

文章编号: 1674 - 5566(2015)03 - 0414 - 08

海洋疏浚物对连云港局部海域生态环境的影响评价

田慧娟^{1,2}, 刘吉堂³, 吕海滨², 张 瑞²

(1. 江苏省海洋资源开发研究院, 江苏 连云港 222001; 2. 淮海工学院 测绘工程学院, 江苏 连云港 222005; 3. 国家海洋局连云港海洋环境监测站, 江苏 连云港 222042)

摘要: 为考察海洋疏浚物对海域生态环境的影响, 2014 年 3 月对连云港倾倒入区及附近海域 17 个站位的水质和 11 个站位的沉积物以及海洋生物进行了调查采样。调查将所研究海域划分为倾倒入区、倾倒入外围区、养殖区, 对这 3 个区域的水质、沉积物中污染物等指标的水平差异及浮游植物、浮游动物、底栖生物的群落现状和差异进行了分析, 在此基础上全面评价了海洋疏浚物对该海域生态环境的影响。结果表明: (1) 海水和沉积物中重金属含量的分布特征为倾倒入区 > 倾倒入外围区 > 养殖区, 疏浚物为倾倒入区重金属的重要污染源, 且在扩散作用下对倾倒入外围区海域有一定影响; (2) 各海区间叶绿素 a 和浮游植物多项指标差异不大, 倾倒入活动对浮游植物的影响尚不明显; (3) 海区间底栖动物群落组成差异性大, 倾倒入区底栖动物种类、密度、多样性指数等降低, 表明倾倒入活动可能导致环境变化从而对底栖动物产生了显著的负面作用。

研究亮点: 通过对连云港海洋倾倒入区及附近海区的水质和沉积物等理化指标以及海洋生物等生态指标进行调查分析, 从化学和生态学角度综合评价了海洋疏浚物倾倒入对周围海域的生态环境的影响, 为合理使用倾倒入区和疏浚物倾倒入管控提供了科学依据。

关键词: 连云港; 倾倒入区; 疏浚物; 重金属; 底栖动物

中图分类号: X 826

文献标志码: A

随着沿海经济和海上运输的快速发展, 港口、航道和海洋工程的建设及维护随之增长, 产生的大量疏浚物需进行海上倾倒入, 且倾倒入的疏浚物数量也在快速增加^[1]。受工业废水和城市污水影响, 疏浚物往往不同程度地被营养盐^[2]、重金属^[3]及持久性有机物^[4]污染, 其中, 重金属污染尤其受到关注。受重金属污染的疏浚物进入水体、沉积物中可能会引起海洋环境一系列变化, 改变海洋生物的生存环境, 对其造成一定的影响^[5-6]。国内外关于倾倒入区疏浚物对海域环境、生态的影响评价从水环境、沉积环境、海洋生物等方面进行了相关研究, 如姜重臣等^[7]、张亮等^[8]分别调查了大亚湾、岚山港倾倒入区, 张乃星等^[9]、STRONKHORSTA 等^[10]、钱培元等^[11]、刘旭等^[12]分别对中国胶州湾、荷兰北海、香港、烟台倾倒入区重金属和海洋生物进行调查, 相关研究表明

疏浚物的海上倾倒入会对倾倒入区周边生态环境产生不同程度的影响。关于疏浚物对周边生态环境影响尚未有统一评价方法和标准, 对于疏浚物中污染物的迁移转化、生物敏感目标监测等问题还需进一步研究。

连云港海域属南黄海海域, 近岸有中国 8 大渔场之一的海洲湾渔场, 拥有丰富的海洋鱼类资源。随着连云港工业迅速发展和港口 25 万吨主航道的开通, 使得海上倾倒入活动增加, 倾倒入区疏浚物中污染物含量有所变化。为综合评估疏浚物对连云港局部海域的生态环境影响, 本文以表底层海水、沉积物、浮游生物和底栖动物为研究对象, 通过对海洋倾倒入区与附近海域水质、沉积物、浮游植物等方面的调查, 分析调查海域内不同功能区主要污染物差异性, 为评估疏浚物海上倾倒入对海洋生态环境影响提供理论依据。

收稿日期: 2014-09-26 修回日期: 2015-03-25

基金项目: 江苏省海洋资源开发研究院基金项目 (JSIMR201224); 国家科技重大专项 (2011ZX05060 - 005); 江苏省自然科学基金项目 (BK2012135); 江苏省高校自然科学基金项目 (12KJD170001, 14KJB170001)

