

李建都, 赵祺, 袁舜洁, 等. 人工鱼礁建设对大型底栖动物群落的影响——以黄、渤海 4 处人工鱼礁为例[J]. 海洋学报, 2024, 46(7): 51–61, doi:10.12284/hyxb2024084

Li Jiandu, Zhao Qi, Yuan Shunjie, et al. Effects of artificial reef construction on macrobenthos communities: A case study of four artificial reefs in the Yellow Sea and Bohai Sea[J]. Haiyang Xuebao, 2024, 46(7): 51–61, doi:10.12284/hyxb2024084

# 人工鱼礁建设对大型底栖动物群落的影响

## ——以黄、渤海 4 处人工鱼礁为例

李建都<sup>1,2,3</sup>, 赵祺<sup>3</sup>, 袁舜洁<sup>3</sup>, 张沛东<sup>3</sup>, 郭栋<sup>1,2\*</sup>

(1. 辽宁省海洋水产科学研究院, 辽宁 大连 116023; 2. 农业农村部水产种质资源保护与发掘利用重点实验室, 辽宁 大连 116023; 3. 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 山东 青岛 266003)

**摘要:** 为探究黄、渤海不同人工鱼礁区大型底栖动物群落的结构特征差异及评估人工鱼礁对生物资源的养护效果, 于 2021 年秋季对黄、渤海海域 4 处人工鱼礁区的大型底栖动物开展了同期调查。共采集大型底栖动物 61 种, 其中环节动物种类占比最多 (47.54%)。各礁区大型底栖动物生物量均高于各自对照区, 其中长礁龄礁区大型底栖动物资源养护效果最好, 其平均生物量为对照区的 4.19 倍; 各礁区的多样性指数  $H'$  和丰富度指数  $d$  也高于各自对照区, 并表现出长礁龄礁区高于短礁龄礁区; ABC 曲线表明, 长礁龄礁区的生物群落稳定性优于短礁龄的礁区。各人工鱼礁区的优势种存在不同, 多毛类为各礁区普遍存在的优势种; 聚类分析及非度量多维尺度排序 (NMDS) 均大致将礁区调查站位分为 3 组, 相似性分析检验 (ANOSIM) 表明各礁区之间的群落结构存在显著差异 ( $R = 0.651, p < 0.01$ ), 相似性百分比分析 (SIMPER) 结果表明各礁区间的平均相异性百分比均在 77% 以上。研究结果表明人工鱼礁生境对大型底栖动物起到一定程度的养护作用, 不同礁区间大型底栖动物群落存在差异, 本研究可为人工鱼礁建设评价提供基础数据及依据。

**关键词:** 大型底栖动物; 人工鱼礁; 群落结构; 黄、渤海

中图分类号: P714<sup>+</sup>.5

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2024)07-0051-11

## 1 引言

黄海和渤海是位于西太平洋大陆架上的典型半封闭海域, 两海以渤海海峡相连, 海域内渔业经济生物种类繁多, 是我国近海渔业重要生产区<sup>[1-2]</sup>。但受过度捕捞、围海造陆、陆源污染等人类活动影响, 黄、渤海海域的渔业资源呈现明显的下降趋势<sup>[3]</sup>。为缓解我国近海海洋生物资源匮乏、生态环境破坏等问题, 我国从 2015 年便开始启动国家级海洋牧场示范区建设, 截至 2023 年我国沿海已建 8 批 169 处国家

级海洋牧场示范区, 其中黄、渤海区内的国家级海洋牧场数量约占全国总数的 3/4<sup>[4-5]</sup>。

海洋牧场人工鱼礁生境所发挥的流场效应、生物效应、遮蔽效应对鱼类、大型底栖动物等生物类群具有良好的养护作用<sup>[6-7]</sup>。大型底栖动物在海洋生态系统的食物网营养关系中起着关键作用, 其在人工鱼礁区的群落结构变化是反映人工鱼礁生物效应的重要特征<sup>[8-9]</sup>。同时, 多数大型底栖动物寿命较长, 活动能力较弱, 易受环境影响, 其种类组成及群落结构的变动更能客观反映环境的变化情况, 因而大型底栖动物

收稿日期: 2024-02-04; 修订日期: 2024-04-16。

基金项目: 国家重点研发计划: 海洋牧场典型生境精准营造与功能提升技术 (2023YFD2401102)。

作者简介: 李建都 (1996—), 男, 河南省濮阳市人, 从事海洋牧场生境效应评价。E-mail: li.jd@foxmail.com

\* 通信作者: 郭栋 (1983—), 男, 辽宁省大连市人, 研究员, 主要从事海洋牧场生境构建及贝类增殖。E-mail: guohongtiansky@163.com

常被作为生态指示类群用于反映海洋生态系统的环境质量变化<sup>[10-11]</sup>。

目前,针对黄、渤海海域内人工鱼礁区生物群落的研究已涉及浮游植物<sup>[12]</sup>、浮游动物<sup>[13]</sup>、游泳动物<sup>[14-15]</sup>、附着生物<sup>[16-17]</sup>等生物类群,对大型底栖动物的研究多聚焦于人工鱼礁建设所引起的生物群落变化<sup>[18]</sup>、营养关系变化<sup>[19]</sup>、功能性状变化<sup>[20]</sup>等方面。但已开展的相关研究地点多为单一海洋牧场的人工鱼礁区,缺乏同一时期不同特征属性的人工鱼礁区大型底栖动物群落结构特征的对比研究,且鲜有以大型底栖动物为指示类群来探究礁区建设对底栖环境产生的影响。因此,本研究选择我国海洋牧场建设重点海域——黄、渤海的多处国家级海洋牧场示范区,通过对各示范区的礁区及对照区开展同一季度的大型底栖动物调查,了解不同礁区大型底栖动物的优势物种、生物多样性的季节特征,对比分析各礁区大型底栖动物的群落结构差异,并明确人工鱼礁建设对底栖动物群落所产生的影响,以期为黄、渤海海洋牧场建设效果评价提供基础数据和科学依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 调查时间与地点

本研究于2021年秋季(10—11月)对黄、渤海海域内的3个国家级海洋牧场示范区的4处人工鱼礁区及对照区开展大型底栖动物调查,调查区域分别为青岛市崂山湾海域华润博达国家级海洋牧场示范区人工鱼礁区(HR)及其对照区(HC)、山东省海州湾海域顺风国家级海洋牧场示范区人工鱼礁区(RZ)及其对照区(RC)、河北省祥云湾海域国家级海洋牧场示范区人工鱼礁区(TA、TB)及其共有对照区(TC)。上述四处人工鱼礁区均位于近海海湾内,HR礁区平均水深为(21.22±1.06)m,HC对照区平均水深为(23.84±2.68)m,RZ礁区平均水深为(20.22±0.96)m,RC对照区平均水深为(21.08±2.28)m,TA礁区平均水深为(9.34±0.23)m,TB礁区平均水深为(6.92±0.14)m,TC对照区平均水深为(7.90±0.36)m,礁区内人工鱼礁材质及类型相同,各礁区基本概况见表1。借鉴已有研究对礁龄的划分<sup>[20]</sup>,本研究中将TA、TB礁区划分为长礁龄礁区,HR、RZ礁区划分为短礁龄礁区。

