

DOI: 10.5846/stxb201502020263

高彦洁, 吕振波, 杨艳艳, 王育红, 任中华, 丛旭日. 莱州湾春季鱼卵仔稚鱼群落年际变化及多样性研究. 生态学报, 2016, 36(20): - .

Gao Y J, Lü Z B, Yang Y Y, Wang Y H, Ren Z H, Cong X R. Structure and Species Diversity of Ichthyoplankton in Spring in Laizhou Bay. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(20): - .

莱州湾春季鱼卵仔稚鱼群落年际变化及多样性研究

高彦洁^{1,2}, 吕振波^{1,2}, 杨艳艳^{1,*}, 王育红¹, 任中华^{1,2}, 丛旭日^{1,2}

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, 烟台 264006

2 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306

摘要: 于 2007—2010 年春季(5 月)利用大型浮游生物网对莱州湾海域位置相同的 12 个站位进行 4 个航次拖网调查, 研究分析了该海域鱼卵仔稚鱼群落组成、优势种、空间分布及其多样性特征。结果表明: 4 个航次共获得鱼卵、仔稚鱼 26 种, 隶属于 6 目 16 科 24 属, 1 种鲷科鱼卵鉴定到科, 另有 1 种鱼卵未能鉴定种类。鱼卵、仔稚鱼分布不均匀, 莱州湾西部还湾底海域分布较多。斑鰾(*Konosirus punctatus*)为该海域鱼卵的第一优势种; 鳀(*Engraulis japonicus*)在 2007 年和 2008 年作为仔稚鱼的第一优势种出现, 而 2009 年和 2010 年仔稚鱼的第一优势种则是虾虎鱼。调查期间该海域鱼卵、仔稚鱼的均匀度指数和生物多样性指数变化趋势一致, 均表现为从 2007 年开始随年代递减的趋势; 种类数和丰富度指数则从 2008 年开始呈现随年代递减的趋势。2007—2010 年四年鱼卵仔稚鱼聚类结果显示, 2007 年和 2008 年鱼卵仔稚鱼群落结构相似, 与 2009 年和 2010 年均存在差异。与 1982 年山东省近岸调查结果相比, 莱州湾海域鱼卵仔稚鱼群落结构发生明显变化, 斑鰾取代鳀成为第一优势种, 小黄鱼等经济鱼类数量逐渐降低。

关键词: 莱州湾; 鱼卵仔稚鱼; 种类组成; 数量分布; 生物多样性; 群落结构

Structure and Species Diversity of Ichthyoplankton in Spring in Laizhou Bay

GAO Yanjie^{1,2}, LÜ Zhenbo^{1,2}, YANG Yanyan^{1,*}, WANG Yuhong¹, REN Zhonghua^{1,2}, CONG Xuri^{1,2}

1 Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Yantai 264006, China

2 Institute of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: The community structure, dominant species, spatial distribution, and diversity of ichthyoplankton in Laizhou Bay were studied based on trawl survey data in spring (May) from 2007 to 2010. Twelve fixed sampling stations were established in the investigation area. During the investigation, 26 ichthyoplankton taxa were collected, of which 24 taxa were identified and belonged to 24 genera, 16 families, and 6 orders. One taxon of Callionymidae fish was identified to the family level only, and the taxon of an egg sample was unidentified. The distribution of ichthyoplankton in Laizhou Bay was uneven; eggs were richer in the west and southeast, but larvae were richer in the west. The dominant eggs in all years were *Konosirus punctatus*; 83% ($n = 5543$) of all specimens in 2008 were *K. punctatus*. The dominant larvae in 2007 and 2008 were *Engraulis japonicus*, and Gobiidae fishes were dominant in 2009 and 2010. The dominant species of larvae changed from pelagic-neritic continental shelf fish to demersal continental shelf species. The diversity (H) and evenness (J) indices showed a decreasing trend from 2007, and the species diversity (S) and species richness (D) indices showed a decreasing trend from 2008. Cluster analysis showed significant differences among years in the community structure of eggs, larvae, and juveniles; the community structure of eggs and larvae was similar in 2007 and 2008. Compared to results from a 1982 survey

基金项目: 国家海洋公益性专项经费项目(201405010); “泰山学者岗位”经费资助

收稿日期: 2015-02-02; **网络出版日期:** 2015-00-00

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

offshore of Shandong Province, the community structure of ichthyoplankton in Laizhou Bay has changed. *K. punctatus* was the dominant species, and the numbers of economic fish species such as *Larimichthys polyactis* have decreased.

