

衣帆, 王娇, 刘航, 等. 烟台长岛秋季海洋牧场内外大型底栖动物群落特征分析[J]. 海洋学报, 2024, 46(5): 57–67, doi:10.12284/hyxb2024056

Yi Fan, Wang Jiao, Liu Hang, et al. Analysis on the characteristics of macrobenthic animal communities inside and outside the autumn marine ranch on Yantai Changdao Island[J]. Haiyang Xuebao, 2024, 46(5): 57–67, doi:10.12284/hyxb2024056

烟台长岛秋季海洋牧场内外大型底栖动物群落特征分析

衣帆^{1,2}, 王娇², 刘航^{1,2}, 陈静², 陈琳琳², 李晓静³, 李学鹏^{1*}, 李宝泉^{2*}

(1. 烟台大学 海洋学院, 山东 烟台 264003; 2. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003; 3. 烟台职业学院, 山东 烟台 264670)

摘要: 为明确烟台长岛海洋牧场大型底栖动物群落组成及其分布特征, 评估海洋牧场对大型底栖动物的影响, 2022 年 10 月在该海域牧场内外设置采样站位, 开展大型底栖动物调查, 并进行大型底栖动物群落特征分析。本航次共采集和鉴定了 88 种大型底栖动物, 牧场内和对照区物种数量相近, 但优势类群不同。在牧场内共鉴定出了 70 种, 以软体动物为优势类群, 对照区有 69 种, 以环节动物为优势类群。共发现 8 种优势种, 其中牧场内 3 种软体动物, 对照区有 6 种, 包括软体动物 2 种、棘皮动物 1 种和环节动物 3 种。大型底栖动物的平均丰度和生物量牧场内均显著高于对照区, 但 Margalef 物种丰富度指数 (d)、Pielou 均匀度指数 (J') 和 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 在牧场内外相差较小。聚类分析 (CLUSTER) 和非度量多维标度排序分析 (NMDS) 结果表明, 海洋牧场内外各站位相似性程度较低。AMBI 和 m-AMBI 分析显示, 研究海域总体受污染扰动较小, 表明底栖生态健康较好。结合历史资料发现, 调查区域大型底栖动物群落物种丰度和生物量均有较大增加, 表明海洋牧场的发展对大型底栖动物群落的生长发育有一定程度的影响。

关键词: 烟台长岛; 海洋牧场; 大型底栖动物; 群落特征

中图分类号: Q145

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2024)05-0057-11

1 引言

海洋牧场是应用海洋生态学原理和现代海洋工程技术, 在特定海域充分利用自然生态系统的生产力, 科学地培育和管理渔业资源的人工渔场^[1]。这种模式代表了一种融合环境保护、资源养护、高效生产和休闲渔业的综合海洋产业新模式, 对于我国近海生态环境的保护和海洋渔业的可持续发展至关重要, 具

有重要战略意义^[1-2]。作为一种修复海洋渔业资源, 改善海域生态环境, 优化渔业产业结构, 以实现渔业资源可持续发展的渔业生产模式, 海洋牧场对改善区域性海洋生物资源具有非常重要的作用^[2]。1965 年, 曾呈奎先生首次提出建设海洋牧场的理念, 这是一种在海洋中人工控制种植或养殖海洋生物的方法。日本于 1978 年启动了世界上第一个海洋牧场项目, 即“黑潮牧场”^[3-4]。韩国于 1971 年开始在沿海投放人工

收稿日期: 2023-11-20; 修订日期: 2024-01-10。

基金项目: 烟台市海洋牧场本底调查及海洋牧场效果评价项目 (SDGP370600000202202000671A001); 长岛海域海洋牧场和增殖放流效果评价及生态渔业适宜性分析 (民生公益类) 项目 (2022MSGY064); 山东省自然科学基金项目 (ZR2021QD158)。

作者简介: 衣帆 (1998—), 女, 山东省烟台市人, 从事海洋牧场及底栖生物生理生态研究。E-mail: yifan_april@163.com

* **通信作者:** 李学鹏 (1988—), 男, 副教授, 主要从事水产动物疾病与免疫防控研究。E-mail: Lixuepeng20@ytu.edu.cn; 李宝泉 (1972—), 男, 研究员, 主要从事海洋生物学研究。E-mail: bqli@yic.ac.cn

鱼礁,并于1988年正式启动了海洋牧场计划,此后,海洋牧场在世界范围内得以快速推广,极大地促进了海洋渔业的可持续发展和海洋环境的保护^[4-5]。进入21世纪以后,我国海洋牧场理念得到进一步完善,更注重区域内海洋生态系统的健康,逐渐形成了“现代化海洋牧场”的理念^[6-7]。

海洋牧场的主要养护对象为经济鱼类和贝类等,国内专家学者对海洋牧场的生态效益进行研究,研究表明海洋牧场建设能够养护渔业资源^[8]、保护海洋生态环境^[9],并且能够改变大型底栖动物的组成和群落结构^[10-12],有助于海洋生物资源的可持续利用。由于大型底栖动物生活周期长、种类丰富、固着生活且迁移能力较低,对环境变化逃避能力弱,对水环境变化灵敏度高^[13-15],许多学者通过研究大型底栖动物结构变化特征来阐明海域生态环境变化^[16-17],因此是评价海洋牧场建设对渔业资源修复效果的优选方法。

长岛列岛位于渤海和黄海交汇处,由32个岛屿组成,陆地面积为56 km²,海岸线长146 km,周围海域面积达8 700 km²^[18]。该海域海洋环境优越,初级生产力较高,拥有丰富的生物资源,是多种经济海洋动物的产卵场、索饵场^[18]。该海域水深、流急等水动力条件和丰富的生物资源为海洋牧场建设提供了理想条件,尤其适宜装备型海洋牧场建设^[19]。同时,地方政府政策支持和已有的技术基础进一步增强了建设海洋牧场的可行性^[20]。截至2018年,长岛累计共有海洋牧场84处,总面积164 km²,拥有3处国家级海洋牧场,6处省级以上海洋牧场^[18]。由于海洋牧场投放海域地理位置及投放目标等不同,导致其对不同生物群落结构影响有所不同,不同海域生物群落的变化趋势各有特点^[21]。近十年来,长岛海域海洋牧场陆续建设并且不断发展,海洋牧场对长岛的海域环境、生物群落等的影响评价也受到人们的重视^[18]。大型底栖动物群落作为评价其生态效益的重要指标,未见长岛海洋牧场对其群落结构影响的相关报道。

本研究利用2022年秋季在烟台长岛海域进行的大型底栖动物调查数据,分析了该区域秋季大型底栖动物群落组成和分布特征,探究海洋牧场内外的物种组成及群落结构差异,以评估海洋牧场建设对大型底栖动物群落的影响,为海洋牧场的发展及其生态效益评价提供了重要的基础资料。

