

黄河调水调沙对河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼群落结构的影响

杨艳艳 朱明明 宋泉清 王秀霞 李凡 张孝民 逢志伟 苏博

THE WATER-SEDIMENT REGULATION SCHEME ON THE COMMUNITY STRUCTURE OF
ICHTHYOPLANKTON IN THE YELLOW RIVER ESTUARY

YANG Yan-Yan, ZHU Ming-Ming, SONG Quan-Qing, WANG Xiu-Xia, LI Fan, ZHANG Xiao-Min, PANG Zhi-Wei, SU Bo

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2024.2023.0241>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

长江湖口段春夏季仔稚鱼群落结构研究

COMMUNITY CHARACTERISTICS OF LARVAE AND JUVENILE FISH IN HUKOU SECTION OF THE YANGTZE RIVER IN SPRING AND SUMMER

水生生物学报. 2019, 43(1): 142–154 <https://doi.org/10.7541/2019.018>

长江安庆段仔稚鱼群落特征调查研究

THE COMMUNITY CHARACTERISTICS OF LARVAE AND JUVENILE FISH IN THE ANQING SECTION OF THE YANGTZE RIVER

水生生物学报. 2019, 43(6): 1300–1310 <https://doi.org/10.7541/2019.154>

太湖五里湖仔稚鱼时空分布特征

SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTIONS OF FISH LARVAE AND JUVENILES IN LAKE WULI, LAKE TAIHU

水生生物学报. 2020, 44(3): 577–586 <https://doi.org/10.7541/2020.071>

拟赤梢鱼的胚胎发育和仔稚鱼生长特性观察

EMBRYONIC AND LARVAL-JUVENILE DEVELOPMENTAL CHARACTERISTICS OF *PSEUDASPIUS LEPTOCEPHALUS*

水生生物学报. 2021, 45(3): 636–644 <https://doi.org/10.7541/2021.2020.017>

不同饵料对稀有鳢鲫仔稚鱼生长、消化道及消化酶的影响

THE EFFECTS OF DIFFERENT BAITS ON THE GROWTH AND ACTIVITIES OF THE DIGESTIVE TRACT AND ENZYME OF THE LARVAE AND JUVENILE *GOBIOCYPRIS RARUS*

水生生物学报. 2018, 42(1): 114–122 <https://doi.org/10.7541/2018.015>

黑斑原仔稚鱼藏匿行为研究

STUDY ON THE HIDING BEHAVIOR OF THE *GLYPTOSTERNUM MACULATUM* LARVAE AND JUVENILES

水生生物学报. 2021, 45(5): 1129–1137 <https://doi.org/10.7541/2021.2020.068>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2024.2023.0241

黄河调水调沙对河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼群落结构的影响

杨艳艳¹ 朱明明¹ 宋泉清² 王秀霞¹ 李凡¹ 张孝民¹ 逢志伟³ 苏博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, 烟台 264006; 2. 海阳市海洋与渔业综合服务中心, 海阳 265100; 3. 日照市岚山区海洋与渔业监督监察大队, 日照 276808)

摘要: 为了解调水调沙(Water-Sediment Regulation Scheme, WSRS)对黄河口海域鱼卵、仔稚鱼的群落结构和时空分布格局的影响, 分别于2017年(非调水调沙年)和2018年(调水调沙年)的6—7月在黄河口海域利用水平拖网开展了6个航次的鱼卵、仔稚鱼调查。运用聚类分析和冗余分析(RDA)等方法对该海域非调水调沙年和调水调沙年的鱼卵、仔稚鱼丰度和群落结构的时空分布及环境因子状况等进行了综合的分析比较, 结果表明: 6个航次调查共捕获鱼卵6212粒, 仔稚鱼431尾, 隶属于8目12科14属, 其中, 河口定居性鱼类短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyeri*)为控制黄河口及邻近海域夏季鱼类浮游生物群落演替格局的主要种类; 鱼卵受环流和调水调沙的共同影响, 其空间分布在各调查阶段有所不同, 仔稚鱼则趋向于在河口近岸海域分布; 河口东北部及东南部靠近莱州湾区域是黄河口及邻近海域鱼类浮游生物群落的主要聚集区; 调水调沙年鱼卵、仔稚鱼的捕获总量以及底层鱼类鱼卵的捕获数量均明显高于非调水调沙年, 调水调沙带来的丰富径流和泥沙有利于黄河口海域渔业资源的补充; 冗余分析结果表明, 海洋鱼类的群落结构与环境因子关系密切, 研究区域鱼卵、仔稚鱼的群落结构与盐度、水温、水深及浮游生物密度等因素息息相关, 环境条件影响着鱼类对栖息地的选择。黄河调水调沙输送的丰富入海淡水和泥沙与其邻近海域的海洋生态环境及海洋生物资源构成了密切的响应关系, 随着我们对调水调沙实践经验的不断积累, 建议应在今后的工作中进一步加强对调水调沙的目标、时间和频次优化等问题的关注。

关键词: 鱼卵; 仔稚鱼; 调水调沙; 黄河口

中图分类号: S932.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2024)03-0488-16



黄河是世界上含沙量最多的河流, 属世界第五大长河, 也是中国的第二长河, 具有径流量年际、年内变化大等特点。黄河口位于莱州湾和渤海湾的交汇处, 地处暖温带北缘, 是我国重要的河口之一^[1]。受到黄河入海所携带淡水和养分的影响, 黄河口及其邻近海域饵料生物充足, 拥有较高的初级生产力, 使其成为众多海洋生物摄食、生长和繁衍的重要栖息地^[2, 3]。

鱼卵、仔稚鱼是黄河口生态系统中的重要生物类群, 在黄河口生态系统物质循环和能量流动中发挥着至关重要的作用。黄河口海域鱼卵、仔稚

鱼的种类组成、数量分布、群落结构及多样性分布差异等也是评估该海域渔业资源补充量及河口生态系统健康的重要指标^[4-6]。调水调沙是由中国黄河水利委员会自2002年开始实施的一项水沙整治计划, 主要目的是为解决黄河水沙过程不协调、下游河道淤积等问题。调水调沙的主要手段是每年夏季(雨季)通过水库的联合调度, 在短时间内向黄河流域输送大量的水沙, 以改善径流和减少黄河泥沙的淤积。调水调沙对黄河口附近海域生态环境影响非常明显, 而这种生境的改变势必对鱼卵、仔稚鱼的群落结构时空分布格局造成一定的影响^[7]。

收稿日期: 2023-08-03; **修订日期:** 2023-09-11

基金项目: 山东省自然科学基金重点项目(ZR2020KE050); 崂山实验室科技创新项目(LSKJ202203803); 烟台市科技创新发展计划(2023JCYJ101)资助 [Supported by the Key Project of Shandong Provincial Natural Science Foundation (ZR2020KE050); Science and Technology Innovation Program of the Laoshan Laboratory (LSKJ202203803); The Science and Technology Innovation Development Program of Yantai(2023JCYJ101)]

作者简介: 杨艳艳(1981—), 女, 副研究员; 主要从事海洋生物资源研究。E-mail: xqdlmu@163.com

通信作者: 苏博, 男, 副研究员; 主要从事海洋生态环境研究。E-mail: subo_ocean@163.com

有关黄河口及其邻近海域鱼卵、仔稚鱼的研究已有开展,但其中涉及调水调沙对鱼卵、仔稚鱼群落结构影响的研究相对较少^[1,8-11]。

本文基于2017年和2018年黄河口海域鱼卵、仔稚鱼的调查数据,对该海域非调水调沙年和调水调沙年不同阶段鱼卵、仔稚鱼的丰度、数量变化、空间分布等进行分析比较,综合探讨了调水调沙对该河口区域鱼卵、仔稚鱼群落结构的影响,研究结果对于了解黄河水沙通量对鱼卵、仔稚鱼的影响及河口鱼类资源的可持续利用、评估黄河调水调沙生态影响评价等方面具有非常重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 调查时间和站位

本研究的调查区域位于37.67°—38.15°N和119.11°—119.67°E,黄河入海口附近水深20 m以浅

的区域,于2017年和2018年的6—7月期间开展了6个航次的鱼卵、仔稚鱼调查,覆盖了非调水调沙年和调水调沙年不同阶段的水排放和输沙变化情况。其中2017年(非调水调沙年)的调查时间为6月18—20日、7月9—11日和7月25—27日,为了便于进行比较,将2017年的3次调查分别称为前期、中期和后期;2018年(调水调沙年)的调查时间为6月20—22日(调水调沙前期)、7月7—9日(调水调沙中期)和7月25—27日(调水调沙后期)。调查期间依据与黄河入海口的距离布设站位,Ⅰ断面(B1、C1和D1)距入海口5 km,Ⅱ断面(A2、B2、C2、D2和E2)距入海口10 km,Ⅲ断面(A3、B3、C3、D3和E3)距入海口20 km,Ⅳ断面(A4、B4、C4、D4和E4)距入海口40 km,2017年和2018年均设置18个调查站位(图1)。

