

日照市近海大型底栖动物群落结构和生物多样性

纪莹璐, 王尽文, 张乃星, 孙滨, 宿凯, 王智

Community structure and biodiversity of macrobenthos in the coastal waters of Rizhao

Ji Yinglu, Wang Jinwen, Zhang Naixing, Sun Bin, Su Kai, Wang Zhi

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20210103269>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[长江口北支滩涂贝类放流对潮下带大型底栖动物群落的影响](#)

Effects of shellfish release on macrobenthic communities in the subtidal zone in the northern branch of the Yangtze River Estuary
上海海洋大学学报. 2019, 28(2): 277 <https://doi.org/10.12024/jsou.20181002416>

[长江口明珠湖大型底栖动物群落结构特征与水质评价](#)

Macroinvertebrate community structure and the biological assessment to water quality of Mingzhu Lake near the Yangtze River Estuary
上海海洋大学学报. 2020, 29(5): 699 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190502655>

[春季闽北海域大型底栖动物群落特征及环境质量分析](#)

Research on community characteristics of macrozoobenthos and environmental quality of offshore North Fujian in spring
上海海洋大学学报. 2018, 27(2): 238 <https://doi.org/10.12024/jsou.20170902125>

[南麂列岛冬夏季潮间带大型底栖生物群落结构](#)

Community structure of macrobenthos in the intertidal zones of Nanji Islands in winter and summer
上海海洋大学学报. 2018, 27(1): 133 <https://doi.org/10.12024/jsou.20170602095>

[休闲渔船拖网标准化改造前后渔获物中游泳动物群落结构分析](#)

Analysis of the community structure of nekton in the catch before and after the standardized transformation of the recreational fishing boat trawl
上海海洋大学学报. 2021, 30(6): 1090 <https://doi.org/10.12024/jsou.20210203311>

文章编号: 1674-5566(2022)01-0119-12

DOI:10.12024/jsou.20210103269

日照市近海大型底栖动物群落结构和生物多样性

纪莹璐^{1,2}, 王尽文^{1,2}, 张乃星^{1,2}, 孙滨^{1,2}, 宿凯^{1,2}, 王智³

(1. 国家海洋局北海预报中心, 山东 青岛 266061; 2. 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室, 山东 青岛 266061; 3. 厦门大学 近海海洋环境科学国家重点实验室, 福建 厦门 361102)

摘要: 于 2018 年 7 月(夏季)、10 月(秋季)、12 月(冬季)和 2019 年 4 月(春季)在日照近海 18 个站位进行了大型底栖动物调查。共鉴定出大型底栖动物 7 门 72 科 119 种,其中:多毛类动物 28 科 62 种,为优势类群;甲壳动物 26 科 36 种、软体动物 11 科 12 种、棘皮动物 3 科 4 种和其他类群 5 种。主要优势种为寡鳃齿吻沙蚕(*Micronephthys oligobranchia*)、不倒翁虫(*Sternaspis scutata*)、中蚓虫一种(*Mediomastus* sp.)、圆筒原盒螺(*Cylichna biplicata*)和海稚虫科未定种(*Spionidae* und.)等。调查海域大型底栖动物年平均丰度和生物量分别为 191 ind./m² 和 6.71 g/m²。多样性指数(*H'*)、均匀度指数(*J*)和丰富度指数(*d*)的平均值分别为 2.912、0.934 和 2.139。聚类分析结果显示,4 个季度的群落相似性系数均较低,分布格局存在季节性变化。ABC 曲线分析表明,4 月大型底栖动物群落可能存在轻微污染或扰动。对比分析历史研究数据发现,伴随海岸带开发及人类活动的持续影响,日照近海的大型底栖动物优势种变化明显,耐污种奇异稚齿虫(*Paraprionospio pinnata*)逐渐成为优势种,丰度、生物量和 Shannon-Wiener 多样性指数则呈现下降趋势。

关键词: 日照市; 大型底栖动物; 群落结构; 生物多样性

中图分类号: Q 958.8

文献标志码: A

日照市位于山东南部,海域面积约 6 000 km²,海岸线长 168.5 km,东、南两面临海。潮汐西南-东北向,主要为西南向涨潮流,潮流与海岸线基本平行^[1]。近岸海域沉积物由北向南转移,主要来源于河流入海和沿岸冲刷^[2]。由于受到河流径流、沿岸流、波浪和潮汐等综合作用的影响,日照近海水动力条件复杂,沉积物类型多样,对大型底栖动物群落结构影响明显^[3]。20 世纪 90 年代起,山东省提出“海上山东”的发展战略,《山东半岛蓝色经济区发展规划》《日照市城市总体规划》等文件相继出台,受沿海海洋开发的影响,近海水域和底栖生态环境发生巨变,部分海域出现污染,底栖动物群落结构发生重大变化^[4]。大型底栖动物是海洋生态系统物质循环和能量流动的重要环节,其活动能力弱,对环境变化逃避能力差,因此对栖息环境变化灵敏度高,底栖动物群落结构和多样性等变化可以较为准确地反映出所在海域环境的时空变化^[5]。目

前,日照沿岸海域大型底栖动物群落相关研究少见报道^[4,6-7],本文以 2018 年至 2019 年对日照近海大型底栖动物现状调查结果为依据,分析大型底栖动物的物种组成、优势种、群落结构、多样性和季节变化规律,旨在为日照海域大型底栖动物生态学期长期调查、海洋工程对海洋环境的影响和底栖动物资源可持续发展提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 野外采样

于 2018 年 7 月(夏季)、10 月(秋季)、12 月(冬季)和 2019 年 4 月(春季)对日照近海 18 个站位进行了大型底栖动物调查采样,地理范围为 119°16'57.66"~119°27'40.5"E、35°1'18.00"~35°9'33.72"N(图 1)。在每站使用面积为 0.05 m² 的抓斗采泥器重复采样 4 次合为 1 个样品,采得沉积物用孔径为 0.5 mm 的网筛冲洗分选,留在网筛上的样品全部收集装瓶,并用体积分数为

收稿日期: 2021-01-08

修回日期: 2021-02-10

基金项目: 山东省海洋重点实验室开放基金项目(201902,202002);国家重点研发计划(2016YFC1402103)

作者简介: 纪莹璐(1990—),女,工程师,硕士,研究方向为海洋底栖生态学。E-mail:jiyinglu2008@126.com

通信作者: 王智, E-mail: zhiwang00kxy@xmu.edu.cn

10% 的甲醛溶液固定。

1.2 室内分析

样品带回实验室在体视显微镜下进行分类、鉴定、计数,使用感量为 0.000 1 g 的电子天平进行称量,最后换算成单位面积的生物量(g/m^2)和丰度($\text{ind.}/\text{m}^2$)。物种标准名称来源于 WoRMS 官网。以上所有样品的采集、处理、保存、计数和称量均参照《海洋调查规范》^[8] 进行。

