

# 黄河口近岸海域鱼卵、仔稚鱼种类组成及群落结构特征

徐 华<sup>1</sup>, 王 斌<sup>2</sup>, 张 聪<sup>1</sup>, 李 凡<sup>2</sup>, 杨艳艳<sup>2</sup>

(1. 山东省烟台生态环境监测中心, 山东 烟台 264000; 2. 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:** 为了解调水调沙期间黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼群落结构的动态变化, 作者分别于 2011 年和 2018 年黄河调水调沙期间(6 月—7 月), 利用大型浮游生物网对该海域的鱼卵、仔稚鱼进行表层水平拖网调查。结果表明: 2011 年 3 个航次共采集鱼卵 1 280 粒, 仔稚鱼 5 973 尾, 隶属于 7 目 11 科 13 属; 2018 年 3 个航次共采集鱼卵 4 104 粒, 仔稚鱼 237 尾, 隶属于 7 目 11 科 13 属。优势种以斑鲮(*Konosirus punctatus*)、鲃(*Engraulis japonicus*)和赤鼻棱鲃(*Thryssa kammalensis*)等短生命周期、低营养层级的小型中上层鱼类为主。靠近黄河入海口处站位的鱼卵、仔稚鱼密度相对较高, 鱼卵、仔稚鱼分布范围向黄河入海口门处集中。鱼卵、仔稚鱼的多样性指数在调水调沙过程中出现波动, 过后又恢复至调水调沙前水平。环境因子 Pearson 相关性分析表明, 鱼卵数量与环境因子间无显著相关性( $P>0.05$ ), 仔稚鱼数量与叶绿素 *a* 的含量呈极显著正相关( $R=0.870$ ,  $P<0.01$ )。两个年度调查结果对比发现, 总体来说调查期间黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼种类数变化不大, 在适温类型组成上均以暖温种为主; 2018 年鱼卵、仔稚鱼采集数量均小于 2011 年, 但是鱼卵、仔稚鱼的均匀度指数( $J'$ )和多样性指数( $H'$ )均大于 2011 年, 除 6 月上旬航次外, 其他两个航次丰富度指数( $D'$ )也均大于 2011 年。本研究补充了黄河口及邻近海域鱼类早期补充资源的基础数据, 旨在黄河口邻近海域及渤海的渔业资源评估和养护提供依据。

**关键词:** 黄河口; 鱼卵; 仔稚鱼; 种类组成; 数量分布; 优势种; 多样性指数

中图分类号: S931.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2021)11-0105-13

DOI: 10.11759/hyxx20210406002

鱼卵、仔稚鱼在海洋食物链中是重要的被捕食者, 而仔稚鱼又是次级生产力的消费者, 二者在海洋生态系统中扮演着重要角色<sup>[1-4]</sup>。黄河口海域营养丰富, 初级生产力和饵料生物多样性较高, 是多种鱼类的产卵场、索饵场和育肥场<sup>[5]</sup>。该海域鱼卵、仔稚鱼的种类组成和数量与黄渤海水域的渔业资源状况紧密相关, 两者相辅相成。自 20 世纪 80 年代起, 一些文献便报道了河口海域水文地理特性对鱼类种群繁衍影响的研究<sup>[5-7]</sup>。20 世纪 70 年代起, 国内就陆续对黄河口及其附近海域的初级生产力、生物群落结构以及生物多样性进行了相关调查研究<sup>[8-11]</sup>。多年来气候变化及人类活动导致黄河径流量发生了显著变化, 而黄河径流量的变化对黄河口附近海域生态环境产生的影响不断作用于该海域渔业资源结构<sup>[12-15]</sup>。为协调黄河水沙关系, 减轻黄河下游河道淤积, 增大主槽的行洪能力, 自 2002 年起, 黄河每年 6 月—7 月均进行一次调水调沙, 周期一般是 10 d~30 d。黄河调水调沙将大量水库泥沙及

河床淤沙输送入大海, 有效疏通了黄河河道, 防止下游河床不断抬高。有研究表明调水调沙期间利津水文站径流量可达 3 000 m<sup>3</sup>/s 以上, 入海水沙通量分别可占全年的 27.6%和 48.9%<sup>[16]</sup>。短时间大量淡水和营养盐的引入, 导致黄河口附近海域表层盐度值变化显著, 区域盐度极值可降至原来的约 1/8, 影响范围较调水调沙前面积扩大 15 倍<sup>[17]</sup>。调水调沙期间所输送的营养物质通量占比可达到当年输送通量的 50%左右<sup>[18]</sup>。孙珊等<sup>[19]</sup>研究表明黄河口海域营养盐和 COD 等污染物浓度在调水调沙过程中明显高于调水调沙前, 后期逐渐降低。平面分布上

收稿日期: 2021-04-06; 修回日期: 2021-05-24

基金项目: 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)

[Foundation: Key Project of Natural Science Foundation of Shandong Province, No. ZR2020KE050; Science and Technology Innovative Development Programme of Yantai, No. 2021XDHZ053]

作者简介: 徐华(1981—), 男, 山东栖霞人, 硕士, 主要从事生态环境监测研究, E-mail: xuhua6111@yt.shandong.cn; 杨艳艳, 通信作者, E-mail: xqdlmu@163.com

盐度、营养盐、COD 和石油类等 在黄河口门处等值线密集, 在调水调沙过程中呈舌状向外海延伸, 所调查海域的富营养化程度进一步加剧, 有机污染有所加重。调水调沙对黄河口附近海域生态环境影响明显, 生境的变化可能进一步影响该海域鱼类浮游生物群落时空格局, 关注调水调沙对黄河口海域鱼类资源的影响具有重要意义。

作者根据 2011 年和 2018 年在黄河口海域的拖网资料, 分析了黄河调水调沙期间该海域鱼卵、仔稚鱼种类组成、数量分布及生物多样性情况, 探讨了环境因子与鱼卵、仔稚鱼数量分布的关系, 并与历史调查资料进行了对比分析, 总结变化趋势, 以期为黄河口渔业资源状况研究补充积累基础资料, 并为黄河口渔业资源的开发和保护提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查站位和航次分布

2011 年调查分别于 6 月 16 日—18 日(调水调沙前)、7 月 1 日—3 日(调水调沙中)和 7 月 15 日—17 日(调水调沙后)对黄河口海域(119°05'E~119°27'E、

37°44.5'N~38°00'N)13 个站位采样(图 1a)。根据与黄河入海口的距离布设 3 个断面, I 断面(B1、C1、D1 站)距入海口 5 km, II 断面(A2、B2、C2、D2、E2 站)距入海口 10 km, III 断面(A3、B3、C3、D3、E3 站)距入海口 20 km。2018 年调查分别于 6 月 20 日—21 日(调水调沙前), 7 月 3 日—4 日(调水调沙中), 7 月 26 日—27 日(调水调沙后)对黄河口海域(119°00'E~119°40'E、37°40'N~38°09'N)18 个站位采样。2018 年在原有站位基础上增加了 IV 断面(A4、B4、C4、D4、E4 站), IV 断面距入海口约 40 km(图 1b)。

### 1.2 样品采集、处理和分析

采用大型浮游生物网(口径 80 cm、长 280 cm、网目尺寸 0.505 cm)逐站进行表层水平拖网采样, 每站拖网 10 min, 拖速为 2 nm/h。采集到的样品以 5%福尔马林海水溶液固定保存, 带回实验室进行分检, 用解剖显微镜进行定性定量分析。样品定量分析时, 以每站每网的实际数量(粒、尾)为指标进行比较分类鉴定、个体计数及发育阶段判别。采样与分析均按《海洋调查规范(GB/T 12763.6-2007)》<sup>[20]</sup>进行。

