

DOI: 10.12264/JFSC2025-0121

辽东湾北部海域鱼类早期资源群落结构及其与环境因子关系

李雪宁^{1,2}, 卞晓东^{2,3*}, 李珣², 孙明⁴, 单秀娟^{2,3}, 李钊²

1. 上海海洋大学海洋生物资源与管理学院, 上海 201306;
2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 海水养殖生物育种与可持续产出全国重点实验室, 农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室, 山东 青岛 266071;
3. 山东长岛近海渔业资源国家野外科学观测研究站, 山东 烟台 265800;
4. 山东海洋现代渔业有限公司, 山东 烟台 264003

摘要: 为了解辽东湾北部海域鱼类产卵现状和适宜产卵生境, 基于 14 个航次的鱼卵、仔稚鱼调查数据, 采用聚类分析、非度量多维标度排序(NMDS)、相似性百分比分析等方法解析鱼卵、仔稚鱼群落结构; 采用典范对应分析及曼特尔检验等方法分析鱼卵、仔稚鱼时空分布特征及其与海表底温、海表底盐、水深、辽河月径流量和浮游生物湿重等环境因子的关系。结果显示, 调查期间辽东湾北部海域共记录鱼类早期资源 51 种; 鱼卵与仔稚鱼群落结构在年内呈现显著月间更替, 各月种类更替率均不低于 50%, 月间平均相异性均超过 71.2%; NMDS 和基于月份的聚类分析结果表明鱼卵可划分为 3 个群组, 仔稚鱼可划分为 4 个群组。辽东湾北部海域主要产卵期为 5 月下旬至 7 月下旬及 12 月, 鱼类早期资源优势种不突出, 主要产卵种类为方氏云鳚(*Pholis fangi*)、玉筋鱼(*Ammodytes personatus*)、鲛(*Planilaza haematocheilus*)、斑鲹(*Konosirus punctatus*)、鳀(*Engraulis japonicus*)、蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)、赤鼻棱鳀(*Thryssa kammalensis*)、黄鲫(*Setipinna tenuifilis*)、叫姑鱼(*Johnius grypotus*)和短吻红舌鳎(*Cynoglossus joyneri*)。主要产卵场位于锦州湾至白砂湾以北的小凌河、大凌河、辽河和大辽河的河流入海口附近海域以及连山湾-太平湾以北海域。海表温、辽河月径流量和水深是影响鱼类早期资源群落结构时空变化的主要环境因子。海表温对于调查海域鱼类早期资源的时空分布具有重要影响, 并主导产卵鱼种适温属性由暖温性至暖温性-暖水性向冷温性更替。黄鲫、叫姑鱼卵和斑鲹、赤鼻棱鳀、鲛仔稚鱼空间分布与海表温呈正相关; 鳀、蓝点马鲛鱼卵和方氏云鳚、玉筋鱼仔稚鱼空间分布与海表温呈负相关。辽河月径流量主导海域盐度梯度和营养盐的丰富程度, 进而间接影响鱼卵仔稚鱼时空分布。短吻红舌鳎、叫姑鱼卵和斑鲹、方氏云鳚、赤鼻棱鳀仔稚鱼与辽河月径流量呈正相关, 蓝点马鲛卵和玉筋鱼仔稚鱼与辽河月径流量呈负相关。水深与水体理化特征和生物群落结构密切相关, 显著影响鱼类产卵场选择。叫姑鱼、短吻红舌鳎卵和鲛仔稚鱼与水深呈正相关, 黄鲫鱼卵和斑鲹、赤鼻棱鳀仔稚鱼分布与水深呈负相关。本研究将为辽东湾鱼类早期资源评价与保护研究积累基础数据资料。

关键词: 辽东湾; 鱼类早期资源; 种类组成; 群落结构; 环境因子; 适宜产卵生境

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2025)07-0924-25

辽东湾是渤海的三大海湾之一, 地处渤海最北缘^[1], 位于辽宁省辽东半岛旅顺老铁山角至山海关老龙头以北的海域, 具有三面环陆、一面临海的封闭式地理特征^[2]。辽东湾海陆热力差异大,

太阳辐射年变化幅度较大^[3], 夏季海水温度显著升高, 达到全年最高值; 而冬季则降至全年最低^[4]; 该海域气候特征为典型的温带湿润至半湿润季风气候, 雨热同期^[5]。辽河、滦河等汇入该海域, 水

收稿日期: 2025-05-07; 修订日期: 2025-05-21.

基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2022MD086); 农业农村部财政专项“黄渤海产卵场调查”(125C0505); 山东省泰山产业领军人才蓝色人才专项(tsls20231201); 黄渤海渔业资源与生态创新团队项目(2020TD01).

作者简介: 李雪宁(1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向为海洋鱼类早期生活史及其生态学. E-mail: lixuening1220@163.com

通信作者: 卞晓东, 副研究员, 主要从事海洋鱼类早期生活史及其生态学研究. E-mail: bianxd@ysfri.ac.cn

流量大、水量丰富^[6]。优越的海洋环境为海洋生物提供了良好的生长繁殖条件,使之成为渤海重要的产卵场及著名渔场^[7]。鱼卵和仔稚鱼阶段是鱼类生命周期中对环境变化最为敏感和脆弱的时期,该阶段数量变化直接影响鱼类资源的补充,进而驱动鱼类种群变动^[8]。对鱼卵仔稚鱼群落结构的研究可以揭示其与特定时空范围内生物之间以及环境的相互作用。环境因子在很大程度上决定了鱼卵和仔稚鱼的群落结构特征,其中海水温度和盐度是影响鱼卵和初孵仔鱼发育和存活的关键因素^[9]。温度是决定产卵场地理分布的核心因子^[10-11],而盐度在一定程度上调节温度对产卵活动的影响^[12]。此外,由于鱼卵和仔稚鱼的自主游泳能力较弱,其分布也受到海流的显著影响^[13]。近年来,受过度捕捞^[14]和环境污染^[15]等因素影响,辽东湾渔业资源持续衰退^[16]。开展鱼类早期资源群落结构特征及其产卵场生态机制研究,不仅能科学评估渔业资源动态,还能揭示产卵场空间分布格局及其环境驱动因素,为完善种群栖息地保护策略提供生态学理论支撑^[17-18]。

辽东湾海域鱼卵、仔稚鱼群落结构特征及其产卵场生态机制的研究具有较长的历史。早自20世纪50年代起,中国水产科学研究院黄海水产研究所(简称“黄海所”,原水产部海洋水产研究所)及辽宁省海洋水产科学研究院(原大连水产试验场)便在该海域开展了小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)鱼卵、仔稚鱼的生态调查工作^[19-21]。1982—2019年间,黄海所在渤海海域组织实施了多航次鱼类早期资源调查^[22-26]。辽宁省海洋水产科学研究院自2000年以来亦在辽东湾水域开展了若干次鱼卵、仔稚鱼专项调查^[7,27]。鱼类早期资源调查结果的可靠性高度依赖于航次设计,尤其是调查时间、采样频次及站位布设的合理性。囿于调查站位布设^[22-23]或调查时间未能涵盖主要产卵期^[7,24],辽东湾数据及资料亟待完善,为此,本研究基于2015、2016和2021年共14个航次的鱼卵、仔稚鱼调查数据,开展辽东湾鱼类早期资源群落结构特征及其与环境因子的关系研究,旨在为辽东湾渔业资源保育和可持续利用研究积累基础生态学资料。

1 材料与方法

1.1 海上调查与实验数据获取

选取黄海所自2015年来在辽东湾北部海域开展的14个航次的鱼卵、仔稚鱼调查数据,各航次调查时间见表1,站位设置如图1。各航次调查内容包括鱼卵、仔稚鱼、海表底温(SST和SBT)、海表底盐(SSS和SBS)以及水深(Depth)等。海上调查严格遵循《海洋调查规范 第6部分:海洋生物调查》(GB/T 12763.6—2007)。各航次的鱼卵和仔稚鱼采样方法保持一致,即在每个调查站位,利用大型浮游生物网(网口内径0.80 m,网长2.70 m,网目孔径0.505 mm)于海水表层进行水平拖网采样1次,拖网速度为2 n mile/h,每次持续10 min。表层(水面下0.50 m以内)和底层(水底上0.50 m以内)海水的温度(SST和SBT)和盐度(SSS和SBS)数据通过美国Seabird 19plus或德国Sea & Sun Technology CTD 60M温盐深仪获取。各采样点的水深数据由船载声呐设备进行测量。

本研究虽尽可能在不同季节安排航次采样,但全年覆盖仍存在一定局限性。例如,受辽东湾初春及秋冬季节多风浪、低温等气象条件以及海冰的影响,1—3月未开展调查取样,需在后续工作中加强极端天气季节的调查手段和数据补充。

鱼卵和仔稚鱼样品采集后,使用5%海水甲醛溶液固定。实验室内在体视显微镜下根据鱼卵仔稚鱼形态学特征进行种类鉴定,样品全样本分析,随后多次复核以确保准确性。物种鉴定方法参照张仁斋等^[29]、冲山宗雄^[30]及万瑞景等^[31]相关研究,将样本逐一确认至具体物种,并按照种类及其发育阶段分别记录物种数量。分析过程中严格遵循《海洋调查规范 第6部分:海洋生物调查》(GB/T 12763.6—2007),所有物种学名均依据World Register of Marine Species (WoRMS, <https://www.marinespecies.org>)进行统一命名。浮游生物湿重(WW)获取方法为将采集到的样品用网目尺寸0.505 mm筛绢制成的滤网滤去多余水分,并在吸水纸上轻轻拭去表面水分,使用精度0.001 g电子天平称量样品的总湿重(g)。辽河月径流量(RD)数据引自《中国河流泥沙公报》(2015—2022)六间房水文站的观测记录。

表 1 2015 至 2021 年辽东湾鱼类早期资源调查采样信息及前期历史调查信息表
Tab. 1 Sampling information of recent (2015 to 2021) and historical surveys on early life stages of fish in Liaodong Bay

调查机构 survey institution	年份 year	起止日期/月份 start and end date/month	站位数 station number	调查网具 survey net	采样方法 sampling method	数据参考文献 data reference
黄海水产研究所 Yellow Sea Fisheries Research Institute	2015	5.19–5.30	28	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	本研究 this study
	2015	6.13–6.25	29	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	本研究 this study
	2015	8.05–8.17	29	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	本研究 this study
	2016	5.16–5.26	28	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	本研究 this study
	2016	6.18–6.28	29	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	本研究 this study
	2016	7.18–7.24	27	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	本研究 this study
	2016	8.02–8.12	25	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	本研究 this study
	2021	4.11–4.17	23	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	本研究 this study
	2021	6.06–6.14	19	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	本研究 this study
	2021	8.22–8.25	20	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	本研究 this study
	2021	9.18–9.22	25	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	本研究 this study
	2021	10.13–10.19	25	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	本研究 this study
	2021	11.18–11.24	25	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	本研究 this study
	2021	12.09–12.10	25	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	本研究 this study
黄海水产研究所 Yellow Sea Fisheries Research Institute	2013–2014、2014–2015	2、5、6、8、10 月 February, May, June, August, October	16/13(冬季) 16/13(winter)	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	卞晓东等 ^[28]
	2009–2010	5、8、10 月 May, August, October	16	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	金显仕 ^[25]
	1998	5.25–6.04、8.05–8.13、10.08–10.16	15	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	程济生等 ^[24]
	1992–1993	2.15–2.21、5.25–6.07、8.08–8.18、10.07–10.21	18/6(冬季) 18/6(winter)	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	万瑞景等 ^[23]
	1982.04–1983.04	周年逐月 month-by-month throughout the year	12/4(冬季) 12/4(winter)	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	姜言伟等 ^[22]
辽宁省海洋水产科学研究院 Liaoning Provincial Marine Fisheries Research Institute	2014–2016	3、5、6–8、10 月 March, May, June–August, October	28	大型浮游生物网 macroplankton net	水平拖网 horizontal trawl	董靖等 ^[27]
	2008	5.25–5.29、7.25–7.30、9.24–9.30、10.25–10.30	46	浅水 I 型浮游生物网 shallow-water type I plankton net	水平 / 垂直拖网 horizontal/vertical trawl	于旭光等 ^[7]

注：浅水 I 型浮游生物网具参数(网长 145 cm, 口径 50 cm, 孔径 0.505 mm, 网口面积为 0.2 m²)。
Note: shallow-water type I plankton net (145 cm length, 50 cm mouth diameter, 0.505 mm mesh size, 0.2 m² mouth opening area).