### 2.2 样品采集与处理

在各礁区边界点及中心点均布设站位,并在各海洋牧场示范区内的礁区临近海域设置对照区,各对照区也设置与礁区相同数量的调查站位,共计29个站位(图1)。每个调查站位使用开口面积为0.05 m<sup>2</sup>抓

表1 各礁区基本概况

Table 1 Basic overview of each reef area

调查地点	礁体类型	礁体规模/m <sup>3</sup>	建成年份	底质类型
HR	混凝土礁(3 m × 3 m × 4 m)	3.97×10 <sup>4</sup>	2020年	粗黏土
RZ	混凝土礁(3 m × 3 m × 3 m)	1.53×10 <sup>4</sup>	2019年	粗黏土
TA	混凝土礁(1.8 m × 1.8 m × 1.7 m)	3.63×10 <sup>4</sup>	2018年	粗粉砂
TB	混凝土礁(1.8 m × 1.8 m × 1.7 m) 混凝土礁(1.8 m × 1.8 m × 4 m)	4.76×10 <sup>4</sup>	2017年	细砂

斗式采泥器进行采集,使用网目0.5 mm的网筛进行大型底栖动物的筛选,将筛选后的生物样品经75%乙醇固定,带回实验室通过体式显微镜(Nikon SMZ1000,日本)进行种类鉴定。生物样品的采集、处理、计量等步骤均按照《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)<sup>[21]</sup>开展。

### 2.3 数据处理与分析

以Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )<sup>[22]</sup>、Pielou均匀度指数( $J'$ )<sup>[23]</sup>、Margalef丰富度指数( $d'$ )<sup>[24]</sup>来表征各调查区域的生物多样性水平。计算各生物种的优势度指数( $Y$ ),并将 $Y > 0.02$ 的物种判定为优势种<sup>[25]</sup>。

将各调查站位大型底栖动物丰度数据作为初始数据矩阵,为平衡优势种和稀有种对分析结果的影响,对初始数据矩阵进行 $\log(x+1)$ 转换,再进行Bray-Curtis相似性计算,通过聚类分析和非度量多维标度排序(NMDS)来对不同礁区的大型底栖动物群落进行聚类分析;以相似性分析检验ANOSIM(analysis of similarities)检验各礁区大型底栖动物群落组成差异的显著性,并使用相似性百分比SIMPER(similarity percentage program)分析来确定各礁区组内的典型种和引起不同礁区组间群落结构差异的分歧种。采用ABC(abundance-biomass comparison)曲线和W统计量(W-statistic)来判定各调查区大型底栖动物群落受干扰的程度。

将同一海域内各站位大型底栖动物的生物多样性指数、生物量、丰度进行方差齐性检验,再根据检验结果分别对不同状态数据进行独立样本 $t$ 检验或非参数检验(Kruskal-Wallis test),以判断同一海域礁区与对照区间群落特征是否存在显著差异,显著性水平为0.05。

生物数据统计分析通过Excel 2016、SPSS 26.0、Origin2022实现,群落结构相关的多元统计分析采用PRIMER 6.0软件实现,调查站位布局图使用Arcgis 10.8软件绘制。

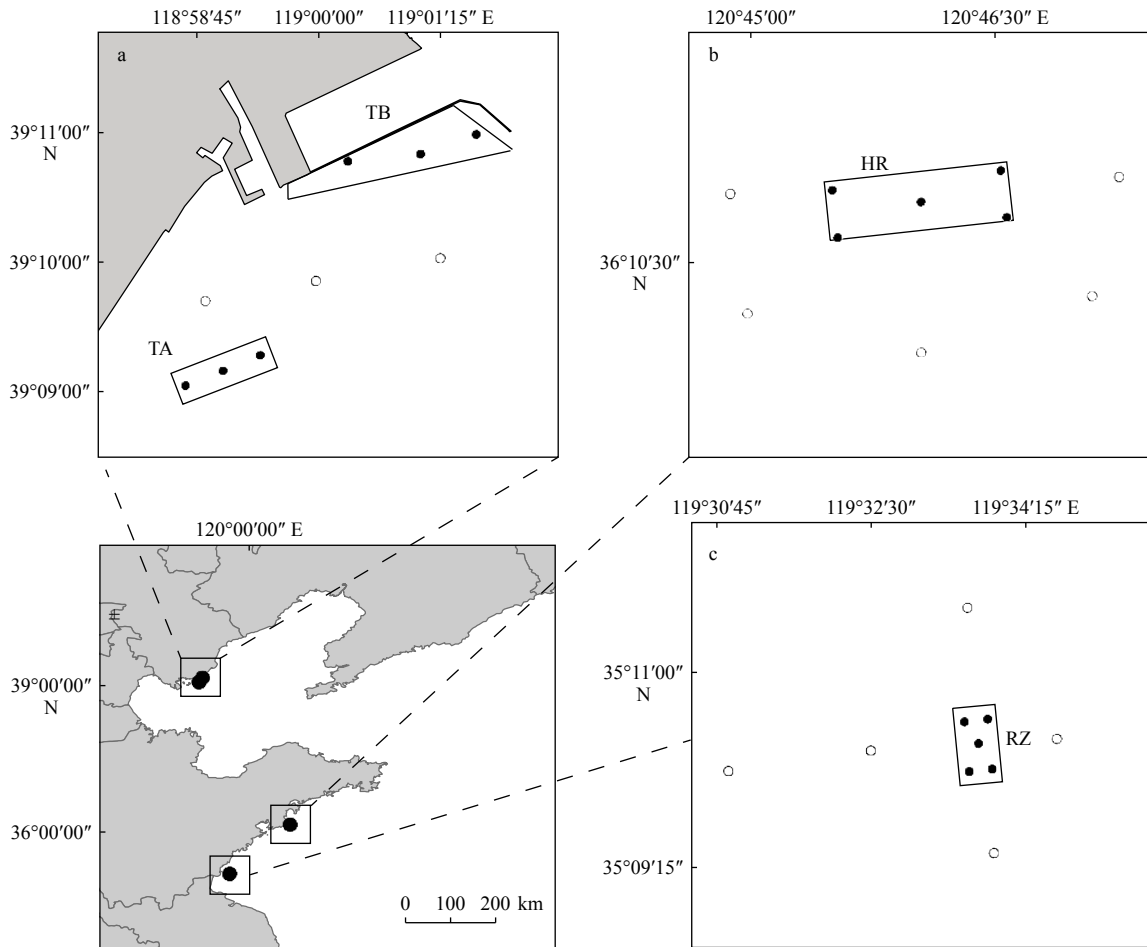


图1 调查站位布局示意图

Fig. 1 Survey station layout

a.唐山祥云湾海洋牧场; b.华润博达海洋牧场; c.日照顺风顺海洋牧场。实心圆点为礁区调查站位, 空心圆点为对照区调查站位

a. Tangshan Xiangyun Bay marine ranch; b. Huarun Boda marine ranch; c. Rizhao Shunfeng marine ranch. Solid and hollow dots represent survey stations in reef and control areas

