

DOI: 10.5846/stxb201909101887

樊紫薇, 蒋日进, 李哲, 李鹏飞, 梁君, 张琳琳, 印瑞. 中街山列岛海域鱼卵、仔稚鱼群落结构特征及其与环境因子的关系. 生态学报, 2020, 40(13): 4392-4403.

Fan Z W, Jiang R J, Li Z, Li P F, Liang J, Zhang L L, Yin R. Community structure of ichthyoplankton and its relationship with environmental factors in Zhongjieshan islands, China. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(13): 4392-4403.

中街山列岛海域鱼卵、仔稚鱼群落结构特征及其与环境因子的关系

樊紫薇^{1,2}, 蒋日进^{1,2,*}, 李哲^{1,2}, 李鹏飞^{1,2}, 梁君^{1,2}, 张琳琳^{1,2}, 印瑞^{1,2}

1 浙江海洋大学海洋与渔业研究所, 舟山 316021

2 浙江省海洋水产研究所, 农业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, 舟山 316021

摘要: 为了解中街山列岛海域鱼卵仔稚鱼空间分布、种类组成及与环境因子的关系, 于 2010 年 5 月—2012 年 2 月在中街山列岛海域利用水平和垂直拖网开展了 8 个航次的鱼卵、仔稚鱼调查。运用非度量多维标度排序、聚类分析和典范对应分析(CCA)等方法对该海域鱼卵、仔稚鱼的空间分布进行了综合分析。结果表明, 两年水平拖网共采集到鱼卵 1783 粒, 仔稚鱼 67 尾; 垂直拖网共采集到鱼卵 576 粒, 仔稚鱼 59 尾。2010 年平拖优势种为短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyneri*), 垂拖重要种为鲈形目未定种(*Scorpaeniformes* sp.)和扁舵鲈(*Auxis thazard*)。2011 年平拖重要种为短吻红舌鲷、鲷属未定种(*Leiognathus* sp.)、龙头鱼(*Harpodon nehereus*)和鲢(*Engraulis japonicus*); 垂拖重要种为短吻红舌鲷、龙头鱼和中华小公鱼(*Stolephorus chinensis*)。经单因子相似性分析(ANOSIM), 鱼卵仔稚鱼的优势种和重要种群落物种组成存在显著差异($P < 0.01$)。研究结果表明, 温度和盐度对鱼卵仔稚鱼的影响较大, 夏季是中街山列岛海域鱼类产卵的重要时期。该海域以恋礁的小型底层鱼类为主, 是褐菖鲉(*Sebastes marmoratus*)、龙头鱼等小型底层经济鱼类的重要产卵场和育幼场。

关键词: 鱼卵; 仔稚鱼; 季节变化; 种类组成; 环境因子

Community structure of ichthyoplankton and its relationship with environmental factors in Zhongjieshan islands, China

FAN Ziwei^{1,2}, JIANG Rijin^{1,2,*}, LI Zhe^{1,2}, LI Pengfei^{1,2}, LIANG Jun^{1,2}, ZHANG Linlin^{1,2}, YIN Rui^{1,2}

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

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

Abstract: In order to understand the spatial distribution and species composition of fish eggs and larvae in Zhongjieshan Islands and their relationship with environmental factors, ichthyoplankton surveys were carried out from May 2010 to February 2012 by using the horizontal and vertical tows. The non-metric multi-dimensional scaling, cluster analysis and canonical correspondence analysis (CCA) were used to analyze the survey data. The results showed that a total of 1783 fish eggs and 67 larvae were collected in two years of horizontal tows, while a total of 576 fish eggs and 59 larvae were collected from vertical tows. In 2010, the dominant species of horizontal tows was *Cynoglossus joyneri* while the important species of vertical tows were *Scorpaeniformes* sp. and *Auxis thazard*. In 2011, the important species of horizontal tows were *Cynoglossus joyneri*, *Leiognathus* sp., *Harpodon nehereus*, and *Engraulis japonicus* while the important species of vertical tows were

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0900904, 2018YFD0900903); 浙江省公益技术应用项目(LGN20C190012); 国家自然科学基金项目(31702346)

收稿日期: 2019-09-10; 修订日期: 2020-02-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiangridge@163.com

Cynoglossus joyneri, *Harpodon nehereus*, and *Stolephorus chinensis*. ANOSIM (analysis of similarity) indicated that there were significant spatial-temporal differences in species composition between the dominant species and important species in fish eggs and larvae. The results suggested that temperature and salinity had great influence on fish eggs and larvae, and summer was an important season for fish spawning. The areas were dominated by small demersal reef fishes, which were important spawning and nursery grounds for demersal fishes such as *Sebastes marmoratus* and *Harpodon nehereus*.

Key Words: fish eggs; fish larvae; seasonal variation; species composition; environmental factor

鱼卵、仔稚鱼是海洋食物链中的重要环节之一,在海洋生态系统系统,两者是重要的被捕食者,同时仔稚鱼也是捕食者,它们的存活数量是鱼类资源补充和渔业资源持续利用的基础,其数量变化直接影响渔业资源量的变动^[1-2]。同时,为评估鱼类资源量及保持渔业资源的可持续利用提供了基础资料^[3],也为鱼类资源养护管理和渔业生态环境的保护提供了参考依据^[4-5]。

中街山列岛海域位于舟山渔场的中心区域,属亚热带季风气候,历史上素有“鱼仓”之美誉。历史上是曼氏无针乌贼重要的产卵场,也是大黄鱼进入岱衢洋、大戢洋产卵场的重要通道^[6],渔业资源丰富,但近年来由于气候变暖、沿岸设施工程的增加及捕捞压力过大等综合原因,导致渔业资源衰退。该海域受浙江沿岸流和台湾暖流的交汇影响,同时长江、钱塘江等大陆径流带来了丰富的营养物质,使之成为众多海洋生物繁殖、摄食和生长的重要栖息地^[7]。有关其他海域的鱼卵仔稚鱼群落结构已有相关研究报道,刘鸿等^[8]对黄海中部近岸春夏季鱼卵、仔稚鱼群落结构特征进行研究,得出鱼卵丰度和分布与经度呈负相关、与表温呈正相关,但与其他环境因子如纬度、表盐和水深等无显著相关性。仔稚鱼丰度和分布与上述环境因子均未表现出显著相关性;刘守海等^[9]对2005年、2008年、2009年和2011年夏季长江口水域鱼卵、仔稚鱼年间变化进行分析,结果表明该水域鱼卵和仔稚鱼2005年夏季种类数最多,2008年夏季种类数最少;杨艳艳等^[10]调查发现莱州湾春、夏季鱼卵、仔稚鱼优势种季节变化明显,且盐度对鱼卵数量影响较为明显,温度对仔稚鱼数量影响较为明显。目前,有关中街山列岛海域的鱼卵、仔稚鱼群落结构及其与环境因子关系的相关研究尚未报道。本文基于2010—2012年中街山列岛海域定量采样数据,分析了该海域鱼卵、仔稚鱼的种类组成、数量空间分布、物种多样性以及与环境因子的关系等方面,以为该海域渔业资源的科学管理和海洋生态的可持续发展提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 调查站位及样品采集

