

连云港市海域海洋倾倒疏浚物的 重金属污染及其潜在生态风险

吉会峰,刘吉堂,杨波,马润美,丁言者,高清清

(南通海洋环境监测中心站 南通 226002)

摘要:为加强连云港市海域的海洋倾废管理和海洋生态环境保护,文章在该海域主要疏浚工程区的 49 个站位开展采样调查,并采用潜在生态风险指数法,评价表层疏浚物的重金属污染程度及其潜在生态风险。研究表明:连云港市海域疏浚物质量总体较好,重金属含量的变化范围和分布的区域差异较小,其中含量最高的为锌、最低的为汞;污染程度最大的重金属为镉,较小的重金属为铬;潜在生态风险指数由大到小的重金属依次为镉、汞、砷、铜、铅、铬和锌,除镉和汞(连云港港区)外,其余潜在生态风险等级为低;潜在生态风险指数由大到小的区域依次为连云港港区、徐圩航道、外航道内段、田湾核电站取水口和外航道外段,除连云港港区外,其余区域的潜在生态风险等级为低;应高度关注镉和汞等重金属的污染状况以及近岸区域的潜在生态风险。

关键词:海洋倾废;海洋环境;港口航道;疏浚工程;重金属污染

中图分类号:P76;U616 文献标志码:A 文章编号:1005-9857(2019)06-0046-06

Heavy Metal Pollution and Potential Ecological Risk of Marine Dredged Materials in Lianyungang Sea Area

JI Huifeng, LIU Jitang, YANG Bo, MA Runmei, DING Yanzhe, GAO Qingqing

(Nantong Marine Environmental Monitoring Center, Nantong 226002, China)

Abstract: In order to strengthen the management of marine dumping and the protection of marine ecological environment in Lianyungang sea area, 49 stations in the main dredging engineering areas were sampled and investigated. The potential ecological risk index method was used to evaluate the pollution degree and potential ecological risk of heavy metals in surface dredged materials. Results showed that the quality of dredged materials in Lianyungang sea area was better in general, and the variation range and distribution of heavy metals content were relatively small. The highest content of heavy metals was Zn, the lowest was Hg, the heaviest pollution was Cd, the smaller was Cr. The potential ecological risk indexes of heavy metals from large to small were Cd, Hg, As, Cu, Pb, Cr and Zn, and the potential ecological risk levels were low except Cd and Hg (Li-

anyungang port area).The potential ecological risk indexes from large to small were Lianyungang port area,Xuwei channel,inner section of Lianyungang channel,water intake of Tianwan nuclear power station and outer section of Lianyungang channel,the potential ecological risk levels of other areas were low except Lianyungang port area.Pollution status of heavy metals and potential ecological risks in coastal areas should be highly concerned.

Key words: Marine dumping,Marine environment,Port and channel,Dredging engineering,Heavy metal pollution

0 引言

海洋倾废是向海洋倾倒废弃物以减少陆地环境污染的方法,其中疏浚物是倾倒量最大的类别,占比超过 95%^[1]。受工业废水和城市污水的影响,疏浚物往往不同程度地被营养盐^[2]、重金属^[3]和持久性有机物^[4]等污染,其中重金属污染备受关注^[5]。被重金属污染的疏浚物倾倒入海后,可能引起海洋环境的一系列变化,并对海洋生物造成一定的影响^[6-8]。

连云港市地处江苏省北部黄海海域的海州湾西南岸,是我国沿海地区中部能源和贸易运输的重要口岸城市。随着连云港市海洋经济的快速发展,港口、航道和海岸开发利用等工程不断涌现,海洋倾废活动日益频繁,其中倾倒疏浚物的主要包括连云港港 30 万吨级航道工程(连云港港外航道和徐圩航道)、田湾核电站取水明渠延伸工程和连云港港口码头维护性疏浚工程等。

目前关于连云港市海域海洋倾倒疏浚物的重金属含量和分布及其潜在生态风险鲜有报道。本研究对连云港市海域主要疏浚物中的典型重金属进行采样调查和潜在生态风险评价,以期为该海域的倾废管理和生态环境保护提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 样品采集和处理

