

# 秋季山东南部近岸海域 大型底栖动物群落特征

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

(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. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

**摘要:** 2007-10 对山东南部近岸海域 36 个站位进行大型底栖动物的调查。样品共鉴定出大型底栖动物 129 种, 其中多毛类 69 种、软体动物 15 种、甲壳类 35 种、棘皮动物 3 种, 其它类群 7 种。研究海域内 IRI 指数排名前 3 位的是寡鳃齿吻沙蚕(*Nephtys oligobranchia*)、独指虫(*Aricidea* sp.) 和背蚓虫(*Notomastus latericeus*)。研究海域内大型底栖动物的总平均丰度为 932.3 个/m<sup>2</sup>, 总平均生物量为 8.2 g/m<sup>2</sup>。其中丰度的高值区分布于青岛-黄岛海域, 低值区分布于日照及乳山湾南部海域, 生物量的高值区分布于乳山湾南部-鳌山湾海域, 生物量低值区分布于日照-胶南海域。在 38% 相似度水平上, 取样站位可被划分为 5 个群落。BIOENV 分析和 RELATE 检验结果显示, 水深和有机碳质量分数是影响大型底栖动物群落结构的主要因素。

**关键词:** 山东南部近岸海域; 大型底栖动物; 丰度; 生物量; 多样性; 群落结构

**中图分类号:** Q958.8

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-6647(2018)01-0117-11

**doi:** 10.3969/j.issn.1671-6647.2018.01.011

大型底栖动物是海洋生态系统的重要组成部分, 在能流和物流中占有十分重要的地位, 它们主要通过摄食、掘穴和建管等扰动活动直接或间接地影响生态系统<sup>[1-2]</sup>。由于大型底栖动物活动范围相对稳定, 对海洋污染物反应敏感并具富集效应, 因而已被广泛地用来指示海洋环境质量<sup>[3]</sup>。

山东南部近岸海域位于南黄海海域西北部, 海岸线蜿蜒, 多海湾、港口。目前关于山东近岸大型底栖动物的研究报道较少, 仅限于几个重要的海湾及海湾邻近区<sup>[4-9]</sup>, 对整个山东南部近岸海域尚没有系统的研究报道。

本研究的目的是了解秋季山东南部近岸海域大型底栖动物的群落特征, 以为山东近岸海域生态学的深入研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究海域

2007-10-30—11-07, 我们搭乘中国渔政 37351 船对山东南部近岸海域(119°~122°E, 35°~37°N)进行了大型底栖动物的现场调查取样, 共设 36 个站(站位设置见图 1)。

**收稿日期:** 2016-11-21

**资助项目:** 国家自然科学基金项目——中国海砂质潮间带猛水蚤的多样性研究: 格局及形成机制(41576153); 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资助项目——富钴结壳勘探区深海猛水蚤的分类学和生态学研究(LMEB201507)

**作者简介:** 赵凡淇(1989-), 女, 山东胶州人, 硕士研究生, 主要从事生态动力学方面研究. E-mail: zhaofanqi1989@126.com

\* **通讯作者:** 于子山(1963-), 男, 山东青岛人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事底栖生物生态学方面研究. E-mail: yu\_zishan@ouc.edu.cn

(高 峻 编辑)

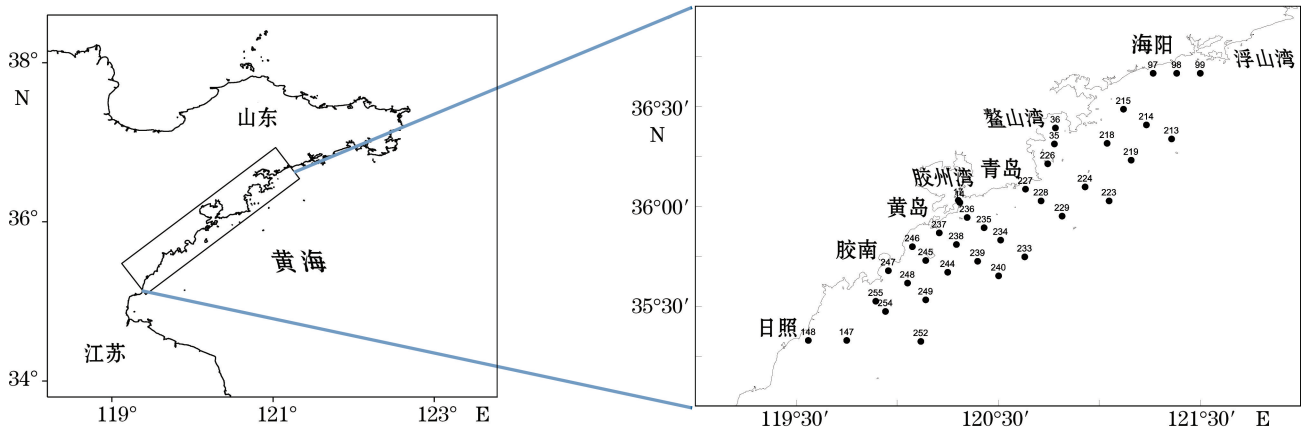


图1 大型底栖动物取样站位

Fig.1 Sampling stations of macrobenthos

## 1.2 样品采集、处理及分析

使用 0.05 m<sup>2</sup>曙光 HNM 型采泥器(山东省科学院海洋仪器仪表研究所生产)进行采样,所采泥样经孔径为 0.5 mm 的网筛分选,分选后留在网筛上的样品全部收集装瓶并用 10% (体积分数) 福尔马林溶液固定。样品处理、保存、计数、称量等均按照《海洋调查规范》<sup>[10]</sup> 进行。