在中街山列岛海域设置10个站位(图1),于2010年5月—2012年2月四季(2月、5月、8月和11月)进行了8个航次的鱼卵、仔稚鱼调查。鱼卵、仔稚鱼采集方法依据《海洋调查规范 第6部分:海洋生物调查》(GB/T 12763.6—2007)^[11],采用大型浮游生物网(口径80cm、长280cm、网目尺寸0.505cm)逐站进行表层水平拖网采样,每站拖10min,拖速为2 n mile/h;样品的垂直采集采用大型浮游生物网由底到表垂直拖取,拖速0.5m/s。对温度、盐度、悬浮物等相关环境因子数据采用多功能水质检测仪(JFE-AAQ171)进行同步采集。平拖样品用无水乙醇固定保存,垂拖样品用5%福尔马林溶液固定,带回实验室,在显微镜下根据鱼卵、仔稚鱼的形态特征进行种类鉴定,并计数。对于不确定的种类采用分子测序的方法,尽可能鉴定到最低分类等级。

1.2 数据处理与分析方法

1.2.1 生态优势度

鱼卵、仔稚鱼以每网实际数量(粒、尾)来计算其密度,单位为粒/网或尾/网。

生态优势度利用Pianka^[12]相对重要性指数(Index of Relative Importance,简称IRI)计算,公式:

$$IRI = N\% \times F\% \times 10000$$

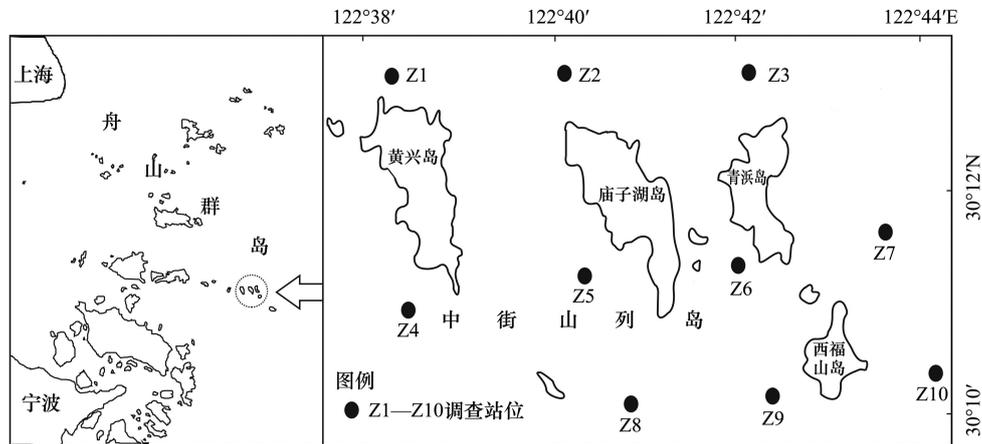


图1 中街山列岛海域鱼卵仔稚鱼调查站位

Fig.1 Sampling station of ichthyoplankton in Zhongjieshan Islands

式中, $N\%$ 为某一类鱼卵或仔稚鱼数量占捕获鱼卵或仔稚鱼总量的百分比; $F\%$ 为某一类鱼卵或仔稚鱼出现的站位数占总调查站位数的百分比, IRI 值大于 1000 为优势种, 1000—100 为重要种。

$$IRI\% = IRI_i \times 100 / \sum_{i=1}^n IRI_i$$

式中, IRI_i 为第 i 种鱼卵或仔稚鱼的相对重要性指数。

1.2.2 物种多样性指数

香农-威纳指数 (H') 计算公式

$$H' = - \sum_{i=1}^s (n_i/N) \log_2(n_i/N)$$

丰富度 (D) 计算公式:

$$D = (S - 1) / \log_2 N$$

均匀度 (J') 计算公式:

$$J' = H' / \log_2 S$$

1.2.3 群落结构分析

用 Primer 5.0 进行聚类分析 (Cluster) 和非度量多维标度排序 (non-metric multi-dimensional scaling, NMDS) 分析群落结构特征, 对鱼卵、仔稚鱼数据采用对数转化 [$\lg(x+1)$] 并进行相关分析。检验 NMDS 分析结果的优劣, 用胁强系数 (Stress) 来衡量, 当 $0.1 < \text{Stress} < 0.2$ 时, 表示该图具有一定的解释意义^[13]。

1.2.4 环境因子分析

用 Canoco 5.0 对鱼类浮游生物与环境因子之间的关系进行分析及排序图绘制, 以揭示不同环境因子对鱼卵、仔稚鱼的影响。对物种数据进行除趋势对应分析 (DCA), 根据每个轴的梯度长度 (LGA) 选择适宜的排序方法。当 $LGA < 3$ 时, 选择冗余分析 (RDA); 当 $LGA > 4$ 时, 则可运用典范对应分析 (CCA); 当 $3 < LGA < 4$ 时, 两者皆可^[14]。根据 DCA 分析结果, 本文采用线性模型的 CCA 分析。

2 结果

2.1 种类组成

2010 年平拖和垂拖共采集鱼卵、仔稚鱼 29 种 (不包括 2 个未定名物种), 隶属于 6 目 13 科, 有 1 种鉴定到目, 7 种鉴定到科, 3 种鉴定到属。其中, 鲈形目种类最多, 为 5 科 10 种, 占已鉴定出鱼卵、仔稚鱼种类数的 34.48%; 灯笼鱼目次之, 为 2 科 6 种, 占已鉴定出鱼卵、仔稚鱼种类数的 20.69%; 鲉形目最少仅为 1 科

1 种,占已鉴定出鱼卵、仔稚鱼种类数的 3.45%。平拖共采集鱼卵、仔稚鱼 14 种(不包括 2 个未定名物种),隶属于 6 目 10 科,4 种鉴定到科,2 种鉴定到属;垂拖共采集鱼卵、仔稚鱼 21 种,隶属于 5 目 10 科,有 1 种鉴定到目,4 种鉴定到科,2 种鉴定到属。

2011 年平拖和垂拖共采集鱼卵、仔稚鱼 25 种(不包括 6 个未定名物种),隶属于 6 目 14 科,有 1 种鉴定到目,6 种鉴定到科,1 种鉴定到属。其中,鲈形目种类最多,为 5 科 9 种,占已鉴定出鱼卵、仔稚鱼种类数的 36%;鲹形目次之,为 2 科 5 种,占已鉴定出鱼卵、仔稚鱼种类数的 20%;月鱼目最少为 1 科 1 种,占已鉴定出鱼卵、仔稚鱼种类数的 4%。平拖共采集鱼卵、仔稚鱼 15 种(不包括 3 个未定名物种),隶属于 6 目 12 科,有 1 种鉴定到目,4 种鉴定到科,1 种鉴定到属;垂拖共采集鱼卵、仔稚鱼 17 种(不包括 3 个未定名物种),隶属于 5 目 11 科,有 3 种鉴定到科(表 1)。

