

杨艳艳, 朱明明, 冯银银, 等. 黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼群落结构及多样性的年间变化[J]. 海洋学报, 2022, 44(4): 36–46, doi:10.12284/hyxb2022074

Yang Yanyan, Zhu Mingming, Feng Yinyin, et al. Annual changes in the community structure and diversity of fish eggs and larvae in the Huanghe River Estuary and its adjacent waters[J]. Haiyang Xuebao, 2022, 44(4): 36–46, doi:10.12284/hyxb2022074

黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼群落结构及多样性的年间变化

杨艳艳¹, 朱明明¹, 冯银银¹, 李焕军^{1*}, 陈玮¹, 王秀霞¹, 陈建强¹, 苏海霞¹

(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)

摘要: 为了解黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼的群落结构动态, 分别于 2014 年、2015 年、2017 年和 2018 年的 6 月利用大型浮游生物网对黄河口及邻近海域进行 4 个航次的表层水平拖网调查。根据鱼卵、仔稚鱼的种类组成、数量分布等群落结构特征, 运用生物多样性指数、聚类分析和皮尔逊相关性矩阵分析等方法对该海域鱼卵、仔稚鱼的资源分布进行了综合研究。结果表明, 4 年调查共捕获鱼卵 3 829 粒, 仔稚鱼 234 尾, 隶属于 7 目 14 科 15 属。鱼卵的主要优势种为鳀 (*Engraulis japonicus*) 和短吻红舌鲷 (*Cynoglossus joyeri*), 仔稚鱼的主要优势种为斑鲆 (*Konosirus punctatus*) 和虾虎鱼科未定种 *Gobiidae* sp.。生物多样性各指数均以 2015 年最高, 2018 年最低。利用 R 语言对鱼卵、仔稚鱼年间种类组成相似性进行聚类, 将 4 个调查年份划分为 3 组, 各分组之间主要的分歧种均为鳀。生物多样性各指数与环境因子之间皮尔逊相关性分析表明, 盐度与鱼卵、仔稚鱼生物多样性的关系较为密切。分析认为, 黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼群落分布和多样性的年间变化特征体现了鱼类对环境变异的响应。

关键词: 鱼卵; 仔稚鱼; 优势种; 数量分布; 黄河口

中图分类号: S932.4

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2022)04-0036-11

1 引言

黄河口及邻近海域位于莱州湾和渤海湾的交界处, 是我国重要的河口之一^[1]。黄河入海径流所携带的丰富营养盐和有机质等维持了黄河口及邻近海域较高水平的初级生产力和饵料生物多样性, 使其成为多种鱼类的产卵场、索饵场和育肥场^[2-3], 同时也是多种溯河和降海洄游鱼类的通道, 对鱼类种群的繁衍生息具有十分重要的意义^[4]。

鱼卵、仔稚鱼在黄河口及邻近海域生态系统中扮

演着重要角色^[5], 是黄河口及邻近海域海洋鱼类资源利用和补充的基础, 其种群成活率的高低、剩存量的大小起决定性作用^[5-7]。在 6 月(夏季)鱼类繁殖的重要时段内, 开展鱼卵、仔稚鱼群落结构年间变动的研究, 对于更加全面地了解河口生态系统的结构和功能、及时掌握鱼类种群的生存与延续状况以及河口鱼类资源的保护等都具有重要的理论和实践意义^[8]。

国内近年来针对黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼的研究较少, 虽然文献显示从 20 世纪 80 年代起, 我

收稿日期: 2021-09-17; 修订日期: 2021-11-15。

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); 农村农业部财政项目“黄渤海产卵场调查”项目(125C0505); 烟台市重点研发计划(2019XDHZ097); 山东省海岸带环境过程重点实验室(中国科学院烟台海岸带研究所)开放基金(2019SDHADKFJJ16); 烟台市科技创新发展计划(2021MSGY031)。

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:** 李焕军, 研究员, 主要从事渔业资源研究。E-mail: Lihuanju@126.com

国学者就开始对黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼的生物生态学展开调查,但历次调查中真正分布于黄河口及邻近海域的站位不多,所以可供参考的历史资料非常有限^[4,9-12]。近十几年来,卞晓东等^[13]、刘霜等^[14]和秦雪等^[15]分别针对黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼的种类组成和数量分布开展了相关研究,但有关黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼群落结构及多样性年间变动的研究较少。

本文根据2014–2018年开展的黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼调查结果及同步观测的环境资料,分析了该海域鱼卵、仔稚鱼的种类组成、数量分布、生物多样性等,探讨了该海域鱼卵、仔稚鱼群落结构的年间变动情况,以期研究黄河口生态系统渔业资源的再生和补充积累基础资料,并为黄河口海域渔业资源的开发和保护提供依据。

2 材料方法

2.1 调查时间和站位

分别于2014年、2015年、2017年和2018年6月在黄河口及邻近海域进行4个航次的表层水平拖网取样调查。依据与黄河入海口的距离布设4个断面(图1),I断面(B1站、C1站、D1站)距入海口5 km,II断面(A2站、B2站、C2站、D2站、E2站)距入海口10 km,III断面(A3站、B3站、C3站、D3站、E3站)距入海口20 km,IV断面(A4站、B4站、C4站、D4站、E4站)距入海口40 km,共设置18个站位。

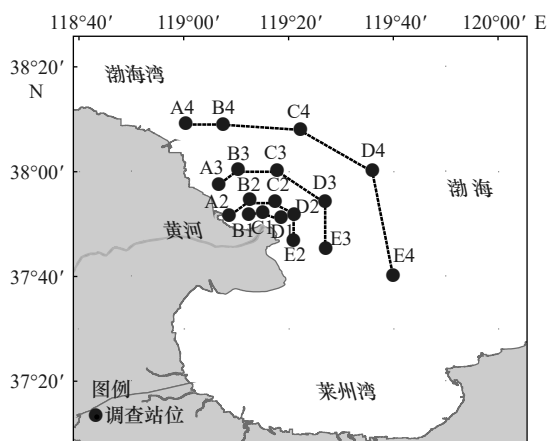


图1 黄河口及邻近海域调查站位
Fig. 1 Sample stations in the Huanghe River Estuary and its adjacent waters

2.2 样品采集

鱼卵、仔稚鱼样品采集及分析方法严格按照《海洋调查规范 第6部分:海洋生态调查》(GB/T 12763.6–

2007)^[16]进行。采用大型浮游生物网(口径为80 cm、长为280 cm、网目尺寸为0.505 mm)逐站进行表层水平拖网采样,每站拖10 min,拖速为2 n mile/h,样品用5%福尔马林海水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,并计数^[17-19]。定量资料取自水平网采数据,以每网的实际数量(粒、尾)为指标计算鱼卵、仔稚鱼的密度(粒或尾/网)^[13]。

