

# 辽东湾西部倾废区临近海域大型底栖动物群落结构

张晓举<sup>1</sup>, 王海棠<sup>1</sup>, 周建波<sup>1</sup>, 温若冰<sup>2</sup>

(1. 国家海洋局 北海海洋工程勘察研究院, 山东 青岛 266061; 2. 国家海洋局 北海环境监测中心, 山东 青岛 266033)

**摘要:** 2012年9月对辽东湾西部倾废区海域的大型底栖动物进行了调查。调查海域共发现底栖动物54种, 包括多毛类35种, 甲壳类10种, 软体动物6种, 棘皮动物1种, 其他2种。底栖动物丰度平均为1 140.8个/m<sup>2</sup>, 生物量为11.02 g/m<sup>2</sup>, 多样性指数平均为3.39。丰度、生物量比较结果显示, 调查海域大型底栖动物群落受到中度干扰, 调查海域底栖动物群落可分为以对照组为主的群落和倾废区群落。海洋倾废导致倾废区内大型底栖动物的种类数量、丰度、生物量和多样性水平下降, 群落特征种受倾废的影响较明显。底栖动物与重金属含量之间无显著相关关系, 掩埋是辽东湾西部倾废活动主要的影响方式。

**关键词:** 辽东湾; 大型底栖动物; 生物多样性; 群落结构; 倾废区

中图分类号: X835 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2014)11-0041-06

doi: 10.11759/hyqx20140311004

大型底栖动物具有区域性强, 迁移能力弱等特点, 对于环境污染及变化通常少有回避能力, 其群落的破坏和重建需要相对较长的时间, 利用大型底栖动物的种群结构、优势种类、数量等参量可以确切反应海洋环境的质量状况。海洋大型底栖动物的生态学研究, 对于了解底栖生态系统的结构和功能, 开展海洋监测, 实现海洋生物资源的保护和持续利用具有十分重要的科学意义<sup>[1-3]</sup>。近年来, 随着港湾开发和海洋工程的发展, 疏浚物倾废量逐年增加。倾废活动必然会对海洋底栖生态系统产生影响。锦州港临时海洋倾废区(以下简称倾废区)自2002年至2009年累计倾废量约1 300万m<sup>3</sup>, 2010年倾废75万m<sup>3</sup>, 2011年倾废87.4万m<sup>3</sup>, 2012年截至7月已倾废53.6万m<sup>3</sup>, 倾废物主要为疏浚废物。目前关于倾废活动对底栖动物影响的研究较少, 张敬怀等<sup>[4]</sup>、郑琳等<sup>[5]</sup>、刘旭等<sup>[6]</sup>分别研究了珠江口、烟台及青岛海洋倾废区倾废活动引起的生物种群变化进行了研究, 而关于辽东湾倾废活动对大型底栖动物的影响未见诸报道。

作者对倾废区及邻近海域大型底栖动物的群落结构进行了初步分析, 研究了倾废活动对大型底栖动物群落的影响, 为合理利用海洋提供基础资料和科学依据, 有助于进一步认识人类活动与海洋生态系统功能的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查站位与样品采集

采样站位见图1, 在研究范围内共设12个站位进行定量采集, 水深为16~20 m, 1~6号站为2002年至今进行过倾废的范围, 是辽东湾倾废活动比较频繁的区域。根据倾废海域水文条件及沉积物的分布, 在倾废范围外选择7~12号站作为对照组, 分析倾废海域内外大型底栖动物群落的差异。海上采样时间为2012年9月, 用0.05 m<sup>2</sup>曙光(HNM-1-2型)采泥器, 每站采样2次, 泥样经0.5 mm套筛现场冲洗, 挑拣全部生物为一个样品。样品用5%福尔马林溶液现场固定, 于实验室鉴定后称质量(湿质量)。室内分析方法按《海洋调查规范》(GB/T12763.9-2007)<sup>[7]</sup>进行。