## 1.3 环境因子的测定

现场取表层沉积物装袋,于 -20 °C 条件下冷冻保存,用于粒度、有机碳的分析。沉积物粒度的测定使用 Cilas940L 型激光粒度分析仪(兴和仪器上海有限公司生产)。有机碳的测定选用重铬酸钾-硫酸氧化法及刘昌岭的改进方法<sup>[11]</sup>。

## 1.4 数据处理

### 1.4.1 优势种的确定

采用相对重要性指数 IRI(Index of Relative Importance)来确定优势种,该指数既包含大型底栖动物的丰度和生物量,又考虑了其出现频率,其计算公式:

$$IRI = (W + N) \times F, \quad (1)$$

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

### 1.4.2 多样性指数的计算

采用 Shannon-Wiener 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:

$$H' = - \sum (n_i/N') \times \log_2 (n_i/N'), \quad (2)$$

$$J' = H'/\log_2 S, \quad (3)$$

$$d = (S - 1)/\log_2 N', \quad (4)$$

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

### 1.4.3 群落结构分析

依据 Bray-Curtis 相似性系数进行聚类分析(Cluster)和非度量多维尺度分析(MDS), 胁强系数对 MDS 排序结果的评价标准<sup>[12]</sup>: 当胁强系数 < 0.05 为吻合极好; < 0.10 为吻合较好; < 0.20 为吻合一般; > 0.30 为吻合较差。应用 ANOSIM 检验各聚类分组之间的差异显著性,用 SIMPER 分析确定表征群落的物种。

通过 PCA 分析环境因子主成分,PCA 始于原始矩阵,数据首先经转换,然后正态化。正态化将不同单位的环境变量变成统一尺度,使得 PCA 标序结果不受测量单位标度变化的影响<sup>[28]</sup>。再使用 BIOENV 分析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 SPSS17.0 软件进行 Pearson 相关性分析。

## 2 结 果

### 2.1 大型底栖动物类群组成

样品共鉴定出大型底栖动物 129 种,其中多毛类 69 种,占总种数的 53.5%;软体动物 15 种,占总种数的 11.6%;甲壳类 35 种,占总种数的 27.1%;棘皮动物 3 种,占总种数的 2.3%;其它类群 7 种(腔肠动物 2 种,纽形动物、扁形动物、半索动物、头索动物和鱼类各 1 种),占总种数的 5.5%。多毛类和甲壳类在物种组成上占据优势地位,2 大类群共占总种数的 80.6%。

### 2.2 大型底栖动物优势种

表 1 列出了 IRI 指数前 10 位的种,其中多毛类 8 种,纽形动物和甲壳动物各 1 种,显示了多毛类的优势地位。

表 1 相对重要性指数排名前 10 位的种

Table 1 The top 10 IRI species

位 次	物 种	IRI	位 次	物 种	IRI
1	寡鳃齿吻沙蚕 <i>Nephtys oligobranchia</i>	1 207	6	柔弱索沙蚕 <i>Lumbrinereis debilis</i>	391
2	独指虫 <i>Aricidea</i> sp.	1 097	7	纽虫 Nemertineay	211
3	背蚓虫 <i>Notomastus latericeus</i>	1 073	8	不倒翁虫 <i>Sternaspis scutata</i>	158
4	巴氏钩毛虫 <i>Sigambra bassi</i>	708	9	日本拟背尾水虱 <i>Paranthuria japonica</i>	158
5	拟特须虫 <i>Paralacydonia paradoxa</i>	541	10	长吻沙蚕 <i>Glycerra chirori</i>	149

### 2.3 大型底栖动物的丰度

大型底栖动物的总平均丰度为 932.5 个/m<sup>2</sup>,其中多毛类丰度最高,为 770.8 个/m<sup>2</sup>,占总平均丰度的 82.7%;其次是甲壳类,丰度为 103.6 个/m<sup>2</sup>,占总平均丰度的 11.1%;软体动物的丰度为 16.7 个/m<sup>2</sup>,占总平均丰度的 1.8%;棘皮动物的丰度为 6.94 个/m<sup>2</sup>,占总平均丰度的 0.7%;其它类群的丰度为 34.4 个/m<sup>2</sup>,占总平均丰度的 3.7%(表 2)。

大型底栖动物丰度的最高值出现在位于黄岛近岸海域的 246 站,为 3 400 个/m<sup>2</sup>,该站背蚓虫(*Notomastus latericeus*)的丰度高达 1 110 个/m<sup>2</sup>,占该站总丰度的 32.6%;次高值出现在胶南外围海域的 249 站,为 2 060 个/m<sup>2</sup>,该站独指虫(*Aricidea* sp.)的丰度高达 790 个/m<sup>2</sup>,占该站总丰度的 38.3%。丰度的最低值出现在位于乳山湾南部海域的 99 站,仅为 130 个/m<sup>2</sup>,次低值出现在位于胶州湾湾口的 17 站,仅为 160 个/m<sup>2</sup>。

丰度的高值区分布于青岛-黄岛海域,低值区分布于日照及乳山湾南部海域。丰度整体上呈现南高北低的趋势(图 2a)。

表 2 各站位的大型底栖动物丰度、生物量和多样性指数

Table 2 The macrobenthic abundance, biomass and the value at diversity every station