本研究于 2017 年 8—9 月分别在连云港港外航道、徐圩航道、田湾核电站取水口和连云港港区采样,共采集表层疏浚物样品 49 个,包括连云港港外航道内段 8 个(编号 1~8)、连云港港外航道外段 14 个(编号 9~22)、徐圩航道 7 个(编号 23~29)、田湾核电站取水口 12 个(编号 30~41)和连云港港

区 8 个(编号 42~49)。所有采样站位均沿工程区布置(图 1)。

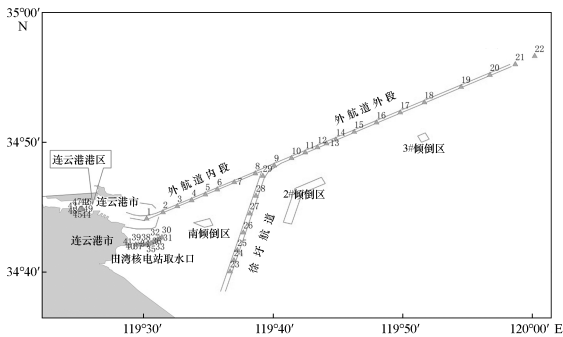


图 1 采样站位

样品的采集、存储和运输均按《海洋调查规范》(GB/T 12763—2007)执行。样品测定参考《海洋监测规范》(GB 17378.5—2007),主要采用火焰原子吸收分光光度法(锌)、无火焰原子吸收分光光度法(铜、铅、镉和铬)和原子荧光法(汞和砷),所用仪器为 Varian AA-240 原子吸收分光光度计和 AFS-930 原子荧光光度仪。

1.2 潜在生态风险评价

目前重金属的潜在生态风险评价方法主要包括地累积指数法、沉积物富集指数法、潜在生态风险指数法和回归过量分析法等^[9-13]。本研究采用潜在生态风险指数法,该方法兼顾不同重金属的毒性特征和重金属在表层沉积物中的迁移转化规律,可整体反映表层沉积物中的重金属对海洋生态环境的综合潜在影响,同时适用于大尺度下非同源沉积物的评价和比较^[14],是表层沉积物质量评价的最常用方法^[15-16]。

单种重金属污染指数(C_f^i)反映某种重金属的污染程度,单种重金属潜在生态风险指数(E_f^i)反映某种重金属的潜在生态风险,多种重金属潜在生

态风险指数(RI)反映多种重金属的综合潜在生态风险,计算公式分别为:

$$C_f^i=C_D^i/C_R^i$$
$$E_r^i=T_r^i\times C_f^i$$
$$RI=\sum_{i=1}^mE_r^i$$

式中: C_D^i 为重金属的实测值; C_R^i 为重金属的背景值,为提高评价结果的可比性,选用中国大陆沉积物背景值^[17]; T_r^i 为重金属的毒性系数。

参考已有研究成果^[18-19],结合连云港市海域的特点,确定各指数的等级标准(表 1)。

2 评价结果

2.1 重金属含量和分布

连云港市海域疏浚物的重金属含量和分布如表 2 所示。

表 1 各指数等级标准

指数	范围	等级
C_f^i	$C_f^i<1$	低
	$1\leqslant C_f^i<3$	中
	$3\leqslant C_f^i<6$	较高
	$C_f^i\geqslant 6$	很高
E_r^i	$E_r^i<40$	低
	$40\leqslant E_r^i<80$	中
	$80\leqslant E_r^i<160$	高
	$160\leqslant E_r^i<320$	很高
	$E_r^i\geqslant 320$	极高
RI	$RI<120$	低
	$120\leqslant RI<240$	中
	$240\leqslant RI<480$	高
	$RI\geqslant 480$	很高