温度、盐度等水文环境因子使用XR-420型CTD现场测定。悬浮物、无机氮和活性磷酸等环境因子的样品采集和分析参照《海洋监测规范 第1部分:总则》(GB/T 17378.1–2007)^[20]执行。

2.3 数据处理

2.3.1 优势种

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^[13],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

3种生物指数如下:

物种丰富度指数(D)计算公式^[21]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 群落结构分析

群落结构聚类分析使用R软件(version 4.1.0)的vegan、cluster等程序包进行。采样数据的分析采用平均聚类分析方法,首先,按照每一年采获鱼卵、仔稚鱼的种类,将采集数量分别整理排列,利用对数进行标准化转换,计算年份之间的Bray-Curtis相异系数,然后进行非加权组平均法(Unweighted Pair-group Method with Arithmetic Means, UPGMA)聚类。

采用相似性百分比分析(Similarity Percentage Analysis, SIMPER)方法分析造成不同组间相异的分歧单

元和平均相异性贡献率^[22-23]。

2.3.4 环境因子相关关系分析

将调查期间每一年每一站位的鱼卵、仔稚鱼生物多样性各指数与同步监测的水温(Sea Surface Temperature, SST)、盐度(Sea Surface Salinity, SSS)、水深(Depth)进行皮尔逊相关性分析,并运用 R 软件绘制各因子之间的皮尔逊相关性矩阵。

2.4 产卵亲体的适温类型、栖所类型和生态类型

根据鱼类适温类型^[24],将产卵亲体划分为暖温种(Warm Temperate Species, WT)、暖水种(Warm Water Species, WW)和冷温种(Cold Temperate Species, CT)。

根据栖所类型^[25]将黄河口及邻近海域产卵亲体划分为大陆架浅水底层鱼类(Continental Shelf Demersal Fish, CD)、大陆架岩礁性鱼类(Continental Shelf Reef-associated Fish, CRA)、大陆架浅水中上层鱼类(Continental Shelf Pelagic-neritic Fish, CPN)、大陆架浅水中底层鱼类(Continental Shelf Benthopelagic Fish, CBD)、大陆架大洋洄游性中上层鱼类(Oceanic Pelagic Fish, OEP)和大陆深水底层鱼类(Oceanic Bathymersal Fish, OMP)。

根据鱼类的生态类型,参考文献^[26-27],将产卵亲体划分为半咸水型鱼类、沿岸型鱼类、近海型鱼类。

图件绘制使用 ArcGIS 10.6、Excel 2016 和 R 软件(version 4.1.0)完成。

3 结果

3.1 种类组成及年际变化

4 个航次共采集鱼卵 3 829 粒,仔稚鱼 234 尾。经分析鉴定共 18 个种类,其中鉴定到种的 15 种,隶属于 7 目 14 科 15 属,另有 1 种虾虎鱼科仔稚鱼鉴定到科,1 种鱼卵和 1 种仔稚鱼未鉴定出种类(表 1)。鲈形目(包括虾虎鱼)鱼类出现 7 种,占 38.89%;鲽形目鱼类出现 3 种,占 16.67%;鲱形目鱼类出现 2 种,占 11.11%;颌针鱼目、鲷形目、刺鱼目和鲉形目鱼类各出现 1 种,分别占 5.56%。在已经鉴定到种的鱼卵、仔稚鱼中,亲体以暖温种为主,共 8 种,占 53.33%;其次为暖水种,5 种,占 33.33%;冷温性种类最少,2 种,占 13.33%。从亲体的栖所类型来看,调查海域内主要以浅水中上层、浅水底层、浅水中底层以及岩礁性鱼类 4 种生态类型鱼类为主要组成。

4 年间调查海域内鱼卵、仔稚鱼种类数和数量变化较大,2014 年和 2015 年采集的鱼卵、仔稚鱼总种类数均为 10 种,高于 2017 年和 2018 年。其中,2015 年采集鱼卵、仔稚鱼的总数量为 1 431 粒或尾,

表 1 黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼种类

Table 1 The species of fish eggs and larvae in the Huanghe River Estuary and its adjacent waters

种类	年份				适温类型	栖所类型	生态类型
	2014	2015	2017	2018			
斑鲹 <i>Konosirus punctatus</i>	*	*★	*★	*	WT	CPN	近海
鲷 <i>Engraulis japonicus</i>	*	*★	*	*★	WT	CPN	近海
日本下鱈 <i>Hyporhamphus sajori</i>			★		WW	CPN	半咸水
鲷 <i>Liza haematocheilus</i>		★			WT	CPN	半咸水
尖海龙 <i>Syngnathus acus</i>	★				WT	CD	近海
鲷 <i>Platycephalus indicus</i>		*			WW	CRA	近海
多鳞鲷 <i>Sillago sihama</i>	*	*	*	*	WW	CRA	近海
小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	*			*	WW	CBD	近海
非鲫 <i>Callionymus beniteguri</i>		*			WT	CD	近海
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belangerii</i>	*				WT	CBD	沿岸
黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>		*			WT	CBD	沿岸
蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>		*			WW	CPN	近海
高眼鲷 <i>Cleisthenes herzensteini</i>				*	CT	CD	沿岸
褐牙鲷 <i>Paralichthys olivaceus</i>		*			CT	CD	近海
短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus jayeri</i>	*	*	*	*	WT	CD	沿岸
虾虎鱼科未定种 Gobiidae sp.	★			★			半咸水
未定种1 Unknown species1	★						
未定种2 Unknown species2		*					

注: *表示鱼卵; ★表示仔稚鱼。

为 4 年最高,2014 年采集的总数量最低,仅为 2015 年的 42.07%。此外,调查期间鱼卵的种类数和数量变化较大;仔稚鱼种类数整体变化不大,数量方面以 2018 年采集的仔稚鱼最多,其次为 2017 年、2014 年和 2015 年(表 2)。

3.2 数量分布空间和时间变化

2014 年共采集鱼卵 580 粒,各站位数量在 0~217 粒/站之间波动,平均密度为 32.22 粒/站,其中共有 4 个站位密度大于 50 粒/网,以位于黄河入海口北部的 C4 站鱼卵数量最多;2015 年采集鱼卵 1 414 粒,各站位数量在 1~906 粒/站之间波动,平均密度为

表2 黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼种类和数量的年间变化

Table 2 Annual variation of species and quantity of fish eggs and larvae in the Huanghe River Estuary and its adjacent waters

项目	类别	2014年	2015年	2017年	2018年
种类数	鱼卵	7	9	4	6
	仔稚鱼	3	3	2	2
	总种数	10	10	5	7
个体数量	鱼卵/粒	580	1414	676	1159
	仔稚鱼/尾	22	17	72	123
	总数量	602	1431	748	1282

