

DOI:10.11758/yykxjz.20161123001

http://www.yykxjz.cn/

涂梁莉, 刘卫霞, 隋吉星, 曲方圆, 赵凡淇, 钟海霞, 张蒙生, 于子山. 山东南部沿海夏季大型底栖动物群落结构特征. 渔业科学进展, 2018, 39(1): 27-36

Tu LL, Liu WX, Sui JX, Qu FY, Zhao FQ, Zhong HX, Zhang MS, Yu ZS. The community structure of macrobenthos in the southern coastal waters nearby the Shandong Peninsula in summer. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(1): 27-36

## 山东南部沿海夏季大型底栖动物群落结构特征\*

涂梁莉<sup>1</sup> 刘卫霞<sup>1</sup> 隋吉星<sup>2</sup> 曲方圆<sup>3</sup>  
赵凡淇<sup>1</sup> 钟海霞<sup>1</sup> 张蒙生<sup>1</sup> 于子山<sup>1①</sup>

(1. 中国海洋大学海洋生命学院 青岛 266003;

2. 中国科学院海洋研究所 青岛 266071; 3. 国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266061)

**摘要** 2006年8月在山东南部沿岸海域32个站位进行了大型底栖动物研究,共发现大型底栖动物182种,其中,多毛类92种,甲壳类42种,软体动物29种,棘皮动物9种,其他类群10种。研究海域大型底栖动物总平均丰度为2001 ind./m<sup>2</sup>,总平均生物量为15.92 g/m<sup>2</sup>。根据IRI指数,优势种前4种分别是寡鳃齿吻沙蚕(*Nephtys oligobranchia*)、中蚓虫(*Mediomastus sp.*)、独指虫(*Aricidea fragilis*)和巴氏钩毛虫(*Sigambra bassi*)。Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )为2.20~4.59,平均值为3.92; Margalef丰富度指数( $d$ )为0.99~5.39,平均值为3.98; Pielou均匀度指数( $J$ )为0.61~0.89,平均值为0.80。根据CLUSTER分析结果,在36%的相似性水平上可将研究站位划分为2个群落。多样性分析表明,研究海域底栖生态环境总体为清洁。Pearson相关性分析显示,大型底栖动物丰度和水深呈显著负相关( $r=-0.38, P<0.05$ )。BIOENV分析表明,与群落结构关系最密切的环境因子组合是粉砂+水深+有机碳( $r=0.46$ )。

**关键词** 山东南部沿海; 大型底栖动物; 群落结构; 多样性; BIOENV

中图分类号 S932 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2018)01-0027-10

大型底栖动物是海洋生态系统的重要组成成分,它们通过摄食、掘穴和建管等扰动活动直接或间接地影响着海洋生态系统(田胜艳等,2009)。大型底栖动物迁移能力弱、区域性强,对于环境污染及变化通常少有回避能力,可以较好地反映环境质量状况,在海洋生物监测中具有重要意义(罗先香等,2009; Callier *et al*, 2008; Coyle *et al*, 2007)。

山东半岛南部濒临南黄海,海岸线曲折蜿蜒,沿岸多港口、海湾。近年来,有关山东半岛南部海域大型底栖动物已有报道,研究内容涉及种类组成、丰度生物量分布、物种多样性、群落结构和次级生产力等,但这些研究仅限于几个重要的海湾(季相星,2012; 于海燕等,2006; 赵宁等,2013)及邻近海区(齐磊磊等,2013; 王全超等,2013; 王宗兴等,2010)。目前,尚没

\* 国家自然科学基金(41576153)、中国海砂质潮间带猛水蚤的多样性研究:格局及形成机制和国家海洋局海洋生态系统与生物地球化学重点实验室开放基金项目(MEB201507)和富钴结壳勘探区深海猛水蚤的分类学和生态学研究课题共同资助[This work was supported by National Natural Science Foundation of China (41576153), Harpacticoid Copepod Diversity on Intertidal Sandy Beaches in China Sea: Patterns and Formation Mechanisms and Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry (MEB201507), and Taxonomy and Ecology of Deep Sea Harpacticoids From Cobalt-Rich Crusts Area].  
涂梁莉, E-mail: ml3335059509@163.com

① 通讯作者: 于子山, 副教授, E-mail: yu\_zishan@ouc.edu.cn

收稿日期: 2016-11-23, 收修改稿日期: 2017-01-16

有对整个山东南部沿岸海域大型底栖动物的研究报道。本文对 2006 年 8 月在山东半岛南部沿海采集的大型底栖动物样品进行了种类组成、丰度生物量分布、群落结构和多样性等进行研究, 以期为该海域生态系统的深入研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 站位设置

在山东南部沿岸海域设置了 12 个断面, 共 32 个站位。研究海域北起乳山湾南侧海域, 南至日照港, 站位见图 1。

### 1.2 样品的采集、处理与分析

2006 年 8 月 14~22 日, 乘坐鲁即渔水 0669 船进

行大型底栖动物样品的采集。使用 0.05 m<sup>2</sup> 抓斗式采泥器采泥, 每站 3~4 次, 采用 0.5 mm 孔径的网筛分选沉积物样品, 分选后所得样品用 10% 的福尔马林溶液保存固定。样品的处理、保存、计数和称量等均按照中华人民共和国质量监督检验检疫总局(2007)《海洋调查规范》方法进行。

### 1.3 环境因子测定

每站取适量沉积物样品, 分别用于沉积物粒度和有机碳的测定。沉积物粒度采用 Cilas 940L 型激光粒度仪。依据矩值法计算粒度参数(McManus, 1988), 通过 Folk 法分析沉积物类型(王中波等, 2007)。有机碳测定则按照中华人民共和国质量监督检验检疫总局(2007)《海洋调查规范》中重铬酸钾-硫酸氧化法及刘昌岭等(2007)的改进方法进行。

