

杨艳艳, 朱明明, 徐炳庆, 等. 莱州湾鱼卵、仔稚鱼群落结构及多样性的季节变化[J]. 海洋学报, 2021, 43(9): 59–70, doi:10.12284/hyxb2021052  
Yang Yanyan, Zhu Mingming, Xu Bingqing, et al. Seasonal variation of community structure and diversity of ichthyoplankton in the Laizhou Bay[J]. Haiyang Xuebao, 2021, 43(9): 59–70, doi:10.12284/hyxb2021052

# 莱州湾鱼卵、仔稚鱼群落结构及多样性的季节变化

杨艳艳<sup>1</sup>, 朱明明<sup>1</sup>, 徐炳庆<sup>1</sup>, 李凡<sup>1\*</sup>, 高彦洁<sup>2</sup>, 孙春晓<sup>1</sup>, 魏潇<sup>1</sup>, 王斌<sup>1</sup>

(1. 山东省海洋资源与环境研究院 山东省海洋生态修复重点实验室, 山东 烟台 264006; 2. 鲁东大学 滨海生态高等研究院, 山东 烟台 264025)

**摘要:** 为了解鱼卵、仔稚鱼的种群动态以及生物多样性的变化规律, 2014–2015 年利用大型浮游生物网对莱州湾海域 20 个站位进行表层水平拖网调查。4 个航次共采获鱼卵 135 275 粒, 仔稚鱼 2 456 尾, 隶属于 9 目 16 科 20 属。鱼卵、仔稚鱼主要种类变化依次从春季的鳀 (*Engraulis japonicus*) 和鲮 (*Liza haematocheilus*), 到夏季的赤鼻棱鳀 (*Thryssa kammalensis*) 和布氏银汉鱼 (*Allanetta bleekeri*), 到秋季的大银鱼 (*Protosalanx hyalocranius*), 再到冬季的长绵鲷 (*Zoarcis elongatus*)。鱼卵、仔稚鱼的种类组成、数量分布以及群落多样性随季节变化, 其中, 夏季的丰富度指数 ( $D$ ) 和多样性指数 ( $H'$ ) 最高, 秋季均匀度指数 ( $J'$ ) 最高。鱼卵、仔稚鱼从春季到夏季的种类更替率最小。利用 R 语言聚类树的融合水平值定义划分水平, 选择具有最大跳跃的分组水平, 将鱼卵、仔稚鱼分为春组、夏秋组和冬组 3 个组群, 春组和夏秋组、春组和冬组主要分歧种均为鳀, 夏秋组和冬组主要分歧种为长绵鲷和赤鼻棱鳀。本研究补充了莱州湾海域鱼类早期补充资源的基础数据, 旨在为莱州湾渔业资源评估和养护提供依据。

**关键词:** 鱼卵; 仔稚鱼; 季节变化; 生物多样性; 群落结构; R 语言

中图分类号: S932.4

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2021)09-0059-12

## 1 引言

鱼卵和仔稚鱼在海洋生态系统能量传递中起重要作用<sup>[1]</sup>, 是鱼类发育过程中的重要阶段。同时, 鱼卵和仔稚鱼发育过程是鱼类生命周期中两个非常短暂, 但形态学、生理学和生态学等特性变化明显的过渡时期, 也是整个鱼类发育周期中最为脆弱的阶段<sup>[2-3]</sup>。这一发育阶段成活率的高低、剩存量的多寡将决定鱼类补充群体资源量的丰歉, 是鱼类资源可持续利用研究中不可缺少的内容<sup>[4]</sup>。从 20 世纪 50 代开始, 我国开展了多次鱼卵、仔稚鱼的监测调查工作, 1964–1981 年在开展渤海中国明对虾 (*Fenneropenaeus chinensis*) 产卵场调查时, 就收集过鱼卵、仔稚鱼的资料<sup>[5]</sup>。

莱州湾位于渤海南部, 平均水深为 10 m<sup>[6-7]</sup>, 是多种经济种类产卵和育肥的场所<sup>[8]</sup>, 在渔业经济中占重要地位<sup>[9-10]</sup>。从 20 世纪 50 年代至 21 世纪初, 我国生态学者、环境学者对该海域渔业资源的状况进行过广泛的研究<sup>[11-13]</sup>。近 60 a 来, 受过度捕捞和环境变化的影响, 该海域渔业资源结构发生重大变迁<sup>[14]</sup>, 生态环境质量呈现明显下降的趋势<sup>[7,15-16]</sup>。有报道显示<sup>[17]</sup>, 2000 年以来, 莱州湾鱼卵、仔鱼数量和浮游生物的种类及多样性等均呈下降趋势。在这种背景下, 摸清莱州湾海域鱼卵、仔稚鱼的种类组成、数量分布以及群落结构和多样性的季节变化对了解渔业资源的补充状况、保护渤海生物资源有很重要的现实意义。近年来, 国内有关莱州湾海域鱼卵、仔稚鱼的研究很多,

收稿日期: 2020-11-30; 修订日期: 2020-12-16。

**基金项目:** 山东省支持青岛海洋科学与技术试点国家实验室重大科技专项 (2018SDKJ0501-1); 山东省自然科学基金重点项目 (ZR2020KE050); 烟台市科技创新发展计划 (2021XDHZ053); 烟台市科技创新发展计划 (2020MSGY061); 山东省海洋生态修复重点实验室开放课题 (201902)。

**作者简介:** 杨艳艳 (1981—), 女, 黑龙江省齐齐哈尔市人, 副研究员, 从事海洋生物资源生态研究。E-mail: xqdlmu@163.com

\* **通信作者:** 李凡, 男, 副研究员, 主要从事海洋生物资源生态和修复研究。E-mail: lifan811230@126.com

但是大多数研究集中在春季和夏季,例如王爱勇等<sup>[18]</sup>和高彦洁等<sup>[19]</sup>对莱州湾春季的鱼卵、仔稚鱼进行了研究;还有一些研究是集中在莱州湾的某一个特定海域,例如卞晓东等<sup>[20]</sup>对黄河口海域的鱼卵和仔稚鱼进行了研究;高东奎等<sup>[21]</sup>对莱州湾人工鱼礁区的鱼卵和仔稚鱼进行了研究等。有关莱州湾海域不同季节的鱼卵、仔稚鱼群落结构和生物多样性变化的研究较少。

本研究基于 2014–2015 年莱州湾海域的采样数据,分析了该海域鱼卵、仔稚鱼的种类组成、数量分布、优势种等,探讨了该海域鱼卵和仔稚鱼的群落结构和生物多样性的季节变动规律,以期为莱州湾海域

渔业资源修复和保护提供理论依据。

## 2 材料方法

### 2.1 调查时间与站位分布

于 2014–2015 年在莱州湾海域进行 4 个航次的鱼类浮游生物拖网调查。调查时间分别为 2014 年 5 月(春季)、8 月(夏季)、10 月(秋季)和 2015 年 2 月(冬季)。在莱州湾海域的调查范围(37°10′~37°45′N, 119°00′~120°10′E)内共布设 20 个站位(图 1a),由于 2015 年 2 月(冬季)受天气影响,实际完成调查 12 个站位(图 1b)。