1.2 样品的采集与分析

鱼卵、仔稚鱼样品采集及分析方法严格按照

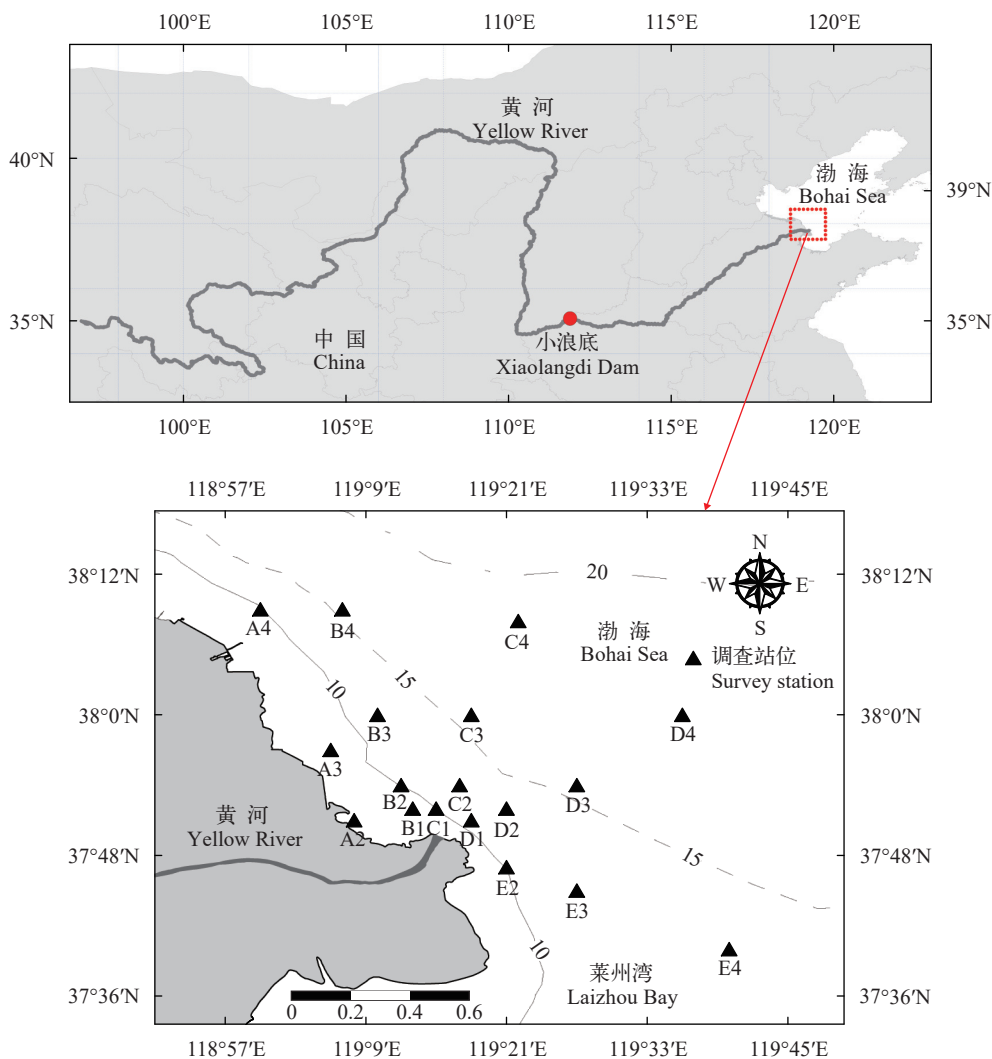


图1 调查站点

Fig. 1 Sample station

《海洋调查规范 第6部分: 海洋生物调查》(GB/T 12763.6-2007)进行^[12]。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^[13-15]。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)。

浮游动物(Zooplankton abundance, ZA)和浮游植物(Phytoplankton abundance, PA)样品分别使用浅水I型、III型浮游生物网由底层至表层垂直拖网采集, 样品均用5%福尔马林溶液现场固定, 带回实验室进行定量定性分析。样品的采集、保存及分析也均按照《海洋调查规范-第6部分: 海洋生物调查》(GB/T 12763.6-2007)执行^[12]。

环境因子中的海水表层温度(Sea surface temperature, SST)、海水表层盐度(Sea Surface salinity, SSS)、水深(Depth, DEP)、pH、溶解氧(Dissolved oxygen, DO)及叶绿素 a (Chlorophyll- a , Chl. a)等因子均使用XR-420型CTD现场测定, 悬浮物(Suspended particle matter, SPM)样品采集后带回实验室分析, 分析方法参照《海洋监测规范 第4部分: 海水分析》(GB/T 17378.4-2007)执行^[16]。

1.3 数据处理

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, 公式^[5]:

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

式中, $N\%$ 为某一种类个体数量占捕获总量的百分比; $F\%$ 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1000的种类为优势种。

生物多样性 物种丰富度指数(D)计算公式^[17]:

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

香农-威纳多样性指数(H')计算公式:

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

均匀度指数(J')计算公式:

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

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。

群落结构分析 采用PRIMER6.0对黄河口及邻近水域鱼卵、仔稚鱼的群落结构进行聚类分析。将鱼卵、仔稚鱼数据进行对数转换 $\log_2(x+1)$, 得到不同站位间的种类组成Bray-Curtis相似性系数矩阵, 采用等级聚类(Cluster)划分为不同的类群, 研究黄河口及邻近水域鱼卵、仔稚鱼群落空间结构。采用单因子相似性分析(Analysis of similarities, ANOSIM)研究不同类群之间的群落种类组成的差异显著性。应用相似性百分比分析(Similarity percentage analysis, SIMPRE)方法分析造成各类群群落结构相似的典型种和造成组间群落结构差异的分歧种, 以及各鱼种对站位组内相似性和组间差异性的贡献率。

环境因子相关关系分析 采用Canoco5.0对鱼卵、仔稚鱼群落结构与环境因子之间的关系进行分析并绘制排序图, 以揭示不同环境因子对鱼卵、仔稚鱼的影响。首先对物种数据进行除趋势对应分析(Detrended correspondence analysis, DCA), 根据每个轴的梯度长度(Length of the gradient, LGA)选择适宜的排序方法。当 $LGA < 3$ 选择冗余分析(Redundancy analysis, RDA), $3 < LGA < 4$ 时, 选择冗余分析(RDA)或者典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)均可^[18]; 当 $LGA > 4$ 时, 则可运用典范对应分析(CCA)^[19]。根据DCA分析结果, 本文均选择冗余分析(RDA)。分析时鱼卵、仔稚鱼丰度数据不做转换, 环境数据除pH外, 其余均做log转换。

图件绘制使用ArcGIS 10.6、SURFER15.0、Excel 2016完成。

2 结果

2.1 环境因子变化

调查期间黄河入海水沙通量变化分析 据黄河利津站监测数据显示, 2018年的径流量和输沙量远大于2017年(图2)。2018年7月3—30日随着调水调沙计划的实施, 小浪底站开始释放洪水, 利津站在7月11日观测到最大日径流量为3550 m³/s, 最大输沙量为43.4 kg/m³。由于黄河口海域与利津站存在一定距离, 径流和输沙负荷峰值预计10h之后到达黄河口海域。

环境因子变化分析 2017年, 表层水温由河口向近海呈现出显著的梯度变化, 随着调查时间的推进水温有逐渐升高的趋势, 河口北部水温低于南部; 由于2017年没有实施调水调沙计划, 所以调查期间表层盐度受入海冲淡水的影响相对减少, 整体

呈现比较平稳的状态,从河口向近海呈现逐渐上升的趋势;叶绿素 a 浓度在调查前期和中期均在河口东北部海域存在一个高值区,由于2017年没有调水调沙的干扰,所以前期和中期叶绿素 a 浓度整体变化较小,进入后期河口南部的叶绿素 a 浓度整体高于北部;在调查前期和后期,悬浮物浓度从河口向近海呈现出下降的趋势,中期则是由河口向外海逐渐升高;pH的高值区在前期主要分布在河口南部海域,中期开始向北部扩散,进入后期调查海域的pH均超过8;调查海域的平均溶解氧浓度以前期最高后期最低,中期整体呈现由河口向外海升高的趋势(图3和表1)。

受调水调沙的影响,整体来看2018年各调查阶段环境因子变化较大。表层水温随着时间的推进呈现出逐渐升高的趋势,前期水温整体偏低,平均 22.76°C ,进入中期以后平均水温上升至 24.86°C ,在河口北部海域形成一个小范围高值区,后期阶段调查海域以高温占据主导,河口北部的高值区向外海扩散;表层盐度整体呈现河口附近海域低外海高的趋势,前期和中期均在河口北部近海形成明显的低盐区,进入后期受到入海冲淡水的影响,低盐区范围开始向河口南部海域扩散;前期叶绿素 a 浓度整体呈现河口西部低东部高的趋势,在河口东部形成大范围高值区,进入中期以后河口西北部的小范围高值区范围扩大,此阶段仅在河口东北部留有一个低值区,随着时间的推移后期调查海域的叶绿素 a 浓度整体呈现下降的趋势,且从河口近岸向外海逐渐降低;悬浮物平均浓度以前期最高,进入中期以后从河口近岸海域向外海逐渐降低,后期仅在河口北部近岸形成一个小范围高值区;前期在河口近岸的北部和东部分别形成一个pH的高值区,进入中期以后受入海水沙通量等因素变化的影响,调查海

域的pH整体呈现由河口向外海升高的趋势;在整个调查期间,海域的溶解氧浓度始终呈现由河口向外海升高的趋势,并且随着调查时间的推进,溶解氧的低值区范围有扩大的趋势(图4和表1)。

2.2 种类组成和数量变化

6个航次调查共采集鱼卵、仔稚鱼15种,隶属于8目12科14属,有1种虾虎鱼科仔稚鱼鉴定到科(表2)。鲱形目2科4种,占采集鱼卵、仔稚鱼种类的26.67%;鲈形目(包括虾虎鱼)3科3种,占采集鱼卵、仔稚鱼种类的20%;鲽形目和刺鱼目分别为2科2种,1科2种,各占采集鱼卵、仔稚鱼种类的13.33%;颌针鱼目、鼠鲮目、银汉鱼目和鲴形目各1科1种,分别占采集鱼卵、仔稚鱼种类的6.67%。调查海域内的鱼卵、仔稚鱼对应的产卵亲体主要以暖温种为主(6种),暖水种其次(5种),冷温种最少(3种);从产卵亲体的栖所类型来看,主要以浅水中上层鱼类为主要组成,浅水底层和中底层鱼类次之。

调查期间捕获鱼卵6212粒,其中,2017年3个航次捕获鱼卵2108粒,2018年3个航次捕获鱼卵4104粒;共捕获仔稚鱼431尾,2017年3个航次捕获仔稚鱼194尾,2018年3个航次捕获仔稚鱼237尾。从各航次捕获鱼卵的数量分布来看,2017年鱼卵和仔稚鱼数量均是以调水调沙后期最高,2018年的鱼卵数量以调水调沙中期最高,仔稚鱼数量则以调水调沙前期最高。2018年捕获的鱼卵和仔稚鱼数量均高于2017年(图5)。

2.3 鱼卵、仔稚鱼群落的空间分布

2017年,前期鱼卵主要分布在河口的东南和北部沿海,以距离河口较远的断面III的E3站鱼卵密度最高,为226粒/站,短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyeri*)为优势种群,多鳞鳕(*Sillago sihama*)和斑鲆(*Konosirus punctatus*)为重要种群;中期鱼卵主要分布在河口的