78.56 粒/网, 其中共有 7 个站位密度大于 50 粒/网, 以位于黄河入海口西部的 A3 站数量最多; 2017 年采集鱼卵 676 粒, 各站位数量在 4~226 粒/网之间波动, 平均密度为 37.56 粒/网, 其中共有 3 个站位密度大于 50 粒/网, 以位于黄河入海口南部的 E3 站数量最多; 2018 年采集鱼卵 1159 粒, 各站位数量在 0~682 粒/网之间波动, 平均密度为 37.89 粒/网, 其中共有 5 个站

位密度大于 50 粒/网, 以位于黄河入海口东部的 D3 站数量最多(图2)。

2014 年采集仔稚鱼 22 尾, 各站位数量在 0~8 尾之间波动, 平均密度为 1.22 尾/站, 最高值出现在黄河入海口西部的 B1 站位。其中虾虎鱼科未定种 Gobiidae sp. 数量最多, 占本航次仔稚鱼数量的 68.19%; 2015 年采集仔稚鱼 17 尾, 各站位数量在 0~12 尾/站之间波动, 平均密度为 0.94 尾/站, 最高值出现在黄河入海口西部的 A2 站位。其中鳀(*Engraulis japonicus*)仔稚鱼数量最多, 占本航次仔稚鱼数量的 64.7%; 2017 年采集仔稚鱼 72 尾, 各站位数量在 0~30 尾之间波动, 平均密度为 4 尾/站, 最高值出现在黄河入海口东部的 D1 站位。其中斑螯(*Konosirus punctatus*)仔稚鱼数量最多, 占本航次仔稚鱼数量的 98.6%; 2018 年采集仔稚鱼 123 尾, 各站位数量在 0~120 尾/站之间波动, 最高值也出现在黄河入海口东部的 D1 站位。其中鳀仔稚鱼数量最多, 占本航次仔稚鱼数量的 97.6%(图3)。

总体来看, 调查海域鱼卵、仔稚鱼的分布呈现出

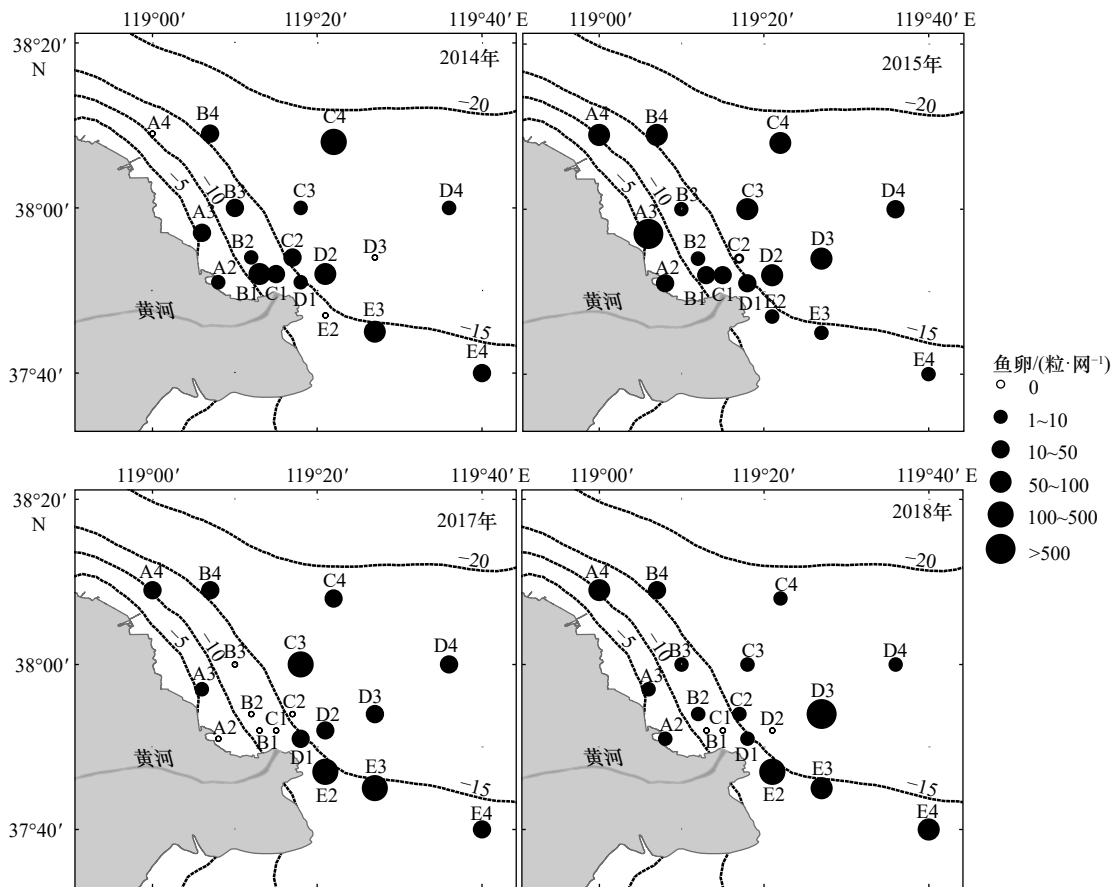


图2 黄河口及邻近海域鱼卵空间分布

Fig. 2 Space distribution of fish eggs in the Huanghe River Estuary and its adjacent waters

-20, -15, -10, -5 表示等深线的数值(单位: m)

-20, -15, -10, -5 represent the values of the isobath (unit: m)