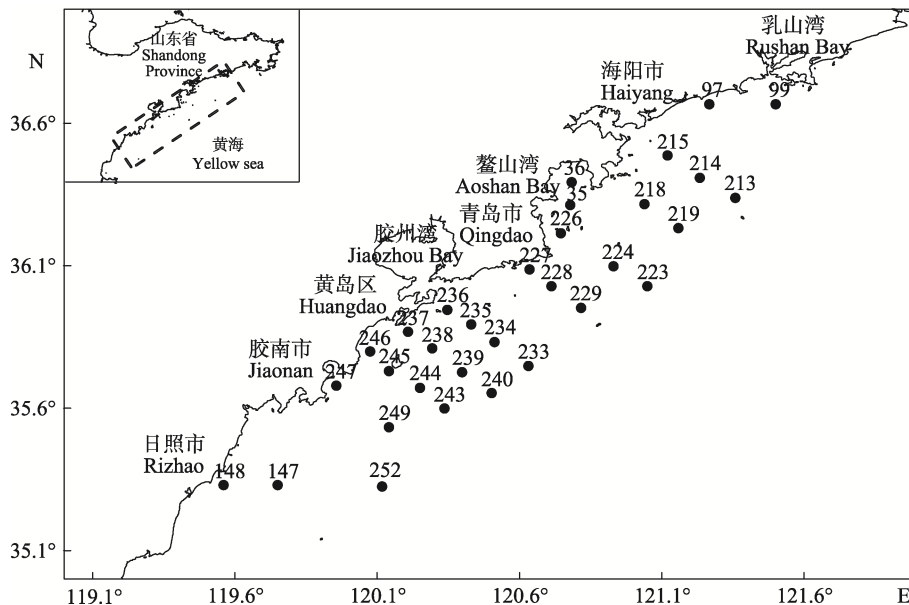


图 1 研究海域站位

Fig.1 The map of sampling stations in the investigated waters

### 1.4 数据处理

**1.4.1 优势种确定** 采用相对重要性指数 IRI(Index of Relative Importance)进行优势种的确定。计算公式如下:

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

式中,  $W$  为每种的生物量占总生物量的百分比,  $N$  为每种的丰度占总丰度的百分比,  $F$  为该种出现的频率。

**1.4.2 多样性指数计算** 本研究采用了 Margalef 丰富度指数( $d$ )、Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )以及 Pielou's 均匀度指数( $J$ )进行多样性分析, 公式如下:

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

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

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

式中,  $S$  为样品的总种数,  $N$  为样品的总个体数,  $n_i$  为第  $i$  种的个体数。

**1.4.3 群落结构分析** 利用 PRIMER 5.0 软件对大型底栖动物进行 CLUSTER 分析和 MDS 分析。应用 ANOSIM 检验各群落之间是否有显著差异, SIMPER 分析并了解表征群落的特征种及造成群落差异的物种。通过 PCA 分析环境因子主成分, 再使用 BIOENV 分析出与群落相关性最密切的环境因子组合, 并对其进行 RELATE 检验。使用 SPSS 17.0 软件进行 Pearson

相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 大型底栖动物种类组成

本研究共采集到大型底栖动物 182 种。其中, 多毛类 92 种, 占总物种数的 51%; 甲壳类 42 种, 占总物种数的 23%; 软体动物 29 种, 占总物种数的 16%; 棘皮动物 9 种, 占总物种数的 5%; 其他类群 10 种, 分别是腔肠动物(5 种)、扁形动物(1 种)、纽形动物(1 种)、腕足动物(1 种)、头索动物(1 种)和鱼类(1 种), 占总物种数的 5%。

表 1 为 IRI 指数前 10 位的种。其中, 8 种多毛类, 1 种软体动物, 1 种甲壳类, 说明了多毛类在研究海域底栖动物群落中的重要性。

表 1 相对重要性指数排名前 10 位的种  
Tab.1 The top 10 IRI species

种类 Species	相对重要性指数 IRI
寡鳃齿吻沙蚕 <i>Nephtys oligobranchia</i>	1043
中蚓虫 <i>Mediomastus</i> sp.	532
独指虫 <i>Aricidea fragilis</i>	519
巴氏钩毛虫 <i>Sigambra bassi</i>	462
微小海螂 <i>Leptomya minuta</i>	336
拟特须虫 <i>Paralacydonia paradoxa</i>	287
不倒翁虫 <i>Sternaspis scutata</i>	279
太平洋方甲涟虫 <i>Eudorella pacifica</i>	264
柔弱索沙蚕 <i>Lumbrinereis debilis</i>	197
稚齿虫 <i>Prionospio</i> sp.	191

### 2.2 大型底栖动物丰度与生物量组成及空间分布

研究海域大型底栖动物的总平均丰度为 2001 ind./m<sup>2</sup>, 多毛类占绝对优势, 平均丰度为 1332 ind./m<sup>2</sup>, 占总

平均丰度的 66%; 甲壳类平均丰度为 358 ind./m<sup>2</sup>, 占总平均丰度的 18%; 软体动物平均丰度为 264 ind./m<sup>2</sup>, 占总平均丰度 13%; 棘皮动物平均丰度为 33 ind./m<sup>2</sup>, 占总平均丰度的 2%; 其他类群平均丰度为 14 ind./m<sup>2</sup>, 占总平均丰度的 1%。

研究海域大型底栖动物的总平均生物量为 15.92 g/m<sup>2</sup>, 软体动物和多毛类比重最大, 分别为 5.28 和 4.91 g/m<sup>2</sup>, 占总平均生物量的 33% 和 31%; 甲壳动物平均生物量为 1.41 g/m<sup>2</sup>, 占总平均生物量的 9%; 棘皮动物平均生物量为 0.80 g/m<sup>2</sup>, 占总平均生物量的 5%; 其他类群平均生物量为 3.52 g/m<sup>2</sup>, 占总平均生物量的 20%。

从丰度的空间分布来看(图 2a), 最高值出现在乳山湾南侧外部海域的 99 站位, 其丰度达到 4040 ind./m<sup>2</sup>, 出现了大量的稚齿虫、锥头似帚毛虫(*Lygdamis giardi*)、西方似蛭虫(*Amaeana occidentalis*)、秀丽波纹蛤(*Raetellops pulchella*)、边鳃拟刺虫(*Linopherus paucibranchiata*)和脆壳理蛤(*Theora fragilis*)等, 以上物种构成该站总丰度的 75%, 其中, 稚齿虫占绝对优势, 其丰度高达 980 ind./m<sup>2</sup>; 次高值出现在靠近胶州湾湾口的 235 号站, 其丰度为 3400 ind./m<sup>2</sup>, 微型小海螂以 1600 ind./m<sup>2</sup> 的丰度占绝对优势。最低值出现在靠近胶南南部外部海域的 252 站位, 其丰度仅为 647 ind./m<sup>2</sup>; 次低值出现在日照近岸海域 148 站位, 其丰度为 790 ind./m<sup>2</sup>。丰度高值区主要集中在鳌山湾、北部沿岸海域以及胶南附近海域。低值区主要集中在研究海域南部的南部外部海域及日照沿岸海域。

从大型底栖动物生物量的空间分布看(图 2b), 最高值出现在海阳海域外部的 213 号站, 其生物量达到 50.93 g/m<sup>2</sup>, 其主要原因是采集到了生物量较大的间褶拟蚶(*Arcopsis interplicata*), 其生物量高达 39.50 g/m<sup>2</sup>;