### 1.2 数据处理

采用Shannon-Wiener指数、Margalef丰度指数、Pielou均匀度指数分析底栖动物的群落结构。

收稿日期: 2014-02-12; 修回日期: 2014-06-08

基金项目: 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室开放基金资助项目

作者简介: 张晓举(1982-), 男, 山东威海人, 工程师, 硕士研究生, 从事海洋生态学研究, 电话: 13553074532, E-mail: zhangxj\_space@163.com

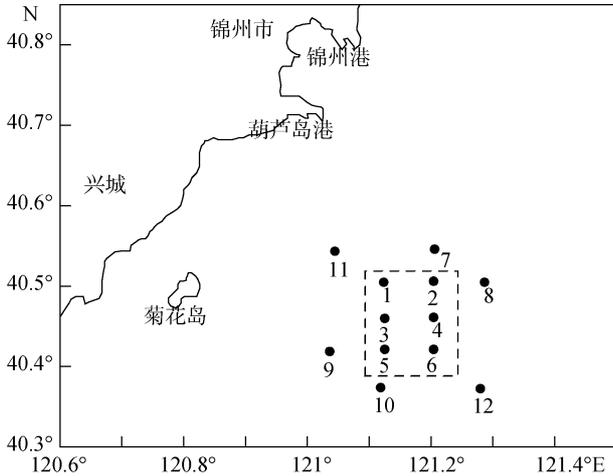


图 1 辽东湾西部海域大型底栖动物调查站点分布

Fig.1 Sampling stations of macrobenthos in the western waters of Liaodong Bay

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数: } H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

$$\text{Margalef 丰度指数: } d = (S-1) / \log_2 N$$

$$\text{Pielou 均匀度指数: } J = H' / \log_2 S$$

$$\text{优势度指数: } Y = (n_i / N) \times f_i$$

式中,  $n_i$  为第  $i$  种的个体数量;  $P_i = n_i / N$ ,  $N$  为采集样品种的所有种类总个体数;  $S$  为采集样品的种类总数。 $f_i$  为第  $i$  种的出现频率。

用丰度/生物量比较曲线, 即 ABC 曲线 (Abundance and Biomass Curves) 来监测环境污染对大型底栖动物群落的扰动。用 Primer5.0 软件构建 Bray-Curtis 相似性矩阵, 用 Bray-Curtis 相似性系数聚类对群落结构进行分析。在进行群落分析时去除在总体中丰度小于 1% 的种, 但保留其中在任一站位相对丰度大于 3% 的种, 以减少机会种的干扰<sup>[8]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 大型底栖动物种类组成

调查共发现底栖动物 54 种, 其中多毛类 35 种, 占总种数的 64.8%; 甲壳类 10 种, 占总种数的 18.5%; 软体动物 6 种, 占总种数的 11.1%; 棘皮动物、纽形动物和脊椎动物各一种。调查海域底栖动物的优势种以多毛类为主 (表 1), 其中日本长尾虫 (*Aspeudes nipponicus*) 和深沟毛虫 (*Sigambra bassi*) 等多毛类优势突出, 是调查海域最重要的种类组成部分; 甲壳类以背尾水虱 (*Anthuridea*) 和双眼钩虾 (*Ampelisca* sp.) 占有优势, 软体动物仅长偏顶蛤 (*Modiolus elongatus*) 一种占有优势。对照组共发现底栖动物 53 种, 仅多毛类膜质

伪才女虫 (*Pseudopolydora kempii*) 未在对照组内出现, 其余种类均在对照组内有所分布。倾倒范围内的底栖动物种类数量明显低于对照组, 共有 38 种大型底栖动物, 其中多毛类 26 种, 甲壳类 7 种, 软体动物 2 种, 棘皮动物、纽形动物和脊椎动物各 1 种。对照组内各站位均有数量众多的软体动物出现, 而倾倒范围内几乎未发现软体动物, 仅距离倾倒位置较远的 6 号站发现 2 种软体动物, 且数量较低, 与对照组形成鲜明的对比, 这是由于疏浚物覆盖了原有底质, 破坏了定居性贝类的栖息环境, 造成大量软体动物的死亡<sup>[9]</sup>, 倾倒活动对定居性的软体动物掩埋效应尤其明显。