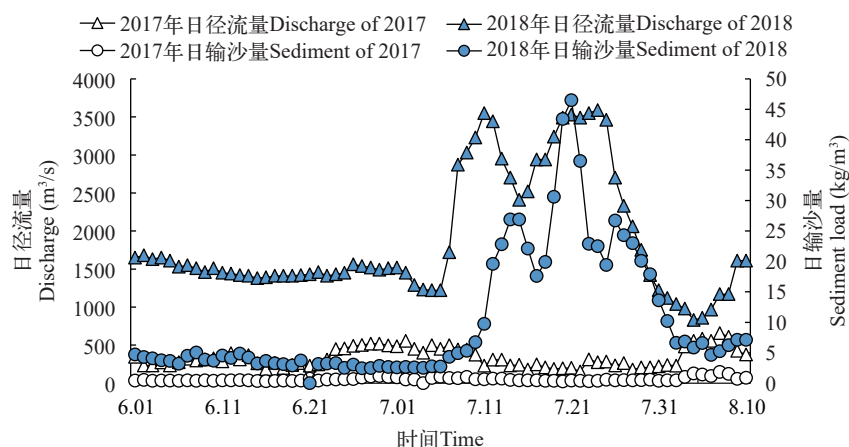


图2 2017年和2018年利津站径流和输沙变化

Fig. 2 Changes in runoff and sediment transport at Lijin Station in 2017 and 2018

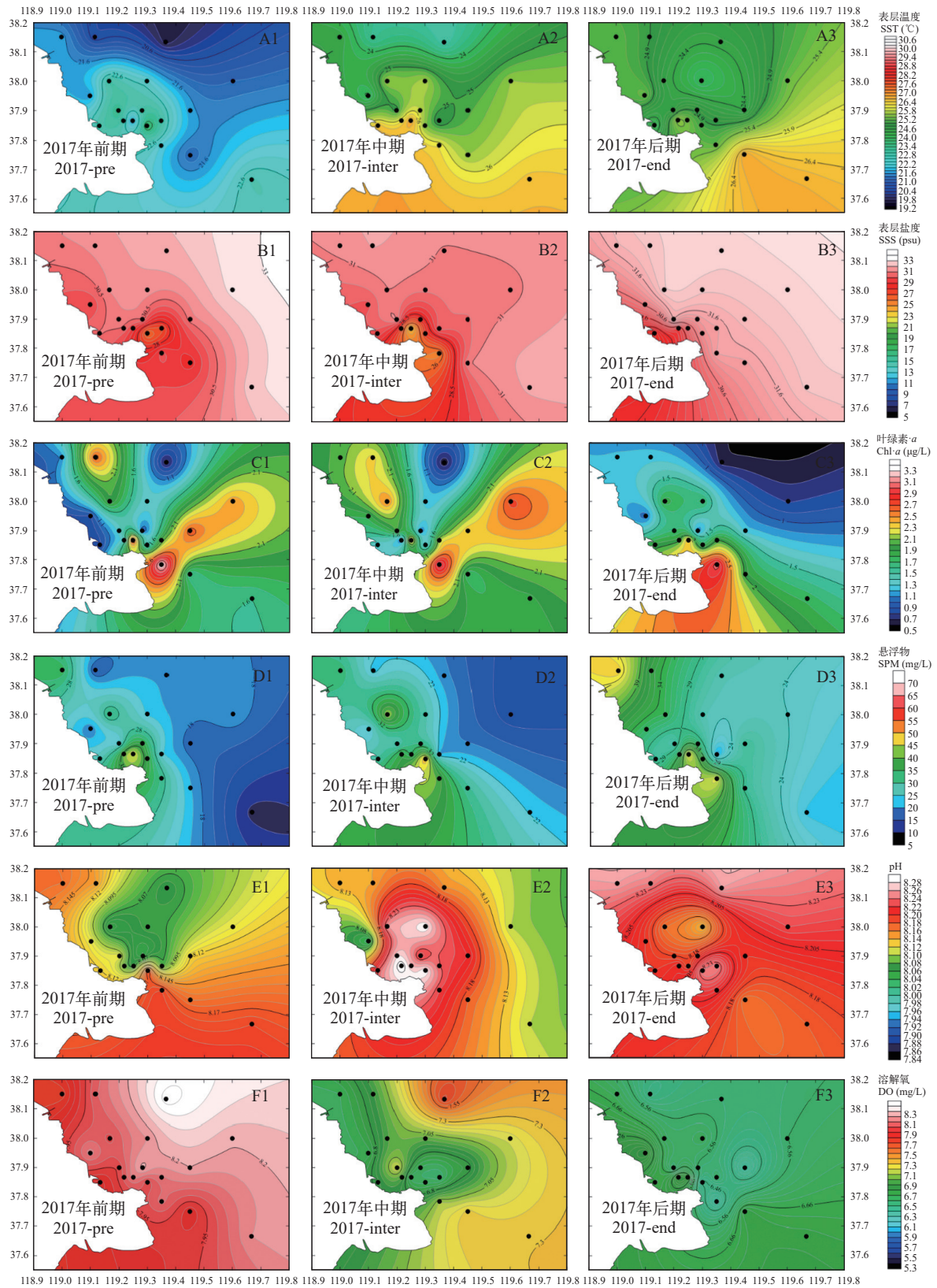


图3 2017年环境因子的分布

Fig. 3 Temporal and spatial variation of environmental factors in 2017

A1—A3. 海水表层水温 Sea surface temperature (SST); B1—B3. 海水表层盐度 Sea surface salinity (SSS); C1—C3. 叶绿素 *a* 浓度 Chlorophyll-*a* (Chl-*a*); D1—D3. 悬浮物浓度 Suspended particle matter (SPM); E1—E3. 酸碱度 Acidity (pH); F1—F3. 溶解氧浓度 Dissolved oxygen (DO)

北部沿海, 同样以距离河口较远的断面Ⅲ的A3站和断面Ⅳ的D4站密度最高, 均为63粒/站, 短吻红舌鲷、斑鲽和多鳞鳢为这一时期鱼卵的重要种群; 进入后期鱼卵的分布仍主要集中在北部沿海, 断面Ⅳ的B4站为鱼卵密度最高的站位, 为256粒/站, 短吻红舌鲷和多鳞鳢分别为鱼卵的优势种群和重要种群。2018年3个航次的鱼卵均主要集中分布在河口的东南和西北沿海分布, 丰度整体呈现先升高后下降的趋势, 以调水调沙中期鱼卵丰度最高, 调水调沙后期鱼卵丰度最低, 除后期外其余各航次鱼卵丰度均高于2017年。其中, 调水调沙前期以断面Ⅲ的D3站鱼卵密度最高, 为682粒/站, 鳀(*Engraulis japonicus*)和短吻红舌鲷为鱼卵的优势种群, 多鳞鳢为鱼卵的重要种群; 调水调沙中期以断面Ⅲ的E3站鱼卵丰度最高, 为1260粒/站, 斑鲽和短吻红舌鲷为重要种群; 调水调沙后期鱼卵的丰度呈现显著下降的趋势, 以断面Ⅳ的D4站鱼卵丰度最高, 达233粒/站, 短吻红舌鲷为这一时期的优势种群, 斑鲽和多鳞鳢为重要种群(图6)。

2017年随着调查时间的推进仔稚鱼的丰度整体呈现先下降后上升的趋势, 前期仔稚鱼主要集中在河口东北部沿海分布, 河口附近断面Ⅰ的D1站仔稚鱼密度最高, 为30尾/站, 以斑鲽为优势种群; 中期仔稚鱼主要分布在河口西部沿海, 以断面Ⅰ的

C1站仔稚鱼密度最高, 为10尾/站, 斑鲽和日本下鱈(*Hyporhamphus sajori*)分别为仔稚鱼的优势种群和重要种群; 进入后期仔稚鱼丰度达到峰值, 以距离河口较近的断面Ⅰ的D1站仔稚鱼密度最高, 为36尾/站, 赤鼻棱鳀(*Thryssa kammalensis*)、日本下鱈和鳀为重要种群。2018年仔稚鱼的丰度整体呈现先下降后持平的趋势, 以调水调沙前期仔稚鱼的丰度最高, 调水调沙中期和后期仔稚鱼的丰度相同。调水调沙前期仔稚鱼主要集中分布在河口的东北沿海分布, 断面Ⅰ的D1站仔稚鱼密度最高, 为120尾/站, 鳀为这一时期的重要种群; 进入调水调沙中期, 仔稚鱼丰度开始下降, 平均密度为3.2尾/站, 断面Ⅰ的B1站仔稚鱼密度最高, 为16尾/站, 斑鲽为重要种群; 进入调水调沙后期, 仔稚鱼依然主要集中在距河口较近的断面Ⅰ, 以D1站仔稚鱼密度最高, 为16尾/站, 赤鼻棱鳀、日本下鱈和虾虎鱼科鱼类为重要种群(图7)。

2.4 物种多样性指数的空间分布

从多样性指数(H')的空间分布情况来看, 2017年, 前期河口东北沿海多样性水平(H')较高, 进入中期以后高值区向河口东部移动, 后期多样性指数(H')的空间变化较小, 高值区仍然停留在河口东部沿海, 最高值出现在河口东部的D4站(图8); 2018年, 调水调沙前期多样性(H')整体处于较低水

表1 黄河河口及邻近海域环境因子组成

Tab. 1 Composition of environmental factors in the Yellow River estuary

参数Parameter	前期Pre		中期Inter		后期End	
	2017年	2018年	2017年	2018年	2017年	2018年
表层水温SST (°C)	16.68—24.01	19.10—24.50	23.03—26.82	23.50—26.20	23.97—26.56	25.70—30.50
	22.16±1.11	22.76±1.41	25.31±1.07	24.84±1.12	25.73±0.73	28.69±1.49
表层盐度SSS (‰)	28.71—32.68	5.66—32.81	23.44—31.61	4.31—32.61	27.75—32.25	5.98—32.26
	30.23±1.74	24.47±9.89	29.51±2.32	25.80±6.91	31.24±1.19	23.11±7.14
水深DEP (m)	3.60—19.40	2.8—19.8	2.90—19.60	2.7—19.1	3.00—19.30	2.8—19.2
	11.37±5.27	15.1±5.26	11.33±5.31	16.30±5.25	10.68±5.74	14.90±5.28
叶绿素a Chl.a (μg/L)	0.65—3.39	1.09—3.22	0.65—3.39	1.50—3.40	0.65—3.10	0.88—2.48
	1.74±0.80	1.96±0.69	1.91±0.71	2.36±0.55	1.64±0.60	1.86±0.46
悬浮物SPM (mg/L)	9.30—44.80	7.20—67.80	13.0—48.80	10.60—61.40	18.80—45.80	10.60—58.80
	25.6±9.46	23.3±19.34	27.90±9.27	21.70±12.18	31.20±7.82	19.70±11.64
酸碱度pH	8.05—8.18	7.99—8.25	8.03—8.29	7.98—8.22	8.16—8.25	7.85—8.19
	8.11±0.05	8.09±0.08	8.20±0.07	8.08±0.06	8.20±0.03	8.02±0.11
溶解氧DO (mg/L)	7.72—8.43	5.63—7.28	6.56—7.72	5.39—6.98	6.37—6.85	5.47—7.04
	8.06±0.17	6.49±0.43	6.94±0.31	6.21±0.39	6.61±0.15	6.21±0.55
浮游动物密度ZA (ind./m ³)	4.00—35.56	3.89—158.55	10.50—93	5.21—315.38	10.00—56.15	4.62—112.93
	15.47±21.36	82.60±91.40	40.00±20.65	137.55±101.14	31.42±15.05	39.40±45.26
浮游植物密度PA (×10 ⁴ cell/m ³)	0.20—2.27	0.86—40.18	10.36—3002.82	3.55—363.33	15.45—249.35	9.74—163.23
	1.98±1.90	10.96±12.36	537.64±834.54	48.92±89.89	75.39±72.89	15.48±21.93