Key Words: Laizhou Bay; ichthyoplankton; species composition; distribution pattern; biodiversity; community structure

鱼卵、仔稚鱼调查是研究鱼类种群动态的基础,鱼类资源的动态变化取决于其世代的强弱,而其世代的强弱很大程度上取决于他们早期生活史阶段的补充状态^[1]。研究表明,温度、盐度和海流等环境特点对于鱼卵仔稚鱼的成活率和空间分布有重要影响^[2-3]。

莱州湾位于渤海南部,属于半封闭海湾。沿岸有黄河、小清河和胶莱河等 10 余条河流入海^[4],其中黄河冲淡水使黄河口附近海域形成营养盐丰富,水温适宜,低盐度等水环境条件,使莱州湾海域成为黄、渤海多种渔业资源种类重要的产卵场、索饵场和育幼场^[5-6]。莱州湾海域鱼类资源丰富,其中春季从黄海越冬场生殖洄游至该海域产卵繁殖种类有 51 种^[7]。莱州湾海域鱼类主要以暖温性种类为主,暖水性种类次之,冷水性种类最少。

从 50 年代初期开始,我国许多海洋生物工作者致力于黄、渤海鱼类产卵场调查及鱼卵仔稚鱼形态学和生态学研究^[8]。近几十年来,过度捕捞、围填海等因素影响着莱州湾渔业资源,进而影响着莱州湾鱼卵仔稚鱼的变化^[7,9]。莱州湾海域鱼类种类呈下降趋势,据资料显示 1998 年莱州湾春夏秋调查记录鱼类 45 种^[10],2006 年春秋调查记录鱼类 37 种^[11],2010 年夏季调查鱼类 32 种^[12]。莱州湾海域鱼类优势种也不断变化,1998 年优势种以黄鲫、鲢、赤鼻棱鲈为主,2010 年优势种主要以虾虎鱼科鱼类和斑鲷为主。1982—1983 年渤海渔业资源调查期间,在莱州湾海域共采集鱼卵仔稚鱼 27 种,1992—1993 年莱州湾海域鱼卵仔稚鱼共采集 21 种^[13]。2003 年在该海域采集鱼卵仔稚鱼共 12 种^[14]。近期渔业资源调查表明,莱州湾鱼类群落已经发生了明显改变^[15],鱼卵、仔稚鱼的组成和数量可能也会发生相应的变化。

本文根据 2007—2010 年在莱州湾位置相同的 12 个站位调查的拖网资料,分析该海域近几年鱼卵、仔稚鱼的种类组成和数量分布及生物多样性的动态变化,为了解莱州湾产卵群体的资源演替提供参考,并为莱州湾渔业资源开发和保护提供依据。

1 材料与方法

1.1 调查航次和站位分布

于 2007、2008、2009、2010 年 5 月对莱州湾海域(经纬度)位置相同的 12 个站位进行 4 个航次的拖网调查。

1.2 样品采集、处理和分析

样品采样及分析均按《海洋调查规范(GB/T 12763.6—2007)》^[16]进行。样品采集采用口径 80cm、长 280cm、38GG 筛绢制成的大型浮游生物网,于每个调查站进行表层水平拖网,每站拖网 10 min,拖速为 2 kn。调查样品以 5%福尔马林海水溶液固定保存,带回实验室分检后在解剖显微镜下进行分析。

1.3 数据处理

用 primer5.0 软件对 2007—2010 年间鱼卵仔稚鱼生物多样性进行分析计算,并且对 2007—2010 年间鱼卵仔稚鱼数据进行聚类分析。采用 ArcGIS 9.0 软件绘制鱼卵和仔稚鱼数量平面分布图。

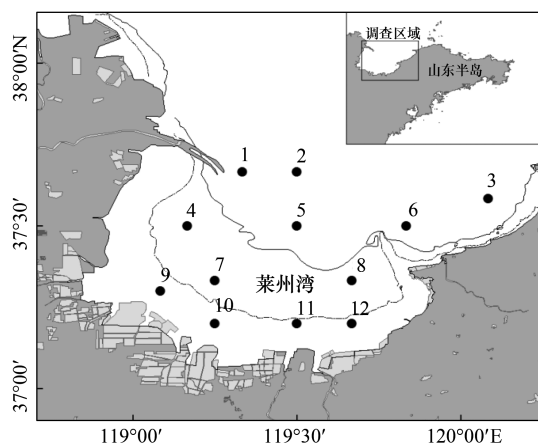


图 1 莱州湾调查站位图

Fig.1 Sample station in Laizhou Bay

1.4 生态优势度

生态优势度利用 Pinkas 相对重要性指数^[17] (Index of Relative Importance, 简称 IRI) 确定种类在群落中的重要性。

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

其中, N 为某一类鱼卵或仔稚鱼数量占采获鱼卵或仔稚鱼总量的百分比; F 为某一类出现的站数占调查总站数的百分比, 将 IRI 值大于等于 1000 的种类定义为优势种, IRI 值在 100—1000 之间的种类定义为重要种。

1.5 生物多样性

采用 Primer5.0 软件包中的 Margalrf 种类丰富度指数 (D)^[18], Shannon-Wiener 多样性指数 (H)^[19] 和 Pielou 均匀度指数 (J)^[20] 对 2007—2010 年莱州湾春季鱼卵、仔稚鱼进行多样性研究。

Margalrf 种类丰富度指数:

$$D = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

Pielou 均匀度指数:

$$J' = \frac{H'}{\ln S}$$

1.6 Bray—Curtis 相似性指数

利用 Bray—Curtis 相似性指数计算年份间鱼卵、仔稚鱼种类组成的差异, 分析莱州湾鱼卵、仔稚鱼资源随时间变化的特征。相似性指数计算公式为:

$$B = 100 \times \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^s |x_{ij} - x_{im}|}{\sum_{i=1}^s |x_{ij} + x_{im}|} \right]$$