2 材料与方法

2.1 数据来源

数据来源于2022年10月在烟台长岛海域进行的

大型底栖动物采样调查。依据《海洋牧场本底调查技术规范》(T/SCSF 0013-2021)^[22],结合烟台长岛海域海洋牧场现有布局,对研究区域进行了采样站位布设,布设原则是兼顾牧场内、牧场近边缘处及稍远处(对照区),共设置25个采样站位。其中包括14个牧场内采样点(M1-M14)和11个对照区采样点(C1-C11)(图1)。每个站位采用0.05 m²箱式采泥器定量采泥,每个站位采样3次,使用0.5 mm孔径的网筛分选,用75%的乙醇现场固定,样品带回实验室进行处理鉴定。

2.2 样品处理

在实验室内对酒精固定的样品进行种类鉴定、个体计数和称重(湿重,0.001 g精度电子秤)。肢体残缺的样品按头部计数,软体动物和甲壳动物的死壳不计数、不称重,双壳纲动物不去贝壳称重,寄居蟹去螺壳称重。样品的处理、保存和称量均按照《海洋调查规范 第6部分:海洋生物调查》(GB/T 12763.6-2007)^[23]进行。

2.3 数据分析

2.3.1 物种优势度

根据Pinkas相对重要性指数确定调查季度大型底栖动物物种优势度。优势度计算公式如下^[24]:

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

式中, n_i 为调查季度第*i*种大型底栖动物的丰度; N 为调查季度大型底栖动物总丰度; f_i 为在调查季度中该物种的站位出现频率。当 $Y \geq 0.02$ 时,该物种为优势种^[24]。

2.3.2 群落多样性分析

采用Margalef物种丰富度指数(d)^[25]、Pielou均匀度指数(J')^[26]和Shannon-Wiener多样性指数(H')^[27]来描述长岛海洋牧场大型底栖动物群落生物多样性特征。计算公式如下:

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

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

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

式中, S 表示样品中的种数; N 表示样品中的个体总数; P_i 为第*i*种的个体数与总个体数*N*的比例。

2.3.3 群落结构分析

计算物种相似性时,为了消除不同物种个数差异较大的影响,数据需经平方根转换后计算Bray-Curtis相似性系数^[28],并采用聚类分析(CLUSTER)和非度量多维标度排序分析(NMDS)探究群落结构的异质性。通过相似性百分比(SIMPER)方法计算分析不同物种

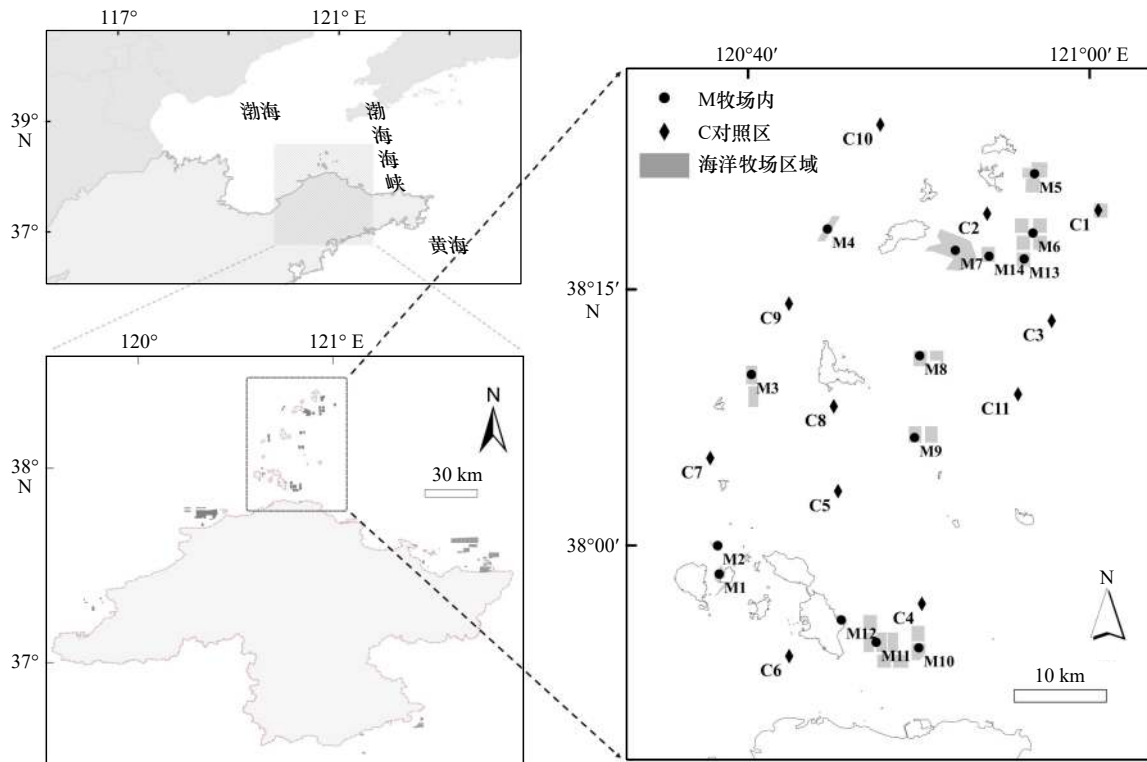


图1 烟台长岛海洋牧场大型底栖动物调查站位

Fig. 1 Macrobenthos sampling stations at the Changdao marine ranch of Yantai

对组内相似性以及组间差异性的平均贡献率,使用生物统计软件 PRIMER 7.0 进行群落结构的分析^[29]。

2.3.4 AMBI 和 m-AMBI 分析

底栖生物指数是将生态系统中的各种元素综合成单一数值的方法,以全面展示生态系统的生物完整性状况,描述各种生态信息与综合压力对环境的影响,评估生态环境质量的现状^[29]。使用 azti's marinebenthic index (AMBI) 和 multivariate-AMBI (m-AMBI) 方法分析大型底栖动物群落受干扰状况^[30]。AMBI 和 m-AMBI 值均用 AMBI v5.0 软件进行计算,去除非大型底栖无脊椎动物和个体数低于 3 个的种类,其余物种的生态分组按照 AZTI 中心网站 (<http://www.azti.es>) 公布的最新种类名录数据进行,对于未包含的物种均归为“未分组类 (not assigned)”。在各生态分组中,EG I 表示干扰敏感种 (disturbance-sensitive species), EG II 表示干扰不敏感种 (disturbance-indifferent species), EG III 表示干扰耐受种 (disturbance-tolerant species), EG IV 表示二阶机会种 (the second-order opportunistic species), EG V 表示一阶机会种 (the first-order opportunistic species)。

2.3.5 显著性差异分析

大型底栖动物丰度和生物量及生物多样性的区域性差异和群落结构的区域性差异比较均采用

单因素方差分析 (One-way ANOVA) 进行。统计分析中显著性水平 $p < 0.01$ 时,认为差异极显著; $p < 0.05$ 时,认为差异显著; $p > 0.05$ 时,认为无显著差异。

3 结果

3.1 物种组成

调查共捕获大型底栖动物 88 种,牧场内物种数 (70 种) 与对照区 (69 种) 相差不多,共有种 51 种。牧场内软体动物种类最多,为 27 种,占总种数的 38.57%; 其次是环节动物 26 种,占总种数的 37.14%; 甲壳动物 8 种,占总种数的 11.43%; 棘皮动物相对较少,仅 6 种,占总种数的 8.57%。对照区环节动物 31 种,占总种数的 44.93%; 软体动物 18 种,占总种数的 26.09%; 甲壳动物 12 种,占总种数的 17.39%; 棘皮动物在该区域种类数仍较少,仅 5 种,占总种数的 7.25% (图 2)。