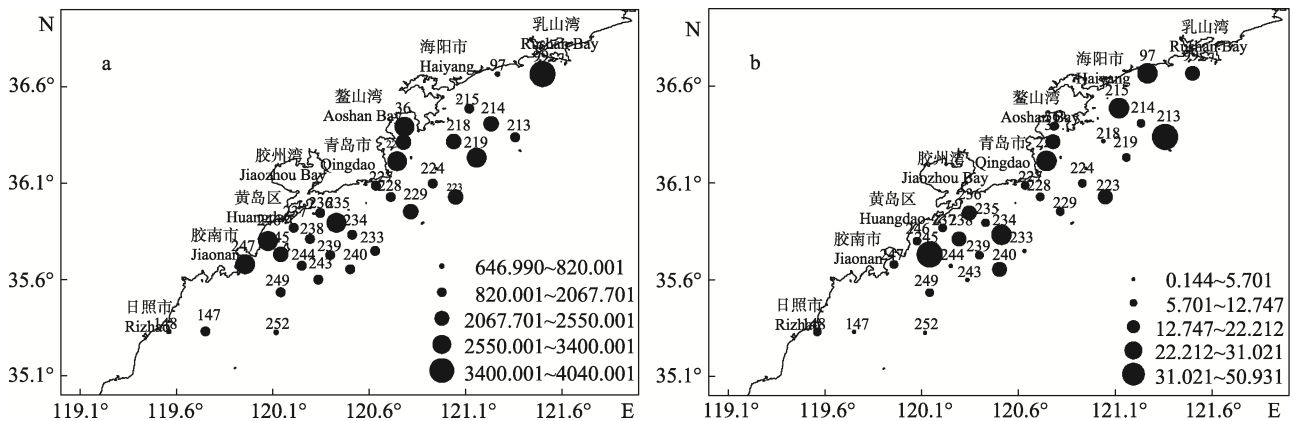


图 2 大型底栖动物丰度(ind./m<sup>2</sup>)(a)及生物量(g/m<sup>2</sup>)(b)分布  
Fig.2 The distribution of abundance (ind./m<sup>2</sup>) (a) and biomass (g/m<sup>2</sup>) (b) of macrobenthos

次高值出现在胶南沿岸的 245 站,生物量为 50.67 g/m<sup>2</sup>, 其主要的贡献种为经氏壳蛭蚬(*Philine kinglippini*)和异足索沙蚕(*Lumbrinereis heteropoda*); 最低值出现在青岛沿岸外部海域的 233 号站, 生物量仅为 0.14 g/m<sup>2</sup>; 次低值出现在日照沿岸海域的 147 号站, 其生物量为 2.46 g/m<sup>2</sup>。各海区均有生物量较高的站位, 生物量分布无明显规律。

### 2.3 大型底栖动物多样性指数分析

从表 2 可以看出, 大型底栖动物  $d$  最高值出现在青岛沿岸外部海域的 229 号站(5.39), 最低值在日照近岸海域的 147 号站(0.99);  $J$  最高值出现在黄岛沿岸外部海域的 243 号站(0.89), 最低值出现在胶南近岸海域的 247 号站(0.61);  $H'$  分布范围为 2.20~4.59, 平均值为 3.92, 分布在 4.00~5.00 之间的有 17 个站,

表 2 大型底栖动物丰度、生物量、多样性指数和沉积物类型

Tab.2 The abundance, biomass, diversity indexes and sediment types of macrobenthos in the investigated waters

站位 Stations	丰度 Abundance(ind./m <sup>2</sup> )	生物量 Biomass(g/m <sup>2</sup> )	物种数 $S$	丰富度 指数 $d$	均匀度 指数 $J$	Shannon-Wiener 多样性指数 $H'(\log_2)$	沉积物类型 Sedimental type
35	2550	16.92	38	4.72	0.87	4.59	粉砂 Silt
36	3300	12.42	40	4.81	0.77	4.12	粉砂 Silt
97	820	30.70	21	2.98	0.77	3.37	粉砂 Silt
99	4040	19.74	26	3.01	0.77	3.64	*
147	1180	2.46	8	0.99	0.73	2.20	砂 Sand
148	790	10.67	36	5.25	0.88	4.53	砂 Sand
213	1190	50.93	28	3.81	0.87	4.16	粉砂 Silt
214	2430	11.71	34	4.23	0.80	4.05	粉砂 Silt
215	2068	26.25	40	5.11	0.81	4.31	*
218	2410	3.62	28	3.47	0.80	3.83	粉砂 Silt
219	3310	8.01	36	4.32	0.82	4.23	粉砂 Silt
223	2310	22.21	31	3.87	0.75	3.71	*
224	1127	10.03	29	3.98	0.82	4.01	*
226	2960	31.02	31	3.75	0.87	4.33	粉砂 Silt
227	1890	9.57	31	3.98	0.81	4.00	砂 Sand
228	2061	12.75	39	4.98	0.81	4.27	砂 Sand
229	2430	12.65	43	5.39	0.85	4.59	砂 Sand
233	1570	0.14	22	2.85	0.86	3.85	砂质粉砂 Sandy silt
234	1040	27.73	24	3.31	0.84	3.84	砂 Sand
235	3400	11.23	28	3.32	0.62	3.00	砂质粉砂 Sandy silt
236	2020	20.57	28	3.55	0.75	3.58	砂 Sand
237	1145	8.43	33	4.54	0.75	3.78	砂质粉砂 Sandy silt
238	1310	16.15	27	3.62	0.85	4.05	砂质粉砂 Sandy silt
239	1530	10.35	28	3.68	0.83	4.01	砂质粉砂 Sandy silt
240	1100	21.50	24	3.28	0.85	3.88	砂质粉砂 Sandy silt
243	1540	5.70	27	3.54	0.89	4.21	砂质粉砂 Sandy silt
244	1450	9.90	39	5.22	0.69	3.66	砂质粉砂 Sandy silt
245	2490	50.67	39	4.86	0.80	4.24	砂 Sand
246	2835	11.18	39	4.78	0.61	3.21	砂 Sand
247	3060	11.41	41	4.98	0.82	4.41	砂质粉砂 Sandy silt
249	2040	9.96	28	3.54	0.81	3.89	砂 Sand
252	647	2.99	25	3.71	0.83	3.86	砂 Sand
平均 Average	2001	15.92	31	3.98	0.80	3.92	