1.2 鱼卵、仔稚鱼资源密度和主要产卵期

鱼卵、仔稚鱼资源密度为个体数资源密度(ecological density of number in early life history, EDN-ELH)。在数据整理过程中, 由于水平拖网速度难以严格控制, 为便于同质比较和数据质量控制, 样品定量分析时以每站每网实际捕获鱼卵、仔稚鱼数量(ind./haul)作为资源密度指标进行比较^[26]。

根据调查期间在辽东湾北部海域出现鱼类早期资源种类数或鱼类早期资源(鱼卵、仔稚鱼)平均资源密度来确定主要产卵期。将调查期间出现鱼类早期资源种类数高于 13 种, 或鱼卵平均资源密度高于 100 ind./haul 或仔稚鱼平均资源密度高于 50 ind./haul 的月份, 确定为主要产卵期。

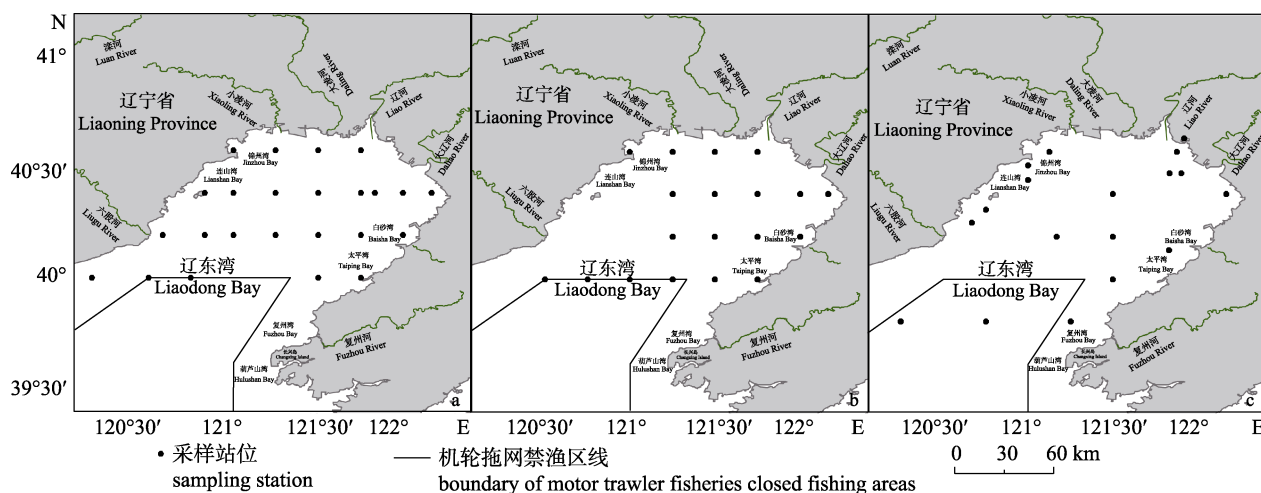


图 1 辽东湾北部海域鱼卵、仔稚鱼采样区域与调查站位

a. 2015 及 2016 年 5、6、8 月和 2021 年 4、9、10、11、12 月; b. 2021 年 6、8 月; c. 2016 年 7 月。

Fig. 1 Sampling areas and survey stations for fish eggs and larvae in the northern waters of Liaodong Bay
a. May, June, and August in 2015 and 2016, and April, September, October, November, and December in 2021;
b. June and August in 2021; c. July in 2016.

1.3 鱼卵、仔稚鱼群落结构特征分析

1.3.1 鱼卵、仔稚鱼种类优势度 采用 Pinkas 相对重要性指数(index of relative importance, IRI)^[32]并根据 IRI 值的大小判断各月份鱼卵、仔稚鱼的优势种($IRI \geq 1000$)、重要种($1000 > IRI \geq 100$)、常见种($100 > IRI \geq 10$)、一般种($10 > IRI \geq 1$)和少见种($IRI < 1$)^[24]。其计算公式如下:

$$IRI = (N\% + W\%) \times F\% \quad (1)$$

$$IRI = N\% \times F\% \times 10^4 \quad (2)$$

在公式 1 中, $N\%$ 表示某种鱼卵或仔稚鱼数量占当月调查鱼卵或仔稚鱼总数量的百分比; $F\%$ 为某种鱼卵或仔稚鱼的站位出现频率; $W\%$ 代表该物种在调查航次中生物量百分比。预研数据表明, 受早期阶段生物量个体差异微小(鱼卵平均干重 0.001 g/粒, 仔稚鱼 0.005 g/尾), 简化 IRI 计算(仅保留 $N\%$ 与 $F\%$)与完整公式排序一致性高, 对优势种判断影响较小, 对应的简化公式见公式 2^[24]。

1.3.2 月际种类更替 利用种类更替率(E)来表征群落结构月际间的物种更替, 公式为^[33]:

$$E = \frac{A}{A + B} \quad (3)$$

在公式 3 中, A 表示两个月间物种增加数与减少数之和, B 则为两个月间相同物种的总数。

1.3.3 多变量统计分析 构建 Bray-Curtis 相似度

矩阵后, 对鱼卵、仔稚鱼数据按照月份尺度进行聚类分析(cluster analysis)及非度量多维标度分析(non-metric multi-dimensional scaling analysis, NMDS)以对群落结构进行研究, 当胁迫系数(stress)小于 0.05 时, 表明分析结果具有较好的代表性^[34-35]。为了验证 NMDS 结果的可靠性, 采用相似性分析(analysis of similarities, ANOSIM), 并以 Global R 值和 P 值作为衡量指标。为进一步识别不同鱼卵与仔稚鱼群落组别的主要特征种, 对各月份群落进行相似性百分比分析(similarity percentage analysis, SIMPER)。相似性贡献率累积达到 90% 的物种, 视为该组的主要特征种。

此外, 为降低优势种和稀有种对相似性计算结果的影响, 所有鱼卵与仔稚鱼的资源密度数据均采用 $\log(x+1)$ 转换进行标准化处理。

1.4 限制性排序分析和 Mantel 检验

冗余分析(redundancy analysis, RDA)和典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)是识别多物种变量与多环境因子变量间相关性的有效方法。在选择排序方法前, 对物种变量矩阵通过去趋势对应分析(detrended correspondence analysis, DCA)结果中第 1 排序轴的梯度长度(length of gradient, LGA)判断采用 RDA 或 CCA, 若 $LGA > 4.0$, 应采用 CCA 分析; 若 LGA 处于 $[3.0, 4.0]$ 区间

内, CCA 和 RDA 均可使用; 若 $LGA < 3.0$, 应采用 RDA 分析^[36]。由于 LGA 计算值为 4.2, 采用典范对应分析(CCA)进行分析。在生态学研究, Mantel 检验常用来分析群落距离矩阵(基于 Bray-Curtis 距离)和环境变量距离矩阵之间的相关性; 其统计显著性通常以 P 值小于 0.05 为标准, 其中 Mantel 相关系数 $r > 0$ 表示正相关, $r < 0$ 则表示负相关^[37]。

在数据准备阶段, 分别以全部调查月份和主要产卵期内出现频率 $\geq 5\%$ 的鱼卵和仔稚鱼资源密度构建物种数据矩阵。为消除数量级差异的影响, 对所有鱼卵与仔稚鱼的资源密度数据均进行 $\log(x+1)$ 转换处理^[38]。

初选环境变量包括 SST、SBT、SSS、SBS、Depth、RD 及 WW。为剔除多重共线性影响, 使用方差膨胀因子(VIF, 阈值设为 4)^[39]和皮尔逊相关系数(r)进行变量筛选。同时, 为满足正态分布假设要求, 对所有环境变量亦进行 $\log(x+1)$ 转换处理^[40-41]。共线性诊断结果显示, SBS 与 SSS(VIF=6.32, $r \approx 1.0$)以及 SST 与 SBT(VIF=4.61, $r \approx 1.0$)之间存在严重共线性。鉴于鱼卵和仔稚鱼主要分布于海水表层, 表层环境因子对其影响更显著, 故最终选取 SST、SSS、Depth、RD 和 WW 作为解释变量用于后续 Mantel 检验和 CCA 分析。

1.5 数据分析和可视化处理

分别对 SST、SBT、SSS 和 SBS 进行普通克里金空间插值, 采用 ArcGis 10.7 软件绘制调查站位、鱼卵、仔稚鱼月际 EDN-ELH、SST、SBT、SSS 和 SBS 空间分布图。

CLUSTER、NMDS 及 SIMPER 数据分析和结果验证均使用多元统计软件 PRIMER 5.0 完成。

使用 R 语言中的 linkET 程序包进行 Mantel 检验, 分析鱼卵和仔稚鱼与环境因子之间的相关性。

采用 Canoco 5.0 软件中 CCA 分析开展不同环境因子对鱼卵和仔稚鱼分布的影响程度研究。

2 结果与分析

2.1 鱼卵、仔稚鱼种类组成、优势或重要种类

调查期间, 辽东湾北部海域共采集鱼卵 41907 粒, 仔稚鱼 9812 尾。经分析鉴定, 共识别出鱼类早期资源 51 种, 隶属于 9 目 31 科。其中,

鱼卵 23 种, 隶 5 目 16 科, 包括鲱形目 6 种、鲱形目 2 种、鲈形目 10 种、鲈形目 1 种、鲱形目 4 种; 仔稚鱼 45 种, 隶 9 目 27 科, 包括鲱形目 7 种、鲈形目 27 种、鲈形目 3 种、海龙目和鲱形目各 2 种, 银汉鱼目、颌针鱼目、鲱形目和鲱形目各 1 种(表 2)。4 月份未采集到鱼卵, 仅发现 3 种仔稚鱼, 优势种为方氏云鳚(*Pholis fangi*) (表 3)。5 月份采集到 9 种鱼卵和 17 种仔稚鱼, 鱼卵未出现优势种, 重要种包括黄鲫(*Setipinna tenuifilis*)、蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*) 和 鲷 (*Platycephalus indicus*); 仔稚鱼重要种为大银鱼(*Protosalanx hyalocranius*)和 鲛(*Planilaza haematocheilus*) (表 3)。6 月份共采集到 17 种鱼卵和 25 种仔稚鱼, 为全年种类最多的月份。鱼卵无优势种, 重要种为 鳀(*Engraulis japonicus*)、短吻红舌鳀(*Cynoglossus joyneri*)、白姑鱼(*Pennahia argentata*)、叫姑鱼(*Johnius grypotus*)、黄鲫和赤鼻棱鳀(*Thryssa kammalensis*); 仔稚鱼无优势种, 鲛为重要种(表 3)。7 月份采集到 13 种鱼卵和 18 种仔稚鱼, 鱼卵优势种为短吻红舌鳀; 仔稚鱼优势种为赤鼻棱鳀(表 3)。8 月份共采集到 9 种鱼卵和 13 种仔稚鱼, 鱼卵优势种为短吻红舌鳀; 仔稚鱼无优势种, 重要种包括斑鰾(*Konosirus punctatus*)和 鲛(表 3)。9 月份采集到 2 种鱼卵和 2 种仔稚鱼, 鱼卵优势种为半滑舌鳀(*Cynoglossus semilaevis*); 仔稚鱼的重要种为中颌棱鳀(*Thryssa mystax*)(表 3)。10 月份采集到 3 种鱼卵和 2 种仔稚鱼, 鱼卵无优势种, 重要种为 鳀和花鲈(*Lateolabrax maculatus*); 仔稚鱼的重要种为舒氏海龙(*Syngnathus schlegeli*)和玉筋鱼(*Ammodytes personatus*) (表 3)。11 月份仅采集到 1 种鱼卵和 4 种仔稚鱼, 鱼卵无优势种, 鳀为重要种; 仔稚鱼优势种为大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*) (表 3)。12 月份鱼卵无优势或重要种; 采集到 4 种仔稚鱼, 优势种为玉筋鱼(表 3)。辽东湾北部海域主要产卵期在 5 月下旬至 7 月下旬及 12 月; 主要产卵期内鱼卵、仔稚鱼优势种均不突出, 鱼卵重要种为 鳀、短吻红舌鳀、叫姑鱼、黄鲫和蓝点马鲛; 仔稚鱼重要种为 鲛、斑鰾、玉筋鱼、赤鼻棱鳀和方氏云鳚(表 4)。需要说明的是, 受气象条件不稳定和船舶作业安全等因素限制, 4 月及 9

—11 月的采样覆盖度相对较低且样本量有限, 可能影响群落组成与优势种判断结果的代表性。因此, 相关统计分析结果需谨慎外推至非采样时段。

表 2 辽东湾北部海域 4—12 月鱼卵及仔稚鱼种类组成及其成体产卵类别、适温和栖所类型
Tab. 2 Species composition of fish eggs and larvae in the northern Liaodong Bay from April to December, with spawning types, thermal preferences, and habitat types of corresponding adults