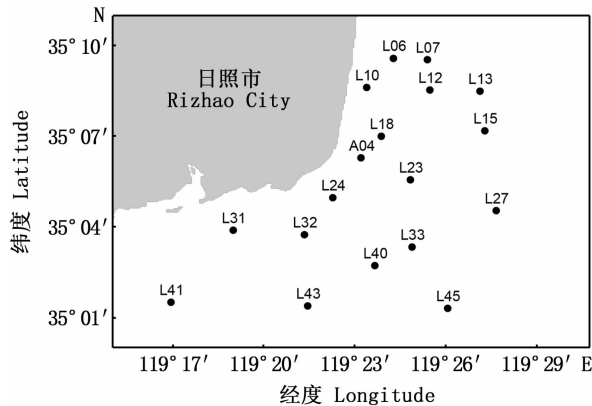


图 1 日照近海大型底栖动物取样站位
Fig.1 Sampling sites of macrobenthos
in coastal waters of Rizhao

1.3 数据处理

使用相对重要性指数 (IRI) 来确定大型底栖动物优势种,计算公式:

$$I_{RI} = (W + N) \times F \quad (1)$$

式中: I_{RI} 为相对重要性指数; W 为某一种的生物量占大型底栖动物总生物量的百分比; N 为该种的丰度占大型底栖动物总丰度的百分比; F 为该种出现的频率^[9]。多样性分析采用 Margalef 物种丰富度指数 (d)、Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 以及 Pielou 物种均匀度指数 (J)^[10],公式如下:

$$d = (S - 1) / \log_2 N \quad (2)$$

$$H' = - \sum P_i \log_2 (P_i) \quad (3)$$

$$J = H' / \log_2 S \quad (4)$$

式中: S 为总种数; N 为总个体数; P_i 为样品中第

i 种的个体数与总个体数的比值。使用 PRIMER 6.0 进行大型底栖动物群落结构和丰度/生物量比较曲线分析。各季度大型底栖动物丰度数据取平方根后经 Bray-Curtis 相似性等级聚类 (Hierarchical cluster analysis)、非度量多维标度 (Non-metric Multi-Dimensional Scaling) 及相似性 (Similarity/distance percentages, Similarity profile) 分析,比较群组间的相似性并筛选各季度表征群落特征的物种^[11]。

2 结果与分析

2.1 种类组成

共鉴定出大型底栖动物 72 科 119 种 (表 1), 包括刺胞动物、纽形动物、环节动物、软体动物、节肢动物、棘皮动物和头索动物 7 大门类,其中:多毛类 28 科 62 种,占总种数的 52.10%;软体动物 10 科 12 种,占总种数的 10.09%;甲壳类 26 科 36 种,占总种数的 30.25%;棘皮动物 4 科 4 种,占总种数的 3.36%;纽形动物 2 科 3 种,占总种数的 2.52%;刺胞和头索动物各 1 种,占总种数的 1.68%。4 个季度大型底栖动物种类分别为春季 4 门 41 种、夏季 6 门 55 种、秋季 7 门 58 种、冬季 4 门 60 种,物种数排序为冬 > 秋 > 夏 > 春。所有季度中环节动物和节肢动物种类数均排在前两位,这两类各自占比之和在每个季度均超过 80%,环节动物所占比例排序为秋 > 冬 > 春 > 夏,节肢动物所占比例排序为春 > 冬 > 夏 > 秋。

2.2 大型底栖动物优势种组成

寡鳃齿吻沙蚕 (*Micronephthys oligobranchia*) 为 4 个季度的共有优势种 (表 2)。不倒翁虫 (*Sternaspis scutata*) 是春、秋、冬季的优势种,中蚓虫一种 (*Mediomastus* sp.)、圆筒原盒螺 (*Cylichna buplicata*)、海稚虫科未定种 (*Spionidae* und.)、纽虫 (*Nemertea* und.)、奇异稚齿虫 (*Paraprionospio pinnata*)、强刺鳞虫 (*Sthenolepis japonica*)、东方长眼虾 (*Ogyrides orientalis*) 在两个季度中占优势。总体而言,日照近海大型底栖动物优势种在不同季节存在一定差异,但均以多毛类为主。

表 1 日照近海大型底栖动物各类群物种数

Tab.1 Species number of each macrobenthic taxa in the coastal waters of Rizhao

类群 Group	春季 Spring		夏季 Summer		秋季 Autumn		冬季 Winter		全年 Total	
	种数 Species	百分比 Percent/%	种数 Species	百分比 Percent/%	种数 Species	百分比 Percent/%	种数 Species	百分比 Percent/%	种数 Species	百分比 Percent/%
刺胞动物门 Cnidaria	0	0	1	1.82	1	1.72	0	0.0	1	0.84
纽形动物门 Nemertea	1	2.44	1	1.82	1	1.72	3	5.00	3	2.52
环节动物门 Annelida	23	56.10	30	54.44	36	62.08	34	56.67	62	52.10
软体动物门 Mollusca	2	4.88	7	12.73	3	5.17	7	11.66	12	10.09
节肢动物门 Arthropoda	15	36.58	14	25.45	13	22.42	16	26.67	36	30.25
棘皮动物门 Echinodermata	0	0	2	3.64	3	5.17	0	0	4	3.36
脊索动物门 Chordata	0	0	0	0	1	1.72	0	0	1	0.84
合计 Total	41	100.00	55	100.00	58	100.00	60	100.00	119	100.00

表 2 日照海域大型底栖动物各季节优势种相对重要性指数

Tab.2 The IRI of seasonal dominant species of macrobenthos in the coastal waters of Rizhao

物种 Species	拉丁名 Latin name	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
纽虫	Nemertea. und.			211	803
血色缘纽虫	<i>Ramphogordius sanguineus</i>				119
寡鳃齿吻沙蚕	<i>Micronephthys oligobranchia</i>	774	278	616	183
中蚓虫一种	<i>Mediomastus</i> sp.	535		601	
海稚虫科未定种	Spionidae und.	337		584	
奇异稚齿虫	<i>Paraprionospio pinnata</i>	261			127
不倒翁虫	<i>Sternaspis scutata</i>	259		257	563
强刺鳞虫	<i>Sthenolepis japonica</i>	208			625
巴氏钩毛虫	<i>Sigambra bassi</i>			402	
马丁海稚虫	<i>Spio martinensis</i>				200
灰双齿蛤	<i>Felaniella usta</i>		310		
小囊螺	<i>Retusa minima</i>		291		
圆筒原盒螺	<i>Cylichna biplicata</i>	285			712
红带织纹螺	<i>Nassarius succinctus</i>				502
轮双眼钩虾	<i>Ampelisca cyclops</i>	842			
博氏双眼钩虾	<i>Ampelisca bocki</i>	528			
东方长眼虾	<i>Ogyrides orientalis</i>	472			108
中华螺赢蜚	<i>Corophium sinense</i>		288		
强壮藻钩虾	<i>Ampithoe valita</i>		287		
日本鬼蟹	<i>Tymolus japonicus</i>			382	

2.3 大型底栖动物丰度和生物量

2.3.1 丰度

由表 3 和图 2 可知:4 个季度大型底栖动物平均丰度为 191 ind./m²。春季平均丰度为 173 ind./m²,其中:多毛类占优势,为 128 ind./m²,占 73.99%;其次为甲壳类 34 ind./m²,占 19.65%;软体动物为 9 ind./m²,占 5.20%;其他类群平均丰度仅为 2 ind./m²,占 1.16%。丰度最高的站点是 L31 站,达 530 ind./m²,最低的站点为 A04 站仅 30 ind./m²。夏季平均丰度为 254 ind./m²:多毛类为优势类群,丰度 143 ind./m²,占 56.30%,其次为甲壳类 61 ind./m²,占 24.02%;