作者简介: 田慧娟 (1979—), 女, 工程师, 在读博士, 研究方向为海洋环境与资源调查。E-mail: thj7912@163.com

1 材料与方方法

1.1 研究区域、调查站位和内容

连云港海洋倾倒入区位于 119°47'45" ~ 119°49'56"E, 34°34'06" ~ 34°35'31"N 之间, 面积约 6.5 km², 水深 7.7 ~ 12.2 m, 平均水深为 9.8 m。自 2013 年 4 月至 12 月该倾倒入区共接纳海洋疏浚物约 130 万 m³, 主要包括港口抛泥物、航道清淤物等。倾倒入区阶段性结束后于 2014 年 3 月中旬开展该海域生态环境调查。依据功能区划、分布面积和区域位置的不同, 在海洋倾倒入区布设 2 个采样点(1~2), 倾倒入区外围区(简称外围区)海域布设 8 个采样点(3~10), 倾倒入区西边海域的养殖区(简称养殖区, 以对虾、扇贝、梭子蟹等养殖产业为主)布设 7 个(11~17)采样点, 详见图 1。

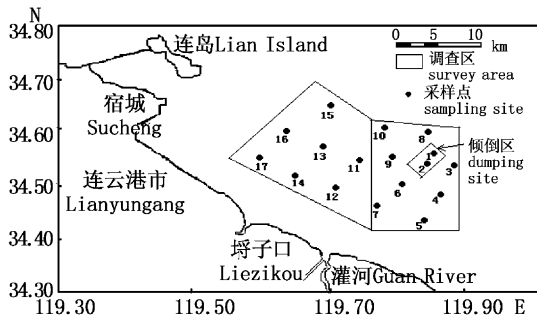


图 1 采样站位和倾倒入区位置

Fig.1 Location of sampling sites and dumping zone

水质监测项目包括水温、水深、盐度、pH、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、铜、铅、镉、锌、总汞、砷、叶绿素 a、石油类和悬浮物。所有站位进

行水质监测。

沉积物监测项目包括铜、铅、镉、锌、总汞、砷、有机碳和氧化还原电位。

海洋生物监测项目包括浮游植物、浮游动物和底栖生物。沉积物和生物调查站位为 1-4、6、8、9、13、14、16、17 号 11 个。

1.2 样品采集与分析

所有样品的采集与分析方法依照《海洋监测规范》(GB17378.5—2007)^[13]进行。现场分析的样品在 12 h 或 24 h 内分析完毕, 其他样品如石油类、重金属等, 加入固定剂后带回实验室分析。

1.3 数据统计分析

利用 surfer 8.0 软件包绘制等值线图。3 个区域水质、沉积物、生物等各项指标计算取其算术平均值。浮游植物种类多样性采用 Shannon-Wiener 指数计算^[14], 其公式为

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

式中: H' 为多样性指数; s 为种类数; $P_i = n_i/N$ (n_i 为第 i 个物种的个体数, N 为全部物种的个体数)。

2 结果与分析

2.1 海洋疏浚物对研究海域水质的影响

表 1 为倾倒入区、倾倒入区外围区、养殖区水质监测数据统计。调查表层海水的因子中 DO 在养殖区含量最高, 其次为倾倒入区外围区, 倾倒入区最低。调查表层海水中污染物 Cu、Pb、Cd、Zn、Hg、As、石油类以及 COD 均呈现倾倒入区 > 倾倒入区外围 > 养

表 1 倾倒入区、倾倒入区外围区及养殖区水质比较

Tab.1 Water quality comparison in dumping zone, external dumping zone and mariculture zone

分析指标 analyzed indicators	倾倒入区 dumping zone				外围区 external dumping zone				养殖区 mariculture zone			
	表层 surface layer		底层 bottom layer		表层 surface layer		底层 bottom layer		表层 surface layer		底层 bottom layer	
	均值	Mean SD	均值	Mean SD	均值	Mean SD	均值	Mean SD	均值	Mean SD	均值	Mean SD
DO/(mg/L)	9.59	4.23	9.15	2.27	10.53	3.68	10.06	1.97	10.66	2.19	10.66	3.15
COD/(mg/L)	1.63	0.20	1.94	0.53	0.95	0.49	1.25	0.86	0.82	0.78	1.24	1.07
Cu/(μg/L)	10.9	2.89	18.8	4.2	3.68	0.83	4.81	1.31	2.74	0.97	3.07	1.05
Pb/(μg/L)	5.81	1.13	7.85	3.73	3.11	0.45	3.93	0.95	1.31	0.45	2.64	0.65
Cd/(μg/L)	0.123	0.037	0.177	0.054	0.077	0.041	0.122	0.038	0.082	0.019	0.102	0.032
Zn/(μg/L)	31.1	14.0	57.2	27.8	19.3	10.9	25.7	21.5	16.7	9.7	21.0	11.8
Hg/(μg/L)	0.059	0.032	0.047	0.038	0.037	0.029	0.023	0.011	0.019	0.002	0.011	0.007
As/(μg/L)	1.082	0.689	1.440	1.365	0.866	0.439	0.866	0.612	0.631	0.064	0.657	0.165
石油类/(mg/L) oils	0.089	0.045	-	-	0.046	0.021	-	-	0.036	0.011	-	-
悬浮物/(mg/L)SS 135	42	160	64	184	30	128	52	81.3	29	124	56	