式中, x_{ij} , x_{im} 分别为第 i 个种类在第 j 年份和第 m 年份渔获个体数 (经过 $\log(x+1)$ 转换)。

2 结果与分析

2.1 种类组成与年际变化

4 次调查共采集鱼卵 12358 粒, 仔稚鱼 2335 尾, 经鉴定共 26 种。隶属于 7 目 17 科 24 种, 其中 1 种蛇鲭仅鉴定到属, 1 种鱼卵未能鉴定出种类。在已鉴定的 24 种鱼卵仔稚鱼中, 鲈形目 15 种, 占 62.5%; 鲱形目 3 种, 占 12.5%; 鲽形目和刺鱼目各 2 种, 各占 8.3%; 鲻形目和鲹形目各 1 种, 各占 4.2%。从鱼卵仔稚鱼科一级种类组成来看, 以石首鱼科、虾虎鱼科所占比例较高。个体数量以 2008 年最高, 2010 年最低, 2010 年个体数量仅为 2008 年的 11%。4 年间出现的鱼卵、仔稚鱼大多以暖温种为主, 暖水性次之, 冷温性最少; 根据鱼类栖所类型可将其大致分为浅水底层鱼类、浅水中底层鱼类、浅水中上层鱼类和岩礁性鱼类 4 种类型。

调查结果显示, 2008 年春季莱州湾海域鱼卵仔稚鱼种类和数量最多, 2007 年、2009 年和 2010 年依次减少。其中鱼卵种类和数量变化较大, 2008 年春季莱州湾鱼卵数量 6770 粒共 17 种, 2010 年春季鱼卵数量为 644 粒共 3 种。仔稚鱼种类数变化不大, 数量与鱼卵数量减少趋势一致。2007—2010 年间鱼卵和仔稚鱼共同出现的种类数呈下降趋势 (表 1)。

表 1 莱州湾鱼卵仔稚鱼种类与数量年际变化

Table 1 Annual variations of ichthyoplankton species and abundance in Laizhou Bay

调查时间 Survey time	鱼卵仔稚 鱼种类数 species of ichthyoplankton	鱼卵仔 稚鱼数量 Number of ichthyoplankton	鱼卵 Eggs		仔稚鱼 Larvae		共同出现种 Common species
			种类 Species	数量 Number	种类 Species	数量 Number	
2007.5	18	3589	16	3506	8	83	6
2008.5	20	8263	17	6770	8	1493	5
2009.5	10	1919	6	1438	5	481	1
2010.5	8	922	3	644	6	378	1

表 2 莱州湾鱼类种类名录

Table 2 The species of fish eggs and larvae in the Laizhou Bay

种类 Species	鱼卵属性 Eggs type	发育阶段 stage		生态类型 Eco-type		年份 Year			
		鱼卵 Eggs	仔稚鱼 Larvae	适温性 Suitable temperature	栖所类型 Suitable temperature	2007	2008	2009	2010
斑鲚 <i>Konosiruspunctatus</i>	浮性卵	✓	✓	WT	CPN	✓	✓	✓	✓
鲮 <i>Lishaelongata</i>	浮性卵	✓		WW	CPN		✓		
鳀 <i>Engraulisjaponicus</i>	浮性卵	✓	✓	WT	CPN	✓	✓	✓	
鲛 <i>Liza haematocheila</i>	浮性卵	✓	✓	WT	CPN	✓	✓		✓
竹荚鱼 <i>Trachuurusjaponicus</i>	浮性卵	✓		WT	CPN	✓	✓		
棘头梅童鱼 <i>Collichthysniveatus</i>	浮性卵	✓		WT	CD	✓	✓		
皮氏叫姑鱼 <i>Johniusbelengerii</i>	浮性卵	✓	✓	WW	CBD	✓	✓		
黄姑鱼 <i>Nibeaalbiflora</i>	浮性卵	✓		WT	CBD	✓	✓		
小黄鱼 <i>Larimichthyspolyactis</i>	浮性卵	✓	✓	WT	CBD	✓	✓	✓	
绯鲷 <i>Callionymusbeniëguri</i>	浮性卵	✓		WT	CD			✓	✓
小带鱼 <i>Eupleurogrammusmuticus</i>	浮性卵	✓	✓	WW	CBD	✓	✓	✓	
带鱼 <i>Trichiuruslepturus</i>	浮性卵	✓	✓	WT	CBD	✓	✓	✓	✓
鲈 <i>Scomberjaponicus</i>	浮性卵	✓	✓	WW	CPN	✓	✓		
蓝点马鲛 <i>Scomberomorusniphonius</i>	浮性卵	✓		WT	CPN	✓	✓		
多鳞鱈 <i>Sillagosihama</i>	浮性卵	✓		WW	CRA	✓	✓		
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthysstigmatias</i>	粘性卵		✓	WT	CD		✓	✓	✓
六丝钝尾虾虎鱼 <i>Amblychaeturichthyshexanema</i>	粘性卵		✓	WT	CD				✓
斑尾刺虾虎鱼 <i>Synechogobius ommaturus</i>	粘性卵		✓	WT	CD	✓			✓
油鲷 <i>Sphyraenapinguis</i>	浮性卵	✓		WT	CPN	✓	✓		
鲷 <i>Platycephalusindicus</i>	浮性卵	✓	✓	WW	CRA			✓	✓
尖海龙 <i>Syngnathusacus</i>	卵胎生		✓	WT	CD	✓	✓		
冠海马 <i>Hippocampus coronatus</i>	卵胎生		✓	CT	CD		✓		
褐牙鲆 <i>Paralichthysolivaceus</i>	浮性卵	✓		WT	CD	✓		✓	
短吻红舌鲷 <i>Cynoglossusjoyneri</i>	浮性卵	✓		WT	CD	✓	✓		
蛇鲻 Sp	浮性卵	✓						✓	
未定种 Sp1	浮性卵	✓					✓		