表 1 2010 年和 2011 年中街山列岛海域鱼卵、仔稚鱼的种类组成

Table 1 Species composition of ichthyoplankton in Zhongjieshan Islands in 2010 and 2011

种类 Species	季节 Season				编号 No.
	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	
鲱形目 Clupeiformes					
鲱科 Clupidae					1
鲱科未定种 Clupidae sp.1		*			2
鲱科未定种 Clupidae sp.2		*			3
鳀科 Engraulidae					
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	+	*	+		4
中华小公鱼 <i>Stolephorus chinensis</i>		*	+		5
康氏小公鱼 <i>Stolephorus commersonii</i>		+			6
赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>		*			7
灯笼鱼目 Myctophiformes					
狗母鱼科 Synodontidae					
蛇鲻属未定种 <i>Saurida</i> sp.			*		8
长蛇鲻 <i>Saurida elongata</i>		+			9
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>		*	* +		10
灯笼鱼科 Myctophidae					
七星底灯鱼 <i>Benthosema pterotum</i>				+	11
灯笼鱼科 Myctophidae sp.		*			12
月鱼目 Lampridiformes					
海龙科 Syngnathidae					
舒氏海龙 <i>Syngnathus schlegeli</i>			+	+	13
鲷科 Mugilidae					
鲷 <i>Liza haematocheilus</i>	* +			+	14
鲈形目 Perciformes					
鱧科 Sillaginidae					
鱧科未定种 Sillaginidae sp.	*				15
石首鱼科 Sciaenidae					
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengeri</i>	*	*			16
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	+				17
黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>	*	* +			18
棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>		*			19
鰺科 Leiognathidae					
鰺属未定种 <i>Leiognathus</i> sp.		*			20
鳎科 Blenniidae					
美肩鳎 <i>Omobranchus elegans</i>		+			21

续表

种类 Species	季节 Season				编号 No.
	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	
带鱼科 Trichiuridae					
小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	*				22
鲭科 Scombridae					
扁鲂鲹 <i>Auxis thazard</i>		* +			23
虾虎鱼科 Gobiidae					24
虾虎鱼科未定种 1 Gobiidae sp.1	+				25
虾虎鱼科未定种 2 Gobiidae sp.2		+			26
虾虎鱼科未定种 3 Gobiidae sp.3		+			27
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	+	+			28
中华栉孔虾虎鱼 <i>Ctenotrypauchen chinensis</i>		+			29
拉氏狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus lacepedii</i>		+			30
鲉形目 Scorpaeniformes					31
鲉形目未定种 1 Scorpaeniformes sp.1		*			32
鲉形目未定种 2 Scorpaeniformes sp.2			*		33
鲉科 Scorpaenidae					
褐菖鲉 <i>Sebastiscus marmoratus</i>				+	34
鲉科未定种 Scorpaenidae sp.			*		35
六线鱼科 Hexagrammidae					
斑头六线鱼 <i>Agrammus agrammus</i>				+	36
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>				+	37
鲽形目 Pleuronectiformes					
鲽科 Bothidae					
鲽科未定种 Pleuronectidae sp.				+	38
鲷科 Soleidae					
鲷科未定种 Soleidae sp.	*				39
条鲷属未定种 <i>Zebrias</i> sp.		+			40
舌鲷科 Cynoglossidae					41
宽体舌鲷 <i>Cynoglossus robustus</i>		+			42
短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>		* +		+	43
半滑舌鲷 <i>Cynoglossus semilaevis</i>		+			44
舌鲷科未定种 1 Cynoglossidae sp.1	*				45
舌鲷科未定种 2 Cynoglossidae sp.2		*			46
舌鲷科未定种 3 Cynoglossidae sp.3		*			47
鲑形目 Salmoniformes					
银鱼科 Salangidae					
银鱼属未定种 <i>Salanx</i> sp.				+	48
未定种 Unidentified species					
Gen. sp.1	*				49
Gen. sp.2			*		50
Gen. sp.3				*	51
Gen. sp.4	*				52
Gen. sp.5	*				53
Gen. sp.6		*			54
Gen. sp.7		*			55
Gen. sp.8			*		56

“*”表示鱼卵，“+”表示仔稚鱼

2.2 优势种及其季节变化

2010 年平拖鱼卵仔稚鱼优势种为短吻红舌鲷 (*Cynoglossus joyneri*) (IRI% 为 81.54%), 重要种为皮氏叫姑鱼 (*Johnius belengeri*) (IRI% 为 11.51%); 垂拖鱼卵仔稚鱼重要种为鲈形目未定种 1 (*Scorpaeniformes sp.1*) (IRI% 为 40%), 扁舵鲹 (*Auxis thazard*) (IRI% 为 38.10%)。

2011 年平拖鱼卵仔稚鱼重要种为短吻红舌鲷 (IRI% 为 46.12%)、鲷属未定种 (*Leiognathuss sp.*) (IRI% 为 32.99%)、龙头鱼 (*Harpodon nehereus*) (IRI% 为 7.89%) 和鳀 (*Engraulis japonicus*) (IRI% 为 6.59%); 垂拖鱼卵仔稚鱼重要种为短吻红舌鲷 (IRI% 为 52.12%)、龙头鱼 (IRI% 为 23.26%) 和中华小公鱼 (*Stolephorus chinensis*) (IRI% 为 14.12%)。

表 2 2010 年和 2011 年中街山列岛海域鱼卵仔稚鱼优势种和重要种组成

Table 2 Dominant and important species composition of ichthyoplankton in Zhongjieshan Islands in 2010 and 2011

种类 Species	2010 IRI		2011 IRI	
	平拖 Horizontal tows	垂拖 Vertical tows	平拖 Horizontal tows	垂拖 Vertical tows
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>			132.53	
中华小公鱼 <i>Stolephorus chinensis</i>				269.30
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>			110.69	443.45
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengeri</i>	238.88			
鲷属未定种 <i>Leiognathuss sp.</i>			554.22	
扁舵鲹 <i>Auxis thazard</i>		384.62		
短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	1691.45		774.85	993.72
鲈形目未定种 1 <i>Scorpaeniformes sp.1</i>		403.85		

IRI: 相对重要性指数 Index of Relative Importance

2.3 物种多样性指数

从图 2 看出,2010 年平拖丰富度指数 (D) 春季最高,而 2011 年夏季最高;2010 年平拖均匀度指数 (J') 冬季最高,2011 年则是秋季最高;2010 年平拖多样性指数 (H') 冬季最高,2011 年多样性指数 (H') 夏季为最高值。