牧场内软体动物为优势类群,其次是环节动物。对照区环节动物多毛类为优势类群,其次是软体动物,且对照区优势类群环节动物物种数高于牧场内,但软体动物物种数较牧场内有所减少。

3.2 优势种

软体动物和环节动物在秋季大型底栖动物调查种占有优势,分别包含 4 种和 3 种优势物种。海洋牧场内外优势物种组成差异明显 (表 1), 牧场内优势

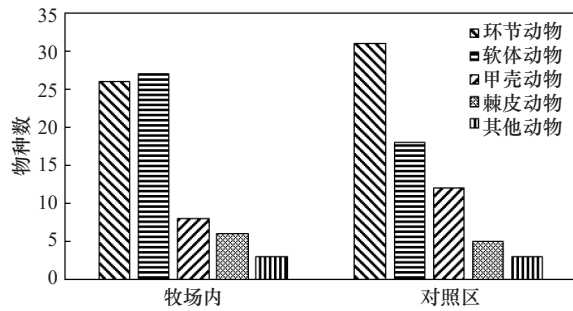


图2 大型底栖动物群落物种组成与分布

Fig. 2 Species composition and distribution of macrobenthic community

表1 研究区域大型底栖动物群落优势种

Table 1 The dominant species of macrobenthos community in the study area

门	种	拉丁学名	优势度	
			牧场内	对照区
软体动物	江户明樱蛤	<i>Moerella jedoensis</i>	0.022	
	宫田神角蛤	<i>Semelangulus miyatensis</i>		0.029
	菲律宾蛤仔	<i>Ruditapes philippinarum</i>	0.038	
	胶州湾顶管角贝	<i>Episiphon kiaochoowanense</i>	0.020	0.037
棘皮动物	日本倍棘蛇尾	<i>Amphioplus japonicus</i>	0.049	
环节动物	寡节甘吻沙蚕	<i>Glycinde gurjanovae</i>	0.039	
	长吻沙蚕	<i>Glycera chirori</i>	0.025	
	不倒翁虫	<i>Sternaspis scutata</i>	0.020	

种 3 种, 均为软体动物, 菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*) 优势度最大, 为 0.038, 胶州湾顶管角贝 (*Episiphon kiaochoowanense*) 优势度最小, 为 0.020; 对照区优势种 6 种, 不仅有软体动物, 还包括棘皮动物和环节动物, 其中环节动物占比最大 50.00%, 日本倍棘蛇尾 (*Amphioplus japonicus*) 优势度最大, 为 0.049, 不倒翁虫 (*Sternaspis scutata*) 优势度最小, 为 0.020。牧场内外共有优势种 1 种, 为胶州湾顶管角贝。

3.3 丰度和生物量

海洋牧场内不同类型大型底栖动物丰度相差较大, 平均丰度为 (403 ± 54.25) ind./m²。其中软体动物最高, 丰度为 (294 ± 56.14) ind./m², 占总平均丰度的 72.95%; 其次是环节动物, 丰度为 (68 ± 3.88) ind./m², 占总平均丰度的 16.87%, 棘皮动物丰度最低, 为 (16 ± 1.55) ind./m² (3.97%)。对照区大型底栖动物平均丰度为 (179 ± 6.35) ind./m²。其中环节动物丰度最高, 为 (78 ± 4.35) ind./m², 占总平均丰度的 43.58%; 软体动物丰度为 (50 ± 2.61) ind./m² (27.93%); 甲壳动物和棘

皮动物丰度相近, 分别为 (27 ± 2.09) ind./m²、 (22 ± 3.14) ind./m², 分别占比 15.08%、12.29%。整体海域总体平均丰度为 (291 ± 22.89) ind./m², 牧场内软体动物平均丰度显著高于整体海域 ($p < 0.05$) (表 2)。

表2 大型底栖动物主要类群丰度 (ind./m²) 和生物量 (g/m²) 的区域变化Table 2 The regional abundance (ind./m²) and biomass (g/m²) of benthic macrofauna main groups

类群	指标	牧场内	对照区	整体海域
环节动物	丰度	68 ± 3.88	78 ± 4.35	73 ± 2.03
	生物量	0.92 ± 1.95	0.80 ± 1.84	0.86 ± 1.86
软体动物	丰度	294 ± 56.14	50 ± 2.61	172 ± 23.67
	生物量	57.55 ± 204.48	2.63 ± 6.08	30.09 ± 153.09
甲壳动物	丰度	23 ± 1.90	27 ± 2.09	25 ± 0.99
	生物量	0.73 ± 1.89	0.61 ± 0.77	0.67 ± 1.48
棘皮动物	丰度	16 ± 1.55	22 ± 3.14	19 ± 1.10
	生物量	3.65 ± 12.77	2.55 ± 2.94	3.10 ± 9.60
其他类群	丰度	2 ± 0.30	2 ± 0.31	2 ± 0.15
	生物量	0.26 ± 0.82	0.83 ± 2.74	0.55 ± 1.89
总计	丰度	403 ± 54.25	179 ± 6.35	291 ± 22.89
	生物量	63.11 ± 203.38	7.42 ± 7.72	35.27 ± 152.39

秋季海洋牧场内大型底栖动物平均生物量为 (63.11 ± 203.38) g/m²。其中软体动物最高, 为 (57.55 ± 204.48) g/m², 占总平均生物量的 91.20%; 其次是棘皮动物, 生物量为 (3.65 ± 12.77) g/m² (5.78%); 甲壳动物生物量仅为 (0.73 ± 1.89) g/m² (1.16%)。对照区大型底栖动物平均生物量为 (7.42 ± 7.72) g/m²。其中软体动物最高, 为 (2.63 ± 6.08) g/m², 占总平均生物量的 35.44%; 其次是棘皮动物, 生物量为 (2.55 ± 2.94) g/m² (34.37%); 环节动物和甲壳动物生物量分别为 (0.80 ± 1.84) g/m²、 (0.61 ± 0.77) g/m², 占比分别为 10.78%、8.22%。整体海域总体平均生物量为 (35.27 ± 152.39) g/m², 与丰度结果一致, 牧场内软体动物平均生物量显著高于整体海域 ($p < 0.05$) (表 2)。

本次调查中, 大型底栖动物物种丰度总体表现为牧场内优于对照区。牧场内外各主要类群对平均丰度的贡献不同, 牧场内软体动物占比最高, 对照区则是环节动物占比最高。此外, 生物量变化趋势与丰度一致, 总体表现为牧场内优于对照区。牧场内外均为软体动物占比最高, 但牧场内生物量明显高于牧场内 ($p < 0.05$)。

