

文章编号: 1000-0615(2019)09-1937-15

DOI: 10.11964/jfc.20190411761

马鞍列岛人工鱼礁区鱼卵与仔稚鱼的群落结构

印 瑞^{1,2}, 蒋日进^{1,2*}, 毕远新², 张琳琳^{1,2}, 樊紫薇^{1,2},
陈 磊³, 隋宥珍², 王士聪¹

(1. 浙江海洋大学海洋与渔业研究所, 浙江 舟山 316021;

2. 浙江省海洋水产研究所, 农业农村部重点渔场渔业资源科学观测实验站,
浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室, 浙江 舟山 316021;

3. 浙江大学舟山海洋研究中心, 浙江 舟山 316021)

摘要: 为了解人工鱼礁投放对鱼卵和仔稚鱼分布的影响, 于2018年1月(冬季)、4月(春季)、7月(夏季)和10月(秋季)利用大型浮游生物网在马鞍列岛海洋牧场开展了4个航次的水平拖网调查。根据鱼卵、仔稚鱼的种类组成、数量分布等群落结构特征, 对投礁区和未投礁区鱼卵、仔稚鱼的资源分布进行研究。结果显示, 2018年在马鞍列岛海洋牧场共采集鱼卵5 642粒、仔稚鱼1 013尾, 隶属于10目21科49种。鱼卵优势种为龙头鱼、短吻红舌鲷和小黄鱼; 仔稚鱼的优势种为褐菖鲉、花鲈和小公鱼属未定种。投礁区和未投礁区鱼卵仔稚鱼的优势种种类组成基本一致, 但是群落结构差异显著, 投礁区各个季节的多样性指数、丰富度指数及均匀度指数均高于未投礁区, 与未投礁区差异显著, 且春季投礁区的生物多样性最高。聚类分析显示, 春季鱼卵、仔稚鱼群落结构最为稳定, 冬季群落结构最简单, 夏、秋两季相似度较高, 群落结构更复杂。研究表明, 马鞍列岛海洋牧场人工鱼礁的投放对鱼卵、仔稚鱼具有一定的聚集和庇护作用, 温度(T)、盐度(S)、水体浑浊度(Turb.)等海洋物理环境因子对鱼卵、仔稚鱼分布影响显著。

关键词: 海洋牧场; 人工鱼礁; 鱼卵; 仔稚鱼; 群落结构; 马鞍列岛

中图分类号: S 931

文献标志码: A

海洋牧场是基于海洋生态学原理和现代海洋工程技术, 充分利用自然生产力, 在特定海域科学培育和管理渔业资源而形成的人工渔场^[1], 可促进当地养殖业的发展, 并营造适于鱼类的生态环境, 改善海域的渔业资源状况, 是海洋牧业发展的高级形态^[1-3]。马鞍列岛海洋牧场位于舟山群岛的最北端, 海域内岛屿众多, 受江浙沿岸流、台湾暖流以及长江冲淡水作用的影响, 形成了典型的岛礁生态系统类型^[4], 鱼类群落组成受鱼类季节性洄游影响较为明显^[5]。马鞍列岛海洋牧场的建设, 为该海域海洋生物提供了良好的栖息地和产卵场, 为舟山渔场渔业资

源的生态修复和保护研究奠定了坚实的基础^[6]。

20世纪中后期以来, 我国近海因过度的人为干扰活动, 导致生态环境的退化以及渔业资源的衰减^[2], 为修复马鞍列岛海域的渔业资源, 浙江嵊泗于2004年便开始了马鞍列岛海洋牧场的建设^[7-8]。人工鱼礁具有修复和优化近海海洋生物的栖息生态环境的作用, 从而改善海洋渔业结构, 增加海洋渔业资源, 是我国恢复渔业生态资源的重要途径之一^[3, 6]。目前, 对人工鱼礁的研究主要集中在投放海域水质^[8-9]、底栖生物^[10]、浮游动物^[11]和浮游植物^[12]等方面, 对马鞍列岛海洋牧场鱼卵、仔稚鱼丰度分布的研究未曾有过报道。

收稿日期: 2019-04-26 修回日期: 2019-06-27

资助项目: 国家重点研发计划(2018YFD0900904, 2017YFA0604904); 浙江省重点研发计划(2019C02056); 浙江省科技计划(2017F50015)

通信作者: 蒋日进, E-mail: jiangridge@163.com

鱼卵、仔稚鱼是海洋生物群落的重要组成部分,作为鱼类资源的补充群体,其丰度直接影响了鱼类种群的补充量,是渔业生物资源可持续利用的基础^[13-15];也是海洋鱼类补充机制研究的科学基础^[16-17]。因此,对鱼卵、仔稚鱼的调查研究具有非常重要的现实意义,也是评价人工鱼礁生态修复效果的重要指标之一^[18]。本研究以2018年马鞍列岛海洋牧场鱼卵、仔稚鱼的群落结构特征为基础,配合环境因子的调查,探讨该海域投礁区与未投礁区鱼卵、仔稚鱼季节变动规律及与环境因子的关系,以为马鞍列岛海洋牧场的渔业资源修复和生态环境保护提供基础资料和理论依据^[19]。

1 材料与方法

1.1 调查航次和站位分布

分别于2018年1月(冬季)、4月(春季)、7月(夏季)和10月(秋季)租用渔业生产船只,在马鞍列岛海洋牧场进行了4个航次的拖网调查,调查站位分布如图1所示。依据马鞍列岛海洋牧场人工鱼礁的投放时间及投放地点^[11],共设置了12个站位,分为投礁区和未投礁区,其中投礁区分别为2010年三横山投礁核心区(DK、SSH、XSH)和2016年三横山、枸杞岛、嵛山投礁核心区(SH1、GQ1、SS1),未投礁区分别为距2016年投礁区外边缘100 m海区(SH2、GQ2、SS2)和距2016年投礁区外边缘500 m海区(SH3、GQ3、SS3)。

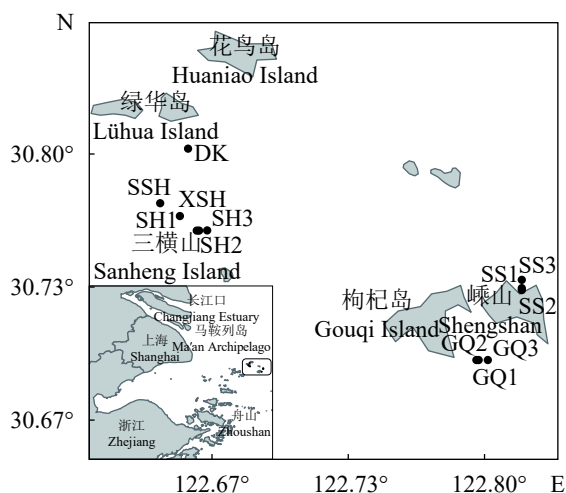


图1 马鞍列岛调查站位

Fig. 1 Sampling sites in Ma'an Archipelago

1.2 样品的采集与处理

鱼卵、仔稚鱼样品采集及分析均根据《海洋生物生态调查技术规程》^[20]进行。采用口径80 cm、长280 cm的大型浮游生物网,在海域表层水平拖网10 min,拖速2 kn,网口系流量计以计算滤水量。样品用无水乙醇固定保存并带回实验室,将鱼卵、仔稚鱼标本分拣出后^[21],在解剖镜下根据鱼卵、仔稚鱼的形态特征进行种类鉴定和计数,种类尽可能鉴定到最低分类等级,并对仔稚鱼的发育阶段进行分析判断。

1.3 数据分析

优势度计算 利用相对重要性指数IRI (index of relative importance)对鱼卵和仔稚鱼的优势种进行计算:

$$IRI = N\% \times F\% \times 10\,000$$

式中, $N\%$ 为某一种鱼卵或仔稚鱼丰度占总丰度的百分比; $F\%$ 为某一种鱼卵或仔稚鱼出现的站位数占总调查站位的百分比。定义 $IRI > 1\,000$ 为优势种, $100 < IRI < 1\,000$ 为重要种^[17]。