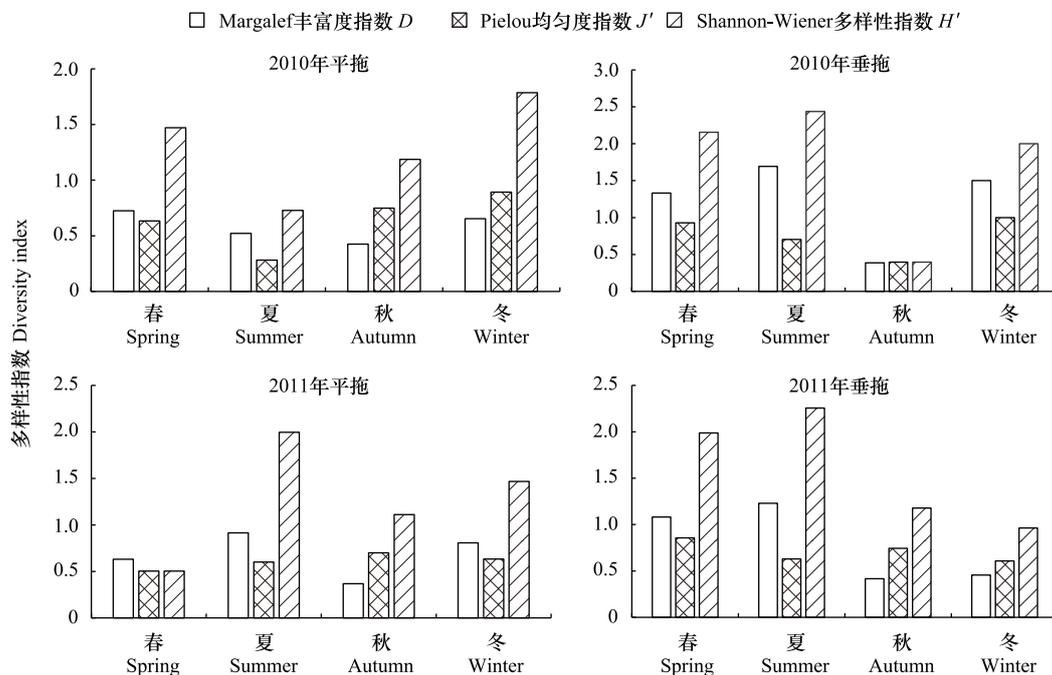


图 2 2010 年和 2011 年中街山列岛海域鱼卵、仔稚鱼的物种多样性指数

Fig.2 Species diversity index of ichthyoplankton in Zhongjieshan Islands in 2010 and 2011

2010 年和 2011 年垂拖丰富度指数(D)均是夏季最高;2010 年垂拖均匀度指数(J')冬季最高,2011 年则是春季最高;2010 年和 2011 年垂拖多样性指数(H')均是夏季最高。

2.4 群落结构分析

对 2010—2011 年中街山列岛海域平拖鱼卵仔稚鱼的 16 种优势种和重要种进行 Bray-Curtis 相似性指数分析,结果显示在 35.81% 的相似性指数水平上,可将 16 种鱼卵仔稚鱼优势种和重要种划分为 3 个类群,群落 I 包含银鱼属未定种 (*Salanx* sp.) 和未定种 4; 群落 II 包含鲷 (*Liza haematocheilus*) 和褐菖鲉 (*Sebastes marmoratus*) 等 4 种; 群落 III 包含斑头六线鱼 (*Agrammus agrammus*)、龙头鱼和鲈科未定种 (*Scorpaenidae* sp.) 等 10 种(表 1, 图 3)。ANOSIM 分析结果 Global $R=0.782, P=0.001<0.01$, 表明 3 个类群间存在显著差异。

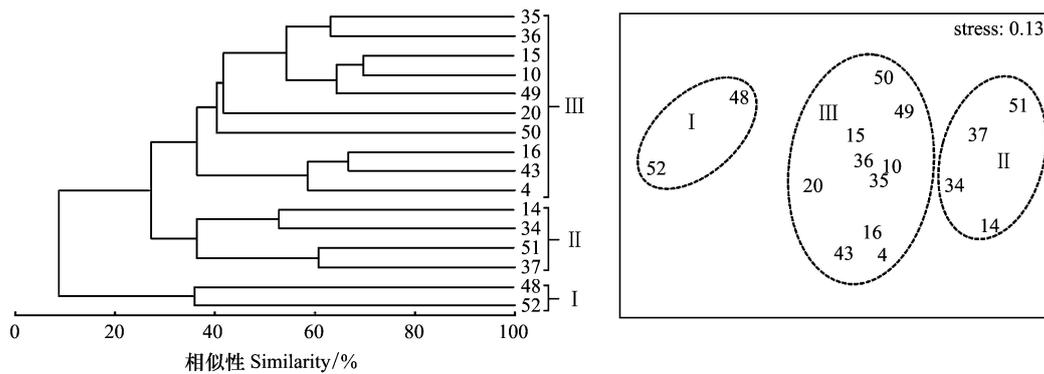


图 3 2010—2011 年中街山列岛海域平拖鱼卵仔稚鱼优势种和重要种聚类图和 NMDS 排序图(图中编号对应的种类名称见表 1)

Fig.3 Dominant and important species of ichthyoplankton in Zhongjiashan Islands demonstrated by clustering and NMDS ordination in 2010 and 2011 from horizontal tows (the species names corresponding to the numbers in the figure are shown in Tab. 1)
NMDS: 非度量多维标度排序 Non-metric multi-dimensional scaling

对 2010—2011 年中街山列岛海域垂拖鱼卵仔稚鱼的 23 种优势种和重要种进行 Bray-Curtis 相似性指数分析,结果显示在 24.8% 的相似性指数水平上,可将 23 种鱼卵仔稚鱼的优势种和重要种划分为 4 个类群,群落 I 包含大泷六线鱼 (*Hexagrammos otakii*) 和白姑鱼 (*Argyrosomus argentatus*) 等 6 种,群落 II 包含皮氏叫姑鱼 (*Johnius belengeri*) 和褐菖鲉等 6 种; 美肩鳃鲷 (*Omobranchus elegans*)、拉氏狼牙虾虎鱼 (*Odontamblyopus lacepedii*)、中华小公鱼和龙头鱼,群落 III 包含虾虎鱼科未定种 1 (*Gobiidae* sp.1), 群落 IV 包含鯧和棘头梅童鱼 (*Collichthys lucidus*) 等 10 种(表 1, 图 4)。ANOSIM 分析结果 Global $R=0.789, P=0.001<0.01$, 表明 4 个类群间存在显著差异。