3.4 生物多样性指数

物种丰富度指数 d 总体表现为对照区大于牧场内,但相差较小,对照区 d 为 2.96 ± 1.04 ,牧场内 d 为 2.93 ± 0.78 。物种均匀度指数 J' 总体表现为对照区和牧场内一致,对照区 J' 为 0.90 ± 0.08 ,牧场内 J' 为 0.90 ± 0.05 。大型底栖动物 Shannon-Wiener 多样性指数 H' 总体表现为牧场内高于对照区,但相差依然较小,牧场内 H' 为 3.59 ± 0.50 ,对照区 H' 为 3.55 ± 0.72 (图 3)。调查海域大型底栖动物多样性指数 d 、 J' 、 H' 区域间差异均不显著 ($p > 0.05$)。

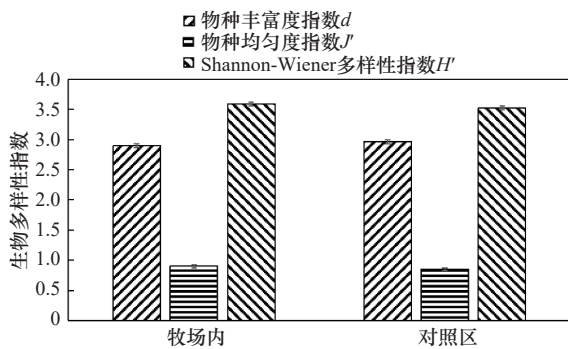


图 3 研究区大型底栖动物群落多样性指数

Fig. 3 The diversity index of macrobenthos in the study area

3.5 群落结构分析

该部分将海洋牧场内和对照区的数据整合在一起,

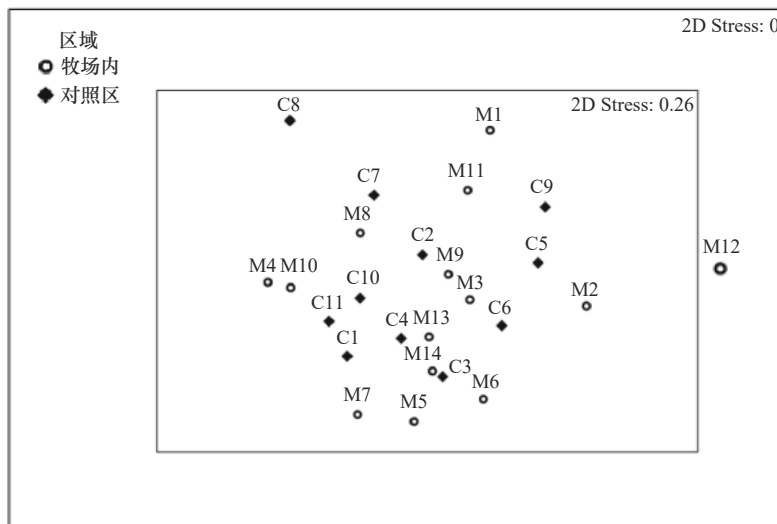


图 5 烟台长岛海洋牧场大型底栖动物群落的 NMDS 标序结果

Fig. 5 NMDS plots of macrobenthos at Changdao marine ranch of Yantai

对牧场内和对照区进行 SIMPER 分析,结果表明牧场内组内相似性为 23.99%,对照区组内相似性为 25.99%。牧场内外均为胶州湾顶管角贝和寡节甘吻沙蚕的物种贡献率最高。牧场内主要表征种为胶州湾顶管角贝、寡节甘吻沙蚕、江户明樱蛤 (*Moerella jedoensis*) 和宫田神角蛤 (*Semelangulus miyatensis*), 两者贡献率共为 44.07% (表 3)。对照区主要表征种为

利用聚类分析 (CLUSTER) 和非参数性多维标度排序 (NMDS) 分析探究该海域大型底栖动物群落结构特征。研究表明, CLUSTER 聚类显示秋季可划分为 2 个站组, 两组的平均相似性为 20.54%, CLUSTER 聚类显示, 各站位相似性较低。相似性程度超过 50.00% 的只有 I 组 2 站, 为 M13 和 M14。非参数性多维标度排序与 CLUSTER 聚类结果一致, 除 M12 号站位与其他站位完全分开, 牧场内外其他站位未形成明显的群落划分 (图 4, 图 5)。群落 I 主要为菲律宾蛤仔群落, 为 M12 号站位; 其他站位属于群落 II, 为胶州湾顶管角贝—寡节甘吻沙蚕群落 (表 3 至表 5)。

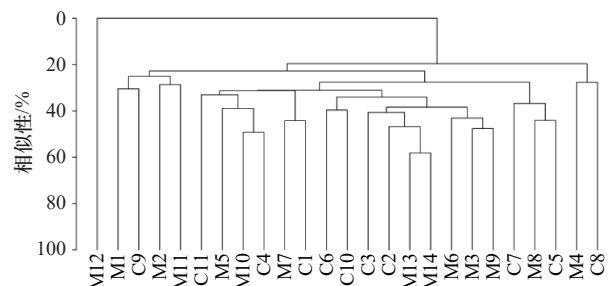


图 4 烟台长岛海洋牧场大型底栖动物群落的

CLUSTER 聚类分析

Fig. 4 CLUSTER analysis plots of macrobenthos at Changdao marine ranch of Yantai

胶州湾顶管角贝、寡节甘吻沙蚕、不倒翁虫和宫田神角蛤, 两者贡献率共为 40.92% (表 4)。牧场内外的组间差异性为 73.93%, 差异性最高的物种为菲律宾蛤仔 (表 5)。

3.6 AMBI 和 m-AMBI 分析

秋季长岛海洋牧场全部站位的 AMBI 评价结果在可接受范围内具有可信度。牧场内 9 个站位 AMBI

表 3 牧场内大型底栖动物组内相似性分析

Table 3 Analysis of intra group similarity of macrobenthos in marine ranch

物种	拉丁学名	平均丰度	平均相似性/%	贡献率/%
胶州湾顶管角贝	<i>Episiphon kiaochoowanense</i>	2.76	2.86	11.94
寡节甘吻沙蚕	<i>Glycinde gurjanovae</i>	2.36	2.86	11.92
江户明樱蛤	<i>Moerella jedoensis</i>	2.85	2.45	10.21
宫田神角蛤	<i>Semelangulus miyatensis</i>	2.73	2.40	10.00
长吻沙蚕	<i>Glycera chirori</i>	1.78	1.47	6.15
东方缝栖蛤	<i>Hiatella orientalia</i>	1.88	1.07	4.45
日本倍棘蛇尾	<i>Amphioplus japonicus</i>	1.91	1.00	4.17
耳口露齿螺	<i>Ringicula doliaris</i>	1.21	0.86	3.61
博氏双眼钩虾	<i>Ampelisca bocki</i>	1.78	0.86	3.57
不倒翁虫	<i>Sternaspis scutata</i>	1.79	0.85	3.53
中蚓虫	<i>Mediomastus sp.</i>	1.60	0.70	2.93