群落结构分析 利用Primer 5.0软件对马鞍列岛海洋牧场全年鱼卵、仔稚鱼4次方根转换后的丰度数据进行聚类 and NMDS排序分析,对鱼卵、仔稚鱼群落结构进行划分。通过ANOSIM检验不同空间分布下群落结构的差异性,通过SIMPER分析,了解不同空间群落的代表种与分歧种^[19]。

群落多样性分析 利用Primer 5.0软件包中的Margalef种类丰富度指数(D)、Shannon-Wiener多样性指数(H')、Pielou均匀度指数(J')研究马鞍列岛海洋牧场鱼卵、仔稚鱼的物种多样性^[22-23]:

$$D = (S - 1) / \ln N$$

$$H' = - \sum_{i=1}^S (n_i/N) \ln (n_i/N)$$

$$J' = H' / \ln S$$

式中, S 为种类数; N 为总个体数; n_i 为第 i 种个体数占总个体数的比例。

环境因子相关性分析 利用SPSS 17.0将全年采集到的鱼卵、仔稚鱼丰度与调查海域的温度(T)、盐度(S)、浊度($Turb.$)等物理环境因子进行Pearson相关性分析。再利用Canoco 5.0对鱼卵、仔稚鱼丰度与环境因子之间的关系进行

分析及绘制排序图, 以显示不同环境因子对鱼卵、仔稚鱼分布的影响^[9]。

2 结果

2.1 种类组成

2018年马鞍列岛海洋牧场调查共采集鱼卵5 642粒、仔稚鱼1 013尾, 其中在投礁区采集到鱼卵3 362粒、仔稚鱼676尾, 在未投礁区采集到鱼卵2 280粒、仔稚鱼337尾。经鉴定2区种类共49种, 隶属于10目21科, 其中鱼卵20种隶属于6目9科, 仔稚鱼41种隶属于9目18科。鲈形目(Perciformes)种类最多, 为7科17种; 灯笼鱼目(Myctophiformes)次之, 为2科7种; 其余各目种类均少于5种。

马鞍列岛海洋牧场鱼卵仔稚鱼的种类季节交替明显(表1), 各季全部种类数自春季起依次逐渐减少, 未曾发现四季均出现的种类, 且鱼卵与仔稚鱼种类及其种类数的季节变化不同(图2)。全年共采集鱼卵21种, 春季为6种, 种类数偏少; 夏季为14种, 种类数最多; 秋季为8种, 稍高于春季; 冬季为2种, 种类数最少。仔稚鱼共采集到41种, 春季共17种, 种类数最多; 夏季为10种, 种类数偏少; 秋季有14种, 稍高于夏季; 冬季为7种, 种类数最少。

其中, 在投礁区海域共发现20种鱼卵, 27种仔稚鱼; 在未投礁区海域仅发现16种鱼卵, 23种仔稚鱼; 两海域间均有发现的鱼卵有11种, 仔稚鱼有14种, 投礁区海域与未投礁区海域种类组成存在差异, 其中春季与冬季的种类组成相似, 夏季与秋季的种类组成相似。

2.2 优势种与重要种的礁区变化

根据相对重要性指数(IRI), 马鞍列岛海洋牧场鱼卵的全年优势种为龙头鱼, 其丰度占鱼卵总丰度的52.64%。春季鱼卵的优势种为小黄鱼, 占春季鱼卵总丰度的62.91%; 重要种为黄鱼属未定种和鲷科未定种1等。夏季鱼卵的第一优势种为龙头鱼, 占夏季总丰度的45.35%, 第二优势种为短吻红舌鲷, 占总丰度的24.55%; 重要种为鲷属未定种和灯笼鱼目未定种5。秋季的绝对优势种为龙头鱼, 占秋季总丰度的92.77%, 重要种为大黄鱼。冬季没有发现优势鱼卵种类, 重要种为大黄鱼。

仔稚鱼的全年优势种为褐菖鲉, 其丰度占

仔稚鱼总丰度的29.90%。春季仔稚鱼的第一优势种为褐菖鲉, 占春季仔稚鱼总丰度的46.19%, 第二优势种为花鲈, 占总丰度的19.83%; 重要种为大黄鱼、小黄鱼和短吻红舌鲷等。夏季没有发现优势仔稚鱼种类, 重要种为小公鱼属和蛇鲻属未定种。秋季的第一优势种为小公鱼属未定种, 占秋季仔稚鱼总丰度的57.65%, 第二优势种为龙头鱼, 占总丰度的11.91%; 没有发现重要种。冬季的绝对优势种为褐菖鲉, 占冬季总丰度的76.22%; 重要种为灯笼鱼目未定种1和鲷科未定种(表2)。

投礁区鱼卵优势种为龙头鱼, 其丰度占投礁区鱼卵总丰度的46.88%; 重要种分别为石首鱼科未定种(19.38%)、短吻红舌鲷(13.96%)和鲷属未定种(6.70%)。仔稚鱼优势种为褐菖鲉, 其丰度占投礁区仔稚鱼总丰度的24.88%; 重要种分别为小公鱼属未定种(21.13%)、花鲈(14.23%)和龙头鱼(5.65%)。

未投礁区鱼卵优势种为龙头鱼, 其丰度占未投礁区鱼卵总丰度的61.80%; 重要种为短吻红舌鲷(30.56%)。仔稚鱼优势种为褐菖鲉, 其丰度占未投礁区仔稚鱼总丰度的32.88%; 重要种分别为小公鱼属未定种(18.77%)、花鲈(8.72%)和小黄鱼(8.32%)。

2.3 季节变化

马鞍列岛海洋牧场海域鱼卵春季的丰度为1.72粒/100 m³; 夏季丰度最高, 为75.50粒/100 m³; 秋季偏低, 为15.82粒/100 m³; 冬季最低, 仅为0.04粒/100 m³。仔稚鱼春季的丰度最高, 为9.56尾/100 m³; 夏季的丰度最低, 为0.62尾/100 m³; 秋季的丰度稍低于春季, 为6.08尾/100 m³; 冬季其次, 为0.91尾/100 m³(图2)。

春季鱼卵在2016年枸杞岛投礁区及其附近500 m以内海域(GQ1、GQ2、GQ3)的平均丰度最高, 为4.14粒/100 m³; 仔稚鱼在2010年三横山投礁区海域(DK、SSH、XSH)的平均丰度最高, 为13.36粒/100 m³, 主要为前弯曲期仔鱼和后弯曲期仔鱼。

夏季鱼卵在2010年三横山投礁区海域(DK、SSH、XSH)的平均丰度最高, 为166.61粒/100 m³; 仔稚鱼在2010年三横山投礁区海域的平均丰度最高, 为1.68粒/100 m³; 主要为弯曲期仔鱼和后弯曲期仔鱼, 未采集到稚鱼。

表 1 2018年马列群岛海洋牧场鱼卵与仔稚鱼的种类组成

Tab. 1 Species composition of fish eggs and larvae of marine ranch in Ma'an Archipelago in 2018

种类 species	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	投礁区 reef areas	未投礁区 natural areas	编号 no.
鲱形目 Clupeiformes							
鳀科 Engraulidae							
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>		+			+		1
小公鱼属未定种 <i>Stolephorus</i> sp.		*+	+		*+	*+	2
康氏小公鱼 <i>Stolephorus commersonii</i>			+		+	+	3
中华小公鱼 <i>Stolephorus chinensis</i>			+		+	+	4
赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>	+					+	5
鲑形目 Salmoniformes							
银鱼科 Salangidae							
大银鱼属未定种 <i>Protosalanx</i> sp.	+			+	+		6
灯笼鱼目 Myctophiformes							
狗母鱼科 Synodontidae							
蛇鲛属未定种 <i>Saurida</i> sp.		+			+		7
龙头鱼 <i>Harpodonle sueur</i>		*	*+	+	*+	*+	8
灯笼鱼目未定种1 <i>Myctophiformes</i> sp.1				+		+	9
灯笼鱼目未定种2 <i>Myctophiformes</i> sp.2	+			+	+	+	10
灯笼鱼目未定种3 <i>Myctophiformes</i> sp.3	*				*	*	11
灯笼鱼目未定种4 <i>Myctophiformes</i> sp.4	+					+	12
灯笼鱼目未定种5 <i>Myctophiformes</i> sp.5		*			*		13
鳗鲡目 Anguilliformes							
海鳗科 Muraenidae							
蛇鳗属未定种 <i>Ophichthus</i> sp.			+		+		14
银汉鱼目 Atheriniformes							
银汉鱼科 Atherinidae							
银汉鱼属未定种 <i>Allanetta</i> sp.			+		+		15
鲷形目 Ophidiiformes							
魮鲷科 Ophidiidae							
双线魮鲷 <i>Dinematichthys ilucoeteoides</i>			*			*	16
鲷形目 Mugiliformes							
鲷科 Mugilidae							
鲷 <i>Mugil cephalus</i>		+				+	17
鲃 <i>Liza haematocheilus</i>		+				+	18
鲈形目 Perciformes							
鲈科 Serranidae							
花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>	+				+	+	19

