

夏季辽东湾西部海域大型底栖动物群落结构与多样性

王 智¹, 曲方圆¹, 隋吉星², 王振钟³, 季相星⁴, 赵 宁¹, 于子山¹

(1. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003; 2. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 3. 青岛正源水生物检测有限公司, 山东 青岛 266555; 4. 连云港市环境监测中心站, 江苏 连云港 222001)

摘要: 为了解夏季辽东湾西部海域大型底栖动物群落结构与多样性, 作者于2009年8月对六股河口外海域15个站位进行了大型底栖动物调查。整个研究海域共采到大型底栖动物124种, 其总平均丰度为 (2824 ± 1537) 个/m², 总平均生物量为 (22.01 ± 38.58) g/m²。利用相对重要性指数和优势度指数所确定的前三位优势种一致, 分别为二齿半尖额涟虫(*Hemileucon bidentatus*)、深钩毛虫(*Sigambra bassi*)和独指虫(*Aricidea fragilis*), 其余优势种存在细微差异。各站位香农-维纳多样性指数、Pielou 均匀度指数和Margalef丰富度指数均呈现河口和中部海域低, 近岸和外围海域高的分布规律。在50%相似度水平上, 可将研究海域划分为4个群落。研究表明: 研究海域底栖环境整体清洁, 底层水环境因子对大型底栖动物群落的影响较弱。

关键词: 辽东湾西部; 大型底栖动物; 群落结构; 多样性; 优势种

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)01-0040-08

doi: 10.11759/hyxx20140826003

国际上对大型底栖动物的研究始于18世纪初, 经历了从零星采集到大范围调查, 从定性研究到定量分析, 从形态观察到生态学研究的发展过程^[1]。目前大型底栖动物生态学已经发展出包括生产力、群落结构、多样性和食物网^[2]等在内的多个研究方向, 国内对该领域的研究多集中于分析多样性和群落结构特征。

辽东湾是渤海三大海湾之一, 总面积约30 000 km²^[3], 平均水深约20 m^[4]。其西、北、东3面环陆, 受人类活动影响巨大^[5-7], 因而定期进行生态学调查意义重大。目前, 国内学者已对辽东湾展开了比较系统的大型底栖动物生态学研究^[8-11], 但对夏季辽东湾西部海域的研究却尚未见报道。本研究是基于2009年8月的调查结果进行的, 研究目的有两个: (1)进行多样性分析, 判断夏季辽东湾西部海域的底栖环境状况; (2)探究大型底栖动物群落结构特征, 并分析环境因子与群落的关系, 为渤海海域生态学研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究海域及站位设置

于2009年8月7日对辽东湾西部六股河口外海域(120.51°E~120.67°E, 40.26°N~40.36°N)进行大型底栖动物调查, 共设15个站位, 站位设置见图1。

1.2 样品采集与处理

使用0.05 m²HNM采泥器采样, 所采泥样用孔径为0.5 mm的网筛分选; 分选后所得样品用10%福尔马林溶液固定。采样与样品分析等均按照《海洋调查规范 第6部分: 海洋生物调查》(GB/T 12763.6-2007)^[12]进行。

1.3 环境因子的测定

研究站位底层水的温度(T)、盐度(S)和浊度(Turb)为CTD现场测定, 溶解氧(DO)为现场采用电化学探头法^[13]测定, 化学需氧量(COD)、活性磷酸盐(PO₄-P)及可溶性无机氮(DIN)均按照相应的标准^[14]在实验室内测定。

1.4 数据处理

1.4.1 优势种

本研究采用相对重要性指数(Index of Relative Importance, IRI)^[11, 15]判定优势种, 并与优势度指数(Dominance index, Y)^[10, 16]所得结果作比较。

收稿日期: 2014-08-26; 修回日期: 2015-01-07

基金项目: 国家海洋可再生能源专项(GHME2010ZC08)

[Foundation: National Marine Renewable Energy Program(GHME2010ZC08)]

作者简介: 王智(1990-), 男, 山东青岛人, 硕士生, 主要从事海洋底栖生物生态学研究, E-mail: olpykxy@126.com; 于子山, 通信作者, 电话: 0532-82031938, E-mail: yu_zishan@ouc.edu.cn