站 位	丰度/ 个·m <sup>-2</sup>	生物量/ g·m <sup>-2</sup>	H'	d	J'	站 位	丰度/ 个·m <sup>-2</sup>	生物量/ g·m <sup>-2</sup>	H'	d	J'
14	190	0.79	2.76	1.33	0.92	228	1 310	3.08	3.38	3.48	0.72
17	160	0.20	2.35	1.18	0.84	229	950	3.27	4.11	3.65	0.87
35	620	43.28	2.34	2.33	0.58	233	650	3.10	3.99	3.53	0.87
36	360	20.75	3.08	2.38	0.79	234	1 580	4.34	3.53	3.53	0.74
97	660	17.81	3.08	2.16	0.79	235	1 140	1.41	3.88	3.55	0.83
98	670	42.17	3.46	2.92	0.80	236	1 060	1.73	3.96	3.44	0.85
99	130	39.15	2.50	1.23	0.89	237	1 120	4.35	3.80	3.27	0.83
147	600	1.19	3.52	2.66	0.85	238	1 530	3.47	3.45	3.00	0.76
148	660	1.33	2.78	2.62	0.67	239	1 570	3.20	3.69	3.53	0.78
213	840	4.46	3.85	2.82	0.89	240	850	1.79	3.81	3.71	0.81
214	280	3.73	3.75	2.48	0.96	244	900	1.61	3.38	2.79	0.78
215	1 690	31.53	2.89	2.96	0.64	245	1 030	6.17	4.32	4.32	0.87
218	690	5.00	3.55	2.75	0.84	246	3 400	10.09	3.65	4.55	0.70
219	1 570	4.07	3.86	4.08	0.78	248	970	0.91	3.56	2.76	0.82
223	280	0.69	3.21	1.95	0.90	249	2 060	3.28	3.58	4.59	0.69
224	1 260	18.04	3.63	3.78	0.76	252	260	0.50	3.75	2.70	0.94
226	330	1.63	3.20	1.90	0.89	254	320	0.57	3.57	2.43	0.91
227	1 540	4.72	3.80	4.09	0.77	255	300	0.40	3.19	2.28	0.84
平均	932.50	8.20	3.45	2.96	0.81						

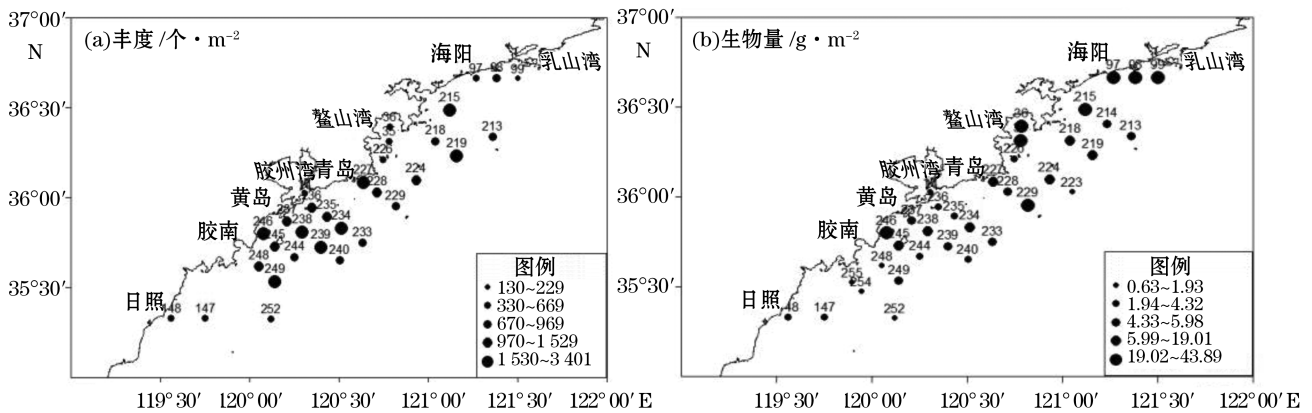


图 2 大型底栖动物丰度和生物量空间分布

Fig.2 Spatial distributions of the abundance and biomass of macrobenthos

## 2.4 大型底栖动物的生物量

大型底栖动物的总平均生物量为 8.20 g/m<sup>2</sup>。其中多毛类为 2.10 g/m<sup>2</sup>, 占总平均生物量的 25.6%; 软体动物为 2.30 g/m<sup>2</sup>, 占总平均生物量的 28.0%; 甲壳类为 0.95 g/m<sup>2</sup>, 占总平均生物量的 11.6%; 棘皮动物为 1.73 g/m<sup>2</sup>, 占总平均生物量的 21.1%; 其它类群为 1.12 g/m<sup>2</sup>, 占总平均生物量的 13.7%。

大型底栖动物的生物量最高值出现在位于鳌山湾的 35 站(43.3 g/m<sup>2</sup>), 该站青蛤(*Cyclina sinensis*)的生物量高达 27.59 g/m<sup>2</sup>, 占该站总生物量的 63.7%; 次高值出现在乳山湾南部海域的 98 站(42.2 g/m<sup>2</sup>), 该站棘刺锚参(*Protankyra bidentata*)的生物量高达 37.71 g/m<sup>2</sup>, 占该站总生物量的 89.4%。生物量最低值出现在位于胶州湾湾口的 17 站, 仅为 0.20 g/m<sup>2</sup>; 生物量次低值出现在位于胶南近岸海域的 255 站, 仅为 0.40 g/m<sup>2</sup>。

生物量的高值区分布于乳山湾南部-鳌山湾海域, 生物量低值区分布于日照-胶南海域。生物量整体上

呈现南低北高的趋势,与丰度值的趋势相反(图 2b)。

## 2.5 大型底栖动物多样性

Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )在综合考虑种数和各种间个体分配的均匀性的基础上,反映生物的多样性水平,它的变化范围是 2.34~4.32,平均值为 3.45,最高值位于黄岛海域的 245 站,次高值(4.11)位于青岛外围海域的 229 站;最低值位于鳌山湾的 35 站,次低值(2.35)位于胶州湾湾口的 17 站。