### 3 结果

#### 3.1 物种组成

共采集到大型底栖动物6类61种, 其中环节动物种类最多, 为29种(占比47.54%), 节肢动物次之(占比22.95%)、软体动物占比为19.67%、棘皮生物占比6.56%、蠕形动物和腕足动物占比均为1.64%。各礁区大型底栖动物类群占比不同, HR礁区和RZ礁区均为环节动物种类最多, 占比分别为45.45%、80.00%; TA礁区软体动物种类数最多(占比为35.29%); TB礁区环节动物与软体动物占比相同, 占比均为33.33%, 各调查区域大型底栖动物种类组成占比如图2所示。

#### 3.2 生物量和丰度

礁区大型底栖动物的平均生物量和平均丰度分别为27.06 g/m<sup>2</sup>、163 ind./m<sup>2</sup>, 分别是对照区的2.30倍

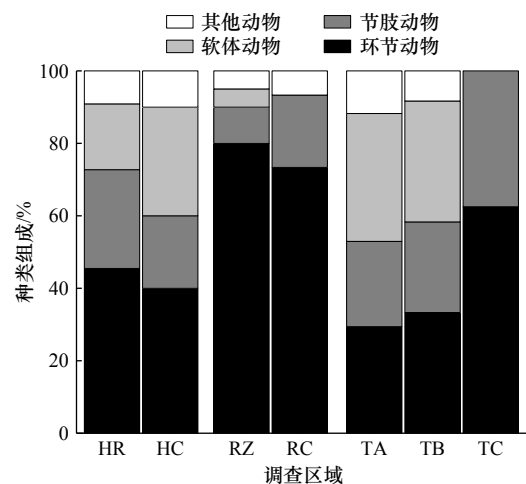


图2 大型底栖动物的种类组成

Fig. 2 Species composition of macrobenthos

和1.14倍。HR礁区、TA礁区、TB礁区的生物量均显著高于各自对照区的生物量( $p < 0.05$ ); 除HR礁区

外,其余礁区的大型底栖动物丰度均高于各自对照区但差异不显著( $p > 0.05$ ),如图 3 所示。

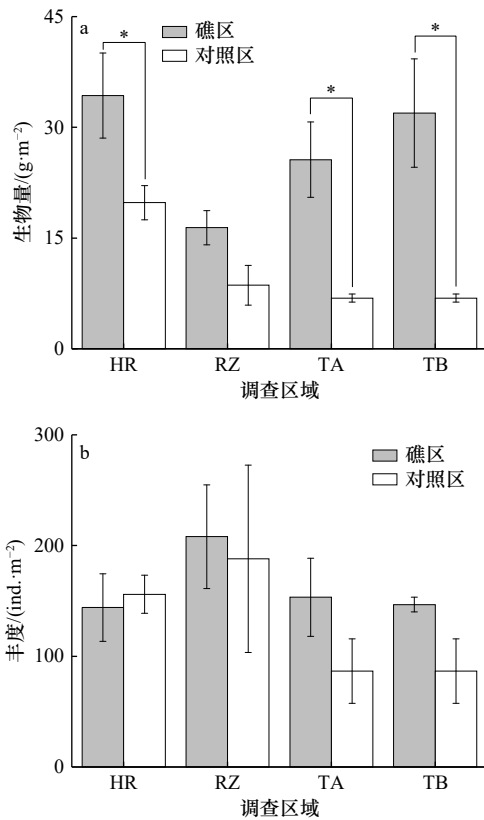


图 3 各调查区域大型底栖动物的生物量(a)及丰度(b)  
Fig. 3 Biomass (a) and abundance (b) of macrobenthos in various survey areas  
\*表示显著差异( $p < 0.05$ )  
\* indicates significant difference ( $p < 0.05$ )

### 3.3 各区域生物优势种分布

共采集和鉴定大型底栖动物优势种 24 种(表 2),其中礁区优势类群以多毛类环节动物种类最多,占礁区优势种种类数的 45.00%,而各对照区优势类群也以多毛类环节动物种类最多,占对照区优势种种类数的 53.85%。礁区间的优势种存在不同,其中 HR 礁区优势度最高的物种为江户布目蛤 *Protothaca jedoensis* ( $Y=0.13$ ), RZ 礁区优势度最高的物种为昆士兰稚齿虫 *Prionospio queenslandica* ( $Y=0.46$ ), TA 礁区优势度最高的物种为螺赢蜚 *Corophium* spp. ( $Y=0.12$ ), TB 礁区优势度最高的物种为红带织纹螺 *Nassarius succinctus* ( $Y=0.09$ )。

### 3.4 生物多样性

生物多样性指数计算结果表明, TB 礁区的 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 和 Margalef 丰富度指数 ( $d$ ) 显著高于其他礁区 ( $p < 0.05$ ),其他各礁区的多样性指数 ( $H'$ )、丰富度指数 ( $d$ ) 均大于各自对照区,但差异不显著 ( $p > 0.05$ )。将各礁区之间进行指数对比,丰

表 2 各调查区域优势种分布  
Table 2 Distribution of dominant species in each region

物种	优势度( $Y$ )						
	HR	HC	RZ	RC	TA	TB	TC
江户布目蛤 <i>Protothaca jedoensis</i>	0.13						
红带织纹螺 <i>Nassarius succinctus</i>						0.09	
丛生树蛭虫 <i>Pista fasciata</i>							0.05
丝异须虫 <i>Heteromastus filiformis</i>		0.21				0.06	0.05
螺赢蜚 <i>Corophium</i> spp.					0.12	0.03	0.21
日本倍棘蛇尾 <i>Amphioplus japonicus</i>	0.07	0.12				0.03	
长吻沙蚕 <i>Glycera chirori</i>	0.06	0.03					
小巧毛刺蟹 <i>Pilumnus minutus</i>	0.05						
斜方五角蟹 <i>Nursia rhomboidalis</i>	0.02						
扁蛭虫 <i>Loimia medusa</i>	0.02						
不倒翁虫 <i>Sternaspis scutala</i>	0.02						
双唇索沙蚕 <i>Lumbrineris cruzensis</i>	0.02	0.02					
昆士兰稚齿虫 <i>Prionospio queenslandica</i>			0.46	0.26			
背蚓虫 <i>Notomastus latericeus</i>			0.06	0.09			
锥唇吻沙蚕 <i>Glycera onomichiensis</i>			0.02				
背褶沙蚕 <i>Tambalagama fauveli</i>			0.02				
小亮樱蛤 <i>Nitidotellina minuta</i>						0.09	
长叶索沙蚕 <i>Lumbrineris longifolia</i>						0.09	
丽小笔螺 <i>Mitrella bella</i>						0.04	
博氏双眼钩虾 <i>Ampelisca bocki</i>	0.06				0.03	0.03	
东方缝栖蛤 <i>Hiatella orientalis</i>	0.05				0.03		
裸盲蟹 <i>Typhlocarcinus nudus</i>				0.08			
纽虫 <i>Nemertea</i> sp.				0.02			
仙居虫 <i>Naineris laevigata</i>				0.02			

富度指数 ( $d$ ) 结果为: TB 礁区 > RZ 礁区 > TA 礁区 > HR 礁区,多样性指数 ( $H'$ ) 结果为: TB 礁区 > TA 礁区 > RZ 礁区 > HR 礁区,均匀度指数 ( $J'$ ) 结果为: TB 礁区 > TA 礁区 > HR 礁区 > RZ 礁区,各区域生物多样性指数如表 3 所示。