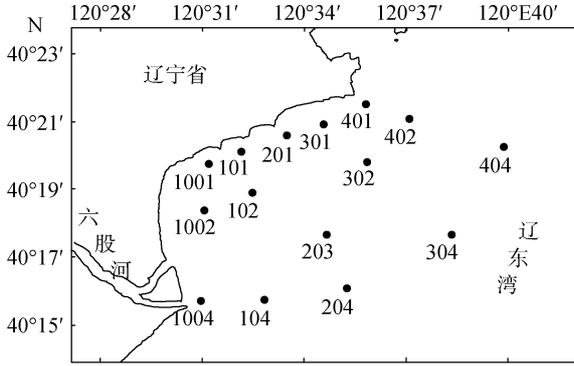


图 1 辽东湾西部海域大型底栖动物研究站位图

Fig. 1 Locations of 15 sampling sites in the western waters of Liaodong Bay

两种指数的计算公式如下:

$$IRI = (W + N) \times F$$

$$Y = N \times F$$

式中, W 为某种的生物量与总生物量的百分比, N 为该种的丰度与总丰度的百分比, F 为该种的出现频率。

1.4.2 多样性指数

本研究采用香农-维纳多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J')和 Margalef 丰富度指数(d)进行多样性分析, 计算公式如下:

$$H' = -\sum(n_i/N) \log_2(n_i/N)$$

$$J' = H' / \log_2 S$$

$$d = (S - 1) / \log_2 N$$

其中: S 为总种数, N 为总丰度(个/m²), n_i 为第 i 种的丰度(个/m²)。

1.4.3 群落分析

使用 PRIMER 5.0 中的 CLUSTER、MDS、PCA、BIOENV 和 RELATE^[17] 等方法进行群落划分和相关分析。进行 CLUSTER 分析前, 将丰度数据开 4 次方转化; 进行 PCA 分析前, 将环境数据正态化^[18]。

2 结果

2.1 种类组成

本次调查共鉴定出大型底栖动物 124 种, 分属 7 个门类, 包括: 腔肠动物 1 种, 扁形动物 1 种, 纽形动物 1 种, 多毛类 59 种, 软体动物 12 种, 甲壳类 47 种, 棘皮动物 3 种。其中, 多毛类和甲壳类的种数最多, 分别占总种数的 47.6% 和 37.9%, 略高于春、秋两季^[10, 11] 的调查结果。

2.2 优势种

由表 1 可见, 大型底栖动物优势种以甲壳类和多毛类为主。甲壳类以二齿半尖额涟虫为代表, 主要分布在 1002 站、203 站、302 站和 201 站所围成的近岸和中部区域内。多毛类以深钩毛虫和独指虫为代表, 前者分布比较广泛, 以 301 站(560 个/m²)、201 站和 101 站为中心, 向四周丰度逐渐下降; 后者有两个分布中心, 一个是 401 站(2140 个/m²), 一个是 104 站(400 个/m²), 其他站位丰度较低。

根据表 1 可知, 由 IRI 和 Y 两种指数所得的前 3 位优势种完全一致, 第 4~6 位的物种种类相同, 但顺序不同; 第 7、8 位的物种种类不同。

表 1 相对重要性指数和优势度指数排前 8 位的种

Tab.1 Ranking of the top eight species according to IRI and Y

种名	IRI	种名	Y
二齿半尖额涟虫(<i>Hemileucon bidentatus</i>)	1341	二齿半尖额涟虫	0.1218
深钩毛虫(<i>Sigambra bassi</i>)	661	深钩毛虫	0.0528
独指虫(<i>Aricidea fragilis</i>)	599	独指虫	0.0523
寡鳃齿吻沙蚕(<i>Nephtys oligobranchia</i>)	410	滩拟猛钩虾	0.0317
拟特须虫(<i>Paralacydonia paradoxa</i>)	391	寡鳃齿吻沙蚕	0.0302
滩拟猛钩虾(<i>Harpiniopsis vadicularis</i>)	351	拟特须虫	0.0275
经氏壳蛞蝓(<i>Philine kinglippii</i>)	320	中蚓虫(<i>Mediomastus</i> sp.)	0.0221
细雕刻肋海胆(<i>Temnopleurus toreumaticus</i>)	296	细长涟虫(<i>Iphinoe tenera</i>)	0.0170