Margalef 丰富度指数( $d$ )表示群落物种的丰富性,它的变化范围是 1.18~4.59,平均值为 2.97,最高值和次高值(4.55)分别位于乳山湾南部海域的 98 站和 99 站,最低值和次低值(1.23)分别位于黄岛海域的 246 站和 240 站。

Pielou 均匀度指数( $J'$ )表示底栖生物各种类分布的均匀程度,它的变化范围是 0.58~0.96,平均值为 0.82,最高值位于黄岛海域的 238 站,次高值(0.94)位于乳山湾南部海域的 97 站,最低值和次低值(0.64)分别位于胶南海域的 254 站和 248 站。

## 2.6 大型底栖动物的群落结构

对大型底栖动物在科水平上的丰度矩阵<sup>[13]</sup>进行  $\lg(x+1)$  变换,计算站位间的 Bary-Curtis 相似性系数,对调查海域的所有站位进行聚类分析(图 3)和多维尺度分析(图 4),并绘制群落空间分布图(图 5)。在 38% 相似度水平上可将调查海域内的 36 个站位划分为 5 个群落。ANOSIM 检验显示,5 个群落间存在极显著差异( $R=0.823, P<0.01$ )。本研究的胁强系数为 0.18,吻合一般。

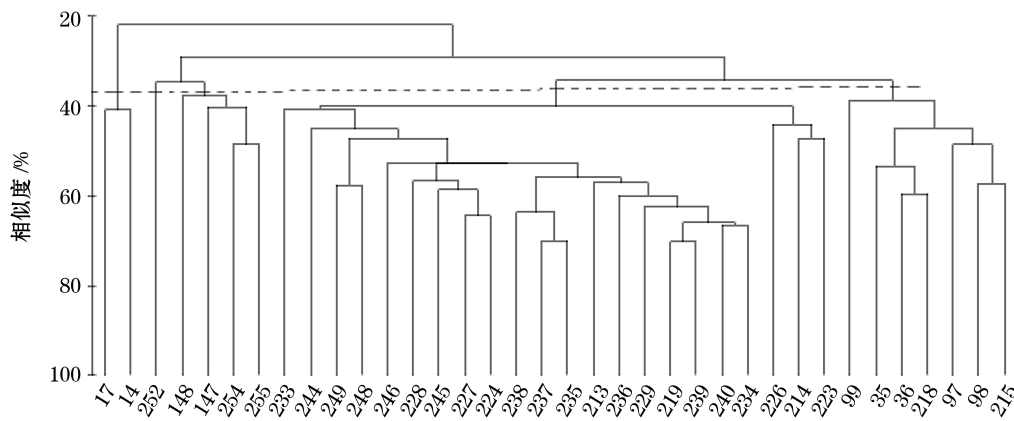


图 3 站位的聚类分析

Fig.3 Cluster analysis of macrobenthic community at all stations

群落 I 位于胶州湾的湾口,包括 14 站和 17 站,平均水深为 40.5 m,沉积物类型为砂,平均有机碳质量分数为 0.11%;SIMPER 分析结果显示,2 个站位间平均相似度为 18.75%,以异毛虫科(Paraonidae)和白毛虫科(Pilargiidae)为特征科;该群落平均丰度为 175 个/ $m^2$ ,平均生物量为 0.50  $g/m^2$ 。

群落 II 位于胶南外围海域,只包括 252 站,水深为 29 m,沉积物类型为砂,有机碳质量分数为 0.11%;该群落的平均丰度为 260 个/ $m^2$ ,平均生物量为 0.5  $g/m^2$ 。

群落 III 位于日照-胶南海域,包括 4 个站,分别为 148 站、147 站、254 站和 255 站,平均水深为 24.3 m,沉积物类型为砂,平均有机碳质量分数为 0.16%;SIMPER 分析结果显示,各站位间的平均相似度为 23.68%,优势度较高的科为特须虫科(Lacydoniidae)和异毛虫科(Paraonidae);该群落平均丰度为 470 个/ $m^2$ ,平均生物量为 0.87  $g/m^2$ 。