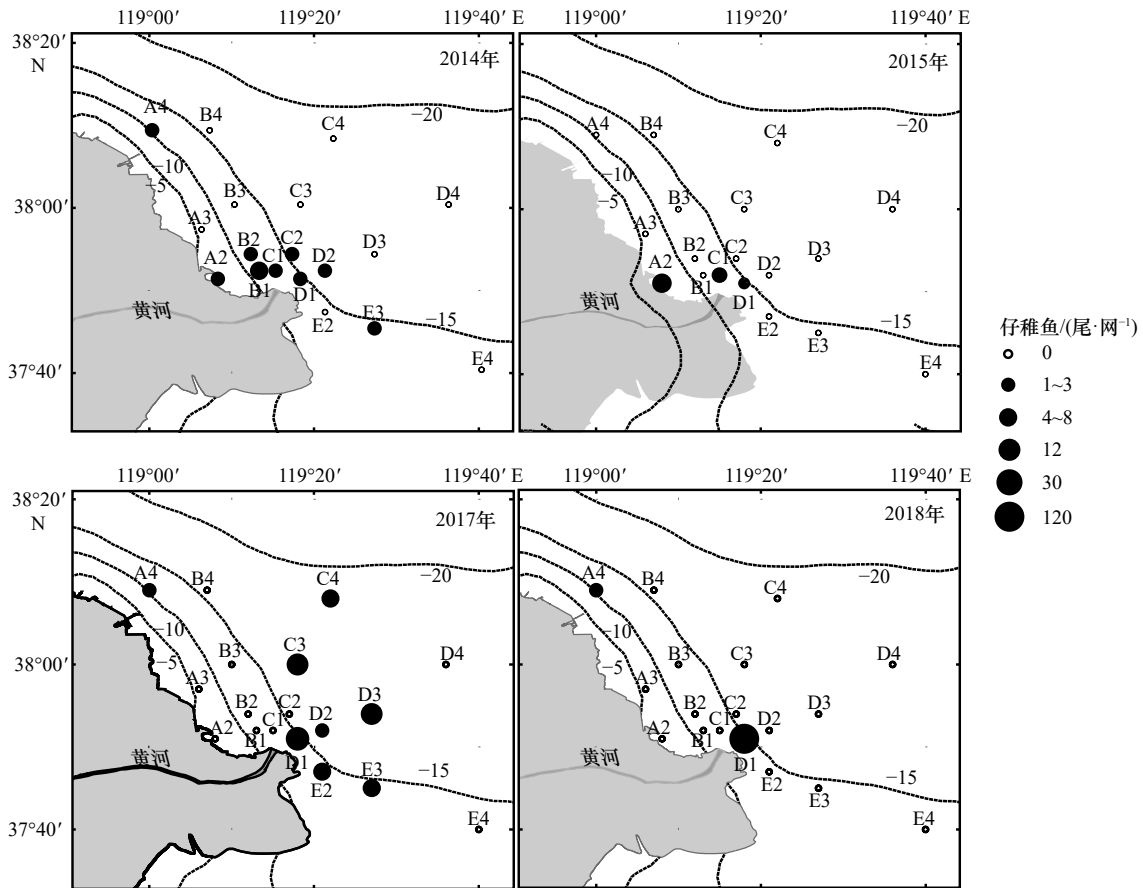


图3 黄河口及邻近海域仔稚鱼空间分布

Fig. 3 Space distribution of larvae in the Huanghe River Estuary and its adjacent waters

-20, -15, -10, -5 表示等深线的数值(单位: m)

-20, -15, -10, -5 represent the values of the isobath (unit: m)

明显的区域特征, 鱼卵的分布范围相对来说更广, 以距离黄河入海口较远的 III 断面和 IV 断面尤为密集, 仔稚鱼的分布则主要集中在距离黄河口入海口较近的 I 断面和 II 断面上。

3.3 优势种

2014 年鱼卵的优势种为短吻红舌鲷 (*Cynoglossus joyeri*) 和鳀, 仔稚鱼的优势种为虾虎鱼科未定种; 2015 年鱼卵的优势种为鳀, 仔稚鱼没有出现优势种, 鳀和斑鳃构成仔稚鱼的重要种; 2017 年和 2018 年鱼卵的优势种也均为短吻红舌鲷, 2017 年仔稚鱼的优势种为斑鳃; 2018 年仔稚鱼没有出现优势种, 鳀为仔稚鱼的重要种(表 3)。

3.4 群落多样性及其与环境因子相关性

2014 年和 2015 年的物种丰富度指数 (D)、多样性指数 (H') 和均匀度指数 (J') 基本持平, 从 2017 年开始 D 、 H' 和 J' 呈逐渐下降的趋势, 2018 年的 D 、 H' 和 J' 均降至 4 年最低, 整体来看, 4 年间黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼的群落多样性呈现先持平后下降的

趋势(图 4)。

从 3 种指数与环境因子相关关系分析来看, 多样性指数 (H') 和均匀度指数 (J') 与表层盐度呈显著正相关 ($p < 0.05$), 与温度和水深不存在相关性(图 5)。

3.5 群落结构

利用 Bray-Curtis 相似性系数公式计算不同年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 个年份的鱼卵、仔稚鱼划分为 3 个组, 进一步聚类分析结果显示, 3 个分组分别为 2014 年和 2018 年的组 1、2015 年的组 2 和 2017 年组 3(图 6, 图 7), 其中, 组 1 和组 2, 组 1 和组 3 以及组 2 和组 3 之间的主要分歧种均为鳀, 鳀对其年间平均相异性贡献率分别为 56.5%、53.4% 和 60.9%。

4 讨论

4.1 种类组成和数量分布的变化特征

本研究中 4 个航次调查共采获鱼卵、仔稚鱼 18 种,

表3 黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼优势种组成和相对重要性指数 (IRI)

Table 3 Important species composition of fish eggs and larvae and the index of relative importance (IRI) in the Huanghe River Estuary and its adjacent waters

类别	种类	2014年 IRI	2015年 IRI	2017年 IRI	2018年 IRI	
鱼卵	短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyeri</i>	1 898.356	135.549	2 510.101	1 322.98	
	斑鲈 <i>Konosirus punctatus</i>	498.256	27.503	242.424	61.834	
	小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	279.023	-	-	2.876	
	多鳞鳕 <i>Sillago sihama</i>	89.686	14.144	681.181	399.77	
	鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	1 654.21	3 284.614	285.35	987.921	
	未定种2 Unknown species2	34.878	-	-	-	
	皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belangerii</i>	2.491	-	-	-	
	褐牙鲆 <i>Paralichthys olivaceus</i>	-	33.789	-	-	
	黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>	-	14.144	-	-	
	鲷 <i>Platycephalus indicus</i>	-	3.536	-	-	
	绯鲷 <i>Callionymus beniteguri</i>	-	1.179	-	-	
	高眼鲷 <i>Cleisthenes herzensteini</i>	-	-	-	2.397	
	蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>	-	6.286	-	-	
	仔稚鱼	虾虎鱼科未定种 Gobiidae sp.	2 380.952	-	-	13.55
		未定种1 Unknown species1	264.55	-	-	-
		尖海龙 <i>Syngnathus acus</i>	26.455	-	-	-
		斑鲈 <i>Konosirus punctatus</i>	-	326.797	4 382.716	-
		鲛 <i>Liza haematocheilus</i>	-	32.679	-	-
		鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	-	359.477	-	542.005
		日本下鳀 <i>Hyporhamphus sajori</i>	-	-	7.716	-

注: -代表当年航次没有出现该物种。

占该海区全年记载总种类数的47%^[9,24], 主要以鳀、斑鲈、鲷 (*Platycephalus indicus*) 等近海型种类为主。4年间采获的鱼卵、仔稚鱼中鳀的数量超过总量的50%, 短吻红舌鲷4年间有3年均作为鱼卵的优势种出现, 说明鳀以及短吻红舌鲷目前是黄河口及邻近海域最具代表性的物种, 其鱼卵、仔稚鱼正在以其数量和对群落的贡献控制着黄河口及邻近海域鱼类早期