· 续表1 ·

种类 species	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	投礁区 reef areas	未投礁区 natural areas	编号 no.
天竺鲷科 Apogonidae							
细条天竺鲷 <i>Apogonichthys lineatus</i>			+		+		20
石首鱼科 Sciaenidae							
棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>		*			*		21
黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>		*+			*+		22
大黄鱼 <i>Larimichthys croceus</i>	+		*+	*	*+	*+	23
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	*+				*+	*+	24
黄鱼属未定种 <i>Larimichthys</i> sp.	*				*		25
石首鱼科未定种 Sciaenidae sp.	*	*+			*	*+	26
鳎科 Leiognathidae							
鳎属未定种 <i>Leiognathus</i> sp.		*	*		*	*	27
鲷科 Theraponidae							
细鳞鲷 <i>Terapon jarbua</i>		+			+		28
鲷科 Callionymidae							
鲷属未定种 <i>Callionymus</i> sp.	+				+		29
带鱼科 Trichiuridae							
小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>		*	*		*	*	30
带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>		*	+			*+	31
虾虎鱼科 Gobiidae							
六丝钝尾虾虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	+	+			+	+	32
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	+	+	+		+	+	33
髯须虾虎鱼 <i>Tridentiger barbatus</i>			+		+		34
虾虎鱼科未定种 Gobiidae sp.	+				+		35
鲉形目 Scorpaeniformes							
鲉科 Scorpaenidae							
褐菖鲉 <i>Sebastiscus marmoratus</i>	+			+	+	+	36
鲉科未定种 Scorpaenidae sp.	+			+	+	+	37
六线鱼科 Hexagrammidae							
六线鱼科未定种 Hexagrammidae sp.	+			+	+		38
斑头六线鱼 <i>Agrammus agrammus</i>	+					+	39
狮子鱼科 Liparidae							
狮子鱼属未定种 <i>Liparis</i> sp.	+				+	+	40
鲽形目 Pleuronectiformes							
鲽科 Pleuronectidae							
鲽科未定种 Pleuronectidae sp.		*			*		41
鲷科 Soleidae							

· 续表1 ·

种类 species	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	投礁区 reef areas	未投礁区 natural areas	编号 no.
鲷科未定种1 Soleidae sp.1	*				*	*	42
鲷科未定种2 Soleidae sp.2	*				*		43
舌鳎科 Cynoglossidae							
短吻红舌鳎 <i>Cynoglossus joyneri</i>	+	*			*+	*+	44
舌鳎科未定种 Cynoglossidae sp.			+			+	45
未定种 unidentified species							
Gen. sp. 1		+			+		46
Gen. sp. 2		*			*		47
Gen. sp. 3		*			*	*	48
Gen. sp. 4				*		*	49

注: * 鱼卵; + 仔稚鱼
Notes: * fish eggs, + fish larvae

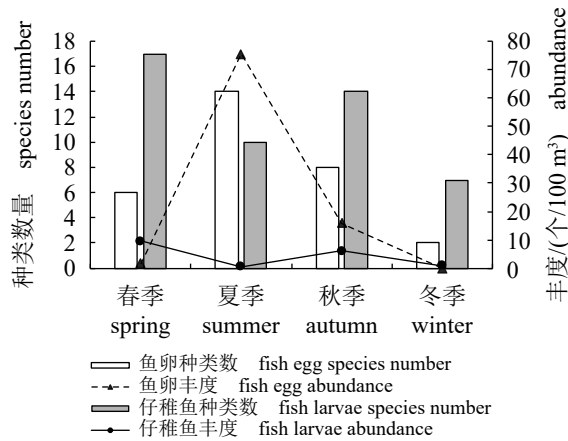


图2 马鞍列岛海洋牧场鱼卵与仔稚鱼丰度及种类数量

Fig. 2 Abundance and species number of fish eggs and larvae of marine ranch in Ma'an Archipelago

秋季鱼卵在2016年嵎山投礁区及其附近500 m以内海域(SS1、SS2、SS3)的平均丰度最高,为32.79粒/100 m³;仔稚鱼在2010年三横山投礁区海域的平均丰度最高,为8.77粒/100 m³,主要为弯曲期和后弯曲期仔鱼,捕获到部分稚鱼,未捕获到前弯曲期仔鱼。

冬季鱼卵在距礁区外缘100 m海域(GQ2、SS2)的平均丰度最高,为0.16粒/100 m³,在其他海域未被采集到;仔稚鱼在所有2016年投礁区海域(SH1、GQ1、SS1)的平均丰度最高,为1.32粒/100 m³,主要为前弯曲期仔鱼。

2.4 时空分布

马鞍列岛海洋牧场鱼卵在投礁区的平均丰度为30.95粒/100 m³,在未投礁区的平均丰度为

18.66粒/100 m³,为投礁区的60.3%,差异显著(P<0.05)。春季投礁区鱼卵的丰度略高于未投礁区,差异不显著(P>0.05);夏季投礁区的平均丰度最高,是未投礁区的2倍,且2010年投礁区与距礁区外缘100 m海域分布呈显著性差异(P<0.05);秋季未投礁区鱼卵的丰度高于投礁区,为投礁区的1.35倍,2010年投礁区与2016年投礁区的丰度分布呈显著性差异(P<0.05);冬季则仅在距礁区100 m海域处采集到鱼卵,与其他海域呈显著性差异(P<0.05)。

仔稚鱼在投礁区的平均丰度为5.39尾/100 m³,在未投礁区为2.97尾/100 m³,为投礁区的55.1%。春季投礁区仔稚鱼的平均丰度最高,为11.63尾/100 m³,是未投礁海域的1.8倍;距礁区外缘500 m海域的平均丰度最低,为3.90尾/100 m³,不足其他海域的40%,差异显著(P<0.05);仔稚鱼的分布在其他季节各海域差异不显著(P>0.05)(表3)。

2.5 多样性分布

马鞍列岛海洋牧场四季各多样性指数间差异极显著(F=25.506, P<0.01)。春季生物多样性指数最高,其D和H'与其他三季间差异显著(P<0.05),J'与夏季和秋季差异显著(P<0.05),与冬季无明显差异(P>0.05);夏、秋、冬季的D和J'两两间无显著差异(P>0.05);秋季的H'和冬季呈显著性差异(P<0.05)。投礁区和未投礁区的生物多样性指数均在春季最高,且投礁区高于未投礁区;两区生物多样性指数夏、秋、冬季两两间差异不显著(P>0.05),夏季投礁区的生物多

表 2 马鞍列岛海洋牧场全年鱼卵与仔稚鱼优势种与重要种的相对重要性指数

Tab. 2 Index of relative importance (IRI) of dominant and important species of fish eggs and larvae in whole year of marine ranch fish in Ma'an Archipelago