表 4 对照区大型底栖动物组内相似性分析

Table 4 Analysis of intra group similarity of macrobenthos in control area

物种	拉丁学名	平均丰度	平均相似性/%	贡献率/%
胶州湾顶管角贝	<i>Episiphon kiaochoowanense</i>	2.43	3.02	11.63
寡节甘吻沙蚕	<i>Glycinde gurjanovae</i>	2.56	2.94	11.33
不倒翁虫	<i>Sternaspis scutata</i>	2.11	2.67	10.26
宫田神角蛤	<i>Semelangulus miyatensis</i>	2.21	2.00	7.70
日本倍棘蛇尾	<i>Amphioplus japonicus</i>	2.76	1.83	7.03
耳口露齿螺	<i>Ringicula doliaris</i>	1.71	1.70	6.54
长吻沙蚕	<i>Glycera chirori</i>	2.06	1.53	5.87
日本游泳水虱	<i>Natatolana japonensis</i>	1.30	1.28	4.92
博氏双眼钩虾	<i>Ampelisca bocki</i>	1.68	0.90	3.46
江户明樱蛤	<i>Moerella jedoensis</i>	1.19	0.54	2.07

指数小于 1.20, 未受干扰 64.29%, 5 个站位 AMBI 指数在 1.20~3.30 之间, 受到轻微干扰 35.71%。对照区 5 个站位 AMBI 指数小于 1.20, 未受干扰 45.45%, 6 个站位 AMBI 指数在 1.20~3.30 之间, 受到轻微干扰 54.55%(表 6)。

m-AMBI 的评价结果, 即健康状态显示, 牧场内 7 个站位处于“高”状态 (50.00%), 6 个站位处于“良好”状态 (42.86%), 1 个站位处于“差”状态 (7.14%)。对照区 6 个站位健康状态处于“高”状态 (54.55%), 4 个站位处于“良好”状态 (36.36%), 1 个站位处于“中

表 5 牧场内外大型底栖动物组间差异性分析

Table 5 Analysis of inter group dissimilarity of macrobenthos inside and outside marine ranch

物种	拉丁学名	平均丰度		平均差异性/%	贡献率/%
		牧场内	对照区		
菲律宾蛤仔	<i>Ruditapes philippinarum</i>	3.93	0.10	3.85	5.20
日本倍棘蛇尾	<i>Amphioplus japonicus</i>	1.91	2.76	3.42	4.63
宫田神角蛤	<i>Semelangulus miyatensis</i>	2.73	2.21	2.70	3.65
江户明樱蛤	<i>Moerella jedoensis</i>	2.85	1.19	2.50	3.38
中蚓虫	<i>Mediomastus sp.</i>	1.60	1.57	2.27	3.07
不倒翁虫	<i>Sternaspis scutata</i>	1.79	2.11	2.15	2.91
胶州湾顶管角贝	<i>Episiphon kiaochoowanense</i>	2.76	2.43	2.13	2.89
博氏双眼钩虾	<i>Ampelisca bocki</i>	1.78	1.68	2.12	2.87
长吻沙蚕	<i>Glycera chirori</i>	1.78	2.06	1.99	2.70
寡节甘吻沙蚕	<i>Glycinde gurjanovae</i>	2.36	2.56	1.90	2.57
东方缝栖蛤	<i>Hiatella orientalia</i>	1.88	0.41	1.77	2.40
日本拟背尾水虱	<i>Paranthurus japonica</i>	1.26	1.32	1.77	2.39
长叶索沙蚕	<i>Lumbrineris longifortia</i>	1.35	1.15	1.76	2.38
耳口露齿螺	<i>Ringicula doliaris</i>	1.21	1.71	1.67	2.26
日本刺沙蚕	<i>Neanthes japonica</i>	0.86	0.81	1.59	2.16

等”状态 (9.09%)(表 6)。

4 讨论

4.1 海洋牧场内外大型底栖动物群落结构特征

本研究沿长岛海域由南到北设置采样点, 基本覆盖长岛所处海域海洋牧场全部范围, 较为全面地对长岛海域海洋牧场大型底栖动物群落进行了调查。调查表明, 牧场内外优势物种类别和占比发生明显变化。牧场内的丰度和生物量均呈现软体动物占比最高的特点, 且牧场内大型底栖动物丰度和生物量总体表现均高于对照区。CLUSTER 聚类 and NMDS 排序分析结果表明各站位相似性相差较大, 海洋牧场内外并未形成明显的分类群, 但近岸站位 M12 号站位与其他站位相差明显。

牧场内软体动物占比最高, 且生物量明显高于对照区, 这是由于近年来长岛进行海洋牧场建设, 生物资源多样性得到一定程度的保护^[31], 牧场内生态效益有所提高。此外, 由于大多数的多毛类生活史较短, 在秋冬季其个体数量下降, 而软体动物等大个体类群在秋季逐渐发育成熟, 表现为生物量明显增多^[32-33]。物种组成和优势种在一定程度上反映长岛海域软体

表 6 研究区域各站点 AMBI 和 m-AMBI 结果
Table 6 Results of AMBI and m-AMBI for each station in the study area

区域	站点	物种数在各生态分组中的百分比/%					未鉴定物种比例/%	AMBI值	扰动程度	m-AMBI值	健康状态
		I	II	III	IV	V					
牧场内	M1	25.0	16.7	50.0	8.3	0.0	0.0	2.125	轻度	0.59	好
	M2	64.0	12.0	16.0	8.0	0.0	0.0	1.020	未扰动	0.74	好
	M3	71.4	25.0	3.6	0.0	0.0	0.0	0.482	未扰动	0.77	好
	M4	14.3	71.4	14.3	0.0	0.0	0.0	1.500	轻度	0.58	好
	M5	58.8	38.2	0.0	2.9	0.0	5.6	0.706	未扰动	0.83	高
	M6	58.1	23.3	18.6	0.0	0.0	0.0	0.907	未扰动	0.81	高
	M7	43.5	42.0	14.5	0.0	0.0	0.0	1.065	未扰动	0.82	高
	M8	31.3	56.3	12.5	0.0	0.0	0.0	1.219	轻度	0.76	好
	M9	57.5	22.5	17.5	2.5	0.0	0.0	0.975	未扰动	0.82	高
	M10	37.5	50.0	12.5	0.0	0.0	0.0	1.125	未扰动	0.73	好
	M11	35.3	44.1	20.6	0.0	0.0	0.0	1.279	轻度	0.80	高
	M12	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	3.000	轻度	0.23	差
	M13	59.6	29.8	10.5	0.0	0.0	0.0	0.763	未扰动	0.94	高
	M14	47.1	28.2	24.7	0.0	0.0	1.2	1.165	未扰动	0.95	高
对照区	C1	13.3	73.3	13.3	0.0	0.0	0.0	1.500	轻度	0.79	高
	C2	61.7	21.3	17.0	0.0	0.0	2.1	0.830	未扰动	0.87	高
	C3	33.3	39.6	27.1	0.0	0.0	0.0	1.406	轻度	0.87	高
	C4	44.8	44.8	10.3	0.0	0.0	0.0	0.983	未扰动	0.77	好
	C5	50.0	27.3	18.2	4.5	0.0	0.0	1.159	未扰动	0.69	好
	C6	32.3	35.5	25.8	6.5	0.0	6.1	1.597	轻度	0.85	高
	C7	57.1	38.1	4.8	0.0	0.0	0.0	0.714	未扰动	0.64	好
	C8	2.5	60.0	32.5	5.0	0.0	0.0	2.100	轻度	0.49	中等
	C9	35.7	42.9	21.4	0.0	0.0	0.0	1.286	轻度	0.69	好
	C10	28.6	32.1	39.3	0.0	0.0	3.4	1.661	轻度	0.88	高
	C11	38.8	46.9	12.2	2.0	0.0	0.0	1.163	未扰动	0.82	高