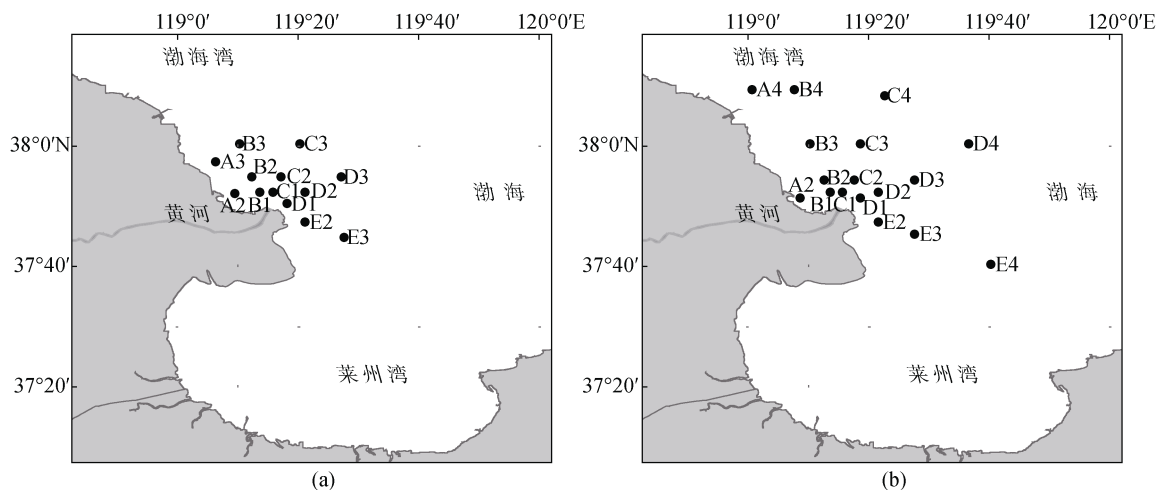


图 1 调查站位图  
Fig. 1 Sample stations

### 1.3 数据处理

利用统计软件 SPSS17.0, 基于多元线性回归分析的理论和方法, 分析各站位同步监测的环境因子包括水深、表层盐度、水温、叶绿素含量、透明度、溶解氧、活性磷酸盐等指标与鱼卵、仔稚鱼数量分布的关系<sup>[21]</sup>。利用 ArcGIS 9.2 软件绘制鱼卵和仔稚鱼数量平面分布图。

### 1.4 生态优势度

利用 Pinkas 相对重要性指数<sup>[22]</sup>(Index of Relative Importance, 简称 IRI)确定群落中的优势种。 $IRI=N \times F \times 10^4$  (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  $\geq 1000$  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

利用 Primer5.0 软件统计 Margalef 种类丰富度指数( $D$ ), Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )和 Pielou 均匀度指数( $J'$ ), 分析群落多样性<sup>[23-25]</sup>。

Margalef 种类丰富度指数:

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

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i, \quad (2)$$

Pielou 均匀度指数:

$$J' = \frac{H'}{\ln S}, \quad (3)$$

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

## 2 结果与分析

### 2.1 种类组成和优势种

2011 年 3 个航次共采集到鱼卵 1 280 粒, 仔稚鱼 5 973 尾。经鉴定共 15 种类(鱼卵 7 种, 仔稚鱼 12 种), 其中鉴定到种的种类 13 种, 隶属于 7 目 11 科 13 属。1 种虾虎鱼类的仔鱼仅能鉴定到科, 另有 1 种鱼卵未能鉴定种类。2018 年 3 个航次共采集到鱼卵 4 104 粒, 仔稚鱼 237 尾。经鉴定共 14 种类(鱼卵 6 种, 仔稚鱼 10 种), 其中鉴定到种的种类 13 种, 隶属于 7 目 11 科 13 属。1 种虾虎鱼类的仔鱼仅能鉴定到科(表 1)。在适温类型组成上, 两个年度的调查结果均以暖温种为主, 在栖所类型组成上, 均以大陆架浅水中上层鱼类和大陆架浅水底层鱼类为主。

表 1 黄河口鱼类种类名录

Tab. 1 List of ichthyoplankton species in the Huanghe estuary and its adjacent area

种类	出现时间(年)						鱼卵 属性	发育阶段(年)				生态类型	
	调水调沙前		调水调沙中		调水调沙后			鱼卵		仔稚鱼		适温性	栖所类型
	2011	2018	2011	2018	2011	2018		2011	2018	2011	2018		
斑鲦	+	+		+	+	+	F	+	+	+	+	WT	CPN
鳀	+	+	+	+	+	+	F	+	+	+	+	WT	CPN
赤鼻棱鳀					+	+	F			+	+	WW	CPN
中颌棱鳀				+			F				+	WT	CPN
尖嘴柱颌针鱼			+		+		FZ			+			
鲛	+		+				F			+		WT	CPN
花鲈	+		+				F			+		WT	CRA
多鳞鱈	+	+	+	+	+	+	F	+	+		+	WW	CRA
小带鱼		+		+	+	+	F	+	+	+		WW	CBD
带鱼	+						F	+				WT	CBD
斑尾刺虾虎鱼	+						FZ			+		WT	CD
短吻红舌鲷	+	+		+	+	+	F	+	+			WT	CD
尖海龙	+			+			LT			+	+	WT	CD
冠海马					+		LT			+		CT	CD
日本海马				+			LT				+	WT	CD
高眼鲱		+					F		+			CT	CD
大泷六线鱼				+			F				+	CT	CD
日本下鱈				+		+	F				+	WT	CPN
布氏银汉鱼						+	F				+	WT	CPN
虾虎鱼科未定种	+	+	+	+	+	+	FZ			+	+		
未定种			+		+		F	+					

注: 斑鲦(*Konosirus punctatus*), 鳀(*Engraulis japonicus*), 赤鼻棱鳀(*Thryssa kammalensis*), 中颌棱鳀 *Thryssa mystax*, 尖嘴柱颌针鱼(*Strongylura anastomella*), 鲛(*Liza haematocheila*), 花鲈(*Lateolabrax japonicus*), 多鳞鱈 (*Sillago sihama*), 小带鱼(*Eupleurogrammus muticus*), 带鱼(*Trichiurus lepturus*), 斑尾刺虾虎鱼(*Synechogobius ommaturus*), 短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyneri*), 尖海龙(*Syngnathus acus*), 冠海马(*Hippocampus coronatus*), 日本海马(*Hippocampus mohnikei*), 高眼鲱(*Cleisthenes herzensteini*), 大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*), 日本下鱈 (*Hyporhamphus sajori*), 布氏银汉鱼(*Atherina bleekeri*); 虾虎鱼科未定种(*Gobiidae* sp.); F. 浮性卵, FZ. 附着性卵, LT. 卵胎生; CD. 大陆架浅水底层鱼类; CBD. 大陆架浅水中底层鱼类; CPN. 大陆架浅水中上层鱼类; CRA. 大陆架岩礁性鱼类; OEP. 大陆架大洋洄游性中上层鱼类; WT. 暖温性种; WW. 暖水性种; CT. 冷温性种