### 3.5 群落稳定性

各研究区域的生物量曲线均在丰度曲线之上,且两曲线间均未发生交叉,各区域中两曲线的偏离程度和  $W$  统计量不同(图 4)。以礁区与对照区对比来看,HR 礁区两曲线间的偏离程度及  $W$  统计量均小于其对照区(HC),表明 HC 对照区比 HR 礁区的生物群落更加

表3 大型底栖动物不同区域的生物多样性指数

Table 3 Biodiversity indices of macrobenthos in different regions

区域	生物多样性指数		
	$d$	$H'$	$J'$
HR	0.64 ± 0.22	1.27 ± 0.26	0.91 ± 0.05
HC	0.55 ± 0.16	1.20 ± 0.21	0.91 ± 0.06
RZ	0.88 ± 0.28	1.47 ± 0.45	0.86 ± 0.18
RC	0.71 ± 0.15	1.36 ± 0.19	0.92 ± 0.12
TA	0.79 ± 0.13*	1.51 ± 0.17	0.95 ± 0.01
TC	0.44 ± 0.16	1.00 ± 0.29	0.95 ± 0.04
TB	1.06 ± 0.09*	1.80 ± 0.09*	0.98 ± 0.03
TC	0.44 ± 0.16	1.00 ± 0.29	0.95 ± 0.04

注: \*表示各礁区与其对照区间差异显著( $p < 0.05$ )。

Note: \* indicates significant difference between reef area and control interval ( $p < 0.05$ ).

稳定; TA 礁区和 TB 礁区的  $W$  统计量均大于对照区 (TC), 表明 TA、TB 礁区群落均比其对照区更加稳定。

### 3.6 各礁区生物群落结构分析

聚类分析将底栖动物大致分为3个组别, 各组大致按照各调查站位所处海域位置进行划分(图5a); NMDS 分析结果与聚类分析结果相似, 同一海域的调查站位分布相对集中(图5b), 且 stress 值为 0.06, stress 值小于 0.2 表明排序结果较好。ANOSIM 分析结果表明, 各礁区间群落结构差异显著 ( $R = 0.651, p < 0.01$ )。

对各礁区大型底栖动物群落进行 SIMPER 分析, 结果表明 HR、RZ、TA、TB 各礁区的底栖动物群落组内平均相似性百分比分别为 21.36%、27.27%、14.64%、9.41%。其中, HR 礁区主要典型种为江户布目蛤、小巧毛刺蟹、日本倍棘蛇尾; RZ 礁区主要典型种为昆士兰稚齿虫、背褶沙蚕、背蚓虫; TA 礁区主要典型种为小亮樱蛤、长叶索沙蚕、螺赢蛭; TB 礁区主要典型种为红带织纹螺、丝异须虫。

不同礁区之间的平均相异性百分比分别为 HR 与 RZ 99.35%、HR 与 TB 94.12%、RZ 与 TB 97.84%、HR 与 TA 95.79%、RZ 与 TA 99.15%、TB 与 TA 77.32%, 各礁区间引起群落差异的主要分歧种及各物种的相异性贡献率见表4。