软体动物 41 ind./m²,占 16.14%;棘皮动物 4 ind./m²,占 1.57%;其他类群的平均丰度为 5 ind./m²,占 1.97%。丰度最高的是 L43 站,达 490 ind./m²,最低的是 L12 站,为 120 ind./m²。秋季平均丰度为 216 ind./m²,其中:多毛类平均丰度 171 ind./m²,占 79.17%;其次为甲壳动物 26 ind./m²,占 12.04%;软体动物和棘皮动物均为 4 ind./m²,各占 1.85%;其他类群为 11 ind./m²,占 5.09%。丰度最高的站是 L07 站,达 950 ind./m²,最低的为 L43 站,为 70 ind./m²。冬季平均丰度为 123 ind./m²,其中:多毛类动物平均丰度最高为 83 ind./m²,占 67.47%;软体动物和

甲壳类次之,均为 15 ind./m²,各占 12.20%;其他类群为 10 ind./m²,占 8.13%。从站位来看,丰度最高的站是 L06 站,达 360 ind./m²,最低的

为 L13 站,为 30 ind./m²。不同季节的平均丰度呈现夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季的特点,各季节均以多毛类占优势。

表 3 大型底栖动物主要类群丰度和生物量的季节变化

Tab.3 Seasonal abundance (ind./m²) and biomass (g/m²) of benthic macrofauna main groups

类群 Taxon	项目 Item	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	平均 Average
多毛类 Polychaeta	丰度	128	143	171	83	131
	生物量	0.37	0.91	0.85	0.58	0.68
软体动物 Mollusca	丰度	9	41	4	15	17
	生物量	0.16	1.66	0.01	5.69	1.88
甲壳类 Crustacea	丰度	34	61	26	15	34
	生物量	0.81	1.68	5.31	3.15	2.74
棘皮动物 Echinodermata	丰度	0	4	4	0	2
	生物量	0	0.26	0.02	0	0.07
其他类群 Others	丰度	2	5	11	10	7
	生物量	0.01	1.02	1.05	3.28	1.34
总计 Total	丰度	173	254	216	123	191
	生物量	1.35	5.53	7.24	12.70	6.71

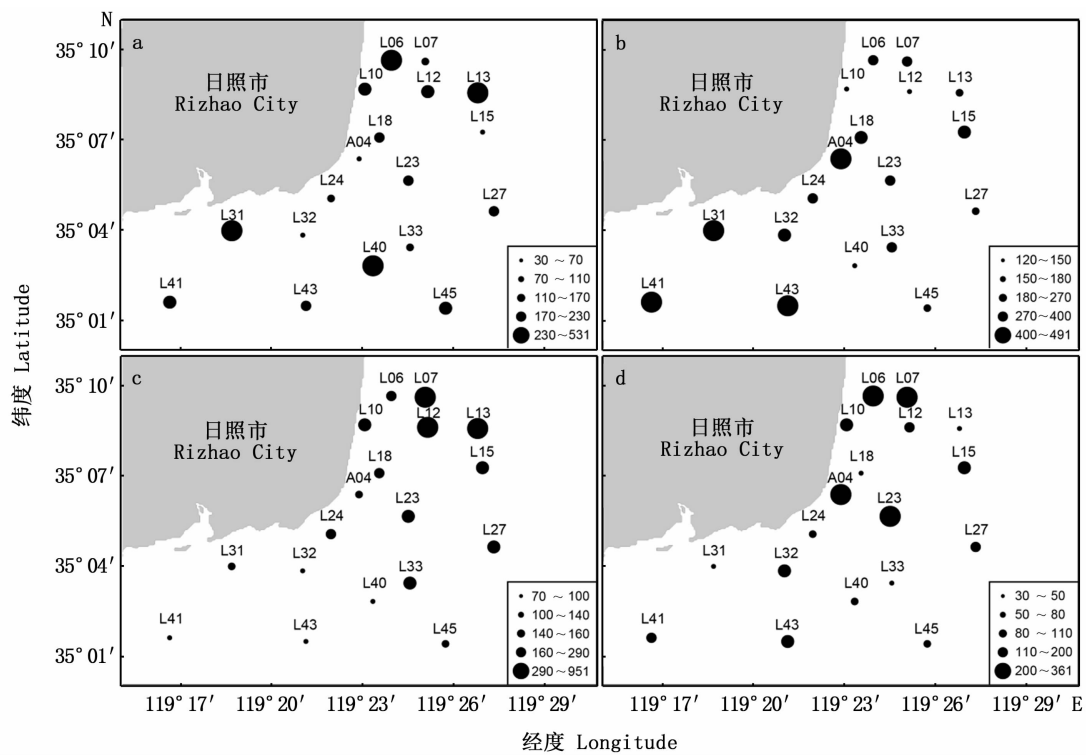


图 2 大型底栖动物在春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)季丰度的空间分布
Fig.2 Spatial distribution of macrobenthic abundance (ind./m²) in spring (a), summer (b), autumn (c) and winter (d)

2.3.2 生物量

4 个季度大型底栖动物平均生物量为 6.71 g/m²。春季平均生物量为 1.35 g/m²;甲壳类占优势(60.00%),为 0.81 g/m²;其他类群平均生

物量最小为 0.01 g/m²。生物量最高的站为 L18 站,达 3.31g/m²,L12 站最低,仅为 0.40 g/m²。夏季平均生物量为 5.53 g/m²,其中:甲壳类占优势,为 1.68 g/m²,占 30.38%;其次为软体动物,

平均生物量为 1.66 g/m²,占 30.02%;棘皮动物最少,为 0.26 g/m²,占 4.70%。从站位来看,生物量最高的站为 L18 站(37.33 g/m²),最低为 L12、L13 站,均为 0.30 g/m²。秋季平均生物量为 7.24 g/m²;甲壳类依然是优势类群,占 73.34%;软体动物生物量最低,仅为 0.01 g/m²,占 0.14%。生物量最高的站为 L07 站,高达 94.56 g/m²,该站出现了大个体甲壳类日本鬼蟹(*T.*

japonicus),最低的为 L41 站,仅为 0.08 g/m²。冬季平均生物量为 12.70 g/m²;软体动物最高为 5.69 g/m²,占 44.80%;多毛类最低为 0.58 g/m²。L09 站生物量最大,达 60.66 g/m²,L31 站最低,为 0.06 g/m²。平均生物量呈现冬季 > 秋季 > 夏季 > 春季的特点,甲壳类和软体动物在不同季节占优势。