2011 年调水调沙前鱼卵的优势种为斑鲮(*Konosirus punctatu*), 仔稚鱼优势种为鳀(*Engraulis japonicus*); 调水调沙中鱼卵优势种为多鳞鱈(*Sillago sihama*), 仔稚鱼优势种为鳀; 调水调沙后鱼卵的优势种为短吻红舌鳎(*Cynoglossus joyeri*), 仔稚鱼的优势种为虾虎鱼科未定种。2018 年调水调沙前鱼卵的优势种为鳀, 仔稚鱼无优势种, 重要种为鳀; 调水调沙中鱼卵优势种为短吻红舌鳎和斑鲮, 仔稚鱼无优势种, 重要种为斑鲮和虾虎鱼科未定种; 调水调沙后鱼卵的优势种为短吻红舌鳎, 仔稚鱼无优势种, 重要种为赤鼻棱鳀(*Thryssa kammalensis*)、鳀、日本下鱈(*Hyporhamphus sajori*)和虾虎鱼科(*Gobiidae*)未定种(表 2)。2011 年调查显示鱼卵、仔稚鱼优势种均由调水调沙前的暖温种、大陆架浅水中上层鱼类转变为调水调沙后的暖温种、大陆架浅水底层鱼类; 2018 年 3 个航次调查显示鱼卵优势种变化与 2011 年相似, 仔稚鱼无优势种, 重要种变化不明显。

## 2.2 数量分布

2011 年调水调沙前调查共采集鱼卵 270 粒, 10 个站位出现鱼卵, 鱼卵出现频率 76.9%, 平均密度为 20.8 粒/网, 其中位于黄河入海口西北部的 B2 站鱼卵数量最高, 占本次调查鱼卵数量的 54.4%; 调水调沙中调查共采集鱼卵 114 粒, 6 个站位出现鱼卵, 鱼卵出现频率为 46.2%, 平均密度为 8.8 粒/网, 其中位于黄河入海口东北部的 C1 站鱼卵数量最高, 占本次调查鱼卵数量的 60.5%; 调水调沙后调查共采集鱼卵 896 粒, 9 个站位出现鱼卵, 鱼卵的出现频率为 69.3%, 平均密度为 68.9 粒/网, 其中位于黄河入海口东南部的 E3 和东北部的 D1 站鱼卵数量较高, 两站鱼卵数量占本次调查总量的 68.9%(图 2)。2018 年调水调沙前调查的 18 个站位中有 15 个站位出现鱼卵, 鱼卵出现频率为 83.33%。共采集到鱼卵 1 159 粒, 平均每站 64.39 粒/网, 其中 D3 站位鱼卵数量最高, 为 680 粒, 占本次监测总鱼卵数的 58.67%; 调水调沙中调查共 10 个站位出现鱼卵, 鱼卵出现频率为 55.56%。共采集到鱼卵 2 091 粒, 平均每站 116.17 粒/网, 鱼卵数量最高的站位是 E3 站位 1 260 粒, 占鱼卵总数的 60.26%; 调水调沙后调查共 14 个站位出现鱼卵, 鱼卵出现频率为 77.78%。共采集鱼卵 854 粒, 平均每站 47.44 粒/网, 其中 D4 号站鱼卵数量最高 233 粒, 占本次监测鱼卵总数的 27.28%(图 3)。

表 2 黄河口鱼卵、仔稚鱼优势种组成

Tab. 2 Composition of dominant species of ichthyoplankton in the Huanghe estuary and its adjacent area

调查年份	项目	调查时期	种类	生态优势度	
2011	鱼卵	调水调沙前	斑鲮	1 081.15	
			多鳞鱈	333.58	
			鳀	187.64	
		调水调沙中	多鳞鱈	1 427.83	
			调水调沙后	短吻红舌鳎	1 844.09
				多鳞鱈	427.54
	仔稚鱼	调水调沙前	鳀	2 245.32	
			鲛	249.48	
			鳀	3 924.38	
		调水调沙中	鳀	260.76	
			调水调沙后	虾虎鱼科未定种	3 759.77
				鳀	1 329.86
2018	鱼卵	调水调沙前	短吻红舌鳎	993.06	
			多鳞鱈	401.85	
			短吻红舌鳎	1 211.67	
		调水调沙中	斑鲮	1 038.58	
			多鳞鱈	238.49	
			调水调沙后	短吻红舌鳎	4 554.97
	多鳞鱈	846.42			
	仔稚鱼	调水调沙前		鳀	542.01
			斑鲮	760.23	
			虾虎鱼科未定种	136.45	
		调水调沙后	赤鼻棱鳀	253.41	
			鳀	253.41	
日本下鱈			194.93		
虾虎鱼科未定种	116.96				

2011 年调水调沙前调查共采集仔稚鱼 37 尾, 7 个站位出现仔稚鱼, 仔稚鱼出现频率为 53.8%, 平均密度为 2.8 尾/网, 其中位于黄河入海口西北部的 B1 站仔稚鱼数量最高, 占本次调查仔稚鱼数量的 54.1%; 调水调沙中调查共采集仔稚鱼 59 尾, 10 个站位出现仔稚鱼, 仔稚鱼的出现频率为 76.9%, 平均密度为 4.5 尾/网, 其中位于黄河入海口东北部的 C1 站仔稚鱼数量最高, 占本次调查仔稚鱼数量的 45.8%; 调水调沙后调查共采集仔稚鱼 5 877 尾, 9 个站位出现仔稚鱼, 仔稚鱼的出现频率为 69.3%, 平均密度为 452.1 尾/网, 其中位于黄河入海口东北部的 C1 站仔稚鱼数量最高, 占本次调查仔稚鱼数量的 98.5%(图 4)。2018 年调水调沙前调查中有 2 个站位出现仔稚幼鱼, 仔稚幼鱼出现频率为 11.11%。共采集到仔稚幼鱼 123 尾,



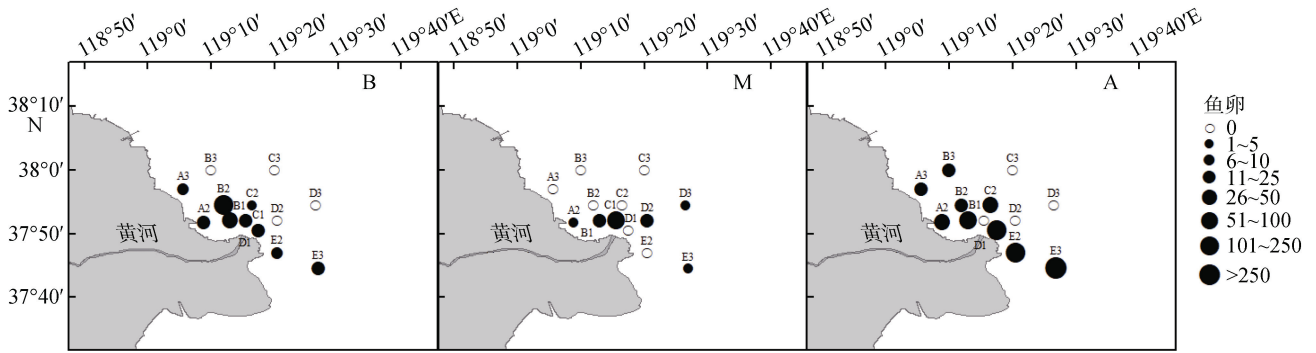


图 2 2011 年调水调沙前(B)、调水调沙中(M)和调水调沙后(A)黄河口鱼卵平面分布图  
Fig. 2 Horizontal distribution of eggs in the Huanghe estuary and its adjacent area in 2011