注:“-”表示未调查。Note:“-” Not surveyed.

殖区的特征。调查底层海水的调查因子中 DO 值的变化趋势与表层中 DO 变化一致,即养殖区略高,倾倒地最低。调查的底层海水中 Cu、Pb、Cd、Zn、Hg、As、COD 以及悬浮物呈倾倒地 > 倾倒地外围区 > 养殖区的特征,与表层污染物含量变化一致。在表层、底层中污染物含量高值多出现在倾倒地,说明疏浚物的倾倒地使得倾倒地污染物含量升高;且污染物含量变化为由倾倒地向外逐渐降低的特征,这水平梯度差表明倾倒地污染物有向外扩散的现象,并且已对周边海域造成影响。

由表 1 还可看出,非倾倒地表层和底层铜、铅、锌的差异较小,而在倾倒地表层和底层的含量差值较大,说明疏浚泥中可能铜、铅和锌含量相对较高且有一定的溶出现象。综合 3 个区域表、底层比较发现,底层水体中重金属含量多高于表层,而 DO、COD 在两层中含量差别不大,这一现象与姜重臣等^[7]、韩照祥等^[15]报道基本一致。

图 2 为调查海域表层海水 Pb 含量的水平分布,呈倾倒地向外浓度逐渐降低的分布趋势。高值区为调查海域倾倒地,说明疏浚物对该区水质产生了一定的负面影响,同时含铅污染物扩散到

附近海域并产生一定影响。倾倒地表层水体中测得 Pb 含量范围为 4.78 ~ 6.85 $\mu\text{g/L}$,最高值超出二类海水水质标准。外围及养殖区 Pb 含量范围分别为 2.05 ~ 4.27、0.79 ~ 2.72 $\mu\text{g/L}$,两区所调查值全部达到二类海水水质标准^[16]。

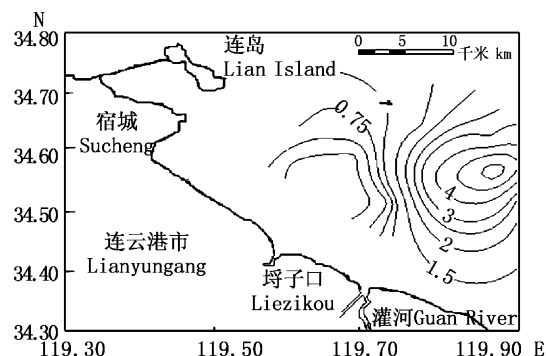


图 2 倾倒地表层海水中 Pb 含量水平分布
Fig. 2 Horizontal distribution of Pb in surface waters in dumping zone

本次调查海水中 Cu、Pb、Cd、Zn 含量均高于 2010 年葛修军等^[17]调查的数值,表明在这几年间表层海水中 Cu、Pb、Cd、Zn 含量有所增加。与其他多数海域重金属含量相差不大,见表 2。

表 2 表层海水污染物浓度和中国其他海域及标准对比

Tab. 2 The contamination of surface sea water, contrasted with other sea areas and the standard $\mu\text{g/L}$

	Cu	Pb	Cd	Zn	Hg	As	石油类 oils	参考文献 references
本次调查海域 this survey	2.36 ~ 16.9	0.79 ~ 6.85	0.034 ~ 0.197	10.9 ~ 42.4	0.011 ~ 0.072	0.32 ~ 1.42	24 ~ 98	本文 this study
连云港 2010 年 Lianyungang Year 2010	1.9	0.21	0.01	0.4	-	-	42	[17 - 18]
青岛倾倒地 Qingdao dumping zone	7.17	2.90	1.11	21.52	0.041	-	28	[19]
烟台倾倒地 Yantai dumping zone	8.87	6.20	0.285	26.25	0.066	-	17	[20]
洋山港海域 Yangshangang sea area	45.7	29.1	1.0	104.1	0.50	3.1	14.9	[21]
黄茅岛倾倒地 Huangmao dumping zone	5.16	2.05	0.20	13.4	0.009	1.21	-	[22]
标准第二类 Standard(Class Two)	10	5	5	50	0.2	30	50	[16]

注:“-”表示未调查。Note:“-” Not surveyed.