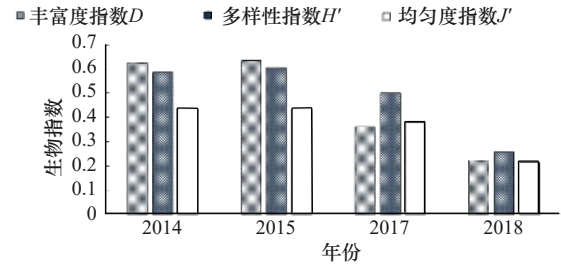


图4 2014–2018年黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼生物指数
Fig. 4 Species indexes of fish eggs and larvae in the Huanghe River Estuary and its adjacent waters from 2014 to 2018

补充群体的群落演替格局^[28]。

从种类组成的年间变化来看, 除鳀、斑鲈、多鳞鳕 (*Sillago sihama*) 和短吻红舌鲷外, 其余种类均演替出现, 例如: 小带鱼和虾虎鱼科鱼类在2014年出现之后, 2015年和2017年消失, 2018年又出现; 还有些种类仅在个别年份出现, 如皮氏叫姑鱼 (*Johnius belangerii*) 仅在2014年出现, 日本下鳀 (*Hyporhamphus sajori*) 仅在2017年出现, 鲛 (*Liza haematocheilus*) 仅在2015年出现。鱼卵、仔稚鱼种类组成的这种年间演替一方面与产卵亲体正常的种类变动有关, 另一方面考虑到调查水域特殊的河口生态环境, 其生境状况较一般海域更加复杂多变, 如本研究调查期间, 月均径流量差接近 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[29], 同步监测的平均表层水温差超过 2°C , 表层盐度差接近6。此外, 氨氮、磷酸盐、总氮和总磷等营养盐浓度也均处于波动状态, 所以笔者分析这种较为强烈的生境条件波动可能会对鱼类物种的年间变化有一定的影响^[28,30], 但是受本研究时间跨度较小所限, 无法验证这种年间演替是否与生境变化有关, 还需今后在河口水域长时间跨度研究中进一步探讨。

从数量分布来看, 4年间鱼卵的数量高值区多集中在调查区域内距黄河入海口相对较远的 III、IV 断面上, 分析原因, 一方面与鱼类的产卵习性有关, 产卵时期海域的盐度、水流流速和温度等因素均会对产卵亲体的分布造成一定的影响。III、IV 断面由于距入海口相对较远, 受入海冲淡水的影响较小, 盐度适宜, 没有低盐区。此外, 因为距入海口较远, 受入海径流扰动较小, 所以水流也相对较缓, 更适合鱼类栖息产卵。另一方面由于鱼卵不具备活动能力, 在未孵化前要经历被水流挟带被动扩散的过程, 所以其分布与海流等海洋要素密切相关^[31]。受到黄河口以南的顺时针环流系统、仙河镇外海的顺时针环流系统以及黄河口以北的逆时针环流系统3个环流系统的影响, 鱼卵的密集中心多在余流尾部形成^[32-33]。仔稚鱼的数量高值区主要集中在靠近黄河入海口较近的 I、II 断

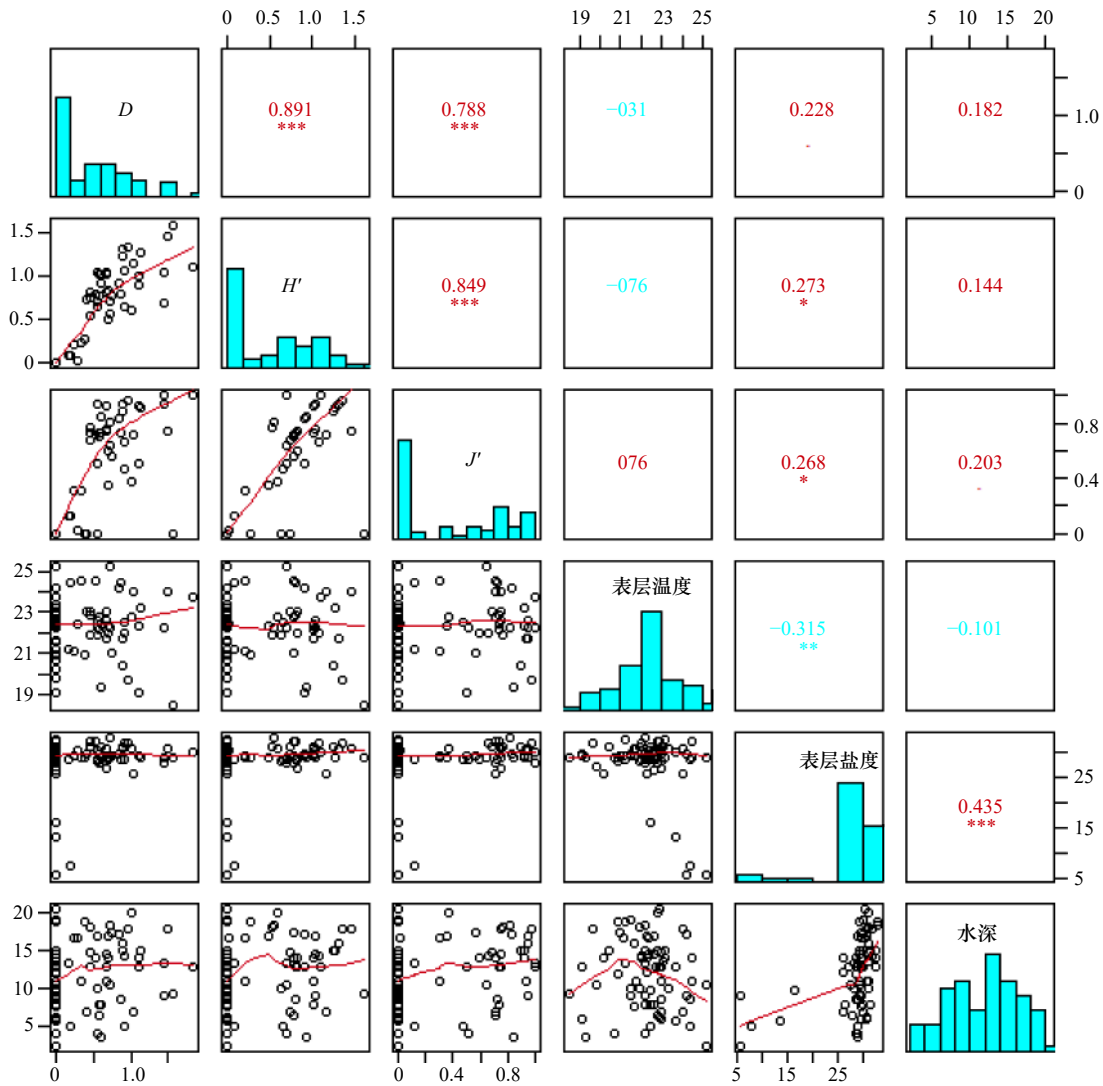


图 5 生物指数与环境因子的皮尔逊相关性矩阵

Fig. 5 Pearson correlation matrix between diversity of species indexes and environmental factors