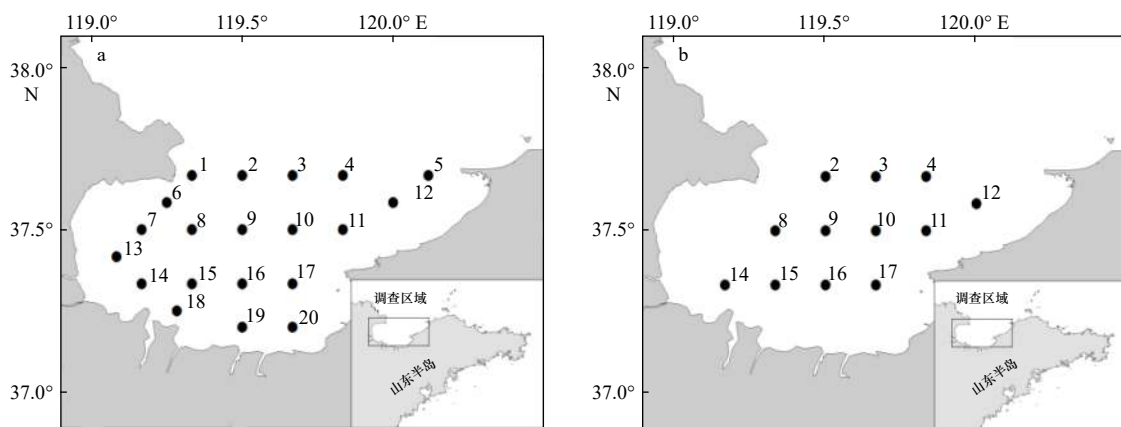


图 1 莱州湾调查站位

Fig. 1 Sample stations in the Laizhou Bay

### 2.2 样品采集

样品采集及分析方法严格按照《海洋调查规范》<sup>[22]</sup>进行,租用渔业生产船只,使用口径为 80 cm,长为 280 cm 的大型浮游生物网在海域表层进行水平拖拽采集。每站拖拽 10 min,拖速为 2 n mile/h,采集到的样品用中性甲醛溶液固定保存,带回实验室,根据鱼卵、仔稚鱼的形态特征(包括鱼卵和仔稚鱼的外部形态以及不同发育时期的个体形态和组织、器官、系统发育特征等)利用解剖镜进行种类鉴定<sup>[23–28]</sup>,并计数。

### 2.3 数据分析方法

#### 2.3.1 优势度

利用相对重要性指数(Index of Relative Importance, IRI)对鱼卵和仔稚鱼的优势种进行计算<sup>[20]</sup>,公式为

$$IRI = N\% \times F\% \times 10^4, \quad (1)$$

式中,  $N\%$  为某一种类个体数量占采获总量的百分比;  $F\%$  为某一种类出现的站位数占总调查站位数的百分比, IRI 不小于 1 000 的种类为优势种。

#### 2.3.2 生物多样性

丰富度指数( $D$ )计算公式为

$$D = \frac{S-1}{\ln N}, \quad (2)$$

香农-威纳多样性指数( $H'$ )计算公式为

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i, \quad (3)$$

均匀度指数( $J'$ )计算公式为

$$J' = \frac{H'}{\ln S}, \quad (4)$$

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

#### 2.3.3 季节间种类更替率

季节间种类更替率( $E$ )计算公式为

$$E = \frac{A}{A+B}, \quad (5)$$

式中,  $A$  为季节间种类增加与减少数之和;  $B$  为季节间相同的种类数<sup>[20]</sup>。

#### 2.3.4 群落结构分析

利用 R 软件的 `vegan`、`cluster` 等程序包计算 2014–2015 年不同季节间种类 Bray-Curtis 相似性系数矩阵,并利用非加权组平均法进行聚类。

### 3 结果与分析

#### 3.1 种类组成

调查期间采集鱼卵 135 275 粒,仔稚鱼 2 456 尾,共 22 种(表 1)。其中 1 种仔稚鱼未鉴定出种,1 种鰕虎鱼科仔稚鱼鉴定到科,其余 20 种隶属于 9 目 16 科 20 属。22 种鱼卵、仔稚鱼中,鱼卵 13 种,仔稚鱼 15 种。鲈形目种类最多,为 7 种,鲱形目 4 种,鲾形目 3 种,鲻形目 2 种,颌针鱼目、银汉鱼目、鼠鱗目、刺鱼目、鲈形目和胡瓜鱼目各 1 种。

#### 3.2 优势种及其季节变化

5 月(春季)和 8 月(夏季)调查中,鱼卵的优势种

分别为鳀(*Engraulis japonicus*)和赤鼻棱鳀(*Thryssa kammalensis*),仔稚鱼的优势种分别为鲛(*Liza haematocheilus*)、布氏银汉鱼(*Allanetta bleekeri*),仔稚鱼冬季的优势种为长绵鳎(*Zoarces elongatus*)。10 月(秋季)和 2 月(冬季)未采集到鱼卵所以无法计算优势种,10 月(秋季)调查所采集的仔稚鱼样品中无优势种存在,仅大银鱼(*Protosalanx hyalocranius*)、中颌棱鳀(*Thryssa mystax*)和青鳞小沙丁(*Sardinella zunasi*)构成重要种(表 2)。

#### 3.3 丰度时间和空间变化

调查中共采集鱼卵 135 275 粒,仔稚鱼 2 456 尾。鱼卵、仔稚鱼平均密度分别为 1 878.82 粒/站和 34.11 尾/站。

表 1 莱州湾鱼卵、仔稚鱼种类组成

Table 1 Species composition of ichthyoplankton in the Laizhou Bay

种类	季节				适温类型
	春	夏	秋	冬	
斑鱈 <i>Konosirus punctatus</i>	+*	*	-	-	WT
青鳞小沙丁 <i>Sardinella zunasi</i>	-	-	*	-	WT
赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>	-	+*	-	-	WW
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	+*	*	-	-	WT
中颌棱鳀 <i>Thryssa mystax</i>	-	-	*	-	WW
日本下鱈 <i>Hyporhamphus sajori</i>	-	*	-	-	WT
鲛 <i>Liza haematocheilus</i>	+*	-	-	-	WT
鲻 <i>Mugil cephalus</i>	+	-	-	-	WT
大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranius</i>	-	-	*	-	WW
日本海马 <i>Hippocampus japonicus</i>	-	*	-	-	WT
布氏银汉鱼 <i>Allanetta bleekeri</i>	-	*	*	-	WT
鲻 <i>Platycephalus indicus</i>	+*	-	-	-	WW
多鳞鳕 <i>Sillago sihama</i>	-	+*	-	-	WW
小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	-	+	-	-	WW
带鱼 <i>Trichiurus japonicas</i>	+	-	-	-	WT
鲱鳎 <i>Callionymus beniteguri</i>	+	-	-	-	WT
长绵鳎 <i>Zoarces elongatus</i>	-	-	-	*	CT
褐牙鲆 <i>Paralichthys olivaceus</i>	+	-	-	-	WT
高眼鳎 <i>Cleisthenes herzensteini</i>	+	-	-	-	CT
短吻红舌鳎 <i>Cynoglossus joyeri</i>	-	+	-	-	WT
鰕虎鱼科未定种	*	-	*	-	WT
未定种	*	-	-	-	-

注: +表示鱼卵; \*表示仔稚鱼; WT表示暖温性种; WW表示暖水性种; CT表示冷温性种; -表示未采集到鱼卵或仔稚鱼、未获得适温类型。

5月(春季) 采获鱼卵 135 118 粒, 平均密度为 6 755.90 粒/站, 波动范围为 8~112 340 粒/网。最高值

出现在 3 号站, 最低值出现在 1 号和 7 号站位(图 2a)。其中, 鳀卵数量最多, 占本航次调查鱼卵数量的 88.32%。

表 2 莱州湾海域鱼卵、仔稚鱼优势种和重要种组成

Table 2 Dominant and important species composition of ichthyoplankton in the Laizhou Bay