2.2 海洋疏浚物对海域沉积物环境的影响

将倾倒地、倾倒地外围区、养殖区 3 个区域表层沉积物重金属、有机碳、氧化还原电位等指标监测数据列于图 3 中并比较。由图 3 可知,倾倒地范围内表层沉积物中重金属 (Cu、Pb、Cd、Zn、

Hg、As) 含量明显高于倾倒地外围区和养殖区;说明与疏浚物倾倒地有密切关系,疏浚物最可能为该区污染物的直接来源提供物。其中 Cu 和 Hg 元素含量差异性较大,倾倒地 Cu 含量分别是外围区、养殖区的 2.85、3.14 倍,倾倒地 Hg 含量是外围

区、养殖区的 2.13、1.67 倍。从历年数据看,该海域 Hg、Cd 含量污染指数较高^[18],说明除与疏浚物有关外,很可能还有其他因素存在,如陆源排放、轮船通行等,还需进一步研究。本文重点关注疏浚物对倾倒区表层沉积物的影响,因此,表 3 将本文连云港倾倒区重金属含量与国内其他港口倾倒区海域进行比较。本次调查沉积物中重金属含量远低于厦门西海域倾倒区,与连云港临近的胶州湾等海域基本持平。

图 3 还显示倾倒区有机碳含量最高,外围次之,养殖区最低;有机碳是以碳的数量表示水中含有有机物的总量,说明倾倒区水中有机物含量高

于另外两个海区。倾倒区沉积物氧化还原电位较其他两区低,这可能是由于倾倒区有机碳含量较高,在长期的微生物降解过程中,沉积物表现为厌氧环境。

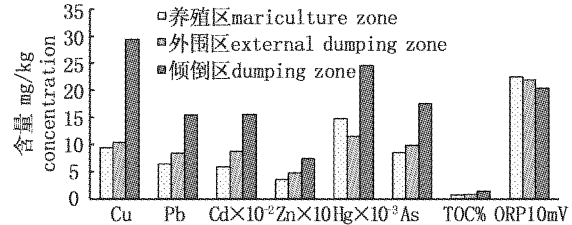


图 3 3 个调查区的沉积物中污染物比较

Fig. 3 Comparison of pollutants in the sediments between three surveyed zones

表 3 表层沉积物污染物浓度和中国其他海域及标准对比

Tab. 3 The contamination in surface sediment, contrasted with other sea areas and the standard mg/kg

	Cu	Pb	Cd	Zn	Hg	As	TOC	参考文献 references
本次调查海域 this survey	8.4 ~ 41.3	5.32 ~ 29.3	0.04 ~ 0.27	31.3 ~ 93.2	0.032 ~ 0.010	4.53 ~ 18.4	0.5 ~ 1.8	本文 this work
连云港 2010 年 Lianyungang Year 2010	48.31	24.86	0.18	-	0.056	11.58	-	[23]
岚山港倾倒区 Lanshan dumping zone	12.07	8.07	0.16	25.21	0.059	-	-	[24]
烟台倾倒区 Yantai dumping zone	8.87	6.20	0.285	26.25	0.066	-	17	[20]
胶州湾倾倒区 Jiaozhou dumping zone	3.36	1.16	0.105	9.63	0.065	-	-	[9]
厦门倾倒区 Xiamen dumping zone	30.0	75.6	0.196	215	0.091	-	-	[25]
标准第一类 Standard(Class One)	35	60	0.5	150	0.20	20	2	[26]

注:“-”表示未调查。Note:“-” Not surveyed.