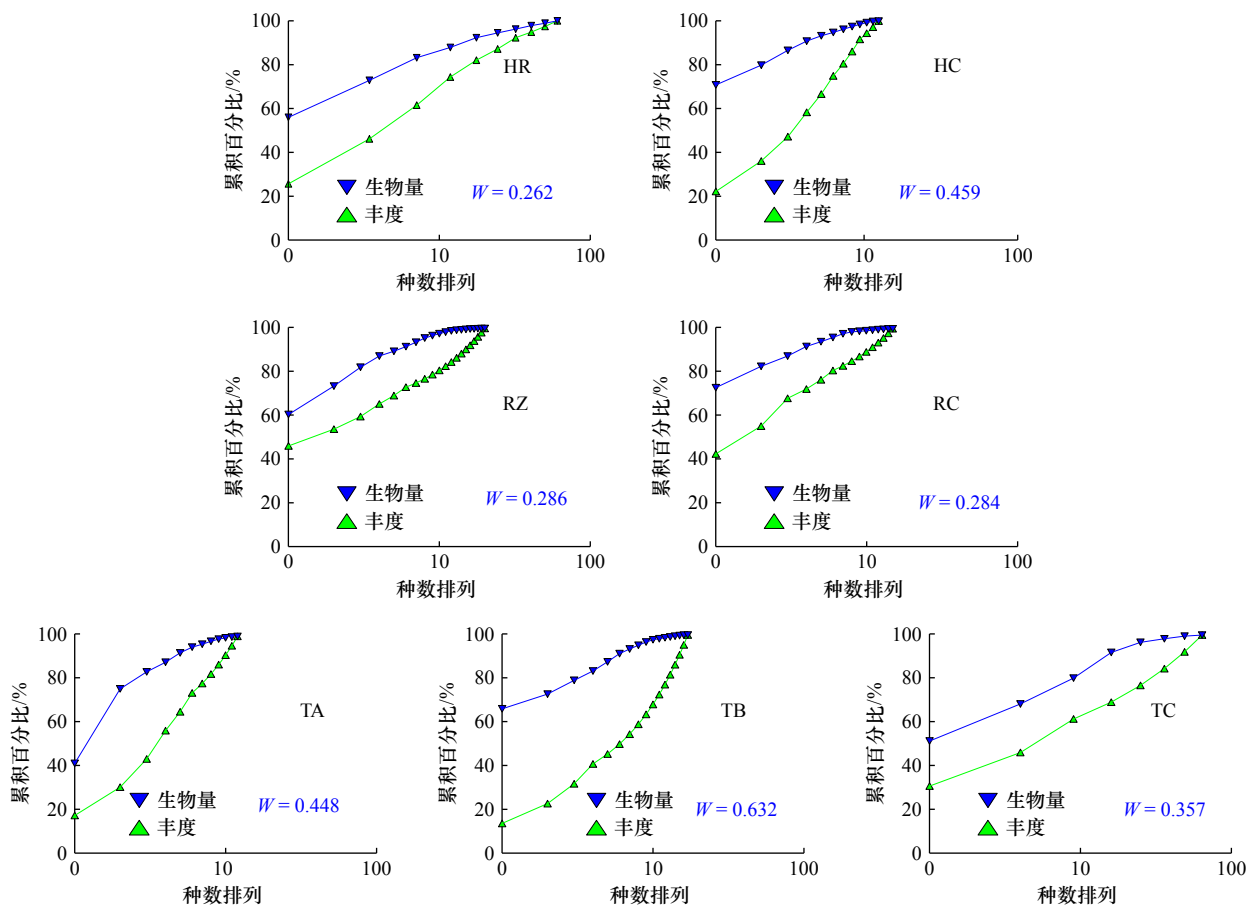


图4 各区域大型底栖动物群落 ABC 曲线

Fig. 4 ABC curve of macrobenthos communities in each region

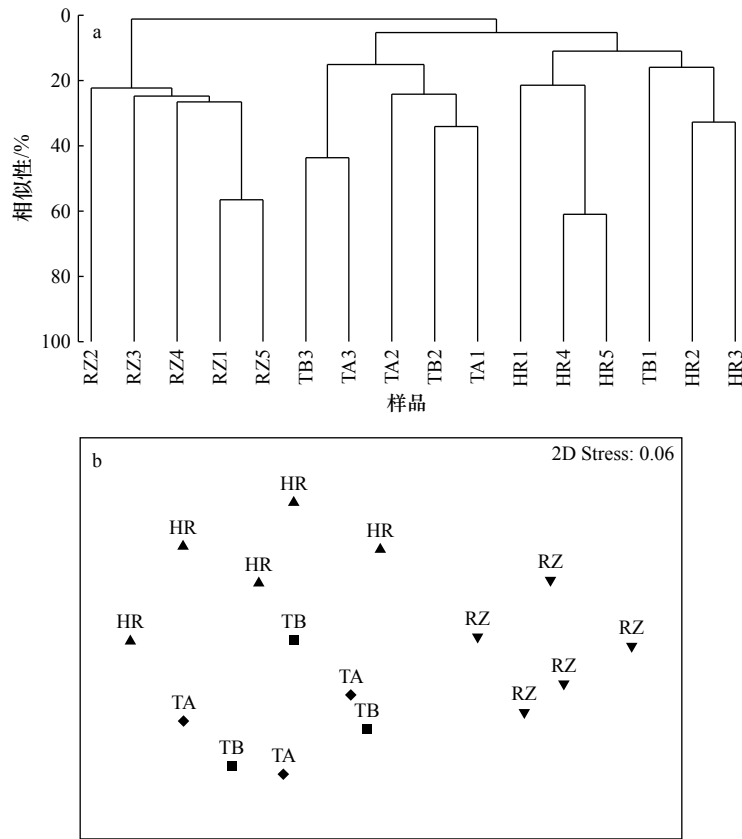


图 5 人工鱼礁区大型底栖动物聚类分析和 NMDS 分析

Fig. 5 Cluster analysis and non-metric multidimensional scaling analysis of macrobenthos in artificial reef

表 4 各礁区间主要分歧种及其相异性贡献率

Table 4 Main disproportionate species and dissimilarity contribution rates among different reef area

物种	组间相异性贡献率/%					
	HR与RZ	HR与TB	RZ与TB	HR与TA	RZ与TA	TB与TA
背蚓虫 <i>Notomastus latericeus</i>	5.02		4.54		4.69	
背褶沙蚕 <i>Tambalagamia fauveli</i>			4.18			
螺赢蛭 <i>Corophium</i> sp.				8.01	6.82	8.93
红带织纹螺 <i>Nassarius succinctus</i>		7.31	6.17			7.12
江戸布目蛤 <i>Protothaca jedomensis</i>	8.24	8.81		9.17		
昆士兰稚齿虫 <i>Prionospio queenslandica</i>	16.86		15.2		15.74	
日本倍棘蛇尾 <i>Amphipus japonicus</i>	5.17	6.46				
双唇索沙蚕 <i>Lumbrineris cruzensis</i>				7.96	6.28	8.17
丝异须虫 <i>Heteromastus filiformis</i>		5.71	4.81			6.47
小亮樱蛤 <i>Nitidotellina minuta</i>				8.08	6.72	7.63
长吻沙蚕 <i>Glycera chirori</i>	5.3	5.67		5.9		

## 4 讨论

### 4.1 各礁区群落结构的差异分析

各礁区间的生物类群多以多毛类环节动物为主

要类群,除 TA 礁区外,其他调查礁区中多毛类环节动物均为该调查区域占比最高的类群,多毛类环节动物和软体动物也多为各调查区域的主要优势种群,上述结果也与黄、渤海海域内的其他研究结果类似<sup>[26-27]</sup>。

如 Jiang 等<sup>[28]</sup>的研究表明,耳口露齿螺 *Ringicula doliaris* ( $Y=0.086$ ) 和巴氏钩毛虫 *Sigambra bassi* ( $Y=0.0446$ ) 为秋季渤海的主要优势种,津知圆蛤 *Cycladicama tsuchi* ( $Y=0.0995$ ) 和长吻沙蚕 *Glycera chirori* ( $Y=0.0223$ ) 为秋季黄海北部的主要优势种。

SIMPER 分析结果显示,各礁区间平均相异性百分比均在 77% 以上,表明各礁区间大型底栖动物群落结构差异较大,而各礁区间间的分歧种相异性贡献率较高的物种为多毛类环节动物,如昆士兰稚齿虫在 HR 礁区和 RZ 礁区的组间相异性贡献率达 16.86%。多毛类环节动物在各礁区的群落结构塑造中发挥着重要作用,各礁区优势种与典型种大多相同。而各研究区域的多毛类优势种的具体生物种类存在较大的差异,物种间的差异因素可能是受到各研究区域间的地理环境差异、各人工鱼礁区不同的特征属性等因素所影响。本研究所选取研究区域分跨黄海渤海两海域,海域之间的水体等自然环境存在差异<sup>[29]</sup>,TA 礁区、TB 礁区平均水深在 10 m 以内,HR 礁区、RZ 礁区平均水深在 20 m 以上,大型底栖动物丰度、生物量往往与水深呈现负相关<sup>[30]</sup>;经现场采样发现各礁区底质类型不同,如 TA 礁区和 TB 礁区多为粉砂和砂底质,RZ 礁区为粒径较小的泥沙底质,不同的底质类型同样会对大型底栖动物群落分布格局产生影响,多毛类更偏好在泥质底质环境中<sup>[31]</sup>,故 RZ 礁区优势种及典型种为多毛类。另一方面,本研究各礁区间的礁体规模等礁区特征属性存在差异,而人工鱼礁建设会直接改变海底海流运动方向及微地形地貌,扰动海底地质,进而促使礁区内的底质粒径、沉积物分布、有机质含量等因素会因不同礁体属性产生差异,进而对大型底栖动物群落的演变产生不同的影响<sup>[32-33]</sup>。

#### 4.2 人工鱼礁对大型底栖动物养护效果分析

在过去的几十年里,由于水体污染、过度捕捞、气候变化等因素的影响,中国黄、渤海近岸大型底栖动物资源量及生物多样性呈现显著下降的趋势<sup>[34-35]</sup>。将本研究各调查区域的调查结果与各自临近海域相同季节已开展的不同时期调查结果进行对比(表 5),尽管不同时期研究之间的采样方法、采样时间、站位布设等存在差异,但对比结果发现本研究各海域与以往研究相比大型底栖动物的种类、丰度、生物量均出现明显的下降趋势。面对大型底栖动物资源不断退化的现状,适宜的人工鱼礁建设将会有利于大型底栖动物的修复,尽管人工鱼礁的投放对游泳动物、大型底栖动物等生物均会产生积极的影响,而如鱼类等生物类群在资源增长的同时可能会给部分大型底栖动物带来较大的捕食压力,但 Fabi 等<sup>[42]</sup>的研究表明与人工鱼礁存在相关的物理因素比捕食等生物因素会更能影响底栖动物的群落组成及丰度。