2.3 丰度与生物量

在本研究中, 大型底栖动物平均丰度为(2 824±1 537) 个/m², 其中最低值为 840 个/m²(102 站), 最高值达 7 020 个/m²(401 站)。平均生物量为(22.01±

38.58) g/m², 其中最低值为 2.70 g/m²(203 站), 最高值达 155.22 g/m²(402 站)。研究发现, 在河口与中部海域大型底栖动物的丰度和生物量较低, 而在近岸和外围海域则相对较高。

2.4 多样性

在本研究中,各站位总种数 S 呈现出河口和中部海域低,近岸和外围海域高的分布规律(图 2a)。其中 S 的最低值出现在 203 站(17 种),最高值在 401 站(61 种)。Pielou 均匀度指数 J' 的分布也呈现上述规律(图 2b),不过 J' 值在 1004 站和 102 站较高。Margalef 丰富度指数 d 的分布规律与 J' 和 S 基本一致,最低值

出现在 203 站,最高值在 401 站。香农-维纳多样性指数 H' 值在 201、1002、203 和 302 4 站较低,在近岸和外围海域较高,其最高值在 402 站。

由表 2 可知,各站位 H' 平均值为 3.824 ± 0.818 。根据蔡立哲等^[19]提出的海洋底栖动物多样性指数污染程度评价标准可知,研究海域底栖环境整体清洁。

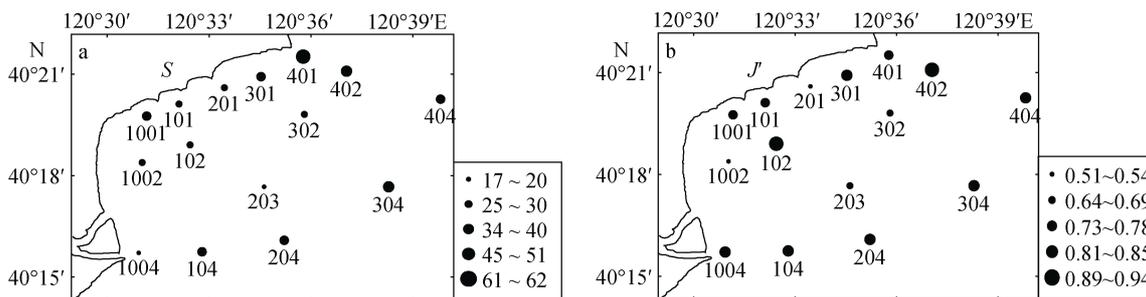


图 2 各站总种数(a)和 Pielou 均匀度指数(b)

Fig. 2 Total number of species (a) and Pielou's evenness index of 15 sampling sites (b)

表 2 研究海域各站位多样性指数

Tab. 2 Diversity indexes of 15 sampling sites throughout the research region

站位	S	J'	d	H'
1001	36	0.775	4.379	4.009
1002	29	0.538	3.329	2.611
1004	19	0.809	2.510	3.435
101	25	0.733	3.242	3.402
102	25	0.943	3.564	4.377
104	39	0.845	4.754	4.465
201	25	0.514	2.951	2.388
203	17	0.688	2.236	2.814
204	34	0.851	4.283	4.330
301	34	0.836	4.041	4.254
302	25	0.642	3.188	2.982
304	50	0.840	6.026	4.743
401	61	0.754	6.775	4.473
402	45	0.898	5.500	4.929
404	34	0.815	4.231	4.147
平均	33 (±12)	0.765 (±0.124)	4.067 (±1.286)	3.824 (±0.818)

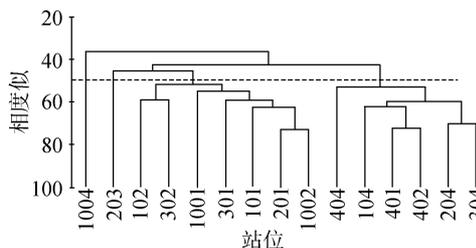


图 3 大型底栖动物群落聚类图
(丰度开四次方转化)

Fig. 3 Dendrogram for clustering of macrofauna community (using $\sqrt[4]{}$ -transformed abundance data)

个群落: 1004 站划为群落, 203 站划为群落, 102、302、1001、301、101、201 和 1002 七站划为群落, 404、204、304、104、401 和 402 六站划为群落。4 个群落的 MDS 排序及空间分布见图 4。

