

# 秦山岛海域大型底栖动物群落结构的季节变化

毛成贵<sup>1,2</sup>, 张咏<sup>1,2</sup>, 魏爱泓<sup>1,2</sup>, 彭模<sup>1,2\*</sup>, 崔彩霞<sup>1,2</sup>, 矫新明<sup>1,2</sup>, 王晨波<sup>1,2</sup>, 卜亚谦<sup>1,2</sup>

(1. 江苏省环境监测中心, 江苏 南京 210019; 2. 江苏省海洋环境监测预报中心, 江苏 南京 210019)

**摘要:**于2015—2016年在秦山岛海域开展4个航次的大型底栖动物调查,用优势度指数法和多样性指数法对底栖动物优势种和多样性状况进行评价。结果显示,四季共采集鉴定底栖动物7门69种,其中环节动物25种,软体动物19种,节肢动物16种,棘皮动物3种,脊索动物、纽形动物和腔肠动物各2种;优势种共14种。大型底栖动物种数和密度均值均为春季>秋季>夏季>冬季,生物量均值为夏季>冬季>春季>秋季,密度和生物量的空间分布无明显规律。多样性评价结果表明,秦山岛海域底栖动物群落受到轻度干扰,底栖环境处于轻度污染状态;除人为干扰和环境因子外,种间关系及生活史特征也是影响底栖动物群落结构变化的重要因素。

**关键词:**大型底栖动物;群落结构;季节变化;秦山岛海域

**中图分类号:** X835 **文献标志码:** B **文章编号:** 1006-2009(2023)03-0039-06

## Seasonal Variation of Macrobenthos Community Structure in Qinshan Island Sea Area

MAO Cheng-ze<sup>1,2</sup>, ZHANG Yong<sup>1,2</sup>, WEI Ai-hong<sup>1,2</sup>, PENG Mo<sup>1,2\*</sup>, CUI Cai-xia<sup>1,2</sup>,  
JIAO Xin-ming<sup>1,2</sup>, WANG Chen-bo<sup>1,2</sup>, BU Ya-qian<sup>1,2</sup>

(1. Jiangsu Environmental Monitoring Center, Nanjing, Jiangsu 210019, China; 2. Jiangsu Marine Environmental Monitoring and Forecasting Center, Nanjing, Jiangsu 210019, China)

**Abstract:** 4 investigations were carried out on macrobenthos in Qinshan Island sea area from 2015 to 2016, and the dominant species and diversity of macrobenthos were evaluated using dominance index and diversity index. The results showed that 69 species of macrobenthos in 7 phyla were collected and identified in four seasons, including 25 species of annelids, 19 species of mollusks, 16 species of arthropods, 3 species of echinoderms, and 2 species of chordates, nemertea and coelenterates each. There were 14 dominant species. The number of species and mean density of macrobenthos in descending order were in spring, autumn, summer, winter, and the mean biomass in descending order was in summer, winter, spring, autumn. There was no obvious rule in the spatial distribution of density and biomass. The results of diversity evaluation showed that macrobenthos community was slightly disturbed and the benthic environment was slightly polluted. In addition to human interference and environmental factors, interspecific relationships and life history characteristics were also the important factors affecting the changes in macrobenthos community structure.

**Key words:** Macrobenthos; Community structure; Seasonal variation; Qinshan Island sea area

海洋大型底栖动物指栖息于沉积物中或沉积物-水界面且体长>0.5 mm的动物,主要包括节肢动物、软体动物、环节动物等类群<sup>[1-2]</sup>。其主要特点为运动能力较弱,群落结构区域性较强,分布受水质和沉积环境共同影响,对底栖生境变化敏感,是海洋生态环境的重要指示类群<sup>[3]</sup>。此外,大型

底栖动物还是其他高等海洋生物的重要饵料,同时

收稿日期:2022-04-13;修订日期:2023-03-12

基金项目:江苏省环保科研课题基金资助项目(2019005);江苏省生态环境科研课题基金资助项目(2021004)