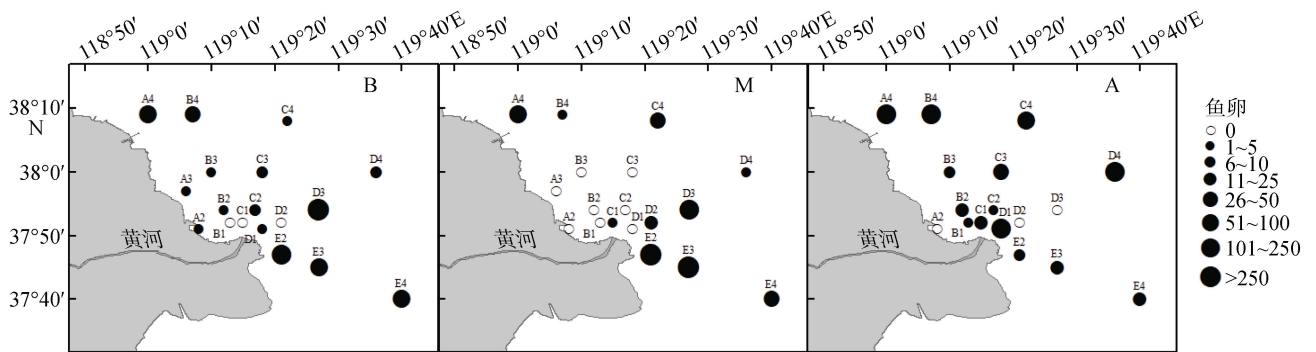


图 3 2018 年调水调沙前(B)、调水调沙中(M)和调水调沙后(A)黄河口鱼卵平面分布图  
Fig. 3 Horizontal distribution of eggs in the Huanghe estuary and its adjacent area in 2018

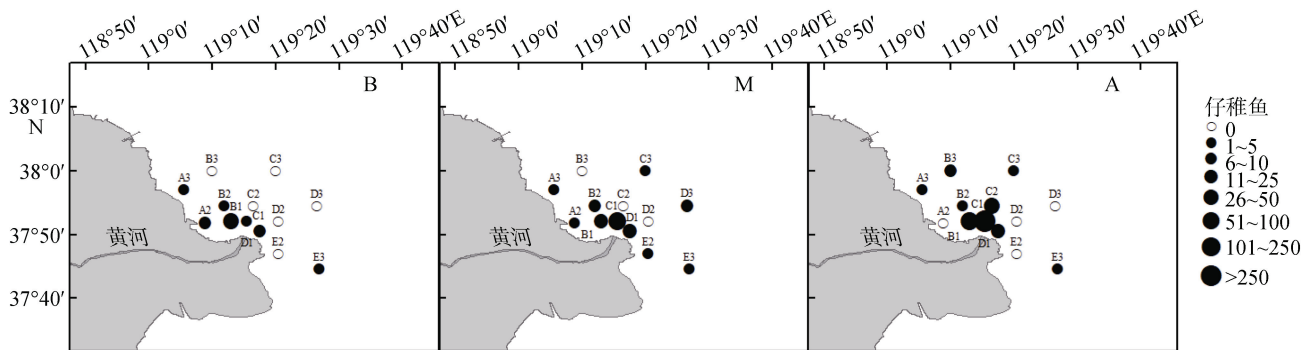


图 4 2011 年调水调沙前(B)、调水调沙中(M)和调水调沙后(A)黄河口仔稚鱼平面分布图  
Fig. 4 Horizontal distribution of larvae in the Huanghe estuary and its adjacent area in 2011

平均每站 6.83 尾/网, 仔稚幼鱼数量最多的是 D1 站位, 占本次监测仔稚鱼数量的 97.56%; 调水调沙中调查共 9 个站位出现仔稚鱼, 仔稚鱼出现频率为 50%。共采集到仔稚鱼 57 尾, 平均每站 3.17 尾/网, 仔稚鱼数量最高的站位为 B1 号站, 数量为 16 尾, 占本次监测仔稚鱼数量的 28.07%; 调水调沙后调查共 7 个站位出现仔稚幼鱼, 仔稚鱼出现频率为 38.89%。共采集到仔稚鱼 57 尾, 平均每站 3.17 尾/网, 仔稚鱼数量最高的站位为 D1 号站, 数量为 32 尾, 占本次监

测仔稚鱼数量的 56.14%(图 5)。

### 2.3 生物多样性

分析表明(表 3), 2011 年的调查中该海域的鱼卵、仔稚鱼种类数、个体数以及多样性指数, 均以调水调沙中最低, 但均匀度指数则是调水调沙中最高, 种类丰富度指数以调水调沙前最高; 2018 年的调查中该海域的鱼卵、仔稚鱼种类数、个体数、种类丰富度指数和多样性指数均以调水调沙中最高, 均匀度指数则是调水调沙前最高。

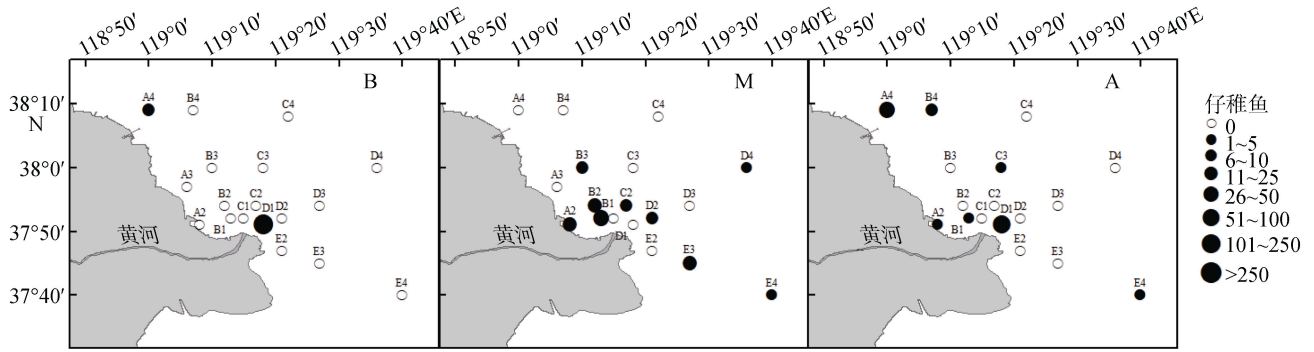


图5 2018年调水调沙前(B)、调水调沙中(M)和调水调沙后(A)黄河口仔稚鱼平面分布图

Fig. 5 Horizontal distribution of larvae in the Huanghe estuary and its adjacent area in 2018

表3 黄河口鱼卵、仔稚鱼种数、个体数和多样性对比

Tab. 3 Comparison of species, individuals, and diversity of ichthyoplankton in Huanghe estuary and its adjacent area

年份	时间	种数(种)	个体数(个)	丰富度	均匀度	多样性
2011	调水调沙前	10	307	1.57	0.30	0.70
	调水调沙中	7	173	1.17	0.33	0.65
	调水调沙后	10	6 773	1.02	0.31	0.71
2018	调水调沙前	7	1 282	0.84	0.53	1.03
	调水调沙中	11	2 148	1.30	0.51	1.23
	调水调沙后	9	911	1.17	0.49	1.07

## 2.4 生态环境因子影响分析

鱼卵、仔稚鱼的数量与同期监测的环境因子(表4)相关分析表明(表5), 鱼卵的数量与环境因子无显著

相关性( $P>0.05$ ), 仔稚鱼数量与叶绿素  $a$  的含量呈极显著正相关( $R=0.870, P<0.01$ ), 而与其他环境因子没有表现出显著的相关性( $P>0.05$ )。

