属元素地球化学特征[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(11): 31-37.
- [27] HE Z P. Variations characteristics and controlling factors of heavy metals in the South Yellow Sea[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2008. 贺志鹏. 南黄海重金属的演变特征及控制因素[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2008.
- [28] ZHANG L, CAO C H, REN R Z, et al. Evaluation on heavy metals contamination, potential ecological risk evaluation and analysis of the variation trends in the surface sediments of Lanshan Port temporary ocean dumping site[J]. Marine Science Bulletin, 2011, 30(2): 235-240. 张亮, 曹丛华, 任荣珠, 等. 岚山港海洋临时倾倒区表层沉积物重金属污染、潜在生态风险评价及变化趋势分析[J]. 海洋通报, 2011, 30(2): 235-240.

Analysis and Evaluation of Sediment Quality at the Dongjiakou Port Temporary Ocean Dumping Site

JIANG Wan-jun, QU Wen, LIN Sen, TAO Hui-hui

(North China Sea Marine Forecasting Center, SOA, Qingdao 266061, China)

Abstract: To study the quality of the surface sediments at the Dongjiakou Port Temporary Ocean Dumping Site, the monitoring data obtained at this site in May, August and October of the year 2013 are analyzed. The results show that the quality indexes of Hg, Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, sulfide, organic carbon and oil single factor in the surface sediments are all less than 1, totally reaching the requirements of the first category of evaluation criteria stipulated in the Quality Standard Of Marine Sediments. The pollution degree of the heavy metals in the surface sediments is, from serious to minor in turn, Pb, Cd, Zn, Cu, Cr, Hg. Of them, Pb, Zn and Cd contribute the most in the study area. Thus, the heavy metal pollution can be evaluated as a low level. The potential ecological risks of the heavy metal elements are in the order of Cd, Pb, Hg, Cu, Cr, Zn, indicating that the heavy metals are in a low level of potential ecological risk. At this dumping site, the potential ecological risk degree in 2013 is, from serious to minor in turn, May, October, August. It is of great significance to grasp the environmental pollution degree of heavy metals in the sediments of the dumping areas for scientifically using and managing the ocean dumping areas.

Key words: Dongjiakou Port; ocean dumping sites; heavy metal pollution; surface Sediment; ocean ecological risk evaluation

Received: January 2, 2018