科 family	物种 species	产卵 类别 egg type	适温属性 temperature adaptation	栖所 类型 habitat type	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sept.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.
鲱科 Clupeidae	斑鲹 <i>Konosirus punctatus</i>	Pel	WT	CPN		○	○●	○●	●				
鲱科 Clupeidae	青鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>	Pel	WT	CPN			○●	○●	○●				
鲱科 Engraulidae	鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	Pel	WT	CPN		○	○●	○	○●		○	○	
鲱科 Engraulidae	赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>	Pel	WW	CPN			○●	○●	●				
鲱科 Engraulidae	中颌棱鳀 <i>Thryssa mystax</i>	Pel	WW	OEP						●			
鲱科 Engraulidae	凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	Pel	WT	CPN			○●						
鲱科 Engraulidae	黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i>	Pel	WW	CPN		○	○	○●	○●				
银汉鱼科 Atherinidae	白氏银汉鱼 <i>Hypoatherina valenciennei</i>	Pel	WW	CPN				●					
鲷科 Hemiramphidae	沙氏下鲷 <i>Hyporhamphus sajori</i>	Adh	WT	CPN				●	●				
海龙科 Syngnathidae	舒氏海龙 <i>Syngnathus schlegeli</i>	Ovo	WT	CD			●				●		
海龙科 Syngnathidae	日本海马 <i>Hippocampus mohnikei</i>	Ovo	WT	CD					●				
鲆科 Sphyrnidae	油鲆 <i>Sphyrna pinguis</i>	Pel	WT	CPN				○	○				
鲷科 Mugilidae	鲈 <i>Planilaza haematocheilus</i>	Pel	WT	CPN		○●	○●	●					
鲷科 Serranidae	花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i>	Pel	WT	CRA	●						○		●
天竺鲷科 Apogonidae	细条天竺鱼 <i>Apogon lineatus</i>	Adh	WT	CD				○	●				
鳎科 Sillaginidae	少鳞鳎 <i>Sillago japonica</i>	Pel	WW	CD				●	○●				
石首鱼科 Sciaenidae	小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	Pel	WT	CBD			○	○					
石首鱼科 Sciaenidae	白姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>	Pel	WW	CBD			○●	○●					
石首鱼科 Sciaenidae	叫姑鱼 <i>Johnius grypotus</i>	Pel	WT	CBD			○	○					
鲷科 Sparidae	真鲷 <i>Pagrus major</i>	Pel	WT	CD			○●						
鲷科 Blenniidae	美肩鳃鲷 <i>Omobranchus elegans</i>	Adh	WT	CD		●							
锦鲷科 Pholidae	方氏云鲷 <i>Pholis fangi</i>	Adh	CT	CD	●	●	●			●		●	
线鲷科 Stichaeidae	六线鲷 <i>Ernogrammus hexagrammus</i>	Adh	CT	CD		●							
锦鲷科 Pholidae	繸鲷 <i>Azuma emmion</i>	Adh	CT	CD									●
玉筋鱼科 Ammodytidae	玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i>	Adh	CT	CD	●	●	●				●		●
鲷科 Callionymidae	绯鲷 <i>Callionymus beniteguri</i>	Pel	WT	CD		○	○●		●				
带鱼科 Trichiuridae	小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	Pel	WW	CBD			○●	○●	○	○			
鲭科 Scombridae	蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>	Pel	WT	CPN		○●	○●						
虾虎鱼科 Gobiidae	纹缟虾虎鱼 <i>Tridentiger trigonocephalus</i>	Adh	WT	CD		●	●	●	●				
虾虎鱼科 Gobiidae	矛尾复虾虎鱼 <i>Synechogobius hasta</i>	Adh	WT	CD		●							
虾虎鱼科 Gobiidae	裸头虾虎鱼 <i>Chaenogobius stigmatias</i>	Adh	CT	CD			●		●				
虾虎鱼科 Gobiidae	裸项蜂巢虾虎鱼 <i>Favonigobius gymnauchen</i>	Adh	WW	CRA				●					

(待续 to be continued)

(续表 2 Tab. 2 continued)

科 family	物种 species	产卵 类别 egg type	适温属性 temperature adaptation	栖所 类型 habitat type	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sept.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.
虾虎鱼科 Gobiidae	大口虾虎鱼 <i>Chaenogobius gulosus</i>	Adh	CT	CD		●							
虾虎鱼科 Gobiidae	黄鳍刺虾虎鱼 <i>Acanthogobius flavimanus</i>	Adh	CT	CD		●							
虾虎鱼科 Gobiidae	竿虾虎鱼 <i>Luciogobius guttatus</i>	Adh	WT	CD		●	●						
虾虎鱼科 Gobiidae	六丝钝尾虾虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	Adh	WT	CD			●						
虾虎鱼科 Gobiidae	矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	Adh	WT	CD		●	●	●					
虾虎鱼科 Gobiidae	大颌裸身虾虎鱼 <i>Gymnogobius macrognathus</i>	Adh	WT	CD			●						
虾虎鱼科 Gobiidae	普氏细棘虾虎鱼 <i>Acentrogobius pflaumii</i>	Adh	WW	CD			●						
虾虎鱼科 Gobiidae	蝌蚪虾虎鱼属 <i>Lophiogobius.sp</i>	Adh	WT	CD		●							
鰕虎鱼科 Taenioididae	红狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	Adh	WT	CD				●					
鰕虎鱼科 Taenioididae	中华栉孔虾虎鱼 <i>Ctenotrypauchen chinensis</i>	Adh	WT	CD				●	●				
六线鱼科 Hexagrammidae	大洸六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	Adh	CT	CD		●						●	●
鲷科 Platycephalidae	鲷 <i>Platycephalus indicus</i>	Pel	WW	CRA		○●	○●	○					
银鱼科 Salangidae	大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranius</i>	Adh	WT	CD		●	●	●				●	
杜父鱼科 Cottidae	艾氏钩棘杜父鱼 <i>Porocottus allisi</i>	Adh	CT	CD		●							
牙鲆科 Paralichthyidae	褐牙鲆 <i>Paralichthys olivaceus</i>	Pel	WT	CD		○	○						
平鲷科 Sebastidae	许氏平鲷 <i>Sebastes schlegelii</i>	Ovo	CT	CD			●	●					
鲽科 Pleuronectidae	高眼鲽 <i>Cleisthenes herzensteini</i>	Pel	CT	CD					○				
舌鲷科 Cynoglossidae	短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	Pel	WT	CD		○	○●	○●	○		○	●	
舌鲷科 Cynoglossidae	半滑舌鲷 <i>Cynoglossus semilaevis</i>	Pel	WT	CD					○	○			

注：“○”代表采集到鱼卵，“●”代表采集到仔稚鱼。Pel：浮性；Adh：黏着性(具卵膜丝)；Ovo：卵胎生。WT：暖温性；WW：暖水性；CT：冷温性。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：大陆架大洋洞游性中上层鱼类。

Note：“○” means the presence of eggs, and “●” means the presence of fish larvae. Pel: pelagic; Adh: adhesion (the eggs with adhesive egg filaments); Ovo: ovoviviparity. WT: warm temperature; WW: warm water; CT: cold temperature. CD: continental shelf demersal fish; CBD: continental shelf benthopelagic fish; CPN: continental shelf pelagic-neritic fish; CRA: continental shelf reef-associated fish; OEP: oceanic pelagic fish.

2.2 鱼卵、仔稚鱼群落月间种类更替、月份聚类与相似性分析

鱼类早期资源种类更替率及群落相异性呈现明显的季节性变化(图 2)。4—5 月，种类更替率达 95.83%，鱼卵和仔稚鱼群落的平均相异性分别为 100%和 99.70%。5—6 月，种类更替率降至 63.83%，鱼卵和仔稚鱼群落的平均相异性分别为 88.5%和 74.60%。6—7 月，种类更替率为 62.00%，鱼卵和仔稚鱼群落的平均相异性分别为 80.00%和 86.00%。7—8 月，种类更替率进一步降低至

52.63%，为全年最低值，鱼卵和仔稚鱼群落的平均相异性分别为 71.20%和 85.20%。8—9 月，种类更替率显著升高至 93.10%，鱼卵和仔稚鱼群落的平均相异性分别为 80.70%和 100%。9—10 月，种类更替率达到峰值(100%)，鱼卵和仔稚鱼群落的平均相异性均为 100%。10—11 月，种类更替率为 88.89%，鱼卵和仔稚鱼群落的平均相异性分别为 93.10%和 100%。11—12 月，种类更替率为 75.00%，鱼卵和仔稚鱼群落的平均相异性均为 100%。分析表明，种类更替率在 9—10 月达到最

表 3 辽东湾北部海域 4—12 月鱼卵和仔稚鱼优势种及重要种

Tab. 3 Dominant and important species of fish eggs and larvae in the northern Liaodong Bay from April to December						
月份 month	编号 No.	鱼卵 fish eggs		编号 No.	仔稚鱼 larvae	
		物种 species	IRI		物种 species	IRI
4 月 April				B1	方氏云鲷 <i>Pholis fangi</i>	1219.05**
5 月 May	A1	蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>	795.74*	B2	鲛 <i>Planilaza haematocheilus</i>	979.83*
	A2	黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i>	445.46*	B3	大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranius</i>	158.77*
	A3	鲷 <i>Platycephalus indicus</i>	499.01*			
6 月 June	A4	鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	778.28*		鲛 <i>Planilaza haematocheilus</i>	677.36*
	A5	短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	439.57*			
	A6	白姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>	328.76*			
	A7	叫姑鱼 <i>Johnius grypotus</i>	280.9*			
		黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i>	214.63*			
7 月 July	A8	赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>	149.7*			
		短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	4557.90**	B4	赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>	1045.70**
				B5	中华栉孔虾虎鱼 <i>Ctenotrypauchen chinensis</i>	531.43*
8 月 August				B6	斑鲹 <i>Konosirus punctatus</i>	143.26*
		短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	3406.09**		鲛 <i>Planilaza haematocheilus</i>	580.30*
	A9	小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	199.51*		斑鲹 <i>Konosirus punctatus</i>	333.48*
9 月 September	A10	半滑舌鲷 <i>Cynoglossus semilaevis</i>	2915.09**		中颌棱鳀 <i>Thryssa mystax</i>	500.00*
10 月 October	A11	花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i>	785.71*		舒氏海龙 <i>Syngnathus schlegeli</i>	200.00*
		鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	228.57*	B7	玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i>	200.00*
11 月		鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	400*	B8	大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	2765.85**
November				B9	短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	321.95*
12 月					玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i>	4609.17**
December					大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	550.43*
					方氏云鲷 <i>Pholis fangi</i>	323.78*

注: “**”表示优势种, “*”表示重要种, 编号为 CCA 分析所用物种编号。
Note: “**”means dominant species, “*”means important species, and No. is species codes used for CCA analysis.

表 4 辽东湾北部主要产卵期(5 月下旬至 7 月下旬和 12 月)鱼类早期资源主要种类的 IRI
Tab. 4 IRI of dominant early life stage fish species in the northern Liaodong Bay during the main spawning period (late May to late July and December)

分类 category	物种 species	N%	F%	IRI
鱼卵 eggs	鲹 <i>Engraulis japonicus</i>	28.97	17.31	501.76*
	短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	10.02	26.82	268.57*
	叫姑鱼 <i>Johnius grypotus</i>	9.14	13.97	127.61*
	黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i>	10.21	12.29	125.50*
	蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>	19.28	5.27	101.61*
	白姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>	19.29	5.03	96.98
仔稚鱼 larvae	赤鼻棱鲹 <i>Thryssa kammalensis</i>	5.02	16.76	84.11
	鲛 <i>Planilaza haematocheilus</i>	35.57	25.14	894.25*
	斑鲹 <i>Konosirus punctatus</i>	25.30	15.50	392.15*
	玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i>	11.79	13.18	155.39*
	赤鼻棱鲹 <i>Thryssa kammalensis</i>	12.38	10.06	124.62*
	方氏云鲷 <i>Pholis fangi</i>	8.05	14.73	118.61*
	大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranius</i>	2.51	10.85	27.27

注: “*”表示重要种。
Note: “*” means important species.