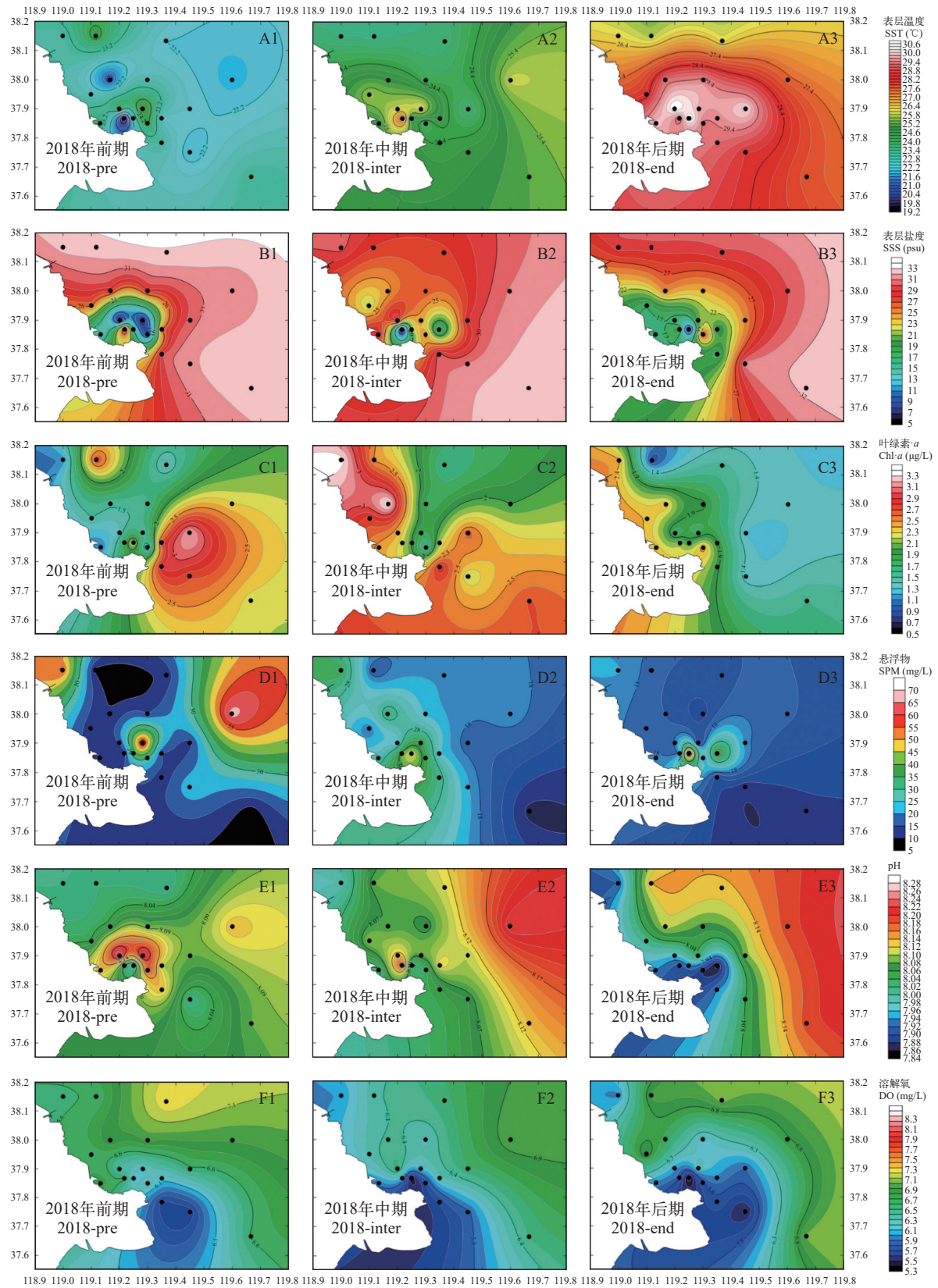


图4 2018年环境因子的分布

Fig. 4 Temporal and spatial variation of environmental factors in 2018

A1—A3. 海水表层水温Sea surface temperature (SST); B1—B3. 海水表层盐度Sea surface salinity (SSS); C1—C3. 叶绿素 a 浓度Chlorophyll- a (Chl- a); D1—D3. 悬浮物浓度Suspended particle matter (SPM); E1—E3. 酸碱度Acidity pH; F1—F3. 溶解氧浓度Dissolved oxygen (DO)

表 2 黄河口及邻近海域鱼卵、仔稚鱼种类组成

Tab. 2 Composition of ichthyoplankton in the Yellow River estuary

种类Species	2017年			2018年			生态类型 Ecological type		编号 Number
	前期 Pre	中期 Inter	后期 End	调水调沙前 Pre-WSRS	调水调沙中 Inter-WSRS	调水调沙后 End-WSRS	适温性 Thermophily	栖所类型 Habitat type	
斑鲈 <i>Konosirus punctatus</i>	○★	○★	○★	○	○★	○★	WT	CPN	C
鲮 <i>Engraulis japonicus</i>			★	○★	○★	★	WT	CPN	G
中颌棱鲮 <i>Thrissa mystax</i>					★		WW	CPN	N
赤鼻棱鲮 <i>Thryssa kammalensis</i>			★			★	WW	CPN	E
多鳞鱚 <i>Sillago sihama</i>	○	○	○	○	○★	○	WW	CD	B
小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>		○	○	○	○	○	WW	CBD	F
短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyeri</i>	○	○	○	○	○	○	WT	CPN	A
高眼鲷 <i>Cleisthenes herzensteini</i>				○			CT	CD	O
日本下鱈 <i>Hyporhamphus sajori</i>	★	★	★		★	★	WW	CPN	D
布氏银汉鱼 <i>Allanetta bleekeri</i>			★			★	WT	CPN	I
尖海龙 <i>Syngnathus acus</i>					★		WT	CD	K
日本海马 <i>Hippocampus japonicus</i>					★		WT	CD	M
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>					★		CT	CD	L
中国大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranius</i>			★				CT	CPN	J
虾虎鱼科未定种 <i>Gobiidae</i> sp.			★	★	★	★			H

注: ○为鱼卵; ★为仔稚鱼; 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; WT. 暖温性种; WW. 暖水性种; CT. 冷温性种

Note: ○ means eggs; ★ means larvae; CD. continental shelf demersal fish; CBD. continental shelf benthopelagic fish; CPN. continental shelf pelagic-neritic fish; CRA. continental shelf reef-associated fish; WT. warm temperate species; WW. warm water species; CT. cold temperate species

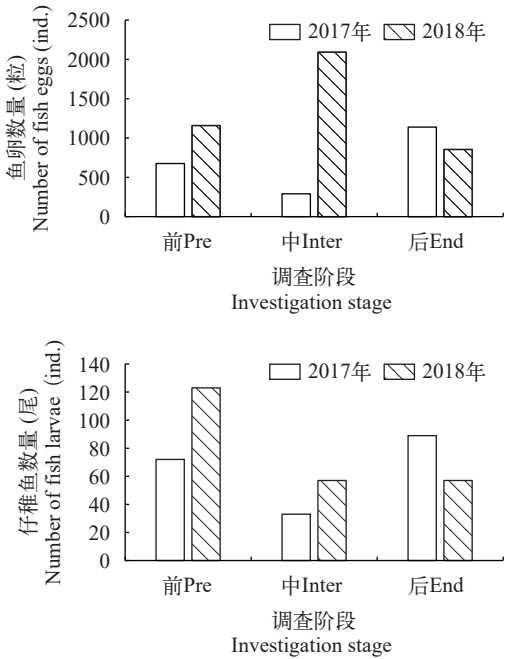


图 5 鱼卵、仔稚鱼数量变化

Fig. 5 Changes in the number of fish eggs and larvae

平, 高值区主要集中在河口的东南沿海, 调水调沙中期多样性(H')水平整体上升, 高值区在河口西北和东北沿海均有分布, 调水调沙后期多样性(H')的高值区向河口东部移动, 最高值再一次出现在东部的D4站。

2.5 群落空间结构

2017年, 鱼卵、仔稚鱼的群落结构在22.44% (聚类模式: 完全连锁)的相似性指数水平上可分为3个类群(图 9), 相似性检验(ANOSIM)结果表明鱼卵、仔稚鱼群落结构之间差异极显著(Global $R=0.725$, $P=0.001<0.01$)。群落1分布在河口近岸北部和东南沿海, 包括A2、A3、B1、C1和D3五个站位; 群落2主要分布在河口北部沿海, 包括A4、B4、C3、C4、D1、D2、D4和E2八个站位; 群落3主要沿河口近岸北部分布, 包括B2、B3、C2、E4四个站位。相似性百分比(SIMIPER)分析表明, 群落1的组内相似性为55.81%, 主要代表种为斑鲈和短吻红舌鲷; 群落2的组内相似性为70.01%, 主要

代表种为短吻红舌鲷和多鳞鲢;群落3的组内相似性为71.21%,主要代表种为短吻红舌鲷。群落1和群落2的相异性为54.83%,群落间的主要分歧种为短吻红舌鲷和多鳞鲢;群落1和群落3的相异性为61.28%,群落间的主要分歧种为斑鲽和短吻红舌鲷;群落2和群落3的相异性为64.41%,群落间的主要分歧种为多鳞鲢、短吻红舌鲷和斑鲽。

2018年(调水调沙年),鱼卵、仔稚鱼的群落结构在13.41%(聚类模式:完全连锁)相似性指数水平上分为4个类群(图10),相似性检验(ANOSIM)结果表明鱼卵、仔稚鱼群落结构之间差异极显著(Global $R=0.704$, $P=0.001 < 0.01$)。群落1分布在河口东北部沿海,包括C4、D1和D3三个站位;群落2主要分