SIMPER 分析显示,二齿半尖额涟虫在对群落间非相似度(表 3)和各群落内相似度的贡献中都居重要地位。此外,深钩毛虫、独指虫、拟特须虫和滩拟猛钩虾等也都是影响群落划分的重要物种。

2.5.2 PCA 分析

基于环境因子矩阵,作出二维 PCA 排序图,并由此划分出 3 个环境区域,结果见图 5。其中,第 1 主成分(PC1)的方差贡献率为 54.8%,主要综合了底层水温、水深、盐度、化学需氧量、浊度和溶解氧的变异信息;第二主成分(PC2)的方差贡献率为

2.5 群落分析

2.5.1 群落划分

基于丰度矩阵,对研究海域 15 个站位进行聚类分析,结果见图 3。

在 50%的相似度水平上,15 个站位被划分成了 4

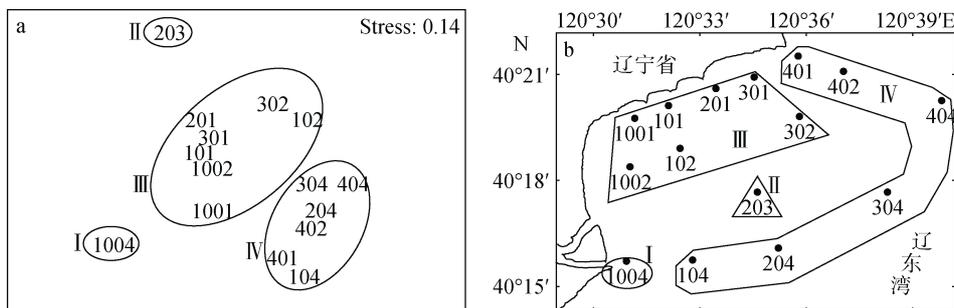


图 4 MDS 排序图(a)及群落划分图(b)
Fig. 4 MDS configuration (a) and configuration of 15 sites (b)

实线表示 50%相似度水平
at similarity levels of 50%

表 3 群落间主要的非相似度贡献种与累积非相似度贡献

Tab. 3 Species for primary contribution of average dissimilarity between each of the two groups and cumulative contribution of these species

群落	种名	贡献(%)
、	二齿半尖额涟虫、中蚓虫、多丝独毛虫(<i>Tharyx multifilis</i>)	27.56
、	二齿半尖额涟虫、深钩毛虫、多丝独毛虫	22.97
、	拟特须虫、独指虫、深钩毛虫	14.99
、	深钩毛虫、寡鳃齿吻沙蚕、中蚓虫	19.84
、	二齿半尖额涟虫、拟特须虫、独指虫	15.72
、	二齿半尖额涟虫、拟特须虫、内海拟钩虾 (<i>Gammaropsis utinomii</i>)	14.10

18.4%，主要综合了可溶性无机氮、活性磷酸盐、溶解氧、盐度、浊度和化学需氧量的变异信息。前两个主成分的累积方差贡献率达到了 73.2%，这说明投影在以此二轴所确定的平面上能相当好地反映出

各站位间真实的环境差异^[17]。

PCA 分析结果表明：所有站位可以根据环境差异划分为 3 个区域(图 5b)，但这 3 个区域与基于丰度矩阵所划分的群落(图 4b)并不一致。

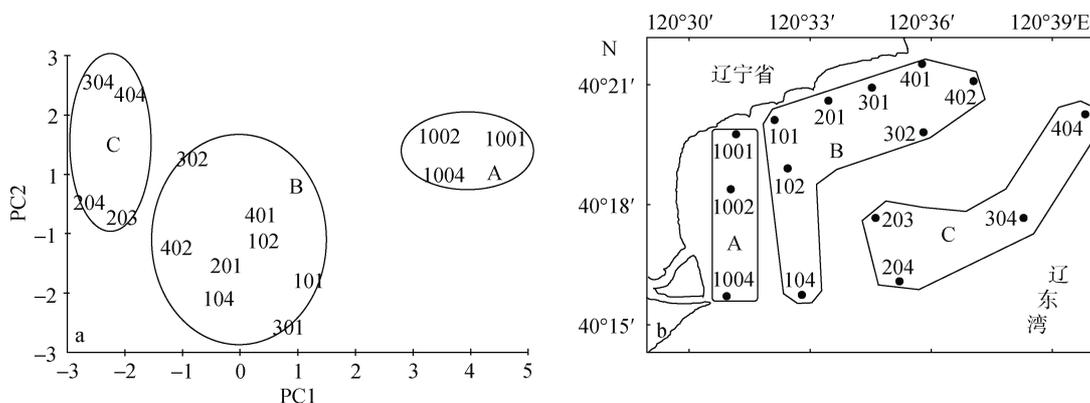


图 5 环境因子 PCA 排序(a)和环境区域划分(b)