高, 4—5 月次之, 而 7—8 月最低。鱼卵群落的平均相异性在 4—5 月、9—10 月和 11—12 月均为 100%, 7—8 月最低(71.2%)。仔稚鱼群落的平均相异性在 8—9 月、9—10 月、10—11 月和 11—12 月均达到 100%, 5—6 月最低(74.6%)。

鱼卵月份聚类在 21.45%相似性水平上被划分为 3 个群组(图 3a), A 群组特征种为高眼鲷 (*Cleisthenes herzensteini*), 平均相似性为 4.95, 平均相似性贡献率为 4.95%; B 群组特征种为细条天竺鱼(*Apogon lineatus*), 平均相似性为 2.78, 平均相似性贡献率为 2.78%; C 群组的特征种为短吻红舌鲷, 平均相似性为 20.61, 平均相似性贡献率为 20.61% (表 5)。仔稚鱼月份聚类在 16.28%相似性水平上被划分为 4 个群组(图 3b), A 群组特征种为玉筋鱼, 平均相似性为 7.65, 平均相似性贡献率为 7.65%; B 组特征种为叫姑鱼, 平均相似性为 1.59, 平均相似性贡献率为 1.59%

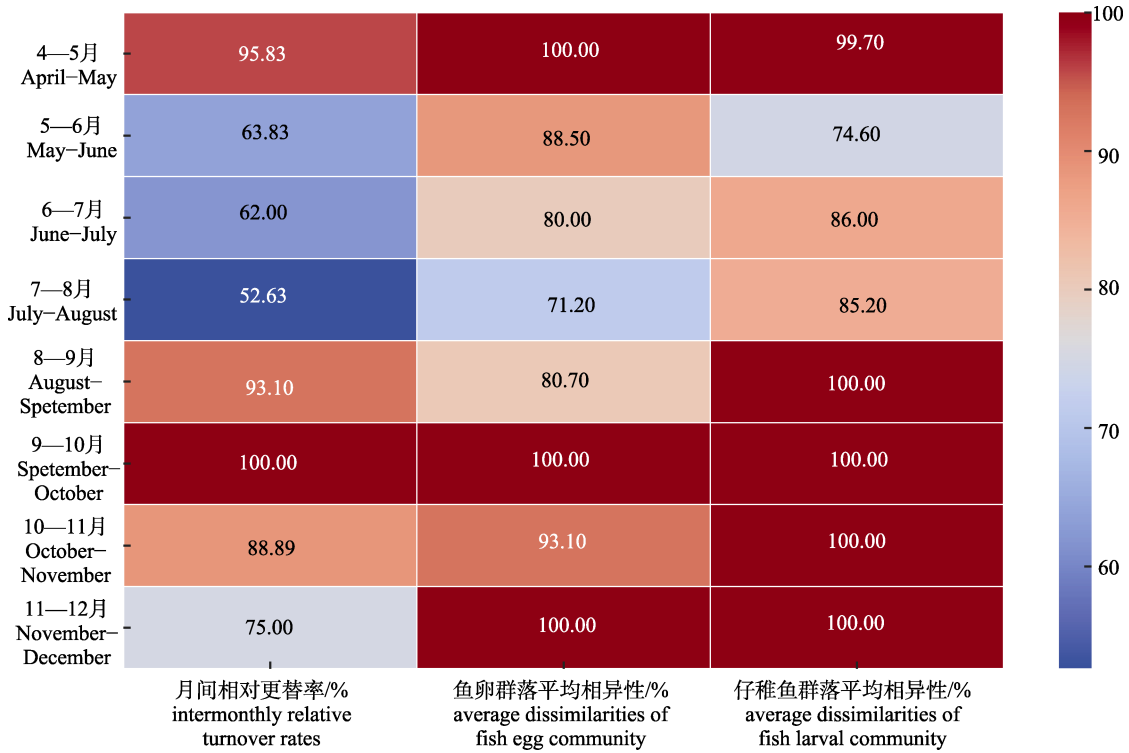


图 2 辽东湾北部海域月间鱼卵及仔稚鱼的种类更替率及平均相异性
Fig. 2 Species turnover rate and average dissimilarity of fish eggs and larvae in the northern Liaodong Bay

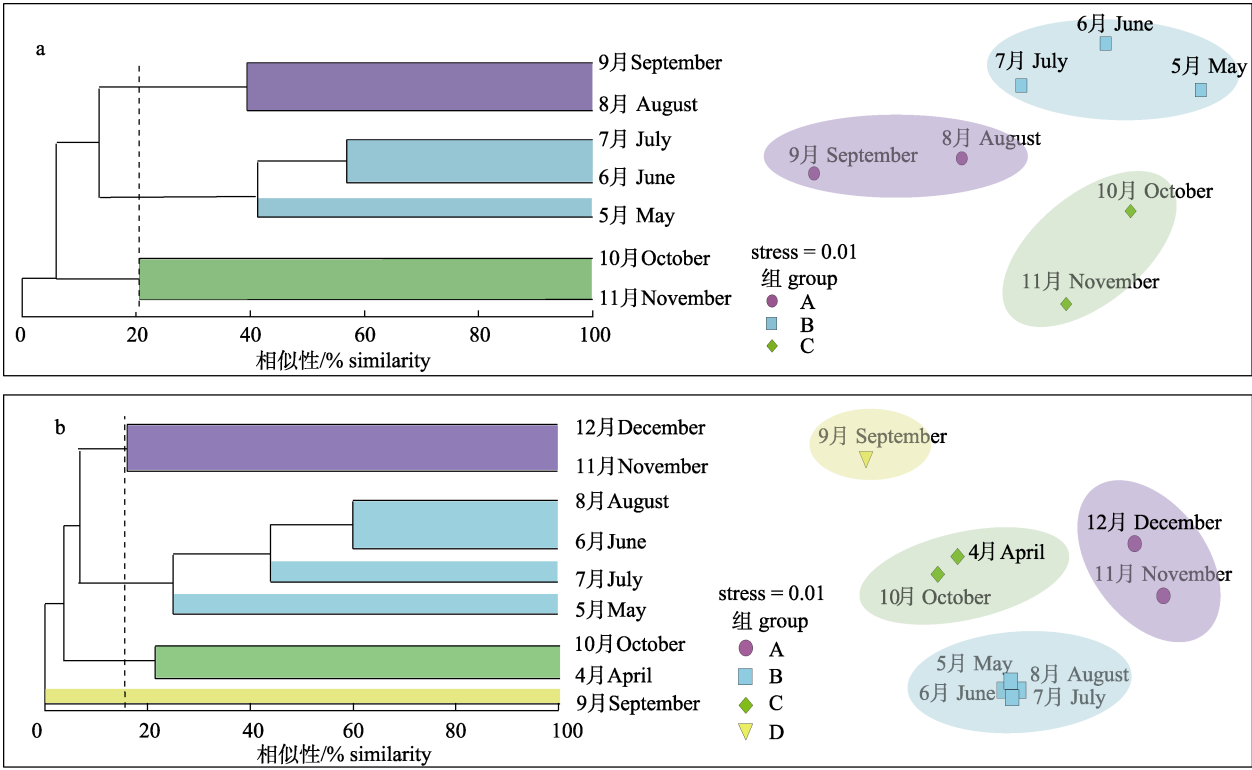


图 3 辽东湾北部海域 4—12 月鱼卵(a)与仔稚鱼(b)种类聚类图及 NMDS 排序图
Fig. 3 Cluster analysis and NMDS of fish eggs (a) and larvae (b) in the northern waters of Liaodong Bay from April to December

(表 5); C 组特征种为玉筋鱼, 平均相似性为 21.74, 平均相似性贡献率为 21.74%; D 组特征种为中颌棱鲷, 平均相似性为 100, 平均相似性贡献率为 100% (表 5)。ANOSIM 结果显示, 鱼卵不同群组间存在显著差异(Global $R=0.875$, $P=0.01$), 仔稚鱼不同群组间也存在显著差异(Global $R=0.929$, $P=0.02$), 表明群落结构在时间尺度上具有显著差异。

表 5 辽东湾北部海域鱼卵及仔稚鱼聚类组内(图 3 中 A 至 D 组)主要特征种
Tab. 5 The main typical species in cluster groups (from A to D in Fig. 3) of fish eggs and larvae in the northern waters of Liaodong Bay

组 group	鱼卵特征种 typical species of eggs	As	C/%	仔稚鱼特征种 typical species of larvae	As	C/%
A 组 group A	高眼鲷 <i>Cleisthenes herzensteini</i>	4.95	4.95	玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i>	7.65	7.65
B 组 group B	细条天竺鱼 <i>Apogon lineatus</i>	2.78	2.78	叫姑鱼 <i>Johnius grypotus</i>	1.59	1.59
C 组 group C	短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	20.61	20.61	玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i>	21.74	21.74
D 组 group D				中颌棱鲷 <i>Thryssa mystax</i>	100	100

注: As 表示平均相似性, C 表示平均相似性贡献率。
Note: As means the average similarity, and C means the contribution of the average similarity.

2.3 温盐等环境因子时空分布特征

在调查期间, 辽东湾北部海域 SST、SBT、SSS 和 SBS 呈现明显的季节性变化。4 月, SST 较低, 范围 3.82~9.54 °C (图 4a, 4j), SBT 稍低(图 5a, 5j); 盐度较高, SSS 在 27.34~31.63 之间(图 6a, 6j), SBS 在 27.66~31.55 (图 7a, 7j)。5 月, 温度升高, SST 在 10.44~21.12 °C (图 4b, 4k), SBT 为 11.41~21.39 °C (图 5b, 5k); SSS (图 6b, 6k)和 SBS (图 7b, 7k)均有所升高。6 月, 温度继续升高, SST 为 17.53~24.17 °C (图 4c, 4l), SBT 为 11.68~23.93 °C (图 5c, 5l); SSS 有所降低(图 6c, 6l), SBS 显著高于 SSS (图 7c, 7l)。7 月, 整体温度较高, SST 为 23.71~25.5 °C (图 4d, 4m), SBT 为 16.69~25.40 °C (图 5d, 5m); SSS 梯度变大(图 6d, 6m), SBS 略有下降(图 7d, 7m), 辽河和六股河入海口 SBS 为海域最低。8 月, 整体温度持续较高, SST 为 23.39~29.04 °C (图 4e, 4n), SBT 为 17.28~28.56 °C (图 5e, 5n); SSS 升高(图 6e, 6n), SBS 大幅上升(图 7e, 7n)。9 月, SST 为 21.13~23.74 °C (图 4f, 4o), SBT 为 21.20~23.80 °C (图 5f, 5o); SBS (图 7f, 7o)稍高于 SSS (图 6f, 6o)。10 月, 水温有所下降, SST 为 13.78~19.68 °C (图 4g, 4p), SBT 为 13.61~19.63 °C (图 5g, 5p); 盐度有所下降(图 6g, 6p; 7g, 7p), 海湾东北部盐度较低(SSS 为 22.83~27.33, SBS 为 26.34~27.34)。11 月, 水温显著下

降, SST 为 6.49~12.53 °C (图 4h, 4q), SBT 为 6.49~12.47 °C (图 5h, 5q); SSS 持续下降(图 6h, 6q), SBS (图 7h, 7q)接近 SSS。12 月, 水温降至全年最低, SST 为 4.30~9.50 °C (图 4i, 4r), SBT 为 4.49~9.46 °C (图 5i, 5r); SSS (图 6i, 6r)和 SBS (图 7i, 7r)整体降低且 SSS 下降得更快, 均在太平洋湾和复州湾之间出现海湾的高盐中心。SST 在夏季(8 月)升至最高点, 秋季和冬季逐渐下降; SSS 在春季和秋季相对较低, 夏季最低; SBT 变化与 SST 相似, SBS 普遍高于 SSS, 并呈现出由近岸向外海递增的趋势。

2.4 鱼卵、仔稚鱼时空分布特征

4 月调查未采集到鱼卵(图 4a, 5a, 6a, 7a); 5 月调查采集鱼卵共 2861 粒, 出现频率为 44.83%, 平均资源密度为 51.09 ind./haul, 鱼卵主要分布在辽东湾东北部的小凌河、大凌河、辽河和大辽河入海口附近(图 4b, 5b, 6b, 7b); 6 月采集鱼卵共 34097 粒, 出现频率为 100%, 平均资源密度为 420.95 ind./haul, 核心产卵区位于锦州湾和白砂湾附近海域(图 4c, 5c, 6c, 7c); 7 月采集鱼卵共 3923 粒, 出现频率为 73.17%, 平均资源密度为 85.28 ind./haul, 主要分布在白砂湾以北和小凌河入海口附近海域, 太平洋湾也有少量分布(图 4d, 5d, 6d, 7d); 8 月采集鱼卵共 2470 粒, 出现频率为 82.76%, 平均资源密度为 33.38 ind./haul, 锦州湾-

白砂湾以北海域鱼卵资源密度较高(图 4e, 5e, 6e, 7e); 9 月采集鱼卵共 106 粒, 出现频率为 35%, 平均资源密度较低为 5.3 ind./haul, 主要分布在离岸深水处(图 4f, 5f, 6f, 7f); 10 月采集鱼卵共 28 粒, 出现频率为 28%, 平均资源密度进一步降低至