本研究中的所有调查海域中均发现礁区大型底栖动物的生物量、丰度高于各自对照区对应值,表明人工鱼礁的投放会对大型底栖动物的生长营造较好的环境,利于大型底栖动物的生长发育,这一结果与已有研究相同<sup>[18,20,43]</sup>。如陈晨等<sup>[43]</sup>对象山港海洋牧场礁区及其邻近区的调查发现,礁区大型底栖动物的年平均栖息密度与生物量分别为邻近区的 1.20 倍、1.41 倍,人工鱼礁建设后大型底栖动物的种类数也由建设前的 26 种增加至 33 种。不同特征属性的人工鱼礁区也会对大型底栖动物带来不同的养护效果,人工鱼礁对生物资源的养护效果往往随礁龄的增加而增加<sup>[44]</sup>。詹启鹏等<sup>[20]</sup>对芙蓉岛海域不同礁龄的人工鱼礁区的研究发现长礁龄礁区(4~5 a)的大型底栖

表 5 本研究与以往调查研究结果对比

Table 5 Comparison of research results

调查区域	调查时间	取样工具	种类数	平均丰度/(ind.·m <sup>-2</sup> )	平均生物量/(g·m <sup>-2</sup> )
日照近岸海域 <sup>[36]</sup>	2007.10	0.05 m <sup>2</sup> 抓斗式采泥器	142	1 096.86	25.76
日照近岸海域 <sup>[37]</sup>	2016.11	0.05 m <sup>2</sup> 抓斗式采泥器	37	112.63	14.75
本研究RZ海域	2021.11	0.05 m <sup>2</sup> 抓斗式采泥器	23	198	12.41
青岛近岸海域 <sup>[38]</sup>	2007.10	0.25 m <sup>2</sup> 抓斗式采泥器	160	431.73	22.30
青岛近岸海域 <sup>[39]</sup>	2018.10	0.05 m <sup>2</sup> 抓斗式采泥器	32	474	65.42
本研究HR海域	2021.11	0.05 m <sup>2</sup> 抓斗式采泥器	15	150	27.05
渤海中部海域 <sup>[40]</sup>	2006.11	0.1 m <sup>2</sup> 箱式采泥器	214	1 217	31.20
渤海海域 <sup>[41]</sup>	2008.8	0.1 m <sup>2</sup> 箱式采泥器	300	1 094.7	11.78
本研究TA、TB海域	2021.10—11	0.05 m <sup>2</sup> 抓斗式采泥器	22	129	21.47

动物的生物量、丰度、生物多样性水平均优于短礁龄礁区(1 a)。本研究中长礁龄的TA礁区、TB礁区大型底栖动物的生物量分别为各自对照区的3.73倍、4.65倍,而短礁龄的HR礁区、RZ礁区生物量分别为各自对照区的1.73倍、1.90倍。人工鱼礁在投放后会促进礁区不同水层水体营养盐互换,促进初级生产力的提升,而初级生产力的提升将促进礁区食物网各节点生物的生长发育<sup>[7]</sup>。同时,鱼礁的阻流效果及礁体的粗糙表面更利于附着生物固着,附着生物是人工鱼礁区首批定殖种类,其在礁区大面积定殖后会吸引诸如环节动物等移动性大型底栖动物定居<sup>[45-47]</sup>。另一方面,人工鱼礁表面上的附着生物在其生长过程中所产生的有机物质为礁区大型底栖动物的生长提供了重要的饵料补给,如附着藻类凋落的生物组织、附着双壳贝类所排泄的粪便等<sup>[48]</sup>。而附着生物的生长发育与礁体浸水时间长短密切相关,礁体在水体中的时间越长,其对生物的附着生长的亲和力愈高,如Guilbeau等<sup>[49]</sup>的研究发现,混凝土材质的礁体在海水中浸泡6个月后其材质表层pH更接近海水pH,此时会更利于附着生物的生长,可见礁龄可通过影响附着生物群落生长,进而影响大型底栖动物群落。

ABC曲线是通过对比目标生物生物量与丰度的优势程度而判断生物群落状态的研究方法,该方法被较多的应用在底栖动物群落的研究中<sup>[50]</sup>。应用ABC曲线在莱州湾金城海域<sup>[18]</sup>、芙蓉岛海域<sup>[20]</sup>、海州湾海域<sup>[51]</sup>人工鱼礁区的研究均表明,礁龄为1~2 a的人工鱼礁区内大型底栖动物群落均处于扰动状态。本研究的结果与以往研究结果类似,长礁龄的TA礁区、TB礁区的丰度曲线与生物量曲线的偏离程度及 $W$ 统计量均大于其对照区,而短礁龄的HR礁区两曲

线的偏离程度及 $W$ 统计量小于其礁区,表明长礁龄礁区大型底栖动物的群落已趋于稳定,而短礁龄礁区生物群落结构相对于其对照区而言还受到一定程度干扰。这可能是因为礁体投放后会改变礁体周围的海流流态、沉积物组成,而这些物理环境的改变在短期内会对礁区底栖动物群落带来影响,物理环境的改变会与生物种群进行双向选择,最终随着时间推移新的生物群落形成,生态系统也随之逐渐稳定<sup>[52]</sup>。

## 5 结论与展望

本研究通过对黄、渤海4处人工鱼礁区大型底栖动物的调查发现鱼礁生境对大型底栖动物有着较好的养护效果,大型底栖动物群落状态在长礁龄礁区中更加稳定。而鱼礁的养护效果与人工鱼礁的结构、布局等礁区特征属性密切相关,本研究在比较了各处礁区大型底栖动物群落结构特征及养护效果后,仅以礁龄这一易于量化的特征属性进行分析,而人工鱼礁结构、布局等因难以量化对比而未涉及。

在日后的研究中,可进一步关注鱼礁结构、礁体布局等礁区特征属性对大型底栖动物群落的影响。同时,本研究解析四处礁区大型底栖动物群落的群落结构特征时,发现多毛类环节动物为各礁区普遍的优势种,而各礁区大型底栖动物的优势种类因地理环境差异而存在不同,所以在日后的人工鱼礁建设中可对建设海域进行生物现状调查,选择适宜的礁体布局等建设方式。最后,对待人工鱼礁对大型底栖动物的影响不仅仅只关注大型底栖动物群落层面的变化,更要聚焦鱼礁建设对大型底栖动物摄食习性、移动能力等生物功能性状的影响,进而基于功能性状视角探索鱼礁建设对大型底栖动物所带来的影响。