\*为未采集到沉积物 \*indicated the sediment was not collected

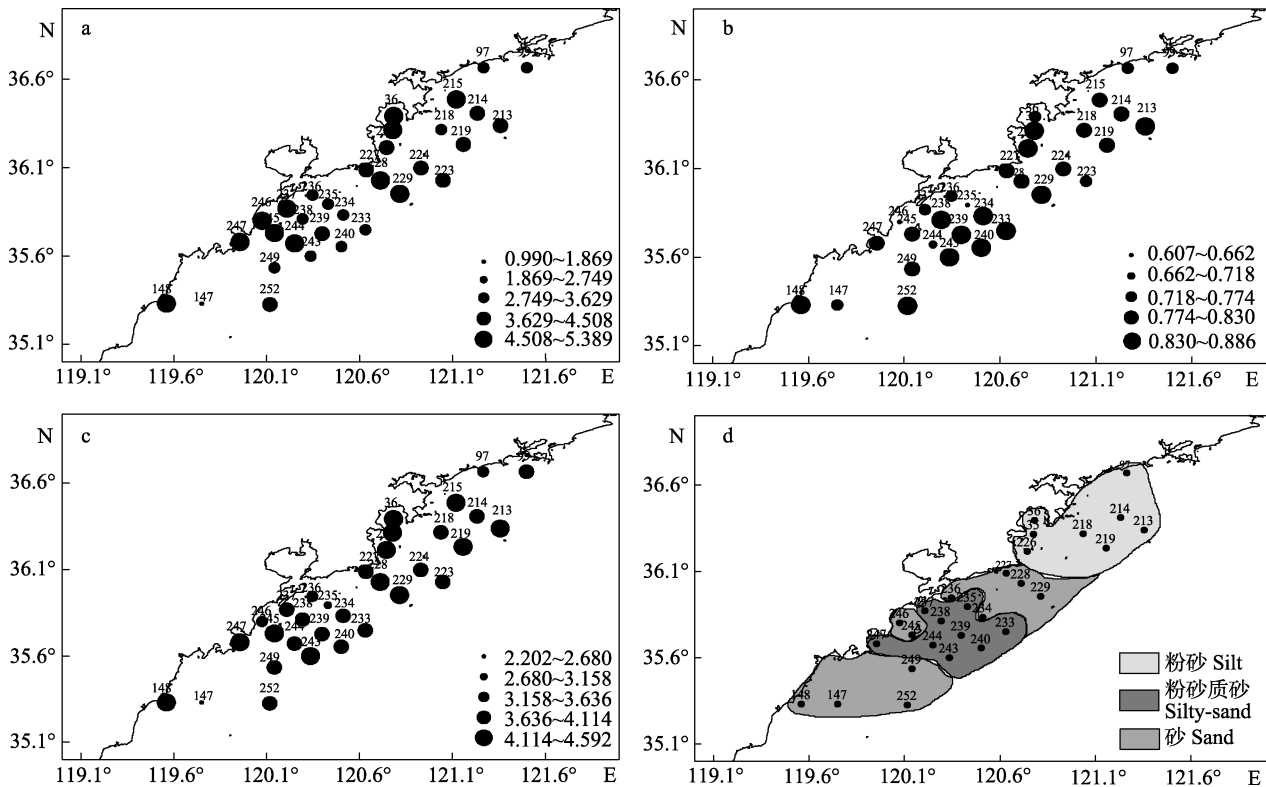


图 3 大型底栖动物多样性指数及沉积物类型分布

Fig.3 The spatial distribution of diversity index of macrobenthos and sedimental types

a: 丰富度指数; b: 均匀度指数; c: 多样性指数; d: 沉积物类型  
a; d; b; J; c; H: d: Sedimental types

分布在 3.00~4.00 之间的有 14 个站; 最高值位于 229 号站(4.59), 最低值分布在 147 号站(2.20)。

研究海域多样性指数及沉积物类型的空间分布见图 3。从图 3 可以看出, *d* 的高值区主要位于青岛-鳌山湾-海阳沿岸海域以及胶南附近海域, 低值区主要位于南部黄岛-胶南沿岸的外部海域。除鳌山湾内站位(35、36 号站)及个别站位(223、226、236、244 和 148 号站)外, *J* 总体呈现出由近岸海域向远岸海域逐渐增加的趋势。整个研究海域的 *H'* 总体较高, 北部海域大于南部海域。研究海域北部沉积物类型多为粉砂, 南部多为粉砂质砂, 除个别站位(227、228、229、234 和 236 号站)外, 由北至南呈现沉积物粒径增大的趋势, 这与张晓波(2014)对山东半岛南部近岸海域沉积物研究的结果一致。

*H'* 指数通常被认为是一种评价水域有机质污染的有效工具, 对其进行分级以评价海域的污染情况。按照蔡立哲等(2002)对 *H'* 的污染评价方法进行分类, 本研究中仅有位于日照近岸海域的 147 号站为轻度污染, 其他站位均为清洁。20 世纪 90 年代以来, 日照市对其沿海地区加大了开发利用, 如扩建码头、围海

造地、建造发电厂及其垃圾掩埋地等, 使得日照近海环境发生了巨大的改变(齐磊磊等, 2013)。从总体上看, 海域的底栖生态环境为清洁。

#### 2.4 大型底栖动物群落结构

依据大型底栖动物的丰度, 对研究海域站位进行聚类分析结果见图 4。从图 4 可以看出, 在 36% 的相似度水平上, 可将大型底栖动物分为 2 个群落(147 站作为单独站位不适宜划分为一个群落)。ANOSIM 分析显示, 2 个群落之间差异极显著( $r=0.39, P<0.01$ )。各群落空间分布及基本参数见图 5 和表 3。

群落 I: 由 35、36、97、99、214、215、218、219、223 和 226 站共 10 个站位组成。群落 I 分布于鳌山湾-海阳-乳山湾沿海岸域, 沉积物类型均为粉砂质, 平均水深最浅, 但平均有机碳含量(0.44%)和平均 *H'*(4.02)均为最高。群落 I 共出现 100 种大型底栖动物, 其平均丰度为 2620 ind./m<sup>2</sup>, 平均生物量为 18.26 g/m<sup>2</sup>。SIMPER 分析表明, 群落 I 各站位平均相似性为 38.28%, 特征种为中蚓虫、寡鳃齿吻沙蚕、稚齿虫、脆壳理蛤和不倒翁虫等。