1.12 ind./haul, 集中分布在复州湾附近海域(图 4g, 5g, 6g, 7g); 11 月仅采集到鱼卵 1 粒, 鱼卵出现频率为 4%, 平均资源密度为 0.04 ind./haul (图 4h, 5h, 6h, 7h); 12 月所有采样站位均未采集到鱼卵(图 4i, 5i, 6i, 7i)。

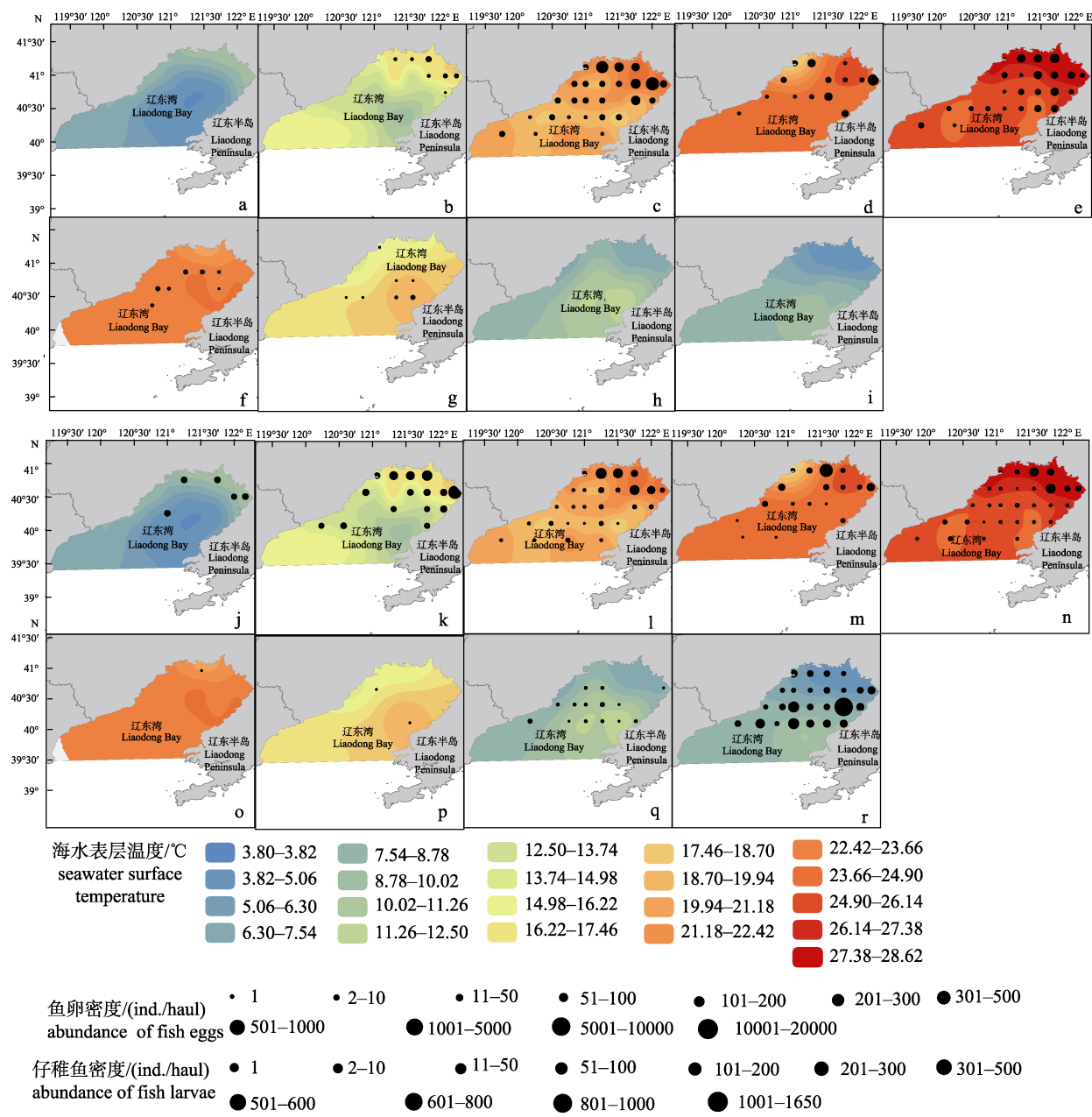


图 4 辽东湾北部海域鱼卵(a—i)和仔稚鱼(j—r)数量分布及 SST 月际变动
a, j. 4 月; b, k. 5 月; c, l. 6 月; d, m. 7 月; e, n. 8 月; f, o. 9 月; g, p. 10 月; h, q. 11 月; i, r. 12 月。
Fig. 4 Monthly variation in the abundance and distribution of fish eggs(a—i) and larvae (j—r),
and SST in the northern waters of Liaodong Bay
a, j. April; b, k. May; c, l. June; d, m. July; e, n. August; f, o. September; g, p. October; h, q. November; i, r. December.

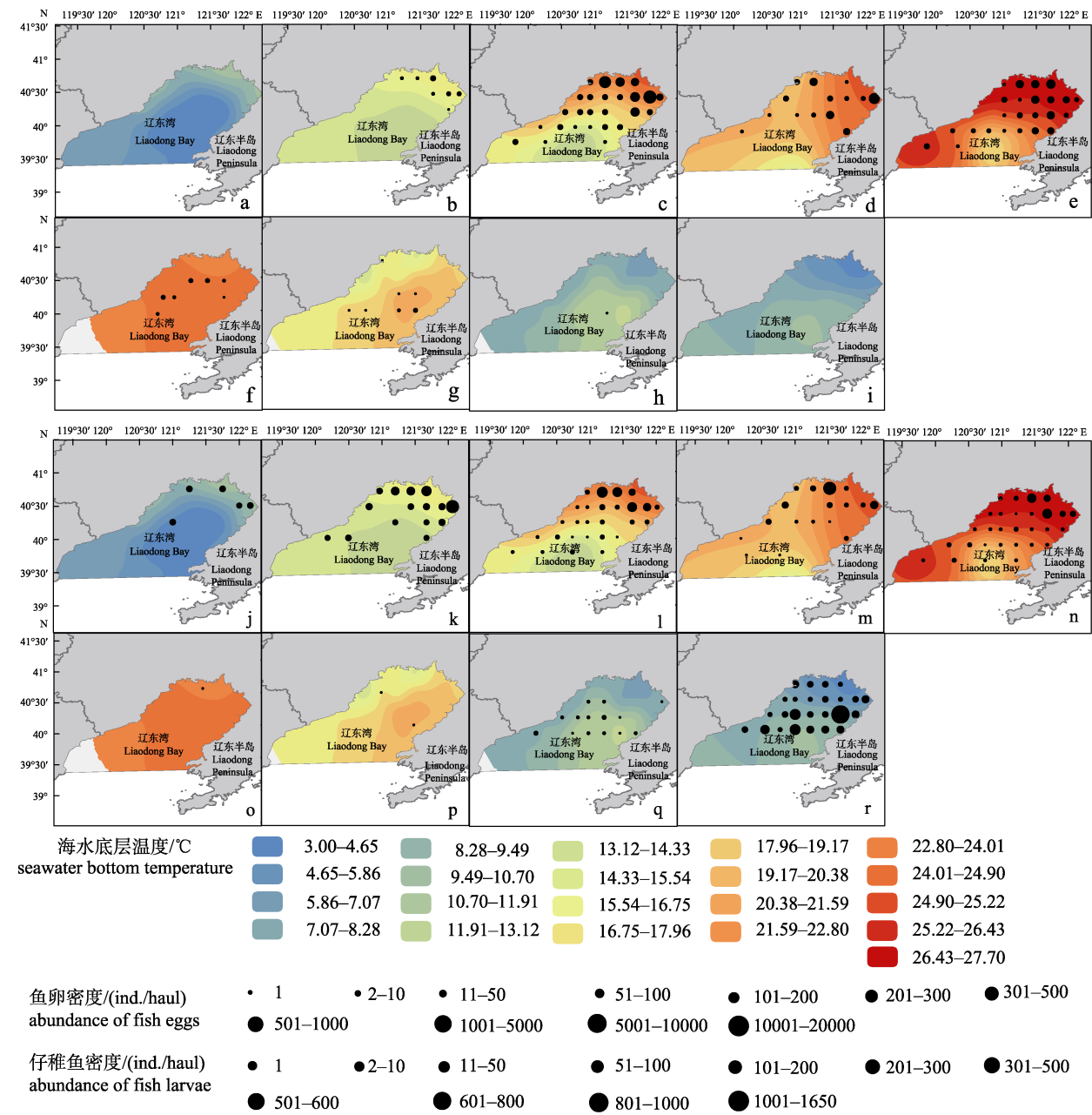


图 5 辽东湾北部海域鱼卵(a—i)和仔稚鱼(j—r)分布及 SBT 月际变动
a, j. 4 月; b, k. 5 月; c, l. 6 月; d, m. 7 月; e, n. 8 月; f, o. 9 月; g, p. 10 月; h, q. 11 月; i, r. 12 月.
Fig. 5 Monthly variation in the abundance and distribution of fish eggs (a—i) and larvae (j—r),
and SBT in the northern waters of Liaodong Bay
a, j. April; b, k. May; c, l. June; d, m. July; e, n. August; f, o. September; g, p. October; h, q. November; i, r. December.

4 月采集到仔稚鱼 21 尾, 出现频率为 20%, 平均资源密度为 0.84 ind./haul, 仔稚鱼主要分布在大小凌河、辽河和大辽河入海口临近海域(图 4j, 5j, 6j, 7j); 5 月采集仔稚鱼共 2384 尾, 出现频率为 51.72%, 平均资源密度为 42.57 ind./haul, 仔稚鱼分布范围扩大, 核心区位于连山湾-太平湾以北海域(图 4k, 5k, 6k, 7k); 6 月采集仔稚鱼 2500 尾, 出现频率为 93.10%, 平均资源密度为 30.86 ind./haul, 并在锦州湾-白砂湾以北的辽东湾底部海域形成仔稚鱼密集区(图 4l, 5l, 6l, 7l); 7 月采集仔稚鱼共 2224 尾, 出现频率为 65.85%, 平均资源密度为 47.32 ind./haul, 主要分布在大小凌河入海口附近海域(图 4m, 5m, 6m, 7m); 8 月采集仔稚鱼 1550

尾, 出现频率为 100%, 平均资源密度为 20.95 ind./haul, 仔稚鱼分布范围有所扩大, 密集区仍在锦州湾-白砂湾以北的海域(图 4n, 5n, 6n, 7n); 9 月份仅采集仔稚鱼 1 尾, 出现频率仅 5.00%, 平均资源密度为 0.05 ind./haul(图 4o, 5o, 6o, 7o); 10 月份采集仔稚鱼共 2 尾, 出现频率为 8.00%, 平均资源密度为 0.08 ind./haul, 主要分布在连山湾和

太平湾以南海域(图 4p, 5p, 6p, 7p); 11 月份采集仔稚鱼共 82 尾, 出现频率为 56.00%, 平均资源密度为 3.28 ind./haul, 主要分布于辽东湾中部及东西海域(图 4q, 5q, 6q, 7q); 12 月份共采集仔稚鱼 1396 尾, 出现频率为 84.00%, 平均资源密度急增至 55.84 ind./haul, 海湾中南部较北部海域资源密度高, 白砂湾附近海域资源密度最高(图 4r, 5r, 6r, 7r)。