Fig. 5 2-dimensional PCA ordination using (a) normalised environmental data and (b) configuration of the 15 sampling sites

实线表示 92%相似度水平
at similarity levels of 92% (continuous line)

2.5.3 相关性分析

BIOENV 分析结果显示, Spearman 等级相关系

数(r)最大值为 0.330(DIN), 故可溶性无机氮是与大型底栖动物群落关系最为密切的底层水环境因子。

RELATE 检验显示,群落结构与底层水环境因子之间的相关关系不显著($P=0.065$)。

结合 PCA 和 BIOENV 的分析结果可知,底层水环境因子对大型底栖动物群落的影响较弱。若要准确把握影响群落的因素尚需考虑其他环境因子。

3 讨论

3.1 优势种判定方法的缺陷

相对重要性指数和优势度指数均来源于非底栖生物领域^[20-21],目前国内尚无报道说明其对大型底栖动物的适用性。根据表 1 可知,利用两种指数所得出的前几位优势种是一致的,其他优势种存在差异。通过分析这些差异并结合优势种的定义^[22]可以发现两种指数存在的缺陷:(1)IRI 易高估某些丰度和出现频率很低,但生物量极高的物种的重要性。例如,丰度(20 个/ m^2)和出现频率(6.7%)都非常低的细雕刻肋海胆是不符合优势种定义的,但因其生物量(146.60 g/m^2)极高,故在 IRI 结果中排名非常靠前。(2)Y 易低估生物量和出现频率较高,但丰度较低的物种的重要性。例如,经氏壳蛭螺的生物量(13.06 g/m^2)和出现频率(66.7%)均较高,但丰度(360 个/ m^2)较低,由于 Y 公式中仅包括丰度和出现频率权重,因而其排名比较靠后。

在实际工作中,由于优势种的要求数目较少,以上缺陷影响不大。但是,相关适用性说明或开发新的优势种选择方法仍然是有必要的。

3.2 沉积物粒径与群落的关系

沉积物粒径是影响大型底栖动物群落结构的重要因素^[23-25]。本研究调查的环境因子并不包括沉积物粒径,为了探讨其与群落的关系,作者根据相关研究^[26]绘制了六股河口外海域沉积物粒径图(图 6)。需要注意的是,201 站与 404 站连线以北的区域无沉积物粒径数据。

由图 6 可见,自六股河口向外,沉积物类型依次为砂、砂质粉砂和粉砂质砂。群落 (1004 站)临近河口,位于砂与砂质粉砂交界处。群落 (203 站)位于粉砂质砂侵入砂质粉砂的舌形区域内,该站底层水浊度($Turb=13.8FTU$)远高于其他站位,可能是此处沉积环境不稳定所致。群落 各站都位于近岸,沉积物类型同属砂质粉砂。以上 3 个群落的划分结果

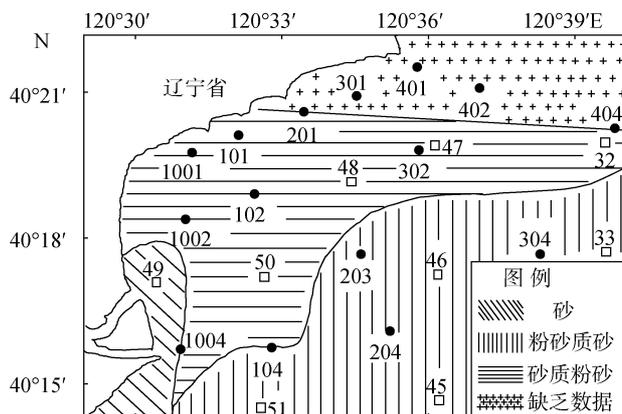


图 6 研究海域沉积物粒径图^[26]