作者简介:毛成贵(1986—),男,浙江诸暨人,高级工程师,硕士,主要从事海洋生态环境监测评价研究工作。

\*通信作者:彭模 E-mail: 454779361@qq.com

也为人类提供优质蛋白质,其群落结构的健康稳定具有重要的经济、社会和生态效益<sup>[4-5]</sup>。海洋大型底栖动物群落一直是海洋生态学的重要研究对象,国内外学者在其群落特征、次级生产力、种群生态位、环境指示功能等方面做了大量研究<sup>[6-8]</sup>。近年来,随着近岸海域污染负荷、工程建设及底拖网捕捞等人类活动干扰的增加,大型底栖动物群落发生了较大变化,主要表现为种类小型化、耐污种密度增加、多样性降低、群落稳定性下降等<sup>[9]</sup>。

秦山岛位于海州湾国家海洋公园及海州湾浴场的中心区域,河口交汇,生境复杂多变,生物资源丰富,景观特异性强,具有较强的生态服务功能。近年来,相关学者对秦山岛开发保护、生态修复、浮游植物群落及底栖动物健康状况做了相关报道<sup>[9-11]</sup>。今对其周边海域大型底栖动物进行 4 个季度的调查,分析其种类组成、密度、生物量、优势种及生物多样性的季节变化,以期为秦山岛海域底栖动物生态学研究提供参考资料,为秦山岛海域生态环境保护提供科学支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查站位和调查方法

围绕秦山岛海域布设 10 个站位(S1—S10)(见图 1)。分别于 2015 年 8 月(夏季)、11 月(秋季)、12 月(冬季)和 2016 年 4 月(春季),参照《海洋调查规范 第 6 部分:海洋生物调查》(GB/T 12763.6—2007)<sup>[1]</sup>在上述站位开展大型底栖动物调查。采用静力式采泥器在每站位取样 2 次,每次取样 0.1 m<sup>2</sup>,泥样经 0.5 mm 过筛冲洗,挑拣筛留生物样品装入瓶中,用 5% 的海水福尔马林保存。

### 1.2 样品鉴定和指数计算公式

#### 1.2.1 样品鉴定

参考大型底栖动物鉴定相关文献和专著<sup>[12-13]</sup>,在体视显微镜(Olympus SZ61)下将样品尽量鉴定到种并计数、称重(湿重),计算各站位大型底栖动物的密度(ind./m<sup>2</sup>)和生物量(g/m<sup>2</sup>)。

#### 1.2.2 优势种和优势度

大型底栖动物优势种通过优势度( $Y$ )计算确定,计算公式如下:

$$Y = n_i / N \times f_i \quad (1)$$

式中: $n_i$ 为第  $i$  种个体数; $N$ 为所有站位总个体数; $f_i$ 为第  $i$  种在所有调查站位的出现频率。 $Y \geq 0.02$  为优势种<sup>[14]</sup>。

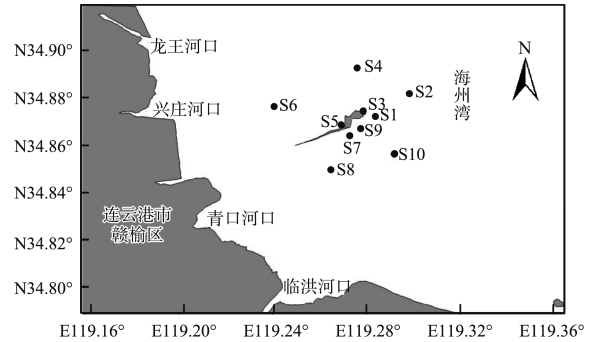


图 1 调查站位分布

Fig. 1 Distribution of investigation site

### 1.2.3 多样性指数

$\alpha$  多样性主要反映群落物种的丰富度和均匀度。今选择最常用的 Shannon-Wiener 指数( $H'$ ),计算公式如下:

$$H' = -\sum P_i \log_2 P_i \quad (2)$$

式中: $P_i$ 为第  $i$  种个体数占总个体数的比例。应用 Shannon-Wiener 指数评价生态环境污染程度等级,可分为无污染( $H' \geq 3$ )、轻度污染( $2 \leq H' < 3$ )、中度污染( $1 \leq H' < 2$ )和重度污染( $H' < 1$ )<sup>[15]</sup>。