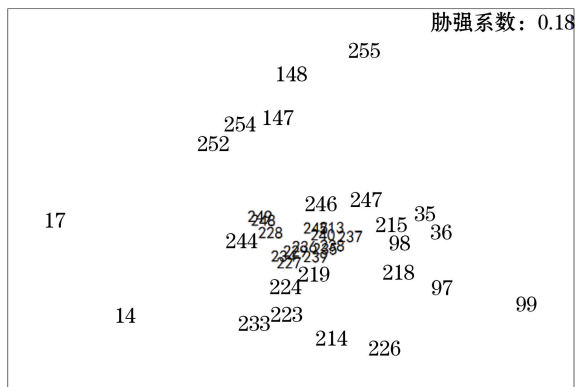


图4 站点的多维尺度分析

Fig.4 MDS analysis of macrobenthic communities at all stations

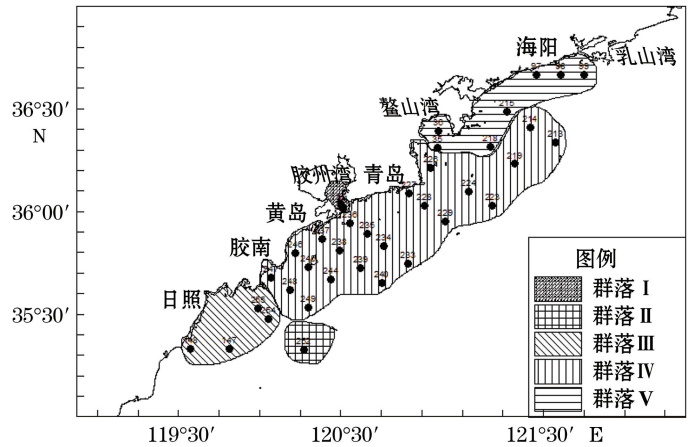


图5 研究海域大型底栖动物群落分布图

Fig.5 Spatial distribution of the macrobenthic communities in the study area

群落IV位于青岛-黄岛-胶南海域,包括22个站位,平均水深为27.6 m,沉积物类型多为砂和砂质粉砂,平均有机碳质量分数为0.39%;SIMPER分析结果显示,各站位间的平均相似度为36.18%,优势度较高的科为异毛虫科(Paraonidae)、白毛虫科(Pilargiidae)和齿吻沙蚕科(Nephtyidae);该群落平均丰度为1 191.82 个/m<sup>2</sup>,平均生物量为4.05 g/m<sup>2</sup>。

群落V位于乳山湾南部-鳌山湾海域,包括7个站位,平均水深为15 m,沉积物类型为粉砂,平均有机碳质量分数为0.36%;SIMPER分析结果显示,各站位间平均相似度为40.46%,优势度较高的科为齿吻沙蚕科(Nephtyidae);该群落平均丰度为694.29 个/m<sup>2</sup>,平均生物量28.53 g/m<sup>2</sup>。

## 2.7 大型底栖动物丰度和生物量与环境因子相关性分析

Pearson 相关分析表明,研究中大型底栖动物的生物量与水深和有机碳质量分数分别呈极显著负相关关系( $P < 0.01$ )和显著正相关关系( $P < 0.05$ )。生物量随着水深的增加而减小<sup>[14-15]</sup>,可能是与光照、食物来源以及底栖动物的生活习性有关。大型底栖动物的丰度通常与沉积物类型、水深等环境因子呈显著相关关系<sup>[16-20]</sup>,但在本研究中,丰度与所测环境因子的相关关系均未达到显著水平( $P > 0.05$ ),具体原因有待进一步研究(表3)。

表3 大型底栖丰度和生物量与环境因子的相关性

Table 3 Correlations analysis between abundance and biomass of macrobenthos with environment factors

项 目	中值粒径	砾石质量分数	砂质量分数	粉砂质量分数	黏土质量分数	水 深	有机碳质量分数
丰度	0.014	0.008	0.045	0.01	-0.009	0.012	0.289
生物量	0.330	-0.328	-0.284	0.324	0.271	-0.571**	0.416*

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

## 3 讨 论

### 3.1 大型底栖动物多样性分析

本研究  $H' > 3$  的站位有30个,  $2 < H' < 3$  的站位有7个(表2),分别是215,148,14,99,97,17和35站。参照蔡立哲底栖动物多样性指数污染程度评价标准<sup>[21]</sup>,本次调查海域除个别站位外底栖生态环境整体清

洁。从总体上看,研究海域的底栖动物多样性呈现近岸海域低、外围海域高的趋势。Pearson 相关性分析表明,多样性指数与所测环境因子均未达到显著相关关系( $P>0.05$ )。

相对于自然因素,人为活动因素是影响近岸海域生态环境变化的主要因素,如:陆源排污、海水养殖、过度捕捞、围填海和海上施工建设等<sup>[22]</sup>。148 站位于日照近岸海域, $H'$ 较低的原因可能是由于自 20 世纪 90 年代以来,日照市对沿海区域进行了大开发,围海造地,建起了高楼大厦和垃圾掩埋地,并在多处建立对虾养殖厂<sup>[23]</sup>。14 和 17 站  $H'$  较低是由它们特殊的地理环境特征导致的。这 2 个站位于胶州湾的湾口,为海湾进出海水的通道,地形束窄,水流较强,海底沉积物较粗<sup>[24]</sup>,沉积物类型主要为极粗砂和粗砂,不利于底栖动物的生存。35 站位于鳌山湾,该湾有鳌山港和女岛港 2 个重要港口<sup>[25]</sup>,并且是青岛即墨市重要的扇贝筏式养殖和杂色蛤底播护养区<sup>[26]</sup>, $H'$  较低的原因可能是由于过往船只、污染和渔业活动造成的。99 站和 215 站位于乳山湾南部近岸海域, $H'$  较低可能是因为人类活动加剧以及养殖活动的进行导致的。

### 3.2 环境因子的主成分分析

基于环境因子矩阵对环境因子进行主成分分析(表 4),再将所得的二维 PCA 排序图(图 6)与生物数据的 MDS(图 4)相比较,2 个图形的匹配程度能够反映出环境矩阵对生物矩阵的“解释”程度<sup>[27]</sup>。

表 4 调查海域环境数据主成分分析

Table 4 Principal component analysis of environmental data in survey area

主成分	特征值	贡献率/%	中值粒径	砾石质量分数	砂质量分数	粉砂质量分数	黏土质量分数	水深	有机碳质量分数
PC1	4.93	70.5	0.44	-0.420	-0.38	0.44	0.442	-0.11	0.31
PC2	0.96	13.7	-0.080	0.126	-0.06	-0.02	-0.080	-0.98	-0.01