Fig. 6 Sediment texture of research region^[26]

空心方框表示所引用研究采样站位; hollow boxes represent sampling sites

都可由沉积物类型给出合理的解释。群落 各站底质类型不同,且数据缺乏,尚须考虑其他因素。总体而言,在本研究中,沉积物粒径能够在一定程度上解释群落的划分结果。

3.3 本研究与相关研究的对比

本研究在 50%相似度水平上划分群落,对比其他研究^[15, 27],这一数值相对较高,说明各群落内部站位间相似性较高。

各研究按网筛孔径可以分为两类:0.5 mm 和 1 mm,表 4 中使用前者的各研究的丰度值比后者高出 1~2 个数量级。此外,表 4 中渤海内部的各研究对比显示,渤海沿岸大型底栖动物的总种数远低于渤海中、南部。产生这一结果的原因可能是所取站位数和所用网筛的孔径不同,但也不能排除后者种类数确实比前者丰富的可能性。

本研究的平均生物量仅为渤海中、南部的一半。原因之一是后者的棘皮动物对平均生物量的贡献达 18.88 g/m^2 ,而本研究仅为 9.77 g/m^2 。与胶州湾北部相比,本研究均匀度较高,但丰度和生物量较低。

本研究平均均匀度与春(5月)、秋(10月)两季很接近,表明其随季节变化不大。总种数、丰度及生物量按春、夏、秋时间顺序都呈现先增加后减小的趋势,这反映了研究海域大型底栖动物的季节波动规律。由于对各主要优势种的生活史及消长规律缺乏认识,本研究只能从整体层面认识群落数量变化。

表 4 本研究结果与相关研究对比

Tab. 4 Comparison between this study and correlated studies

研究海域	调查时间 (年.月)	采泥器	筛径 (mm)	站位数	总种数	平均均匀度	平均丰度 (个/m ²)	平均生物量 (g/m ²)	来源
渤海中、南部	1997~1999	0.1 m ² 箱式	0.5	20	306	0.744±0.107	2576	44.47	[28-29]
辽东湾西部	2009.5	0.05 m ² HNM	0.5	12	78	0.778±0.091	1675.8	21.37	[10]
辽东湾西部	2009.10	0.05 m ² HNM	0.5	14	99	0.771±0.184	2387.1	11.16	[11]
辽东湾西部	2009.8	0.05 m ² HNM	0.5	15	124	0.765±0.124	2824.0	22.01	本研究
胶州湾西北部	2010	0.05 m ² HNM	0.5	8	182	0.708±0.061	5010.2	46.58	[23]
渤海	1982.7	0.1 m ² HNM	1	101	276	*	343	22.76	[30]
辽东湾北部	2007.7	0.1 m ² 静力式	1	29	79	0.7072**	68.28	22.75	[8-9]
渤海湾近岸	2008.4	0.1 m ² 静力式	1	21	99	0.84±0.11***	228.81	36.03	[31]

注：“*” 原文无该值；“**” 原文中无该值，但给出了香农-维纳指数的均值 H' 、Margalef 物种丰富度指数的均值 d 和总平均丰度值 N 。根据 $J' = H' / \log_2 S$ 和 $d = (S-1) / \log_2 N$ ，代入 H' 、 d 、 N ，求得均匀度指数的平均值 J' 。该值仅用于估计，并非真值；“***” 原文中无标准差，根据各站位均匀度值计算得出

参考文献:

[1] 蔡立哲. 海洋底栖生物生态学和生物多样性研究进展[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2006, 45: 83-89.
Cai Lizhe. Progress on marine benthic ecology and biodiversity[J]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2006, 45: 83-89.

[2] Demopoulos A W J, Gualtieri D, Kovacs K. Food-web structure of seep sediment macrobenthos from the Gulf of Mexico[J]. Deep-Sea Research II, 2010, 57: 1972-1981.

[3] 栾振东, 李泽文, 范奉鑫, 等. 渤海辽东湾区海底地形分区特征和成因研究[J]. 海洋科学, 2012, 36(1): 73-80.
Luan Zhendong, Li Zewen, Fan Fengxin, et al. The characteristics and formation of the submarine topography in the Liaodong Bay, the Bohai Sea[J]. Marine Sciences, 2012, 36(1): 73-80.