动物具有突出优势,这与烟台周边海域的调查结果类似^[34-38]。

由于南长山岛东南部近岸区进行经济种的育苗养殖, M12 号站点出现数量丰富的菲律宾蛤仔,使得丰度和生物量较其他站点有明显提升, CLUSTER 聚类分析和 NMDS 排序分析与其他站点有明显区分。除 M12 号站点外,其他站点共同属于胶州湾顶管角贝—寡节甘吻沙蚕群落,牧场内外其他站点未形成明显的群落划分。SIMPER 分析结果表明牧场内外均为胶州湾顶管角贝和寡节甘吻沙蚕的物种贡献率最

高,牧场内外的组内相似性较低,组间差异性较大,群落划分不明显。

4.2 长岛海域牧场建设前后大型底栖动物群落比较

通过与往年的物种组成进行比较,可以在一定程度上了解该海域大型底栖动物群落的趋势。相关报道指出,海洋牧场建设对周围海域的生态环境和生物群落等都会产生一定程度的影响^[18]。与长岛海域历史资料相对比研究表明^[18,31],海洋牧场的兴建与发展对栖息生境及大型底栖动物群落结构与多样性都有显著影响,海洋牧场的建设和发展极大地改变了烟台

长岛海域的大型底栖动物的物种组成和群落结构。

物种组成层面,我们根据该海域以往的调查区域,对本次调查中相应区域的站位物种信息进行筛选,以比较两次调查的物种组成差异。与2012–2013年海洋牧场建设前相比,本次调查小型的环节动物占比明显减少,软体动物和甲壳动物占比增加,群落稳定性增加。此外,优势种组成发生了很大程度的变化,由建设前均为环节动物变为软体动物、环节动物和棘皮动物,由单一种类变为更丰富种类^[18]。这表明海洋牧场建设对长岛海域的大型底栖动物产生了较大的影响,底栖生态有一定程度的改善,群落组成已经发生明显变化。生物量较牧场建设前有大幅度提升,建设前环节动物为生物量优势类群,海洋牧场建设后软体动物为主要优势类群。这可能与海洋牧场建设后人工养殖面积不断扩大和养殖业的迅猛发展有关^[31]。近年来随着海洋牧场的发展,在长岛周边沿岸设有大面积的贝类养殖区,海洋生物资源多样性得到一定程度的保护和恢复^[39],海洋牧场建设促进大型底栖动物群落的生长发育及群落多样性的提高。与海洋牧场建设前相比,物种丰富度指数变化显著,牧场建设使得长岛海域底栖生物的物种丰富度得到了大幅度提升^[40]。这表明海洋牧场的建设改变了周围部分海域的生态环境,开始逐渐影响周围海域的生物群落组成^[41]。

4.3 海洋牧场内外大型底栖动物生态健康状况评价

通过进行 Shannon-Wiener 多样性指数 H' 和 AMBI 和 m-AMBI 分析,长岛整体海域生态健康状况良好,各站位大型底栖动物群落所受到的扰动程度不尽相

同,个别站位受到的扰动较大。牧场内 H' 值略高于对照区。按照多样性指数五级污染评价法^[18,42],本次调查牧场内外 H' 值均大于 3,说明秋季长岛海域整体未受污染,整体海洋环境较好。牧场内 M12 站位和其他站位区分明显,此站位是靠近南长山岛的东部近岸区,其物种组成单一,人类活动干扰频繁,城镇农业及生活污水排海以及渔业、旅游业的发展可能造成此站位海洋环境收到扰动^[43–44]。

海洋牧场的建设改变了大型底栖生物的生态环境,使得大型底栖生物群落出现一定的扰动,但是在建设后扰动消失,群落系统拥有一定的自我调节和恢复能力^[45–47],在人工鱼礁投放、大型藻类移植、鱼苗放流结束后一段时间,牧场内的大型底栖动物会有所增加,并恢复到一个新的稳定状态,从而达到改善底栖生物环境的效果^[47–48]。

5 结论

长岛海洋牧场的建设改变了周围海域大型底栖动物群落的组成和分布特征。海洋牧场建设后,长岛海域大型底栖动物生物量明显提升且牧场内软体动物为主要优势类群,且丰度和生物量较对照区明显增多,有助于提高经济型贝类的产量,从而增加当地经济收入,生态健康状况也表现为牧场内优于对照区。海洋牧场的兴建和发展能够促进大型底栖动物群落的生长发育及群落多样性的提高,有助于改善海洋生态环境问题,对于长岛乃至渤海海域的生态治理具有重要意义。

参考文献:

- [1] 杨红生,霍达,许强. 现代海洋牧场建设之我见 [J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(6): 1069–1074.
Yang Hongsheng, Huo Da, Xu Qiang. Views on modern marine ranching[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(6): 1069–1074.
- [2] 杨红生. 我国海洋牧场建设回顾与展望 [J]. 水产学报, 2016, 40(7): 1133–1140.
Yang Hongsheng. Construction of marine ranching in China: Reviews and prospects[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(7): 1133–1140.
- [3] 刘卓,杨纪明. 日本海洋牧场 (Marine Ranching) 研究现状及其进展 [J]. 现代渔业信息, 1995, 10(5): 14–18.
Liu Zhuo, Yang Jiming. The status and progress of marine ranching research in Japan[J]. Modern Fisheries Information, 1995, 10(5): 14–18.
- [4] 郑永允,宋爱环,吴莹莹,等. 山东省海洋牧场建设浅析 [J]. 海洋开发与管理, 2017, 34(S2): 16–19.
Zheng Yongyun, Song Aihuan, Wu Yingying, et al. Analysis of marine ranching construction in Shandong Province[J]. Ocean Development and Management, 2017, 34(S2): 16–19.
- [5] Kim C G, Suh S H, Cho J K, et al. Optimum structure and deployment of an abalone reef for the marine ranching creation in Jeonnam archipelago of Korea[J]. The Korean Society of Marine Engineering, 2007, 31(8): 1005–1012.
- [6] 杨红生,章守宇,张秀梅,等. 中国现代化海洋牧场建设的战略思考 [J]. 水产学报, 2019, 43(4): 1255–1262.
Yang Hongsheng, Zhang Shouyu, Zhang Xiumei, et al. Strategic thinking on the construction of modern marine ranching in China[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(4): 1255–1262.
- [7] 王绪峨,徐宗法,周学家. 烟台近海底栖动物调查报告 [J]. 生态学杂志, 1995, 14(1): 6–10.
Wang Xu'e, Xu Zongfa, Zhou Xuejia. Benthic animal survey in Yantai Inshores[J]. Chinese Journal of Ecology, 1995, 14(1): 6–10.
- [8] 陈勇,杨军,田涛,等. 獐子岛海洋牧场人工鱼礁区鱼类资源养护效果的初步研究 [J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(2): 183–187.