2.3 海洋疏浚物对海域浮游生物和底栖动物群落的影响

调查了 3 海区浮游植物、浮游动物、底栖动物群落,从生物种类、生物密度、生物量以及多样性指数 4 个方面进行比较和评价。

图 4、表 4 分别列出了各海区海水叶绿素 a 含量和浮游植物的群落特征。倾倒区表层海水叶绿素 a 的含量略低于另两海区,同时,该区浮游植物生物种类、密度、多样性指数也都低于其他调查海区,说明海洋倾倒对浮游植物造成了一定的影响。但各海区浮游植物的密度和多样性指数差异不大,倾倒活动对浮游植物的影响力尚不明显。各海区浮游植物种类结构较丰富,硅藻在浮游植物种类组成和群落结构中具有重要地位。

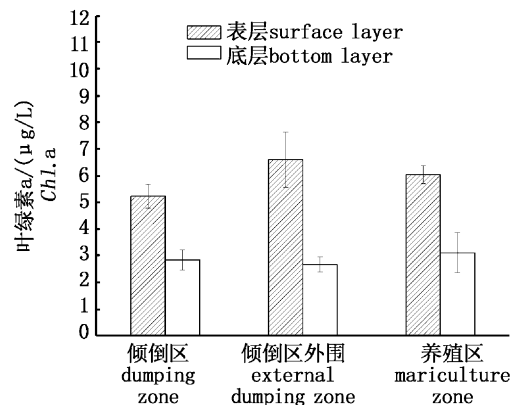


图 4 3 个调查区域海水中叶绿素 a 比较

Fig. 4 Comparison of Chlorophyll a between three surveyed zones

表 4 中浮游动物的调查数据显示,倾倒区内种类、生物密度、质量以及生物多样性指数均小于外围区和养殖区,原因可能是疏浚物倾倒使得海水环境受到影响而引起的^[27]。调查海域的浮游动物种类组成中桡足类均占绝对优势。

表 4 显示本次调查底栖动物的生物密度、质量分布、生物多样性指数海区之间差异较大。倾

倒区底栖动物群落的种类最少,其栖息密度、质量以及生物多样性指数都低于另两区。图 5 为 3 个海区底栖生物的种类组成,其中倾倒区组成最为简单,养殖区种类组成较为丰富。整个调查海域底栖动物中甲壳动物占有较大比重,其次为脊索动物和软体动物。

表 4 连云港海洋倾倒区、外围区及养殖区的海洋生物指数

Tab. 4 The marine organisms index of dumping zone, external dumping zone and mariculture zone in Lianyungang

调查区 areas	浮游植物 phytoplankton					浮游动物 zooplankton					底栖动物 benthos								
	种类数 species	密度 density /(10 ⁴ 个/ m ³)		多样性指数 diversity index		种类数 species	密度 density /(10 ⁴ 个/ m ³)		质量 weight /(mg)		多样性指数 diversity index	种类数 species	密度 density (10 ⁴ 个/ m ³)		质量 weight /(mg)		多样性指数 diversity index		
		均值 mean	SD	均值 mean	SD		均值 mean	SD	均值 mean	SD			均值 mean	SD	均值 mean	SD	均值 mean	SD	均值 mean
倾倒区 dumping zone	31	376.2	39.2	2.76	0.28	14	234.5	34.2	854.9	22.6	0.95	0.14	8	13.1	1.4	22.6	12.4	0.86	0.32
外围区 external zone	33	401.3	60.1	3.04	0.14	18	346.1	24.2	1 075.1	45.8	1.35	0.31	10	36.5	15.3	33.7	9.2	0.75	0.14
养殖区 mariculture zone	42	573.7	45.3	3.53	0.16	26	764.2	44.6	2031.5	74.2	2.07	0.42	16	55.4	10.5	121.4	24.5	1.78	0.39
调查海域 surveyed area	62	425.8	42.5	3.21	0.13	38	542.9	38.9	1871.3	56.3	1.43	0.28	23	46.0	9.4	58.8	20.4	1.09	0.53

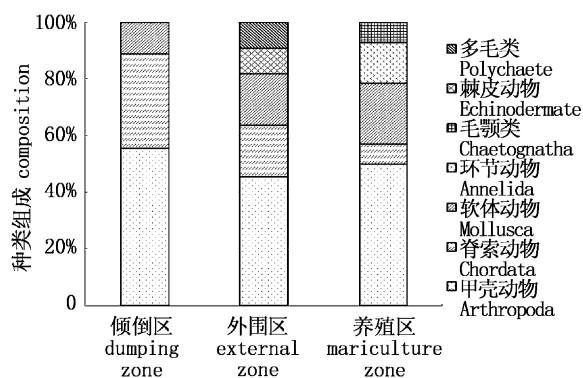


图 5 3 个调查区底栖动物种类组成

Fig. 5 Composition of benthos in three surveyed zones

3 讨论

海洋倾倒区通常接纳的倾倒物质来源于港口、航道和海洋工程等建设和维护过程中的固体物质,这些固体物质部分受陆源输入、航运等人为活动的影响,所以疏浚物在海上倾倒过程中对倾倒区海水和沉积物都会产生一定的影响^[28]。如本次调查结果显示倾倒区海水中 Cu、Pb、Cd、Zn、Hg、As、石油类以及 COD 等污染物含量均高于其他海域。倾倒区海水中的污染物由于受到扩散作用和洋流作用等影响,势必向周围海域扩