布在河口东部沿海,包括A2、B2、B4、C3、D2、D4、E2—E4九个站位;群落3主要分布在河口的西部沿海,包括A3一个站位;群落4主要分布在河口西部沿海,包括A2、B1、B3、C1和C2五个站位。相似性百分比(SIMIPER)分析表明,群落1的组内相似性为57.68%,主要代表种为鲢、短吻红舌鲷和多鳞鲢;群落2的组内相似性为57.82%,主要代表种为短吻红舌鲷、多鳞鲢和斑鲽;群落3只有1个站位,无法比较组内相似性;群落4的组内相似性为52.47%,主要代表种为斑鲽和短吻红舌鲷。群落1和群落2的相异性为57.83%,群落间的主要分歧种为鲢和短吻红舌鲷;群落4和群落3的相异性为100%,群落间的主要分歧种为斑鲽和短吻红舌鲷;群落4和群

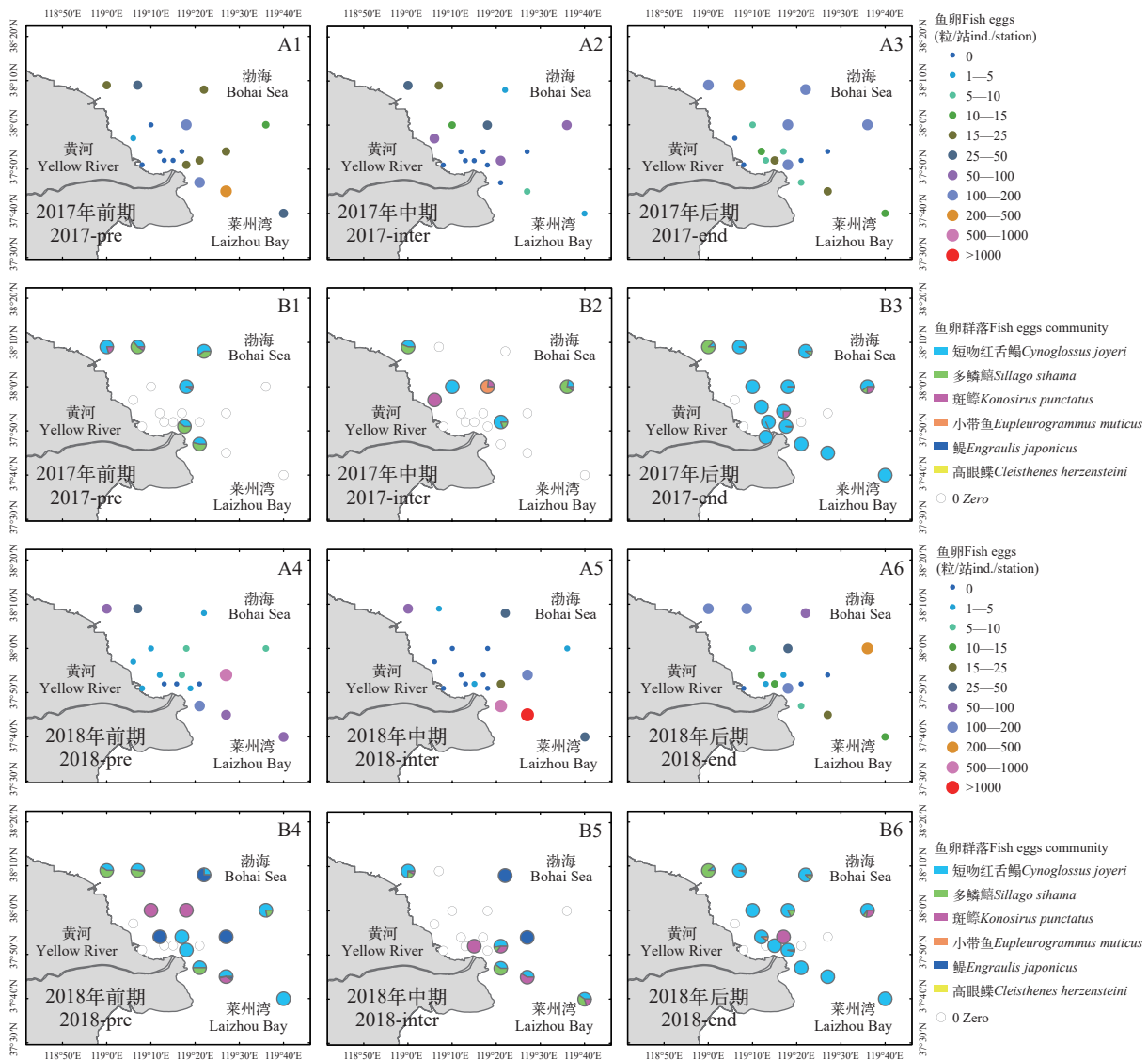


图6 黄河口海域鱼卵的空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of fish eggs

A1—A6. 鱼卵的数量分布; B1—B6. 鱼卵的群落结构

A1—A6. abundance of fish eggs; B1—B6. communities of fish eggs

落2的相异性为64.29%, 群落间的主要分歧种为短吻红舌鲷和多鳞鲢; 群落3和群落2的相异性为100%, 群落间的主要分歧种为短吻红舌鲷和多鳞鲢; 群落4和群落1的相异性为87.21%, 群落间的分歧种为鲢; 群落3和群落1的相异性为100%, 群落间的主要分歧种为鲢和短吻红舌鲷。

2.6 鱼卵、仔稚鱼群落结构与环境因子关系分析

2017年鱼卵、仔稚鱼的群落结构与浮游植物丰度、溶解氧浓度、表层水温和水深等相关性较大(表3)。优势种短吻红舌鲷偏好水深较深和低温的环境, 重要种多鳞鲢偏好水深较深和低浮游植物丰度的环境, 斑鲷则偏好高pH和低温的环境。RDA排序图显示, 第一和第二排序轴的特征值分别为0.4675和0.0606, 分别解释了87.35%和11.32%的物

种变化信息(表3)。

2018年鱼卵、仔稚鱼的群落结构与盐度、浮游植物丰度和叶绿素a浓度相关性较大(图11)。优势种短吻红舌鲷和重要种斑鲷、多鳞鲢均偏好高浮游植物丰度和低溶解氧浓度环境, 重要种鲢则偏好高pH和低浮游植物丰度的环境。RDA排序图显示, 第一和第二排序轴的特征值分别为0.4316和0.1089, 分别解释了75.67%和19.09%的物种变化信息(表3)。

3 讨论

3.1 鱼卵、仔稚鱼的丰度时空分布特征

河口独特的生境特征是河口鱼类资源量变动趋势的重要指示因子, 决定了栖息于河口生物的时

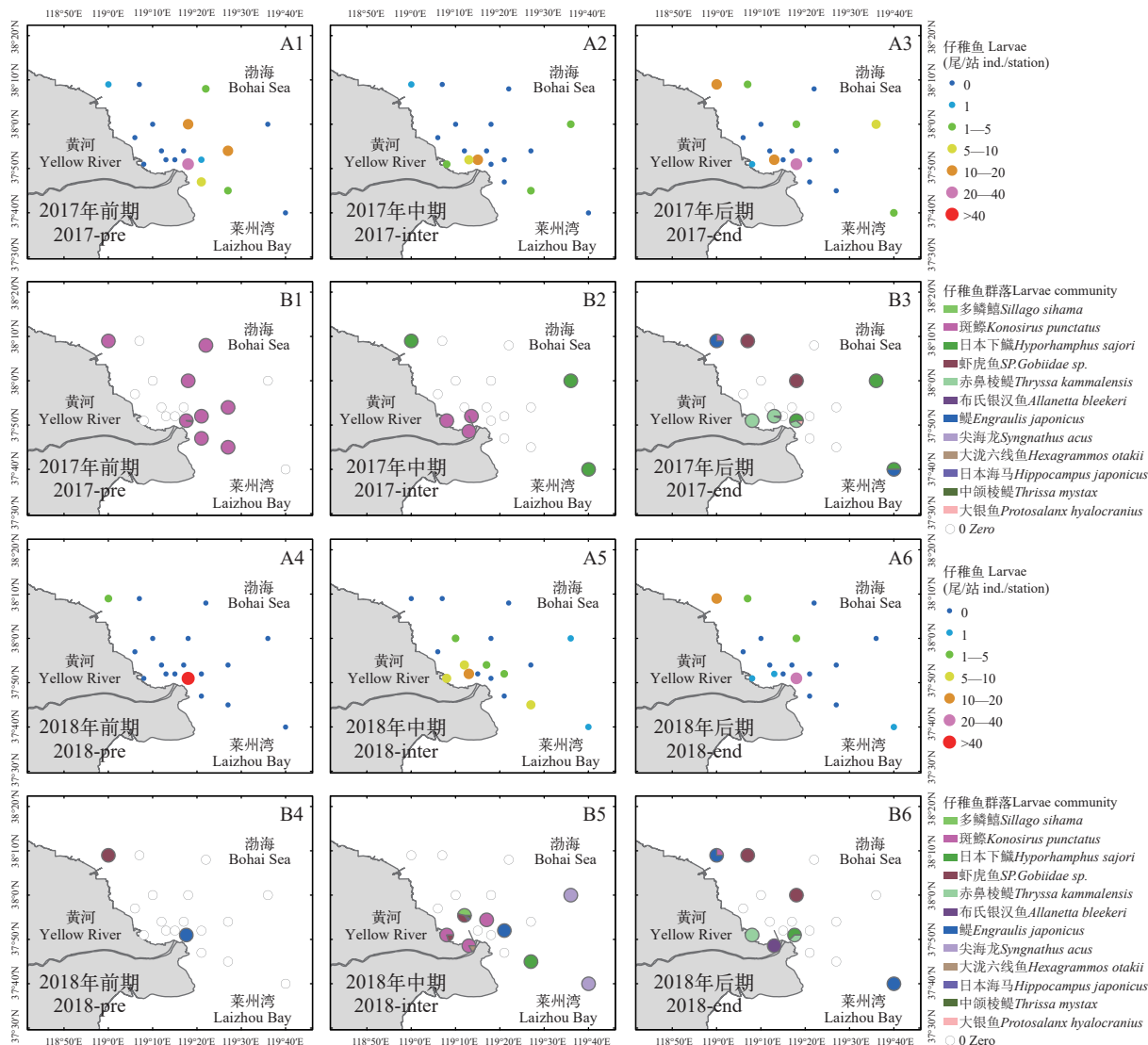


图7 黄河口海域仔稚鱼的空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of fish larvae

A1—A6. 仔稚鱼的数量分布; B1—B6. 仔稚鱼的群落结构

A1—A6. abundance of larvae; B1—B6. communities of larvae

空分布^[20, 21]。从鱼卵和仔稚鱼各调查时期的时空分布来看, 仔稚鱼由于已经具备游泳能力, 能够主动索饵, 并且对低盐度的水流具有强烈的趋流性, 所以其在各调查阶段的分布区域相对稳定^[10], 趋向