*表示显著性水平 $p < 0.05$; **表示显著性水平 $p < 0.01$; ***表示显著性水平 $p < 0.001$; 红色数字表示正相关, 蓝色数字表示负相关; 直方图表示因子的频度分布; 黑圆圈表示 D 、 H' 、 J' 、表层温度、表层盐度和水深中任意两因子间的散点图; 红线表示两因子之间的光滑拟合曲线; 图中的横、纵坐标代表 D 、 H' 、 J' 、表层温度、表层盐度和水深

* indicates significance level $p < 0.05$; ** indicates significance level $p < 0.01$; *** indicates significance level $p < 0.001$; red numbers indicate positive correlation, blue numbers indicate negative correlation; histogram indicates frequency distribution of factors; black circle indicates the scatter plot between any two factors of D , H' , J' , sea surface temperature, sea surface salinity and depth; red line indicates smooth curves in bivariate plots; the horizontal and vertical coordinates in the figure are values representing D , H' , J' , sea surface temperature, sea surface salinity and depth

面,其原因一方面与仔稚鱼的游泳能力有关。仔稚鱼已经具备一定的活动能力,可以随着索饵水域的水文条件变化等表现出趋近岸移动等行为^[28],本研究中靠近入海口的近岸区域监测的悬浮物浓度相对较高(I断面和II断面的平均悬浮物浓度为27.12 mg/L,III断面和IV断面的平均悬浮物浓度为22.20 mg/L),高浊度及其浅水区复杂的水文地理条件使栖息在该区内的肉食性鱼类较少,仔稚鱼的捕食者较少,增加了仔稚鱼的生存机会^[34]。另一方面与黄河口及邻近海

域的环境条件和物质基础有关。夏季是黄河的丰水期,进入6月以后径流量明显增加,黄河冲淡水为近岸浅水区带来大量的营养物质,孕育了丰富的饵料资源,为仔稚鱼的生长和发育提供充足的物质基础。此外,由径流入海带来的扰动也随之增加,而仔稚鱼阶段虽然已经具备游泳能力,但是总体来说活动能力不强,视觉灵敏度也较低,由径流入海造成的扰动条件大大增加了仔稚鱼与食物相遇的概率,使其更易获得食物^[35]。

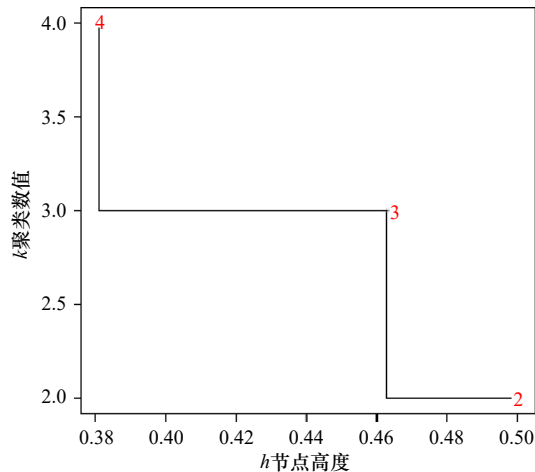


图6 聚类树的融合水平值
Fig. 6 Fusion level values of cluster tree

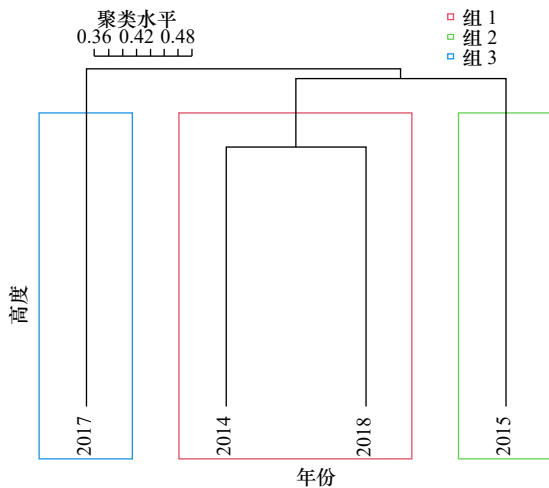


图7 黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼群落结构年间变化聚类分析

Fig. 7 Cluster analysis of annual changes in the community structure of fish eggs and larvae in the Huanghe River Estuary and its adjacent waters

4.2 群落多样性的年间变化

本研究结果显示, 2017年和2018年的生物多样性处于较低水平, 尤其是2018年, 各指数仅约为2014年和2015年的1/3~1/2, 为4年最低。这说明2018年黄河口及邻近海域的鱼卵、仔稚鱼种群均衡性较低、种间分布不均匀。分析原因, 一方面与鱼卵、仔稚鱼种类的减少有关(2017年和2018年捕获鱼卵、仔稚鱼种类分别为2014年和2015年的50%及70%), 导

致了群落的丰富度指数 D 和多样性指数 H' 下降^[36-37]; 另一方面与主要优势种类鳀丰度的下降以及出现频率变小也有一定的关系, 影响了群落分布的均衡性。除此之外, 有文献表明, 群落多样性的降低还与非生物环境条件的变化和扰动的增加密切相关^[38]。对本研究调查期间的径流量和输沙量进行分析后发现, 2018年6月黄河利津站监测的入海径流量为 $38.62 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[29], 大于其他3个年份6月经流量之和; 输沙量为 $1.35 \times 10^7 \text{ t}$ ^[29], 为其他3个年份的6.55~26.3倍。径流量和输沙量如此大幅的增加, 必然会使黄河口及邻近海域的盐度、温度等环境条件发生改变。同时由径流和输沙入海所带来的扰动也必然会大幅增加, 所以笔者认为, 生物环境条件的变化叠加非生物环境条件的改变和过度的干扰等因素综合作用使2018年的群落多样性降至4年最低^[39]。