CD;大陆架浅水底层鱼类 continental shelf demersal fish; CBD;大陆架浅水中底层鱼类 continental shelf benthopelagic fish;CPN;大陆架浅水中上层鱼类 continental shelf pelagic-neritic fish;CRA;大陆架岩礁性鱼类 continental shelf reef-associated fish;WT;暖温性种 warm temperate species; WW;暖水性种 warm water species;CT;冷温性种 cold temperate species

2.2 丰度时间和空间变异

调查海域鱼卵数量 2008 年最多,2010 年最少,鱼卵平均密度和其出现频率的变化趋势与鱼卵数量变化

一致;仔稚鱼数量 2008 年最多,2007 年最少,仔稚鱼数量、出现频率和平均密度总体变化趋势一致,都是先增加后减小(表 3)。鱼卵和仔稚鱼的分布具有明显的区域特征,鱼卵分布主要集中在莱州湾西部海域和湾底海域,仔稚鱼则集中分布在莱州湾的西部海域(图 2)。

表 3 莱州湾鱼卵、仔稚鱼数量分布年际变化
Table 3 Annual variations of ichthyoplankton abundance in Laizhou Bay

项目 Project	年份 Year			
	2007	2008	2009	2010
鱼卵数量 Number of eggs/粒	5399	7287	3721	2029
出现频率 Frequency of occurrence/%	100	100	92	67
鱼卵密度 diversity of eggs/(粒/网)	449.92	607.25	310.08	169.08
仔稚鱼数量 Number of larvae/尾	239	3788	482	286
出现频率 Frequency of occurrence/%	67	100	50	58
仔稚鱼密度 Diversity of larvae/(尾/网)	19.92	315.67	40.17	23.83

2.3 优势种

2007—2010 年春季,斑鲈(*Konosirus punctatus*)均作为莱州湾海域鱼卵第一优势种,在 2008 年斑鲈鱼卵数量达到 5543 粒,占当年调查采集鱼卵总数的 73%,之后斑鲈鱼卵数量和数量百分比均呈减少的趋势;鳀卵在 2007 年为第二优势种出现,之后则非优势种类。

鳀(*Engraulis japonicus*)在 2007 年和 2008 年作为该海域仔稚鱼第一优势种,而 2009 年和 2010 年莱州湾海域仔稚鱼第一优势种变为虾虎鱼科鱼类。

表 4 莱州湾春季鱼卵优势种组成
Table 4 Dominant species composition of eggs in Laizhou Bay

年份 Year	种类 Species	生态优势度 Index of Relative Importance IRI%
2007 年春季 2007 Spring	斑鲈 <i>Konosirus punctatus</i>	2688.71
	鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	2021.28
2008 年春季 2008 Spring	斑鲈 <i>Konosirus punctatus</i>	6691.8
2009 年春季 2009 Spring	斑鲈 <i>Konosirus punctatus</i>	1827.47
2010 年春季 2010 Spring	斑鲈 <i>Konosirus punctatus</i>	2069.99

表 5 莱州湾春季仔稚鱼优势种组成
Table 5 Dominant species composition of larvae in Laizhou Bay

年份 Year	种类 Species	生态优势度 Index of Relative Importance IRI%
2007 年春季 2007 Spring	鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	2562.76
2008 年春季 2008 Spring	鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	5037.84
	鲃 <i>Liza haematocheila</i>	2597.68
2009 年春季 2009 Spring	矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	3692.95
2010 年春季 2010 Spring	六丝钝尾虾虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	2214.45

2.4 多样性时间和空间变化

2007—2010 年春季莱州湾海域鱼卵、仔稚鱼种类和丰富度指数变化趋势一致,2008 年数值最高,2010 年数值最低。2008 年到 2009 年之间变化幅度较大,鱼卵、仔稚鱼种类和丰富度指数减小比较明显;2009 和 2010 年之间,鱼卵、仔稚鱼种类和丰富度指数变化幅度较小。春季莱州湾海域鱼卵、仔稚鱼的均匀度指数和生物多样性指数以 2007 年数值最高,并逐年递减。