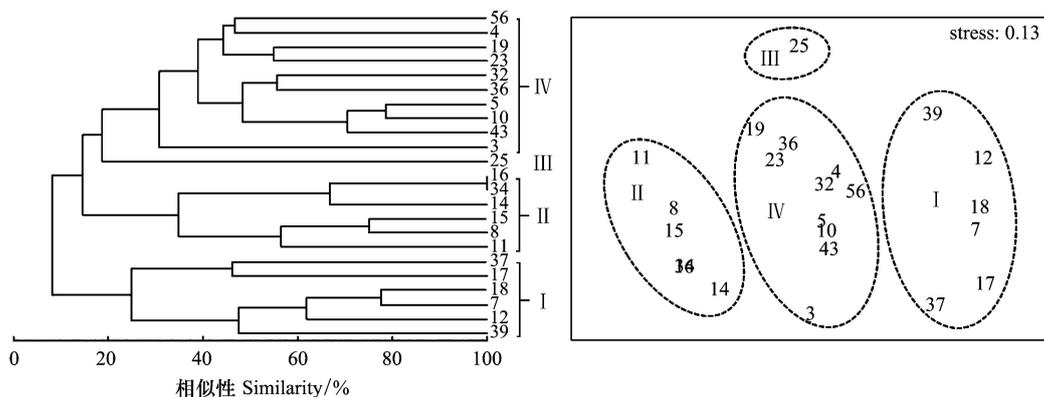


图 4 2010—2011 年中街山列岛海域垂拖鱼卵仔稚鱼优势种和重要种聚类图和 NMDS 排序图(图中编号对应的种类名称见表 1)

Fig.4 Dominant and important species of ichthyoplankton in Zhongjiashan Islands demonstrated by clustering and NMDS ordination in 2010 and 2011 from vertical tows (the species names corresponding to the numbers in the figure are shown in Tab. 1)

2.5 群落相似性分析

鱼卵群落相似性分析结果显示(表 3),2010 年和 2011 年的组内相似性分别为 45.82%、50.32%,2010 年主要特征种为短吻红舌鲷、皮氏叫姑鱼和鱧科未定种(*Sillaginidae* sp.)等,2011 年主要特征种为短吻红舌鲷、中华小公鱼和龙头鱼等。

仔稚鱼群落相似性分析结果显示(表 3),2010 年和 2011 年的组内相似性分别为 21.95%、36.72%,2010 年主要特征种为鲛、褐菖鲈和大泷六线鱼,2011 年的主要特征种为短吻红舌鲷、鳀和斑头六线鱼。

群落相异性分析结果显示(表 4),2010 年和 2011 年鱼卵的相异性为 74.53%,2010 年和 2011 年仔稚鱼的相异性为 94.54%。鱼卵的主要分歧种为鳀属未定种(*Leiognathuss* sp.)、短吻红舌鲷和龙头鱼等;仔稚鱼的主要分歧种为斑头六线鱼、鲛和褐菖鲈等。

表 3 2010—2011 年中街山海域鱼卵仔稚鱼各群落内平均相似性贡献率之和占 90%以上的特征种

Table 3 The characteristic species for different community group average similarity contribution rate that accounted for over 90% in Zhongjieshan Islands in 2010 and 2011

种类 Species	鱼卵 Fish eggs				仔稚鱼 Larvae			
	2010		2011		2010		2011	
	As = 45.82%		As = 50.32%		As = 21.95%		As = 36.72%	
	A	C/%	A	C/%	A	C/%	A	C/%
短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	21.03	45.9	16.46	32.71			1.30	3.55
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengeri</i>	10.29	22.46						
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>			11.13	22.11				
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>			4.56	9.06			5.73	15.61
中华小公鱼 <i>Stolephorus chinensis</i>			6.4	12.73				
鲈形目未定种 <i>Scorpaeniformes</i> sp.	4.09	8.94						
鳀属未定种 <i>Leiognathuss</i> sp.			4.53	9.01				
鱧科未定种 <i>Sillaginidae</i> sp.	4.63	10.1						
鲈科未定种 <i>Scorpaenidae</i> sp.			4	7.95				
斑头六线鱼 <i>Agrammus agrammus</i>							26.69	72.67
鲛 <i>Liza haematocheilus</i>			9.34	42.57				
扁舵鲹 <i>Auxis thazard</i>	1.62	3.54						
褐菖鲈 <i>Sebastes marmoratus</i>					5.42	24.71		
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>					5.13	23.39		

As: 种群的平均相似性 Population average similarity; A: 平均相似性 Average similarity; C: 贡献率 Contribution

表 4 2010—2011 年中街山海域鱼卵仔稚鱼各群落间平均相异性贡献率之和占 90%以上的分歧种

Table 4 The discriminating species for different community group average dissimilarity contribution rate that accounted for over 90% in Zhongjieshan Islands in 2010 and 2011

种类 Species	鱼卵 Fish eggs		仔稚鱼 Larvae	
	2010—2011		2010—2011	
	A _d = 74.53%		A _d = 94.54%	
	A	C/%	A	C/%
鳀属未定种 <i>Leiognathuss</i> sp.	6.82	9.15		
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	5.97	8.01	6.95	7.35
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengeri</i>	6.6	8.85		
短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	6.78	9.1	4.63	4.9
鱧科未定种 <i>Sillaginidae</i> sp.	3.89	5.21		
未定种 1Gen. sp.1	1.87	2.5		
扁舵鲹 <i>Auxis thazard</i>	2.51	3.37	3.58	3.79
中华小公鱼 <i>Stolephorus chinensis</i>	5.81	7.8		
鲈科未定种 <i>Clupidae</i> sp.	1.91	2.56		

续表

种类 Species	鱼卵 Fish eggs		仔稚鱼 Larvae	
	2010—2011		2010—2011	
	$A_d = 74.53\%$		$A_d = 94.54\%$	
	A	C/%	A	C/%
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	6.55	8.79	1.81	1.92
未定种 8 Gen. sp.8	2.69	3.61		
未定种 2 Gen. sp.2	1.63	2.18		
鲷科未定种 <i>Scorpaenidae</i> sp.	4.15	5.57		
未定种 7 Gen. sp.7	1.89	2.53		
鲷形目未定种 1 <i>Scorpaeniformes</i> sp.1	3.33	4.47		
舌鳎科未定种 3 <i>Cynoglossidae</i> sp.3	0.98	1.31		
舌鳎科未定种 2 <i>Cynoglossidae</i> sp.2	0.92	1.24		
鲷形目未定种 2 <i>Scorpaeniformes</i> sp.2	1.24	1.66		
黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>	1.17	1.57		
棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	1.21	1.63		
鲛 <i>Liza haematocheilus</i>		8.59	9.09	
银鱼属未定种 <i>Salanx</i> sp.		4.43	4.69	
拉氏狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus lacepedii</i>		3.32	3.51	
美间鳃鲷 <i>Omobranchus elegans</i>		1.72	1.82	
斑头六线鱼 <i>Agrammus agrammus</i>		22.07	23.34	
宽体舌鳎 <i>Cynoglossus robustus</i>		2.7	2.86	
舒氏海龙 <i>Syngnathus schlegelii</i>		1.61	1.7	
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>		1.61	1.7	
褐菖鲈 <i>Sebastes marmoratus</i>		7.85	8.3	
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>		7.43	7.86	
虾虎鱼科未定种 <i>Gobiidae</i> sp.		2.42	2.56	
半滑舌鳎 <i>Cynoglossus semilaevis</i>		2.02	2.14	
鲽科未定种 <i>Pleuronectidae</i> sp.		1.78	1.88	
中华栉孔虾虎鱼 <i>Ctenotrypauchen chinensis</i>		1.29	1.36	