表4 水环境因子含量状况

Tab. 4 The contents of water quality parameters

水环境因子	调查年份	调水调沙前		调水调沙中		调水调沙后	
		范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
水温/ $^{\circ}\text{C}$	2011	19.2~24.0	21.0	21.8~25.0	21.1	21.2~25.8	23.1
	2018	16.5~25.2	21.3	20.3~27.8	23.8	22.6~31.0	27.6
盐度	2011	29.7~30.2	29.9	19.1~29.9	25.7	24.3~30.2	28.6
	2018	5.37~32.9	27.0	4.31~32.6	28.1	3.63~32.7	25.7
透明度/m	2011	1.0~2.2	1.6	0.2~3.5	1.2	0.2~3.6	1.5
	2018	0.3~2.8	1.2	0.1~1.9	1.1	0.2~1.7	0.8
Chl $a$ /( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	2011	1.9~9.49	4.42	0.86~6.64	3.03	0.429~26.7	4.35
	2018	0.88~3.25	1.91	1.09~3.43	2.29	0.85~2.86	1.77
DO/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	2011	6.91~11.7	8.52	6.07~8.85	6.89	6.18~8.36	7.21
	2018	4.69~7.28	6.16	4.29~6.98	5.89	4.91~7.04	5.88
DIP/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	2011	0.001 21~0.007 85	0.003 53	0.003 93~0.039 90	0.009 97	0.002 10~0.024 80	0.010 2
	2018	0.003 46~0.010 70	0.007 23	0.001 98~0.009 06	0.004 85	0.001 10~0.013 40	0.006 2

表 5 黄河口鱼卵、仔稚鱼数量与环境因子的相关系数  
 Tab. 5 The Pearson correlation coefficient between the number of ichthyoplankton and environmental factors in the Huanghe estuary and its adjacent area

项目	鱼卵数量	仔稚鱼数量
鱼卵数量	1	-0.075
仔稚鱼数量	-0.075	1
盐度	0.199	-0.156
透明度	-0.129	-0.252
水温	0.292	0.113
叶绿素 <i>a</i>	-0.097	0.870**
溶解氧	0.238	-0.125
活性磷酸盐	0.005	-0.068

\*\* $P < 0.01$  呈极显著相关; \* $P < 0.05$  呈显著相关

### 3 讨论

近年来,在气候变化和人类活动的共同作用下,黄河水文状况发生了显著改变,黄河径流量和输沙量呈下降趋势。水文条件的变化加上环境污染以及破坏性捕捞海洋生物资源,使得黄河口附近海域生态环境长期处于亚健康状态,渔业资源结构逐渐改变,资源衰退明显<sup>[26]</sup>。乐肯堂等<sup>[27-30]</sup>研究表明,黄河口及邻近海域的生态环境质量,能够直接影响到黄渤海生物资源状况及其可持续性。自 20 世纪 80 年代以来,黄河口海域鱼卵、仔稚鱼资源状况受到持续关注(表 6),比较近 40 年渤海、莱州湾和黄河口附近海域鱼卵、仔稚鱼调查资料<sup>[10, 31-35]</sup>,显示当前黄河口附近海域春、夏季鱼卵、仔稚鱼种类数较 20 世纪 80、90 年代已明显减少。鱼卵种类数不足 20 世纪 80 年代的 1/4,仔稚鱼种类数约为 20 世纪 80 年代的 2/3,同期调查春、夏季鱼卵、仔稚鱼种类数要高于秋季。各调查时期相同季节鱼卵、仔稚鱼优势种变化不明显,春夏季优势种类由小型暖温性大陆架浅水中上层鱼类如青鳞鱼、斑鲽和鲷鱼变为当前的斑鲽、鲷鱼;夏季优势种类由小型大陆架浅水底层鱼类如短吻红舌鲷、少鳞鲷变为当前短吻红舌鲷和虾虎鱼科鱼类。各调查时期春夏季鱼卵、仔稚鱼多样性指数呈现先降后升变化趋势,丰富度指数变化趋势不明显。黄河口附近海域的鱼卵、仔稚鱼资源变化趋势与近 30 a 来渤海鱼卵、仔稚鱼资源变化趋势相对一致<sup>[36]</sup>。

#### 3.1 鱼卵、仔稚鱼种类组成和数量分布变化分析

本研究两个年度调查分别采集鱼卵、仔稚鱼 15 种

和 14 种,种类数接近,暖温种、暖水种和冷温种 3 种区系成分的产卵亲体以暖温种居多。与 2007 年调查结果<sup>[35]</sup>比较,本研究也未见该海域同期产卵的主要经济种银鲳(*Pampus argenteus*)、褐牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)、黄姑鱼以及皮氏叫姑鱼(*Johnius belangerii*)等鱼卵、仔稚鱼的出现,且 2011 年的调查中死卵的数量比较多,占到鱼卵总数的 59.3%,而 2018 年的调查中死卵占比明显下降,以调水调沙后最高,约占鱼卵总数的 10.5%。死卵占比下降是否受环境变化影响有待进一步研究。河口地区易受人类生产、生活活动的影响,环境条件波动较大,无法适应环境变化的部分生物资源逐渐衰退<sup>[37]</sup>。常年来在过度捕捞和生态环境变化的共同作用下,黄河口及附近海域中鱼类资源的种群交替和群落结构发生了很大变化,而补充群体也随之产生了相应的变化<sup>[35]</sup>,过去常见的经济种鱼类已难觅踪影,资源退化严重<sup>[33]</sup>。

数量分布方面,本研究显示鱼卵和仔稚鱼分布范围主要集中于入海口门处,近些年相关研究也显示了黄河口附近海域鱼卵、仔稚鱼分布较 20 世纪 80、90 年代明显向黄河入海口门处集中<sup>[35]</sup>。2011 年的鱼卵和仔稚鱼密度均以 7 月中旬的调水调沙后调查最高,2018 年的鱼卵密度以 7 月上旬的调水调沙中调查最高,仔稚鱼密度则以 6 月下旬的调水调沙前调查最高。以往调查表明,6 月下旬是黄河口海域鱼卵密度的全年高峰期,这是否意味着黄河口海域鱼卵产卵期有所延后,仍需要下一步的研究证明。

2011 年调查显示调水调沙后仔稚鱼数量与叶绿素 *a* 的含量呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),2018 年的调查中仔稚鱼数量与叶绿素 *a* 的含量无显著相关性( $P > 0.05$ ),通过比较两个年度同期调查的叶绿素 *a* 监测数据,发现 2011 年所调查站位的叶绿素 *a* 质量浓度范围为 0.429  $\mu\text{g/L}$ ~26.7  $\mu\text{g/L}$ ,平均值为 4.35  $\mu\text{g/L}$ ,而 2018 年的质量浓度范围为 0.85  $\mu\text{g/L}$ ~2.86  $\mu\text{g/L}$ ,平均值为 1.77  $\mu\text{g/L}$ ,叶绿素 *a* 浓度平均值较 2011 年明显偏低。由于叶绿素 *a* 是浮游植物进行光合作用的主要色素,而叶绿素 *a* 与浮游植物生物量密切相关,仔稚鱼主要以浮游植物为饵料,所以浮游植物间接影响仔稚鱼的数量<sup>[38]</sup>。2011 年调水调沙后,虾虎鱼科鱼类为该海域仔稚鱼优势种,而 2018 年调水调沙前、中、后 3 次调查仔稚鱼均无优势种。张良成<sup>[39]</sup>研究显示莱州湾虾虎鱼主要分布在叶绿素质量浓度低于 8  $\mu\text{g/L}$  底层海域,当海水中叶绿素 *a* 质量浓度在 11  $\mu\text{g/L}$ ~13  $\mu\text{g/L}$  时,虾虎鱼的生物量比较稳定,

表 6 不同时期黄河口海域(渤海)鱼卵、仔稚鱼资源状况调查统计表

Tab. 6 Statistical table of ichthyoplankton resources in the Huanghe estuary (Bohai Sea) in different periods