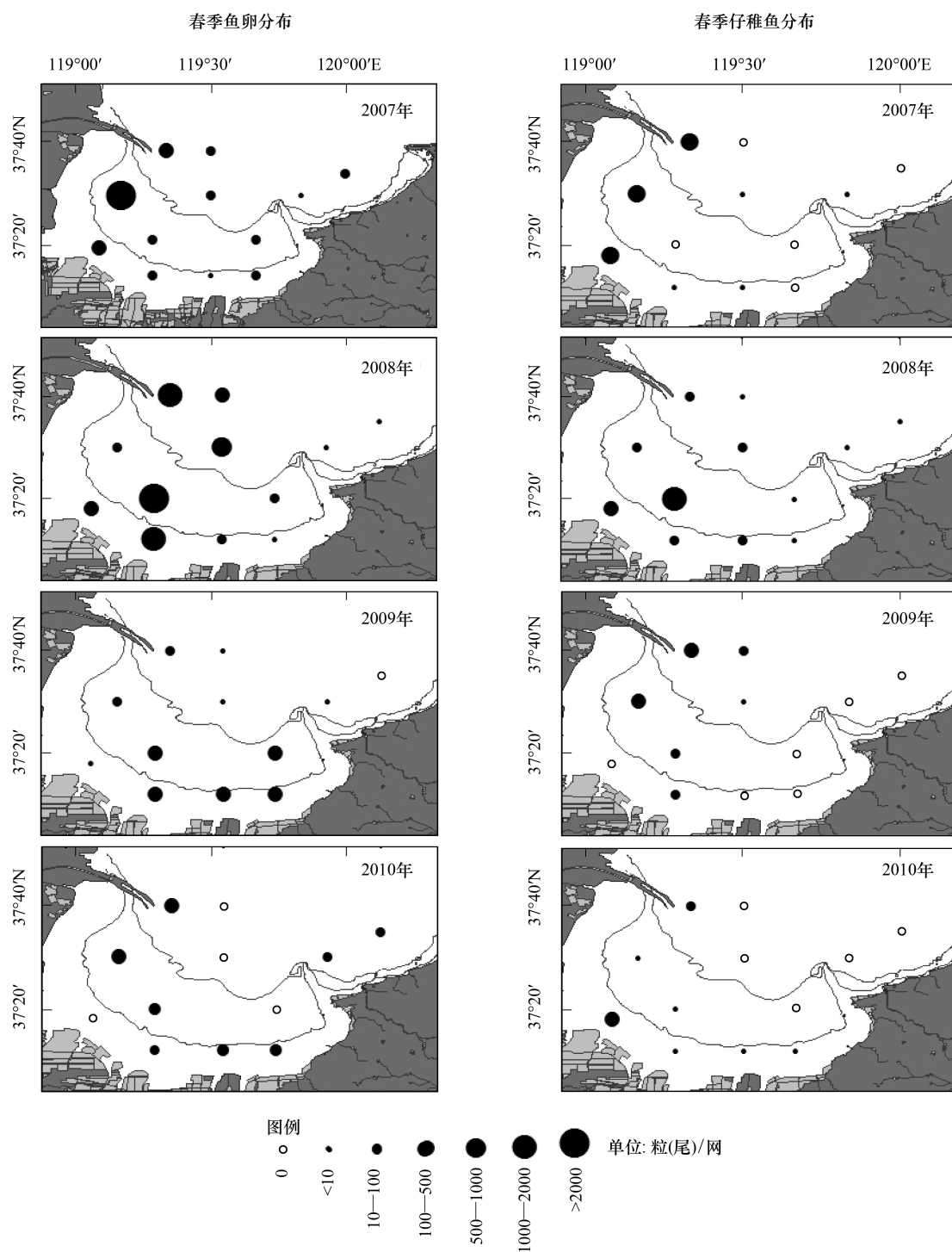


图2 莱州湾鱼卵、仔稚鱼数量平面分布图

Fig.2 Horizontal distribution of ichthyoplankton in Laizhou Bay

2.5 群落结构变异

Bray-curtis 相似性矩阵显示,2007 年和 2008 年鱼卵仔稚鱼群落结构相似度最高,为 72.82%,其他年份之间均低于 50%(表 6)。对 2007—2010 年四年鱼卵仔稚鱼丰度聚类分析,其结果显示(图 4),2007 和 2008 年调查年间鱼卵仔稚鱼群落结构组成比较相似,2007—2008 年、2009 年和 2010 年之间鱼卵仔稚鱼群落结构年际变化较大,差异较显著。