A_d : 种群的平均差异性 Population average dissimilarity; A: 平均差异性 Average dissimilarity; C: 贡献率 Contribution

2.6 鱼卵仔稚鱼群落结构与环境因子的关系

CCA 分析结果显示,2010 年对鱼卵、仔稚鱼群落结构影响较大的环境因子是温度和盐度(图 2),第一轴 CCA1,特征值=0.930,第二轴 CCA2,特征值=0.831 物种—环境相关性(CCA1 和 CCA2 与环境因子相关性分别为 0.996 和 0.965)。蒙特卡罗显著性检验结果显示,第一排序轴和所有排序轴均呈现为极显著差异(第一轴: $F=0.2, P=0.034$;所有轴: $F=1.5, P=0.002$)。两个排序轴共解释了主要鱼类组成 21.33%的变异,其中,SSS 及 AS 与第一排序轴呈较大正相关,而与 SST 呈较大负相关。舌鳎科、虾虎鱼科等鱼卵、仔稚鱼受底盐影响较大,矛尾虾虎鱼、皮氏叫姑鱼等鱼卵、仔稚鱼受悬浮物影响较大。

2011 年对鱼卵、仔稚鱼群落结构影响较大的环境因子是悬浮物、温度和盐度(图 2),第一轴 CCA1,特征值=0.976,第二轴 CCA2,特征值=0.506 物种—环境相关性(CCA1 和 CCA2 与环境因子相关性分别为 0.990 和 0.894)。蒙特卡罗显著性检验结果显示,第一排序轴和所有排序轴均呈现为极显著差异(第一轴: $F=0.4, P=0.035$;所有轴: $F=2.0, P=0.001$)。两个排序轴共解释了主要鱼类组成 22.80%的变异,其中,SSS 及 SPM 与第一排序轴呈较大正相关,而与 BST 呈较大负相关。大泷六线鱼、舒氏海龙受悬浮物影响较大,鲷形目未定种、龙头鱼和虾虎鱼科未定种受底盐影响较大。

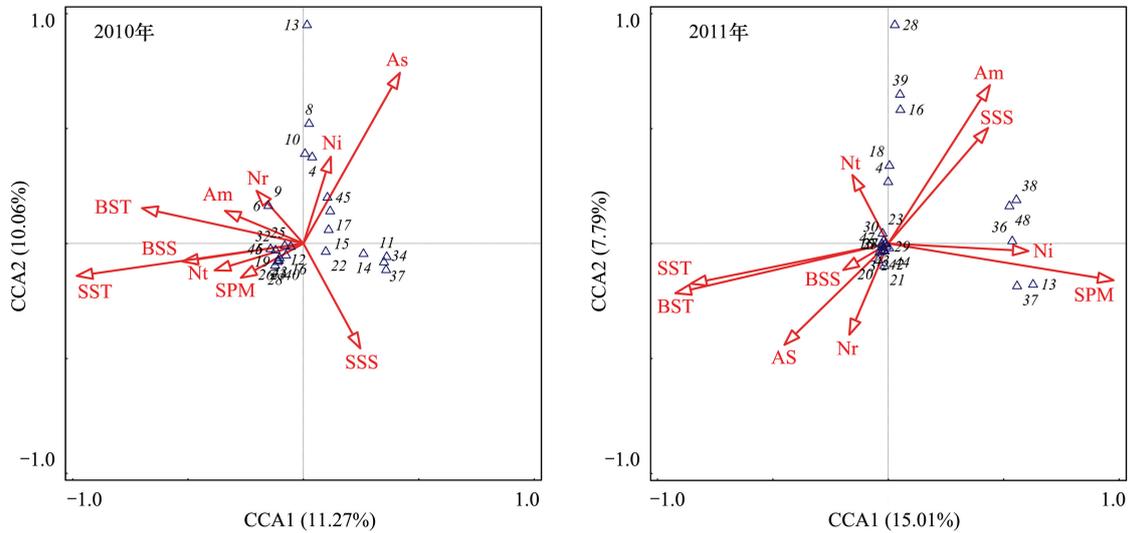


图 5 2010 年和 2011 年年中街山列岛海域鱼卵、仔稚鱼和环境因子之间的关系

Fig.5 The relationship between environmental factors and ichthyoplankton in Zhongjieshan Islands in 2010 and 2011

CCA: 典范对应分析 Canonical correspondence analysis; SST: 表温 Surface temperature; SSS: 表盐 Surface salinity; BST: 底温 Bottom temperature; BSS: 底盐 Bottom salinity; SPM: 悬浮物 Suspended matter; Am: 氨氮 Ammonia nitrogen; Nr: 硝酸盐 Nitrate; Nt: 亚硝酸盐 Nitrite; Ni: 活性磷酸盐 Active phosphate; AS: 活性硅酸盐 Active silicate

表 5 2010 年和 2011 年中街山列岛海域基于 CCA 分析的鱼卵、仔稚鱼与环境因子的关系

Table 5 Relationship between ichthyoplankton and environmental factors based on CCA analysis of Zhongjieshan Islands in 2010 and 2011

环境参数 Environmental variables	2010		2011	
	CCA1 (11.27%)	CCA2 (10.06%)	CCA1 (15.01%)	CCA2 (7.79%)
表温 SST	-0.98	-0.14	-0.85	-0.16
表盐 SSS	0.25	-0.44	0.43	0.45
底温 BST	-0.70	0.15	-0.91	-0.19
底盐 BSS	-0.52	-0.08	-0.19	-0.1
悬浮物 SPM	-0.27	-0.14	0.97	-0.14
氨氮 Am	-0.34	0.14	0.44	0.62
硝酸盐 Nr	-0.20	0.22	-0.17	-0.35
亚硝酸盐 Nt	-0.38	-0.11	-0.15	0.27
活性磷酸盐 Ni	0.12	0.36	0.6	-0.03
活性硅酸盐 AS	0.42	0.72	-0.45	-0.39

CCA: 典范对应分析 Canonical correspondence analysis; SST: 表温 Surface temperature; SSS: 表盐 Surface salinity; BST: 底温 Bottom temperature; BSS: 底盐 Bottom salinity; SPM: 悬浮物 Suspended matter; Am: 氨氮 Ammonia nitrogen; Nr: 硝酸盐 Nitrate; Nt: 亚硝酸盐 Nitrite; Ni: 活性磷酸盐 Active phosphate; AS: 活性硅酸盐 Active silicate