类别	种类	2014年5月 IRI	2014年8月 IRI	2014年10月 IRI	2015年2月 IRI
鱼卵	鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	6 182.80	-	-	-
	斑鲷 <i>Konosirus punctatus</i>	757.54	-	-	-
	赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>	-	1 003.18	-	-
	多鳞鳀 <i>Sillago sihama</i>	-	573.25	-	-
仔稚鱼	鲷 <i>Liza haematocheilus</i>	1 147.84	-	-	-
	未定种 Unknown species	308.01	-	-	-
	鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	133.47	303.03	-	-
	布氏银汉鱼 <i>Allanetta bleekeri</i>	-	1 750.00	-	-
	斑鲷 <i>Konosirus punctatus</i>	-	505.05	-	-
	日本下鱚 <i>Hyporhamphus sajori</i>	-	222.22	-	-
	大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranius</i>	-	-	687.50	-
	中颌棱鳀 <i>Thryssa mystax</i>	-	-	625.00	-
	青鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>	-	-	312.50	-
	长绵鲷 <i>Zoarces elongatus</i>	-	-	-	7 500.00

注: -代表未采集到鱼卵或仔稚鱼。

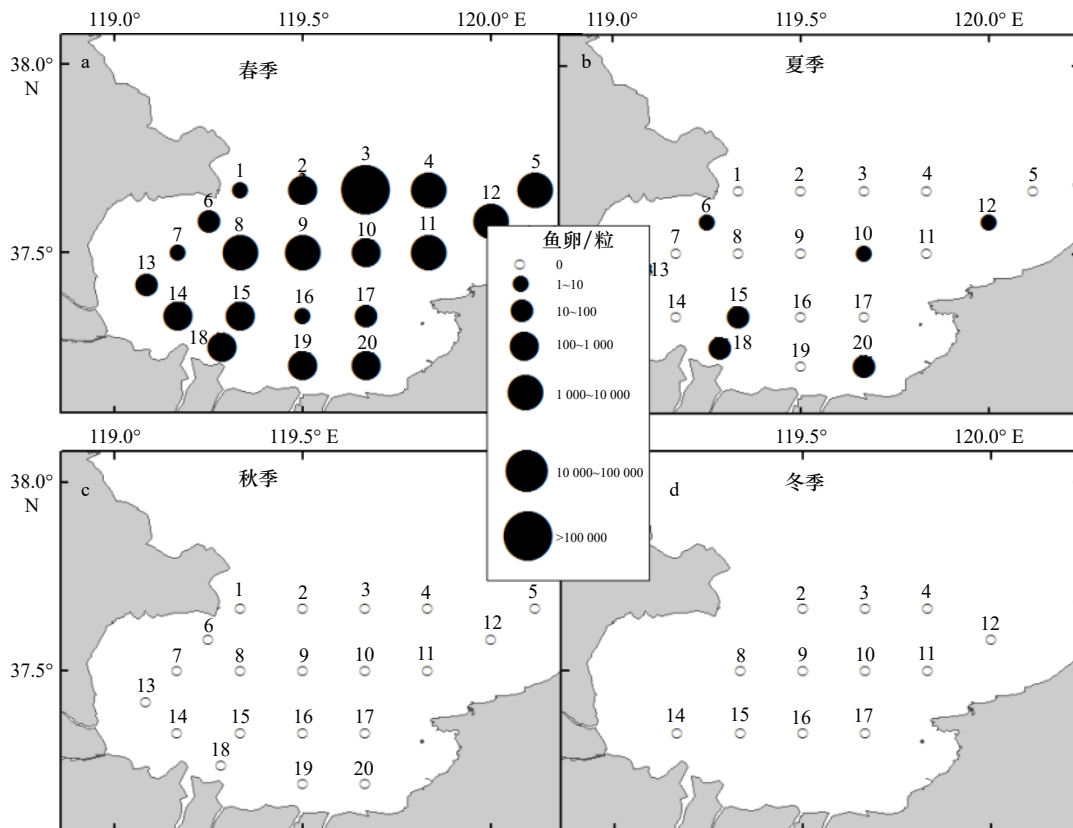


图 2 莱州湾海域鱼卵空间分布

Fig. 2 Distribution of fish eggs in the Laizhou Bay

8月(夏季)捕获鱼卵 157粒,平均密度 7.85粒/站,波动范围为 0~95粒/网,最高值出现在 18号站位,为 95粒/站,赤鼻棱鳀鱼卵数量最多,占本航次调查鱼卵数量的 66.88%(图 2b)。秋季和冬季没有捕获鱼卵(图 2c,图 2d)。

5月(春季)捕获仔稚鱼 1948尾,平均密度为 97.4尾/站,波动范围为 0~760尾/网,最高值出现在 13号站位,为 760尾/站(图 3a)。其中,鲈仔稚鱼的数量最多,占本航次调查仔稚鱼数量的 57.39%。8月(夏季)捕获仔稚鱼 198尾,平均密度为 9.9尾/站,波动范围为 0~35尾/网,最高值出现在 16号站位(图 3b)。其中,布氏银汉鱼数量最多,占本航次调查仔稚鱼数量的 50%。10月(秋季)捕获仔稚鱼 24尾,平均密度为 1.2尾/站,波动范围为 0~13尾/网,最高值出现在 1号站位(图 3c)。其中大银鱼仔稚鱼数量最多,占本航次调查仔稚鱼数量的 84.62%。2月(冬季)捕获仔稚鱼 286尾,平均密度为 23.83尾/站,最高值出现在 4号站位(图 3d)。全部为长绵鲷的仔稚鱼。从全年变化范围来看,鱼卵、仔稚鱼分布不均匀,资源密度总体呈现春夏高,秋冬低的趋势。

### 3.4 群落多样性的季节变化

2015年2月(冬季),因只捕获到长绵鲷 1个种类,

所以丰富度指数( $D$ )和多样性指数( $H'$ )均为 0,均匀度指数( $J'$ )则无法计算。由图 4可知,5月(春季)的丰富度指数( $D$ )和多样性指数( $H'$ )均为全年最低,均匀度指数( $J'$ )则为除 2月(冬季)外最低。8月(夏季)的丰富度指数( $D$ )和多样性指数( $H'$ )均为最高,丰富度指数( $D$ )和多样性指数( $H'$ )全年呈先升高后下降的趋势;10月(秋季)的均匀度指数( $J'$ )为除 2月外全年最高,均匀度指数( $J'$ )全年除 2月外呈现逐渐上升的趋势。

### 3.5 种类更替和群落结构的季节间相似性聚类

由图 5可知,2014–2015年调查期间莱州湾海域各季节间鱼卵和仔稚鱼的种类更替率均在 80%以上,且随季节变化呈现上升的趋势,从春季到夏季的种类更替率最小,为 89.47%,其次为夏季到秋季,为 92.31%,秋季到冬季以及冬季到春季的种类更替率均为 100%(图 5)。

利用 Bray-Curtis 相似性系数公式计算不同季节间种类组成的相似性系数,然后运用 R 语言聚类树对其进行聚类分析,根据融合水平值定义划分水平,选择具有最大跳跃的分组水平,将 4个季节的鱼卵、仔稚鱼划分为 3个组,进一步聚类分析结果显示,3个组分别为春组、夏秋组和冬组(图 6,图 7),其中,春组和夏秋组、春组和冬组主要分歧种均为鳀,鳀对其季节间