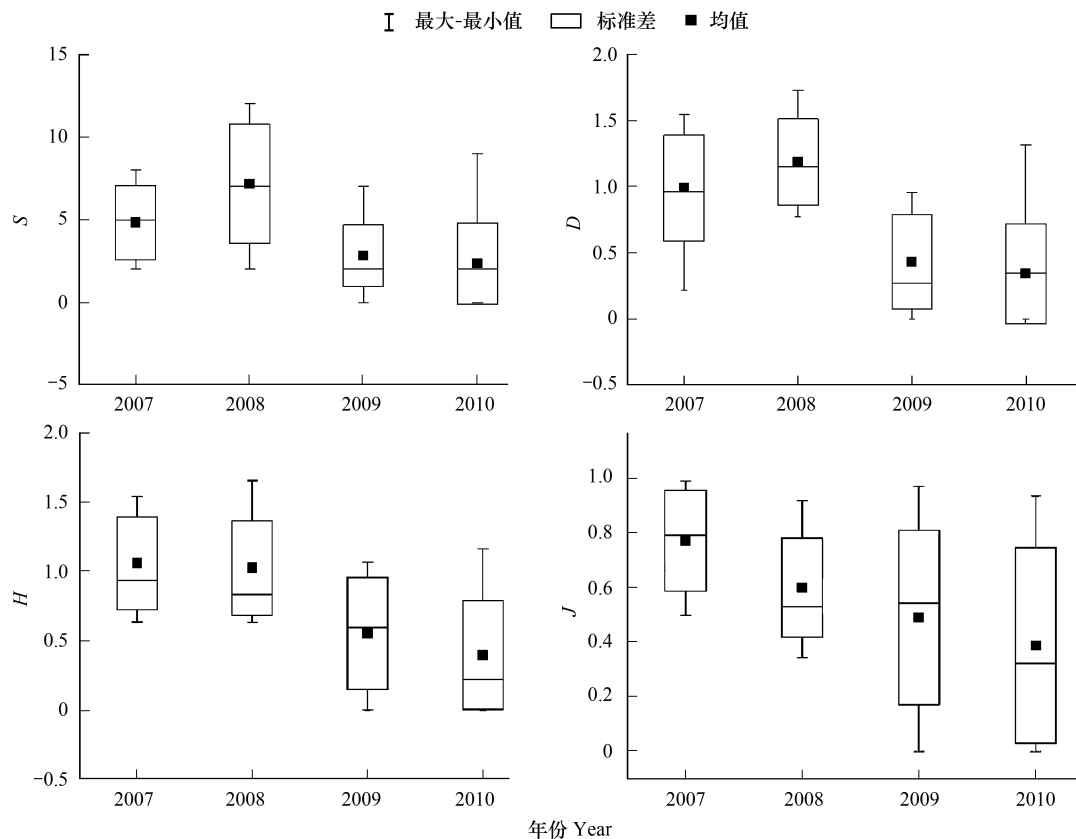


图3 莱州湾鱼卵仔稚鱼多样性指数的年际变化

Fig.3 Annual variations of ichthyoplankton biodiversity indices in Laizhou Bay

表6 2007—2010年鱼卵仔稚鱼群落结构矩阵

Table 6 Similarity matrix of ichthyoplankton composition in Laizhou Bay

年 year	2007	2008	2009	2010	年 year	2007	2008	2009	2010
2007					2009	39.52	32.57		
2008	72.82				2010	23.66	23.75	33.78	

3 讨论

3.1 种类及数量变化

本研究结果表明,莱州湾海域5月份鱼卵、仔稚鱼种类从2007年的27种和2008年的30种下降到2009年的9种和2010年的11种;鱼卵、仔稚鱼数量从2008年之后开始大幅下降,2010年鱼卵、仔稚鱼的数量仅为2008年的20%,并且死卵数量巨大,尤其是2009年和2010年调查中,死卵数量分别占到当季总卵数的72.10%和68.16%。斑鲈对2008年鱼卵仔稚鱼数量增多具有较大贡献,调查显示2008年斑鲈鱼卵数量为5543粒,占该年总鱼卵数的73%。斑鲈属于小型中上层鱼类,生命周期短,种群波动性较大,造成种群调查年间数量变动。鱼类补充群体的种类和数量大幅减少原因有两方面:一渤海渔业资源过度开发。从北方三省一市拥

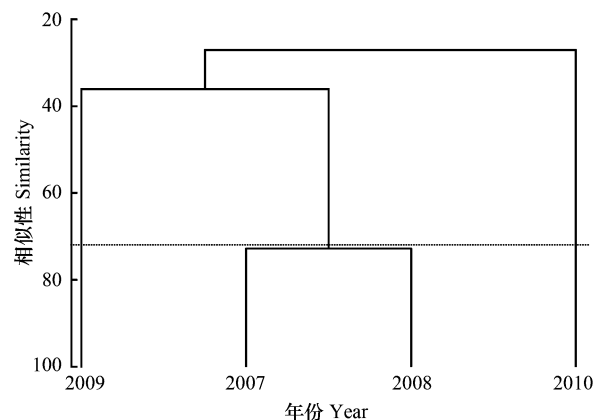


图4 不同年份之间鱼卵仔稚鱼群落结构聚类

Fig.4 Group average clustering for four years in Laizhou Bay

量变动。鱼类补充群体的种类和数量大幅减少原因有两方面:一渤海渔业资源过度开发。从北方三省一市拥

有的海洋捕捞力量增长情况来看,1982 年的马力数是 1959 年的近 14 倍,1993 为 34 倍,1998 年增至 42 倍^[21],而随着捕捞力量的增长渔业资源种类在逐年减少,1983 年 5 月渤海出现鱼类有 63 种^[22],1992 年 5 月有 43 种^[23],1998 年 5 月有 40 种^[10],而 2004 年 5 月仅出现 30 种^[24]。另一方面与环境条件的变化密不可分,环境污染、围填海等因素也是鱼卵仔稚鱼种类和数量减少的原因之一^[5,25]。环境污染主要包括无机氮、重金属和有机物等污染物,其中无机氮是影响莱州湾水质变化的主要原因^[26]。小清河和黄河是莱州湾主要的污染源,2000—2004 年相关研究显示,黄河口海域水质类别Ⅳ类,主要为石油类等污染;小清河沿岸工厂排污造成无机氮污染严重^[27]。近几年来,莱州湾海域主要污染物质是无机氮和油类,黄河口和小清河附近污染严重,鱼卵仔稚鱼数量极低^[28]。可见在过度捕捞和环境条件变化的双重扰动下,莱州湾生态系统中鱼类资源的种类组成和数量分布发生了很大的变化,从而导致补充群体也发生了相应的改变。