3 讨论

3.1 鱼卵、仔稚鱼群落组成

鱼卵和仔稚鱼是鱼类生命周期中的初级阶段,其数量变化是衡量鱼类亲体资源量的重要指标^[1]。中街山列岛海域 2010 年夏季和 2011 年夏季采获的鱼卵和仔稚鱼的数量占两年采获总量的 89.58%,其出现频率和平均密度均高于其他季节,这表明夏季为该海域的产卵盛期。调查发现,中街山列岛海域 2010 年鱼卵、仔稚鱼的主要种类有短吻红舌鲷、皮氏叫姑鱼和鲷形目未定种等,更替为 2011 年短吻红舌鲷、鲷属未定种和龙头鱼等,两年主要鱼类均以底层小型鱼类为主。中街山列岛海域是小黄鱼、带鱼和银鲳等传统经济鱼类的产卵、育幼与索饵场所,且每年渔汛期都有大量的经济鱼类到此洄游,历史上也是曼氏无针乌贼重要的产卵

场^[15]。而本研究中仅皮氏叫姑鱼、龙头鱼和鯷等小型经济鱼类占有一定比重,随着人类的过度商业捕捞,沿岸工业的快速发展以及气候的变化,影响到渔业资源的分布和丰度^[16],大黄鱼、小黄鱼等大个体经济鱼类遭受着过度破坏^[17],该海域鱼类正在向小型和低营养层次鱼种转化。短吻红舌鳎是为舟山海域鲽形目鱼类中最为重要的种类之一^[18],为暖温带中小型底层鱼类,栖息于泥沙质海底,产卵时间在3月下旬至8月中旬,为两年共同的优势种,其中,2010年夏季平拖密度527.89ind./100m³,2011年夏季平拖密度40.09ind./100m³,远高于其他物种的密度,这可能是由于夏季为短吻红舌鳎的产卵盛季。

中街山列岛海域岛礁星罗棋布,同时台湾暖流从浙江沿岸经过^[19]和大陆径流带来了丰富的营养物质,为恋礁性鱼类提供了良好的栖息环境。聚类和排序分析结果显示,2010—2011年平拖鱼卵仔稚鱼的优势种和重要种3个类群间存在显著差异(图3)。群落Ⅱ包括褐菖鲉和大泷六线鱼等,褐菖鲉属于暖水性底层鱼类,是典型的岛礁定居性鱼类,以小鱼、甲壳类和端足类为食^[20];大泷六线鱼是近海底层岩礁鱼类,以小型鱼类、甲壳类和多毛类为食^[21],它们的生活习性相似;群落Ⅲ包含斑头六线鱼、皮氏叫姑鱼等恋礁鱼类,短吻红舌鳎和鳎属未定种等底层鱼类,它们多栖息于近海底层。研究发现,该海域与枸杞岛沙地岩礁生境的优势种相一致^[22]。

2010—2011年垂拖鱼卵仔稚鱼的优势种和重要种4个类群间存在极显著差异(图4),群落Ⅱ包括皮氏叫姑鱼、鲛和七星底灯鱼等,皮氏叫姑鱼是近海洄游性底层鱼类,喜栖息于泥沙底质和岩礁附近海域,摄食对虾、底栖桡足类和多毛类等^[23]。鲛为暖温性底层鱼类,以食浮游硅藻和桡足类为主;七星底灯鱼为中、底层小型鱼类,以桡足类或其他甲壳动物的幼体为食;它们有着相似的摄食习性和栖息环境。群落Ⅳ包含斑头六线鱼、短吻红舌鳎、棘头梅童鱼和龙头鱼等,大多为短距离洄游和定居种。通过对两年间平拖和垂拖鱼卵仔稚鱼的分析发现,该海域以恋礁的小型底层鱼类为主,这与汪洋等^[24]对中街山列岛岩礁海域成鱼群落多样性的研究结果相似。

鱼卵群落相似性分析结果显示(表3),2010年主要特征种为短吻红舌鳎、皮氏叫姑鱼和鳎科未定种1等,2011年主要特征种为短吻红舌鳎、中华小公鱼和龙头鱼;仔稚鱼群落相似性分析结果显示(表3),2010年主要特征种为鲛、褐菖鲉和大泷六线鱼,2011年的主要特征种为短吻红舌鳎、鯷和斑头六线鱼。在鱼卵群落结构中,短吻红舌鳎、龙头鱼为两年共同种,且两种都为定居性鱼类;在仔稚鱼群落结构中,褐菖鲉、斑头六线鱼和鲛等在当年很多季节都有出现,其种类大多为定居性鱼类和恋礁性鱼类。分析发现,定居性鱼类和恋礁性鱼类对该海域岩礁生境周年依赖,因此年际间鱼卵、仔稚鱼主要特征种变化不大。

3.2 鱼卵、仔稚鱼与环境因子的相关性

鱼类多样性和海洋环境密切相关,环境因子影响鱼类栖息地的偏好,塑造了不同的空间分布格局^[25-27],同时环境因子也影响着鱼类生长、存活及代谢等机能活动,鱼卵仔稚鱼和繁殖期的亲鱼对水温和盐度的变化特别敏感^[28-30]。中街山列岛海域2010年和2011年夏季的垂直拖网、2011年夏季水平拖网的鱼卵仔稚鱼群落的生物多样性指数最高,两年的鱼卵数量均为夏季最高,夏季海水中营养物质丰富,鱼类产卵索饵与水温、盐度和溶解氧等环境因素密不可分,适宜的温度促进鱼卵、仔稚鱼的代谢和运动,进而影响其生长发育^[31]。

CCA排序图表明,温度和盐度对鱼卵、仔稚鱼群落结构影响较大,水温是影响鱼类生理、生化和生活史过程的重要环境因子,它在促使鱼类性腺发育和诱使鱼类产卵繁殖方面起着重要作用^[32]。盐度影响鱼体渗透压调节的改变,并且还能引起鱼体与环境间物质交换与能量流动的改变,对鱼类的生长和摄食产生一定的影响^[33]。鱼卵、仔稚鱼群落结构、空间等能在一定程度上反映水体的水质状况^[34]。研究发现中街山列岛海域在2010、2011年海水水质富营养化相对严重^[35],海域富营养化程度与活性磷酸盐含量密切相关,因此大部分鱼卵、仔稚鱼的分布离活性磷酸盐较远。邱东茹等^[36]研究认为悬浮物多不利于靠视觉定位的凶猛性鱼类捕食,从而减轻了对摄食浮游生物和底栖生物的鱼类的捕食压力。大泷六线鱼、矛尾虾虎鱼和皮氏叫姑鱼均摄食底栖生物类、多毛类等,它们分布于悬浮物较高的区域,易于躲避凶猛性鱼类捕食。

参考文献 (References):