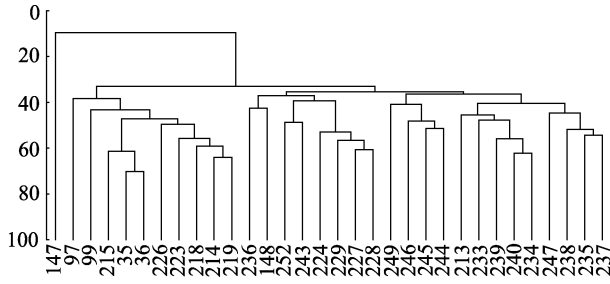


图 4 大型底栖动物丰度聚类结果

Fig.4 Results of cluster analysis on macrobenthic abundance in the investigated waters

群落 II：包括余下除 147 站外的 21 个站位。群落 II 主要分布于日照-胶南-黄岛-青岛沿岸海域，沉积环境多为粉砂质砂，其中，213 号站在地理分布上比较特殊，分布在海阳沿岸外部海域，被群落 II 站位包围，其分布原因有待进一步研究。该群落共出现 150 种大型底栖动物，平均丰度、平均生物量和平均多样性指数分别为 1746 ind./m<sup>2</sup>、15.45 g/m<sup>2</sup> 和 3.95，平均有机碳含量为 0.36%。SIMPER 分析表明，群落 II 站位间的平均相似性为 28.32%，寡鳃齿吻沙蚕、独

指虫、巴氏钩毛虫、拟特须虫和中蚓虫为该群落的特征种。

位于日照沿岸的 147 号站，只采集到 4 种多毛类和 4 种软体动物。大型底栖动物的丰度为 1140 ind./m<sup>2</sup>，生物量为 2.46 g/m<sup>2</sup>。紫壳阿文蛤(*Alvegnus ojanus*)丰度达到 540 ind./m<sup>2</sup>，占绝对优势；其次是日本长尾虫(*Apsades nipponicus*)和拟特须虫，丰度分别为 220 和 200 ind./m<sup>2</sup>。该站的沉积物类型为砂质，沉积物中砾石含量为 15.87%，有机质含量最低，只有 0.11%，可推测出该站的环境较为贫瘠，不适宜生物生存。

SIMPER 分析表明，I、II 两个群落的非相似性为 77.21%，造成群落差异的主要物种为中蚓虫、寡鳃齿吻沙蚕、稚齿虫、脆壳理蛤、巴氏钩毛虫、不倒翁虫、微型小海螂、秀丽波纹蛤、独指虫、轮双眼钩虾(*Ampelisca cyclops*)和拟特须虫，这些种的累积贡献率为 50.72%。

2.5 丰度生物量与环境因子相关性分析

利用 SPSS 软件对大型底栖动物各站位的丰度、

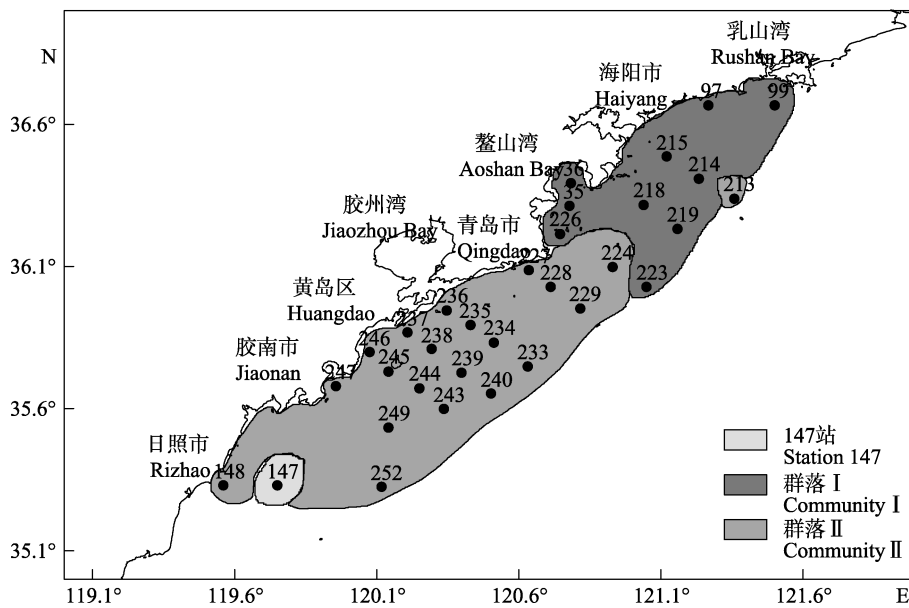


图 5 大型底栖动物群落分布

Fig.5 The distribution of macrobenthic communities in the investigated waters

表 3 大型底栖动物各群落基本参数

Tab.3 The environmental and biotic parameters of each macrobenthic community

项目 Items	平均中值 粒径 Average Md $\phi$	平均水深 Average water depth (m)	平均有机碳 Average organic carbon (%)	种数 S	平均 H' Average H'	平均丰度 Average abundance (ind./m <sup>2</sup> )	平均生物量 Average biomass (g/m <sup>2</sup> )
群落 I Community I	6.50	20.57	0.44	100	4.02	2620	18.26
群落 II Community II	3.78	27.80	0.36	150	3.95	1746	15.45
147 号站 Station 147	2.00	26.00	0.11	8	2.20	1140	2.46

生物量与各环境因子进行 Pearson 相关性分析。结果显示,丰度与水深呈显著负相关( $r = -0.38, P < 0.05$ ) (表 4)。对照研究海域的等深线图(图 6)和大型底栖动物丰度分布图(图 3a), 在胶南附近和鳌山湾以北部分的丰度高值区水体深度浅, 而在南部外部海域的丰度低值区水深达到最深, 即深度越深, 底栖动物的丰度越小。周然等(2014)的研究也指出, 水深是影响底栖生物分布的重要因子。Mutlu 等(2010)研究则指出, 水深通常是影响多毛类分布的主要环境因子。对水深和优势种进行 Pearson 相关性分析, 显示独指虫和稚齿虫的丰度与水深呈显著相关( $r = 0.366, r = -0.368$ )。

## 2.6 环境因子 PCA 分析

主成分分析计算结果见表 5。从表 5 可以看出,

表 4 大型底栖动物丰度、生物量与环境因子相关系数

Tab.4 Pearson correlation between the macrobenthic abundance, biomass and environmental factors

变量 Variable	中值粒径 Md $\phi$	砾石含量 Gravel content	砂含量 Sand content	粉砂含量 Silt content	黏土含量 Clay content	水深 Depth(m)	有机碳 Organic carbon
丰度 Abundance	0.17	-0.15	-0.16	0.220	0.12	-0.38*	-0.23
生物量 Biomass	0.09	-0.17	0.09	0.002	0.06	-0.02	0.13