表 1 调查海域大型底栖动物优势种

Tab.1 Dominant species of macrobenthos in the investigated waters

优势种	丰度 (个/m <sup>2</sup> )	优势度
日本长尾虫 <i>Aspeudes nipponicus</i>	164.2	0.10
深沟毛虫 <i>Sigambra bassi</i>	94.2	0.09
西方似蛭虫 <i>Amaeana occidentalis</i>	59.2	0.04
拟特须虫 <i>Paralacydonia paradoxa</i>	83.3	0.04
背尾水虱 <i>Anthuridea</i>	71.7	0.04
索沙蚕 <i>Lumbrineridae</i>	40.8	0.03
小头虫 <i>Capitella capitata</i>	41.7	0.03
双眼钩虾 <i>Ampelisca</i> sp.	56.7	0.03
长偏顶蛤 <i>Modiolus elongatus</i>	35.0	0.02

### 2.2 大型底栖动物丰度与生物量

调查海域内大型底栖动物的平均丰度为 1 140.8 个/m<sup>2</sup>, 取值为 220.0~2 290.0 个/m<sup>2</sup>。平均生物量为 11.02 g/m<sup>2</sup>, 其范围为 3.15~38.15 g/m<sup>2</sup>。生物量及丰度的最高值均出现在距岸较近的 11 号站, 该站发现数量众多的日本长尾虫 (*Aspeudes nipponicus*) 和背尾水虱 (*Anthuridea*), 对生物量和丰度作出了较大贡献。调查海域多毛类的平均丰度为 738.3 个/m<sup>2</sup>, 生物量为 6.58 g/m<sup>2</sup>; 甲壳动物的平均丰度为 201.7 个/m<sup>2</sup>, 生物量为 2.65 g/m<sup>2</sup>, 这两大动物类群是调查海域大型底栖动物群落的重要组成部分。倾倒范围内的底栖动物丰度及生物量明显低于对照组 (图 2)。倾倒范围内的软体动物生物量为 0.22 g/m<sup>2</sup>, 丰度为 12 个/m<sup>2</sup>, 远低于对照组 1.34 g/m<sup>2</sup> 和 107 个/m<sup>2</sup> 的结果; 棘皮动物生物量平均值为 0.07 g/m<sup>2</sup>, 而对照组为 0.79 g/m<sup>2</sup>, 相差近 10 倍, 这与棘皮动物对环境扰动比较敏感有关<sup>[10]</sup>。软体动物和棘皮动物的减少是造成底栖动物丰度、生物量下降的主要原因。