表 2 连云港市海域疏浚物的重金属含量和分布

区域	项目	重金属						
		铬	铜	铅	镉	锌	汞	砷
外航道内段	最大值/(mg·kg ⁻¹)	53.20	29.40	31.70	0.25	87.10	0.03	13.80
	最小值/(mg·kg ⁻¹)	38.50	21.30	18.10	0.16	59.70	0.01	5.66
	平均值/(mg·kg ⁻¹)	43.30	25.60	22.10	0.21	78.10	0.02	9.11
	标准偏差/(mg·kg ⁻¹)	4.92	2.68	4.21	0.03	8.70	0.01	2.76
	变异系数	0.11	0.10	0.19	0.15	0.11	0.38	0.30
外航道外段	最大值/(mg·kg ⁻¹)	57.00	30.20	27.20	0.23	78.70	0.019	13.20
	最小值/(mg·kg ⁻¹)	34.00	17.00	17.30	0.12	55.50	0.010	4.26
	平均值/(mg·kg ⁻¹)	45.20	25.90	21.50	0.18	70.40	0.015	6.71
	标准偏差/(mg·kg ⁻¹)	7.44	3.61	3.16	0.03	6.31	0.003	2.75
	变异系数	0.16	0.14	0.15	0.16	0.09	0.200	0.41
徐圩航道	最大值/(mg·kg ⁻¹)	57.00	27.60	26.90	0.24	84.90	0.03	16.40
	最小值/(mg·kg ⁻¹)	37.60	20.70	18.00	0.15	61.50	0.01	6.88
	平均值/(mg·kg ⁻¹)	46.00	24.20	21.90	0.21	68.90	0.02	10.05
	标准偏差/(mg·kg ⁻¹)	7.54	2.73	3.17	0.03	7.89	0.01	3.57
	变异系数	0.16	0.11	0.14	0.14	0.11	0.32	0.36
田湾核电站 取水口	最大值/(mg·kg ⁻¹)	51.30	30.50	28.10	0.23	78.00	0.03	14.90
	最小值/(mg·kg ⁻¹)	35.00	17.90	17.70	0.14	55.60	0.01	6.02
	平均值/(mg·kg ⁻¹)	42.40	24.50	23.50	0.16	65.70	0.02	12.25
	标准偏差/(mg·kg ⁻¹)	5.41	3.80	3.03	0.03	6.49	0.01	2.50
	变异系数	0.13	0.16	0.13	0.19	0.10	0.24	0.20

		续表						
区域	项目	重金属						
		铬	铜	铅	镉	锌	汞	砷
连云港港区	最大值/(mg·kg ⁻¹)	57.40	25.20	27.20	0.20	76.60	0.038	14.40
	最小值/(mg·kg ⁻¹)	34.10	18.20	19.70	0.15	59.90	0.028	10.70
	平均值/(mg·kg ⁻¹)	45.50	20.80	23.50	0.17	67.60	0.033	13.06
	标准偏差/(mg·kg ⁻¹)	7.75	2.44	2.57	0.02	6.95	0.003	1.39
	变异系数	0.17	0.12	0.11	0.12	0.10	0.090	0.11

由表 2 可以看出,各区域疏浚物重金属的含量均不超过《海洋倾倒物质评价规范 疏浚物》(GB 30980—2014)的限值,表明连云港市海域疏浚物质量总体较好;从变异系数来看,重金属含量的变化范围较小;从平均值来看,重金属分布的区域差异较小,但汞和砷含量近岸高、远岸低的分布趋势明显,近岸区域(连云港港区)是远岸区域(外航道外

段)的 2 倍左右;重金属中含量最高的为锌,其次为铬,含量最低的为汞。

2.2 重金属污染程度和潜在生态风险

2.2.1 单种重金属污染

连云港市海域疏浚物的单种重金属污染指数的计算结果如表 3 所示。

表 3 连云港市海域疏浚物的单种重金属污染指数(C_f^i)

区域	指数	重金属						
		铬	铜	铅	镉	锌	汞	砷
外航道内段	平均值	0.62	1.28	0.88	2.05	1.18	0.70	1.07
	最大值	0.76	1.47	1.27	2.54	1.32	1.02	1.62
	最小值	0.55	1.07	0.72	1.63	0.90	0.36	0.67
外航道外段	平均值	0.65	1.29	0.86	1.82	1.07	0.49	0.79
	最大值	0.81	1.51	1.09	2.32	1.19	0.65	1.55
	最小值	0.49	0.85	0.69	1.21	0.84	0.32	0.50
徐圩航道	平均值	0.66	1.21	0.88	2.08	1.04	0.72	1.18
	最大值	0.81	1.38	1.08	2.36	1.29	1.01	1.93
	最小值	0.54	1.04	0.72	1.49	0.93	0.49	0.81
田湾核电站 取水口	平均值	0.61	1.22	0.94	1.62	1.00	0.82	1.44
	最大值	0.73	1.53	1.12	2.32	1.18	1.03	1.75
	最小值	0.50	0.90	0.71	1.36	0.84	0.33	0.71
连云港港区	平均值	0.65	1.04	0.94	1.70	1.02	1.10	1.54
	最大值	0.82	1.26	1.09	1.97	1.16	1.25	1.69
	最小值	0.49	0.91	0.79	1.48	0.91	0.93	1.26