$\beta$  多样性主要反映群落结构相似度。今选择 Bray-Curtis 指数( $C_N$ ),计算公式如下:

$$C_N = 2N_j / (N_a + N_b) \quad (3)$$

式中: $N_a$ 、 $N_b$ 分别为站点 a、b 的总个体数; $N_j$ 为站点 a 和 b 共有种中个体数目较小者之和<sup>[16]</sup>。

大型底栖动物密度、生物量平面分布用 surfer 12.0 绘制。

## 2 结果与讨论

### 2.1 大型底栖动物种类组成

表 1 为秦山岛海域大型底栖动物类群组成。由表 1 可知,调查期间秦山岛海域共鉴定出大型底栖动物 7 大类 69 种。其中,环节动物 25 种,占总种数的 36.23%;软体动物 19 种,占比 27.53%;节肢动物 16 种,占比 23.19%;棘皮动物 3 种,占比 4.35%;脊索动物、纽形动物和腔肠动物各 2 种,占比 2.90%。种数季节变化显示,春季种数最多,为 37 种,冬季最少,为 27 种;门类组成季节变化显示,环节动物为四季的共同优势类群,春、夏、秋季软体动物种类较多,春、秋、冬季节肢动物种类较多。

大型底栖动物对生境具有一定的适应性,其群落结构短时间尺度变化主要受自身生活史特点及

表 1 秦山岛海域大型底栖动物类群组成

Table 1 Composition of macrobenthos groups in Qinshan Island sea area

门类	春季		夏季		秋季		冬季		调查期间	
	种数 n/种	占比/%	种数 n/种	占比/%	种数 n/种	占比/%	种数 n/种	占比/%	种数 n/种	占比/%
脊索动物	2	5.41	2	6.45	2	5.88	2	7.41	2	2.90
棘皮动物	2	5.41	2	6.45	1	2.94	2	7.41	3	4.35
节肢动物	8	21.62	5	16.12	9	26.47	6	22.22	16	23.19
软体动物	10	27.02	10	32.26	7	20.59	4	14.82	19	27.53
环节动物	12	32.43	10	32.26	13	38.24	11	40.74	25	36.23
纽形动物	1	2.70	1	3.23	2	5.88	1	3.70	2	2.90
腔肠动物	2	5.41	1	3.23	0	0	1	3.70	2	2.90
合计	37	100	31	100	34	100	27	100	69	100

种间关系影响<sup>[5]</sup>。此次调查主要优势类群种数的季节变化与季相星等<sup>[17]</sup>在海州湾海域的调查结果规律相同,这可能与相关类群的洄游产卵和索饵等生物节律性行为有关<sup>[5]</sup>。春、秋季大多海洋生物会进入河口内湾繁殖和索饵,导致物种数季节性增加;夏季鱼类等对底栖动物摄食压力增大,导致底栖动物种数和密度均下降;进入冬季,随着水温降低,初级生产力及饵料生物密度随之下降,底栖动物种类及密度也因之减少<sup>[18]</sup>。