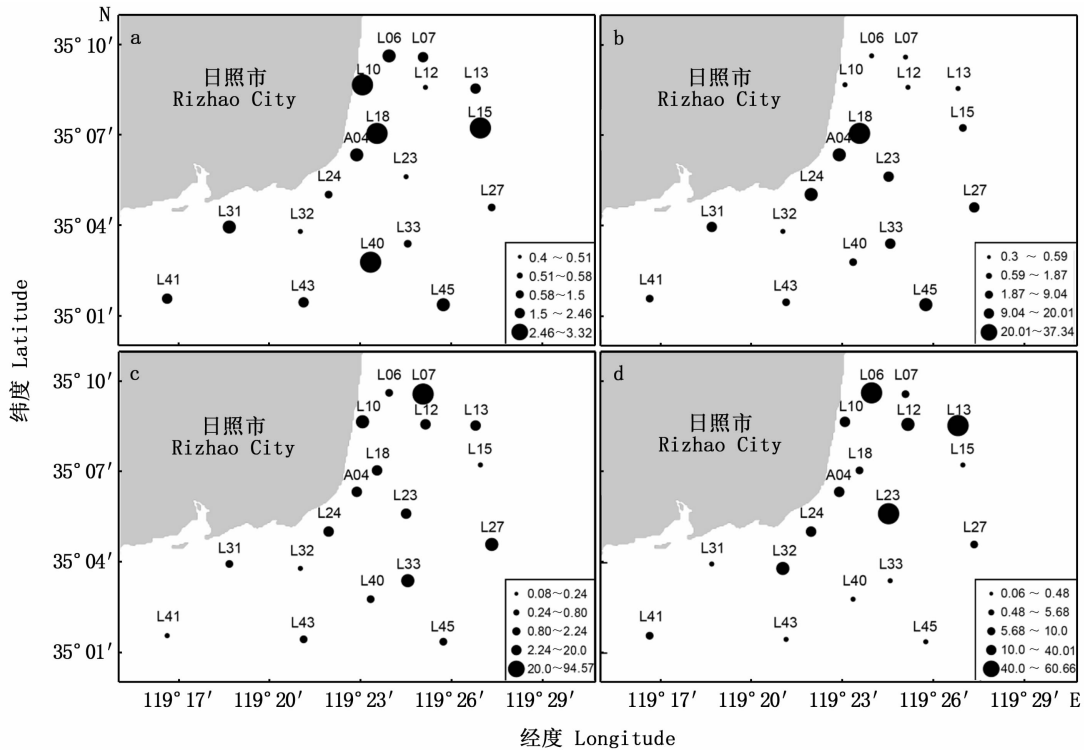


图 3 大型底栖动物在春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)季生物量的空间分布
 Fig. 3 Spatial distribution of macrobenthic biomass(g/m²) in spring (a), summer (b), autumn (c) and winter (d)

2.4 物种多样性指数

各站位的多样性指数没有明显的季节变化规律,夏季的平均多样性指数最高,为 3.135,其余 3 个季度均小于 3(表 4)。均匀度指数各季度

的平均值差异不明显,依次为冬季(0.969) > 春季(0.931) > 秋季(0.920) > 夏季(0.914),平均丰富度指数夏季最高(2.226),秋季最低(2.057)。

表 4 各站位大型底栖动物多样性指数

Tab.4 The diversity indices of macrobenthos in each site

站位 Sites	春季 Spring				夏季 Summer				秋季 Autumn				冬季 Winter			
	H'	J	d	S	H'	J	d	S	H'	J	d	S	H'	J	d	S
L06	2.771	0.801	1.879	11	3.170	0.916	2.242	11	2.753	0.918	1.839	8	4.194	0.941	4.062	22
L07	2.807	1.000	2.137	7	3.109	0.936	2.082	10	4.023	0.866	3.653	25	3.418	0.875	2.826	15
L10	2.772	0.924	1.713	8	2.661	0.948	1.621	7	3.049	0.918	2.018	10	3.852	0.986	3.425	15
L12	3.392	0.946	2.589	12	3.252	0.979	2.510	10	3.220	0.898	2.264	12	2.725	0.971	1.893	7
L13	3.431	0.927	2.653	13	3.102	0.934	2.202	10	3.320	0.872	2.281	14	1.585	1.000	1.262	3
L15	2.000	1.000	1.500	4	3.179	0.887	2.200	12	3.234	0.902	2.432	12	2.664	0.949	1.734	7
L18	2.855	0.952	1.953	8	3.549	0.887	2.879	16	3.190	0.960	2.304	10	2.000	1.000	1.500	4
L23	3.096	0.977	2.313	9	3.629	0.953	2.915	14	2.233	0.864	1.250	6	3.518	0.924	2.835	14
L24	2.419	0.936	1.577	6	2.969	0.894	2.158	10	2.496	0.889	1.576	7	2.585	1.000	1.934	6
L27	3.096	0.977	2.313	9	2.657	0.946	1.536	7	2.713	0.856	1.821	9	2.250	0.969	1.333	5
L31	3.688	0.853	3.317	20	3.640	0.910	2.764	16	2.322	0.898	1.505	6	2.000	1.000	1.500	4
L32	1.371	0.865	0.861	3	3.054	0.919	1.893	10	2.503	0.968	1.577	6	3.027	0.955	2.313	9
L33	2.522	0.976	1.781	6	3.011	0.906	2.119	10	3.762	0.963	3.095	15	2.000	1.000	1.500	4
L40	3.853	0.891	3.620	20	2.200	0.851	1.351	6	2.948	0.983	2.208	8	2.807	1.000	2.137	7
L41	3.246	0.938	2.314	11	3.210	0.895	2.040	12	2.500	0.967	1.667	6	3.170	1.000	2.524	9
L43	2.197	0.850	1.280	6	3.898	0.935	3.028	18	2.522	0.976	1.781	6	3.093	0.931	2.162	9
L45	3.155	0.950	2.158	10	2.660	0.887	1.713	8	2.646	0.943	1.806	7	2.322	1.000	1.723	5
A04	1.585	1.000	1.262	3	3.488	0.872	2.819	16	2.752	0.917	1.953	8	3.584	0.941	3.008	14
平均值 Average	2.792	0.931	2.068	-	3.135	0.914	2.226	-	2.899	0.920	2.057	-	2.822	0.969	2.204	-

2.5 群落划分

大型底栖动物群落 CLUSTER 聚类分析结果见图 4, 各季节不同站组间相似性较低。结合 SIMPROF 分析, 4 月可划分为 5 个站组。SIMPER 分析结果: 群落 1 为东方长眼虾群落, 包括 L15、A04 站位; 群落 2 为足刺拟单指虫-小头弹钩虾群落, 包括 L07、L18 站位; 群落 3 为双壳类幼体巧言虫群落, 包括 L10、L23 站位; 群落 4 为中蚓虫一种不倒翁虫群落, 包括 L06、L13、L31、L40 站位; 其他站位属于群落 5, 为寡鳃齿吻沙蚕-轮双眼钩虾-博氏双眼钩虾群落。

7 月可划分为 2 个站组。SIMPER 分析结果: 群落 1 为内卷原盒螺-树蛭虫-昆士兰稚齿虫群落, 包括 L31、L32、L41、L43、L45 站位, 靠近调查海域南部; 其他站位属于群落 2, 为寡鳃齿吻沙蚕-中华螺赢蜚-日本角吻沙蚕-三崎双眼钩虾群

落, 位于调查海域北部。

10 月可划分为 4 个站组。SIMPER 分析结果: 群落 1 为海稚虫科未定种-螺赢蜚群落, 包括 L18、L23、L24、L27、L33、L40、A04, 位于调查海域中部; 群落 2 为独指虫群落, 为 L43 站位; 群落 3 为中蚓虫一种-巴氏钩毛虫群落, 包括 L06、L07、L10、L12、L13、L15 站位, 靠近调查海域北部; 其他站位属于群落 4, 为寡鳃齿吻沙蚕群落, 位于调查海域南部。