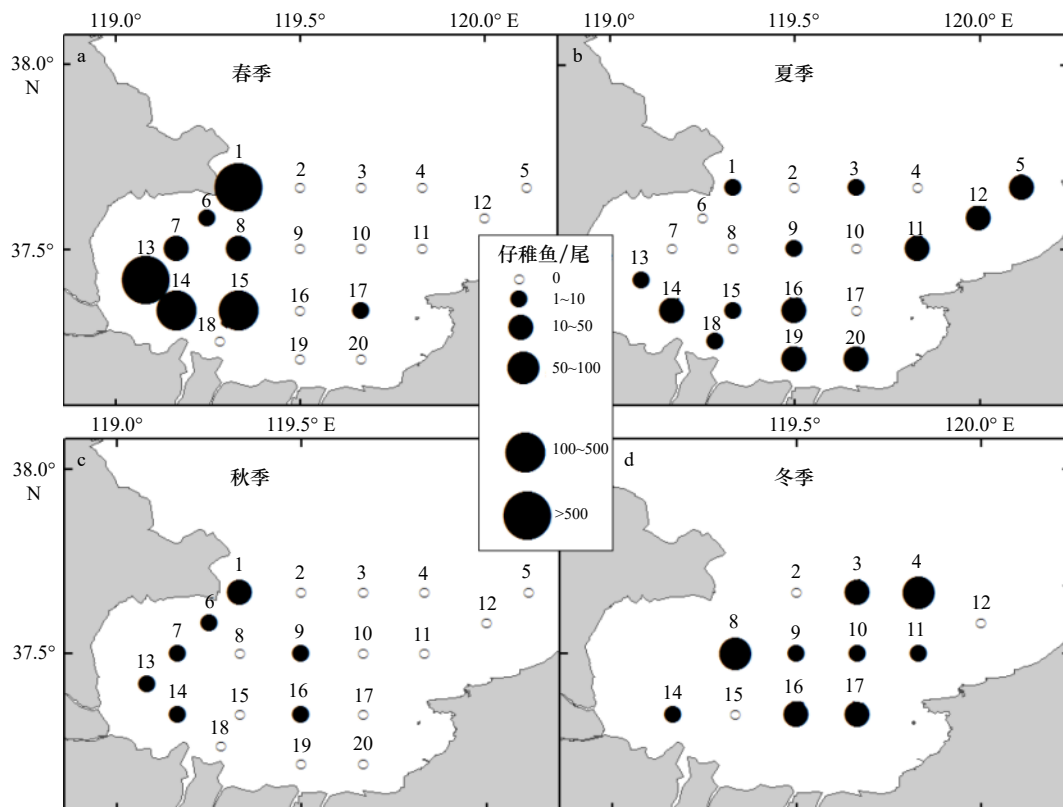


图 3 莱州湾海域仔稚鱼空间分布  
Fig. 3 Distribution of larvae in the Laizhou Bay

平均相异性贡献率分别为 87.28% 和 87.22%; 夏秋组和冬组间主要分歧种为长绵鲷和赤鼻棱鲷, 这两个种类对两个组季节间平均相异性贡献率为 76.63%。

## 4 讨论

### 4.1 种类组成和数量分布的季节更替

本研究调查结果显示, 莱州湾海域鱼卵、仔稚鱼

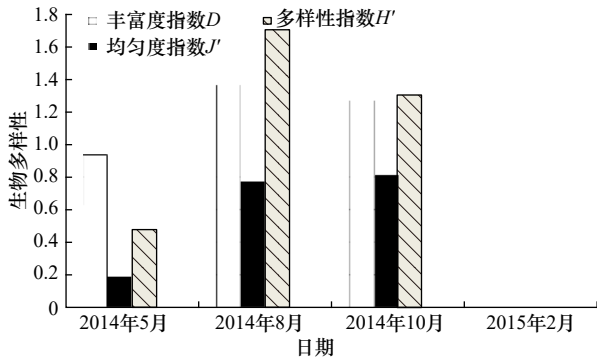


图4 莱州湾海域鱼卵、仔稚鱼物种多样性  
Fig. 4 Species diversity of ichthyoplankton in the Laizhou Bay

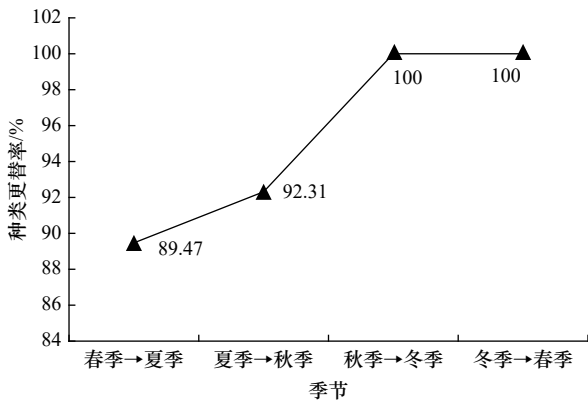


图5 莱州湾海域鱼卵、仔稚鱼种类更替率  
Fig. 5 The species turnover rate of ichthyoplankton in the Laizhou Bay

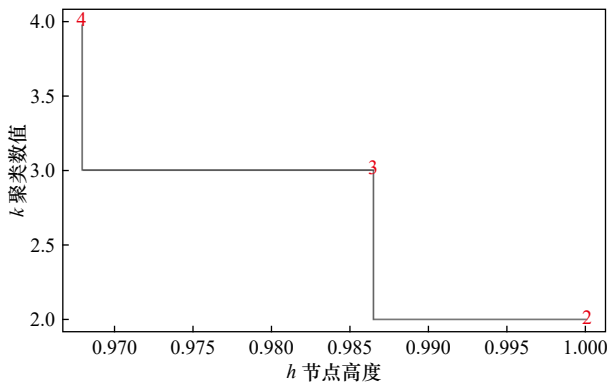


图6 聚类树的融合水平值  
Fig. 6 Fusion level values of cluster tree

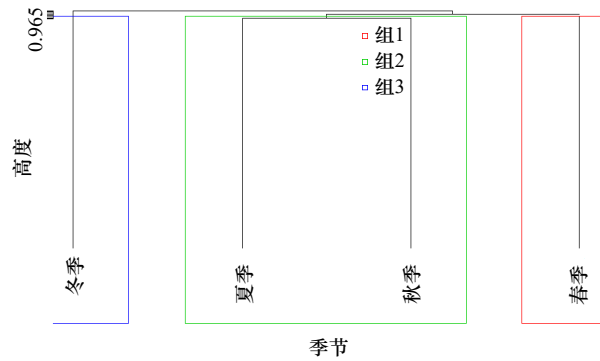


图7 莱州湾海域鱼卵、仔稚鱼群落结构季节变化  
聚类分析

Fig. 7 Cluster analysis of seasonal changes in the community structure of ichthyoplankton in the Laizhou Bay

的种类和数量随季节而更替, 从鱼卵、仔稚鱼数量的季节变化来看, 春季(5月)为鱼类的产卵盛期, 鱼卵和仔稚鱼的数量最多, 占全年总量的90%以上, 夏季数量大幅减少, 秋冬季节进入产卵末期以后数量也随之降至最低点, 两季鱼卵和仔稚鱼数量仅占全年数量的0.2%左右<sup>[7]</sup>。

从种类数的季节变化来看, 5月(春季)捕获鱼卵、仔稚鱼11种, 8月(夏季)9种, 10月(秋季)5种, 2月(冬季)1种, 种类数呈现随季节转变而下降的趋势, 这种季节变化主要是洄游性种类的季节性分布引起的: 春季洄游性的种类(主要为暖水种和暖温种)进入莱州湾产卵、索饵, 这一时期种数较冬季增加; 秋末, 随着水温的降低, 这些种类离开莱州湾至越冬场, 仅定居种留下<sup>[29]</sup>。