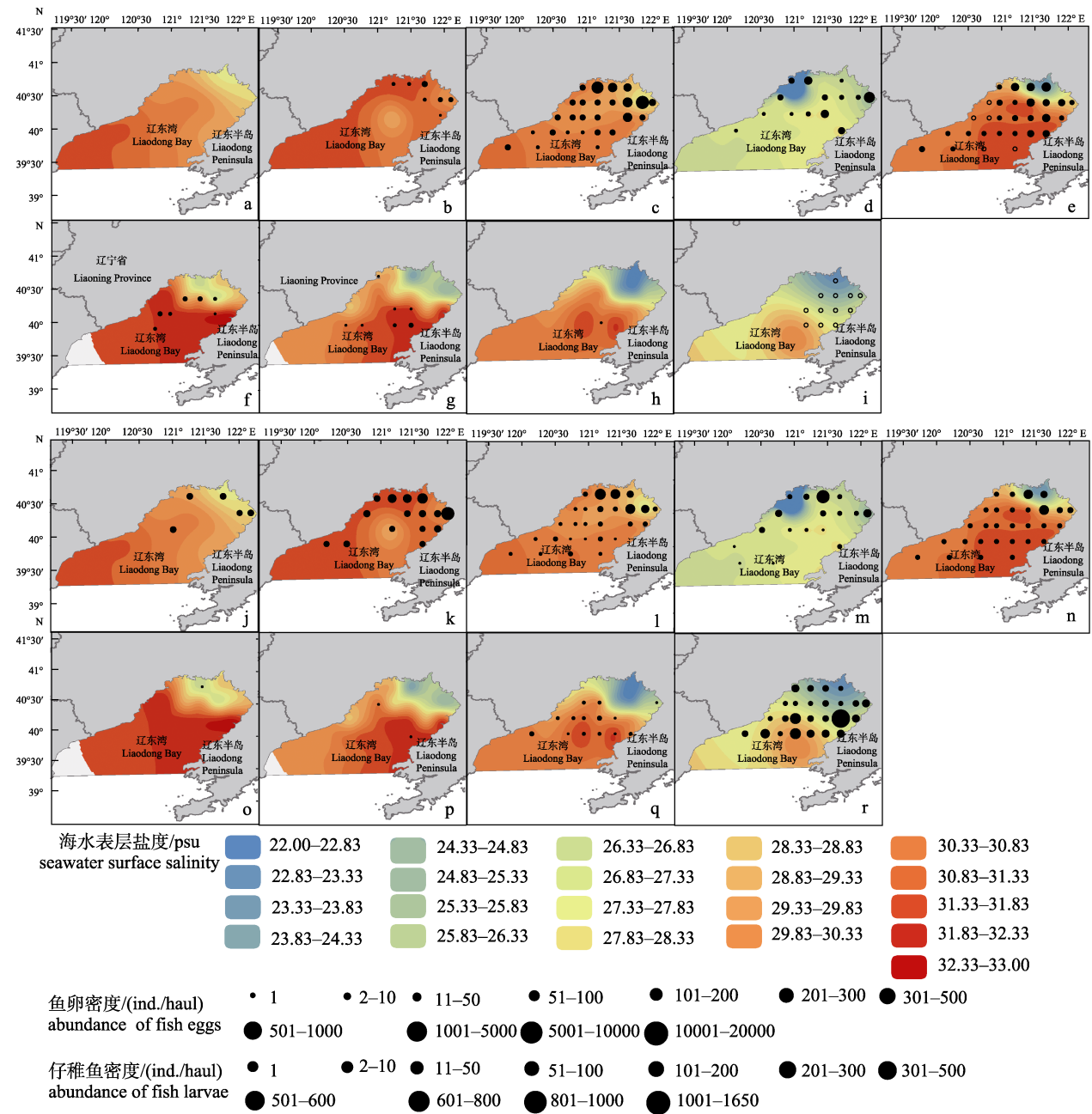


图 6 辽东湾北部海域鱼卵(a—i)和仔稚鱼(j—r)分布及 SSS 月际变动

a, j, 4 月; b, k, 5 月; c, l, 6 月; d, m, 7 月; e, n, 8 月; f, o, 9 月; g, p, 10 月; h, q, 11 月; i, r, 12 月。

Fig. 6 Monthly variation in the abundance and distribution of fish eggs (a–i) and larvae (j–r), and SSS in the northern waters of Liaodong Bay

a, j, April; b, k, May; c, l, June; d, m, July; e, n, August; f, o, September; g, p, October; h, q, November; i, r, December.

2.5 逐月鱼类早期资源优势种和重要种及其与环境因子关系

辽东湾北部海域 4 至 12 月鱼卵(图 8a)和仔稚鱼(图 8b)优势种及重要种及其与各环境因子的 Mantel 检验结果表明, 白姑鱼、叫姑鱼卵分布与 RD 显著正相关($P<0.05, r>0$), 玉筋鱼、鲛仔稚鱼空间分布与 RD 负相关($P<0.5, r<0$); 黄鲫鱼卵和

鲛、斑鲈仔稚鱼与 SST 显著正相关($P<0.05, r>0$), 方氏云鲷、大泷六线鱼、短吻红舌鲷和玉筋鱼仔稚鱼分布与 SST 显著负相关($P<0.05, r<0$)关系; 方氏云鲷、鲛仔稚鱼分布与 Depth 显著正相关($P<0.05, r>0$)关系, 黄鲫、白姑鱼、赤鼻棱鲷、花鲈卵和赤鼻棱鲷仔稚鱼空间分布与 Depth 负相关($P<0.5, r<0$); 黄鲫鱼卵和鲛仔稚鱼分布与 WW 呈

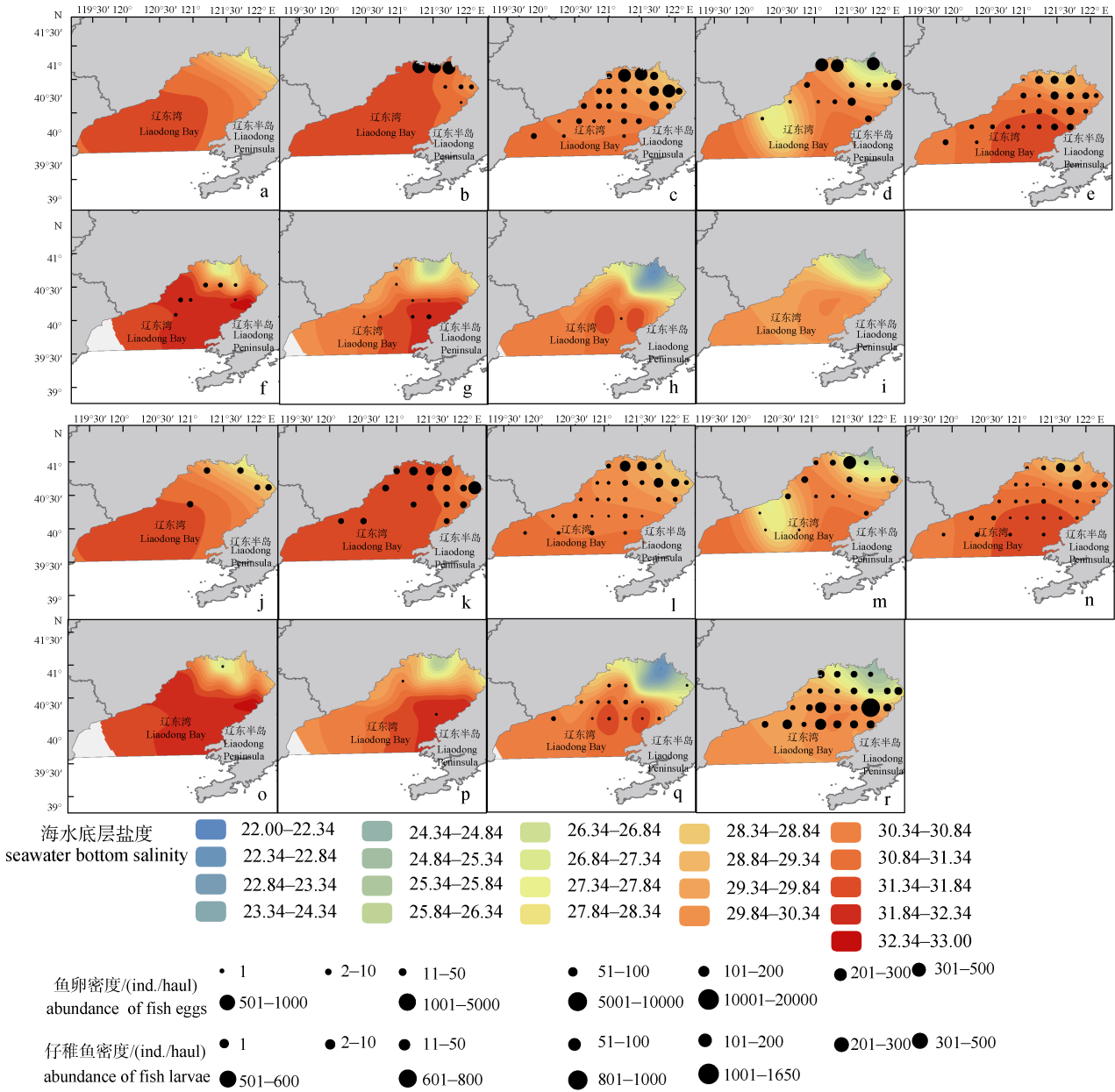


图 7 辽东湾北部海域鱼卵(a—i)和仔稚鱼(j—r)分布及 SBS 月际变动

a, j, 4 月; b, k, 5 月; c, l, 6 月; d, m, 7 月; e, n, 8 月; f, o, 9 月; g, p, 10 月; h, q, 11 月; i, r, 12 月。

Fig. 7 Monthly variation in the abundance and distribution of fish eggs (a–i) and larvae (j–r), and SBS in the northern waters of Liaodong Bay

a, j, April; b, k, May; c, l, June; d, m, July; e, n, August; f, o, September; g, p, October; h, q, November; i, r, December.

显著正相关($P<0.05$, $r>0$), 大泷六线鱼、玉筋鱼仔稚鱼空间分布与 WW 负相关($P<0.5$, $r<0$)关系; 玉筋鱼与 SSS 显著正相关($P<0.05$, $r>0$), 小带鱼卵和大银鱼、大泷六线鱼、方氏云鲷仔稚鱼空间分布与 SSS 负相关($P<0.5$, $r<0$)。

CCA 分析结果表明, 在鱼卵群落方面, Depth 和 RD 是影响其空间分布的关键环境因子, 二者共同解释了 14.3%的群落变异。其中, CCA 第一轴(特征值 0.36)和第二轴(特征值 0.28)与环境因子的相关系数分别为 0.85 和 0.64 (图 9a)。对于仔稚

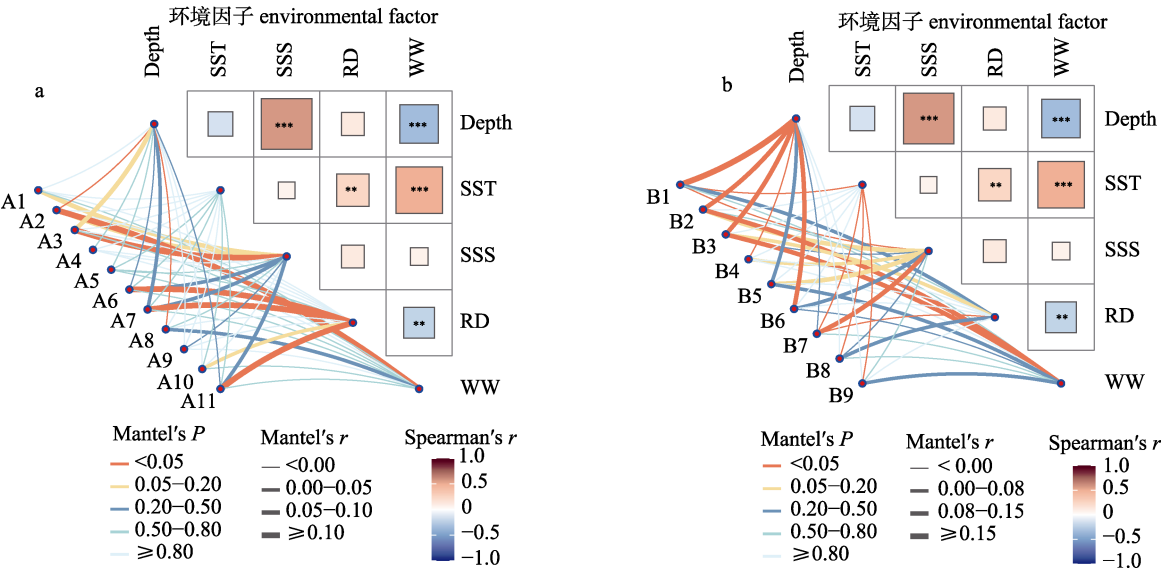


图 8 辽东湾北部海域逐月鱼卵(a)和仔稚鱼(b)优势种和重要种分布及其与环境因子 Mantel 检验
SST: 表层温度; SSS: 表层盐度; Depth: 海水深度; RD: 辽河月径流量; WW: 浮游生物湿重。编号对应物种见表 3。
Fig. 8 Monthly distribution of dominant and important species of fish eggs (a) and larvae (b) in the northern waters of Liaodong Bay and their correlations with environmental factors based on the Mantel test
SST: sea surface temperature; SSS: sea surface salinity; Depth: sea water depth; RD: monthly discharge of the Liao River; WW: wet weight. Refer to Tab. 3 for species codes.