12 月可划分为 3 个站组。SIMPER 分析结果: 群落 1 为寡鳃齿吻沙蚕昆士兰稚齿虫群落, 包括 L32、L33 站位; 群落 2 为强刺鳞虫不倒翁虫群落, 包括 L06、L07、L10、L15、L23、L24、L27、L41、L43、L45、A04 站位; 其他站位属于群落 3, 为纽虫群落。

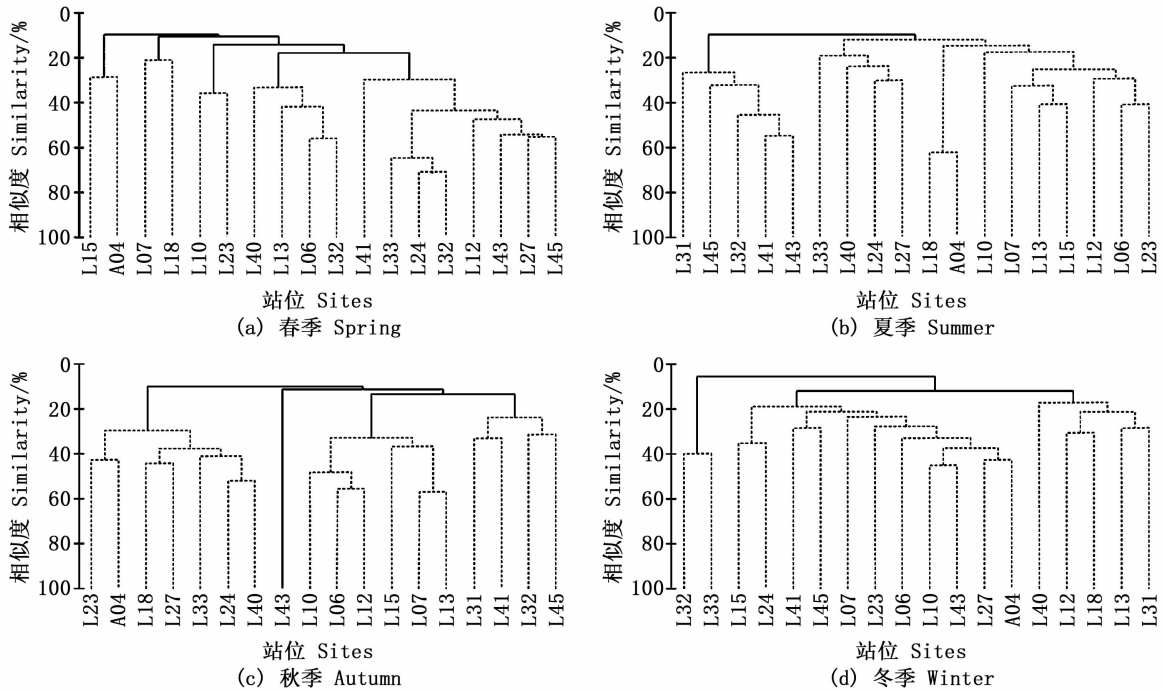


图4 大型底栖动物春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)季的群落结构聚类分析图
 Fig.4 CLUSTER results based on square-root transformed abundance data in spring (a), summer (b), autumn (c) and winter (d)

2.6 丰度/生物量比较曲线(ABC曲线)

4个季度大型底栖动物ABC曲线见图5。可以看出4个季度生物量曲线始终位于丰度曲线上方,其中4月生物量曲线虽高于丰度曲线,但

生物量曲线起点较低,且起点处与丰度曲线相距较近,丰度和生物量曲线接近重合,说明4月调查海域可能存在一定程度的扰动。

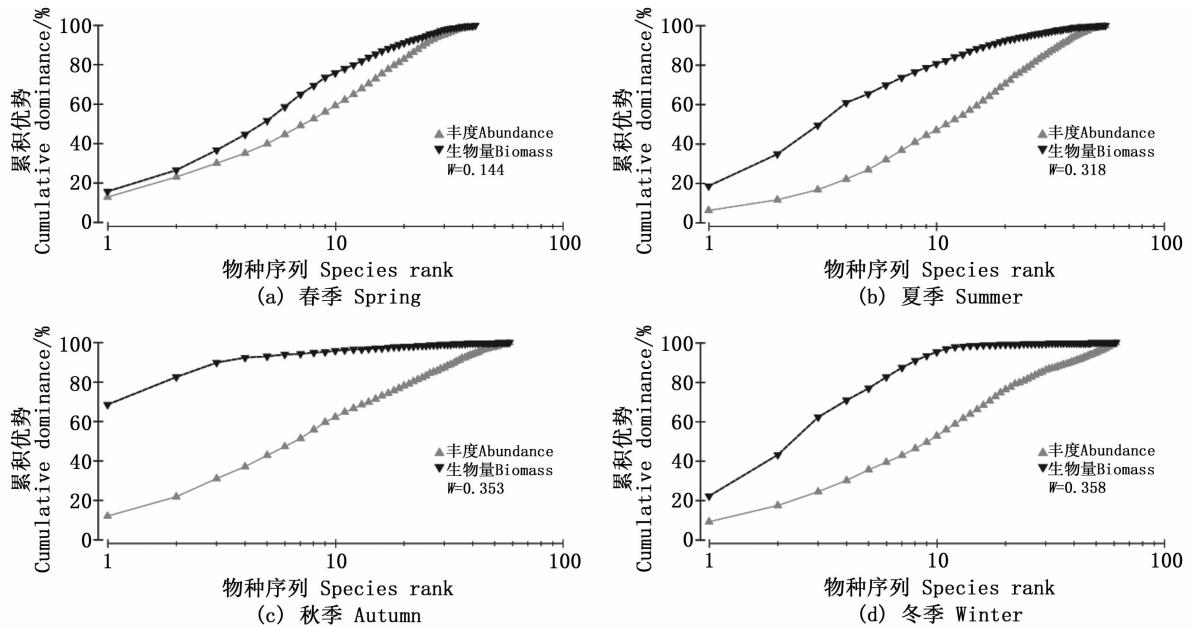


图5 大型底栖动物春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)季的ABC曲线
 Fig.5 ABC curves of macrobenthos in spring (a), summer (b), autumn (c) and winter (d)

3 讨论

3.1 日照近海大型底栖动物的种类组成变化

底栖生物对不同类型的自然因素十分敏感,一些细微的环境变化,如沉积类型、水温、水深、水动力等,都可能使其群落的物种组成发生变化^[12],而物种组成的变化会直接影响大型底栖动物的丰度和生物量。春夏季大型底栖动物进入繁殖期,个体较小的种群如多毛类数量上升,但较高的水温也会增加捕食动物活跃度,从而控制小个体生物的数量^[13],一般来说大型底栖动物的丰度呈现春夏秋季高于冬季的特点;而由于大部分多毛类的生活周期较短,秋冬季小个体数量有所下降,其他类群如软体动物、甲壳类个体逐渐发育成熟,生物量明显增大,因此秋冬季大型底栖动物的生物量普遍高于春夏季。总体而言,自然条件、人类活动和动物自身生活史特点均会影响大型底栖动物的群落结构,使其种类、丰度和生物量出现季节变化。