\*为 0.05 水平上显著相关 \*indicated significant correlation at 0.05 level

表 5 环境因子 PCA 结果

Tab.5 The results of principal component analysis of environmental factors

变量 Variable	中值 粒径 Md $\phi$	砾石含量 Gravel content	砂含量 Sand content	粉砂含量 Silt content	黏土含量 Clay content	水深 Depth (m)	有机碳 Organic carbon	贡献率 Contribution (%)
第 1 主成分 PC1	0.45	-0.430	-0.37	0.45	0.46	-0.01	0.25	66.30
第 2 主成分 PC2	0.02	0.022	0.11	-0.07	0.02	0.95	0.29	14.80

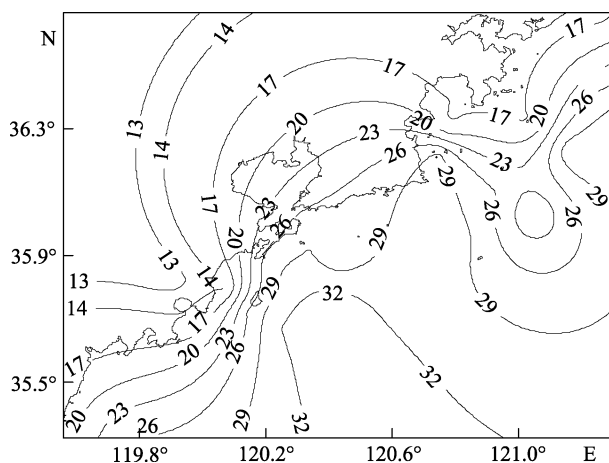


图 6 研究海域等深线

Fig.6 The depth contour map of the investigated waters

用 BIOENV 分析丰度矩阵与环境因子矩阵的相关性, 得出与群落结构相关性最密切的环境因子组合为粉砂+水深+有机碳(0.46), 该组合是对观察到的群

第 1 主成分的贡献率为 66.30%, 负载主要集中在中值粒径、粉砂、黏土和砾石上, 说明第 1 主成分代表的是沉积物粒径的不同。第 2 主成分贡献率为 14.80%, 主要相关的环境因子是水深。2 个主成分的累积贡献率为 81.10%, 即前 2 个主成分能相当好地反映出各站位真实的环境差异(Clarke *et al*, 2001)。基于环境的差异将所有站位划分成 3 组, 结果见图 7a, 对比 MDS 的结果见图 7b。从图 7 可以看出, PCA 和 MDS 不是很匹配, 说明所测的环境因子不能对观察到的群落结构给予很好的解释(周红等, 2003)。PCA 和 MDS 的不匹配可能是因为缺乏关键环境因子(Clarke *et al*, 2001), 例如水温等, 水温是影响大型底栖动物群落结构的主要环境因子(周然等, 2014)。

落结构最好的解释。Relate 检验得出丰度相似性矩阵和最佳环境因子相似性矩阵之间呈极显著相关( $r = 0.39, P < 0.01$ )。

## 3 讨论

将本研究结果与其他相近的研究结果对比见表 6。从表 6 可以看出, 在优势种方面, 本研究及山东沿岸各海域的研究均是多毛类占优势, 再次说明了多毛类在山东沿岸大型底栖动物群落中的重要性。与本研究优势种(表 1)相比较, 不倒翁虫也是乳山湾及邻近海域、日照近海、烟台近海及南黄海研究中的优势种, 寡鳃齿吻沙蚕作为优势种, 同样出现在乳山湾及邻近海域、日照近海和青岛近海, 巴氏钩毛虫、拟特须虫同样是日照近海、青岛近海的优势种。这 4 种多毛类多为个体小, 生活周期较短的广温种(刘瑞玉等, 1986; 杨德渐等, 1988)。



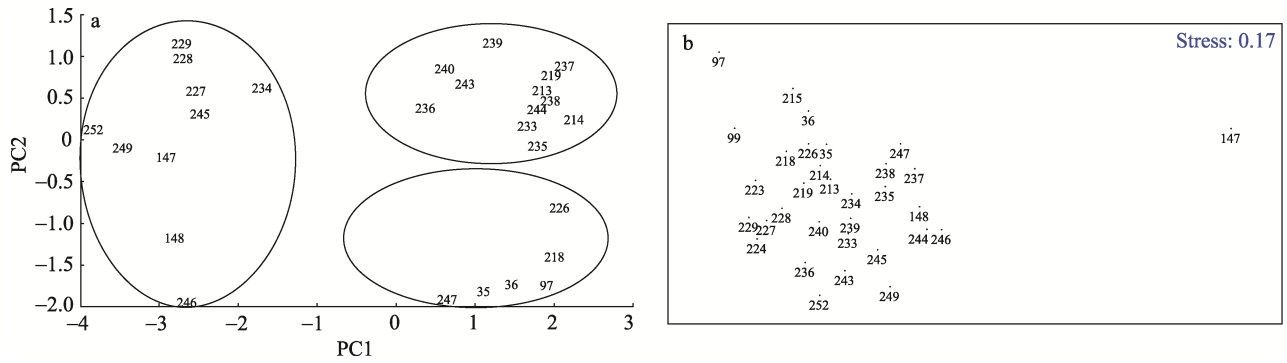


图 7 PCA 排序图(a)及 MDS 排序图(b)

Fig.7 PCA ordination (a) and MDS ordination (b)

本研究中的大型底栖动物丰度在所有的研究海域中为最高，原因可能是沉积物底质的不同。沉积物是影响大型底栖分布的重要因素(刘瑞玉等, 1986; Commito *et al*, 2006)。另一个原因可能是水温、水深和盐度等水文条件的不同。陆强等(2013)研究显示，水温是影响春、夏季大型底栖动物分布的主要环境因子。张敬怀(2014)研究发现，夏季大型底栖动物丰度与盐度呈显著正相关，浅水区相对于深海具有更高丰度、生物量和次级生产力。此外，网筛孔径、取样站位数和采泥器类型等人为因素的不同也是可

能的原因。李新正等(2005)的研究指出，使用 0.5 mm 网筛所得到底栖样品的丰度是 1.0 mm 网筛的 1.36 倍。

在生物量上，乳山湾及邻近海域研究中的生物量最高，为 229.22 g/m<sup>2</sup>，原因是在靠近养殖区的站位采到了生物量占绝对优势的菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)。本研究中的生物量在所有研究海域中最低，为 15.92 g/m<sup>2</sup>，其原因可能与山东近岸海域陆源排污、人为捕捞以及过度开发利用等引起的生态环境变化有关。