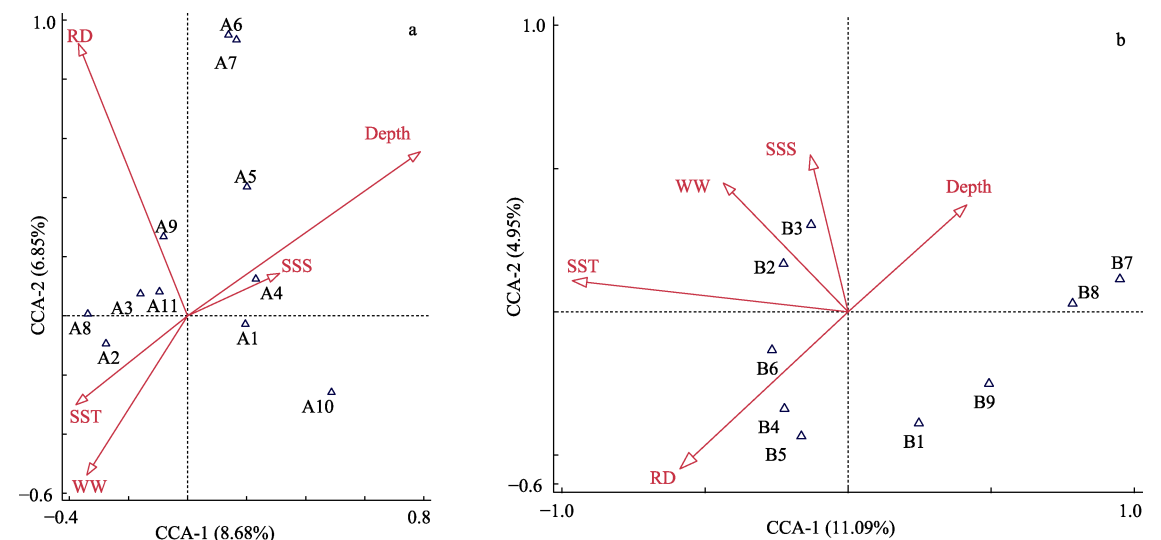


图 9 辽东湾北部海域逐月鱼卵(a)和仔稚鱼重要种(b)与环境因子 CCA 分析
SST: 表层温度; SSS: 表层盐度; Depth: 海水深度; RD: 辽河月径流量; WW: 浮游生物湿重; 编号对应物种见表 3。
Fig. 9 Canonical correspondence analysis (CCA) of monthly important species of fish eggs (a) and larvae (b) and environmental factors in the northern waters of Liaodong Bay
SST: sea surface temperature; SSS: sea surface salinity; Depth: sea water depth; RD: monthly discharge of the Liao River; WW: wet weight. Refer to tab. 3 for species codes.

鱼群落, SST 和 RD 是影响其空间分布的关键环境因子, 二者共解释了 19.2% 的群落变异。CCA 第一轴(特征值 0.73)和第二轴(特征值 0.33)与环境因子的相关性分别为 0.91 和 0.74 (图 9b)。叫姑鱼、短吻红舌鲷卵和斑鲈、赤鼻棱鲷仔稚鱼分布与 RD 正相关, 蓝点马鲛卵和玉筋鱼、大泷六线鱼仔稚鱼分布与 RD 负相关; 黄鲫卵和鲈、斑鲈、赤鼻棱鲷仔稚鱼分布与 SST 正相关, 鲈卵和方氏云鲷、大泷六线鱼、短吻红舌鲷、玉筋鱼仔稚鱼与 SST 负相关; 叫姑鱼、短吻红舌鲷和鲈卵分布与 Depth 正相关, 黄鲫、赤鼻棱鲷卵和赤鼻棱鲷、斑鲈仔稚鱼分布与 Depth 负相关; 黄鲫卵和鲈、斑鲈仔稚鱼与 WW 正相关, 方氏云鲷、大泷六线鱼、短吻红舌鲷和玉筋鱼仔稚鱼分布和 WW 负相关; 叫姑鱼、短吻红舌鲷、鲈、蓝点马鲛卵和鲈仔稚鱼分布与 SSS 正相关, 黄鲫、赤鼻棱鲷鱼卵和方氏云鲷、赤鼻棱鲷、斑鲈仔稚鱼分布与 SSS 呈负相关。

2.6 主产卵期鱼类早期资源主要种类与环境因子关系

主要产卵期鱼卵(图 10a)和仔稚鱼(图 10b)主要种类与环境因子 Mantel 检验结果显示, 鲈卵空

间分布与 SSS 显著正相关($P<0.05$, $r>0$), 叫姑鱼卵和方氏云鲷、斑鲈仔稚鱼空间分布与 SSS 负相关($P<0.05$, $r<0$); 鲈、蓝点马鲛鱼卵和玉筋鱼仔稚鱼分布与 SST 显著负相关($P<0.05$, $r<0$); 短吻红舌鲷鱼卵与 RD 显著正相关($P<0.05$, $r>0$), 玉筋鱼仔稚鱼分布与 RD 显著负相关($P<0.05$, $r<0$)。短吻红舌鲷、叫姑鱼卵和鲈、方氏云鲷仔稚鱼分布与 Depth 显著正相关($P<0.05$, $r>0$), 黄鲫鱼卵和斑鲈、赤鼻棱鲷仔稚鱼分布与 Depth 显著负相关($P<0.05$, $r<0$) (图 10)。

CCA 分析结果表明, 在鱼卵群落方面, Depth 和 RD 是影响其空间分布的关键环境因子, 二者共同解释了 37.5% 的群落变异。CCA 第一轴(特征值 0.24)和第二轴(特征值 0.22)与环境因子的相关系数分别为 0.72 和 0.78 (图 11a)。对于仔稚鱼群落, SST 和 RD 是影响其空间分布的关键环境因子, 二者共解释了 46.0% 的群落变异。CCA 第一轴(特征值 0.75)和第二轴(特征值 0.35)与环境因子的相关性分别为 0.89 和 0.74 (图 11b)。短吻红舌鲷、叫姑鱼卵和斑鲈、方氏云鲷、赤鼻棱鲷仔稚鱼与 RD 正相关, 蓝点马鲛、半滑舌鲷、黄鲫卵和玉筋鱼仔稚鱼分布与 RD 负相关(图 11); 黄鲫、叫姑鱼

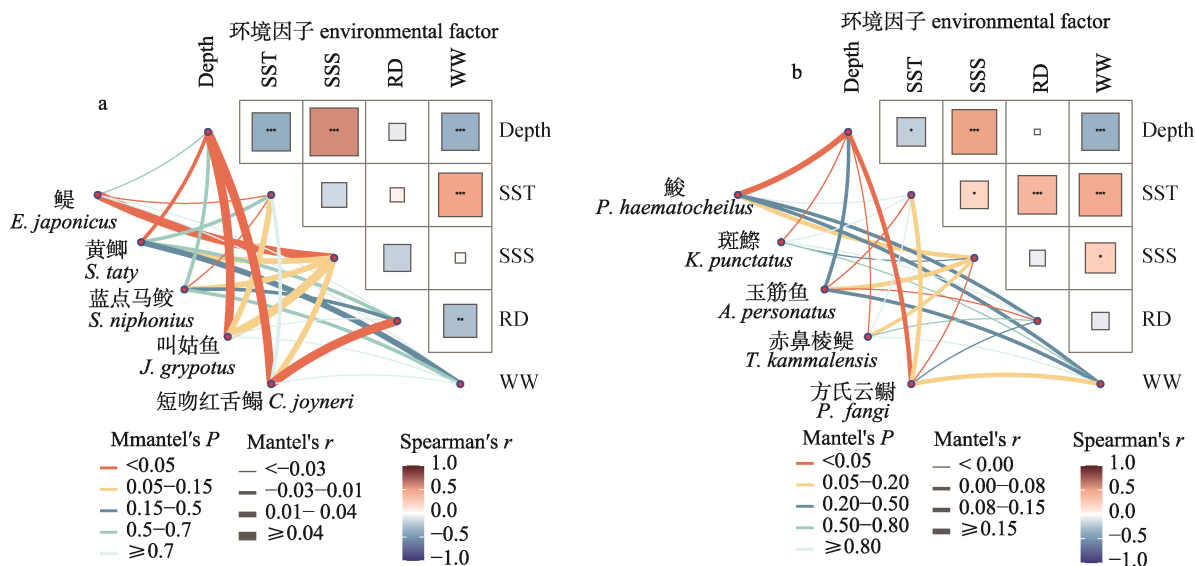


图 10 主要产卵期鱼卵(a)、仔稚鱼(b)与环境因子 Mantel 相关性分析图

SST: 表层温度; SSS: 表层盐度; Depth: 海水深度; RD: 辽河月径流量; WW: 浮游生物湿重. *: $P<0.05$; **: $P<0.01$; ***: $P<0.001$.
Fig. 10 Mantel correlation analysis between fish eggs (a) and larvae (b) during the main spawning period and environmental factors
SST: sea surface temperature; SSS: sea surface salinity; Depth: sea water depth; RD: monthly discharge of the Liao River; WW: wet weight. *: $P<0.05$; **: $P<0.01$; ***: $P<0.001$.

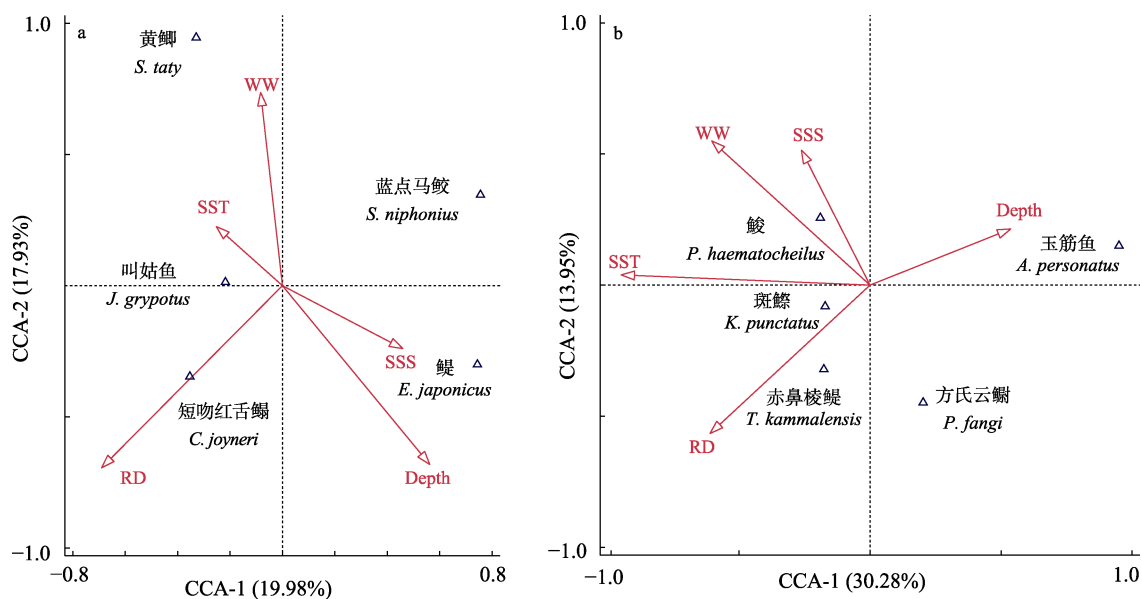


图 11 主要产卵期鱼卵(a)、仔稚鱼(b)与环境因子 CCA 分析

SST: 表层温度; SSS: 表层盐度; Depth: 海水深度; RD: 辽河月径流量; WW: 浮游生物湿重。

Fig. 11 Canonical correspondence analysis (CCA) of fish eggs (a) and larvae (b) during the main spawning period and environmental factors

SST: sea surface temperature; SSS: sea surface salinity; Depth: sea water depth; RD: monthly discharge of the Liao River; WW: wet weight.