从种类组成的季节变化来看, 5月(春季)为一年中的产卵盛期, 此时鱼卵集中在湾口海域, 仔稚鱼则集中在西部海域, 鱼卵、仔稚鱼的优势种为陆续进入湾口等近岸水域产卵的鲷和从深水区回到河口产卵的鲛, 5月调查中捕获鲛仔稚鱼1118尾, 鱼卵89粒, 且鲛多为初孵的仔鱼(初孵仔鱼占鲛仔稚鱼总数的98.2%), 而鲛的孵化时间为42h, 所以分析可能是调查时间错过了鲛产卵盛期; 春季到夏季的种类更替率为89.47%, 鱼卵、仔稚鱼的优势种从春季暖温性中上层洄游鱼类的鲷和暖温性河口定居鱼类鲛变为夏季暖水性中上层洄游鱼类赤鼻棱鲷和布氏银汉鱼, 且鱼卵优势种优势度下降, 仔稚鱼优势种优势度上升。因为夏季近岸水温比远岸高, 所以此时鱼卵、仔稚鱼的分布向湾底近岸集中。夏季和秋季之间的种类更替率为92.31%, 秋季和冬季之间的种类更替率为100%, 夏季到秋季再到冬季主要种类变化依次为暖水性中上层洄游鱼类的赤鼻棱鲷和布氏银汉鱼变为秋季暖

温性中上层溯河洄游性鱼类大银鱼,再到冬季冷温性底层鱼类长绵鲷,形成了种类与环境及季节相对应的动态格局<sup>[20]</sup>,同时也说明在不同的季节,产卵群体的组成和结构也发生了显著的变化,而季节间种类的高更替率则说明鱼类群落结构的时序相对不稳定<sup>[20]</sup>。分析这种不稳定产生的原因,一方面与莱州湾物种洄游性季节分布有关,另一方面由于近年来莱州湾海域的环境变化和人类活动等,使种类更替率明显加快<sup>[30-31]</sup>。另外,秋冬季节没有捕获到鱼卵,这是因为本研究中调查网具为浮游生物网,调查方法为表层拖网,而莱州湾海域秋冬季节仅有极少数产浮性卵的底栖鱼类,细纹狮子鱼(*Liparis tanakae*)、大洸六线鱼(*Hexagrammos otakii*)等秋冬季节繁殖的鱼类均产黏着沉性卵,不适于浮游生物网采集。

#### 4.2 物种多样性

由于春、夏季是莱州湾海域鱼类繁殖的重要季节,有关秋、冬季鱼卵、仔稚鱼多样性指数( $H'$ )可参考的数据很少,所以本研究中仅对莱州湾海域春、夏季不同调查时期的多样性指数( $H'$ )进行对比。

马克平和刘玉明<sup>[32]</sup>提出,多样性指数( $H'$ )的合理范围为1.5~3.5,本研究中莱州湾海域鱼卵、仔稚鱼群落的多样性指数( $H'$ )只有夏季处于此范围之内,春季、秋季和冬季均低于该范围,将春季多样性指数( $H'$ )与莱州湾以及邻近海域不同时期调查相比较(表3),发现其均处于较低水平。同时,鱼卵、仔稚鱼群落 $D$ 、 $J'$ 也都较低,均低于夏季和秋季,说明春季鱼卵、仔稚鱼的结构相对不稳定,种间分布不均匀<sup>[20]</sup>。鱼类群落在长期严重的外界干扰下,物种多样性会丧失<sup>[33]</sup>,而人类的捕捞是对鱼类群落最主要的外界干扰因素,在人类捕捞活动的长期干扰下,鱼类群落多样

性不断下降,从而导致作为其补充群体的鱼卵、仔稚鱼的群落多样性也不断下降<sup>[34]</sup>,另外,根据多样性指数的生态含义分析,在种类数较多,但是种间分布极不均匀的情况下,多样性偏低。某些优势种在个别海域的聚集,使这些站位个体数量在不同种间分配差异加大,也会使多样性偏低<sup>[35-36]</sup>。本研究符合这种情况:春季航次鱼卵种类虽多,但是除鲢以外的其他种类数量较少,鲢占该航次鱼卵总数的88.3%,成为该航次的绝对优势种;而鲢仔稚鱼虽然没有成为春季航次仔稚鱼的绝对优势种,但是其数量占该航次仔稚鱼总数的近1/3,并且分布极不均匀,只在1号站位出现,这就导致了春季鱼卵、仔稚鱼的 $H'$ 较低。

夏季 $H'$ 在与2007年夏季黄河口以南和以北海域的比较中均处于较高水平(表3),但是因为参考文献的局限性,只有1a的数据作为参考,并且其调查区域的 $H'$ 可能会受到黄河调水调沙的影响而导致偏小,所以不能确定2014年夏季 $H'$ 与莱州湾及邻近海域不同时期调查相比是否处于较高水平,有待于今后的调查和研究中进一步验证。另外,夏季的 $D$ 和 $H'$ 均大于秋季,但是 $J'$ 略小于秋季。因为秋季种类和数量分布比较均匀,鱼卵和仔稚鱼均没有出现优势种;夏季种类和数量虽超过秋季,但是出现了赤鼻棱鲈和布氏银汉鱼两个相对高优势度的物种,所以导致 $J'$ 略小于秋季。鱼类的繁殖生长和捕捞活动也会造成多样性的季节变化<sup>[37]</sup>,8月的休渔,使莱州湾海域的外界干扰减小,而10月秋季所处时间段为开捕后,人类捕捞干扰增强,加上水温降低,导致洄游性鱼类离开近岸水域,鱼类种类数和数量均减少,所以 $D$ 和 $H'$ 均出现下降趋势。

#### 4.3 群落结构

莱州湾水域是渤海的传统渔场,也是黄、渤海众

表3 莱州湾及邻近海域不同时期调查春、夏季鱼卵、仔稚鱼的群落多样性( $H'$ )

Table 3 Community diversity of ichthyoplankton in the Laizhou Bay and its adjacent waters in different periods ( $H'$ )

调查季节	调查年份	种类数	多样性指数( $H'$ )	调查区域	参考文献
春季	1982	27	1.665	莱州湾	[18]
	2003	12	0.558	莱州湾	[18]
	2007	10	0.39	黄河口	[20]
	2008	14	0.988	莱州湾	[18]
	2014	12	0.48	莱州湾	本文
夏季	2007	10	1.05	黄河口南部邻近海域	[20]
	2007	5	0.95	黄河口北部邻近海域	[20]
	2014	9	1.70	莱州湾	本文

多渔业生物的产卵场、育幼场和索饵场<sup>[4]</sup>,对黄、渤海渔业资源的补充具有重要意义<sup>[10-11]</sup>。近年来,受人类活动以及环境变化等的共同影响,使得莱州湾的渔业资源结构发生了重大变迁。

从鱼卵、仔稚鱼种类组成来看,本研究与黄、渤海海域大面调查的结果存在一定的差异,程济生<sup>[38]</sup>于1998年5-11月在渤海海域进行调查,采获鱼卵、仔稚鱼共41种。万瑞景和姜言伟<sup>[39-40]</sup>于1982年4月至1983年4月和1992年8月至1993年6月在渤海海域的调查,共采获鱼卵61种、仔稚鱼49种;1985-1988年在北黄海和南黄海的调查中采获68种鱼卵、仔稚鱼。从与黄、渤海大面调查的历史资料纵向对比来看,莱州湾海域鱼卵、仔稚鱼种类数仅为或者不足黄、渤海海域20世纪80、90年代的1/2。说明莱州湾海域鱼卵、仔稚鱼种类在大幅减少,主要与近年来的过度捕捞和环境退化有关。而于旭光等<sup>[41]</sup>2008年在辽东湾近岸海域的调查以及郭书新等<sup>[4]</sup>2014年和2015年在青岛崂山青山湾人工鱼礁区调查的种类数均低于本研究;肖欢欢等<sup>[42]</sup>2015年在海州湾及邻近海域3个航次的调查采获鱼卵25种,仔稚鱼13种,高于本研究采获的种类数。从与山东海域其他海湾的横向对比来看,种类数目高低不同,种类组成也存在一定的差异,说明鱼卵、仔稚鱼种类组成因调查海域范围、调查时间以及调查海域的生态环境等因素的不同而存在差异,这种差异也反映了不同海域不同时期鱼类群落结构的差异<sup>[4]</sup>。另外,将本研究中优势种种类与1998年渤海调查相比,油鲉(*Sphyræna pinguis*)、棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)、叫姑鱼(*Johnius belangerii*)、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)、玉筋鱼(*Ammodytes personatus*)、短鳍红娘鱼(*Lepidotrigla micropterus*)、许氏平鲉(*Sebastes schlegelii*)、大泷六线鱼等均缺失<sup>[7]</sup>。而鳀、鲛、赤鼻棱鳀、斑鳀(*Konosirus punctatus*)等种类比例有所上升。并且2014-2015年间,高优势度物种的季节演替较为明显,不存在高优势度物种的季节间重叠,与胶州湾和青山湾的研究结果一致,证明种类更替呈现加快的趋势<sup>[4,43]</sup>。