表 6 本研究结果与有关研究的对比

Tab.6 Comparison between this study and other related studies

研究海域 Survey area	研究时间 Survey date	采泥器类型 Sampler types	网筛孔径 Mesh size (mm)	站位数 Total stations	种数 Total species	总平均丰度 Abundance (ind./m <sup>2</sup> )	总平均生物 Biomass (g/m <sup>2</sup> )	参考 文献 Reference
乳山湾及邻近海域 Rushan Bay and its adjacent waters	2007-08	0.1 m <sup>2</sup> 抓斗式	0.5	19	87	201.00	229.22	王晓晨 (2009)
烟台近海 Coastal water of Yantai	2010-08	0.05 m <sup>2</sup> 抓斗式	0.5	30	84	1128.00	25.09	王全超等 (2013)
青岛近海 Coastal waters of Qingdao	2007-10	0.25 m <sup>2</sup> 抓斗式	0.5	15	160	431.73	22.30	王宗兴等 (2010)
日照近海 Coastal waters of Rizhao	2007-10	0.05 m <sup>2</sup> 抓斗式	0.5	7	-	1096.86	26.18	齐磊磊等 (2013)
南黄海 South Yellow Sea	2006-07-08	0.1 m <sup>2</sup> 箱式	0.5	137	192	102.00	29.30	徐琴增等 (2009)
Gamak 湾 Gamak Bay	2009-07	0.1 m <sup>2</sup> 抓斗式	1.0	20	123	592.00	132.2	Seo 等(2012)
Deukryang 湾 Deukryang Bay	2012-08	0.1 m <sup>2</sup> 抓斗式	1.0	44	145	998.00	224.5	Seo 等(2014)
山东近岸 Coastal waters of Shandong	2006-08	0.05 m <sup>2</sup> 抓斗式	0.5	32	182	2001.34	15.92	本研究



## 参 考 文 献

- Cai LZ, Ma L, Gao Y, *et al.* Analysis on assessing criterion for polluted situation using species diversity index of marine macrofauna. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2002, 41(5): 641–646 [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. 厦门大学学报(自然科学版), 2002, 41(5): 641–646]
- Clallier MD, Mckindsey CW, Desrosiers C. Evaluation of indicators used to detect mussel farm influence on the benthos: Two case studies in the Magdalen Islands, Eastern Canada. *Aquaculture*, 2008, 278(1–4): 77–88
- Clarke KR, Warwick RM. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edition. *PRIMER-E: Plymouth*, 2001: 25–50
- Commito JA, Dow WE, Grupe BM. Hierarchical spatial structure in soft-bottom mussel beds. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2006, 330(1): 27–37
- Coyle KO, Konar B, Blanchard A, *et al.* Potential effects of temperature on the benthic infaunal community on the southeastern Bering Sea shelf: Possible impacts of climate change. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2007, 54(23–26): 2885–2905
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. *Specifications for Oceanographic Survey, Part 6: Marine Biological Survey (GB/T12763.6-2007)*. Beijing: China Standards Press, 2007 [中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋调查规范—海洋生物调查(GB/T 12763.6-2007). 北京: 中国标准出版社, 2007]
- Ji XX. The ecological study of macrofauna in Qingdao Bay Intertidal zone. Master's Thesis of Ocean University of China, 2012, 1–71 [季相星. 青岛湾潮间带大型底栖动物生态学研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2012, 1–71]
- Li XZ, Wang HF, Wang JB, *et al.* Comparison of sampling results of macrobenthos using different apertures of sampling sieve in Jiaozhou Bay. *Marine Sciences*, 2005, 29(12): 68–74 [李新正, 王洪法, 王金宝, 等. 不同孔径底层筛对胶州湾大型底栖动物取样结果的影响. 海洋科学, 2005, 29(12): 68–74]
- Liu CL, Zhu ZG, He XL, *et al.* Rapid determination of organic carbon in marine sediment samples by potassium dichromate oxidation-ferrous sulphate titrimetry. *Rock and Mineral Analysis*, 2007, 26(3): 205–208 [刘昌岭, 朱志刚, 贺行良, 等. 重铬酸钾氧化-硫酸亚铁滴定法快速测定海洋沉积物中有机碳. 岩矿测试, 2007, 26(3): 205–208]
- Liu RY, Cui YH, Xu FS, *et al.* Ecological characteristics of macrobenthos of the Yellow Sea and the East China Sea. *Studia Marina Sinica*, 1986(27): 154–173 [刘瑞玉, 崔玉珩, 徐凤山. 黄海、东海底栖生物的生态特点. 海洋科学集刊, 1986(27): 154–173]
- Lu Q, Chen HL, Shao XY, *et al.* Ecological characteristics of macrobenthic communities and its relationships with environmental factors in Hangzhou Xixi Wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(9): 2803–2815 [陆强, 陈慧丽, 邵晓阳, 等. 杭州西溪湿地大型底栖动物群落特征及与环境因子的关系. 生态学报, 2013, 33(9): 2803–2815]
- Luo XX, Yang JQ. Progress in researches on benthic indices of assessing marine ecosystem health. *Marine Science Bulletin*, 2009, 28(3): 106–112 [罗先香, 杨建强. 海洋生态系统健康评价的底栖生物指数法研究进展. 海洋通报, 2009, 28(3): 106–112]
- McManus J. Grain size determination and interpretation. *Technique in Sedimentology*, 1988, 63–85
- Mutlu E, Cinar ME, Ergev MB. Distribution of soft-bottom polychaetes of the Levantine coast of Turkey, eastern Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems*, 2010, 79(1): 23–25
- Qi LL, Wang QX, Guan SG, *et al.* Community structure of macrobenthos in coastal waters of Rizhao. *Marine Fisheries Research*, 2013, 34(1): 97–102 [齐磊磊, 王其翔, 官曙光, 等. 日照近海大型底栖动物群落结构. 渔业科学进展, 2013, 34(1): 97–102]
- Seo JY, Lim HS, Choi JW. Distribution patterns of macrobenthic fauna communities in Deukryang Bay, one of the environment conservation areas of Korea. *Ocean Science Journal*, 2014, 49(2): 97–113
- Seo JY, Park SH, Lee JH, *et al.* Structural changes in macrozoobenthic communities due to summer hypoxia in Gamak Bay, Korea. *Ocean Science Journal*, 2012, 47(1): 27–40
- Tian SY, Zhang WL, Zhang R. Role of macrobenthos in marine ecosystem. *Journal of Salt and Chemical Industry*, 2009, 38(2): 50–54 [田胜艳, 张文亮, 张锐. 大型底栖动物在海洋生态系统中的作用. 盐业与化工, 2009, 38(2): 50–54]
- Wang QC, Li BQ. Community structure of macrobenthos in coastal water off Yantai, east China. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(6): 1667–1680 [王全超, 李宝泉. 烟台近海大型底栖动物群落特征. 海洋与湖沼, 2013, 44(6): 1667–1680]
- Wang XC. Ecological of macrobenthic community in Rushan bay and its adjacent waters. Master's Thesis of Ocean University of China, 2009, 29–30 [王晓晨. 乳山湾及邻近海域大型底栖动物群落的生态学研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2009, 29–30]
- Wang ZB, Yang SY, Zhang ZX. Comparison of two classifications of clastic sediments. *Marine Geology Letters*, 2007, 23(3): 36–40 [王中波, 杨守业, 张志珣. 两种碎屑沉积物分类方法的比较. 海洋地质动态, 2007, 23(3): 36–40]
- Wang ZX, Fan SL, Xu QZ, *et al.* Characters of macrobenthic community in autumn in the coastal water of Qingdao. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2010, 30(1): 59–64 [王宗兴, 范士亮, 徐勤增, 等. 青岛近海秋季大型底栖动物群落特征. 海洋湖沼通报, 2010, 30(1): 59–64]
- Xu QZ, Li RX, Wang ZL, *et al.* Macrobenthos distribution of the south Yellow Sea in summer. *Advances in Marine Science*, 2009, 27(3): 393–399 [徐勤增, 李瑞香, 王宗兴, 等. 南黄海夏季大型底栖动物分布现状. 海洋科学进展, 2009, 27(3): 393–399]
- Yang DJ, Sun RP. *China offshore polychaetes*. Beijing: China Agriculture Press, 1988 [杨德渐, 孙瑞平. 中国近海多毛类. 北京: 农业出版社, 1988]
- Yu HY, Li XZ, Li BQ, *et al.* The species diversity of macrobenthic fauna in Jiaozhou Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 416–422 [于海燕, 李新正, 李宝泉, 等. 胶州湾大型底栖动物生物多样性现状. 生态学报, 2006, 26(2): 416–422]
- Zhang JH. The variation of biodiversity of macrobenthic fauna with salinity and water depth near the Pearl Estuary of the