- Chen Yong, Yang Jun, Tian Tao, et al. The enhancement effect of fishery resources on artificial reefs in marine ranching area in Zhangzi Island[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2014, 29(2): 183-187.
- [9] 罗文强, 赵刚, 张彦彦, 等. 海州湾海洋牧场人工鱼礁区建设前后海洋环境变化分析 [J]. *海洋湖沼通报*, 2021(1): 33-40.
- Luo Wenqiang, Zhao Gang, Zhang Yanyan, et al. A comparative analysis on marine environments of an artificial reef area in marine pasture, Haizhou Bay, before and after construction[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2021(1): 33-40.
- [10] 斯广杰, 陈丕茂, 杜飞雁, 等. 深圳杨梅坑人工鱼礁区投礁前后大型底栖动物种类组成的变化 [J]. *大连海洋大学学报*, 2010, 25(3): 243-247.
- Si Guangjie, Chen Pimao, Du Feiyan, et al. Change in species composition of macrobenthic fauna before and after administration of artificial reefs in Yangmeikeng in Shenzhen[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2010, 25(3): 243-247.
- [11] 李元超, 杨毅, 郑新庆, 等. 海南三亚后海海域珊瑚礁生态系统的健康状况及其影响因素 [J]. *生态学杂志*, 2015, 34(4): 1105-1112.
- Li Yuanchao, Yang Yi, Zheng Xinqing, et al. Health status and influencing factors of coral reef ecosystems in Houhai waters, Sanya, Hainan Province[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(4): 1105-1112.
- [12] 王言丰, 胡启伟, 余景, 等. 粤东柘林湾海洋牧场渔业资源增殖效果评估 [J]. *南方水产科学*, 2019, 15(2): 12-19.
- Wang Yanfeng, Hu Qiwei, Yu Jing, et al. Effect assessment of fishery resources proliferation in Zhelin Bay marine ranching in eastern Guangdong[J]. *South China Fisheries Science*, 2019, 15(2): 12-19.
- [13] 尤仲杰, 陶磊, 焦海峰, 等. 象山港大型底栖动物功能群研究 [J]. *海洋与湖沼*, 2011, 42(3): 431-435.
- You Zhongjie, Tao Lei, Jiao Haifeng, et al. A survey of macrobenthos in the Xiangshan Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2011, 42(3): 431-435.
- [14] Officer C B, Smayda T J, Mann R. Benthic filter feeding: a natural eutrophication control[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1991, 69: 178-188.
- [15] 李新正, 李宝泉, 王洪法, 等. 南沙群岛渚碧礁大型底栖动物群落特征 [J]. *动物学报*, 2007, 53(1): 83-94.
- Li Xinzheng, Li Baoquan, Wang Hongfa, et al. Macrobenthic community characters of Zhubi Reef, Nansha Islands, South China Sea[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2007, 53(1): 83-94.
- [16] 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.
- [17] 王智, 曲方圆, 隋吉星, 等. 夏季辽东湾西部海域大型底栖动物群落结构与多样性 [J]. *海洋科学*, 2016, 40(1): 40-47.
- Wang Zhi, Qu Fangyuan, Sui Jixing, et al. Community structure and diversity of macrobenthos in the western waters of Liaodong Bay during summer[J]. *Marine Sciences*, 2016, 40(1): 40-47.
- [18] 赵瑞. 长岛海域大型底栖动物生态学研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- Zhao Rui. The ecological study of Macrobenthos in the waters around Changdao islands[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [19] 袁秀堂, 王清, 于正林, 等. 北方典型海岛高质量发展策略与途径——以长岛为例 [J]. *海洋科学*, 2023, 47(6): 52-59.
- Yuan Xiutang, Wang Qing, Yu Zhenglin, et al. High-quality development strategies and approaches in China's northern islands: case study in Changdao[J]. *Marine Sciences*, 2023, 47(6): 52-59.
- [20] 慕浩楠. 山东省海洋牧场休闲旅游发展研究 [D]. 烟台: 鲁东大学, 2022.
- Mu Haonan. Research on development of marine ranch leisure Tourism in Shandong Province[D]. Yantai: Ludong University, 2022.
- [21] 黄丁勇, 王建佳, 陈甘霖, 等. 亚龙湾珊瑚礁大型礁栖生物的群落结构及生态警示 [J]. *生态学杂志*, 2021, 40(2): 412-426.
- Huang Dingyong, Wang Jianjia, Chen Ganlin, et al. Community structure and ecological warning of reef-associated fish and macrobenthos in the Yalong Bay[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, 40(2): 412-426.
- [22] 中国水产学会. T/SCSF0013-2021, 海洋牧场本底调查技术规范 [S]. 北京, 2021.
- China Society of Fisheries. T/SCSF0013-2021, Technical specification for effect survey and evaluation of marine ranching[S]. Beijing, 2021.
- [23] 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. GB/T 12763.6-2007, 海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12763.6-2007, Specifications for Oceanographic Survey-Part 6: Marine Biological Survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [24] 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 Fishery Bulletin*, 1971, 152: 105.
- [25] Margalef D R. Information theory in ecology[J]. *General System*, 1958, 3: 36-71.
- [26] Pielou E C. *Mathematical Ecology*[M]. New York: John Wiley & Sons, 1977.
- [27] Shannon E C, Weaver W. *The mathematical theory of communication*[D]. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
- [28] 杨东, 周政权, 张建设, 等. 烟台牟平海洋牧场夏季大型底栖动物群落特征 [J]. *海洋科学*, 2017, 41(5): 134-143.
- Yang Dong, Zhou Zhengquan, Zhang Jianshe, et al. Characteristics of macrobenthic communities at the Muping Marine Ranch of Yantai in summer[J]. *Marine Sciences*, 2017, 41(5): 136-145.