散,最终影响到周围海域水体中污染物的含量。同时,调查海域沉积物中重金属污染物在空间分布上倾倒区多为高值区,疏浚物的倾倒已对倾倒区沉积物重金属含量产生一定影响。海洋工程中产生的疏浚物一部分会沉积在倾倒区,另一部分会形成悬浮泥沙,这些疏浚物在水力、潮流、波浪的作用下扩散或扩散沉降,对附近海域环境造成一定影响^[29]。如本次调查中倾倒外围区污染物含量低于倾倒区但高于养殖区,污染物由倾倒区向附近海域呈逐渐降低的梯度分布,表明海洋倾倒的疏浚物不但对倾倒区海域水质、沉积物产生了一定的负面影响,且在扩散作用下对附近海域环境有一定影响。

养殖区海洋功能为渔业养殖,属于重点保护区域,水体和沉积物中污染物含量在调查中最低,且与前期调查数据相比变化不大,说明距离倾倒区中心 5.6 km 外的养殖区受到疏浚物的影响较小或尚不明显。但由于本研究区域内倾倒区离养殖区较近,因此要加强倾倒区疏浚物管控,防止在倾倒过程中对周围养殖海域的影响。

研究者认为底栖动物栖息在水体底部,对环境变化反应敏感,是沉积物环境污染最直接的响应群体。疏浚物倒入海水后,最终在倾倒区沉降,成为倾倒区沉积物的组成部分,但是由于属于外来沉积物,其性状等与倾倒区内源沉积物具

有一定的差异性,这对生活在海底的底栖生物影响最大^[30-31]。表4结果也证实,倾倒入区与另外两区相比,底栖生物群落种类最少,其栖息密度、质量以及生物多样性指数明显下降,表明倾倒活动可能导致环境变化从而对底栖动物产生了显著的负面作用。

根据连云港建设规划,从2009年起开始并建成15万吨级的航道,到2013年底在原有主航道的基础上拓宽、加深到25万吨,按照规划最终将达到30万吨级的规模。在建造过程中,势必有更多的疏浚物质被倒入倾倒入区内,从目前的倾倒入区海域生态环境的调查发现,疏浚物的倾倒入已经对倾倒入区周边海域产生了一定影响,而在未来的倾倒入过程中,这一影响仍将持续加剧,因此应加强对疏浚物生态风险的评价工作以及疏浚物倾倒入的管控工作。

4 结论

调查海区的表、底层海水中DO在养殖区含量最高,其次为倾倒入外围区,倾倒入区最低;而Cu、Pb、Cd、Zn、Hg、As、石油类以及COD均呈现倾倒入区>倾倒入外围区>养殖区的特征。倾倒入区范围内表层沉积物中重金属(Cu、Pb、Cd、Zn、Hg、As)含量明显高于倾倒入外围区和养殖区;有机碳含量在倾倒入区最高,外围次之,养殖区最低;倾倒入区沉积物氧化还原电位较其他两区最低。从各项监测指标看倾倒入区海水水质和沉积物与其他二区相比稍差,疏浚物的倾倒入对倾倒入区海域带来一定的负面影响。

倾倒入区叶绿素a、浮游植物、浮游动物和底栖动物各项指标均低于外围区和养殖区。海洋倾倒入导致倾倒入区底栖动物种群结构发生变化,多毛类、环节动物种类和生物量有了较大降低。

参考文献:

- [1] CASADO-MARTINEZ M C, FORJA J M, DELVALLS T A. A multivariate assessment of sediment contamination in dredged materials from Spanish ports [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 163(2/3):1353-1359.
- [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.
LIU Y, JI L, GUO J G, et al. Space-time Changing Trends Analysis of the Water Quality and Eutrophication of Yantai Nearby Seas [J]. *Marine Science Bulletin*, 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] 郑琳, 崔文林, 贾永刚. 海洋倾倒入导致生态环境变化实例研究[J]. *海洋环境科学*, 2007, 26(5): 413-416, 421.
ZHENG L, CUI W L, JIA Y G. Case study on the impact of marine dumping on eco-environment in Qingdao dumping zone [J]. *Marine Environmental Science*, 2007, 26(5): 413-416, 421.
- [6] 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.
- [7] 姜重臣, 刘蔚秋, 郑西来, 等. 临时海洋倾倒入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.
JIANG C C, LIU W Q, ZHENG X L. Impact of the temporary dumping ground on the sea area and its surroundings [J]. *Acta Scientiarum Naturallum Universitatis Sunyatseni*, 2006, 45(2): 88-91.
- [8] 张亮, 宋春丽, 曹丛华, 等. 崂山港海洋临时倾倒入区水质评价及变化趋势分析[J]. *海洋学研究*, 2012, 29(4): 43-49.
ZHANG L, SONG C L, CAO C H, et al. Water quality assessment and variation trends analysis of Lanshan port temporary ocean dumping site [J]. *Journal of marine sciences*, 2012, 29(4): 43-49.
- [9] 张乃星, 曹丛华, 任荣珠, 等. 胶州湾外海洋倾倒入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.
ZHANG N X, CAO C H, REN R Z, et al. Heavy metals in the surface sediments of the dumping ground outside Jiaozhou bay and their potential ecological risk [J]. *Environmental Science*, 2011, 32(5): 1315-1320.
- [10] STRONKHORST J, ARIESE F, Van HATTUM B, et al. Environmental impact and recovery at two dumping sites for dredged material in the North Sea [J]. *Environmental Pollution*, 2003, 124(1): 17-31.
- [11] QIAN P Y, QIU J W, KENNISH R, et al. Recolonization of benthic infauna subsequent to capping of contaminated dredged material in East Sha Chau, Hong Kong [J]. *Estuarine, coastal and shelf science*, 2003, 56(3/4): 819-831.
- [12] 刘旭, 刘艳, 赵瑞亮, 等. 烟台海洋倾倒入区生物群落结构现

- 状及动态变化分析[J]. 海洋通报, 2010, 29(4): 396 - 401.
- LIU X, LIU Y, ZHAO R L, et al. Analysis of the features and dynamic changes of biological community structure in the Yantai marine dumping site [J]. Marine Science Bulletin, 2010, 29(4): 396 - 401.
- [13] GB17378.5—2007 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- GB17378.5—2007 The Specification for Marine Monitoring [S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2007.
- [14] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana, IL: The university of Illinois Press, 1949: 125.
- [15] 韩照祥, 何冠东, 李祥, 等. 江苏海域倾倒区对海洋环境影响的安全性评价[J]. 环境污染与防治, 2011, 33(3): 11 - 14.
- HAN Z X, HE G D, LI X, et al. Safety evaluation of dredge mud dumping in Jiangsu sea area on marine environment[J]. Environmental Pollution & Control, 2011, 33(3): 11 - 14.
- [16] GB 3097 - 1997 海水水质标准[S]. 北京: 环境科学出版社, 2004.
- GB 3097 - 1997 Sea Water Quality Standard [S]. Beijing: Environmental Science Press, 2004.
- [17] 葛修军, 吴少杰, 吴建新. 连云港港口附近海水中重金属的分布特征及其规律[J]. 淮海工学院学报: 自然科学版, 2010, 19(2): 89 - 92.
- GE X J, WU S J, WU J X. Study on the Distribution Law of Heavy Metal near Lianyungang Harbor [J]. Journal of Huaihai Institute of Technology: Natural Science Edition, 2010, 19(2): 89 - 92.
- [18] 田慧娟, 杨华, 刘吉堂, 等. 连云港近海海域水质的季节和年际变化[J]. 海洋湖沼通报, 2009, (4): 139 - 144.
- TIAN H J, YANG H, LIU J T, et al. Seasonal and inter-annual variations of water quality in Lianyungang inshore[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2009, (4): 139 - 144.
- [19] 张栋梁. 长期倾倒对青岛海洋倾倒区海洋环境的影响研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- ZHANG D L. The Research on Marine Environmental Impact on the Qingdao Marine Dumping Site of Long-term Dumping Activity[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [20] 纪灵, 王荣纯, 刘昌文, 等. 烟台海洋倾倒区环境监测及对比评价[J]. 海洋通报, 2003, 22(2): 53 - 59.
- JI L, WANG R C, LIU C W, et al. Environmental Monitoring and Contrast Evaluation on Yantai Marine Dumping Site [J]. Marine Science Bulletin, 2003, 22(2): 53 - 59.
- [21] 李娟英, 崔昱, 范清平, 等. 洋山港海域表层海水中重金属及石油烃污染周年监测与评价[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(1): 95 - 101.
- LI J Y, CUI Y, FAN Q P, et al. Annual monitoring and analysis of pollution characters of heavy metal and petroleum hydrocarbon in surface seawater from Yangshan Port [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(1): 95 - 101.
- [22] 吴斌斌. 黄茅岛倾倒区重金属污染物分布特征及其潜在生态风险评价[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- WU B B. Distributing Characteristic and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metal Pollutions of the Marine Dumping Site in the South of the Huangmao Island [D] Qingdao: Ocean University of China, 2011.
- [23] 贺心然, 陈斌林, 殷伟庆, 等. 连云港近岸海域沉积物中重金属垂直分布特征研究[J]. 淮海工学院学报: 自然科学版, 2008, 17(1): 45 - 48.
- HE X R, CHEN B L, YIN W Q, et al. Study on the Vertical Distribution of Heavy Metals in Sediments of Lianyungang Near-shore Area [J]. Journal of Huaihai Institute of Technology: Natural Science Edition, 2008, 17(1): 45 - 48.
- [24] 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): 130 - 136.
- ZHANG L, REN R Z, WU F C, et al. Analysis on the distribution of surface sediment heavy metals contamination the influencing factors of temporary ocean dumping site in Lanshan port[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2012(1): 130 - 136.
- [25] 林金盾, 甄青, 景有海, 等. 厦门西海域拟疏浚物中重金属含量及其赋存形态与去除重金属污染技术[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(1): 52 - 56.
- LIN J D, ZHEN Q, JING Y H, et al. Content and partitioning and study on removal technology of heavy metals in tentative dredged sediments of Xiamen western harbor [J]. Marine environmental science, 2009, 28(1): 52 - 56.
- [26] GB18668—2002, 海洋沉积物质量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- GB18668—2002, Marine Sediment Quality [S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2004.
- [27] 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, 2014(4): 123 - 128.
- 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, 2014(4): 123 - 128.
- [28] CASADO M C, FERNANDEZ N, FORJA J M, et al. Liquid versus solid phase bioassays for dredged material toxicity assessment[J]. Environment International, 2007, 33(4): 456 - 462.
- [29] TIAN H T, HU X S, ZHANG S F, et al. Distribution and potential ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of Maowei Sea[J]. Marine Environmental Science, 2014, 33(2): 187 - 191.
- [30] KAPSIMALIS V, PANAGIOTOPOULOS I P, HATZIANESTIS I, et al. A screening procedure for selecting the most suitable dredged material placement site at the sea. The case of the