第一主成分(PC1)的特征值为 4.93,方差贡献值为 70.5%,主要综合了中值粒径、砾石、砂、粉砂和黏土的方差值;第二主成分(PC2)的特征值为 0.96,方差贡献值为 13.7%,主要综合了砾石和水深的方差值。PC1 和 PC2 的累积贡献值为 84.2%,能较好地反应环境矩阵的真实结构<sup>[28]</sup>。

环境因子 PCA 二维排序图(图 6)显示,根据环境因子的差异,调查海域可被划分为 4 组,其空间分布受沉积物粒径和水深的共同影响,划分结果与基于丰度矩阵的 MDS 标序(图 4)差距较大,说明测得的环境因子不能对所划分的群落结果给予很好的解释。这种不匹配程度可以通过 BIOENV 和 RELATE 检验得到进一步证实<sup>[28]</sup>。

BIOENV 分析结果显示,水深和有机碳组合可以使其欧式距离非相似性矩阵与生物样品的 Bray-Curtis 非相似性矩阵之间形成最大的等级相关( $R=0.457$ ),即水深和有机碳组合是对观察到的群落结构的最好解释。RELATE 检验得出,生物矩阵与环境矩阵之间极显著相关( $P<0.01$ )。

### 3.3 与相关研究结果对比

为了更好地了解山东半岛南部海域的底栖生态状况,将本研究结果与其它相关海域及同纬度的 Deukryang Bay 和东京湾进行对比(表 5)。

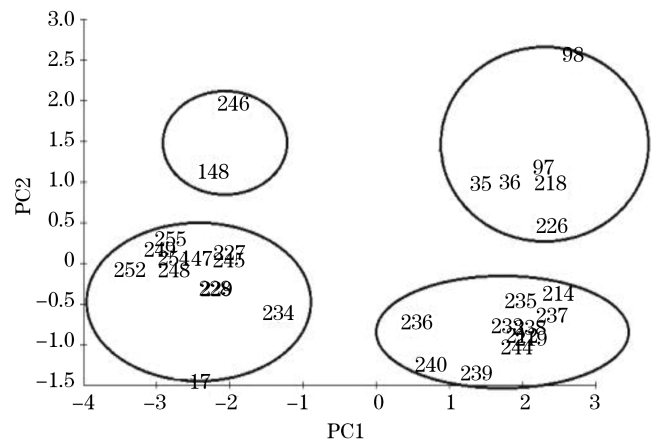


图 6 环境因子 PCA 排布图

Fig.6 PCA ordination using normalized environmental data

表 5 研究结果与相关研究结果对比

Table 5 Comparison between present study and correlated studies

调查海域	调查时间	采泥器类型	网筛孔径 /mm	站位数	总种数	平均丰度 /个·m <sup>-2</sup>	平均生物量 /g·m <sup>-2</sup>	文献来源
乳山湾近岸海域	2007-11	0.1 m <sup>2</sup> 抓斗式	0.5	19	88	217	60.69	[8]
日照近岸海域	2007-11	0.5 m <sup>2</sup> 抓斗式	0.5	7	142	1 096.86	26.18	[7]
烟台近岸海域	2010-11	0.5 m <sup>2</sup> 抓斗式	0.5	30	118	1 026.50	25.76	[9]
青岛近岸海域	2007-10	0.1 m <sup>2</sup> 大洋 50 型	0.5	15	*	431.70	22.3	[6]
Deukryang Bay (朝鲜半岛西南侧)	2012-11	0.1 m <sup>2</sup> 抓斗式	1	44	140	1 066	179.8	[28]
南黄海	2011-11	0.1 m <sup>2</sup> 箱式	0.5	16	151	693.50	13.33	[29]
东京湾 (日本中东部沿岸)	2006-10	0.05 m <sup>2</sup> 抓斗式	0.5	10	*	1 596.30	*	[30]
山东南部近岸海域	2007-10	0.5 m <sup>2</sup> 抓斗式	0.5	36	128	932.50	8.20	本研究

注: \* 表示无数据

与邻近海域相比,大型底栖动物的种数和平均丰度均较高,而平均生物量却是最低的;与位于朝鲜半岛西南侧的同纬度的 Deukryang Bay 相比,种数、平均生物量和平均丰度均较低,与位于日本中东部的沿岸海域东京湾相比丰度较低。原因可能是 1) 本研究中的优势种大多为小个体多毛类。2) 采泥器的类型不同。与抓斗式采泥器相比,箱式采泥器密闭性较好,因此使用箱式采泥器获得大型底栖动物样品会更多<sup>[31]</sup>。3) 所用网筛的孔径不同。李新正等<sup>[32]</sup>指出,0.5 mm 孔径网筛获得的大型底栖动物的总平均栖息密度、总平均生物量、总种数分别是 1.0 mm 孔径网筛的 1.36, 1.19, 1.15 倍,多毛类、甲壳动物类群中的钩虾类个体较小,是受网筛孔径影响最明显的类群。本研究中的优势类群正是小个体的多毛类和甲壳类动物。4) 水文、地理条件不同,本研究中的沉积物类型主要为砂,此外还有粉砂和砂质粉砂;烟台近岸海域<sup>[9]</sup>的沉积物类型主要为砂质泥;黄海<sup>[29]</sup>沉积物类型较为复杂,以粉砂为主,黏土和砂质底质个别站位也有分布;Deukryang Bay<sup>[28]</sup>的沉积物类型主要为泥,少量站位的沉积物类型为砂;Moutford<sup>[33]</sup>研究表明,大型底栖动物丰度和生物量值在泥砂沉积物中最高,在泥质沉积物中最低;Mannino 和 Montagna<sup>[34]</sup>研究表明,砂底质沉积物中大型底栖动物丰度高于泥砂和泥沉积物。另外,调查的时间和站位的设置等也会对研究结果造成一定的影响。