物种数量和种类组成是群落的基本组成成分,通过不同年度物种数的变化,可以对该区域群落变化趋势有一定的了解。本研究与日照近岸海域历史资料的对比见表 5,可以看出 2007—2019 年间日照近海采集到的大型底栖动物种数略有下降并存在年际波动:2014 年养殖区种数较少,各生物类群在总种数上的比例基本保持稳定,均以多毛类占优势,但少数耐污种如奇异稚齿虫(*Pa. pinnata*)在 2015 年以后逐渐成为群落

优势种,原来排名前几位的优势种优势程度降低;大型底栖动物丰度和生物量发生较大变化,平均丰度从 2007 年的 1 885 ind./m² 下降至 191 ind./m²,生物量则从 39.82 g/m² 下降至 6.71 g/m²,物种多样性指数也呈现逐年下降的趋势。一般来说,一段时间内,特定海域中大型底栖动物丰度和生物量的变化可反映其群落的变化,进而可推断生境的变化^[13-14]。调查海域丰度和生物量水平下降,说明近年来日照近海的底栖生境不稳定,环境扰动导致生物个体由大个体变为小个体占优势。21 世纪初随着日照市大力推进海岸开发,岚山港、石臼港在原有煤码头的基础上扩建大型集装箱码头,万平口附近围海造地,奎山嘴北岸修建发电厂,使日照的岸线和滩涂宽度发生较大的变化,自然岸线和海域面积减少^[4]。海岸开发和海洋工程建设与运营使底栖动物的栖息地范围变小,航道疏浚和土石方倾倒造成严重的底质搅动和翻耕,导致沉积环境不稳定,大型底栖动物的丰度、生物量和多样性降低,海域生态功能逐渐衰退^[15]。根据 2006—2019 年《山东省海洋生态环境状况公报》,2014 年之前日照近海海水水质符合一类水质标准,2015 年夏季岚山区近岸海水由一类变为二类水质,2018、2019 全年为二类水质,无机氮、活性磷酸盐等要素呈现上升趋势。岚山区围海造地、港口码头、航道运输等对底栖环境的持续扰动和龙王河、绣针河径流入海可能是造成调查海域大型底栖动物群落丰度、生物量和多样性持续下降的主要因素。

表 5 本研究结果与历史资料的对比
Tab. 5 Comparison with historical data

调查时间 Survey time	种数 Species	优势种 Dominant species	平均丰度 Average abundance/ (ind./m ²)	平均生物量 Average biomass/ (g/m ²)	<i>H'</i>	参考文献 Reference
2007	141	拟特须虫、寡鳃齿吻沙蚕、深沟毛虫、中蚓虫一种、不倒翁虫	1 885	39.82	3.35	[6]
2014	35	寡鳃齿吻沙蚕、脆壳理蛤、不倒翁虫	625	37.55	3.43	[7]
2015	118	独指虫、奇异稚齿虫、寡鳃齿吻沙蚕、仿盲蟹一种、拟特须虫	368	13.52	3.00	[14]
2018—2019	119	寡鳃齿吻沙蚕、不倒翁虫、中蚓虫一种、纽虫、圆筒原盒螺	191	6.71	2.912	本文

3.2 群落多样性和群落稳定性分析

大型底栖动物群落 3 种多样性指数(J 、 H' 、 d)的季节变化均不明显,除物种均匀度指数(J)全年基本保持较高的水准外,物种多样性指数(H')与物种丰富度指数(d)都呈现夏季高于其他

季节的特征。其中,年平均物种多样性指数(H')水平分布呈现出南北两侧站位较高,调查海域中部站位相对较低的空间分布特征,可能与向陆一侧为岚山港海洋工程有关,调查海域中部站位多位于进出港航道附近,受港池内部围填海和外部

船舶通行的双重影响,相较于南北两侧港区边缘站点受人为扰动程度大,导致站点种类数和物种个数均较小。在通常情况下,清洁的水域环境中生物种类数较多,生境恶化或水体受到污染都会使敏感生物被淘汰,少数物种数量大增,通过物种多样性指数(H')可在一定程度上反映出环境质量的变化^[16]。蔡立哲等^[17]提出多样性指数5级污染评价法:无底栖动物为严重污染, H' 值 <1 为重度污染, $1 \leq H' < 2$ 为中度污染, $2 \leq H' < 3$ 为轻度污染, $H' \geq 3$ 为清洁。日照近海历史资料显示,2007—2015年间大型底栖动物物种多样性指数均大于3^[6-7,14,17],而本次调查中仅夏季的 H' 值大于3,物种多样性指数年平均值为2.912,属轻度污染。罗民波等^[18]对洋山岛周围海域生态研究发现,海洋工程可使海域水文条件发生较大变化,外源营养物质和污染物的增加使底栖环境受到胁迫,大型底栖动物群落结构会发生相应的改变,表现为物种多样性指数下降,单纯度上升。2015年后日照港多个海洋工程项目开工建设并投入运营,港口与航道工程可能在一定程度上影响了近海的底栖生境,致使大型底栖动物多样性发生变化。

WARWICK^[19]提出运用ABC曲线来监测环境污染造成的大型底栖动物群落扰动。一种或几种个体较大的物种生物量占优势,且每个种多于一个个体,整条生物量曲线位于丰度曲线上方;当群落受到扰动时,个体较大的物种消失,小个体的机会种在数量上占优势,中度污染时生物量和丰度曲线或相互交叉或重叠在一起,严重污染时整条丰度曲线位于生物量曲线上方。本研究中ABC曲线没有出现生物量和丰度曲线相互交叉或丰度曲线位于生物量曲线之上的情况,其中春季虽然生物量曲线高于丰度曲线,但生物量曲线起点处与丰度曲线相距较近,大型底栖动物群落可能受到轻微扰动。一般来说,由于气候变化、地形变化、人类活动等引发外部环境改变或污染进而引起的生物演替为异源演替,如果异源演替过程超过了群落内部生物学过程所引发的演替,则群落的发展趋势就会发生变化,生态系统较难维持稳定状态,甚至可能导致该生态系统的崩溃^[16]。由于海洋工程围填海和航道运营的影响,近十年来日照近海大型底栖动物群落丰度、生物量和多样性指数逐年下降,群落出现轻

中度扰动情况,且种类组成有小型化趋势,多毛类占比由2007年的38.30%上升至52.10%,底栖动物趋向于采取r-选择对策来适应不稳定的栖息环境,一些耐污种和机会种出现,甚至成为群落优势种^[20-24]。为防治海域生态环境恶化和物种资源持续衰退,促进日照近海海洋生态系统的健康持续发展,应进一步提高对海岸开发和海洋工程的管理力度,制定有效的海洋生态综合治理措施,并开展长期持续的调查监测。