4.3 群落结构变动评价

黄河口及邻近海域内接黄河, 外连渤海^[13], 独特的地理位置使该区域具有更为复杂的理化特性, 形成了较为特殊的河口生态环境和生物群落^[40]。从本研究年间聚类结果分析, 除2014年和2018年外, 其余年份间共同出现种类均较少, 年间种类相似程度不高, 说明2014~2018年间黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼的种类组成结构变化较大。此外, 从栖息类型来看, 调查中捕获中上层和底层鱼类的鱼卵、仔稚鱼种类最多, 但是底层鱼类鱼卵、仔稚鱼的捕获数量所占比例却很低, 仅占捕获总量的16%, 并且90%以上均为短吻红舌鳎。分析原因, 一方面是部分底层鱼类对河口区域复杂多变的环境条件耐受性较差^[41], 影响了其在黄河口及邻近海域的分布; 另一方面, 近30年来, 黄河径流量的锐减甚至断流改变了河口水域咸淡水的生态格局^[41-43]。同时, 海洋环境污染及过度捕捞等因素给黄河口及邻近海域带来巨大的压力, 其生态环境受到重度干扰, 黄河口海域渔业资源的营养级不断从高级向低级发展, 渔业资源结构也发生了较大的变化^[43-44]。一些重要种类如: 带鱼(*Trichiurus japonicus*)、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、鲆鲽类等传统底层经济鱼类资源严重衰退^[10], 鱼类群落组成进一步向小型中上层的低质种类上转化^[45], 进而导致该水域鱼类早期补充群体的群落结构也发生相应的改变^[46-47]。

参考文献:

- [1] 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.

- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 朱鑫华, 缪锋, 刘栋, 等. 黄河口及邻近海域鱼类群落时空格局与优势种特征研究[J]. *海洋科学集刊*, 2001(43): 141–151.
Zhu Xinhua, Miu Feng, Liu Dong, et al. Spatiotemporal pattern and dominant component of fish community in the Yellow River Estuary and its adjacent waters[J]. *Studia Marina Sinica*, 2001(43): 141–151.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 万瑞景, 孙珊. 黄、东海生态系统中鱼卵、仔稚幼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.
- [8] 刘淑德, 线薇薇. 长江口及其邻近水域鱼类浮游生物群落的时空格局[J]. *生物多样性*, 2009, 17(2): 151–159.
Liu Shude, Xian Weiwei. Temporal and spatial patterns of the ichthyoplankton community in the Yangtze Estuary and its adjacent waters[J]. *Biodiversity Science*, 2009, 17(2): 151–159.
- [9] 杨纪明, 李军. 近十五年来中国海洋鱼类学的研究概况[J]. *海洋科学集刊*, 1995(36): 297–310.
Yang Jiming, Li Jun. Progress of Chinese marine ichthyology in the last 15 years[J]. *Studia Marina Sinica*, 1995(36): 297–310.
- [10] 焦玉木, 张新华, 李会新. 黄河断流对河口海域鱼类多样性的影响[J]. *海洋湖沼通报*, 1998(4): 48–53.
Jiao Yumu, Zhang Xinhua, Li Huixin. Influence on fish diversity in the sea area off the Huanghe River Estuary by the cutoff of water supply[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1998(4): 48–53.
- [11] 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.
- [12] 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——综合调查报告[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990.
Shandong Science and Technology Commission. Coastal Zone and Tidal Flat Resources in Tegrated Survey Report[M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 1990.
- [13] 卞晓东, 张秀梅, 高天翔, 等. 2007年春、夏季黄河口海域鱼卵、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.
- [14] 刘霜, 张继民, 冷宇. 黄河口及附近海域鱼卵和仔鱼种类组成及分布特征[J]. *海洋通报*, 2011, 30(6): 662–667.
Liu Shuang, Zhang Jimin, Leng Yu. Species and distribution characteristics of fish eggs and larvae at the Yellow River Estuary[J]. *Marine Science Bulletin*, 2011, 30(6): 662–667.
- [15] 秦雪, 张崇良, 肖欢欢, 等. 黄河口水域春、夏季鱼卵、仔稚鱼种类组成和数量分布[J]. *中国海洋大学学报*, 2017, 47(7): 46–55.
Qin Xue, Zhang Chongliang, Xiao Huanhuan, et al. Composition and distribution of fish eggs and larvae in Yellow River Estuary[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2017, 47(7): 46–55.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.6–2007, 海洋调查规范 第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12763.6–2007, Specifications for oceanographic survey—Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [17] 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.
- [18] 冲山宗雄. 日本産稚魚図鑑[M]. 东京: 東海大学出版会, 1988.
Okiyama M. An Atlas of the Early Stage Fishes in Japan[M]. Tokyo: Donghai University Press Conference, 1988.
- [19] 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.