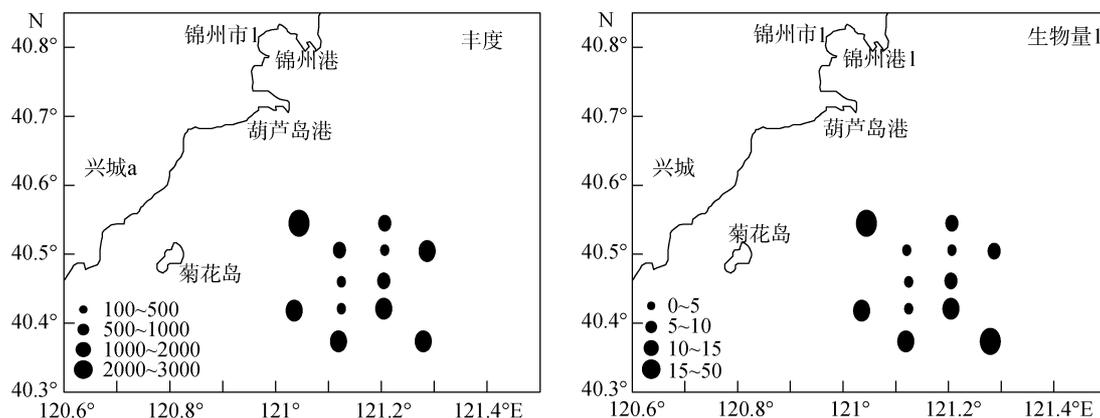


图2 大型底栖动物丰度及生物量的空间分布

Fig.2 Spatial distribution of the abundances and biomasses of macrobenthos

### 2.3 大型底栖动物群落多样性

底栖动物群落多样性指数见表2。结果表明, 倾倒在范围内生物多样性指数、均匀度高于对照组, 丰富度指数则低于对照组。这种现象的原因主要有两个: 一是距离倾倒在范围较远的6号站多样性水平很高, 达到4.04的清洁水平, 该站物种的数量分布比较均匀, 丰富度指数及生物量均接近于对照组, 提高了倾倒在范围内多样性指数的平均水平; 而对对照组的7号站日本长尾虫优势度达到0.66, 挤占了其他生物的生存空间, 导致该站多样性指数偏低, 拉低了对照组的多样性指数水平。去除6、7号站的干扰因素后倾倒在范围内多样性水平低于对照组。二是在倾倒在范围内几乎未采集到大个体的底栖动物, 大个体生物没有明显优势, 而小个体的底栖动物如深沟毛虫、西方似蛭虫、小头虫等数量分布均匀, 导致了倾倒在范围内多样性水平与均匀度高于对照组。

表2 调查海域大型底栖动物多样性指数  
Tab.2 Diversity index of macrobenthos in the investigated waters

生态指数	变化范围		平均值	
	倾倒在范围	对照组	倾倒在范围	对照组
多样性指数	2.22~4.04	2.06~4.10	3.45	3.33
均匀度	0.86~0.97	0.57~0.93	0.91	0.78
丰富度指数	1.12~3.20	1.12~3.16	2.38	2.52

### 2.4 表层沉积物重金属含量与底栖动物的相关性分析

韩洁等<sup>[11]</sup>对渤海大部分海区的大型底栖动物物种多样性进行了分析, 发现沉积物重金属含量会对

大型底栖动物的多样性造成影响, 其中对物种数的影响尤为突出。调查海域表层沉积物以粉砂质黏土为主, 重金属含量较低(表3), 接近辽东湾环境背景值<sup>[12-13]</sup>。沉积物重金属含量与底栖动物种类数量、丰度、生物量及多样性水平之间没有明显的相关关系(表4), 这是由于倾倒在物以港区和航道疏浚物为主, 疏浚物成分<sup>[14]</sup>与调查海域沉积物成分接近, 化学污染对调查海域沉积物环境造成的影响较小。

表3 调查海域表层沉积物重金属含量  
Tab.3 Contents of heavy metals in surface sediments in the investigated waters

重金属	质量比(mg/kg)	平均值(mg/kg)
Cu	13.1~22.3	18.8
Pd	14.3~31.6	23.7
Zn	25.4~78.3	55.6
Cd	0.12~0.35	0.24
Cr	18.9~47.1	26.6

### 2.5 大型底栖动物丰度、生物量比较曲线及群落分析

大型底栖动物丰度、生物量比较曲线较接近(图3)且出现交叉, 生物量曲线整体位于丰度曲线之上, 说明调查海域大型底栖动物群落受到中度干扰, 大型底栖动物群落由一种或几个个体较小的种类占优势。聚类分析结果表明在30%的相似度上, 大型底栖动物群落可分为两个群落(图4): 群落包括6~12号站, 群落内的站位由对照组和距离倾倒在位置较远的6号站组成, 相似程度较高, 受倾倒在活动干扰较小。群落内生物多样性水平较高, 物种相对丰富, SIMPER分析表明拟特须虫、长偏顶蛤、背尾水虱