序号	调查年份	鱼卵、仔稚鱼种类数(种)	优势种/重要种	适温性	栖所类型	鱼卵、仔稚鱼分布范围	丰富度指数(D')	多样性指数(H')
1	1982~1983年 渤海 <sup>[31]</sup>	鱼卵(38)、仔稚鱼(52)	5月: 青鳞沙丁鱼、斑鲹、鲉 6月: 鲉、青鳞沙丁鱼、斑鲹 8月: 短吻红舌鲷、少鳞鳢、尖嘴扁颌针鱼	WT WT WW WT	CPN CD CD OEP	/	1.0	春季: 鱼卵(1.95)、仔稚鱼(0.57); 夏季: 鱼卵(1.21)、仔稚鱼(2.59); 秋季: 鱼卵(0.12)、仔稚鱼(1.48)
2	1984~1985年 山东省海岸带与滩涂资源第三调查区 综合调查(黄河口) <sup>[32]</sup>	6月: 鱼卵(28)、仔稚鱼(18) 9月: 鱼卵(11)、仔稚鱼(14)	皱唇鲨、孔鲷、青鳞鱼、鲉、凤鲆鱼、花鲈、赤鼻棱鲉、黄鲫	WT WT WT WW	CPN CD CRA CPN	/	/	/
3	1989年 黄河口 <sup>[10]</sup>	6月: 鱼卵(14)、仔稚鱼(10) 9月: 鱼卵(2)、仔稚鱼(4)	鲉、斑鲹、青鳞鱼、黑鳃梅童鱼	WT WT	CPN CBD	入海口 门处集中	/	/
4	1993年 莱州湾 <sup>[33]</sup>	6月: 鱼卵、仔稚鱼(21)	鲉、多鳞鳢、鲷、斑鲹、黄姑鱼	WT WT WW	CPN CBD CRA	/	1.43	0.253
5	2003年 莱州湾 <sup>[34]</sup>	5月: 鱼卵、仔稚鱼(12)	鲉、鲷、蓝点马鲛、绯鱼衍、黄姑鱼	WT WT WW WT	CPN CBD CRA CD	/	0.94	0.558
6	2007年 黄河口 <sup>[35]</sup>	5月: 鱼卵、仔稚鱼(10) 7月: 鱼卵、仔稚鱼(11) 5月、7月鱼卵、仔稚鱼共计 18种	斑鲹、油鲚短吻红舌鲷	WT WW WT	CPN CD CD	入海口 门处集中	5月: 1.02 7月: 1.37	5月: 0.39 7月: 1.05
7	2011年 黄河口调水调沙	6月、7月: 鱼卵、仔稚鱼(15), 其中鱼卵(7)、仔稚鱼(12)	斑鲹、多鳞鳢、鲉、短吻红舌鲷、鲛、虾虎鱼	WT WT WW	CPN CD CRA	入海口 门处集中	B: 1.57 M: 1.17 A: 1.02	B: 0.70 M: 0.65 A: 0.71
8	2018年 黄河口调水调沙	6月、7月: 鱼卵、仔稚鱼(14), 其中鱼卵(6)、仔稚鱼(10)	鲉、短吻红舌鲷、斑鲹、赤鼻棱鲉、沙氏下鱈、虾虎鱼	WT WT WW WW	CPN CD CRA CPN	入海口 门处集中	B: 0.84 M: 1.30 A: 1.17	B: 1.03 M: 1.23 A: 1.07

皱唇鲨(*Triakis scyllium*)、孔鲷(*Harengula zunasi*)、青鳞鱼(*Coilia mystus*)、黄鲷(*Setipinna tenuifilis*)、黑鳃梅童鱼(*Collichthys niveatus*)、鲷(*Platycephalus indicus*)、黄姑鱼(*Nibea albiflora*)、蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)、绯鱼衍(*Callionymus beniteguri*)、油鲚(*Sphyraena pinguis*)、B. 调水调沙前; M. 调水调沙中; A. 调水调沙后; “/”. 没有数据



叶绿素 a 质量浓度在 13~18  $\mu\text{g/L}$  时, 虾虎鱼生物量呈现上升趋势。虾虎鱼食性较杂, 其中部分种类及其幼体摄食底栖硅藻。有研究显示黄河调水调沙后, 受盐度变化影响, 6、7 月份黄河口附近海域浮游植物优势种为硅藻和绿藻类(衣藻(*Chlamydomonas*)和栅藻(*Scenedesmus*))<sup>[40]</sup>, 浮游植物群落结构的变化可能在一定程度上影响到了仔稚鱼的数量和分布。同时莱州湾虾虎鱼的空间分布具有季节差异, 有研究显示, 春季莱州湾偏西黄河口附近海域虾虎鱼渔获量较高, 夏季莱州湾南部和黄河口沿岸虾虎鱼渔获量大<sup>[39]</sup>。

### 3.2 优势种生态类型及营养层次

卞晓东等在该海域调查结果表明<sup>[35]</sup>, 5 月鱼卵、仔稚鱼的优势种为斑鲮; 7 月鱼卵、仔稚鱼的优势种为油鲈和短吻红舌鲷。刘霜等<sup>[41]</sup>2009 年在该海域进行了两个航次的调查, 结果表明, 5 月鱼卵的优势种分别为斑鲮和鲷; 仔稚鱼的优势种分别为青鳞小沙丁鱼(*Sardinella zunasi*)、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)和鲮(*Mugil cephalus*); 8 月调查中鱼卵的优势种为舌鲷; 仔稚鱼的优势种为小黄鱼和舌鲷。秦雪等<sup>[42]</sup>的调查结果表明, 5 月鱼卵的优势种分别为鳀、赤鼻棱鳀和鲷; 仔稚鱼的优势种分别为矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)和赤鼻棱鳀; 8 月调查中鱼卵的优势种为短吻红舌鲷和多鳞鳀; 仔稚鱼无明显优势种。本研究中两个年度调查鱼卵优势种在调水调沙前(6 月)分别为斑鲮和鳀, 调水调沙后(7 月)均为短吻红舌鲷; 2011 年调水调沙前、后仔稚鱼优势种分别为鳀和虾虎鱼类, 而 2018 年调水调沙前、后仔稚鱼均无优势种。调查显示, 随着季节的变化, 优势种由暖温种、大陆架浅水中上层鱼类转变为暖温种、大陆架浅水底层鱼类, 鱼卵、仔稚鱼优势种更替与季节变化和生境形成相互对应的动态格局。黄河口附近海域的鱼类优势种斑鲮、鳀和赤鼻棱鳀等属于短生命周期、低营养层级的小型中上层鱼类, 其能较好地适应过度捕捞等人类活动影响<sup>[43]</sup>, 它们逐渐取代了资源衰退严重的高营养层级鱼类, 成为该海域鱼类的优势种。PAULY 等<sup>[44]</sup>报导了 1950 年—1994 年期间世界范围内渔获物的平均营养级呈下降趋势, 每 10 年约下降 0.1, 短生命周期、低营养级的中上层小型种类逐步替代了长生命周期、高营养级的底层种类, 成为优势种, 并指出生态系统中食物网的营养级下降是由捕捞导致的。