表 2 为秦山岛海域大型底栖动物优势种组成的季节变化。由表 2 可知,四季共出现优势种 14 种。其中脊索动物 1 种,为拉氏狼牙虾虎鱼(*Odontamblyopus lacepedii*);棘皮动物 1 种,为棘刺锚参(*Protankyra bidentata*);节肢动物 2 种,包括日本鼓虾(*Alpheus japonicus*)和绒毛细足蟹(*Raphidopus ciliatus*);软体动物 6 种,包括彩虹明樱蛤(*Moerella iridescens*)、小荚蛭(*Siliqua minima*)、圆筒原盒螺(*Eocylichna braunsi*)、内卷原盒螺(*Eocylichna involuta*)、微角齿口螺(*Odostomia subangulata*)和半褶织纹螺(*Nassarius semiplicatus*);环节动物 3 种,包括背蚓虫(*Notomastus latericeus*)、不倒翁虫(*Sternaspis scutata*)和丝鳃虫(*Cirratulus chrysoderma*);纽形动物 1 种,为纽虫(*Nemertinea* sp.)。棘刺锚参在四季均为优势种,优势度春、冬季高于夏、秋季,绒毛细足蟹在春、秋、冬季均为优势种。此外,夏季优势种软体动物较多,春、秋季优势种环节动物和节肢动物较多。

大型底栖动物优势种及优势度季节变化受诸多因素影响,如拉氏狼牙虾虎鱼在夏季占优势主要与其生殖节律相关。拉氏狼牙虾虎鱼于春季产卵,幼体成长后其种群数量在夏季占优势,且春、夏季是众多底栖生物的繁殖季,饵料生物充沛,故拉氏

表 2 秦山岛海域大型底栖动物优势种组成的季节变化  
Table 2 Seasonal variation in the composition of dominant species of macrobenthos in Qinshan Island sea area

优势种	优势度(Y)			
	春季	夏季	秋季	冬季
拉氏狼牙虾虎鱼		0.091		
棘刺锚参	0.054	0.039	0.023	0.069
日本鼓虾			0.033	
绒毛细足蟹	0.096		0.066	0.051
彩虹明樱蛤	0.045			
小荚蛭		0.026		
圆筒原盒螺				0.043
内卷原盒螺		0.054		
微角齿口螺		0.050		
半褶织纹螺				0.029
背蚓虫	0.119		0.050	
不倒翁虫	0.027		0.035	
丝鳃虫			0.041	
纽虫			0.075	0.078

狼牙虾虎鱼在夏季优势度最高<sup>[19]</sup>。棘刺锚参在四季均为优势种且优势度较高。相关研究表明<sup>[20]</sup>,棘刺锚参是黄渤海沿岸的典型代表优势种,而拉氏狼牙虾虎鱼主要为海州湾海域的代表优势种,说明秦山岛海域底栖动物群落既有黄渤海海域的共同特性,也有海州湾的区域特异性。

表 3 为秦山岛及其邻近海域大型底栖动物类群组成的年际变化。由表 3 可知,相较于 20 世纪 80 年代和 90 年代,秦山岛和海州湾海域底栖动物种数明显减少,耐污的环节动物种类比例有明显上升,棘皮动物及其他类群种类比例明显下降,软体动物和节肢动物种类比例相对稳定。20 世纪 80 年代,海州湾海岛调查发现大量青岛文昌鱼和刺参;20 世纪 90 年代,优势种以扁玉螺、小刀蛭、绒毛细足蟹、日本鼓虾、海地瓜、棘刺锚参等软体动物、节肢动物和棘皮动物为主。当前,秦山岛及海州湾

表 3 秦山岛及其邻近海域大型底栖动物类群组成的年际变化

Table 3 Interannual variation of macrobenthos groups composition in Qinshan Island and its adjacent waters

门类	秦山岛(1986—1987年) <sup>[21]</sup>		秦山岛(1991—1992年) <sup>[22]</sup>		此次调查(2015—2016年)		海州湾(2015—2018年) <sup>[17]</sup>	
	种数 n/种	占比/%	种数 n/种	占比/%	种数 n/种	占比/%	种数 n/种	占比/%
环节动物	36	31.03	17	9.83	25	36.23	40	40.41
软体动物	28	24.14	65	37.57	19	27.53	18	18.18
节肢动物	28	24.14	43	24.86	16	23.19	33	33.33
棘皮动物	13	11.21	9	5.20	3	4.35	3	3.03
其他	11	9.48	39	22.54	6	8.70	5	5.05
合计	116	100	173	100	69	100	99	100