## 4 结 语

通过 2007-10 对山东南部近海 36 个站位进行大型底栖动物的调查,可以得到如下结论:

1) 通过对  $H'$  分析,认为本次调查海域的底栖生态环境基本清洁,除部分海域大型底栖动物群落结构受到轻度扰动外,整体海域大型底栖动物群落结构处于健康状态。

2) 根据 BIOENV 和 RELATE 检验得出,水深及有机碳含量是影响山东南部近海海域群落结构空间分布的主要因素;Pearson 相关性分析表明,本研究中大型底栖动物的生物量与水深和有机碳质量分数分别呈极显著负相关关系( $P < 0.01$ )和显著正相关关系( $P < 0.05$ )。

3) 与邻近海域进行对比,发现本次调查的平均丰度除低于 Deukryang Bay 和 Tokyo Bay 的调查结果之外,均高于其它几次调查;但平均生物量处于较低水平。

## 参考文献 (References):

- [1] PENG S T, ZHOU R, QIN X B. Application of macrobenthos functional groups to estimate the ecosystem health in a semi-enclosed bay [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2013, 74(1): 302-310.
- [2] TIAN S Y, ZHANG W L, ZHANG R. Role of macrobenthos in marine ecosystem[J]. *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[J]. *盐业与化工*, 2009, 38(2): 50-54.
- [3] ALBANO M J, LANA P D C, BREMEC C, et al. Macrobenthos and multi-molecular markers as indicators of environmental contamination in a South American port (Mar del Plata, Southwest Atlantic)[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2013, 73(1): 102-114.
- [4] WANG Z X, FAN S L, XU Q Z, et al. Characteristics of macrobenthic community in Spring in the coastal waters of Qingdao[J]. *Advances in Marine Science*, 2010, 28(1): 50-56. 王宗兴, 范士亮, 徐勤增, 等. 青岛近海春季大型底栖动物群落特征[J]. *海洋科学进展*, 2010, 28(1): 50-56.
- [5] WANG Z X, FAN S L, XU Q Z, et al. Characters of macrobenthic community in Autumn in the costal water of Qingdao[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2010(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[J]. *海洋湖沼通报*, 2010(1): 59-64.
- [6] QI L L, WANG Q X, GUAN S G, et al. Community structure of macrobenthos in coastal waters of Rizhao[J]. *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[J]. *渔业科学进展*, 2013, 34(1): 97-102.
- [7] WANG X C. Ecological of macrobenthic community in Rushan bay and its adjacent waters[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009. 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[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [8] WANG Q C, LI B Q. Community structure of macrobenthos in coastal water of Yantai, east China[J]. *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[J]. *海洋与湖沼*, 2013, 44(6): 1667-1680.
- [9] SUI J X. Study on the ecology macrobenthos in shore of Shandong province[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010. 隋吉星. 山东省沿岸大型底栖生物生态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- [10] National Center of Ocean Standards and Metrology. Specifications for Oceanographic Survey: Part 6 Marine Biological Survey GB 12763—2007[S]. Beijing: China Standards Press, 2007. 国家海洋标准计量中心. 海洋调查规范: 第六部分 海洋生物调查 GB 12763—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [11] LIU C L, ZHU Z G, HE X L, et al. Rapid determination of organic carbon in marine sediment samples by potassium dichromate oxidation-ferrous sulphate titrimetry[J]. *Rock & 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[J]. *岩矿测试*, 2007, 26(3): 205-208.
- [12] CLARKE K R, WARWICK R M. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation[M]. 2nd ed. Plymouth, UK: PRIMER-E, 2001.
- [13] CLARKE K R, GORLEY R N. PRIMER v6: User Manual/Tutorial[M]. Plymouth, UK: PRIMER-E, 2006.
- [14] ZHANG J H. The variation of biodiversity of macrobenthic fauna with salinity and water depth near the Pearl Estuary of the northern South China Sea[J]. *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[J]. *生物多样性*, 2014, 22(3): 302-310.
- [15] SHOU L. Study on community ecology of macrobenthos in Changjiang Estuary[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2013. 寿鹿. 长江口及邻近海域大型底栖生物群落生态学研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2013.
- [16] GRARY J S. The ecology of marine sediments-an introduction to the structure and function of benthic communities[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1981: 185.
- [17] HANG J, ZHANG Z N, YU Z S. Study on the Macrobenthic abundance and biomass in Bohai Sea[J]. *Journal of Ocean University of China (Natural Sciences)*, 2001, 31(6): 889-896. 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(自然科学版)*, 2001, 31(6): 889-896.
- [18] MUTLU E, CINAR M E, ERGEV M B. Distribution of soft-bottom polychaetes of the Levantine coast of Turkey eastern Mediterranean Sea[J]. *Journal of Marine Systems*, 2010, 79(1): 23-35.
- [19] JIA H B, HU H Y, TANG J L, et al. Ecology of macrobenthos in the south of Zhejiang coastal waters[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2011, 30(4): 577-582. 贾海波, 胡颖琰, 唐静亮, 等. 浙江南部近岸海域大型底栖生物生态[J]. *台湾海峡*, 2011, 30(4): 577-582.
- [20] LU Q, CHEN H L, SHAO X Y, et al. Ecological characteristics of macrobenthic communities and its relationships with enviromental factors in Hangzhou Xixi Wetland[J]. *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[J]. 生态学报, 2013, 33(9): 2803-2815.
- [21] CAI L Z, MA L, GAO Y, et al. Analysis on assessing criterion for polluted situation using species diversity index of marine macrofauna [J]. Journal of Xiamen University (Natural Sciences), 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[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2002, 41(5): 641-646.
- [22] LI X C. The study on the current ecological environment situation and its developmental feather in off-shore area of Shandong province (focus on Yellow Sea)[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011. 李先超. 山东近岸海域(黄海部分)生态环境现状及演变特征研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [23] GAO X, XU J M. Impact of Rizhao coastal area exploitation on inter-tidai habitis and zoo-benthic communities[J]. Studia Marine Sinica, 2002, 44: 61-65. 高翔, 徐敬明. 日照沿海开发对潮间带生境及动物的影响[J]. 海洋科学集刊, 2002, 44: 61-65.
- [24] BIAN S H, XIA D X, CHEN Y L, et al. The classification characteristics and developing factors of the sandwaves at the mouth of Jiaozhou Bay[J]. Periodical of Ocean University of China(Natural Sciences), 2006, 26(2): 327-330. 边淑华, 夏东兴, 陈义兰, 等. 胶州湾口海底沙波的类型、特征及发育影响因素[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2006, 26(2): 327-330.
- [25] LIU J X. The study of Qingdao Aoshan Bay coastline and marine resource's utilization[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008. 刘军晓. 青岛鳌山湾岸线及海域资源利用研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [26] CHEN J F, ZHAO J. Distribution and variation of hydrographic factors in the Aoshan Bay[J]. Marine Fisheries Research, 2004, 25(2): 66-72. 陈聚法, 赵俊. 鳌山湾水文要素的分布及变化特征[J]. 海洋水产研究, 2004, 25(2): 66-72.
- [27] ZHOU H, ZHANG Z N. Rationale of the multivariate statistical software PRIMER and its application in benthic community ecology[J]. Journal of Ocean University of Qingdao(Natural Sciences), 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[J]. 青岛海洋大学学报(自然科学版), 2003, 33(1): 58-64.
- [28] SEO J Y, LIM H S, CHOI J W. Distribution patterns of macrobenthic fauna communities in Deukryang Bay, one of the environment conservation areas of Korea[J]. Ocean Science Journal, 2014, 49(2): 97-113.
- [29] YANG C P. The ecological study on macrobenthos in the Southern Yellow Sea, China[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014. 杨传平. 南黄海大型底栖动物生态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [30] KODAMA K, LEE J H, OYAMA M, et al. Disturbance of benthic macrofauna in relation to hypoxia and organic enrichment in a eutrophic coastal bay[J]. International Affairs, 2012, 88 (4): 683-700.
- [31] LIU L S, ZHENG B H, LI B Q, et al. Long-term trends of macrobenthos in Changjiang Estuary, China in relation to environmental changes[J]. Haiyang Xuebao, 2012, 34(3): 134-145. 刘录三, 郑丙辉, 李宝泉, 等. 长江口大型底栖动物群落的演变过程及原因探讨[J]. 海洋学报, 2012, 34(3): 134-145.
- [32] LI X Z, WANG H F, WANG J B. et al. Comparison of sampling results of macrobenthos using different apertures of sampling sieve in Jiaozhou Bay[J]. Marine Sciences, 2005, 29 (12): 68-74. 李新正, 王洪法, 王金宝. 不同孔径底层筛对胶州湾大型底栖动物取样结果的影响[J]. 海洋科学, 2005, 29(12): 68-74.
- [33] MOUNTFORD N K, HOLLAND A F, MIHURSKY J A. Identification and description of macrobenthic communities in the Calvert Cliffs Region of the Chesapeake Bay[J]. Chesapeake Science, 1977, 18(4): 360-369.
- [34] MANNINO A, MONTAGNA P A. Small-scale spatial variation of macrobenthic community structure[J]. Estuaries & Coasts, 1997, 20(1): 159-173.