- [20] 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 17378.1-2007, 海洋监测规范 第1部分: 总则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 17378.1-2007, The specification for marine monitoring—Part 1: General rules[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [21] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法: I α 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. α diversity (Part 2)[J]. *Chinese Biodiversity*, 1994, 2(4): 231-239.
- [22] 徐炳庆, 陈玮, 王田田, 等. 莱州湾“伏休”结束前三疣梭子蟹的资源状况及其分布特征[J]. *水产学报*, 2021, 45(4): 543-551.
Xu Bingqing, Chen Wei, Wang Tiantian, et al. Resource status and distribution characteristics of *Portunus trituberculatus* before the end of summer fishing moratorium in Laizhou Bay[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 45(4): 543-551.
- [23] Borcard D, Gillet F, Legendre P. Numerical Ecology with R[M]. New York: Springer, 2011.
- [24] 田明诚, 孙宝龄, 杨纪明. 渤海鱼类区系分析[J]. *海洋科学集刊*, 1993(34): 157-167.
Tian Mingcheng, Sun Baoling, Yang Jiming. Analysis of the fish fauna of the Bohai Sea[J]. *Studia Marina Sinica*, 1993(34): 157-167.
- [25] 刘静, 宁平. 黄海鱼类组成、区系特征及历史变迁[J]. *生物多样性*, 2011, 19(6): 764-769.
Liu Jing, Ning Ping. Species composition and faunal characteristics of fishes in the Yellow Sea[J]. *Biodiversity Science*, 2011, 19(6): 764-769.
- [26] 杨东莱, 吴光宗, 孙继仁. 长江口及其邻近海区的浮性鱼卵和仔稚鱼的生态研究[J]. *海洋与湖沼*, 1990, 21(4): 346-355.
Yang Donglai, Wu Guangzong, Sun Jiren. The investigation of pelagic eggs, larvae and juveniles of fishes at the mouth of the Changjiang River and adjacent areas[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1990, 21(4): 346-355.
- [27] 罗秉征. 河口及近海的生态特点与渔业资源[J]. *长江流域资源与环境*, 1992, 1(1): 24-30.
Luo Bingzheng. Ecological characteristics and fishery resources of the Yangtze River Estuary and adjacent sea[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Valley*, 1992, 1(1): 24-30.
- [28] 刘淑德. 长江口及其邻近海域鱼类浮游生物群落结构特征研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2009.
Liu Shude. Studies on ichthyoplankton community structures in the Yangtze Estuary and its adjacent waters[D]. Qingdao: The Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2009.
- [29] 水利部黄河水利委员会. 2014年-2018年黄河泥沙公报[EB/OL]. [2021-09-17]. <http://www.yrcc.gov.cn/>.
Yellow River Conservancy Commission of the Ministry Water Resources. Yellow River sediment bulletin of 2014 to 2018[EB/OL]. [2021-09-17]. <http://www.yrcc.gov.cn/>.
- [30] Bauchot M L, Pras A. Guia de Los Peces de Mar de españa y de Europa[M]. Bracelona: Ediciones Omega, 1987.
- [31] 赵静, 张秀梅, 卞晓东, 等. 2009年葫芦岛附近海域鱼卵仔稚鱼种类组成与数量分布[J]. *中国海洋大学学报*, 2011, 41(11): 34-42.
Zhao Jing, Zhang Xiumei, Bian Xiaodong, et al. Species composition and distribution of ichthyoplankton in the coastal waters of Huludao in 2009[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2011, 41(11): 34-42.
- [32] 黄大吉, 苏纪兰. 黄河三角洲岸线变迁对莱州湾流场和对虾早期栖息地的影响[J]. *海洋学报*, 2002, 24(6): 104-111.
Huang Daji, Su Jilan. The effects of the Huanghe River Delta on the circulation and transportation of larvae[J]. *Haiyang Xuebao*, 2002, 24(6): 104-111.
- [33] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志, 第十四分册[M]. 北京: 海洋出版社, 1998: 799.
Editorial Board of China Bay Survey. Survey of China Bays (Vol. 14)[M]. Beijing: China Ocean Press, 1998: 799.
- [34] Parrish J D. Fish communities of interacting shallow-water habitats in tropical oceanic regions[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1989, 58: 143-160.
- [35] Islam S, Hibino M, Tanaka M. Distribution and diets of larval and juvenile fishes: influence of salinity gradient and turbidity maximum in a temperate estuary in upper Ariake Bay, Japan[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2006, 68(1/2): 62-74.
- [36] 赵蒙蒙, 徐兆礼. 三门湾海域冬夏季十足目和十足目虾类的种类组成、时空分布及多样性分析[J]. *动物学杂志*, 2011, 46(3): 11-18.
Zhao Mengmeng, Xu Zhaoli. Species composition, temporal and spatial distributions and diversity of hoplocarida and decapoda shrimps in summer and winter in Sanmen Bay[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2011, 46(3): 11-18.
- [37] 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.
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.
- [38] Connell J H. Diversity in tropical Rain forests and coral reefs: high diversity of trees and corals is maintained only in a nonequilibrium state[J]. *Science*, 1978, 199(4335): 1302-1310.
- [39] Sanders H L. Marine benthic diversity: a comparative study[J]. *The American Naturalist*, 1968, 102(925): 243-282.
- [40] 庄平, 王幼槐, 李圣法, 等. 长江口鱼类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.
Zhuang Ping, Wang Youhuai, Li Shengfa, et al. Fishes of the Yangtze Estuary[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2006.
- [41] Wang Houjie, Yang Zuosheng, Saito Y, et al. Stepwise decreases of the Huanghe (Yellow River) sediment load (1950-2005): impacts of

- climate change and human activities[J]. *Global and Planetary Change*, 2007, 57(3/4): 331–354.
- [42] 刘锋, 陈沈良, 彭俊, 等. 近60年黄河入海水沙多尺度变化及其对河口的影响[J]. *地理学报*, 2011, 66(3): 313–323.
Liu Feng, Chen Shenliang, Peng Jun, et al. Multi-scale variability of flow discharge and sediment load of Yellow River to sea and its impacts on the estuary during the past 60 years[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(3): 313–323.
- [43] Jin Xianshi, Shan Xiujuan, Li Xiansen, et al. Long-term changes in the fishery ecosystem structure of Laizhou Bay, China[J]. *Science China Earth Sciences*, 2013, 56(3): 366–374.
- [44] 杨艳艳, 朱明明, 徐炳庆, 等. 山东半岛南部近岸海域鱼卵、仔稚鱼群落结构与环境因子相关性[J]. *生态环境学报*, 2021, 30(5): 995–1004.
Yang Yanyan, Zhu Mingming, Xu Bingqing, et al. Community structure of ichthyoplankton and its relationship with environmental factors in coastal waters of southern Shandong Peninsula[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2021, 30(5): 995–1004.
- [45] Gristina M, Bahri T, Fiorentino F, et al. Comparison of demersal fish assemblages in three areas of the Strait of Sicily under different trawling pressure[J]. *Fisheries Research*, 2006, 81(1): 60–71.
- [46] Jager Z. Selective tidal stream transport of flounder larvae (*Platichthys flesus* L.) in the Dollard (Ems estuary)[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1999, 49(3): 347–362.
- [47] 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[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.

Annual changes in the community structure and diversity of fish eggs and larvae in the Huanghe River Estuary and its adjacent waters

Yang Yanyan¹, Zhu Mingming¹, Feng Yinyin¹, Li Huanjun¹, Chen Wei¹,
Wang Xiuxia¹, Chen Jianqiang¹, Su Haixia¹

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

Abstract: In order to understand the community structure dynamics of fish eggs and larvae in the estuarine waters, four surveys were conducted in the coastal waters of the Huanghe River Estuary in June of 2014, 2015, 2017, and 2018. According to the species composition and quantitative distribution of fish eggs and larvae, the resource distribution of fish eggs and larvae in this water area was comprehensively studied by using the methods of biodiversity index, R software clustering and Pearson correlation matrix analysis. The results showed that a total of 3 829 fish eggs and 234 larvae were collected during the four surveys by horizontal trawl with plankton net. The obtained fish eggs and larvae belonged to 7 orders, 14 families and 15 genera. The dominant species of eggs were *Engraulis japonicus* and *Cynoglossus joyeri*. The dominant species of larvae were *Konosirus punctatus* and Gobiidae sp. All biodiversity indexes were the highest in 2015 and the lowest in 2018. Used the R language to cluster the similarity of the species composition between fish eggs and larvae, and divided the 4 survey years into 3 groups, each group including the main divergent species were *E. japonicus*. The results of Pearson correlation matrix showed that salinity was closely related to the biodiversity of fish eggs and larvae. The analysis showed that the annual variation characteristics of community distribution and diversity of fish eggs and larvae in the Huanghe River Estuary and adjacent waters reflected the response of fish to environmental variation.

Key words: fish eggs; fish larvae; dominant species; quantitative distribution; Huanghe River Estuary