种类 species	鱼卵 fish eggs				仔稚鱼 fish larvae			
	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter
中华小公鱼 <i>Stolephorus hinensis</i>							1 577.55	
小公鱼属未定种 <i>Stolephorus</i> sp.						369.76	3 991.01	
龙头鱼 <i>Harpodonle sueur</i>		3 488.16	9 277.16				1 191.06	
蛇鲻属未定种 <i>Saurida</i> sp.						390.73		
灯笼鱼目未定种1 <i>Myctophiformes</i> sp.1					202.04			363.94
灯笼鱼目未定种3 <i>Myctophiformes</i> sp.3	361.00							
灯笼鱼目未定种5 <i>Myctophiformes</i> sp.5		135.97						
花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>					1 678.13			
大黄鱼 <i>Larimichthys croceus</i>			286.00	370.33	204.05			
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	4 356.28				581.17			
黄鱼属未定种 <i>Larimichthys</i> sp.	168.90							
鳎属未定种 <i>Leiognathus</i> sp.		475.20						
褐菖鲉 <i>Sebastes marmoratus</i>					4 618.86			5 863.08
鲈科未定种 <i>Scorpaenidae</i> sp.								103.63
短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>		1 699.90			158.95			
鲷科未定种1 <i>Soleidae</i> sp.1	539.81							
鲷科未定种2 <i>Soleidae</i> sp.2	270.88							

表 3 马鞍列岛各海区鱼卵与仔稚鱼丰度的季节变化

Tab. 3 Seasonal variation of abundance of fish eggs and larvae in all areas of Ma'an Archipelago

海区 area	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	个/100 m ³							
					春季 spring		夏季 summer		秋季 autumn		冬季 winter	
					鱼卵 fish eggs	仔稚鱼 fish larvae	鱼卵 fish eggs	仔稚鱼 fish larvae	鱼卵 fish eggs	仔稚鱼 fish larvae	鱼卵 fish eggs	仔稚鱼 fish larvae
投礁区 reef areas	2010年投礁区 reef area in 2010	1.42±0.73	13.36±4.50	166.41±67.73	1.69±2.61	6.78±5.89	8.77±4.57	0	0.64±0.48			
	2016年投礁区 reef area in 2016	2.19±1.53	9.89±3.20	50.21±63.56	0.15±0.13	20.55±7.36	7.27±2.30	0	1.32±1.72			
未投礁区 natural areas	距礁区外缘100 m 100 m away from the reef	1.80±2.93	9.15±2.04	40.80±50.67	0.35±0.61	19.67±6.12	3.64±1.53	0.16±0.14	1.17±1.06			
	距礁区外缘500 m 500 m away from the reef	1.76±1.56	3.90±1.72	67.75±72.64	0.35±0.61	17.34±8.89	4.54±2.44	0	0.68±0.76			

注: 表中数值为平均值±标准差, 下同

Notes: the data in the table are mean±SD, the same below

样性指数高于未投礁区, 秋季投礁区的 D 低于未投礁区, 冬季投礁区的 J 低于未投礁区(表4)。

2.6 群落结构分析

相似性分析(ANOSIM)表明, 春季鱼卵、仔稚鱼群落在50%的相似性水平上可分为A、B两

组(图3-a), 胁强系数表明聚类结果可信(Stress<0.2) (图3-b), 群落结构之间差异极显著($R=0.683$, $P=0.001$)。其中, A组为未投礁海域, 共5个站位, 主要为距2016年投礁区外边缘500 m的海域; B组为投礁海域, 共7个站位, 主要为2010年和2016年在马鞍列岛投礁的核心海域。主要分

表4 马鞍列岛海洋牧场投礁区和未投礁区鱼卵仔稚鱼的多样性指数

Tab. 4 Diversity index of fish eggs and larvae in reef areas and natural areas of marine ranch in Ma'an Archipelago

海区 areas	季节 seasons	丰富度指数 (D) richness index	多样性指数 (H') diversity index	均匀度指数 (J) evenness index
投礁区 reef areas	春季 spring	3.39±0.79	1.64±0.14	0.74±0.08
	夏季 summer	1.39±0.32	0.98±0.14	0.55±0.11
	秋季 autumn	1.46±0.54	0.97±0.13	0.57±0.05
	冬季 winter	1.49±2.89	0.55±0.39	0.67±0.40
未投礁区 natural areas	春季 spring	2.89±0.99	1.25±0.30	0.69±0.13
	夏季 summer	1.03±0.47	0.67±0.19	0.44±0.09
	秋季 autumn	1.59±0.49	0.74±0.14	0.44±0.09
	冬季 winter	0.91±1.27	0.52±0.29	0.69±0.43

歧种为小黄鱼、花鲈和褐菖鲉。

夏季鱼卵、仔稚鱼群落在52%的相似性水平上可分为E、F、G、H四组(图3-c), 胁强系数表明聚类结果具有良好代表性($Stress < 0.1$)(图3-d), 群落结构之间差异极显著($R=0.938$, $P=0.001$)。其中, E组为养殖区海域, 共5个站位, 主要为枸杞岛和嵎山附近的未投礁海域; F组为三横山海域, 共4个站位, 主要为2010年三横山投礁海域和2016年三横山投礁海域; G组共2个站位, 主要为2010年和2016年在三横山的投礁海域(XSH、SH1), 且2站位相近; H组仅一个站位, 为SS1, 站位内种类数比较少, 结构简单。主要分歧种为龙头鱼、短吻红舌鲷和鲷属未定种。

秋季鱼卵、仔稚鱼群落在59%的相似性水平上可分为O、P、Q三组(图3-e), 胁强系数表明聚类结果可信($Stress < 0.2$)(图3-f), 群落结构之间差异极显著($R=0.932$, $P=0.001$)。其中, O组为马鞍列岛南部海域, 共7个站位, 主要为2010年三横山投礁海域和枸杞岛的未投礁海域; Q组为投礁海域, 共4个站位, 主要为2016年三横山和枸杞岛的投礁海域; P组仅有1个站位, 为SS3。龙头鱼、小公鱼属未定种、大黄鱼、小带鱼为组间差异的主要分歧种。

冬季鱼卵仔稚鱼群落在45%的相似性水平上可分为X、Y、Z、W四组(图3-g), 胁强系数表明聚类结果具有良好代表性($Stress < 0.1$)(图3-h), 群落结构之间差异极显著($R=0.834$, $P=0.003$)。其

中X组5个站位, 主要为2010年三横山投礁海域和未投礁海域; Y组为投礁海域, 共3个站位, 主要为2016年在三横山和枸杞岛的投礁海域; Z组仅有1个站位, 为SS2; W组仅有1个站位, 为XSH。主要分歧种为褐菖鲉、灯笼鱼目未定种1、龙头鱼和六线鱼科未定种仔稚鱼。

对马鞍列岛海洋牧场鱼卵的优势种和重要种进行聚类分析, 结果显示, 在10%的相似性指数水平上, 可将该海域内鱼卵的优势种和重要种划分为4个类群, ANOSIM分析表明4个类群间差异显著($R=0.714$, $P < 0.05$)。其中, 群落I包括小带鱼、大黄鱼和鲷属未定种3种, 群落II包含石首鱼科、龙头鱼和小公鱼属等5种, 群落III为带鱼, 群落IV为鲷科未定种1(图4-a)。

对马鞍列岛海洋牧场仔稚鱼的优势种和重要种进行CLUSTER聚类分析, 结果显示, 在20%的相似性指数水平上, 可将此海域内仔稚鱼的优势种和重要种划分为2个类群, ANOSIM分析表明2个类群间存在极显著差异($R=0.919$, $P < 0.01$)。其中, 群落I为中上层鱼类, 包括小公鱼属和龙头鱼等5种, 其中多为优势种类; 群落II为底层鱼类, 包括大黄鱼、花鲈、褐菖鲉等9种, 且其中大多为重要种类(图4-b)。

2.7 群落结构与环境因子的关系

Pearson相关性分析表明, 春季鱼卵丰度与底盐(BSS)呈极显著负相关性($P < 0.01$), 与pH呈显著正相关性($P < 0.05$); 仔稚鱼丰度与Turb.呈显著正相关性($P < 0.05$), 与叶绿素a(Chl.a)和亚硝氮(Ni)呈极显著正相关性($P < 0.01$)。夏季鱼卵丰度与底温(BST)呈极显著正相关性($P < 0.01$), 与表盐(SSS)、BSS和pH呈极显著负相关性($P < 0.01$); 仔稚鱼丰度与BSS呈显著负相关性($P < 0.05$)。秋季鱼卵丰度与Turb.、Chl.a和亚硝氮(Ni)呈极显著负相关性($P < 0.01$), 与溶解氧(DO)呈显著正相关性($P < 0.05$); 仔稚鱼丰度与BSS呈显著正相关性($P < 0.05$)。冬季鱼卵与仔稚鱼丰度不与任何已测环境因子呈显著相关性($P > 0.05$)(表5)。