由表 3 可以看出,各区域疏浚物污染程度最大的重金属为镉;污染程度其次的重金属,近岸区域(连云港港区和田湾核电站取水口)为砷,远岸区域(外航道和徐圩航道)为铜;污染程度较小的重金属为铬;污染程度为中的重金属,连云港港区为铜、

镉、锌、汞和砷,田湾核电站取水口、徐圩航道和外航道内段为铜、镉、锌和砷,外航道外段为铜、镉和锌。

2.2.2 潜在生态风险

连云港市海域疏浚物的单种重金属潜在生态

风险指数的计算结果如表 4 所示。

表 4 连云港市海域疏浚物的单种重金属潜在生态风险指数(E_i^p)

区域	指数	重金属						
		铬	铜	铅	镉	锌	汞	砷
外航道内段	平均值	1.24	6.40	4.42	61.61	1.18	27.83	10.72
	最大值	1.52	7.35	6.34	76.20	1.32	40.67	16.24
	最小值	1.10	5.33	3.62	48.90	0.90	14.27	6.66
外航道外段	平均值	1.29	6.47	4.30	54.71	1.07	19.80	7.89
	最大值	1.63	7.55	5.44	69.60	1.19	25.87	15.53
	最小值	0.97	4.25	3.46	36.30	0.84	12.87	5.01
徐圩航道	平均值	1.31	6.06	4.39	62.53	1.04	28.82	11.82
	最大值	1.63	6.90	5.38	70.80	1.29	40.40	19.29
	最小值	1.07	5.18	3.60	44.70	0.93	19.73	8.09
田湾核电站 取水口	平均值	1.21	6.12	4.71	48.68	1.00	32.64	14.41
	最大值	1.47	7.63	5.62	69.60	1.18	41.20	17.53
	最小值	1.00	4.48	3.54	40.80	0.84	13.33	7.08
连云港港区	平均值	1.30	5.21	4.69	50.96	1.02	44.15	15.37
	最大值	1.64	6.30	5.44	59.10	1.16	50.00	16.94
	最小值	0.97	4.55	3.94	44.40	0.91	37.07	12.59

由表 4 可以看出,潜在生态风险指数由大到小的重金属依次为镉、汞、砷、铜、铅、铬和锌;镉在各区域的潜在生态风险等级为中,汞在连云港港区的潜在生态风险等级为中,其余潜在生态风险等级为低。

从采样站位来看,铬、铜、铅、锌和砷在所有站位的潜在生态风险等级为低;镉在外航道外段 1 个站位的潜在生态风险等级为低,在其余站位的潜在生态风险等级为中;汞在 12 个站位(连云港港区 7 个、田湾核电站取水口和徐圩航道各 2 个、外航道内段 1 个)的潜在生态风险等级为中,在其余站位的潜在生态风险等级为低。

多种重金属潜在生态风险指数的计算结果如表 5 所示。根据表 5 的数据,绘制连云港市海域疏浚物多种重金属潜在生态风险指数的箱形示意图(图 2)。

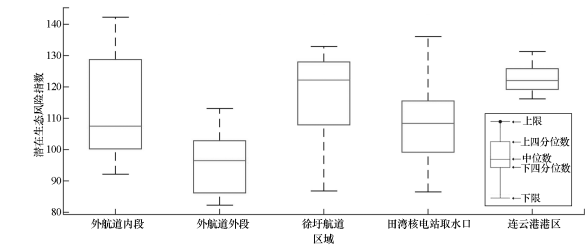


图 2 多种重金属潜在生态风险指数的箱形示意

表 5 连云港市海域疏浚物的多种重金属
潜在生态风险指数(RI)

区域	指数	RI
外航道内段	平均值	113.41
	最大值	142.26
	最小值	92.14
外航道外段	平均值	95.52
	最大值	113.12
	最小值	82.27
徐圩航道	平均值	115.98
	最大值	132.91
	最小值	86.80
田湾核电站 取水口	平均值	108.77
	最大值	136.08
	最小值	86.49
连云港港区	平均值	122.70
	最大值	131.30
	最小值	116.19