3.2 优势种更替

将本研究结果与该海域 1982 年山东海岸带调查结果相比^[29],可以发现莱州湾海域鱼卵和仔稚鱼的优势种群发生了改变。主要表现为:1982 年春季鱼卵、仔稚鱼优势种均以鲈为主;而本调查结果表明,在 2007—2010 年同期鱼卵优势种均为斑鲆。这与莱州湾渔获物中优势种变化趋势一致。1998 年斑鲆在莱州湾渔获物组成中非优势种,但优势度明显比 1982 年增加^[7];2010 年 7 月莱州湾海域渔获物组成中斑鲆和虾虎鱼科鱼类成为优势种^[12];2013 年李凡等^[15]提出斑鲆为莱州湾成鱼优势种。2007 年和 2008 年仔稚鱼的优势种均为鲈,2009 年和 2010 年仔稚鱼的优势种变成虾虎鱼科鱼类。王爱勇等研究结果显示,2008 年春季鲈作为莱州湾海域鱼卵仔稚鱼优势种之一出现^[14]。2009 年鲈卵和仔稚鱼的数量大幅减少,调查显示,2010 年未出现鲈的鱼卵和仔稚鱼。2010 年莱州湾渔业资源调查中,未捕获鲈,鲈已不再是莱州湾的主要种类^[15]。鲈鱼卵和仔稚鱼大幅度减少,其主要原因包括捕捞强度的加大。鲈是洄游性种类,在莱州湾产卵的鲈亲体数量与黄渤海鲈的种群规模密切相关,黄渤海捕捞强度加大,鲈种群规模降低,直接导致了莱州湾鲈产卵群体数量的降低,造成莱州湾鲈卵数量的减少。另外,近年来渤海海峡设置了大量的定置网具阻碍了鲈产卵亲体进入渤海也是莱州湾鲈卵数量下降的原因之一。鲈产卵环境偏向高盐水域,5、6 月份为黄河调水调沙期间,黄河冲淡水,该海域盐度偏低,也会影响鲈亲体产卵。

3.3 生物多样性年际变化

根据研究结果显示,与 2007 年、2008 年相比,2009 年和 2010 年莱州湾鱼卵仔稚鱼的生物多样性指数处于较低水平,主要原因可能与鲈等鱼类的消失等有关,也可能与环境变化有关。调查显示 2007—2010 年春季鱼卵仔稚鱼主要分布在莱州湾西部海域和湾底,该地区沿岸分别有黄河、小清河、维和、弥河等河流入海,其中黄河和小清河带来大量污染物,河流排污造成该海域生态环境不适和鱼卵孵化,致使出现大量死卵,降低该海域鱼卵仔稚鱼生物多样性。该地区主要发展滩涂养殖,围填海等工程对该海域鱼卵仔稚鱼种类及多样性也有较大影响。过度捕捞和环境退化也是导致群落种类数减少、生物多样性下降的重要原因^[30-31]。相关研究表明,近几十年来,莱州湾渔业种类的丰度和多样性指数的年间变化较大,莱州湾海域的鱼类群落结构正在向“小型化”发展^[32]。

3.4 鱼卵仔稚鱼种类相似性及群落结构变动评价

通过对莱州湾春季鱼卵、仔稚鱼种类组成相似性和群落相似性分析显示,2007 年和 2008 年鱼卵仔稚鱼种类组成相似性和群落结构相似性最高,2009 年和 2010 年次之,2007 年和 2010 年最低。此结果说明 2007 年到 2010 年四年时间,莱州湾鱼卵仔稚鱼种类组成和群落结构发生了较大的变化。2009 年和 2010 年鱼卵仔稚鱼种类较少,鲈、带鱼、黄姑鱼、白姑鱼、鲈等鱼的鱼卵仔稚鱼均未出现,鱼卵仔稚鱼群落结构单一化,鱼卵以斑鲆为主,仔稚鱼以虾虎鱼科鱼类为主。在外界扰动减弱的情况下,小型中上层种类资源量可以在短时间内得到较快的恢复和增长^[8],于是小型中上层鱼类逐渐替代了经济价值较高的底层经济鱼类,而这些小型中上层鱼类之间也在不断交替中,这就导致莱州湾海域渔业资源的种群交替和鱼类群落结构发生了较大的变化,作为鱼类资源进行补充和科持续利用基础的鱼卵、仔稚鱼群体也发生相应的改变。

致谢:感谢山东省海洋资源与环境研究院李凡老师在本文的数据处理和绘图过程中给予指导。

参考文献 (References):