[4] 胡雪明. 辽东湾水质数值模拟及富营养化状况分析[D]. 大连: 大连理工大学, 2007: 5.
Hu Xueming. Water quality numerical simulation and eutrophication assessment in the Liaodong Bay[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2007: 5

[5] 于春艳, 梁斌, 鲍晨光, 等. 渤海富营养化现状及趋势研究[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(2): 175-177.
Yu Chunyan, Liang Bin, Bao Chenguang, et al. Study on eutrophication status and trend in Bohai Sea[J]. Marine Environmental Science, 2013, 32(2): 175-177.

[6] 王焕松, 雷坤, 李子成, 等. 辽东湾北岸主要入海河流污染物入海通量及其影响因素分析[J]. 海洋学报, 2011, 33(6): 110-116.
Wang Huansong, Lei Kun, Li Zicheng, et al. Analysis of major pollutants flux into the sea and influencing factors on the north shore of the Liaodong Gulf[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2011, 33(6): 110-116.

[7] 方小伟. 六股河水质污染特征分析[J]. 北方环境, 2011, 23(11): 87-89.
Fang Xiaowei. Analysis of water quality characteristics in Liu Gu River[J]. Northern Environment, 2011, 23(11): 87-89.

[8] 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.
Liu Lusan, Meng Wei, Zheng Binghui, et al. Studies on macrobenthos in the northern waters of Liaodong Bay: Species composition and number distribution[J]. Research of Environmental Sciences, 2008, 21(6): 118-123.

[9] 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.
Liu Lusan, Meng Wei, Li Xinzheng, et al. Studies on macrobenthos in the northern waters of Liaodong Bay: Biodiversity and community structure[J]. Research of Environmental Sciences, 2009, 22(2): 155-161.

[10] 王振钟, 隋吉星, 曲方圆, 等. 春季辽东湾西部海域大型底栖动物生态学研究[J]. 海洋湖沼通报, 2013, 1: 113-119.
Wang Zhenzhong, Sui Jixing, Qu Fangyuan, et al. Preliminary ecological study on the macrobenthos in the western waters of Liaodong Bay in spring[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2013, 1: 113-119.

[11] 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.
Ji Xiangxing, Qu Fangyuan, Sui Jixing, et al. Community structure characteristics of macrobenthos in the western waters of Liaodong Bay in autumn[J]. Marine Sciences, 2012, 36(11): 7-13.