RDA分析显示, T和S与龙头鱼、鲷属等优势鱼卵的分布具有显著正相关性, Chl.a的含量和Turb.与石首鱼科、小带鱼等中底层鱼类鱼卵的分布具有显著负相关性(图5-a)。DO与褐菖鲉、花鲈等优势仔稚鱼的分布具有显著正相关性, Chl.a和Turb.与虾虎鱼等底层鱼类的仔稚鱼的分布具有显著正相关性, T与带鱼、中华小公鱼等

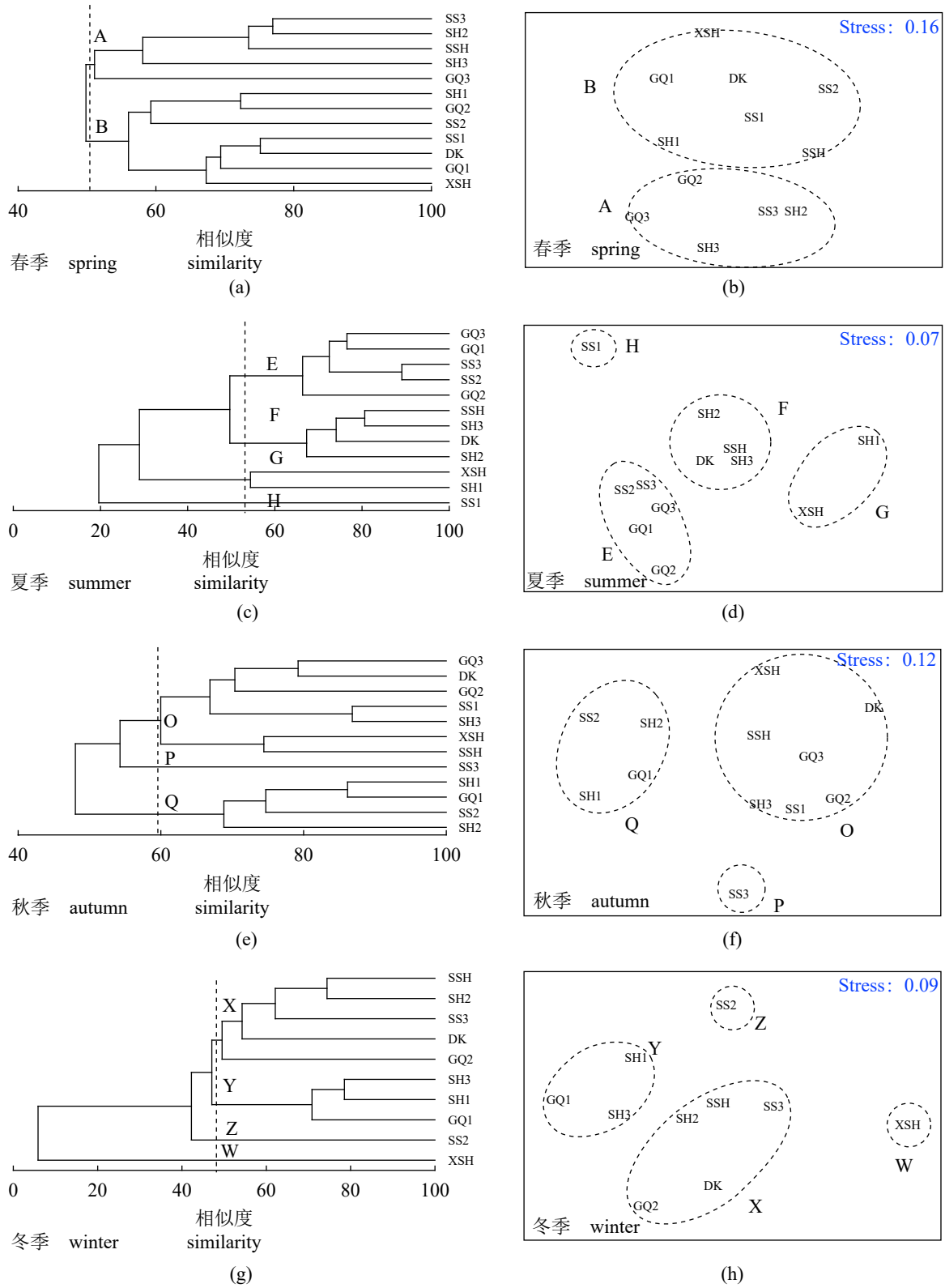


图 3 马鞍列岛海洋牧场鱼卵、仔稚鱼群落结构季节变化聚类图和NMDS排序图

Fig. 3 Seasonal variation cluster diagram and NMDS ranking chart of community structure of fish eggs and fish larvae of marine ranch in Ma'an Archipelago

中底层仔稚鱼的分布具有显著负相关性(图5-b)。可见T、S、Turb.等海洋环境因子对马鞍列

岛海洋牧场鱼卵、仔稚鱼的数量分布具有重要影响。

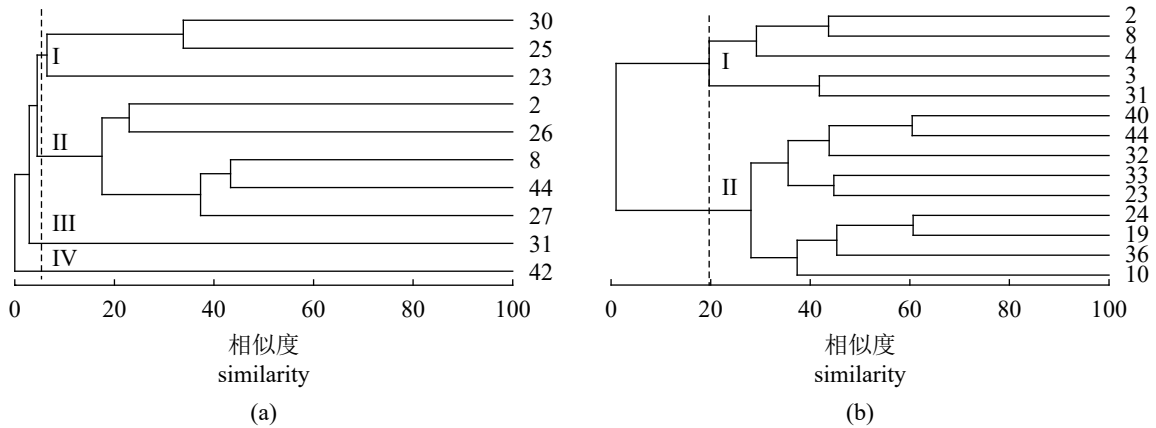


图 4 马鞍列岛海洋牧场鱼卵(a)与仔稚鱼(b)种类聚类图

图中编号对应的种类名称见表 1

Fig. 4 Chart of species clustering of fish eggs (a) and larvae (b) of marine ranch in Ma'an Archipelago

The species names corresponding to the numbers in the figure are shown in Tab. 1

表 5 马鞍列岛海洋牧场鱼卵、仔稚鱼丰度与环境因子的 Pearson 相关性系数

Tab. 5 Pearson correlation coefficient between the abundance of fish eggs and fish larvae and environmental factors of marine ranch in Ma'an Archipelago

环境因子 environment factors	春季 spring		夏季 summer		秋季 autumn		冬季 winter	
	鱼卵 fish eggs	仔稚鱼 fish larvae	鱼卵 fish eggs	仔稚鱼 fish larvae	鱼卵 fish eggs	仔稚鱼 fish larvae	鱼卵 fish eggs	仔稚鱼 fish larvae
SST	-0.440	-0.545	0.030	0.151	0.552	-0.299	-0.022	0.121
BST	0	0.341	0.773**	0.527	0.394	-0.409	0.230	-0.200
SSS	0.521	0.227	-0.816**	-0.535	0.397	-0.500	-0.081	0.146
BSS	-0.739**	-0.036	-0.769**	-0.630*	0.130	0.578*	0.227	0.290
DO	-0.130	-0.395	-0.520	-0.243	0.562*	0.295	0.172	-0.188
Turb.	0.167	0.672*	0.045	-0.153	-0.817**	0.177	-0.019	0.430
Chl.a	0.200	0.692**	-0.061	-0.248	-0.822**	0.140	-0.201	0.489
pH	0.598*	0.205	-0.630*	-0.347	0.217	0.306	0.040	0.024
Ni	-0.027	0.807**	0.182	0.450	-0.554*	0.179	0.034	-0.333