由表 5 和图 2 可以看出,潜在生态风险指数由大到小的区域依次为连云港港区、徐圩航道、外航道内段、田湾核电站取水口和外航道外段;连云港港区的潜在生态风险等级为中,其余区域的潜在生态风险等级为低。

从采样站位来看,外航道外段所有站位的潜在生态风险等级为低;19 个站位(连云港港区 7 个、田湾核电站取水口 3 个、徐圩航道 5 个、外航道内段 4 个)的潜在生态风险等级为中。

3 结语

根据连云港市海域海洋倾倒疏浚物的重金属污染及其潜在生态风险的评价结果,该海域疏浚物质量整体较好,但应高度关注镉和汞等重金属的污染状况以及近岸区域的潜在生态风险,通过加强海洋倾废管理和海洋环境监测,保障海洋可持续发展。

参考文献

[1] 唐庆丽,程金平,高昊旻,等.上海市典型疏浚泥重金属生态风险评价[J].环境科学,2013,34(4):1340—1344.

[2] 刘艳,纪灵,郭建国,等.烟台邻近海域水质与富营养化时空变化趋势分析[J].海洋通报,2009,28(2):18—22.

[3] KANMANI S, GANDHIMATHI R. Assessment of heavy metal contamination in soil due to leachate migration from an open dumping site[J]. Applied Water Science, 2013, 3(1): 193—205.

[4] CHARRASSE B, TIXIER C, HENNEBERT P, et al. Polyethylene passive samplers to determine sediment-pore water distribution coefficients of persistent organic pollutants in five heavily contaminated dredged sediments[J]. Science of the Total Environment, 2014, 472: 1172—1178.

[5] 田慧娟,刘吉堂,吕海滨,等.海洋疏浚物对连云港局部海域生态环境的影响评价[J].上海海洋大学学报,2015,24(3): 414—421.

[6] 郑琳,崔文林,贾永刚.海洋倾倒导致生态环境变化实例研究[J].海洋环境科学,2007,26(5):413—416.

[7] ZENG X, TWARDOWSKA I, WEI S, et al. Removal of trace metals and improvement of dredged sediment dewaterability by bioleaching combined with fenton-like reaction[J]. Journal of

Hazardous Materials, 2015, 288: 51—59.

[8] 姜重臣,刘蔚秋,郑西来.临时海洋倾倒区对所在海域及其周边环境的影响[J].中山大学学报(自然科学版),2006,45(2): 88—91.

[9] 霍文毅,黄风茹.河流颗粒物重金属污染评价方法比较研究[J].地理科学,1997,17(1):81—86.

[10] VRECA P, DOLENEC T. Geochemical estimation of copper contamination in the healing mud from Makirina Bay, central Adriatic[J]. Environment International, 2005, 31(1): 53—61.

[11] ZHUANG Y, ALLEN H E, FU G. Effect of aeration of sediment on cadmium binding[J]. Environmental Toxicology & Chemistry, 1994, 13(5): 717—724.

[12] HILTON J, DAVISON W, OCHSENBEIN U. A mathematical model for analysis of sediment core data: implications for enrichment factor calculations and trace-metal transport mechanisms[J]. Chemical Geology, 1985, 48(1): 281—291.

[13] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach [J]. Water Research, 1980, 14(8): 975—1001.

[14] 冯慕华,龙江平,喻龙,等.辽东湾东部浅水区沉积物中重金属潜在生态评价[J].海洋科学,2003,27(3):52—56.

[15] 甘居利,贾晓平,林钦,等.近岸海域底质重金属生态风险评价初步研究[J].水产学报,2000,24(6):533—538.

[16] FERNANDES H M. Heavy metal distribution in sediments and ecological risk assessment: the role of diagenetic processes in reducing metal toxicity in bottom sediments[J]. Environmental Pollution, 1997, 97(3): 317—325.

[17] 赵一阳.中国浅海沉积物地球化学[M].北京:科学出版社,1994.

[18] 杨耀芳,曹维,朱志清,等.杭州湾海域表层沉积物中重金属污染物的累积及其潜在生态风险评价[J].海洋开发与管理, 2013, 30(1): 51—58.

[19] 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.