## 参考文献:

- [1] Chen Chen-Tung Arthur, Guo Xinyu. *Changing Asia-Pacific Marginal Seas* [M]. Singapore: Springer, 2020.
- [2] Chen Renli, Wu Xiaoqing, Liu Baijing, et al. Mapping coastal fishing grounds and assessing the effectiveness of fishery regulation measures with AIS data: A case study of the sea area around the Bohai Strait, China[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2022, 223: 106136.
- [3] Zhang Ziyue, Yang Wei, Ding Jiewei, et al. Identifying changes in China's Bohai and Yellow Sea fisheries resources using a causality-based indicator framework, convergent cross-mapping, and structural equation modeling[J]. *Environmental and Sustainability Indicators*, 2022, 14: 100171.
- [4] 杨红生, 丁德文. 海洋牧场 3.0: 历程、现状与展望 [J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(6): 832-839.  
Yang Hongsheng, Ding Dewen. Marine ranching version 3.0: history, status and prospects[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2022, 37(6): 832-839.
- [5] 茹小尚, 邓贝妮, 冯其明, 等. 中外海洋牧场建设之比较 [J]. 水产学报, 2023, 47(11): 119508.  
Ru Xiaoshang, Deng Beini, Feng Qiming, et al. Comparison of marine ranching constructions between China and foreign countries[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, 47(11): 119508.
- [6] 杨红生, 章守宇, 张秀梅. 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] 姜昭阳,郭战胜,朱立新,等.人工鱼礁结构设计原理与研究进展[J].水产学报,2019,43(9):1881-1889.  
Jiang Zhaoyang, Guo Zhansheng, Zhu Lixin, et al. Structural design principle and research progress of artificial reef[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(9): 1881-1889.
- [8] An Tianchen, Lyu Junchen, Jia Wanxian, et al. Role of macrobenthic fauna in mangrove carbon fluxes indicated by their cellulase and hemicellulase activities[J]. *Marine Biology Research*, 2014, 10(9): 934-940.
- [9] Griffiths J R, Kadin M, Nascimento F J A, et al. The importance of benthic-pelagic coupling for marine ecosystem functioning in a changing world[J]. *Global Change Biology*, 2017, 23(6): 2179-2196.
- [10] 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 Xinzheng. An overview of studies on marine macrobenthic biodiversity from Chinese waters: principally from the Yellow Sea[J]. *Biodiversity Science*, 2011, 19(6): 676-684.
- [11] Yan Jia, Xu Yong, Sui Jixing, et al. Long-term variation of the macrobenthic community and its relationship with environmental factors in the Yangtze River estuary and its adjacent area[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, 123(1-2): 339-348.
- [12] 张智鹏,陈璐,刘洪军,等.人工鱼礁建设对海洋浮游植物群落变化的影响[J].海洋通报,2020,39(5):617-626.  
Zhang Zhipeng, Chen Lu, Liu Hongjun, et al. Effect of artificial reefs construction on phytoplankton community[J]. *Marine Science Bulletin*, 2020, 39(5): 617-626.
- [13] 陈传曦,张建柏,王新萌,等.渤海莱州湾芙蓉岛人工鱼礁区浮游动物群落结构特征及其与环境因子的关系[J].中国水产科学,2021,28(3):299-313.  
Chen Chuanxi, Zhang Jianbo, Wang Xinmeng, et al. Zooplankton community structure and its relationship with environmental factors in an artificial reef near Furong Island, Laizhou Bay, Bohai Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(3): 299-313.
- [14] 刘鸿雁,杨超杰,张沛东,等.青岛崂山湾人工鱼礁区底层游泳动物群落结构特征[J].生物多样性,2016,24(8):896-906.  
Liu Hongyan, Yang Chaojie, Zhang Peidong, et al. Demersal nekton community structure of artificial reef zones in Laoshan Bay, Qingdao[J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(8): 896-906.
- [15] Song Minpeng, Wang Jiahao, Nie Zhaoyi, et al. Evaluation of artificial reef habitats as reconstruction or enhancement tools of benthic fish communities in northern Yellow sea[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2022, 182: 113968.
- [16] 詹启鹏,孙昕,董建宇,等.莱州湾芙蓉岛海域人工鱼礁附着生物的群落结构和功能性状[J].中国水产科学,2022,29(5):704-719.  
Zhan Qipeng, Sun Xin, Dong Jianyu, et al. Community structure and functional traits of attached organisms on an artificial reef near Furong Island, Laizhou Bay[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, 29(5): 704-719.
- [17] 王震,公丕海,关长涛,等.青岛石雀滩海域人工鱼礁材料对附着生物群落结构的影响[J].渔业科学进展,2019,40(4):163-171.  
Wang Zhen, Gong Pihai, Guan Changtao, et al. Effect of different artificial reefs on the community structure of organisms in Shique Beach of Qingdao[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(4): 163-171.
- [18] 任彬彬,袁伟,孙坚强,等.莱州湾金城海域鱼礁投放后大型底栖动物群落变化[J].应用生态学报,2015,26(6):1863-1870.  
Ren Binbin, Yuan Wei, Sun Jianqiang, et al. Impact of artificial reef on community of macrobenthos in Jincheng area of Laizhou Bay, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(6): 1863-1870.
- [19] 张镇,董建宇,孙昕,等.莱州湾芙蓉岛人工鱼礁区大型底栖动物的营养结构特征[J].水产学报,2023,47(9):099305.  
Zhang Zhen, Dong Jianyu, Sun Xin, et al. Trophic structure of macrobenthos in artificial reef area of Furong Island, Laizhou Bay[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, 47(9): 099305.
- [20] 詹启鹏,董建宇,孙昕,等.芙蓉岛海域人工鱼礁投放对大型底栖动物群落结构和功能性状的影响[J].应用生态学报,2023,34(3):796-804.  
Zhan Qipeng, Dong Jianyu, Sun Xin, et al. Impacts of artificial reef on community structure and functional traits of macrobenthos near Furong Island, Shandong, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2023, 34(3): 796-804.
- [21] 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: China Standard Press, 2008.
- [22] Wilhm J L. Use of biomass units in Shannon's formula[J]. *Ecology*, 1968, 49(1): 153-156.
- [23] Pielou E C. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, 10(2): 370-83.
- [24] Ulanowicz R E. Information theory in ecology[J]. *Computers & Chemistry*, 2001, 25(4): 393-399.
- [25] 刘旭东,汪进生,孙立娥,等.渤海山东近岸海域大型底栖动物的群落结构及多样性分析[J].海洋环境科学,2021,40(6):929-936.  
Liu Xudong, Wang Jinsheng, Sun Li'e, et al. Community structure and diversity of macrozoobenthos at Bohai Sea off Shandong[J]. *Marine Environmental Science*, 2021, 40(6): 929-936.
- [26] Xu Yong, Sui Jixing, Yang Mei, et al. Variation in the macrofaunal community over large temporal and spatial scales in the southern Yellow Sea[J]. *Journal of Marine Systems*, 2017, 173: 9-20.
- [27] Hu Guikun, Zhang Qingtian. Seasonal variations in macrobenthic taxonomic diversity and the application of taxonomic distinctness in-