### 3.3 生物多样性变化分析

2011 年调查中鱼卵、仔稚鱼种类和个体数量, 均以调水调沙中最低, 丰富度指数以调水调沙后最低, 均匀度指数和多样性指数无明显变化。2018 年调查中鱼卵、仔稚鱼种类、个体数量、丰富度指数以及多样性指数, 均以调水调沙中最高, 均匀度指数无明显变化。群落中物种多样性指数反映了群落中种的多少和种间个体数量的均衡性, 对于年内调查多样性指数的变化, 推测调水调沙中期受入海泥沙和径流变化等的影响, 鱼卵、仔稚鱼的群落结构变得相对不稳定, 多样性指数出现波动。Connel<sup>[45]</sup>中度干扰理论认为中等程度的干扰可维持较高的多样性, 而过度的干扰能够导致多样性水平降低。SANDERS<sup>[46]</sup>也提出过度的扰动和非生物环境条件的不断变化会导致低物种多样性。调水调沙后期, 调查区域多样性指数又恢复至调水调沙前水平, 推测短期环境扰动没有对黄河口海域鱼类群落结构产生不可逆影响。年际比较显示, 2018 年鱼卵、仔稚鱼均匀度指数和多样性指数均高于 2011 年。国外有研究指出, 面对较高的捕捞压力, 群落物种多样性指数有时可能会呈现升高现象<sup>[47]</sup>。卞晓东等<sup>[36]</sup>整理分析近 30 a 来渤海渔业资源调查资料发现渤海春、夏季鱼卵、仔稚鱼物种多样性水平变化趋势也存在这一现象, 其峰值均出现在 2016 年—2017 年, 这一阶段渤海渔业资源在高捕捞压力下衰退比较严重。本研究中黄河口附近海域鱼卵、仔稚鱼多样性指数的年际变化可能也受到捕捞压力的影响。

## 4 结论

1) 年际调查比较表明黄河口附近海域鱼卵、仔稚鱼种类数变化不大, 两次调查均未发现历史同期该海域主要高营养级经济种, 优势种以低营养级、小型中上层鱼类为主。2011 年调查死鱼卵占比接近 60%, 而 2018 年调查死鱼卵占比明显降低, 最高占比为 10%(调水调沙后), 2018 年调查鱼卵、仔稚鱼生物多样性高于 2011 年, 分析认为捕捞压力和环境变化可能使该海域鱼类逐渐调整生存策略, 以适应外部环境变化。

2) 两个年度调查显示靠近入海口门站位鱼卵、仔稚鱼的密度相对较高。鱼卵的数量与同步监测的环境因子没有显著相关性, 仔稚鱼数量与叶绿素 a 的含量呈极显著正相关(2011 年), 而与其他环境因

子无显著相关性。

3) 黄河调水调沙期间, 受黄河泥沙汇入和径流变化等环境条件影响, 黄河口附近海域鱼卵、仔稚鱼生物多样性受到干扰, 多样性指数出现波动。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 万瑞景, 曾定勇, 卞晓东, 等. 东海生态系统中鱼卵、仔稚鱼种类组成、数量分布及其与环境因素的关系[J]. 水产学报, 2014, 38(9): 1375-1398.  
WAN Ruijing, ZENG Dingyong, BIAN Xiaodong, et al. Species composition and abundance distribution pattern of ichthyoplankton and their relationship with environmental factors in the East China Sea ecosystem[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(9): 1375-1398.
- [3] AKIHIKO K, SHIGEKI S. Diurnal changes in vertical distribution of Anchovy eggs and larvae in the Western Wakasa Bay[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1983, 50(8): 1285-1292.
- [4] KAZUMASA H, TSUNEO G, MITSUYUKI H. Diet composition and prey size of larval anchovy *Engraulis japonicas*, in Toyama Bay, southern Japan Sea[J]. Aquatic Ecology, 1997, 47: 67-78.
- [5] 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: 141-150.  
ZHU Xinhua, MIAO Feng, LIU Dong, et al. Spatio-temporal pattern and dominant component of fish community in the Yellow River estuary and its adjacent waters[J]. Studia Marina Sinica, 2001, 43: 141-150.
- [6] WHITFIELD A K. Ichthyo plankton interchange in the mouth region of a southern African estuary[J]. Marine Ecology Progress Series, 1989, 54(1/2): 25-33.
- [7] WEINSTEIN M P, WEISS S L, HODSON R G, et al. Retention of three taxa of postlarval fishes in an intensively flushed tidal estuary, Cape Fear River, North Carolina[J]. Fishery Bulletin, 1980, 78: 419-435.
- [8] 张志南, 图立红, 于子山. 黄河口及其邻近海域大型底栖动物的初步研究[J]. 青岛海洋大学学报, 1990, 20(2): 45-52.  
ZHANG Zhinan, TU Lihong, YU Zishan. Preliminary study on the macrobenthos in the Huanghe River estuary and its adjacent waters[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1990, 20(2): 45-52.
- [9] 吕瑞华, 朱明远. 山东近岸水域的初级生产力[J]. 黄渤海海洋, 1992, 10(1): 42-47.  
LV Ruihua, ZHU Mingyuan. The primary productivity of the inshore waters in Shandong[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1992, 10(1): 42-47.
- [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] 王平, 焦燕, 任一平, 等. 莱州湾、黄河口海域春季近岸渔获生物多样性特征的调查研究[J]. 海洋湖沼通报, 1999, 1: 40-44.  
WANG Ping, JIAO Yan, REN Yiping, et al. Investigation of biodiversity from spring catch in coastal waters of Laizhou Bay and Huanghe estuary[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1999, 1: 40-44.
- [12] 焦玉木, 田家怡. 黄河三角洲附近海域浮游动物多样性研究[J]. 海洋环境科学, 1999, 18(14): 33-38.  
JIAO Yumu, TIAN Jiayi. Zooplankton diversity around the Huanghe River Delta[J]. Marine Environmental Science, 1999, 18(14): 33-38.
- [13] 田家怡. 黄河三角洲附近海域浮游植物多样性[J]. 海洋环境科学, 2000, 19(2): 38-42.  
TIAN Jiayi. Diversity of phytoplankton in the sea near Yellow River delta[J]. Marine Environmental Science, 2000, 19(2): 38-42.
- [14] 李凡, 张秀荣. 黄河入海水、沙通量变化对黄河口及邻近海域环境资源可持续利用的影响 I. 黄河入海流量锐减和断流的成因及其发展趋势[J]. 海洋科学集刊, 2001, 43: 51-59.  
LI Fan, ZHANG Xiurong. Impact of variation of water and sediment fluxes on sustainable use of marine environment and resources in the Huanghe River estuary and adjacent sea I. Reason for the cut-off water flow and large decrease of runoff and developing trend of themy[J]. Studia Marina Sinica, 2001, 43: 51-59.
- [15] 陈宁, 杨艳艳, 魏振华, 等. 调水调沙前后黄河口渔业资源结构变化[J]. 中国水产科学, 2017, 24(5): 953-962.  
CHEN Ning, YANG Yanyan, WEI Zhenhua, et al. Composition and distribution of fishery resources before and after the water and sediment discharge regulation in the Yellow River estuary[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(5): 953-962.
- [16] YU Yonggui, SHI Xuefa, WANG Houjie, et al. Effects of dams on water and sediment delivery to the sea by the Huanghe (Yellow River): the special role of Water-Sediment Modulation[J]. Anthropocene, 2013, 3: 72-82.
- [17] 葛雷, 娄广艳, 张军锋, 等. 2010年黄河调水调沙对河口近海盐度影响[J]. 河南水利与南水北调, 2013, 1: 61-62.