注: * 相关性显著 ($P < 0.05$), ** 相关性极显著 ($P < 0.01$)

Notes: *. significant correlation ($P < 0.05$), **. extremely significant correlation ($P < 0.01$)

3 讨论

3.1 马鞍列岛海洋牧场鱼卵、仔稚鱼群落结构

2009年汪振华等^[24]对马鞍列岛岩礁生境鱼类的群落结构进行了调查研究,共发现87种鱼类,其中褐菖鲉为绝对优势种。本次调查中,共采集到鱼卵、仔稚鱼49种,远少于在2009年采集到的成鱼种类数;此外,全年优势种变为龙头鱼,褐菖鲉仅在春季与冬季为优势种。鱼类种类数降低可能是由于本次调查只采用了水平拖网的调查方式,也可能是因为调查站位的设置

存在差异。鱼卵在夏、秋季的丰度最高,仔稚鱼在春、秋季的丰度最高,而仔稚鱼的平均丰度为鱼卵的16.9%。同时,研究发现采集的鱼卵中部分为死卵,可能与鱼卵的孵化率有关,这对仔稚鱼的平均丰度有一定的影响。

2016年韩旭东等^[4]调查发现,龙头鱼、带鱼、小黄鱼等是该海域鱼类群落的主要优势种,与本研究中的鱼卵仔稚鱼群落优势种基本一致,其中鱼卵主要优势种为龙头鱼、小黄鱼和短吻红舌鲷,仔稚鱼的主要优势种为褐菖鲉、花鲈和小公鱼(表2)。各季节优势种的丰度

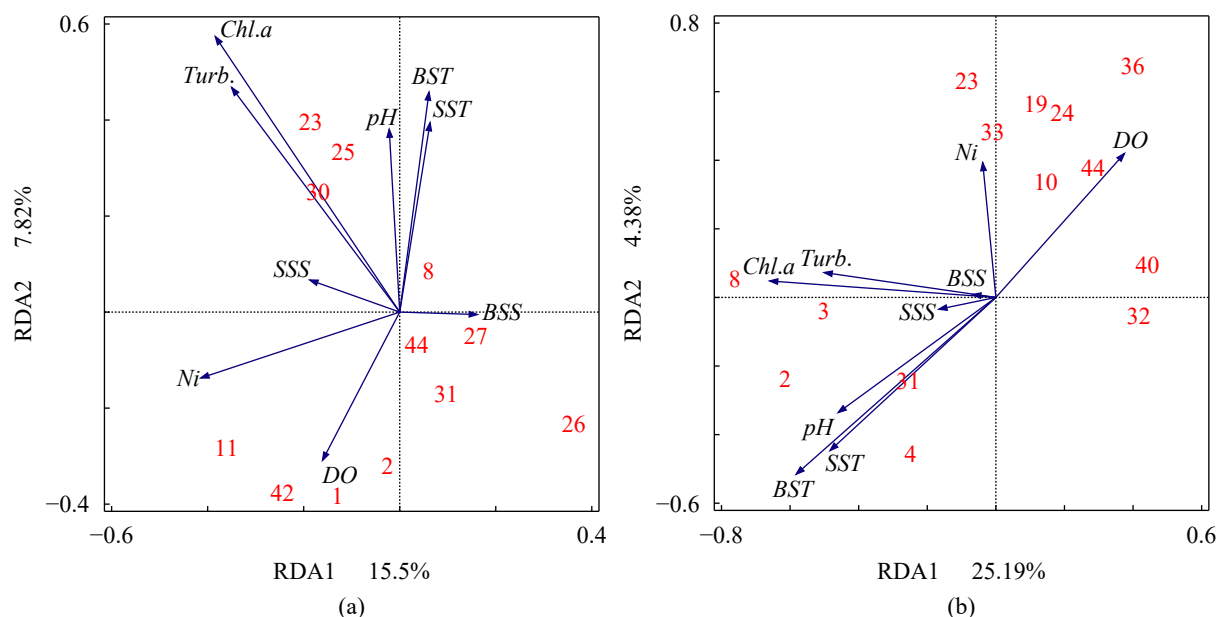


图 5 2018年马鞍列岛海洋牧场海域鱼卵(a)、仔稚鱼(b)和环境因子之间的关系

图中编号对应的种类名称见表1

Fig. 5 Relationship between fish eggs (a)/larvae (b) and environmental factors of marine ranch in Ma'an Archipelago in 2018

The species names corresponding to the numbers in the figure are shown in Tab. 1

占比皆超过70%，其中秋季超过了80%。这表明目前马鞍列岛海洋牧场鱼类鱼卵、仔稚鱼群落结构相对简单，优势种组成单一。

3.2 人工鱼礁投放对群落结构特征的影响

舟山渔场的传统经济鱼类如带鱼、大黄鱼和小黄鱼的鱼卵和仔稚鱼在本次调查中均有发现。其中，小黄鱼出现在春季，其鱼卵为优势种，仔稚鱼为重要种，占春季总采集量的17.48%，鱼卵在投礁区与未投礁区均被采集到，而仔稚鱼多出现在未投礁区；大黄鱼春、秋和冬季都有出现，其鱼卵在秋季为重要种，仔稚鱼在春季为重要种，在各季节的采集率均大于2%，其鱼卵多出现在未投礁区，仔稚鱼多出现在投礁区；小带鱼和带鱼出现在夏、秋季，而小带鱼为常见种，带鱼为少见种，在各季的采集率均小于1%，其鱼卵、仔稚鱼多出现在未投礁区。大黄鱼、小黄鱼、带鱼等重要经济鱼类的鱼卵、仔稚鱼的分布表明马鞍列岛海洋牧场是适宜的产卵场与育幼场，小黄鱼主要在春季产卵，大黄鱼主要在春、秋季产卵，带鱼和小带鱼主要在夏、秋季产卵。

以往研究认为人工鱼礁的投放会改变周围

海域的环境，从而影响生物的分布^[1-3]，本研究发现在投礁区鱼卵与仔稚鱼的平均丰度均高于未投礁区，差异极显著($P < 0.01$)。其中，鱼卵在夏季投礁区平均丰度最高，仔稚鱼在春季投礁区的平均丰度最高(表3)，与未投礁区鱼卵、仔稚鱼的平均丰度差异显著($P < 0.05$)。关于种类组成及数量分布，本研究发现投礁区和未投礁区的鱼卵、仔稚鱼优势种类组成基本一致，这可能与未投礁区与投礁区的距离偏近有关；但由于仔稚鱼较鱼卵具有一定的游泳能力，人工鱼礁作用于仔稚鱼的效果较鱼卵显著。

生物多样性指数与物种种类数、个体数量等的分布程度密切相关，可在一定程度上反映鱼卵与仔稚鱼物种的多样性以及分布的均匀性^[9,25]。马鞍列岛海洋牧场四季间投礁区和未投礁区海域间群落结构差异显著($P < 0.05$)，形成差异的主要分歧种为龙头鱼、褐菖鲉、小黄鱼等优势种。投礁区的多样性指数、丰富度指数及均匀度指数均高于未投礁区，投礁区的优势种种类数也均高于未投礁区(表4)。其中，春季投礁区和未投礁区的多样性指数、丰富度指数及均匀度均最高，与其余三季间差异显著($P < 0.05$)，其余三个季节投礁区和未投礁区的生物多样性指