- dices in Bohai Bay, northern China[J]. *Ecological Indicators*, 2016, 71: 181–190.
- [28] Jiang Shaoyu, Fan Wenzheng, Chen Linlin, et al. Spatio-temporal distribution of macrobenthos and benthic ecological health status in the Bohai Sea and the northern Yellow Sea, China[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2023, 196: 115671.
- [29] 赵晨英, 臧家业, 刘军, 等. 黄渤海氮磷营养盐的分布、收支与生态环境效应[J]. *中国环境科学*, 2016, 36(7): 2115–2127.
- Zhao Chenying, Zang Jiaye, Liu Jun, et al. Distribution and budget of nitrogen and phosphorus and their influence on the ecosystem in the Bohai Sea and Yellow Sea[J]. *China Environmental Science*, 2016, 36(7): 2115–2127.
- [30] 李亚芳, 杜飞雁, 王亮根, 等. 粤西海陵湾养殖区邻近海域大型底栖动物生态学特征[J]. *海洋与湖沼*, 2018, 49(6): 1294–1307.
- Li Yafang, Du Feiyan, Wang Lianggen, et al. Ecology of macrobenthic fauna community in aquaculture zones of Hailing bay and adjacent waters along the western Guangdong coast, China[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2018, 49(6): 1294–1307.
- [31] Otani S, Kozuki Y, Kurata K, et al. Relationship between macrobenthos and physical habitat characters in tidal flat in eastern Seto Inland Sea, Japan[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2008, 57(1-5): 142–148.
- [32] 李东, 侯西勇, 唐诚, 等. 人工鱼礁研究现状及未来展望[J]. *海洋科学*, 2019, 43(4): 81–87.
- Li Dong, Hou Xiyong, Tang Cheng, et al. A review on the progress of artificial reef research[J]. *Marine Sciences*, 2019, 43(4): 81–87.
- [33] 徐勤增, 许强, 张立斌, 等. 牡蛎壳人工礁对多毛纲底栖动物群落结构的影响[J]. *海洋与湖沼*, 2013, 44(4): 1056–1061.
- Xu Qinzeng, Xu Qiang, Zhang Libin, et al. Effect of artificial oyster shell reef on benthic polychaeta community structure in Rongcheng Bay, China[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(4): 1056–1061.
- [34] Zhou Hong, Zhang Zhinan, Liu Xiaoshou, et al. Changes in the shelf macrobenthic community over large temporal and spatial scales in the Bohai Sea, China[J]. *Journal of Marine Systems*, 2007, 67(3-4): 312–321.
- [35] Xu Yong, Ma Lin, Sui Jixing, et al. Potential effects of climate change on the habitat suitability of macrobenthos in the Yellow Sea and East China Sea[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2022, 174: 113238.
- [36] 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 Leilei, Wang Qixiang, Guan Shuguang, et al. Community structure of macrobenthos in coastal waters of Rizhao[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2013, 34(1): 97–102.
- [37] 王尽文, 王燕, 黄娟, 等. 日照潮下带海域大型底栖动物春、秋季群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. *应用海洋学学报*, 2021, 40(4): 564–574.
- Wang Jinwen, Wang Yan, Huang Juan, et al. Community structures of macrobenthos and their relationship with environmental factors in Rizhao subtidal zone in spring and autumn[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2021, 40(4): 564–574.
- [38] 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 Zongxing, Fan Shiliang, Xu Qinzeng, et al. Characters of macrobenthic community in autumn in the coastal water of Qingdao[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2010(1): 59–64.
- [39] 纪莹璐, 张乃星, 王岚, 等. 小麦岛邻近海域秋季大型底栖动物生态特征[J]. *水产科学*, 2022, 41(3): 388–397.
- Ji Yinglu, Zhang Naixing, Wang Lan, et al. Ecological characteristics of macrobenthos near Mai Island during autumn[J]. *Fisheries Science*, 2022, 41(3): 388–397.
- [40] 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.
- [41] 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.
- [42] Fabi G, Luccarini F, Panfili M, et al. Effects of an artificial reef on the surrounding soft-bottom community (central Adriatic Sea)[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2002, 59: 343–349.
- [43] 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.
- [44] Liu Guoshan, Li Wentao, Zhang Xiumei. Assessment of the benthic macrofauna in an artificial shell reef zone in Shuangdao Bay, Yellow Sea[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, 114(2): 778–785.
- [45] 崔恩苹, 张永强, 祝琳, 等. 千里岩岛西部人工鱼礁建设对周边海域水动力影响的数值模拟[J]. *海洋地质前沿*, 2021, 37(2): 10–20.
- Cui Enping, Zhang Yongqiang, Zhu Lin, et al. Numerical simulation of the influence of artificial reefs on marine hydrodynamics to the west of Qianliyan Island[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2021, 37(2): 10–20.
- [46] Simpson T J S, Smale D A, McDonald J I, et al. Large scale variability in the structure of sessile invertebrate assemblages in artificial habitats reveals the importance of local-scale processes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2017, 494: 10–19.
- [47] Antoniadou C, Voultsiadou E, Chintiroglou C. Benthic colonization and succession on temperate sublittoral rocky cliffs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2010, 382(2): 145–153.
- [48] Yang Xinyuan, Lin Chenggang, Song Xiaoyue, et al. Effects of artificial reefs on the meiofaunal community and benthic environment - A case study in Bohai Sea, China[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, 140: 179–187.

- [49] Guilbeau B P, Harry F P, Gambrell R P, et al. Algae attachment on carbonated cements in fresh and brackish waters-preliminary results[J]. *Ecological Engineering*, 2003, 20(4): 309–319.
- [50] Putro S P, Widowati W, Suhartana U. Assessment level of severity of environmental disturbance caused by aquaculture activities using abundance-biomass curves of macrobenthic assemblages[J]. *International Journal of Environmental Science and Development*, 2015, 6(3): 178–181.
- [51] 孙习武, 张硕, 赵裕青, 等. 海州湾人工鱼礁海域鱼类和大型无脊椎动物群落组成及结构特征 [J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(4): 505–513.  
Sun Xiwu, Zhang Shuo, Zhao Yuqing, et al. Community structure of fish and macroinvertebrates in the artificial reef sea area of Haizhou Bay[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2010, 19(4): 505–513.
- [52] Chowdhury M S N, Hossain M S, Ysebaert T, et al. Do oyster breakwater reefs facilitate benthic and fish fauna in a dynamic subtropical environment?[J]. *Ecological Engineering*, 2020, 142: 105635.

## Effects of artificial reef construction on macrobenthos communities: A case study of four artificial reefs in the Yellow Sea and Bohai Sea

Li Jiandu<sup>1,2,3</sup>, Zhao Qi<sup>3</sup>, Yuan Shunjie<sup>3</sup>, Zhang Peidong<sup>3</sup>, Guo Dong<sup>1,2</sup>

(1. Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute, Dalian 116023, China; 2. Key Laboratory of Protection and Utilization of Aquatic Germplasm Resource, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Dalian 116023, China; 3. The Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education; Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

**Abstract:** In order to explore the differences in the structural characteristics of macrobenthos communities in different artificial reefs in the Yellow Sea and Bohai Sea and to evaluate the conservation effect of artificial reefs on biological resources, a simultaneous survey of macrobenthos in four artificial reefs in the Yellow Sea and Bohai Sea was carried out in autumn 2021. A total of 61 macrobenthos species were collected, among which annelids accounted for the most (47.54%). The biomass of macrobenthos in each reef area was higher than that in the control area, and the conservation effect of macrobenthos resources in the old reef area was the best, and the average biomass was 4.19 times that of the control area. The Shannon-Wiener index  $H'$  and richness index  $d$  of each reef region were higher than those of the control region, and the long reef age region was higher than the short reef age region. The ABC curve shows that the stability of the community in the long-aged reefs is better than that in the short-aged reefs. There are different dominant species in each artificial reef area, but polychaetes are the dominant species in all artificial reef areas. Reef survey sites were roughly divided into 3 groups by cluster analysis and non-metric multidimensional scale ranking (NMDS). Similarity analysis test (ANOSIM) showed that there were significant differences in community structure among reefs ( $R = 0.651$ ,  $p < 0.01$ ). The results of SIMPER (percentage of similarity analysis) show that the average percentage of dissimilarity in each reef interval is above 77%. The results show that the artificial reef habitat plays a certain role in the conservation of macrobenthos, and the macrobenthos community varies in different reef regions. This study can provide basic data and basis for the evaluation of artificial reef construction.

**Key words:** macrobenthos; artificial reefs; community structure; Yellow Sea and Bohai Sea