从空间生态类型来看,莱州湾海域目前以小型

中上层低经济价值鱼类的鱼卵、仔稚鱼为主,中上层鱼类和经济价值较低鱼类的鱼卵、仔稚鱼均超过全年总量的95%,而底层鱼类和经济价值较高鱼类的鱼卵、仔稚鱼分别仅占全年数量的3.7%和2.1%。进一步验证了目前莱州湾渔业资源结构正在向中上层、小型低值鱼类类群演化的趋势<sup>[11,44-45]</sup>。这种演变趋势主要与环境条件的变化和人类的捕捞活动有关。持续的全球变暖使渤海的水温不断升高,造成鱼类早期补充群体的生理周期提前,导致其与饵料的错配,使鱼类早期补充能力下降,进而导致渔业资源的衰退<sup>[46]</sup>。另外,有研究表明,渤海内捕捞强度自1950年以来增长了近40倍<sup>[47]</sup>,在环境变化和捕捞活动的双重干扰下,渤海鱼类资源急剧下降<sup>[16,48-49]</sup>,小黄鱼、带鱼(*Trichiurus japonicus*)等种类,曾是山东近海最重要的底层经济鱼类,自1962年秋捕对虾以来,大量损害了它们的幼鱼,不论在育肥场还是越冬场的密集区,均遭到大量的捕捞,极大破坏了底层经济鱼类资源。进入21世纪以来,底层鱼类比例仍处在较低水平上。而小型中上层鱼类的数量开始增加,20世纪90年代以后,鳀、斑鳀等小型中上层鱼类逐渐成为黄、渤海主要的捕捞品种<sup>[9,16,50-51]</sup>,从而导致作为鱼类早期补充群体的鱼卵、仔稚鱼的结构也发生相应的改变<sup>[31]</sup>。

从摄食习性来看,本研究中亲体为浮游动物食性和底栖动物食性的鱼卵、仔稚鱼大约占采集样品种数的70%,说明莱州湾目前以浮游动物食性和底栖动物食性的鱼类为主<sup>[52]</sup>。Jin等<sup>[51]</sup>发现莱州湾的优势种从高营养级和广食性鱼类,向寿命短、浮游生物食性的低营养级中上层鱼类演替。同时,渤海生态系统捕捞渔获物的平均营养级由1982年的2.92下降到2014-2015年的2.68,总的变化趋势为低营养层次种类的生物量百分比增加,高营养层次种类的生物量百分比减少<sup>[53-55]</sup>。过度捕捞和环境退化导致渤海生态系统稳定性不断降低,莱州湾生态系统压力巨大,而海湾区域多是水生生物重要的栖息地和重要的产卵场、育幼场、索饵场所,对渔业资源的补充非常重要。因此,加强对海湾生态系统的恢复和保护是当前非常紧迫的任务。

#### 参考文献:

- [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[J].*动物学报*,2006,52(1):28-44.  
Wan Ruijing, Sun Shan. The category composition and abundance of ichthyoplankton in the ecosystem of the Yellow Sea and the East China Sea[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2006, 52(1): 28-44.
- [2] 邵广昭,杨瑞森,陈康青,等.台湾海域鱼卵图鉴[M].台北:台湾研究院,2001.  
Shao Guangzhao, Yang Ruisen, Chen Kangqing, et al. An Identification Guide of Marine Fish Eggs from Taiwan[M]. Taipei: Academia