## Preliminary Study on the Characteristics of Macrobenthic Community in Autumn in the Coastal Waters of Shandong

ZHAO Fan-qi<sup>1</sup>, LIU Wei-xia<sup>1</sup>, SUI Ji-xing<sup>2</sup>, QU Fang-yuan<sup>3</sup>, TU Liang-li<sup>1</sup>,  
ZHANG Meng-sheng<sup>1</sup>, ZHONG Hai-xia<sup>1</sup>, YU Zi-shan<sup>1</sup>

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

2.Institute of Oceanology, CAS, Qingdao 266071, China;

3.The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China)

**Abstract:** Macrobenthos was investigated at 36 stations along southern coastal waters of Shandong province in October, 2007. A total of 129 macrobenthic species were indentified in the survey area, and the most diverse taxon was polychaeta (69 species), followed in descending order by Crustacea (35 species), Mollusca (15 species), Echinodermata (3 species) and 6 minor phyla (7 species). The top 3 species with high IRI values were *Nephtys oligobranchia*, *Aricidea* sp., and *Notomastus latericeus*. The average abundance and biomass of macrobenthos in the study area were 932.3 ind./m<sup>2</sup> and 8.2 g/m<sup>2</sup> respectively. Higher abundance distributed from Qingdao to Huangdao waters, lower abundance from Rizhao to southern waters of Rushan Bay; higher biomass was noted from southern waters of Rushan to Aoshan waters, and lower values from Rizhao to Jiaonan waters. According to the results of CLUSTER analysis, five communities could be clustered at 38% similarity levels. BIOENV and RELATE analyses showed that the depth and the organic carbon were the principal factors affecting the community structures of macrobenthos.

**Key words:** southern coast of Shandong province; macrobenthos; abundance; biomass; diversity; community structure

**Received:** November 21, 2016