表 4 大型底栖动物与表层沉积物重金属含量的相关关系

Tab.4 Correlations between macrobenthos and the content of heavy metals in sediments

<i>r</i>	Cu	Pd	Zn	Cd	Cr	丰度	生物量	种类数	<i>H'</i>
Cu	1								
Pd	0.693*	1							
Zn	-0.588*	-0.415	1						
Cd	-0.100	-0.127	0.024	1					
Cr	-0.016	0.153	-0.089	0.467	1				
丰度	-0.010	0.314	0.130	-0.069	0.366	1			
生物量	0.062	0.387	0.172	-0.436	0.016	0.823**	1		
种类数	-0.063	-0.131	-0.008	0.488	0.342	0.257	-0.075	1	
<i>H'</i>	-0.113	0.099	0.200	-0.079	0.025	0.804**	0.642	0.505	1

注: \*表示  $P < 0.05$ ; \*\*表示  $P < 0.01$

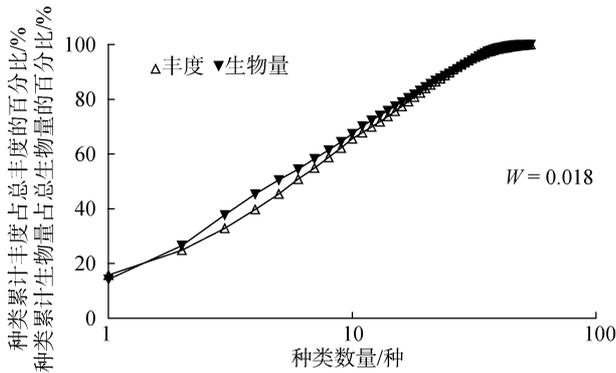


图 3 调查海域大型底栖动物 ABC 曲线

Fig.3 ABC plots of macrobenthos in the investigated waters

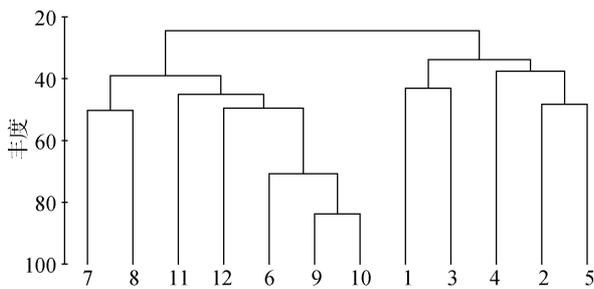


图 4 调查海域大型底栖动物丰度的聚类分析

Fig. 4 Cluster analysis of macrobenthos abundance in the investigated waters

表 5 渤海不同海区间大型底栖生物的比较

Tab.5 The comparison of macrobenthos in different waters of Bohai Sea

调查海域	时间 (年-月)	采泥器 类型	孔径 (mm)	站位数量 (个)	丰度 (个/m <sup>2</sup> )	生物量 (g/m <sup>2</sup> )	<i>H'</i>	文献
辽东湾北部	2007-07	0.1 m <sup>2</sup> 静力式	1.0	29	68.28	22.75	2.41	[15-16]
辽东湾西部	2009-10	0.05 m <sup>2</sup> HNM	0.5	14	2387.1	11.16	3.56	[8]
渤海湾	2005-08	0.05 m <sup>2</sup> HNM	0.5	30	57.5	16.52	2.18	[17]
辽东湾西部	2012-09	0.05 m <sup>2</sup> HNM	0.5	12	1140.8	11.02	3.39	本文

和双眼钩虾为群落特征种,多毛类、软体和甲壳动物在群落中占有较大的比例,棘皮动物也有广泛的分布;群落包括 1~5 号站。该群落位于倾倒活动较为频繁的区域,受干扰较为明显,深沟毛虫、西方似蛭虫、索沙蚕和小头虫是该群落的特征种,小个体的多毛类是该群落的主要组成部分。与对照组比较,丰度、生物量及多样性水平均有所下降。