于在盐度较低, 浊度较高且饵料丰富的河口近岸海域分布。而鱼卵没有活动能力, 其分布受海流等外界因素的影响较为强烈^[11, 22]。调查前期入海径流平稳, 变化幅度较小, 此时鱼卵分布主要受黄河三

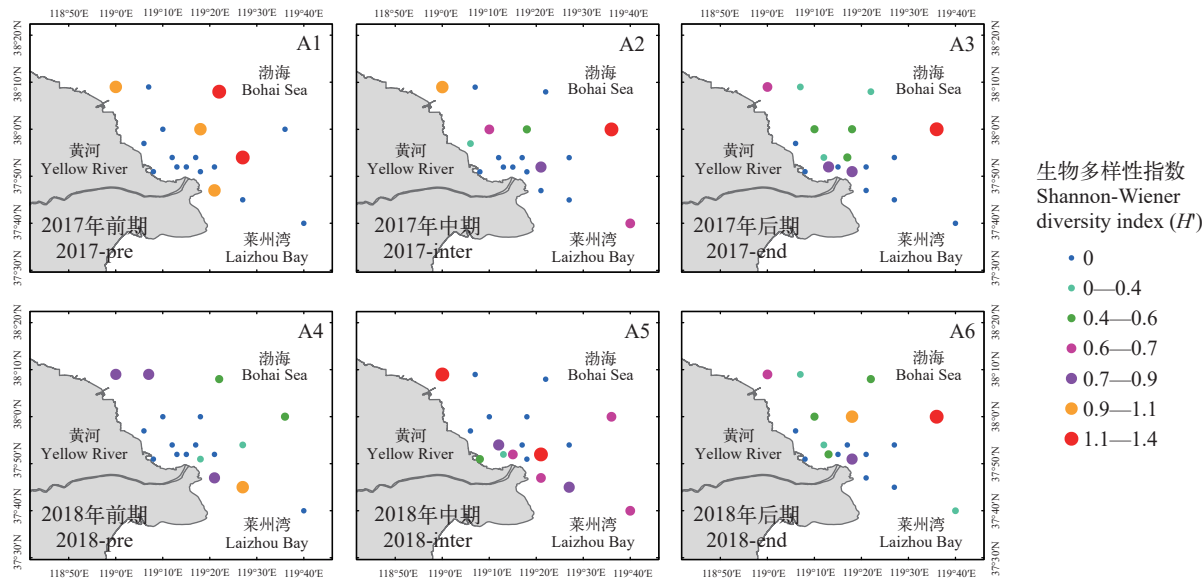


图8 黄河口海域鱼卵、仔稚鱼生物多样性的空间分布
Fig. 8 Spatial distribution of biodiversity in the Yellow River estuary

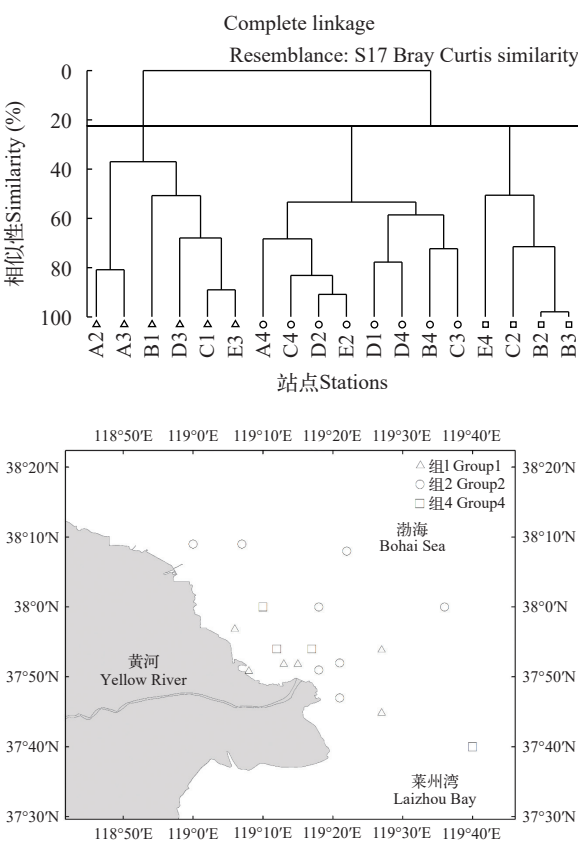


图9 2017年黄河口海域鱼卵、仔稚鱼群落结构
Fig. 9 Community structure of ichthyoplankton in the Yellow River estuary in 2017

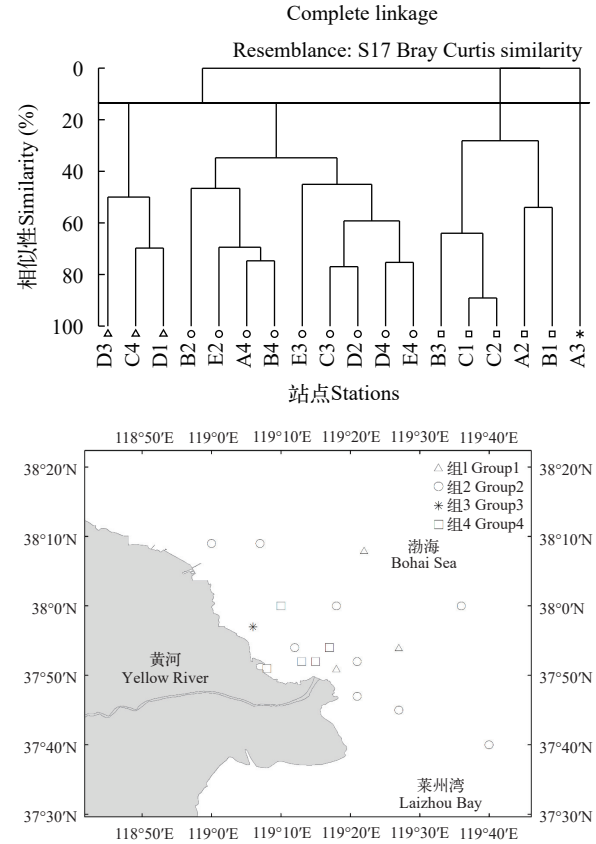


图10 2018年黄河口海域鱼卵、仔稚鱼群落结构
Fig. 10 Community structure of ichthyoplankton in the Yellow River estuary in 2018

角洲海域环流系统的影响^[10, 23—25], 2017年鱼卵主要集中在河口东南沿海靠近莱州湾一侧的E样带, 2018年集中分布在河口东北部沿海的D样带; 在进入调查中期以后, 在非调水调沙年份, 径流和输沙变化幅度较小, 水文要素整体比较平稳, 此时鱼卵主要集中在河口北部分布, 而2018年受调水调沙的影响, 日均径流量和输沙量大幅增加, 河口区域水文要素的层化现象明显^[26], 入海冲淡水形成的低

盐区与高盐区的盐度差高达27以上, 河口各区域间温度差值也达4℃以上。此时鱼卵受到环流系统和温、盐跃层的共同影响, 在河口东南沿海余流尾部密集分布; 在后期调查阶段, 2017年鱼卵仍主要集中在河口北部海域分布, 但是高值区移动到了河口西北部的B样带, 而2018年调水调沙结束之后, 黄河三角洲海域内的环流系统又重新对鱼卵的分布占据主导地位, 所以此时鱼卵分布的密集区整体来看又恢复至河口东北部的D样带。此外, 本研究通过对比各调查样带鱼卵和仔稚鱼的捕获数量发现, 河口东南部靠近莱州湾一侧E样带和河口东北部D样带的鱼卵捕获量超过捕获总量的70%, 可能是目前黄河口及邻近海域鱼类浮游生物群落的主要聚集区, 应注意加强对该水域生境和栖息地的保护^[27]。

3.2 鱼卵、仔稚鱼的群落结构及其影响因素分析

环境因素通过影响鱼类的生理和行为反应, 直接决定着物种的丰度和分布格局, 从而进一步影响整个群落的结构, 即环境条件在很大程度上决定了鱼类对于栖息地的选择^[2, 9, 28—30], 也塑造了不同的鱼类群落分布格局。有学者在黄河口海域的研究中发现, 入海淡水量越大, 鱼卵、仔稚鱼捕获密度越高, 渔业资源种类越丰富, 而在黄河入海淡水锐减的年份, 海洋中的产卵场萎缩、生物资源量下降, 这主要是因为丰富的径流注入能够为海洋生物提供适宜的产卵栖息环境, 带来更加充足的饵料和营养物质, 有利于海洋生物的产卵繁殖^[1, 10]。Islam等^[31]在对日本有明海湾的调查中也发现, 入海径流的扰动能够增加仔稚鱼遇到食物的概率, 所以丰富的径流更加有利于鱼类早期资源的生存。本研究调查结果显示, 2018年捕获鱼卵、仔稚鱼的数量接近2017年的2倍, 在分析同步环境和水沙通量数据后发现, 2018年6月和7月的月均径流量分别为2017年的5倍和8倍, 调查海域海水的平均表温比2017年高1.26℃, 平均表盐比2017年低6左右, 该结果与上述已经发表的结论一致。进一步表明调水调沙带来的丰富径流所营造的高温、低盐环境及提供的充足饵料有利于黄河口及邻近海域渔业资源及其早期群体的补充。本研究中在入海泥沙通量较大的2018年, 底层鱼类短吻红舌鲷鱼卵的捕获数量较高, 这种情况同样也出现在2009—2013年、2020年和2021年的调查中, 杨尧尧等^[32, 33]发现当黄河入海泥沙明显增加时, 底层鱼类数量及生物量资源更加丰富, 鱼卵数量增加, 这主要与调水调沙带来大量的泥沙入海有关, 这些泥沙入海后由于沉降作用迅速沉入海水底层, 为生活在底层的短吻红舌鲷带来了更加充足的养分和饵料^[32], 有利于其产卵繁殖。