底栖动物出现明显的小型化,对生境要求较高的青岛文昌鱼和刺参等的自然分布几乎没有报道,说明秦山岛海域底栖生境受到了明显干扰<sup>[17,21-22]</sup>。

## 2.2 群落结构的季节变化

### 2.2.1 类群密度和生物量

表 4 为秦山岛海域大型底栖动物类群平均密度的季节变化。由表 4 可知,环节动物、软体动物和节肢动物为主要优势门类。其中,春、秋季环节动物为主要优势类群,平均密度分别为 38 ind./m<sup>2</sup>、33 ind./m<sup>2</sup>,占总密度的 38.00%、41.78%;夏季软体动物为优势类群,平均密度为 24 ind./m<sup>2</sup>,占总密度的 34.28%;冬季 3 者占比差异较小。

表 5 为秦山岛海域大型底栖动物类群平均生物量的季节变化。由表 5 可知,棘皮动物和脊索动物为主要优势门类。其中,春、秋、冬季棘皮动物为主要优势类群,生物量分别为 16.05 g/m<sup>2</sup>、16.60 g/m<sup>2</sup>、21.85 g/m<sup>2</sup>,占总生物量的 49.42%、56.60%、46.41%;夏季脊索动物为优势类群,生物量为 26.67 g/m<sup>2</sup>,占总生物量的 49.35%。

### 2.2.2 密度和生物量的时空分布

图 2(a)—(d)分别为四季各站位大型底栖动物密度分布。由图 2 可见,春季 S1 站位的大型底栖动物密度最小,为 15 ind./m<sup>2</sup>,春季 S10 密度最大,为 210 ind./m<sup>2</sup>,四季密度均值为 75 ind./m<sup>2</sup>。

表 4 秦山岛海域大型底栖动物类群平均密度的季节变化

Table 4 Seasonal variation of mean density of macrobenthos groups in Qinshan Island sea area

门类	春季		夏季		秋季		冬季	
	密度/ (ind. · m <sup>-2</sup> )	占比/ %	密度/ (ind. · m <sup>-2</sup> )	占比/ %	密度/ (ind. · m <sup>-2</sup> )	占比/ %	密度/ (ind. · m <sup>-2</sup> )	占比/ %
脊索动物	2	2.00	9	12.86	2	2.53	3	5.88
棘皮动物	10	10.00	6	8.57	4	5.06	8	15.69
节肢动物	18	18.00	14	20.00	21	26.58	11	21.57
软体动物	27	27.00	24	34.28	10	12.66	12	23.53
环节动物	38	38.00	13	18.57	33	41.78	10	19.61
纽形动物	4	4.00	2	2.86	9	11.39	5	9.80
腔肠动物	1	1.00	2	2.86	0	0	2	3.92

表 5 秦山岛海域大型底栖动物类群平均生物量的季节变化

Table 5 Seasonal variation of mean biomass of macrobenthos groups in Qinshan Island sea area

门类	春季		夏季		秋季		冬季	
	生物量/ (g · m <sup>-2</sup> )	占比/ %	生物量/ (g · m <sup>-2</sup> )	占比/ %	生物量/ (g · m <sup>-2</sup> )	占比/ %	生物量/ (g · m <sup>-2</sup> )	占比/ %
脊索动物	3.33	10.25	26.67	49.35	3.62	12.34	14.74	31.31
棘皮动物	16.05	49.42	20.45	37.84	16.60	56.60	21.85	46.41
节肢动物	5.60	17.24	2.15	3.98	7.92	27.00	3.41	7.24
软体动物	6.36	19.58	1.12	2.07	0.45	1.54	0.26	0.55
环节动物	0.57	1.76	1.27	2.35	0.56	1.91	1.72	3.65
纽形动物	0.04	0.12	0.15	0.28	0.18	0.61	0.13	0.28
腔肠动物	0.53	1.63	2.23	4.13	0	0	4.97	10.56