- GE Lei, LOU Guangyan, ZHANG Junfeng, et al. Effect of Yellow River water and sediment regulation on salinity of estuary in 2010[J]. *Henan Water Resources & South-to-North Water Diversion*, 2013, 1: 61-62.
- [18] 李玲伟. 沉积物-水界面交换和黄河输入对渤海营养盐的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- LI Lingwei. Effects of exchange fluxes of nutrient at the sediment and water interface and the Huanghe input on nutrient dynamics of the Bohai Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010.
- [19] 孙珊, 苏博, 李凡, 等. 调水调沙对黄河口及邻近海域环境状况的影响[J]. *海洋环境科学*, 2019, 38(3): 399-406.
- SUN Shan, SU Bo, LI Fan, et al. Effects of water and sediment discharge regulation on environment in the Yellow River estuary and adjacent waters[J]. *Marine Environmental Science*, 2019, 38(3): 399-406.
- [20] 国家质检总局, 国家标准化委员会. 海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 56-62.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Committee of the People's Republic of China. Specifications for oceanographic survey-part 6: Marine biological survey[M]. Beijing: China Standards Press, 2007: 56-62.
- [21] 韩洁, 张志南, 于子山. 渤海中、南部大型底栖动物的群落结构[J]. *生态学报*, 2004, 24(3): 531-537.
- HAN Jie, ZHANG Zhinan, YU Zishan. Macrobenthic community structure in the southern and central Bohai sea, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 531-537.
- [22] PINKAS L, OLIPHANT M S, IERSON I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in Californian waters[J]. *Clif Dep Fish Game Fish Bull*, 1971, 152: 1-105.
- [23] MARGALEF R. Information theory in ecology[J]. *General System*, 1958, 3: 36-71.
- [24] WILHM J L. Use of biomass units in Shannon's formula[J]. *Ecology*, 1968, 49: 153-156.
- [25] PIELOU E C. *Ecological Diversity*[M]. New York: Wiley, 1975, 46-49.
- [26] 崔毅, 马绍赛, 李云平, 等. 莱州湾污染及其对渔业资源的影响[J]. *海洋水产研究*, 2003, 24(1): 35-41.
- CUI Yi, MA Shaosai, LI Yunping, et al. Pollution situation in the Laizhou Bay and its effects on fishery resources[J]. *Marine Fisheries Research*, 2003, 24(1): 35-41.
- [27] 乐肯堂. 黄河口的变迁对黄河冲淡水分布的影响[J]. *海洋科学集刊*, 1995, 36: 81-92.
- LE Kentang. Changes of the diluted water distribution caused by the fluvial process of the Huanghe River estuary[J]. *Studia Marina Sinica*, 1995, 36: 81-92.
- [28] 乐肯堂, 刘兴泉, 史久新. 黄河口的变迁对邻近海区潮波运动影响的数值研究[J]. *海洋科学集刊*, 1995, 36: 33-46.
- LE Kentang, LIU Xingquan, SHI Jiuxin. A numerical study on the effect of the changes of the Huanghe River estuary on the tidal wave movement in its adjacent sea area[J]. *Studia Marina Sinica*, 1995, 36: 33-46.
- [29] 沈志良, 陆家平, 刘兴俊. 黄河口及其附近海域的无机氮和磷酸盐[J]. *海洋科学集刊*, 1989, 30: 51-79.
- SHEN Zhiliang, LU Jiaping, LIU Xingjun. Inorganic nitrogen and phosphates in the Yellow River estuary and its adjacent waters[J]. *Studia Marina Sinica*, 1989, 30: 51-79.
- [30] YANG J M, WANG C X. Primary fish survey of the Huanghe River estuary[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1993, 11(4): 368-374.
- [31] 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: 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: 121-149.
- [32] 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. 黄河口调查区综合调查报告[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991: 5-29.
- Shandong Province Science and Technology Committee. The comprehensive survey reports about coastal zone and tideland resources in Shandong province. The comprehensive survey report of survey area in Huanghe estuary[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1991: 5-29.
- [33] 万瑞景, 姜言伟. 渤海硬骨鱼类鱼卵、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.
- [34] 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.
- [35] 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): 815-826.
- 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): 815-826.
- [36] 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.
- [37] BAUCHOT M L, PRASA A. *Guia de los peces de mar de España y de Europa*[M]. Barcelona: Ediciones Omega, 1987.
- [38] 高生泉, 林以安, 金明明, 等. 山东半岛以南水域营养盐的时空分布及其与鱼产卵场的关系[J]. *海洋学报(中文版)*, 2003, S2: 157-166.  
GAO Shengquan, LIN Yian, JIN Mingming, et al. Distribution of nutrient and its relationship with anchovy spawning ground in the southern waters of Shandong Peninsula[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2003, S2: 157-166.
- [39] 张良成. 莱州湾虾虎鱼群落结构及渔业生物学研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.  
ZHANG Liangcheng. Study on the community structure and fishery biological characteristics of Gobioidae in Laizhou Bay[D]. Shanghai: Ocean University of Shanghai, 2019.
- [40] 孙慧慧. 黄河口邻近海域浮游植物群落结构时空变化及其对调水调沙的响应[D]. 烟台: 中国科学院烟台海岸带研究所, 2017.  
SUN Huihui. Temporal and spatial variations of phytoplankton community in response to the water-sediment regulation event in the adjacent sea of the Yellow River Estuary[D]. Yantai: Yantai Institute of Coastal Zone Research Chinese Academy of Sciences, 2017.
- [41] 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.
- [42] 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.
- [43] 陈大刚. *渔业资源生物学*[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 23-24.  
CHEN Dagang. *Fishery resources biology*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 23-24.
- [44] PAULY D, PALOMARES M L. Fishing down marine food web, it is far more pervasive than we thought[J]. *Bulletin of Marine Science*, 2005, 76(2): 197-211.
- [45] CONNELL J H. Diversity in tropical rainforests and coralreefs[J]. *Science*, 1978, 199: 1302-1310.
- [46] SANDERS H L. Marine benthic diversity: a comparative study[J]. *American Naturalist*, 1968, 102: 243-282.
- [47] 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.



# Species composition and community structure of ichthyoplankton in coastal waters of Huanghe estuary

XU Hua<sup>1</sup>, WANG Bin<sup>2</sup>, ZHANG Cong<sup>1</sup>, LI Fan<sup>2</sup>, YANG Yan-yan<sup>2</sup>

(1. Yantai Ecological Environment Monitoring Center, Yantai 264000, China; 2. Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Yantai 264006, China)

**Received:** Apr. 6, 2021

**Key words:** Huanghe estuary; fish egg; larvae; species composition; quantity distribution; dominant species; diversity index

**Abstract:** This study aimed to understand the dynamic changes of species composition and distribution pattern of ichthyoplankton in Huanghe estuary and adjacent waters during water and sediment diversion in the Huanghe River. Three surveys were conducted between 119°00'—119°40'E and 37°40'—38°09'N from June to July in 2011 and 2018, respectively. A large plankton net was used at 13 stations in 2011 and 18 stations in 2018 to collect ichthyoplankton by the horizontal surface trawl. The results revealed that 1 280 eggs and 5 973 larvae belonging to 7 orders, 11 families, and 13 genera were collected in 2011. In 2018, 4 104 eggs and 237 larvae belonging to 7 orders, 11 families, and 13 genera were collected. The dominant species were small pelagic fish with a short life cycle and low trophic levels, such as *Konosirus punctatus*, *Engraulis japonicas*, and *Thryssa kammalensis*. The density of ichthyoplankton near the Huanghe estuary is relatively high. The distribution of ichthyoplankton was concentrated at the gate of Huanghe estuary. The diversity index of ichthyoplankton in the survey area fluctuated during water and sediment diversion and returned to its initial level. Pearson correlation revealed that there was no significant correlation between the number of eggs and environmental factors. In contrast, there was a significant positive correlation between the number of larvae and the content of chlorophyll ( $R = 0.870$ ,  $P < 0.01$ ). The number of ichthyoplankton in the study area changed little during these surveys. Warm temperature species were the main species. The number of ichthyoplankton collected in 2018 was less than that in 2011; however, the evenness index and diversity index of ichthyoplankton were greater than that in 2011. The richness index of the other two surveys in 2018 was also greater than that in 2011, except for the survey in early June. This study supplements the data of fish early replenishment resources in the Huanghe estuary and adjacent waters, which provides a basis for the assessment and conservation of fishery resources in the study area and the Bohai Sea.

(本文编辑: 谭雪静)