### 3 讨论

#### 3.1 与历史资料的比较

据现有文献,渤海尤其是辽东湾内进行的大型底栖动物研究较为零散,且站位设置疏密不一,采样范围也不相同,由此造成了数据间的可比性较差。为了解调查海域的底栖生态状况,本文选取了站位设置相对集中的研究结果(表 5),初步探讨大型底栖动物的分布趋势。倾倒范围内大型底栖动物丰度与渤海范围内的其他海域相差甚远,而生物量差别较小,造成这种差异的原因有:(1)采样方法和站位布设的不同。采样方法的不同主要表现在采泥器类型和所用网筛孔径上。辽东湾北部调查采用 1 mm 孔径的网筛,较本次调查所用网筛的孔径大,且采用静力式采泥器,是导致平均丰度差异的原因之一。另

外地理位置和站位布设的位置不同也是造成差异的重要原因。(2)环境因素的差异。几次调查季节不同,水文和水质条件的差异是导致底栖动物丰度有较大波动范围的原因之一。(3)倾倒活动的干扰。由于倾倒的影响,局部范围内几乎没有软体动物的出现,棘皮动物、甲壳类的数量也有明显下降,是丰度及多样性指数较2009年10月低的主要原因。本次调查的结果与辽东湾西部的调查结果比较接近,基本能够反映辽东湾西部大型底栖动物的情况。

### 3.2 大型底栖动物群落结构特点

调查海域大型底栖动物群落以多毛类、甲壳类和软体动物为主。倾倒范围内的大型底栖动物的种数、丰度、生物量均低于对照组,群落的相似程度较低,斑块化分布明显。多毛类在种类和数量组成上占有绝对优势,小个体的深沟毛虫、西方似蛭虫等多毛类是该群落的特征种,群落结构相对简单。对照组底栖动物特征种包括多毛类、甲壳类和软体动物,种类构成相对复杂,多样性水平和相似程度较高,与群落相比是较为稳定的群落,位于调查海域西北的7、8号站与群落内各站相似程度较低,这是由于疏浚物在涨潮流的搬运作用下抵达至此,对这两个站的底栖动物群落产生了影响。聚类结果反映了底栖动物的空间分布及扰动情况,倾倒活动对调查海域尤其是倾倒范围内底栖动物群落的影响较为明显。

### 3.3 倾倒活动对大型底栖动物的影响

丰度生物量比较曲线显示,研究海域大型底栖动物群落受到中度干扰。倾倒频繁的区域大型底栖动物的丰度、生物量均有所下降,软体动物、棘皮动物数量的降幅尤为明显。软体动物和甲壳类在群落中所占优势下降,定居性的软体动物几乎消失,群落的特征种全部为小个体的多毛类,与对照组差异明显,底栖动物的群落结构发生了改变,可能为演替形成的次生群落。倾倒活动对大型底栖动物的影响方式主要是掩埋为主的物理影响及溶出物的化学影响等<sup>[18]</sup>。调查海域倾倒物主要为港池航道的疏浚物,其成分接近辽东湾沉积物的环境本底值,重金属含量与底栖动物的数量及多样性水平之间没有明显的相关性,化学污染并非倾倒对调查海域底栖动物群落的主要影响方式。掩埋是倾倒活动对底栖生物群落的主要干扰方式。

参考文献:

- [1] 张志南,水层-底栖耦合的某些进展[J]. 青岛海洋大学学报, 2000, 30(1): 115-122.
- [2] Resh V H, Norris R H, Barbour M T. Design and implementation of rapid assessment approaches for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates[J]. Australian Journal of Ecology, 1995,20: 108-121.
- [3] Bonsdorff E, Blomqvist E M. Biotic coupling on shallow water soft bottoms-examples from the Northern Baltic Sea[J]. Oceanogr Mar Biol Ann Rev, 1993,31: 153-176.
- [4] 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.
- [5] 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):413-421.
- [6] 刘旭, 刘艳, 赵瑞亮, 等. 烟台海洋倾倒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.
- [7] 国家技术监督局. GB 12763.6-1991 海洋调查规范-海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
- [8] 季相星, 曲方圆, 隋吉星, 等. 辽东湾西部海域秋季大型底栖动物的群落结构特征[J]. 海洋科学, 2012, 36(11): 7-13.
- [9] Roberts R D, Forrest B M. Minimal impact from longterm dredge spoil disposal at a dispersive site in Tasman Bay, New Zealand [J]. Marine and Fresh water Research, 1999, 33: 623-633 .
- [10] 何明海. 利用底栖生物监测与评价海洋环境质量[J]. 海洋环境科学, 1989, 8(4):49-54.
- [11] 韩洁, 张志南, 于子山. 渤海中南部大型底栖动物物种多样性的研究[J]. 生物多样性, 2003, 11(1):20-27.
- [12] 郝静, 李淑媛, 周永芝, 等. 渤海辽东湾沉积物中Cu、Pb、Zn、Cd环境背景值初步研究[J]. 海洋学报, 1989, 11(6):742-748.
- [13] 胡宁静, 石学法, 黄朋, 等. 渤海辽东湾表层沉积物中金属元素分布特征[J]. 中国环境科学, 2010, 30(3): 380-388.
- [14] 李玉娜, 邵秘华, 邱春霞. 锦州港疏浚沉积物中重金属的吸附和解吸[J]. 大连海事大学学报(自然科学版), 2005, 31(2): 64-67.

- [15] 刘录三, 孟伟, 郑丙辉, 等. 辽东湾北部海域大型底栖动物研究: 种类组成与数量分布[J]. 环境科学研究, 2008, 21(6): 118-123.
- [16] 刘录三, 孟伟, 李新正, 等. 辽东湾北部海域大型底栖动物研究: 生物多样性与群落结构[J]. 环境科学研究, 2009, 22(2): 155-161.
- [17] 房恩军, 李军, 马维林, 等. 渤海湾近岸海域大型底栖动物初步研究[J]. 现代渔业信息, 2006, 10: 11-15.
- [18] 虞志英, 张勇. 疏浚物倾抛对海洋环境影响的研究评述[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(4): 461-464.

## Macrobenthos community in the western Liaodong Bay ocean with dumping ground

ZHANG Xiao-ju<sup>1</sup>, WANG Hai-tang<sup>1</sup>, ZHOU Jian-bo<sup>1</sup>, WEN Ruo-bing<sup>2</sup>

(1. SOA, North Sea Marine Engineering Prospecting Research Institute, Qingdao 266061, China; 2. North China Sea Environmental Monitoring Center, SOA, Qingdao 266033, China)

Received: Feb., 12, 2014

Key words: Liaodong Bay; macrobenthos; biodiversity; community; structure; ocean dumping ground

**Abstract:** Macrobenthos in the western waters of Liaodong Bay with dumping ground was investigated in September 2012. Totally 53 species were identified in the research region, including 35 species of Polychaeta, 10 species of Crustacea, 6 species of Mollusca, 1 specie of Echi nodermata, and 2 species of other taxonomical. The average abundance of macrobenthos was 1140.8 ind./m<sup>2</sup>, and average biomass was 11.02 g/m<sup>2</sup>. The average biodiversity index of macrobenthos was 3.39. The Abundance/biomass comparison reveals that the macrobenthos community had moderate interference in the research region. The macrobenthos community can be divided into two groups: control group and dumping ground group. The ocean dumping had decreased species quantity, abundance, biomass and diversity level of mactobenthos. The ocean dumping changed the characteristic species in this area. There were no significant correlation between macrobenthos and the content of heavy metals. Covering was the main influence manner for ocean dumping in the western waters of Liaodong Bay.

(本文编辑: 梁德海)