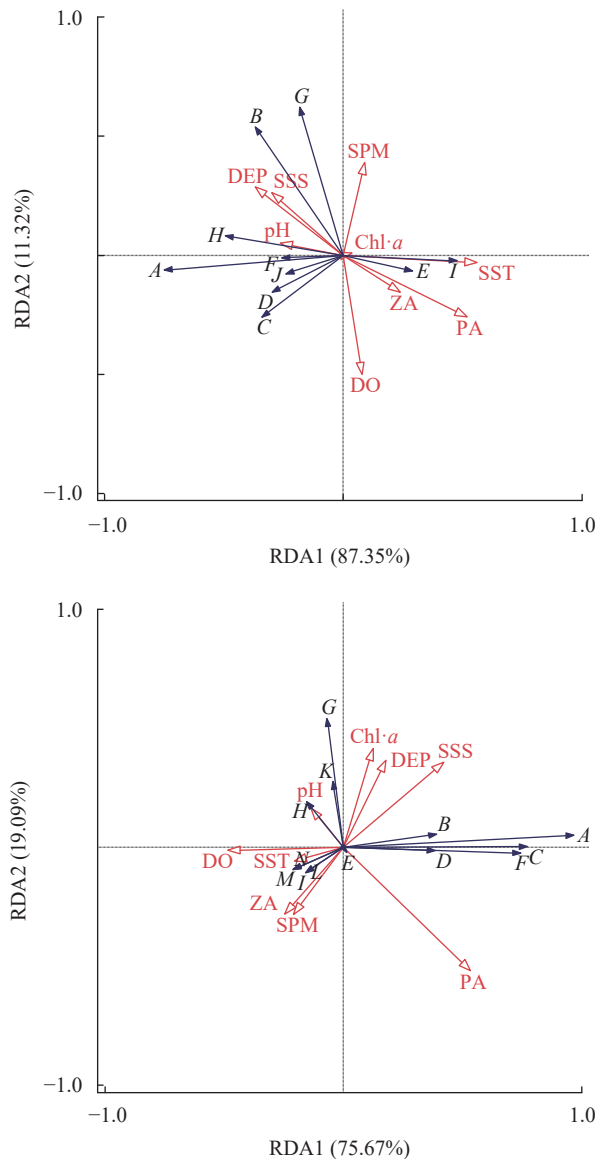


图 11 黄河口海域鱼卵、仔稚鱼与环境因子的关系

Fig. 11 The relationship between ichthyoplankton and environmental factors in the Yellow River estuary in 2017 and 2018

ZA. 浮游动物丰度; PA. 浮游植物丰度; SST. 海水表层温度; SSS. 海水表层盐度; Chl.a. 叶绿素a浓度; SPM. 悬浮物浓度; DO. 溶解氧浓度

ZA. zooplankton abundance; PA. phytoplankton abundance; SST. sea surface temperature; SSS. sea surface salinity; Chl.a. chlorophyll-a; SPM. suspended particle matter; DO. dissolved oxygen

表 3 鱼卵、仔稚鱼与环境因子的RDA分析结果

Tab. 3 RDA analysis results of ichthyoplankton and environmental factors

年份 Year	轴Axis	特征值 Eigenvalue	物种-环境相关性 Pseudo-canonical correlation	累积变量百分比 (%)		总特征值 Sum of all eigenvalues	所有典范特征值 Sum of all canonica eigenvalues
				物种数据 Explained variation (cumulative)	物种环境相关性 Explained fitted variation (cumulative)		
2017年	Axis1	0.4675	0.7793	46.75	87.35	1.000	0.5352
	Axis2	0.0606	0.5498	52.81	98.67		
	Axis3	0.0039	0.4456	53.20	99.40		
	Axis4	0.0025	0.7114	53.45	99.87		
2018年	Axis1	0.4316	0.9187	43.16	75.67	1.000	0.5705
	Axis2	0.1089	0.5508	54.05	94.76		
	Axis3	0.0231	0.4742	56.36	98.80		
	Axis4	0.0066	0.4987	57.03	99.96		

RDA分析结果显示,研究区域的鱼卵、仔稚鱼群落结构还与盐度、水温、水深及浮游生物密度等因素息息相关。盐度是决定河口鱼类丰度和时空分布的主导因素,河口沿岸的水动力过程与不同生活史阶段的协同适应特征共同制约着鱼类群落的时空格局^[34]。本研究中河口定居性鱼类短吻红舌鲷在2017年和2018年调查中均为贡献最突出的代表性物种,可能就与河口水域盐度偏低和短吻红舌鲷适宜低盐的生物学特性密切相关^[35]。水温的变化限制和影响鱼卵、仔稚鱼的生理变化和行为反应,对河口地区鱼类的生长、分布及多样性有重要影响,水温的变动会引起溶解氧、pH的变化,还会直接影响到鱼类早期发育过程中必不可少的饵料生物的盛衰,从而影响到仔鱼的资源补充量和存活率^[10, 36]。每种鱼都有自己特定的产卵温度阈值,如果温度过高或者过低,会导致它们的产卵时间提前或者延迟^[37]。水深往往不会直接对鱼卵、仔稚鱼的群落结构产生影响,而是通过水深变化带来的细微环境差异来影响鱼卵、仔稚鱼种类、数量和存活率等。本研究中不同水深断面分布鱼卵、仔稚鱼的数量有所差异,在平均水深3.6、9、13.4和16.2 m的 I—IV断面上分别分布着捕获总量9.3%、14.8%、44.2%和33.6%的鱼卵,可能主要与不同水层之间理化环境因子的差异有关^[38]。此外,受索饵行为的影响,仔稚鱼中的赤鼻棱鲷、中颌棱鲷(*Thri-ssa mystax*)、布氏银汉鱼(*Allanetta bleekeri*)等与浮游动物丰度的关系十分密切,从空间分布上看,仔稚鱼更愿意寻找有稳定且可靠的浮游生物食物供应的海域生活,仔稚鱼总是聚集在食物浓度较高的区域,因为大量的浮游动物为幼小的仔稚鱼提供了很好的饵料,有利于其生长。河口水域鱼类浮游生物的群落结构与其所处的环境条件密切相关,除上述因子外,一些本研究未涉及的因子,如底质类

型、离岸距离等水文地理因素及种间捕食和竞争等生物因素^[39-40]也与河口生态系统中鱼卵、仔稚鱼的群落分布有一定的联系,需要在今后的研究中做更细致的调查。

4 结论

(1)在调水调沙的影响下,2018年(调水调沙年)的径流量和输沙量远大于2017年(非调水调沙年),调查各阶段的环境参数也均出现较大幅度变化;(2)鱼卵受环流和调水调沙的共同影响,其空间分布在各调查阶段有所不同,仔稚鱼基于索饵以及躲避敌害等因素则始终趋向于在河口近岸海域分布;(3)河口东南部靠近莱州湾以及河口东北部海域是目前黄河口及邻近海域鱼类浮游生物群落的主要聚集区,今后应着重加强对该水域生境的保护;(4)调水调沙带来的丰富径流有利于黄河口及邻近海域渔业资源的补充,同时调水调沙输送的入海泥沙由于沉降作用沉入海水底层,可以为底层鱼类提供更加充足的养分和丰富的饵料,有利于其产卵繁殖;(5)盐度、水温、水深及浮游生物密度等因素均与鱼卵、仔稚鱼的群落结构息息相关,环境因子通过影响鱼类及其早期补充群体的生理和行为反应直接影响物种的丰度,也塑造了不同的群落分布格局。

虽然本文研究结果表明黄河调水调沙输送的丰富入海淡水和泥沙与其邻近海域的海洋生态环境及海洋生物资源构成了密切的响应关系,但是海洋生态与调水调沙的作用机制尚未能构建,还有待今后持续不断的监测。黄河口海域水文变化与海洋生物资源的研究也任重道远。

参考文献:

[1] Gu Y Z, Xu C L, Zhang Z H, et al. Response of fresh water from Yellow River to marine ecological regulation

- [J]. *Yellow River*, 2019, **41**(8): 68-75. [谷源泽, 徐丛亮, 张朝晖, 等. 黄河入海淡水对海洋生态调控响应研究 [J]. 人民黄河, 2019, **41**(8): 68-75.]
- [2] Wang J, Zhang C L, Xue Y, *et al.* Spatiotemporal pattern and dominant component of fish community in the Yellow River estuary and its adjacent waters [J]. *Haiyang Xuebao*, 2018, **40**(4): 86-95. [王娇, 张崇良, 薛莹, 等. 黄河口鱼类群落分类学多样性的研究 [J]. 海洋学报, 2018, **40**(4): 86-95.]
- [3] Wang J, Zhang C L, Xue Y, *et al.* Ecological studies on the dynamics of estuarine ecosystems and the sustainable development of biological resources [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2019, **49**(4): 41-51. [王娇, 张崇良, 薛莹, 等. 黄河口及其邻近水域鱼类生态类群组成及其季节变化 [J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, **49**(4): 41-51.]
- [4] Sun H Q, Jiang R J, Chen F, *et al.* Spatiotemporal distribution of eggs and larvae of *Coilia mystus* and its relationship with environmental factors along Oujiang Estuary [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2022, **46**(7): 963-973. [孙浩奇, 蒋日进, 陈峰, 等. 瓯江口凤鲚鱼卵、仔稚鱼的时空分布及其与环境因子关系 [J]. 水生生物学报, 2022, **46**(7): 963-973.]
- [5] Wan R J, Jiang Y W. 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. [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.]
- [6] Wan R J, Sun S. 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. [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.]
- [7] Sun S, Su B, Li F, *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. [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.]
- [8] Niu M X, Zuo T, Wang J, *et al.* Egg and larval distribution of *Liza haematocheila* and their relationship with environmental factors in the coastal waters of the Yellow River Estuary [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, **29**(3): 377-387. [牛明香, 左涛, 王俊, 等. 黄河口近岸海域鲢鱼卵、仔稚鱼分布及其与环境因子的关系 [J]. 中国水产科学, 2022, **29**(3): 377-387.]
- [9] Xu H, Wang B, Zhang C, *et al.* Species composition and community structure of ichthyoplankton in coastal waters of Huanghe Estuary [J]. *Marine Sciences*, 2021, **45**(11): 105-117. [徐华, 王斌, 张聪, 等. 黄河口近岸海域鱼卵、仔稚鱼种类组成及群落结构特征 [J]. 海洋科学, 2021, **45**(11): 105-117.]
- [10] Yang Y Y, Zhu M M, Feng Y Y, *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. [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.]
- [11] Qin X, Zhang C L, Xiao H H, *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. [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(自然科学版), 2017, **47**(7): 46-55.]
- [12] 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. [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.]
- [13] Zhang R Z. Fish Eggs and Larvae in China Offshore [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1985. [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.]
- [14] Muneo O. An Atlas of the Early Stage Fishes in Japan [M]. Tokyo: Tokai University Press, 1988. [冲山宗雄. 日本产稚鱼图鉴 [M]. 东京: 东海大学出版社, 1988.]
- [15] Wan R J, Zhang R Z. Fish Eggs, Larvae and Juveniles in the Offshore Waters of China and Their Adjacent Waters [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2016. [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.]
- [16] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB17378-2007, The Specification for Marine Monitoring [S]. Beijing: China Standard Press, 2007. [中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB17378-2007, 海洋监测规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [17] Ma K P, Liu Y M. Methods for measuring biodiversity of biological community I. α Methods for measuring α -diversity (II) [J]. *Chinese Biodiversity*, 1994, **2**(4): 229-239. [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): 229-239.]
- [18] Lepš J, Šmilauer P. Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [19] Fan Z W, Jiang R J, Li Z, *et al.* Community structure of ichthyoplankton and its relationship with environmental factors in Zhongjieshan Islands, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(13): 4392-4403. [樊紫薇, 蒋日进, 李哲, 等. 中街山列岛海域鱼卵、仔稚鱼群落结构特征