- Sinica, 2001.
- [3] 蒋政, 沈新强, 陈莲芳. 长江口及邻近水域春季鱼卵仔鱼分布与环境因子的关系[J]. *海洋环境科学*, 2006, 25(2): 37-39, 44.  
Jiang Mei, Shen Xinqiang, Chen Lianfang. Relationship between with abundance distribution of fish eggs, larvae and environmental factors in the Changjiang Estuary and vicinity waters in spring[J]. *Marine Environmental Science*, 2006, 25(2): 37-39, 44.
- [4] 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 Shuxin, Gao Dongkui, Zhang Xiumei, 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.
- [5] 姜言伟, 万瑞景, 陈瑞盛. 渤海硬骨鱼类鱼卵、仔稚鱼调查研究[J]. *海洋水产研究*, 1988, 9(9): 121-149.  
Jiang Yanwei, Wan Ruijing, Chen Ruisheng. Investigation of eggs and larvae of osteichthyes in the Bohai Sea[J]. *Marine Fisheries Research*, 1988, 9(9): 121-149.
- [6] 万修全, 吴德星, 鲍献文, 等. 2000年夏季莱州湾主要观测要素的分布特征[J]. *中国海洋大学学报*, 2004, 34(1): 7-13.  
Wan Xiuquan, Wu Dexing, Bao Xianwen, et al. Distribution features of main observational elements in Laizhou Bay in the summertime of 2000[J]. *Journal of Ocean University of China*, 2004, 34(1): 7-13.
- [7] 高彦洁. 莱州湾海域鱼卵仔稚鱼群落结构初步研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.  
Gao Yanjie. Studies on community structure of ichthyoplankton in Laizhou Bay[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016.
- [8] 袁小楠. 渤海湾和莱州湾鲎仔稚鱼口裂与浮游桡足类的关系研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.  
Yuan Xiaonan. Studies on the relationship between the gape size of *Liza haematocheilus* larvae and the plankton copepods[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017.
- [9] 金显仕, 邓景耀. 莱州湾春季渔业资源及生物多样性的年间变化[J]. *海洋水产研究*, 1999, 20(1): 6-12.  
Jin Xianshi, Deng Jingyao. Yearly variations of fishery resources and biodiversity in the Laizhou Bay[J]. *Marine Fisheries Research*, 1999, 20(1): 6-12.
- [10] 邓景耀, 金显仕. 莱州湾及黄河口水域渔业生物多样性及其保护研究[J]. *动物学研究*, 2000, 21(1): 76-82.  
Deng Jingyao, Jin Xianshi. Study on fishery biodiversity and its conservation in Laizhou Bay and Yellow River Estuary[J]. *Zoological Research*, 2000, 21(1): 76-82.
- [11] 金显仕, 邓景耀. 莱州湾渔业资源群落结构和生物多样性的变化[J]. *生物多样性*, 2000, 8(1): 65-72.  
Jin Xianshi, Deng Jingyao. Variations in community structure of fishery resources and biodiversity in the Laizhou Bay, Shandong[J]. *Chinese Biodiversity*, 2000, 8(1): 65-72.
- [12] 邓景耀. 渤海渔业资源增殖与管理的生态学基础[J]. *海洋水产研究*, 1988, 9(9): 1-9.  
Deng Jingyao. Ecological bases of marine ranching and management in the Bohai Sea[J]. *Marine Fisheries Research*, 1988, 9(9): 1-9.
- [13] 朱鑫华, 杨纪明, 唐启升. 渤海鱼类群落结构特征的研究[J]. *海洋与湖沼*, 1996, 27(1): 6-13.  
Zhu Xinhua, Yang Jiming, Tang Qisheng. Study on characteristics of fish community structure in Bohai Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1996, 27(1): 6-13.
- [14] 李凡, 吕振波, 魏振华, 等. 2010年莱州湾底层渔业生物群落结构及季节变化[J]. *中国水产科学*, 2013, 20(1): 137-147.  
Li Fan, Lü Zhenbo, Wei Zhenhua, et al. Seasonal changes in the community structure of the demersal fishery in Laizhou Bay[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(1): 137-147.
- [15] 杨建强, 朱永贵, 宋文鹏, 等. 基于生境质量和生态响应的莱州湾生态环境质量评价[J]. *生态学报*, 2014, 34(1): 105-114.  
Yang Jianqiang, Zhu Yonggui, Song Wenpeng, et al. The eco-environmental evaluation based on habitat quality and ecological response of Laizhou Bay[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(1): 105-114.
- [16] 金显仕, 窦硕增, 单秀娟, 等. 我国近海渔业资源可持续产出基础研究的热点问题[J]. *渔业科学进展*, 2015, 36(1): 124-131.  
Jin Xianshi, Dou Shuozeng, Shan Xiujian, et al. Hot spots of frontiers in the research of sustainable yield of Chinese inshore fishery[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(1): 124-131.
- [17] 国家海洋局. 山东海洋环境质量公报[EB/OL]. (2011-05-09) [2020-11-01]. <http://www.nmdis.org.cn/hygb/zghyhjzlg/yhssshyhjzlg/2009nyhjzlg/2009nsdshyhjzlg/>.  
State Oceanic Administration. Bulletin of shandong marine environmental status[EB/OL]. (2011-05-09) [2020-11-01]. <http://www.nmdis.org.cn/hygb/zghyhjzlg/yhssshyhjzlg/2009nyhjzlg/2009nsdshyhjzlg/>.
- [18] 王爱勇, 万瑞景, 金显仕. 渤海莱州湾春季鱼卵、仔稚鱼生物多样性的年代际变化[J]. *渔业科学进展*, 2010, 31(1): 19-24.  
Wang Aiyong, Wan Ruijing, Jin Xianshi. Decadal variations of ichthyoplankton biodiversity in spring in Laizhou Bay of the Bohai Sea[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2010, 31(1): 19-24.
- [19] 高彦洁, 吕振波, 杨艳艳, 等. 莱州湾春季鱼卵仔稚鱼群落结构和物种多样性[J]. *生态学报*, 2016, 36(20): 6565-6573.  
Gao Yanjie, Lü Zhenbo, Yang Yanyan, et al. Structure and species diversity of ichthyoplankton in Spring in Laizhou Bay[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(20): 6565-6573.
- [20] 卞晓东, 张秀梅, 高天翔, 等. 2007年春、夏季黄河口水域鱼卵、仔稚鱼种类组成与数量分布[J]. *中国水产科学*, 2010, 17(4): 815-827.  
Bian Xiaodong, Zhang Xiumei, Gao Tianxiang, et al. Category composition and distributional patterns of ichthyoplankton in the Yellow

- River estuary during spring and summer 2007[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(4): 815–827.
- [21] 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 Dongkui, Zhao Jing, Zhang Xiumei, 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.
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 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. GB/T 12763.6–2007, Specifications for oceanographic survey-Part 6: marine biological survey[S]. Beijing: China Standard Press, 2008.
- [23] 赵传纲, 张仁斋. 中国近海鱼卵与仔鱼[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- Zhao Chuanyin, Zhang Renzhai. Fish Eggs and Larvae in the Coastal Waters of China[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1985.
- [24] 冲山宗雄. 日本产稚鱼图鉴[M]. 东京: 东海大学出版会, 1988.
- Munee Okiyama. An Atlas of the Early Stage Fishes in Japan[M]. Tokyo: Tokai University Press, 1988.
- [25] 万瑞景, 张仁斋. 中国近海及其邻近海域鱼卵与仔稚鱼[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2016.
- Wan Ruijing, Zhang Renzhai. Fish Eggs, Larvae and Juveniles in the Offshore Waters of China and Their Adjacent Waters[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2016.
- [26] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- Liu Ruiyu. Checklist of Marine Biota of China Seas[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [27] 伍汉霖, 邵广昭, 赖春福, 等. 拉汉世界鱼类系统名典[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2017.
- Wu Hanlin, Shao Guangzhao, Lai Chunfu, et al. Latin-Chinese Dictionary of Fish Names by Classification System[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2017.
- [28] 黄宗国, 林茂. 中国海洋物种多样性[M]. 北京: 中国海洋出版社, 2012.
- Huang Zongguo, Lin Mao. The Living Species in China's Seas[M]. Beijing: China Ocean Press, 2012.
- [29] 山东省海洋与渔业厅. 山东近海经济生物资源调查与评价[M]. 北京: 海洋出版社, 2010.
- Marine and Fishery Department of Shandong Province. Investigation and Evaluation of Economic Resources in Shandong Coastal Waters[M]. Beijing: China Ocean Press, 2010.
- [30] 卞晓东, 万瑞景, 金显仕, 等. 近30年渤海鱼类种群早期补充群体群聚特性和结构更替[J]. *渔业科学进展*, 2018, 39(2): 1–15.
- Bian Xiaodong, Wan Ruijing, Jin Xianshi, et al. Ichthyoplankton succession and assemblage structure in the Bohai Sea during the past 30 years since the 1980s[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(2): 1–15.
- [31] 杨艳艳, 高彦洁, 汪健平, 等. 莱州湾春、夏季鱼卵仔稚鱼群落结构及环境因子相关性分析[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(10): 2976–2984.
- Yang Yanyan, Gao Yanjie, Wang Jianping, et al. Community structure of ichthyoplankton and its relationship with environmental factors in Laizhou Bay[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(10): 2976–2984.
- [32] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法: I  $\alpha$ 多样性的测度方法(下)[J]. *生物多样性*, 1994, 2(4): 231–239.
- Ma Keping, Liu Yuming. Measurement of biotic community diversity I.  $\alpha$  diversity (Part 2)[J]. *Chinese Biodiversity*, 1994, 2(4): 231–239.
- [33] Rice J C. Evaluating fishery impacts using metrics of community structure[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2000, 57(3): 682–688.
- [34] 姜亚洲, 程家骅, 李圣法. 东海北部鱼类群落多样性及其结构特征的变化[J]. *中国水产科学*, 2008, 15(3): 453–459.
- Jiang Yazhou, Cheng Jiahua, Li Shengfa. Variation in fish community structure and biodiversity in the north of the East China Sea between two periods[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(3): 453–459.
- [35] Xu Binduo, Jin Xianshi. Variations in fish community structure during winter in the southern Yellow Sea over the period 1985–2002[J]. *Fisheries Research*, 2005, 71(1): 79–91.
- [36] 徐兆礼, 林茂. 东海水母类多样性分布特征[J]. *生物多样性*, 2006, 14(6): 508–516.
- Xu Zhaoli, Lin Mao. Causal analysis on diversity of medusa in the East China Sea[J]. *Biodiversity Science*, 2006, 14(6): 508–516.
- [37] 李圣法, 程家骅, 李长松, 等. 东海中部鱼类群落多样性的季节变化[J]. *海洋渔业*, 2005, 27(2): 113–119.
- Li Shengfa, Cheng Jiahua, Li Changsong, et al. Seasonal changes on fish community diversity in the middle part of the East China Sea[J]. *Marine Fisheries*, 2005, 27(2): 113–119.
- [38] 程济生. 黄渤海近岸水域生态环境与生物群落[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2004.
- Cheng Jisheng. Ecological Environment and Biome in the Coastal Waters of the Yellow Sea and the Bohai Sea[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2004.
- [39] 万瑞景, 姜言伟. 渤海硬骨鱼类鱼卵和仔稚鱼分布及其动态变化[J]. *中国水产科学*, 1998, 5(1): 43–50.
- Wan Ruijing, Jiang Yanwei. The distribution and variation of eggs and larvae of osteichthyes in the Bohai Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1998, 5(1): 43–50.
- [40] 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[J]. *海洋水产研究*, 1998, 19(1): 60–73.
- Wan Ruijing, Jiang Yanwei. Studies on the ecology of eggs and larvae of osteichthyes in the Yellow Sea[J]. *Marine Fisheries Research*,