3.3 与邻近海域对比

调查区以北为青岛周边海域,以南与连云港相邻,为排除季节因素影响,选取本研究春秋两季结果与邻近海域历史资料的对比,见表6。贺心然等^[25]在2005年秋季对连云港港口海域的调查中获大型底栖动物49种,与本海域调查结果相近,但优势种的组成则有较大的差别。连云港港口海域主要优势种为光滑河篮蛤(*Potamocorbula laevis*)、足刺拟单指虫(*Cossurella aciculata*)和圆筒原盒螺(*C. biplicata*),且软体动物光滑河篮蛤(*P. laevis*)在丰度和生物量上均为第一优势种。本调查海域秋季的优势种以个体更小的多毛类为主,软体动物未作为优势种出现,4个季节的共有优势种寡鳃齿吻沙蚕(*M. oligobranchia*)仅在连云港港口优势种中排第四位。一般来说,沉积物在搬运、沉积过程中由于不断受到水动力及生物等外力作用,其粒度参数可以反映所在海域沉积物理化性质的变化^[26]。连云港港口位于海州湾顶部,海域地势较平坦,水深较浅,加之西大堤的建设使当地的水动力作用明显减弱,沉积动力能量低,有利于泥沙扩散堆积,底质以黏土质粉砂为主;调查海域位于海州湾北岸,是山东省基岩砂质海岸发育区,沿岸有由北向南颗粒较粗的泥沙流,且南北两侧均有河流汇入,水动力和沉积动力较强,底质以含砾泥质砂为主^[3,27],沉积环境的不同使大型底栖动物群落结构发生变化。此外,生境的复杂性是决定底栖动物多样性的关键因子,一般来说空间异质性程度高,小生境更加多样化,能允许更多的物种共存,从而具有更高的物种多样性^[28]。青岛海域大型底栖动物种数高于其他海域的原因可能与青岛近海沉积环境多样、空间异质性程度高有关^[29]。

日照近海春秋大型底栖动物的平均生物

量明显低于邻近海域的平均生物量。虽然物种组成上各海域均以多毛类占优势,其他类群次之,但日照近海多毛类比重最高,且其他类群如甲壳类多为端足目个体较小的物种,鲜少出现大个体生物。青岛海域生物量以节肢动物和棘皮动物贡献最高,连云港港口海域水流较小,生态环境良好($H' > 3$),物种资源远较日照海域丰富,且个体较大的软体动物较多,群落结构的不同影响了生物量的数值。分季节看,本研究 and 邻近海域平均生物量均呈现秋季大于春季的特征,两者的季节变化规律相同。时空尺度上,海域水动力

状况与底质类型均会影响大型底栖动物的分布,日照近岸与连云港海域同位于海西湾,两者物种数相近,主要贡献类群均为多毛类,但本研究海域丰度明显小于连云港海域。吴海燕等^[30]在对福建省主要海湾的研究中提出水动力强的海域沉积物环境不稳定,表层淤泥容易搅动悬浮,不利于生活史长的附着型大型底栖动物生长。此外,沉积物粒径大小也对大型底栖动物丰度产生影响,日照近海海域水动力和沉积动力均强于连云港,且沉积物颗粒较大,生物资源不如连云港丰富,大型底栖动物丰度值偏低。

表 6 本研究结果与邻近海域的对比
Tab. 6 Comparison with adjacent waters

调查海域 Survey area	调查时间 Survey time	种数 Species	优势种 Dominant species	平均丰度 Average abundance/ (ind./m ²)	平均生物量 Average biomass/ (g/m ²)	H'	参考文献 Reference
青岛近海 Coastal waters, Qingdao	2007 年 4 月	89	日本美人虾、日本倍棘蛇尾、细螯虾	119	18.11	2.750	[21]
	2007 年 10 月	160	巴氏钩毛虫、长须沙蚕、日本美人虾	432	22.30	2.380	[22-23]
连云港近岸 Coastal waters, Lianyungang	2005 年秋	80	光滑河篮蛤、圆筒原盒螺、寡节甘吻沙蚕	745	29.64	2.967	[24]
连云港港口海域 Port Area, Lianyungang	2005 年 10 月	49	光滑河篮蛤、足刺拟单指虫、圆筒原盒螺	585	38.99	3.033	[25]
日照市近海 Coastal waters, Rizhao	2018 年 10 月	58	寡鳃齿吻沙蚕、中蚓虫一种、海稚虫科未定种	216	7.24	2.899	本文
	2019 年 4 月	41	轮双眼钩虾、寡鳃齿吻沙蚕、中蚓虫一种	173	1.35	2.792	本文

参考文献:

- [1] 国家海洋局北海分局. 日照港海域海洋水文气象资料汇编[R]. 青岛: 国家海洋局北海分局, 1997.
North Sea Branch of the State Oceanic Administration. Compilation of hydrometeorological data of Rizhao Port sea area [R]. Qingdao: Branch of the State Oceanic Administration, 1997.
- [2] 王琦, 吕亚男, 张建华. 山东省日照县近岸沉积物的物质来源及扩散方向[J]. 山东海洋学院学报, 1978(2): 41-50.
WANG Q, LYU Y N, ZHANG J H. The material source and diffusion direction of coastal sediments in Rizhao County, Shandong Province [J]. Journal of Shandong Ocean University, 1978(2): 41-50.
- [3] 宋红瑛, 刘金庆, 印萍, 等. 日照近海表层沉积物粒度特征与沉积环境[J]. 中国海洋大学学报, 2016, 46(3): 96-104.
SONG H Y, LIU J Q, YIN P, et al. Grain size characteristics of the surface sediment and sedimentary environment in Rizhao offshore [J]. Periodical of Ocean University of China, 2016, 46(3): 96-104.
- [4] 高翔, 徐敬明. 日照沿海开发对潮间带生境及底栖动物群落的影响[J]. 海洋科学集刊, 2002(44): 61-65.
GAO X, XU J M. Impact of Rizhao coastal area exploitation on inter-tidal habitats and zoo-benthic communities [J]. Studia Marina Sinica, 2002(44): 61-65.
- [5] 李新正. 我国海洋大型底栖生物多样性研究及展望: 以黄海为例[J]. 生物多样性, 2011, 19(6): 676-684.
LI X Z. An overview of studies on marine macrobenthic biodiversity from Chinese waters: principally from the Yellow Sea [J]. Biodiversity Science, 2011, 19(6): 676-684.
- [6] 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.
QI L L, WANG Q X, GUAN S G, et al. Community structure of macrobenthos in coastal waters of Rizhao [J]. Progress in Fishery Sciences, 2013, 34(1): 97-102.
- [7] 辛荣, 孟娜. 日照市养殖海域秋季底栖动物的群落特征分析[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(5): 1393-1394.
XIN R, MENG N. Community features of macrobenthos in