- South Euboean Gulf, Greece[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185(12):10049-10072.
- [31] 张敬怀,李小敏,方宏达,等. 珠江口海洋疏浚物倾倒区及附近海域大型底栖生物群落健康评价[J]. 热带海洋学报,2010,29(5):119-124.
- ZHANG J H, LI X M, FANG H D, et al. Assessment of macrobenthic community health at the Pearl River Estuary ocean dumping site[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2010,29(5):119-124.

Evaluation of the impact of ocean dredged materials upon the ecology and environment in certain Lianyungang sea areas

TIAN Huijuan^{1,2}, LIU Jitang³, LÜ Haibin², ZHANG Rui²

(1. Jiangsu Marine Resources Development Research Institute, Lianyungang 222001, Jiangsu, China; 2. School of Geodesy & Geomatics Engineering, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, Jiangsu, China; 3. Lianyungang Marine Environmental Monitoring Station, the State Oceanic Administration Bureau of China, Lianyungang 222042, Jiangsu, China)

Abstract: To explore the impact of dredged materials upon the marine ecological environment, surveys of water quality, sediments and marine organisms were conducted respectively at seventeen sites in Lianyungang dumping area and nearby waters in March, 2014. For the sake of study the sea area was divided into dumping zone, external dumping zone and mariculture zone. Marine pollutants and biological indicators of the three zones were compared in pairs with an aim to explore the status quo of phytoplankton, zooplankton and benthic communities and the differences in between. Hence a more comprehensive evaluation can be made over the impact of dredged materials upon the marine ecological environment. The survey results were presented as follows: (1) Dredged materials constituted the major source of heavy metals in the dumping zone, and exerted influence upon the external dumping zone under the diffusion effect. The heavy metals content in seawater and sediments ranked as dumping zone > external dumping zone > mariculture zone. (2) Indicators like chlorophyll a and phytoplankton did not differ much among the three zones, which implied that phytoplankton were not seriously affected by dredging activities. (3) By comparison the benthos in dumping zone displayed fewest species, relatively lower habitat density and biodiversity index, which indicated the obvious change in ecological environment and apparent negative impact from dredged materials in the zone.

Key words: Lianyungang; dumping zone; dredged material; heavy metals; benthos