数无明显差异($P>0.05$), 但有相同的季节变化趋势, 说明马鞍列岛海洋牧场鱼卵、仔稚鱼的群落结构在春季更加复杂。

3.3 环境因子对群落分布的影响

鱼卵生命脆弱不具备活动能力, 生活方式基本为随波逐流, 依赖于海水环境孵化^[26], 其丰度分布与温度、盐度等海洋物理环境因子密切相关^[27]。冗余分析结果表明, 影响马鞍列岛海洋牧场鱼卵群落分布的主要环境因子为温度、盐度、浑浊度和叶绿素。仔稚鱼拥有微弱的巡游性游泳能力^[28], 且开始拥有捕食能力, 仔稚鱼的丰度分布不仅与海洋物理环境因子密切相关, 还与饵料生物的分布有一定的相关性, 遇到合适的饵料生物分布区域, 会减慢其巡游速度并滞留^[29]。影响马鞍列岛海洋牧场仔稚鱼群落丰度及分布的环境因子主要为温度、盐度、叶绿素、水体浑浊度和溶解氧, 在不同季节主要影响因子各不相同(表5)。

温度和盐度是海洋中重要的物理环境因子, 对鱼卵仔稚鱼的发育、存活和分布有重要的影响^[30]。马鞍列岛海洋牧场四季分明, 海水在经过垂直混合作用后, 自冬季过后温度逐渐升高, 适宜鱼类产卵, 因此春夏季鱼卵、仔稚鱼的丰度最高^[31]。

叶绿素、水体浑浊度和溶解氧等是受浮游植物丰度影响的重要海洋物理环境因子^[32], 本研究中发现虾虎鱼、舌鳎、小黄鱼等底层鱼类受此环境因子作用显著($P<0.05$)。王亮根等^[25]在大亚湾调查时发现, 鱼卵、仔稚鱼群落的丰度与浮游植物群落的丰度相关, 这表明鱼卵、仔稚鱼的生长受食物网中浮游植物等初级生产者的影响。

人工鱼礁对海域生态环境的改善具有极大的促进作用, 且其对再生生产力具有较大的影响力, 可增加生物多样性指数^[8, 33-34], 综合分析表明人工鱼礁的投放对鱼卵、仔稚鱼种类的分布具有一定的聚集和庇护作用。但人工鱼礁投放对提高礁区内鱼类群落的稳定性不具备快速性作用^[15], 因此, 海洋牧场的建设是一个长期渐进的过程, 为了修复海域生态环境, 一方面需进一步扩大投礁规模, 另一方面需做好对鱼礁区的保护。

感谢浙江省海洋水产研究所的张亚洲、徐开

达、王伟定等老师对本研究调查的支持, 感谢浙江海洋大学许永久老师对本研究的数据处理提供技术支持。

参考文献:

- [1] 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 H S. Construction of marine ranching in China: reviews and prospects[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(7): 1133-1140(in Chinese).
- [2] 陈永茂, 李晓娟, 傅恩波. 中国未来的渔业模式——建设海洋牧场[J]. 资源开发与市场, 2000, 16(2): 78-79.
Chen Y M, Li X J, Fu E B. The future pattern of fishery in China—constructing oceanic ranch[J]. Resource Development and Market, 2000, 16(2): 78-79(in Chinese).
- [3] 张虎, 朱孔文, 汤建华. 海州湾人工鱼礁养护资源效果初探[J]. 海洋渔业, 2005, 27(1): 38-43.
Zhang H, Zhu K W, Tang J H. The effect of fishery resource enhancement in the artificial reef area in the Haizhou Gulf[J]. Marine Fisheries, 2005, 27(1): 38-43(in Chinese).
- [4] 韩旭东, 章守宇, 汪振华, 等. 马鞍列岛及其东部海域鱼类群落格局与环境因子之间的关系[J]. 水产学报, 2019, 43(6): 1483-1497.
Han X D, Zhang S Y, Wang Z H, et al. Fish community structure and its relationship with environmental factors in the Ma'an Archipelago and its eastern waters[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(6): 1483-1497(in Chinese).
- [5] 俞存根, 陈全震, 陈小庆, 等. 舟山渔场及邻近海域鱼类种类组成和数量分布[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(3): 410-417.
Yu C G, Chen Q Z, Chen X Q, et al. Species composition and quantitative distribution of fish in the Zhoushan fishing ground and its adjacent waters[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2010, 41(3): 410-417(in Chinese).
- [6] 王凯, 李朝文, 汪振华, 等. 马鞍列岛海洋牧场褐菖鲉的摄食习性[J]. 应用生态学报, 2017, 28(7): 2321-2326.
Wang K, Li C W, Wang Z H, et al. Feeding habits of the marbled rockfish *Sebastes marmoratus* in the marine ranching off Ma'an Archipela, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(7): 2321-2326(in Chinese).

- Chinese).
- [7] 尹增强, 章守宇, 汪振华, 等. 浙江嵊泗人工鱼礁区小黄鱼生长特征与资源合理利用的初步研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(3): 588-594.
- Yin Z Q, Zhang S Y, Wang Z H, *et al.* Growth variation and rational utilization of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in artificial reef areas of Shengsi, Zhejiang Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(3): 588-594(in Chinese).
- [8] 王伟定, 梁君, 章守宇. 人工鱼礁建设对浙江嵊泗海域营养盐与水质的影响[J]. 水生生物学报, 2010, 34(1): 78-87.
- Wang W D, Ling J, Zhang S Y. Influence of artificial reef construction on nutrition and water quality in off-shore area of Shengsi, Zhejiang[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2010, 34(1): 78-87(in Chinese).
- [9] 谢斌, 张硕, 李莉, 等. 海州湾海洋牧场浮游植物群落结构特征及其与水质参数的关系[J]. 环境科学学报, 2017, 37(1): 121-129.
- Xie B, Zhang S, Li L, *et al.* Community structure of phytoplankton in the sea farming of Haizhou Bay and its relationships with environmental factors[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2017, 37(1): 121-129(in Chinese).
- [10] 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 B B, Yuan W, Sun J Q, *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(in Chinese).
- [11] 张硕, 施斌杰, 谢斌, 等. 连云港海州湾海洋牧场浮游动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 生态环境学报, 2017, 26(8): 1410-1418.
- Zhang S, Shi B J, Xie B, *et al.* Zooplankton community structure of the sea farming in Haizhou Bay and its relationships with environment factors[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2017, 26(8): 1410-1418(in Chinese).
- [12] 刘懂, 陈晨, 王莉, 等. 象山港海洋牧场示范区浮游植物的群落特征及其与环境因子的关系[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(5): 1024-1032.
- Liu D, Chen C, Wang L, *et al.* Community structure of phytoplankton and the relationship with environmental variables in marine pasture demonstration area in Xiangshan bay[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(5): 1024-1032(in Chinese).
- [13] 赵静, 章守宇, 汪振华, 等. 嵊泗人工鱼礁海域鱼类和大型无脊椎动物群落结构特征[J]. 中国水产科学, 2010, 17(5): 1045-1056.
- Zhao J, Zhang S Y, Wang Z H, *et al.* Analysis on community structure and diversity of fish and macroinvertebrate in Shengsi artificial reef area[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(5): 1045-1056(in Chinese).
- [14] 戴媛媛, 侯纯强, 杨森, 等. 天津海域人工鱼礁区浮游动物群落结构及其与环境因子的相关性研究[J]. 海洋湖沼通报, 2018(5): 163-170.
- Dai Y Y, Hou C Q, Yang S, *et al.* Community structure of zooplankton in artificial reef area of Tianjin seashore and its relationship with environmental factors[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2018(5): 163-170(in Chinese).
- [15] 郭书新, 高东奎, 张秀梅, 等. 青岛崂山青山湾人工鱼礁区及附近海域鱼卵仔稚鱼种类组成与数量分布[J]. 应用生态学报, 2017, 28(6): 1984-1992.
- Guo S X, Gao D K, Zhang X M, *et al.* Species composition and distribution patterns of ichthyoplankton within and outside artificial reefs in Qingshan Bay, Qingdao, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(6): 1984-1992(in Chinese).
- [16] 万瑞景, 姜言伟. 渤、黄海硬骨鱼类鱼卵与仔稚鱼种类组成及其生物学特征[J]. 上海水产大学学报, 2000, 9(4): 290-297.
- Wan R J, Jiang Y W. The species and biological characteristics of the eggs and larvae of osteichthyes in the Bohai Sea and Yellow Sea[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2000, 9(4): 290-297(in Chinese).
- [17] 万瑞景, 曾定勇, 卞晓东, 等. 东海生态系统中鱼卵、仔稚鱼种类组成、数量分布及其与环境因素的关系[J]. 水产学报, 2014, 38(9): 1375-1398.
- Wan R J, Zeng D Y, Bian X D, *et al.* Species composition and abundance distribution pattern of ichthyoplankton and their relationship with environmental factors in the East China Sea ecosystem[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(9): 1375-1398(in Chinese).
- [18] 高东奎, 赵静, 张秀梅, 等. 莱州湾人工鱼礁区及附近