- autumn in Rizhao sea area of Shandong province[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42(5): 1393-1394.
- [8] 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[S]. 北京:中国标准出版社, 2007.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. Specifications for oceanographic survey[S]. Beijing: China Standard Press, 2007.
- [9] PINKAS L, OLIPHANT M S, IVERSON I L K. Food habits of albacore, Bluefin tuna, and bonito in California waters [J]. *Fish Bulletin*, 1971, 152: 1-105.
- [10] 张华伟, 彭欣, 刘俊峰, 等. 南麂列岛冬夏季潮间带大型底栖生物群落结构[J]. *上海海洋大学学报*, 2018, 27(1): 133-140.
- ZHANG H W, PENG X, LIU J F, et al. Community structure of macrobenthos in the intertidal zones of Nanji Islands in winter and summer[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2018, 27(1): 133-140.
- [11] CLARKE K R, WARWICK R M. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation[M]. 2nd ed. Plymouth: PRIMER-E Ltd., 2001.
- [12] 董鹏, 张海波, 叶仙森, 等. 象山港中部海域大型底栖动物群落组成及多样性特征[J]. *上海海洋大学学报*, 2015, 24(3): 430-440.
- DONG P, ZHANG H B, YE X S, et al. Community structure and biodiversity characteristics of macrobenthos in the middle of Xiangshan Bay[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2015, 24(3): 430-440.
- [13] 杨梅, 李新正, 徐勇, 等. 胶州湾潮下带大型底栖动物群落的季节变化[J]. *生物多样性*, 2016, 24(7): 820-830.
- YANG M, LI X Z, XU Y, et al. Seasonal variations in macrobenthic communities in the subtidal zones of Jiaozhou Bay[J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(7): 820-830.
- [14] 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.
- Ji Y L, Wang J W, Zhang L, et al. Community structure and seasonal changes of macrobenthos in the adjacent waters of Lanshan Harbour[J]. *Ecological Science*, 2020, 39(5): 151-160.
- [15] 沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2002.
- SHEN G Y, SHI B Z. *Marine ecology* [M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2002.
- [16] 邓玉娟, 董树刚, 刘晓收. 福建兴化湾大型底栖动物种类组成和生物多样性[J]. *海洋科学*, 2016, 40(1): 54-63.
- DENG Y J, DONG S G, LIU X S. Species composition and biodiversity of macrofauna in Xinghua Bay, Fujian [J]. *Marine Sciences*, 2016, 40(1): 54-63.
- [17] 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 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 Science)*, 2002, 41(5): 641-646.
- [18] 罗民波, 陆健健, 沈新强, 等. 大型海洋工程对洋山岛周围海域大型底栖动物生态分布的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(1): 97-102.
- LUO M B, LU J J, SHEN X Q, et al. Impact of huge ocean engineering on distribution characteristics of macrobenthos in waters around Yangshan Islands in Hangzhou Bay [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(1): 97-102.
- [19] WARWICK R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities [J]. *Marine Biology*, 1986, 92(4): 557-562.
- [20] 王航俊, 邹清, 刘亚林, 等. 乐清湾大型底栖动物种类和数量组成特征及变化[J]. *海洋科学*, 2018, 42(6): 78-87.
- WANG H J, ZOU Q, LIU Y L, et al. The characteristics and changes of the species and quantity of macrobenthos in Yueqing Bay[J]. *Marine Sciences*, 2018, 42(6): 78-87.
- [21] 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.
- 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.
- [22] 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.
- WANG Z X, FAN S L, XU Q Z, et al. Characters of macrobenthic community in autumn in the coastal water of Qingdao [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2010(1): 59-64.
- [23] 王宗兴, 范士亮, 韦钦胜, 等. 青岛近海大型底栖动物生物多样性现状[J]. *海洋通报*, 2010, 29(1): 1-5.
- WANG Z X, FAN S L, WEI Q S, et al. Study on species diversity of macrobenthic fauna in the coastal waters of Qingdao[J]. *Marine Science Bulletin*, 2010, 29(1): 1-5.
- [24] 陈斌林, 方涛, 李道季. 连云港近岸海域底栖动物群落组成及多样性特征[J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2007(2): 1-10.
- CHEN B L, FANG T, LI D J. Community structure and biodiversity characteristics of macrobenthos in the costal area of Lianyungang[J]. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2007(2): 1-10.
- [25] 贺心然, 陈斌林, 王淑军. 连云港港口海域秋冬季底栖动物群落组成及多样性研究[J]. *淮海工学院学报(自然科学版)*, 2009, 18(3): 78-81.
- HE X R, CHEN B L, WANG S J. Community structure and

- biodiversity of macrobenthos in the autumn of Lianyungang Port area [J]. Journal of Huaihai Institute of Technology (Natural Science Edition), 2009, 18(3): 78-81.
- [26] 彭俊, 陈沈良. 连云港近岸海域沉积物特征与沉积环境分析[J]. 海洋科学进展, 2010, 28(4): 445-454.
PENG J, CHEN S L. Analysis on sedimentary characteristics and environments in nearshore of Lianyungang[J]. Advances in Marine Science, 2010, 28(4): 445-454.
- [27] 张存勇, 冯秀丽. 连云港近岸海域沉积物粒度空间分布特征及其分析[J]. 海洋学报, 2009, 31(4): 120-127.
ZHANG C Y, FENG X L. The spatial distribution and analysis about the grain-size of sediments in the Lianyungang nearshore sea area[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2009, 31(4): 120-127.
- [28] 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, 46.
- LENG Y, LIU Y T, ZHAO S, et al. Analysis on the characteristics of macrobenthos community during autumn in the Yangma Island[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2013, 25(3): 17-20, 46.
- [29] 陈正新, 董贺平, 赵德志, 等. 青岛前海沉积物运移特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(5): 45-53.
CHEN Z X, DONG H P, ZHAO D Z, et al. Movements of sediments in the Qingdao city coast[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2006, 26(5): 45-53.
- [30] 吴海燕, 傅世锋, 蔡晓琼, 等. 福建省主要海湾潮下带大型底栖无脊椎动物组成与分布特征[J]. 应用生态学报, 2019, 30(12): 4240-4248.
WU H Y, FU S F, CAI X Q, et al. Composition and distribution characteristics of macroinvertebrates in subtidal zone of the main marine bays in Fujian Province, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(12): 4240-4248.

Community structure and biodiversity of macrobenthos in the coastal waters of Rizhao

JI Yinglu^{1,2}, WANG Jinwen^{1,2}, ZHANG Naixing^{1,2}, SUN Bin^{1,2}, SU Kai^{1,2}, WANG Zhi³

(1. North China Sea Marine Forecasting Center of State Oceanic Administration, Qingdao 266061, Shandong, China; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Ecology and Environment & Disaster Prevention and Mitigation, Qingdao 266061, Shandong, China; 3. State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361102, Fujian, China)

Abstract: Spatial-temporal distribution of macrobenthic community was studied in the coastal waters of Rizhao in July, October, December 2018 and April 2019. A total of 119 macrobenthic species were identified during the surveys, including 62 species of polychaetes, 36 species of crustaceans, 12 species of molluscs, 4 species of echinoderms and 5 species of other groups. According to the Index of Relative Importance, the community was dominated by *Micronephthys oligobranchia*, *Sternaspis scutata*, *Mediomastus* sp., *Cylichna biplicata*, and *Spionidae* und. . Abundance and biomass varied seasonally with the mean abundance of 191 ind./m² and mean biomass of 6.71 g/m². Values of average Shannon-Wiener species diversity index (H'), Pielou's evenness index (J), and Margalef's richness index (d) were 2.912, 0.934 and 2.139, respectively. The CLUSTER results based on Bray-Curtis similarity indicated that the similarity among macrobenthic community groups was low and the distribution pattern of macrobenthic community showed seasonal characteristics. According to the Abundance-Biomass comparison curve (ABC), community from one season (April, 2019) was slightly disturbed. With the rapid development of coastal zones and the continuous impacts of human activities, the dominant species of macrobenthic community changed obviously, showing a decreasing trend of abundance, biomass and H' , and the contamination tolerant species *Paraprionospio pinnata* had gradually became the dominant species.

Key words: Rizhao; macrobenthos; community structure; biodiversity