- [1] Hjort J. Fluctuations in the great fisheries of Northern Europe viewed in the light of biological research. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions*, 1914, (4): 1-228.
- [2] Kim JY, Kang YS, Oh H J, Suh YS, Hwang JD. Spatial distribution of early life stages of anchovy (*Engraulis japonicus*) and hairtail (*Trichiurus lepturus*) and their relationship with oceanographic features of the East China Sea during the 1997—1998 El Niño Event. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, 63(1-3): 13-21.
- [3] Aoki I, Miyashita K. Dispersal of larvae and juveniles of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in the Kuroshio Extension and Kuroshio-Oyashio transition regions, western North Pacific Ocean. *Fisheries Research*, 2000, 49(2): 155-164.
- [4] 万修全, 吴德星, 鲍献文, 姜华. 2000 年夏季莱州湾主要观测要素的分布特征. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2004, 34(1): 7-12.
- [5] 金显仕, 邓景耀. 莱州湾春季渔业资源及生物多样性的年际变化. *海洋水产研究*, 1999, 20(1): 6-12.
- [6] 张洪亮, 杨建强, 崔文林. 莱州湾盐度变化现状及其对海洋环境与生态的影响. *海洋环境科学*, 2006, 25(S1): 11-14.
- [7] 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. *生物多样性*, 2000, 8(1): 65-72.
- [8] 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. *上海水产大学学报*, 2000, 9(4): 290-297.
- [9] 杨纪明, 李军. 近十五年来中国海洋鱼类学的研究概况. *海洋科学集刊*, 1995, 36: 297-310.
- [10] 程济生. 黄渤海近岸水域生态环境与生物群落. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2004: 347-385.
- [11] 山东省海洋与渔业厅. 山东近海经济生物资源调查与评价. 北京: 海洋出版社, 2010: 167-174.
- [12] 吕振波, 李凡, 曲业兵, 张焕君, 徐炳庆, 王田田. 2010 年夏季黄河口及邻近海域鱼类群落多样性. *渔业科学进展*, 2013, 34(2): 10-18.
- [13] 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. *中国水产科学*, 1998, 5(1): 44-51.
- [14] 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. *渔业科学进展*, 2010, 31(1): 19-24.
- [15] 李凡, 张焕君, 吕振波, 徐炳庆, 郑亮. 莱州湾游泳动物群落种类组成及多样性. *生物多样性*, 2013, 21(5): 537-546.
- [16] 国家质检总局, 国家标准委员会. 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, 2007: 56-62.
- [17] Pianka ER. Ecology of the Agamid *LiZardamphibolusisolepis* in Western Austria. *Copeia*, 1971, 3: 527-536.
- [18] Ulanowicz R E. Information theory in ecology. *Computers & chemistry*, 2001, 25(4): 393-399.
- [19] Wilhm J L. Use of biomass units in Shannon's formula. *Ecology*, 1968, 49(1): 153-156.
- [20] Pielou E C. *Ecological Diversity*. New York: Wiley, 1975.
- [21] Iversen S A, Zhu D, Johannessen A, Toresen R. Stock size, distribution and biology of anchovy in the Yellow Sea and East China Sea. *Fisheries Research*, 1992, 16(2): 147-163.
- [22] 任胜民. 渤海鱼类群落的研究. *海洋水产研究*, 1993, (14): 35-45.
- [23] 金显仕. 群落结构与生物生产力//苏纪兰, 唐启升. *中国海洋生态系统动力学研究 II—渤海生态系统动力学过程*. 北京: 科学出版社, 2002: 312-255.
- [24] 李显森, 牛明香, 戴芳群. 渤海渔业生物生殖群体结构及其分布特征. *海洋水产研究*, 2008, 29(4): 15-21.
- [25] 田家怡, 慕金波. 山东小清河流域水污染问题与水质管理研究. 东营市: 石油大学出版社, 1996: 202-240.
- [26] 单志欣, 郑振虎, 邢红艳, 刘晓静, 刘晓波, 刘义豪. 渤海莱州湾的富营养化及其研究. *海洋湖沼通报*, 2000, (2): 41-46.
- [27] 张龙军, 夏斌, 桂祖胜, 江春波. 2005 年夏季环渤海 16 条主要入海河流的污染状况. *环境科学*, 2007, 28(11): 2409-2415.
- [28] 杨建强, 朱永贵, 宋文鹏, 张娟, 张龙军, 罗先香. 基于生境质量和生态响应的莱州湾生态环境质量评价. *生态学报*, 2014, 34(1): 105-114.
- [29] 山东省科学技术委员会. 山东省海岸带和海涂资源综合调查报告集, 烟台调查区综合调查报告. 北京: 中国科学技术出版社, 1991: 64-134.
- [30] Jennings S, Kaiser M J. The effects of fishing on marine ecosystems. *Advances in Marine Biology*, 1998, 34: 201-212, 212e, 213-352.
- [31] Gislason H, Rice J. Modelling the response of size and diversity spectra of fish assemblages to changes in exploitation. *ICES Journal of Marine Science*, 1998, 55(3): 362-370.
- [32] 朱鑫华, 吴鹤洲, 徐凤山, 赵紫晶, 叶懋中. 黄、渤海沿岸水域游泳动物群落结构时空格局异质性研究. *动物学报*, 1994, 40(3): 241-252.