- [1] 万瑞景, 孙珊. 黄、东海生态系统中鱼卵、仔稚鱼种类组成与数量分布. 动物学报, 2006, 52(1): 28-44.
- [2] 万瑞景, 姜言伟. 黄海硬骨鱼类鱼卵、仔稚鱼及其生态调查研究. 海洋水产研究, 1998, 19(1): 60-73.
- [3] 黄凤鹏, 黄景洲, 杨玉玲, 王宗灵, 陈士群. 胶州湾鱼卵、仔鱼和稚鱼的分布. 海洋科学进展, 2007, 25(4): 468-473.
- [4] 郑惠东. 福建东山湾春、夏季鱼卵和仔稚鱼丰度分布特征及其与环境因子的关系. 应用海洋学学报, 2016, 35(1): 87-94.
- [5] Yingfei Song, Longjun Zhang, Xianxiang Luo. Spatiotemporal distribution of fish eggs and larvae in the Huanghe (Yellow) River estuary, China in 2005—2016. Journal of Oceanology and Limnology, 2019, 37(5).
- [6] 李振华, 蒋日进, 陈峰, 卢占晖. 中街山列岛海域浮游植物群落结构的周年变化特征. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2016, 35(4): 299-309.
- [7] 陆艳用, 马玉心, 崔大练, 王俊, 秦景. 中街山列岛保护区底栖海藻分布与资源特征. 水产科学, 2011, 30(5): 269-275.
- [8] 刘鸿, 叶振江, 李增光, 胡海生, 庞雨萌, 窦硕增. 黄海中部近岸春夏季鱼卵、仔稚鱼群落结构特征. 生态学报, 2016, 36(12): 3775-3784.
- [9] 刘守海, 王金辉, 刘材材, 秦玉涛, 刘志国, 邓邦平. 长江口水域夏季鱼卵和仔稚鱼年间变化. 生态学报, 2015, 35(21): 7190-7197.
- [10] 杨艳艳, 高彦洁, 汪健平, 徐炳庆, 孙春晓. 莱州湾春、夏季鱼卵、仔稚鱼群落结构及环境因子相关性. 生态学杂志, 2018, 37(10): 2976-2984.
- [11] 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. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [12] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. Water Research, 1971, 18(6): 653-594.
- [13] Quetglas A, Carbonell A, Sánchez P. Demersal continental shelf and upper slope cephalopod assemblages from the Balearic Sea (North-Western Mediterranean). Biological aspects of some deep-sea species. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2000, 50(6): 739-749.
- [14] Lepš J, Šmilauer P. Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO. New York: Cambridge University Press, 2003.
- [15] 张龙, 徐开达, 张洪亮, 陈峰. 中街山海域渔业动物群落结构的季节变化. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2012, 31(4): 290-294.
- [16] 袁兴伟, 刘雷雷, 程家骅, 田永军. 气候变化对冬季东海外海中下层游泳动物群落结构及重要经济种类的影响. 生态学报, 2017, 37(8): 2796-2808.
- [17] 赵淑江, 吕宝强, 李汝伟, 朱爱意, 吴常文. 物种灭绝背景下东海渔业资源衰退原因分析. 中国科学: 地球科学, 2015, 45(11): 1628-1640.
- [18] 戴乾, 卢占晖, 薛利建, 徐汉祥. 东海蝶形目种类组成与资源量评估. 浙江海洋大学学报: 自然科学版, 2017, 36(5): 379-388.
- [19] 徐开达, 宋海晏, 张龙, 陈峰. 中街山列岛保护区虾类资源状况及其与环境因子的关系. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2012, 31(5): 420-425.
- [20] 李朝文, 王凯, 程晓鹏, 崔潇, 汪振华, 章守宇. 马鞍列岛海洋特别保护区褐菖鲉生物学参数估算. 生物学杂志, 2018, 35(3): 106-109.
- [21] 王佳琦, 刘淑德, 唐衍力, 杨文昭, 方光杰. 山东俚岛人工鱼礁区大泷六线鱼生长、死亡及资源评价. 中国海洋大学学报, 2018, 48(11): 51-59.
- [22] 汪振华, 王凯, 赵静, 章守宇. 枸杞岛潮下带沙地生境鱼类群落结构和季节变化. 应用生态学报, 2011, 22(5): 1332-1342.
- [23] 张云雷, 薛莹, 于华明, 于海庆, 张崇良, 徐宾铎, 任一平. 海州湾春季皮氏叫姑鱼栖息地适宜性研究. 海洋学报, 2018, 40(6): 83-91.
- [24] 汪洋, 吴常文. 中街山列岛岩礁海域鱼类群落多样性研究. 海洋与湖沼, 2015, 46(4): 776-785.
- [25] He Y F, Wang J W, Lek S, Cao W X, Lek-Ang S. Structure of endemic fish assemblages in the upper Yangtze River Basin. River Research and Applications, 2011, 27(1): 59-75.
- [26] Trumpickas J, Mandrak N E, Ricciardi A. Nearshore fish assemblages associated with introduced predatory fishes in lakes. Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems, 2011, 21(4): 338-347.
- [27] 林小植, 李冬梅, 刘焕章, 林鸿生, 杨少荣, 范汉金, 温茹淑. 广东韩江潮州江段鱼类多样性及季节变化. 生物多样性, 2016, 24(2): 185-194.
- [28] Kayano Y, Mito T. Effects of salinity on the embryonic development and larval survival of red spotted grouper *Epinephelus akaara*[J]. Saibai Gyogyo Gijutsu Kaihatsu Kenkyu, 1993.
- [29] Fielder D S, Bardsley W J, Allan G L, Pankhurst P M. The effects of salinity and temperature on growth and survival of Australian snapper, *Pagrus auratus* larvae. Aquaculture, 2005, 250(1/2): 201-214.
- [30] Shailender M, Suresh B C, Sarmal K P, Kishor B. Effects of temperature and salinity on growth, hatching rate and survival of the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de man) under captive conditions. International Journal of Bioassays, 2012, 1(11): 150-155.
- [31] 王九江, 刘永, 肖雅元, 王腾, 李纯厚. 大亚湾鱼卵、仔稚鱼种群特征与环境因子的相关关系. 中国水产科学, 2019, 26(1): 14-25.
- [32] 殷名称. 鱼类生态学. 北京: 中国农业出版社, 1995: 64-88.
- [33] 吴庆元. 低盐胁迫对鲮鱼 (*Mugil cephalus*) 幼鱼生理生化的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.
- [34] 陈红, 刘清, 潘建雄, 王松, 王在照. 瀾河城市段浮游生物群落结构时空变化及其与环境因子的关系. 生态学报, 2019, 39(1): 173-184.
- [35] 许康, 徐焕志, 王晓艳, 胡建坤, 陆阿定. 基于韦伯-费希纳定律的海水水质富营养化评价——以中街山列岛网箱养殖区为例. 常州工学院学报, 2015, 28(6): 39-44.
- [36] 邱东茹, 吴振斌. 富营养化浅水湖泊沉水水生植被的衰退与恢复. 湖泊科学, 1997, 9(1): 82-88.