- [29] 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.
- [30] Borja A, Franco J, Pérez V. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, 40(12): 1100–1114.
- [31] 赵永松. 庙岛群岛毗邻海域底栖食物网结构特征 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.
Zhao Yongsong. Structural characteristics of benthic food web in the sea adjacent to Miaodao archipelago[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2022.
- [32] 李晓静, 周政权, 陈琳琳, 等. 山东烟台大沽夹河河口及邻近海域大型底栖动物群落特征 [J]. *生物多样性*, 2016, 24(2): 157–165.
Li Xiaojing, Zhou Zhengquan, Chen Linlin, et al. Characteristics of macrobenthic communities in the estuary of Dagujia River and its adjacent water areas in Yantai, Shandong[J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(2): 157–165.
- [33] 李莉, 张建乐, 牛纪祝, 等. 秦皇岛入海口邻近海域夏季大型底栖动物群落结构变化及影响因子研究 [J]. *海洋学研究*, 2014, 32(4): 83–89.
Li Li, Zhang Jianle, Niu Jizhu, et al. Study on the community structural variation of macrobenthos and impact factors in the adjacent sea area of Qinhuangdao Estuary in summer[J]. *Journal of Marine Sciences*, 2014, 32(4): 83–89.
- [34] 周红, 华尔, 张志南. 秋季莱州湾及邻近海域大型底栖动物群落结构的研究 [J]. *中国海洋大学学报*, 2010, 40(8): 80–87.
Zhou Hong, Hua Er, Zhang Zhinan. Community structure of macrobenthos in Laizhou Bay and adjacent waters[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2010, 40(8): 80–87.
- [35] 刘晓收, 范颖, 史书杰, 等. 渤海大型底栖动物种类组成与群落结构研究 [J]. *海洋学报*, 2014, 36(12): 53–66.
Liu Xiaoshou, Fan Ying, Shi Shujie, et al. Studies on the species composition and community structure of macrofauna in the Bohai Sea, China[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2014, 36(12): 53–66.
- [36] 刘甜甜, 李晓静, 周政权, 等. 芝罘岛污水排放对大型底栖动物群落的影响 [J]. *广西科学*, 2016, 23(4): 346–353.
Liu Tiantian, Li Xiaojing, Zhou Zhengquan, et al. Effects of sewage discharge on the macrobenthic community offshore area of Yantai, Shandong Province[J]. *Guangxi Sciences*, 2016, 23(4): 346–353.
- [37] 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.
Wang Quanchao, Li Baoquan. Community structure of macrobenthos in coastal water of Yantai, East China[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(6): 1667–1680.
- [38] 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 Yinglu, Wang Jinwen, Zhang Liang, et al. Community structure and seasonal changes of macrobenthos in the adjacent waters of Lanshan Harbour[J]. *Ecological Science*, 2020, 39(5): 151–160.
- [39] 范纯增, 刘玉宝, 姜虹. 山东海洋牧场可持续发展与环境保护 [J]. *水产学杂志*, 2001, 14(2): 7–11.
Fan Chunzeng, Liu Yubao, Jiang Hong. Marine ranch sustainable development and environment protection in Shandong Province, China[J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2001, 14(2): 7–11.
- [40] 顾晓英, 陶磊, 尤仲杰, 等. 象山港大型底栖动物群落特征 [J]. *海洋与湖沼*, 2010, 41(2): 208–213.
Gu Xiaoying, Tao Lei, You Zhongjie, et al. The macrobenthic community of the Xiangshan Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2010, 41(2): 208–213.
- [41] 郝彦菊, 王宗灵, 朱明远, 等. 莱州湾营养盐与浮游植物多样性调查与评价研究 [J]. *海洋科学进展*, 2005, 23(2): 197–204.
Hao Yanju, Wang Zongling, Zhu Mingyuan, et al. Investigation and assessment of nutrients and phytoplankton diversity in the Laizhou Bay[J]. *Advances in Marine Science*, 2005, 23(2): 197–204.
- [42] 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 Mei, Li Xinzheng, Xu Yong, et al. Seasonal variations in macrobenthic communities in the subtidal zones of Jiaozhou Bay[J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(7): 820–830.
- [43] 王诺, 许雪青, 吴暖, 等. 渤海污染风险与生态系统功能价值评价研究 [J]. *海洋湖沼通报*, 2015(1): 167–174.
Wang Nuo, Xu Xueqing, Wu Nuan, et al. Study on comprehensive assessment of contamination risk and ecosystem function value in the Bohai Sea[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2015(1): 167–174.
- [44] 冯剑丰, 朱琳, 王洪礼. 基于 EwE 的渤海湾近岸海洋生态系统特性研究 [J]. *海洋环境科学*, 2010, 29(6): 781–784,803.
Feng Jianfeng, Zhu Lin, Wang Hongli. Study on characters of coastal ecosystem in Bohai Bay with EwE[J]. *Marine Environmental Science*, 2010, 29(6): 781–784,803.
- [45] 王众, 王桂清. 探究渤海海洋环境污染的治理与保护对策 [J]. *环境与发展*, 2018, 30(2): 71, 73.
Wang Zhong, Wang Guiqing. Exploring the management and protection countermeasures of marine environmental pollution in the Bohai Sea[J]. *Environment and Development*, 2018, 30(2): 71, 73.
- [46] 张虎, 刘培廷, 汤建华, 等. 海州湾人工鱼礁大型底栖生物调查 [J]. *海洋渔业*, 2008, 30(2): 97–104.
Zhang Hu, Liu Peiting, Tang Jianhua, et al. Investigation on the macrobenthos of artificial reefs area in the Haizhou Gulf[J]. *Marine Fisheries*, 2008, 30(2): 97–104.
- [47] 陈晨, 焦海峰, 王一农, 等. 象山港海洋牧场示范区大型底栖生物的时空变化 [J]. *海洋与湖沼*, 2016, 47(1): 130–139.
Chen Chen, Jiao Haifeng, Wang Yinong, et al. Temporal and spatial changes of macrobenthos in marine pasture demonstration area in

Xiangshan Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2016, 47(1): 130–139.

[48] 程飞, 纪雅宁, 李倨莹, 等. 象山港海湾生态系统服务价值评估 [J]. *应用海洋学学报*, 2014, 33(2): 222–228.

Cheng Fei, Ji Yaning, Li Juying, et al. Valuation of ecosystem services in Xiangshan Bay[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2014, 33(2): 222–228.

Analysis on the characteristics of macrobenthic animal communities inside and outside the autumn marine ranch on Yantai Changdao Island

Yi Fan^{1,2}, Wang Jiao², Liu Hang^{1,2}, Chen Jing², Chen Linlin², Li Xiaojing³, Li Xuepeng¹, Li Baoquan²

(1. School of Ocean, Yantai University, Yantai 264003, China; 2. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 3. Yantai Vocational College, Yantai 264670, China)

Abstract: To clarify the composition and distribution characteristics of macrobenthic communities in Yantai Changdao Island marine ranch and evaluate the impact of marine ranching on these macrobenthos, sampling stations were set up inside and outside the marine ranch in October 2022. Surveys of macrobenthic animals and the characteristics of macrobenthic communities were analyzed. A total of 88 species of macrobenthic animals were collected and identified during this voyage. Although the number of species in the pasture and control area was similar, the dominant groups differed. In the pasture, 70 species were identified, with mollusks being the dominant group; whereas, in the control area, 69 species were identified, with annelids as the dominant group. Eight dominant species were found, including 3 mollusk species in the pasture and 6 species in the control area, comprising 2 mollusk species, 1 echinoderm species, and 3 annelid species. The average abundance and biomass of macrobenthic animals in the pasture were significantly higher than those in the control area. However, Margalef species richness index (d), Pielou evenness index (J'), and Shannon Wiener diversity index (H') values showed little difference between the pasture and the outside. The results of Cluster analysis (CLUSTER) and non-metric multidimensional scaling (NMDS) analysis indicated that relatively low similarity among each station inside and outside the marine ranch. The AMBI and m-AMBI analyses revealed that the overall pollution disturbance in the studied water area was relatively small, indicating good benthic ecological health. Combined with historical data, the analysis revealed a significant increase in species abundance and biomass of macrobenthic communities in the surveyed area. These results suggest that the development of marine pastures has a certain degree of impact on the growth and development of macrobenthic communities.

Key words: Yantai Changdao Island; marine ranches; macrobenthos; community characteristics