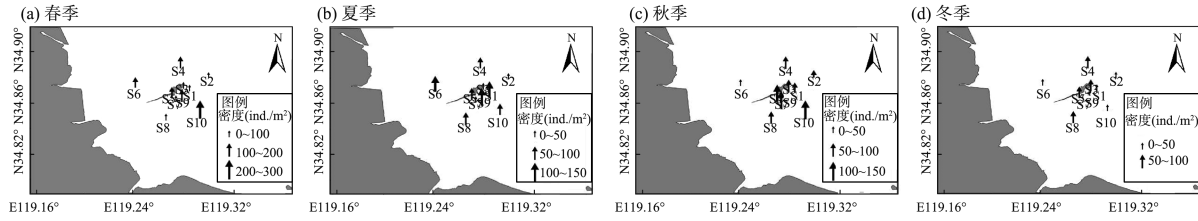


图 2 四季各站位大型底栖动物密度分布

Fig. 2 Density distribution of macrobenthos at each site in four seasons

各季节密度均值依次为春季 (100 ind./m<sup>2</sup>) > 秋季 (80 ind./m<sup>2</sup>) > 夏季 (70 ind./m<sup>2</sup>) > 冬季 (51 ind./m<sup>2</sup>)。单因子方差检验 (one-way ANOVA) 显示, 春、冬季各站位密度差异显著 ( $P < 0.05$ ), 其他季节差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

图 3(a)–(d) 分别为四季各站位大型底栖动

物生物量分布。由图 3 可见, 秋季 S9 站位的大型底栖动物生物量最小, 为 0.83 g/m<sup>2</sup>, 夏季 S3 站位生物量最大, 为 197.25 g/m<sup>2</sup>, 四季生物量均值为 40.73 g/m<sup>2</sup>。各季节生物量均值依次为夏季 (54.03 g/m<sup>2</sup>) > 冬季 (47.08 g/m<sup>2</sup>) > 春季 (32.50 g/m<sup>2</sup>) > 秋季 (29.34 g/m<sup>2</sup>)。

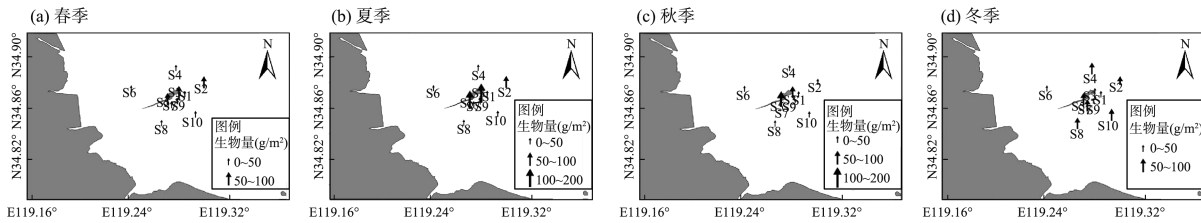


图 3 四季各站位大型底栖动物生物量分布

Fig. 3 Biomass distribution of macrobenthos at each site in four seasons

大型底栖动物密度与生物量均值季节变化存在较大差异, 这主要由于春、秋季为环节动物、软体动物和节肢动物的繁殖季节, 大量幼体出现使底栖动物密度增加, 可对生物量贡献不大; 夏季为拉氏狼牙虾虎鱼等肉食性底栖动物索饵育肥的季节, 摄食压力使低营养级种类密度降低, 高营养级种类个体数及生物量均上升, 进而使底栖动物生物量明显增加, 拉氏狼牙虾虎鱼贡献了夏季 49.12% 的生物量; 进入冬季, 小型种类数量不断减少, 适应能力较强的棘刺锚参贡献了冬季 43.41% 的生物量<sup>[5,19]</sup>。

### 2.2.3 多样性指数的时空分布

表 6 为四季各站位大型底栖动物 Shannon-Wiener 指数。由表 6 可知, 春季 S1 站位的大型底栖动物 Shannon-Wiener 指数最低, 为 0.92, 秋季 S7 最高, 为 3.75, 所有站位的季节均值为 2.46。多样性指数季节均值依次为夏季 (2.63) > 秋季 (2.62) > 春季 (2.34) > 冬季 (2.27), 站位四季均值 S2 最小, 为 1.90, S6 和 S10 最大, 均为 2.83。