- northern South China Sea. *Biodiversity Science*, 2014, 22(3): 302–310 [张敬怀. 珠江口及邻近海域大型底栖动物多样性随盐度、水深的变化趋势. *生物多样性*, 2014, 22(3): 302–310]
- Zhang XB. Provenance analysis of surface sediments in the Holocene mud area of the southern coastal waters off Shandong Peninsula, China. Master's Thesis of Ocean University of China, 2014, 31–32 [张晓波. 山东半岛南部近岸海域全新世泥质区沉积特征与物源. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2014, 31–32]
- Zhao N, Ji XX, Wang ZZ, *et al.* Ecological characteristics of macrobenthos from Rushan Bay in spring and autumn. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2013(4): 80–88 [赵宁, 季相星, 王振钟, 等. 乳山湾春秋大型底栖动物生态学特征. *海洋湖沼通报*, 2013(4): 80–88]
- Zhou H, Zhang ZN. Rationale of the multivariate statistical software PRIMER and its application in benthic community ecology. *Journal of Ocean University of Qingdao(Natural Science)*, 2003, 33(1): 58–64 [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. *青岛海洋大学学报(自然科学版)*, 2003, 33(1): 58–64]
- Zhou R, Qin XB, Peng ST, *et al.* Macroinvertebrate investigation and their relation to environmental factors in Bohai Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(1): 50–58 [周然, 覃雪波, 彭士涛, 等. 渤海湾大型底栖动物调查及与环境因子的相关性. *生态学报*, 2014, 34(1): 50–58]

(编辑 陈严)

## The Community Structure of Macrobenthos in the Southern Coastal Waters Nearby the Shandong Peninsula in Summer

TU Liangli<sup>1</sup>, LIU Weixia<sup>1</sup>, SUI Jixing<sup>2</sup>, QU Fangyuan<sup>3</sup>, ZHAO Fanqi<sup>1</sup>,  
ZHONG Haixia<sup>1</sup>, ZHANG Mengsheng<sup>1</sup>, YU Zishan<sup>1</sup>①

(1. College of Marine Life Science, Ocean University of China, Qingdao 266003;

2. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071;

3. The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061)

**Abstract** The community of macrobenthos was investigated at 32 stations in the southern coastal waters nearby the Shandong Province in August 2006. A total of 182 species were identified, including 92 species of Polychaeta, 29 species of Mollusca, 42 species of Crustacea, 9 species of Echinodermata, and 10 species of minor phyla. Nine of the top ten dominant species (*Nephtys oligobranchia*, *Mediomastus* sp., *Aricidea fragilis* and *Sigambra bassi*, *Leptomya minuta*, *Paralacydonia paradoxa*, *Sternaspis scutata*, *Eudorella pacifica*, *Lumbrinereis debilis*, *Prionospio* sp.) were polychaetes. The average abundance of the macrobenthos was 2001 ind./m<sup>2</sup>, and the average biomass was 15.92 g/m<sup>2</sup> in the investigated area. The value of Shannon-Wiener index ( $H'$ ) of macrobenthos was 2.20~4.59 with an average of 3.92. The value of Margalef's richness index ( $d$ ) was 0.99~5.39 with an average of 3.98. The value of Pielou's evenness index ( $J$ ) was 0.61~0.89 with an average of 0.80. According to the results of CLUSTER analysis, the macrobenthos at the 32 stations could be clustered into two infaunal communities at 36% similarity, which were *Mediomastus* sp.–*N. oligobranchia*–*Prionospio* sp. Community (Community I), and *N. oligobranchia*–*A. fragilis*–*S. bassi* Community (Community II). The dissimilarity between Community I and Community II was 77.21%. Analysis on Shannon-Wiener index ( $H'$ ) showed that all stations were unpolluted except for the 147th station, which suggested that the macrobenthic environment in the investigated area was generally clean. Pearson correlation analysis showed that the abundance and the depth of the water were significantly and negatively correlated ( $r=-0.38$ ,  $P<0.05$ ). BIOENV analysis indicated that the most crucial combination of environmental factors for the structure of community was silt + depth + organic carbon ( $r=0.46$ ). Compared to the results of other previous reports, the average abundance value in our study was the highest. while the average biomass value was the lowest.

**Key words** Southern coastal waters of Shandong Peninsula; Macrobenthos; Community structure; Diversity; BIOENV

① Corresponding author: YU Zishan, E-mail: yu\_zishan@ouc.edu.cn