- 1998, 19(1): 60–73.
- [41] 于旭光, 董婧, 李铁平, 等. 辽东湾近海鱼卵、仔稚鱼种类组成和保护分析[J]. 大连海洋大学学报, 2018, 33(3): 370–378.  
Yu Xuguang, Dong Jing, Li Yiping, et al. Species composition and protection of fish eggs and larvae in the coastal waters in Liaodong Bay[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2018, 33(3): 370–378.
- [42] 肖欢欢, 张崇良, 薛莹, 等. 海州湾及邻近海域春夏季典型断面鱼类浮游生物群落的结构特征[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(5): 1079–1090.  
Xiao Huanhuan, Zhang Chongliang, Xue Ying, et al. Community structure of ichthyoplankton from typical transects in Haizhou Bay and its adjacent waters during spring and summer[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(5): 1079–1090.
- [43] 黄凤鹏, 黄景洲, 杨玉玲, 等. 胶州湾鱼卵、仔鱼和稚鱼的分布[J]. *海洋科学进展*, 2007, 25(4): 468–473.  
Huang Fengpeng, Huang Jingzhou, Yang Yuling, et al. Distributions of fish eggs and larval fish in the Jiaozhou Bay[J]. *Advances in Marine Science*, 2007, 25(4): 468–473.
- [44] 李忠义, 吴强, 单秀娟, 等. 渤海鱼类群落结构的年际变化[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(2): 403–413.  
Li Zhongyi, Wu Qiang, Shan Xiujian, et al. Interannual variations in fish community structure in the Bohai Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(2): 403–413.
- [45] 杨涛, 单秀娟, 金显仕, 等. 莱州湾春季鱼类群落关键种的长期变化[J]. *渔业科学进展*, 2018, 39(1): 1–11.  
Yang Tao, Shan Xiujian, Jin Xianshi, et al. Long-term changes in keystone species in fish community in spring in Laizhou Bay[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(1): 1–11.
- [46] Edwards M, Richardson A J. Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch[J]. *Nature*, 2004, 430(7002): 881–884.
- [47] Shan Xiujian, Sun Pengfei, Jin Xianshi, et al. Long-term changes in fish assemblage structure in the Yellow River Estuary ecosystem, China[J]. *Marine and Coastal Fisheries*, 2013, 5(1): 65–78.
- [48] Bianchi G, Gislason H, Graham K, et al. Impact of fishing on size composition and diversity of demersal fish communities[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2000, 57(3): 558–571.
- [49] Wan Ruijing, Bian Xiaodong. Size variability and natural mortality dynamics of anchovy *Engraulis japonicus* eggs under high fishing pressure[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2012, 465: 243–251.
- [50] 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 Ruijing, Jiang Yanwei. 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.
- [51] Jin Xianshi, Shan Xiujian, Li Xiansen, et al. Long-term changes in the fishery ecosystem structure of Laizhou Bay, China[J]. *Science China Earth Science*, 2013, 56(3): 366–374.
- [52] 张波, 吴强, 金显仕. 莱州湾鱼类群落的营养结构及其变化[J]. *渔业科学进展*, 2013, 34(2): 1–9.  
Zhang Bo, Wu Qiang, Jin Xianshi. Feeding ecology of fish assemblages and its variations in the Laizhou Bay[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2013, 34(2): 1–9.
- [53] 许思思, 宋金明, 李学刚, 等. 渤海渔获物资源结构的变化特征及其影响因素分析[J]. *自然资源学报*, 2014, 29(3): 500–506.  
Xu Sisi, Song Jinming, Li Xuegang, et al. Variation characteristics of catch structure in the Bohai Sea and its influencing factors[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(3): 500–506.
- [54] 张波, 吴强, 金显仕. 1959–2011年莱州湾渔业资源群落食物网结构的变化[J]. *中国水产科学*, 2015, 22(2): 278–287.  
Zhang Bo, Wu Qiang, Jin Xianshi. Interannual variation in the food web of commercially harvested species in Laizhou Bay from 1959 to 2011[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(2): 278–287.
- [55] 吴佳颖, 薛莹, 刘笑笑, 等. 黄、渤海渔业生物平均营养级的长期变动[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2017, 47(11): 53–60.  
Wu Jiaying, Xue Ying, Liu Xiaoxiao, et al. Long-Term trends in the mean trophic level of marine fisheries in the Yellow Sea and Bohai Sea[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2017, 47(11): 53–60.

## Seasonal variation of community structure and diversity of ichthyoplankton in the Laizhou Bay

Yang Yanyan<sup>1</sup>, Zhu Mingming<sup>1</sup>, Xu Bingqing<sup>1</sup>, Li Fan<sup>1</sup>, Gao Yanjie<sup>2</sup>, Sun Chunxiao<sup>1</sup>, Wei Xiao<sup>1</sup>, Wang Bin<sup>1</sup>

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006, China; 2. The Institute for Advanced Study of Coastal Ecology, Ludong University, Yantai 264025, China)

**Abstract:** In order to understand the population dynamics of ichthyoplankton and the changing laws of biodiversity in the Laizhou Bay, four investigations (respectively in spring, summer, autumn and winter) of 20 positions in the Laizhou Bay from 2014 to 2015, the seasonal variations of species composition and community structure of ichthyoplankton in this area, involving its dominant species, community diversity and seasonal turnover rate were studied in this paper. The results showed that 135 275 fish eggs and 2 456 larvae were collected, total 22 species. Main species of ichthyoplankton changed significantly with the seasons, from *Engraulis japonicus* and *Liza haematocheilus* in spring, to *Thryssa kammalensis* and *Allanetta bleekeri* in summer, to *Protosalanx hyalocranius* in autumn, to *Zoarces elongates* in winter. The richness index ( $D$ ) and diversity index ( $H'$ ) were the highest in summer, and the evenness index ( $J'$ ) was the highest in autumn. The species turnover rate from spring to summer was the lowest. Analysis of the results of clustering using R language with the highest likelihood suggest the existence of three assemblages of ichthyoplankton in the surveyed waters: spring group, summer and autumn group, winter group. The main divergent species of spring group and summer-autumn group, spring group and winter group were *Engraulis japonicus*. While the main divergent species of summer autumn group and winter group were *Zoarces elongates* and *Thryssa kammalensis*. This study shows that there are significant seasonal differences in the species composition, quantity distribution and biodiversity of ichthyoplankton in the Laizhou Bay. The research results supplement the basic data of fish early replenishment resources in the Laizhou Bay and provide basis for fishery resources conservation in the Laizhou Bay.

**Key words:** fish eggs; fish larvae; seasonal change; biodiversity; community structure; R language