Bray-Curtis 指数的季节变化显示, 春季与秋季

表 6 四季各站位大型底栖动物 Shannon-Wiener 指数

Table 6 Shannon-Wiener index of macrobenthos at each site in four seasons

站位	春季	夏季	秋季	冬季	站位均值
S1	0.92	2.32	2.60	2.00	1.96
S2	2.12	2.00	1.99	1.50	1.90
S3	2.00	2.25	2.41	2.80	2.37
S4	1.72	2.37	2.28	2.13	2.13
S5	2.41	2.50	2.86	2.60	2.59
S6	2.66	3.41	2.50	2.75	2.83
S7	2.72	2.75	3.75	1.84	2.76
S8	2.05	2.99	2.14	2.84	2.50
S9	3.49	3.01	2.52	2.00	2.76
S10	3.30	2.66	3.11	2.25	2.83
季节均值	2.34	2.63	2.62	2.27	2.46

大型底栖动物群落相似度最高, 为 59.36, 与夏季相似度最低, 为 36.79; 除夏季外, 其余季节大型底栖动物群落相似度均较高 ( $C_N > 50$ )。

Shannon-Wiener 指数均值显示, 秦山岛底栖环境均处于轻度污染状态, 这与毛成贵等<sup>[9]</sup>用 ABC 曲线的评价结果一致。Bray-Curtis 指数显示, 除夏

季外,其余3个季节底栖动物群落相似度均较高( $C_N > 50$ )。这可能与夏季拉氏狼牙虾虎鱼的大量出现有关,小型节肢动物及环节动物是其摄食对象,故夏季节肢动物与环节动物种类和密度明显低于春、秋季,夏季优势种组成亦未见节肢动物及环节动物种类。在岚山港及胶州湾的底栖动物季节变化研究中显示,在没有拉氏狼牙虾虎鱼等大型高营养及摄食种类出现的情况下,节肢动物和环节动物在四季均为优势类群及主要优势种,这在一定程度上说明,除人为干扰和环境因子外,种间关系及生活史特征也是影响底栖动物群落结构变化的重要因素<sup>[18,23-25]</sup>。

### 3 结论

(1) 秦山岛海域四季共采集鉴定大型底栖动物7门69种,环节动物为主要优势类群,种数占比36.23%。共出现优势种14种,棘刺锚参在四季均为优势种。

(2) 大型底栖动物种数为春季>秋季>夏季>冬季,环节动物四季均为优势类群;密度均值为春季>秋季>夏季>冬季,春秋季节环节动物密度占优势,夏季软体动物密度占优势;生物量均值为夏季>冬季>春季>秋季,四季差异不显著( $P > 0.05$ ),春、秋、冬季棘皮动物生物量占优势,夏季脊索动物生物量占优势;密度和生物量的空间分布无明显规律。

(3) Shannon-Wiener 指数均值显示,秦山岛海域底栖动物群落受到轻度干扰,底栖环境处于轻度污染状态;群落结构的季节变化显示,除人为干扰和环境因子外,种间关系及生活史特征也是影响底栖动物群落结构的重要因素。