[12] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.6-2007. 中华

- 人民共和国国家标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12763.6-2007. National standard of the People's Republic of China[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [13] 环境保护部. HJ 506-2009. 中华人民共和国国家环境保护标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009: 1-5. Ministry of Environment Protection of the People's Republic of China. HJ 506-2009. National environmental protection standard of the People's Republic of China[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2009: 1-5.
- [14] 中国国家标准化管理委员会. GB 17378.4-2007. 中华人民共和国国家标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 109-119. Standardization Administration of the People's Republic of China. GB 17378.4-2007. National standard of the People's Republic of China[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 109-119.
- [15] 韩洁, 张志南, 于子山. 渤海中、南部大型底栖动物的群落结构[J]. 生态学报, 2004, 24(3): 531-537. Han Jie, Zhang Zhinan, Yu Zishan. Macrobenthic community structure in the southern and central Bohai Sea, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 531-537.
- [16] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲎渔场的关系[J]. 生态学杂志, 1989, 8(4): 13-15. Xu Zhaoli, Chen Yaqu. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea[J]. *Journal of Ecology*, 1989, 8(4): 13-15.
- [17] Clarke K R, Warwick R M. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation(2nd edition) [M]. Plymouth: Primer-E Ltd. 2001: 25-50.
- [18] 周红, 张志南. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用[J]. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(1): 58-64. Zhou Hong, Zhang Zhinan. Rationale of the multivariate statistical software PRIMER and its application in benthic community ecology[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2003, 33(1): 58-64.
- [19] 蔡立哲, 马丽, 高阳, 等. 海洋底栖动物多样性指数污染程度评价标准的分析[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2002, 41(5): 641-646. Cai Lizhe, Ma Li, Gao Yang, et al. Analysis on assessing criterion for polluted situation using species diversity index of marine macrofauna[J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2002, 41(5): 641-646.
- [20] McNaughton S J. Relationships among functional properties of Californian grassland[J]. *Nature*, 1967, 216: 168-169.
- [21] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. California Department of Fish and Game Fish Bulletin, 1971, 152: 1-105.
- [22] 生态学名词审定委员会. 生态学名词[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 54. Committee of Terms in Ecology. Chinese terms in ecology[M]. Beijing: Science Press, 2007: 54.
- [23] 王振钟. 胶州湾西北部海域大型底栖动物生态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012. Wang Zhenzhong. The ecological study on macrobenthos in the northwest waters of Jiaozhou Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [24] 季相星. 青岛湾潮间带大型底栖动物生态学[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012. Ji Xiangxing. The ecological study of macrobenthos in Qingdao Bay intertidal zone[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [25] 曲方圆. 北黄海春秋大型底栖动物生态学[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010. Qu Fangyuan. The ecological study of macrobenthos in north Yellow Sea in spring and autumn[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010.
- [26] 王恩康. 辽东湾六股河口外海域地貌冲淤影响因素研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012. Wang Enkang. Study on the influence factors of erosion and deposition near the LiuGu River Estuary area in Liaodong Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [27] 冷宇, 刘一霆, 杜明, 等. 黄河口海域 2004—2009 年春季大型底栖动物群落的时空变化[J]. 海洋学报, 2013, 35(6): 128-139. Leng Yu, Liu Yiting, Du Ming, et al. Temporal and spatial variation of macrofaunal communities in the Estuary of Yellow River during spring of 2004—2009[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2013, 35(6): 128-139.
- [28] 韩洁, 张志南, 于子山. 渤海大型底栖动物丰度和生物量的研究[J]. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(6): 889-896. Han Jie, Zhang Zhinan, Yu Zishan. Study on the macrobenthic abundance and biomass in Bohai Sea[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2001, 31(6): 889-896.
- [29] 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. Han Jie, Zhang Zhinan, Yu Zishan. Macrobenthic species diversity in southern and central Bohai Sea, China[J]. *Biodiversity Science*, 2003, 11(1): 20-27.
- [30] 孙道元, 刘银城. 渤海底栖动物种类组成和数量分布[J]. 黄渤海海洋, 1991, 9(1): 42-50. Sun Daoyuan, Liu Yincheng. Species composition and quantitative distributions of biomass and density of the macrobenthic infauna in the Bohai Sea[J]. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas*, 1991, 9(1): 42-50.
- [31] 王瑜, 刘录三, 刘存歧, 等. 渤海湾近岸海域春季大型底栖动物群落特征[J]. 环境科学研究, 2010, 23(4): 430-436.

Community structure and diversity of macrobenthos in the western waters of Liaodong Bay during summer

WANG Zhi¹, QU Fang-yuan¹, SUI Ji-xing², WANG Zhen-zhong³, JI Xiang-xing⁴, ZHAO Ning¹, YU Zi-shan¹

(1. College of Marine Life, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. Qingdao Zheng Yuan Aquatic Life Testing Co., Ltd., Qingdao 266555, China; 4. Lianyungang Municipal Environmental Monitoring Center Station, Lianyungang 222001, China)

Received: Aug., 26, 2014

Key words: western waters of Liaodong Bay; macrobenthos; community structure; diversity; dominant species

Abstract: To understand community structure and biodiversity, macrobenthos at 15 sites in the western waters of Liaodong Bay were investigated in August, 2009. The survey was based on “Specifications for oceanographic survey-Part 6: Marine biological survey (GB/T 12763.6-2007),” and data analysis was realized by using the software PRIMER 5.0. A total of 124 species were identified in the research region. The average abundance of macrobenthos was (2824 ± 1537) ind/m², and the average biomass was (22.01 ± 38.58) g/m². The top three dominant species were *Hemileucon bidentatus*, *Sigambra bassi*, and *Aricidea fragilis*; the results were obtained by using the Index of Relative Importance and Dominance Index. Similar distributions of the Shannon-Wiener index, Pielou’s evenness index, and Margalef’s richness index were also found in the research region, even though these values were lower in the estuary and middle waters than in the inshore and peripheral waters. Four macrobenthic community groups could be identified at a 50% similarity level according to CLUSTER, based on the average species abundances at all 15 sites. Results showed the research region to be unpolluted, and the examined bottom water parameters were found to have a weak influence on the macrobenthos community.

(本文编辑: 谭雪静)