- 海域鱼卵和仔稚鱼的种类组成与数量分布[J]. 中国水产科学, 2014, 21(2): 369-381.
- Gao D K, Zhao J, Zhang X M, *et al.* Species composition and distribution patterns of ichthyoplankton within and outside artificial reefs in Laizhou Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(2): 369-381(in Chinese).
- [19] 刘鸿, 叶振江, 李增光, 等. 黄海中部近岸春夏季鱼卵、仔稚鱼群落结构特征[J]. 生态学报, 2016, 36(12): 3775-3784.
- Liu H, Ye Z J, Li Z G, *et al.* The community structure of ichthyoplankton in the central Yellow Sea in spring and summer[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(12): 3775-3784(in Chinese).
- [20] 国家海洋局908专项办公室. 海洋生物生态调查技术规程[M]. 北京: 海洋出版社, 2006, 27-31
- Special Office 908 of the State Oceanic Administration. Technical regulations for marine bio-ecological survey[M]. Beijing: China Ocean Press, 2006, 27-31 (in Chinese).
- [21] 王九江, 刘永, 肖雅元, 等. 大亚湾鱼卵、仔稚鱼种群特征与环境因子的相关关系[J]. 中国水产科学, 2019, 26(1): 14-25.
- Wang J J, Liu Y, Xiao Y Y, *et al.* Population characteristics of fish eggs and larvae and their relationship with environmental factors in Daya Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(1): 14-25(in Chinese).
- [22] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana IL: University of Illinois Press, 1949: 1-117.
- [23] Pielou E C. An introduction to mathematical ecology[M]. New York: Wiley-Interscience, 1969: 1-294.
- [24] 汪振华, 章守宇, 陈清满, 等. 马鞍列岛岩礁生境鱼类群落生态学. I. 种类组成和多样性[J]. 生物多样性, 2012, 20(1): 41-50.
- Wang Z H, Zhang S Y, Chen Q M, *et al.* Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago. I. Species composition and diversity[J]. Biodiversity Science, 2012, 20(1): 41-50(in Chinese).
- [25] 王亮根, 李亚芳, 杜飞雁, 等. 大亚湾人工鱼礁区和岛礁区浮游动物群落特征及对仔稚鱼的影响[J]. 南方水产科学, 2018, 14(2): 41-50.
- Wang L G, Li Y F, Du F Y, *et al.* Zooplankton community characteristics and impact on ichthyoplankton in artificial reefs and island reefs of Daya Bay[J]. South China Fisheries Science, 2018, 14(2): 41-50(in Chinese).
- [26] Miller B S, Kendall A W. Early life history of marine fishes[M]. Berkeley: University of California Press, 2009.
- [27] 殷名称, Blaxter J H S. 海洋鱼类仔鱼在早期发育和饥饿期的巡游速度[J]. 海洋与湖沼, 1989, 20(1): 1-9.
- Yin M C, Blaxter J H S. Cruising speeds during early development and starvation of marine fish larvae[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1989, 20(1): 1-9(in Chinese).
- [28] Grioche A, Koubbi P. A preliminary study of the influence of a coastal frontal structure on ichthyoplankton assemblages in the English Channel[J]. ICES Journal of Marine Science, 1997, 54(1): 93-104.
- [29] Lee O, Nash R D M, Danilowicz B S. Small-scale spatio-temporal variability in ichthyoplankton and zooplankton distribution in relation to a tidal-mixing front in the Irish Sea[J]. ICES Journal of Marine Science, 2005, 62(6): 1021-1036.
- [30] Pielou E C. An introduction to mathematical ecology[J]. Bioscience, 2011, 24(2): 7-12.
- [31] 胡好国, 万振文, 袁业立. 南黄海浮游植物季节性变化的数值模拟与影响因子分析[J]. 海洋学报, 2004, 26(6): 74-88.
- Hu H G, Wan Z W, Yuan Y L. Simulation of seasonal variation of phytoplankton in the southern Huanghai (Yellow) Sea and analysis on its influential factors[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(6): 74-88(in Chinese).
- [32] 郭沛涌, 沈焕庭, 刘阿成, 等. 长江河口浮游动物的种类组成、群落结构及多样性[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 892-900.
- Guo P Y, Shen H T, Liu A C, *et al.* The species composition, community structure and diversity of zooplankton in Changjiang estuary[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(5): 892-900(in Chinese).
- [33] 展卫红, 许祝华, 姜玲. 人工鱼礁建设对海州湾海域水质改善的作用分析[J]. 海洋开发与管理, 2016, 33(9): 104-108.
- Zhan W H, Xu Z H, Jiang L. The improving effect of

- artificial fish reef construction to water quality in Haizhou Bay[J]. *Ocean Development and Management*, 2016, 33(9): 104-108(in Chinese).
- [34] 章守宇, 张焕君, 焦俊鹏, 等. 海州湾人工鱼礁海域生态环境的变化[J]. *水产学报*, 2006, 30(4): 475-480.
- Zhang S Y, Zhang H J, Jiao J P, *et al.* Change of ecological environment of artificial reef waters in Haizhou Bay[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2006, 30(4): 475-480(in Chinese).

Community structure of fish eggs and larvae in artificial reef area of Ma'an Archipelago

YIN Rui^{1,2}, JIANG Rijin^{1,2*}, BI Yuanxin², ZHANG Linlin^{1,2}, FAN Ziwei^{1,2},
CHEN Lei³, SUI Youzhen², WANG Shicong¹

(1. Marine and Fisheries Research Institute, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316021, China;

2. Key Research Station for Fisheries Resources of Main Fishing Ground, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Research Station of Sustainable Utilization for Marine Fisheries Resources, Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, China;

3. Ocean Research Center of Zhoushan, Zhejiang University, Zhoushan 316021, China)

Abstract: With the aim of understanding the impact of artificial reef deployment on the distribution of fish eggs and larvae, a horizontal trawl survey using large plankton nets in Ma'an Archipelago from January 2018 to October 2018 was carried out on four voyages. According to the species composition, quantity distribution and other community structure characteristics of fish eggs and larvae, their resource distribution in reef areas and natural areas were studied. The results showed that a total of 5 642 fish eggs and 1 013 larvae were collected, which belonged to 10 orders, 21 families and 49 species. *Harpodonotus sueur*, *Cynoglossus joyneri* and *Larimichthys polyactis* were dominant fish eggs; *Sebastiscus marmoratus*, *Lateolabrax japonicus* and *Stolephorus* sp. were the dominant fish larvae. The dominant species of fish eggs and larvae in the reef area and the natural area were almost the same, while the community structure was significantly different. The reef areas had significant differences with the natural areas in the biodiversity, and the diversity index, richness index and evenness index of the reef area were highest in spring. Cluster analysis indicated that the community structure of fish eggs and larvae were the most stable in spring, the simplest in winter, and the summer had the higher similarity with autumn. Comprehensive analysis suggested that artificial reefs in Ma'an Archipelago have certain aggregation and shelter effects on fish eggs and larvae, and the marine physical environmental factors such as temperature (T), salinity (S), water turbidity (Turb.) and so on have significant effects on the distribution of fish eggs and larvae.

Key words: marine ranching; artificial reef; fish eggs; fish larvae; community structure; Ma'an Archipelago

Corresponding author: JIANG Rijin. E-mail: jiangridge@163.com

Funding projects: National Key R & D Program of China (2018YFD0900904, 2017YFA0604904); Special Fund for the Key Research and Development Project of Zhejiang Province (2019C02056); Science and Technology Plan Project of Zhejiang Province (2017F50015)