#### [参考文献]

- [1] 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 第6部分:海洋生物调查:GB/T 12763.6—2007[S]. 北京:中国环境科学出版社,2007.
- [2] WANG Z X, WANG H P, FAN S L, et al. Community structure and diversity of macrobenthos in Jiaozhou Bay[J]. Marine Pollution Bulletin, 2021, 171(5): 1-7.
- [3] WARZOGA J, GROMISZ S, WODZINOWSKI T, et al. The structure of macrozoobenthic communities as an environmental status indicator in the Gulf of Gdańsk (the Outer Puck Bay) [J]. Oceanologia, 2018, 60(1): 553-559.
- [4] 张海燕,沈丽娟,周威,等. 基于底栖动物完整性指数的常州武南区域水生生态健康评价[J]. 环境监测管理与技术, 2021, 33(4): 35-39.
- [5] 杨德渐,王永良. 中国北部海洋无脊椎动物[M]. 北京:高等教育出版社,1996.
- [6] 张苗苗,王咏雪,田阔,等. 沿浦湾秋茄种植前后大型底栖动物生态位和功能群变化[J]. 中国水产科学, 2019, 26(5): 949-958.
- [7] AMRI N, JAMILI S, ABDOLBAGHIAN S. Diversity of macrobenthos communities and their relationships with environmental factors in Jajroud River, Iran [J]. Resources and Environment, 2014, 4(2): 95-103.
- [8] 全秋梅,徐珊楠,肖雅元,等. 胶州湾大型底栖动物次级生产力[J]. 中国水产科学, 2020, 27(4): 414-426.
- [9] 毛成贵,魏爱泓,张咏,等. 秦山岛周边海域大型底栖动物群落健康状况评价[J]. 环境监测与预警, 2022, 14(1): 72-78.
- [10] 毛成贵,花卫华,袁广旺,等. 秦山岛周边海域春季浮游植物群落结构特征[J]. 环境监测与预警, 2020, 12(2): 17-23.
- [11] 王在峰. 海州湾海洋特别保护区生态恢复适宜性评估[D]. 南京:南京师范大学,2011.
- [12] 杨德渐,孙瑞平. 中国近海多毛环节动物[M]. 北京:农业出版社,1988.
- [13] 冷宇,张洪亮,王振钟. 黄渤海常见底栖动物图谱[M]. 北京:海洋出版社,2017.
- [14] GEORGE A D I, ABOWEI J F N, INKO-TARIAH M B. The composition in different size groups and index of relative importance (Iri) of *Callinectes amnicola* (De Rochebrune, 1883) food from Okpoka Creek, Niger Delta, Nigeria [J]. International Journal of Animal and Veterinary Advances, 2009, 1(2): 83-91.
- [15] 蔡立哲. 大型底栖动物污染指数[J]. 环境科学学报, 2003, 23(5): 625-629.
- [16] 毛成贵,花卫华,钟俊生,等. 泗礁沙滩碎波带仔稚鱼群落多样性分析[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2018, 17(4): 397-403.
- [17] 季相星,仲维斌,王统旺. 2015—2018年春季海州湾大型底栖动物多样性研究[J]. 能源与环境, 2021, 40(1): 78-79.
- [18] 全秋梅,肖雅元,徐珊楠,等. 胶州湾大型底栖动物群落结构季节变化及其与环境因子的关系[J]. 生态学杂志, 2020, 39(12): 4110-4120.
- [19] 林俊辉,何雪宝,王建军,等. 福建洛阳江口红树林湿地大型底栖动物多样性及季节变化[J]. 生物多样性, 2016, 24(7): 791-801.
- [20] 谢斌. 应用稳定同位素技术研究海州湾主要生物种类的营养结构[D]. 上海:上海海洋大学,2017.
- [21] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志 第十四分册(重要河口)[M]. 北京:海洋出版社,1998.
- [22] 江苏省海岛资源综合调查领导小组办公室. 江苏省海岛资源综合调查报告[M]. 北京:科学技术文献出版社,1996.
- [23] 纪莹璐,王尽文,张亮,等. 日照岚山港邻近海域大型底栖动物群落结构及季节变化[J]. 生态科学, 2020, 39(5): 151-160.
- [24] BARNES R S K. Interspecific relationship of patchiness to occupancy and abundance, as exemplified by seagrass macrobenthos [J]. Ecological Indicators, 2021, 121(1): 1-11.
- [25] 冷宇,刘一霆,赵升,等. 养马岛后海区域秋季大型底栖动物群落特征[J]. 环境监测管理与技术, 2013, 25(3): 17-20.

本栏目编辑 谢咏梅