- 及其与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2020, **40**(13): 4392-4403.]
- [20] Zhang Z X, Mammola S, Xian W W, *et al.* Modelling the potential impacts of climate change on the distribution of ichthyoplankton in the Yangtze Estuary, China [J]. *Diversity and Distributions*, 2020, **26**(1): 126-137.
- [21] Wang J J, Liu Y, Xiao Y Y, *et al.* Population characteristics of fish eggs and larvae and their relationship with environmental factors in Daya Bay [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, **26**(1): 14-25. [王九江, 刘永, 肖雅元, 等. 大亚湾鱼卵、仔稚鱼种群特征与环境因子的相关关系[J]. 中国水产科学, 2019, **26**(1): 14-25.]
- [22] Liu Y, Yang X W, Ren P, *et al.* Community characteristics of larvae and juvenile fish in Hukou section of the Yangtze River in spring and summer [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(1): 142-154. [刘熠, 杨习文, 任鹏, 等. 长江湖口段春夏季仔稚鱼群落结构研究[J]. 水生生物学报, 2019, **43**(1): 142-154.]
- [23] Yu H Q, Yu H, Shin-ichi I, *et al.* Potential environmental drivers of Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) recruitment in the Yellow Sea [J]. *Journal of Marine Systems*, 2020(212): 103431.
- [24] Yang Q, Zhao F, Song C, *et al.* Habitat history reconstruction of *Coilia mystus* from the Yangtze River Estuary and its adjacent sea area [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, **26**(6): 1175-1184. [杨琴, 赵峰, 宋超, 等. 长江口及邻近海域凤鲚生境履历重建[J]. 中国水产科学, 2019, **26**(6): 1175-1184.]
- [25] Zhuang P, Zhang T, Li S F, *et al.* Fishes of the Yangtze Estuary, 2nd Edition [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2018: 124-127. [庄平, 张涛, 李圣法, 等. 长江口鱼类(第2版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018: 124-127.]
- [26] Qiao S W, Li F, Qin H W, *et al.* Influence of the position of the Yellow River Estuary and the change of runoff into the sea on the salinity distribution in Laizhou Bay [J]. *Marine Sciences*, 2022, **46**(9): 12-24. [乔守文, 李凡, 秦华伟, 等. 黄河口门位置及入海径流变化对莱州湾盐度分布的影响[J]. 海洋科学, 2022, **46**(9): 12-24.]
- [27] Yang Y Y, Gao Y J, Wang J P, *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. [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.]
- [28] Yang Y Y, Zhu M M, Xu B Q, *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. [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.]
- [29] Fang D D, Yang H L, Zhang H, *et al.* Fish community structure and diversity in the middle reaches of the Yangtze River [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, **47**(2): 154-170. [方冬冬, 杨海乐, 张辉, 等. 长江中游鱼类群落结构及多样性[J]. 水产学报, 2023, **47**(2): 154-170.]
- [30] Wu Z, Zhang C L, Xue Y, *et al.* Spatial heterogeneity of demersal fish in the offshore waters of Shandong [J]. *Haiyang Xuebao*, 2022, **44**(2): 21-28. [吴桢, 张崇良, 薛莹, 等. 山东近海底层鱼类资源空间异质性[J]. 海洋学报, 2022, **44**(2): 21-28.]
- [31] Islam M 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.
- [32] Yang Y Y, Li X Q, Jin X S, *et al.* Effects of annual sediment flux from the Yellow River on the fishery resources structures in the Laizhou Bay [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, **39**(5): 703-711. [杨尧尧, 李秀启, 金显仕, 等. 黄河入海泥沙年际通量对莱州湾渔业资源结构的影响[J]. 水产学报, 2015, **39**(5): 703-711.]
- [33] Yang Y, Li F, Zhu M, *et al.* Community structure characteristics of ichthyoplankton during the water-sediment regulation scheme in the Yellow River in 2020 and 2021 [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2023(191): 114972.
- [34] Yang Y Y, Li Z Y, Wu Q, *et al.* Interannual variations in community structure and species diversity of fishery resources in the Laizhou Bay [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2016, **37**(1): 22-29. [杨尧尧, 李忠义, 吴强, 等. 莱州湾渔业资源群落结构和多样性的年际变化[J]. 渔业科学进展, 2016, **37**(1): 22-29.]
- [35] Sun X, Zhang Y L, Xu B D, *et al.* Habitat suitability of *Cynoglossus joyneri* spawning grounds in Haizhou Bay and adjacent waters [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, **27**(12): 1505-1514. [孙霄, 张云雷, 徐宾铎, 等. 海州湾及邻近海域短吻红舌鲷产卵场的生境适宜性[J]. 中国水产科学, 2020, **27**(12): 1505-1514.]
- [36] Li M, Ji Y P, Xu B D, *et al.* Spatio-temporal distribution of small-sized fish species in Clupeidae and Engraulidae and its relationships with environmental factors in Huanghe River Estuary and its adjacent waters [J]. *Haiyang Xuebao*, 2016, **38**(10): 52-61. [李敏, 纪毓鹏, 徐宾铎, 等. 黄河口及邻近水域小型鲱鲷鱼类数量分布及其与环境因子的关系[J]. 海洋学报, 2016, **38**(10): 52-61.]
- [37] Zou J Y, Liu S D, Zhang C L, *et al.* Seasonal and spatial changes of functional diversity of fish communities in the waters adjacent to Changshan Archipelago [J]. *Haiyang Xuebao*, 2023, **45**(1): 13-24. [邹建宇, 刘淑德, 张崇良, 等. 长山列岛邻近海域鱼类群落功能多样性的季节和空间变化[J]. 海洋学报, 2023, **45**(1): 13-24.]
- [38] Yang Y Y, Li H J. Community structure of ichthyoplankton in the sections of the central and North Yellow Sea [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2022, **46**(9): 1382-1392.

- [杨艳艳, 李焕军. 黄海中北部不同断面鱼卵、仔稚鱼群落结构特征 [J]. *水生生物学报*, 2022, **46**(9): 1382-1392.]
- [39] Song X K, Cheng L, Fu P, *et al.* Changes of net-collected phytoplankton community in Jincheng area of Laizhou Bay and its relationship with environmental factors [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, **39**(8): 2784-2793. [宋秀凯, 程玲, 付萍, 等. 莱州湾金城海域网采浮游植物年际变化及与环境因子的关系 [J]. *生态学报*, 2019, **39**(8): 2784-2793.]
- [40] Xiang J, Wu Q F, Xie M, *et al.* Temporal and spatial distribution characteristics of early resources of *Siniperca chuatsi* in Changsha section of the lower reaches of Xiangjiang River and its relationship with environmental factors [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2023, **30**(1): 106-114. [向劲, 吴启藩, 谢敏, 等. 湘江下游长沙段鳊早期资源的时空分布特征及与环境因子关系 [J]. *中国水产科学*, 2023, **30**(1): 106-114.]

THE WATER-SEDIMENT REGULATION SCHEME ON THE COMMUNITY STRUCTURE OF ICHTHYOPLANKTON IN THE YELLOW RIVER ESTUARY

YANG Yan-Yan¹, ZHU Ming-Ming¹, SONG Quan-Qing², WANG Xiu-Xia¹, LI Fan¹,
ZHANG Xiao-Min¹, PANG Zhi-Wei³ and SU Bo¹

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006, China; 2. Haiyang Ocean and Fishery Integrated Service Center, Haiyang 265100, China; 3. Rizhao Lanshan District Marine and Fishery Supervision and Supervision Brigade, Rizhao 276808, China)

Abstract: The rapid transfer of large amounts of water and sand to the Yellow River basin during the implementation of the Water-Sediment Regulation Scheme (WSRS) can significantly alter the physicochemical environment of the ecosystem in the Yellow River estuary and its surrounding sea areas. In order to understand the effects of WSRS on the community structure and spatial and temporal distribution patterns in the Yellow River estuary, a survey of ichthyoplankton was conducted in June and July of 2017 (a non-WSRS year) and 2018 (a WSRS year) using horizontal trawl methods. The results showed that a total of 6212 eggs and 431 larvae belonging to 14 genera and 12 families in 8 orders were collected during the six surveys. *Cynoglossus joyeri* was the main species controlling the succession pattern of ichthyoplankton community during the summer in the Yellow River estuary. WSRS exerted its influence on the ichthyoplankton community structure by changing the runoff, salinity and water temperature in the estuary. The dominant species, quantity, and diversity index of ichthyoplankton displayed fluctuations during the process of WSRS. The spatial distribution of fish eggs varied among investigation stages due to the combined effects of circulation and WSRS, with larvae tending to be distributed in nearshore waters of the estuary. The northeastern and southeastern part of the estuary, near Laizhou Bay, were the main aggregation areas of the ichthyoplankton community in the Yellow River estuary. In 2018, there was a significant increase in the number of ichthyoplankton and demersal fish eggs compared to 2017, as the abundant runoff and sediment brought by the water and sand transfer were favorable to replenish the fishery resources in the waters of the Yellow River estuary. The community structure of ichthyoplankton in the study area is closely related to salinity, water temperature, water depth, and plankton abundance. The environmental conditions played a crucial role in determining the habitat preferences of fish. The abundant freshwater and sediment transported by the Yellow River water and sand transfer constituted a close response relationship with the marine ecological environment and marine biological resources in its neighboring waters. With the accumulation of practical experience in water and sand transfer, it is suggested that we should further strengthen the attention to the optimization of water transfer and sand transfer in terms of its target, time and frequency in our future work.

Key words: Fish eggs; Fish larvae; Water-sediment regulation scheme; Yellow River estuary