卵和斑鲷、鲢、赤鼻棱鳀仔稚鱼分布与 SST 正相关, 蓝点马鲛鱼卵和方氏云鳉、玉筋鱼仔稚鱼分布与 SST 负相关(图 11); 鳙、蓝点马鲛卵和鲢仔稚鱼分布与 SSS 正相关, 黄鲫卵和方氏云鳉、玉筋鱼仔稚鱼分布与 SSS 负相关; 蓝点马鲛、鳙卵和玉筋鱼仔稚鱼分布与 Depth 正相关, 黄鲫卵和赤鼻棱鳀、斑鲷仔稚鱼与 Depth 负相关(图 11); 黄鲫卵和斑鲷、鲢仔稚鱼分布与 WW 正相关, 短吻红舌鲷、鳙卵和方氏云鳉、玉筋鱼仔稚鱼分布与 WW 负相关(图 11)。

3 讨论

3.1 辽东湾北部海域鱼卵及仔稚鱼群落结构年内演替特征

辽东湾北部海域调查, 除 4 和 12 月外各调查月份均采集到浮性鱼卵, 而仔稚鱼在所有调查月份均有采集; 主要产卵期在 5 月下旬至 7 月下旬及 12 月, 期间共采集 35 种鱼类早期资源, 其中采集鱼卵占鱼卵采集总量的 94.75%, 仔稚鱼占采集总量的 93.95%。辽东湾北部海域的鱼类早期资源群落结构呈明显年内变化, 各月间种类更替率不

低于 50%, 鱼卵与仔稚鱼群落月间平均相异性不低于 71.20%, 群落结构呈现显著时序变动。辽东湾北部海域鱼类早期资源群落年内演替与黄海北部^[42]、渤海其他海湾^[43]乃至长岛毗邻海域^[44]观察到的群落演替规律相似, 在海表温主导下产卵鱼种适温属性呈现由暖温性至暖温性-暖水性向冷温性更替。4 月辽东湾水温普遍偏低, 玉筋鱼和方氏云鳉等冷温性鱼种占据优势。5—6 月是春季气候学上的快速升温期^[17], 鲢、鳙、蓝点马鲛、叫姑鱼和短吻红舌鲷等暖温性鱼类和黄鲫、赤鼻棱鳀等暖水性鱼类先后进入产卵盛期, 这一趋势与本海域历史调查数据结果基本一致^[24,27]; 鳙、黄鲫、蓝点马鲛、白姑鱼和叫姑鱼是此阶段的重要种, 同样鳙也为长岛毗邻水域^[44]和烟威近岸海域^[45]增温期的优势种。7—8 月鱼类早期资源种类组成趋于稳定, 且随着水温上升, 斑鲷和短吻红舌鲷等暖温性鱼种持续产卵繁殖, 但白姑鱼和斑鲷等暖温性鱼种产卵高峰期已过; 鳙结束产卵后向辽东湾湾口聚集索饵^[27], 鳙卵优势度大幅下降; 暖水性的小带鱼和少鳞鳉和暖温性半滑舌鲷等鱼种开始产卵活动; 鳙、赤鼻棱鳀、黄鲫等鱼卵种

类和资源密度变化显著影响海域鱼卵群落的结构更替,成为此阶段种类更替主要来源。9—10 月辽东湾北部海域水温逐渐下降,鲢和短吻红舌鲷仍有产卵活动,但资源密度已明显低于 7、8 月,鲢逐步向深水区洄游;此时海域水温适宜暖温性花鲈产卵繁殖^[46]。11—12 月辽东湾水温持续下降,鱼类早期资源开始向冷温性鱼种更替,浮性鱼卵采集量大幅减少。此时鱼类早期资源群落以大洮六线鱼、玉筋鱼等冷温性鱼种仔稚鱼为主,其产卵高峰集中在 12 月,产卵后亲鱼及孵化出的稚幼鱼均在近岸浅水区摄食育肥,随后逐步向深水区域迁移索饵^[47];虽然调查海域仍采集到少量鲢卵和短吻红舌鲷仔稚鱼,但冷温性鱼种已成为群落主体。

辽东湾渔业资源结构正处在持续演替过程中并具自身特点。自 20 世纪 90 年代来,鲢等经济鱼种在鱼类早期资源中的优势地位正在发生变化,全年综合其在调查海域鱼类早期资源群落中优势地位已不突出;短吻红舌鲷、蓝点马鲛等暖温性鱼种和黄鲫、赤鼻棱鲢等暖水种优势度显著上升。相较 1998^[24]和 2008 年^[7]调查,5 月调查虽采集鱼类早期资源种类数下降,但鱼卵和仔稚鱼资源密度均显著增加,尤其蓝点马鲛卵和鲢仔稚鱼资源密度增长明显;7—8 月间鱼卵和仔稚鱼种类与资源密度均大幅提升,尤其是短吻红舌鲷卵和赤鼻棱鲢、斑鲈仔稚鱼增长最为显著,但鲢卵资源密度下降明显;10 月辽东湾北部海域鱼卵和仔稚鱼种类和资源密度仍均较低,资源衰退趋势未见好转。自 2009 年起,因春汛期间蓝点马鲛亲体在进入辽东湾前已基本利用完毕,辽东湾蓝点马鲛资源曾连续 4 年未形成规模性渔汛,导致其在本海域的产卵活动明显减弱^[48];自 2015 年来 5—6 月蓝点马鲛鱼卵和仔稚鱼资源密度显著回升,可反映其种群已呈现阶段性恢复。据中国渔业统计年鉴(2016—2021),辽宁省鲢海洋捕捞产量从 2015 年 9.71 万 t 降至 2020 年 2.73 万 t,同期辽宁省海洋渔业机动渔船(国内捕捞)主机总功率数由 2015 年 9.73×10^5 kW 降至 2020 年的 8.79×10^5 kW,下降 9.62%;鲢渔获量降幅远超捕捞强度,说明该

海域鲢资源衰退严重。

3.2 辽东湾北部海域鱼卵及仔稚鱼时空分布特征及其环境主导因素

辽东湾北部 5 月下旬至 7 月下旬主要产卵场位于锦州湾至白砂湾以北的小凌河、大凌河、辽河和大辽河的河流入海口附近海域;12 月仔稚鱼密集区主要位于连山湾-太平湾以北海域。综合 Mantel 检验和 CCA 分析结果, RD 和 Depth 是影响鱼卵空间分布的主要环境因子。RD 和 SST 是导致仔稚鱼空间分布的关键因素。水温作为影响鱼类生理、生化过程及生活史的重要环境因子,在调控鱼类的性腺发育和诱导产卵繁殖中发挥着关键作用^[49]。4 月辽东湾北部海域平均 SST 低于 $9.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,呈现由东北向西南递减趋势,黄渤海主要资源种类还未洄游至辽东湾,导致鱼卵、仔稚鱼资源密度较低;5—6 月受陆地暖空气和水深双重影响^[50],辽东湾北部海域等温线几乎垂直于东西岸线,且呈现从湾底逐渐向湾口降低趋势;辽东湾北部海域鱼卵和仔稚鱼分布趋势与 SST 分布趋势基本一致,即鱼卵、仔稚鱼在湾底部近岸区域资源密度较高,而湾口部较低。7—8 月辽东湾北部海域 SST 升至全年最高值,仍呈近岸高于远岸趋势,鱼卵和仔稚鱼多集中分布在锦州湾-白砂湾以北海域,且该区域水温相对较高。9—10 月辽东湾北部海域 SST 逐渐下降,大部分鱼类产卵繁殖期已过,整个调查海域鱼卵、仔稚鱼资源密度较低,又因西北部海域降温快,鱼卵、仔稚鱼主要分布于锦州湾及连山湾东南 SST 相对较高的外海海域。11—12 月辽东湾北部海域 SST 持续下降,整体普遍较低,已不适合大多数产浮性鱼卵的暖温和暖水性鱼类产卵繁殖活动;产黏着沉性卵但具浮游生活仔稚鱼期的冷温性鱼类逐渐进入生殖期,浮性卵资源密度进一步下降直至消失,但仔稚鱼密度急剧上升。

辽河为注入辽东湾最大入海河流,其入海径流会引起辽东湾北部海域盐度梯度和营养盐的变化,进而间接影响不同适盐偏好鱼种产卵栖息地的选择,同时入海径流带来丰富营养盐类,使海域初级生产力升高^[51],进而促进浮游动物繁殖,

这为亲体繁殖和幼体生长发育提供了充足饵料;此外,河口海区复杂的水文条件又为仔稚鱼提供了良好的庇护场所^[52]。浮游动物为本研究浮游生物湿重(WW)的主要来源。辽东湾北部海域浮游动物种类丰富,各季节优势种呈现明显季节性更替特征。春季辽东湾浮游动物丰度相对较低,优势种以太平洋纺水蚤(*Acartia pacifica*)、小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)和中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)为主;夏秋季浮游动物的种类和数量显著增加,其中夏季以强壮滨箭虫(*Aidanosagitta crassa*)和长尾类幼虫(*Macrura larvae*)等为优势种;而秋季则以强壮滨箭虫与多毛类幼虫(*Polychaeta larvae*)为优势种类;冬季优势种类为强壮滨箭虫和中华哲水蚤^[53]。作为浮游动物群落主体的桡足类(如太平洋纺水蚤、小拟哲水蚤和中华哲水蚤等)和浮游幼虫则是鱼类早期发育阶段核心饵料资源^[54],进而辽东湾 WW 季节性变化直接影响鱼类早期资源补充成功率^[55]。4 月份冰雪消融,形成春汛^[56],海域 SSS 为 26.5~31.6,辽东湾湾底河口海域盐度较低,其余海域盐度相对较高且分布比较均匀;方氏云鳎仔稚鱼主要分布在辽河、大辽河入海口 SSS 在 26.5~29.2 区间海域。5 月至 6 月为汛前枯水期^[56],海域 SSS 为 28.5~31.7。河口性鲈产卵场分布在连山湾 SSS 为 28.8~31.5 水域;产卵适盐相对较高蓝点马鲛产卵场位于白砂湾、太平湾及辽东湾中南部湾口,SSS 在 31.4~31.7 区间深水区;产卵适盐较高鳀产卵场则分布在大小凌河入海口外及白砂湾,SSS 为 31.0~31.5 区间海域;短吻红舌鳎产卵场分布在白沙湾和太平湾,SSS 范围 27.5~31.5, SBS 范围 29.5~31.7 水域。7—8 月降水量最盛^[56]即辽河月入海径流量增长期,海域盐度梯度明显,SSS 在 22.9~30.2 之间。适盐范围较广短吻红舌鳎在辽河径流影响较大的区域繁殖,主要产卵场分布在辽河入海口附近海域;同时较大入海径流使辽东湾北部沿岸海域不再适宜鳀等适盐较高鱼类产卵繁殖,其产卵中心已迁移至远离河口盐度较高的复州湾或辽东湾中南部深水区。9—10 月为汛后期,辽河月入海径流量仍较高,海域盐度梯度仍然明显,SSS 在 23.8~32.0 区

间,半滑舌鳎产卵场分布在连山湾东部和南部海域,SSS 范围 29.4~31.9, SBS 范围 30.5~32.0 水域。11—12 月辽河流域积雪结冰进入封冻期^[56],海域盐度除河口邻近海域外,盐度梯度较小,SSS 范围在 24.9~31.8 之间,大辽六线鱼产卵场分布在白砂湾西部 SSS 范围 27.4~30.5、SBS 范围 30.0~30.5 水域。Depth 作为关键环境因子,通过影响水体的温度分层、盐度梯度、光照强度及营养物质分布等理化特征,调控浮游生物组成和生态系统结构,进而影响鱼类适宜产卵生境的空间格局^[57]。Depth 是物理环境的直接体现,同时作为生态过程的关键调控因子,在不同生态类群鱼类的产卵行为、空间分布及早期生活史过程形成中扮演着重要角色^[58]。不同生态习性鱼类产卵繁殖对水深(Depth)喜好表现出明显物种特异性,反映了其对环境条件的适应策略与生境偏好。其中底层鱼类产卵亲体(如叫姑鱼和短吻红舌鳎等)通常偏好 Depth 较大的近岸海域进行产卵,可通过特定水深选择来规避表层环境波动对产卵行为带来的风险,从而提高受精卵的成活率^[59],其鱼卵分布多与 Depth 呈正相关。因近岸浅水区高初级生产力能为中上层鱼类(如斑鲈、黄鲫)鱼类早期资源的发育和存活提供适宜生境^[60],其鱼卵分布多与 Depth 呈负相关。因辽东湾海域盐度^[61]和透明度^[62]随着 Depth 增加而升高,因而适盐度和透明度较高的鳀产卵场分布与 Depth 呈正相关,这也与于金珍等^[63]研究结果一致。

3.3 辽东湾北部海域主要鱼类早期资源种类适宜产卵生境

鳀作为海洋生态系统关键种,在食物网中占据重要营养级位置,是蓝点马鲛等高级肉食性鱼类的主要饵料来源^[64-65],属暖温性小型中上层鱼类^[45],在我国渤海、黄海、东海及南海海域均有记录^[66]。辽东湾北部海域产卵期集中在 5 月下旬至 6 月中旬,主要产卵场在辽河大辽河入海口附近海域,当辽河月径流量较大时,鱼卵和仔稚鱼的分布迁移至白砂湾东部甚至复州湾高盐海域。CCA 结果表明鳀卵分布与 SSS 呈正相关,与 SST 呈负相关,而鳀仔稚鱼分布与 SST 呈正相关,总

体偏好低温高盐环境 SST 16.9~22.7 °C; SSS 31.0~31.5; Depth 13.0~21.6 m。

蓝点马鲛作为我国近海重要的中上层暖温性经济鱼类^[67], 具有典型的肉食性特征和长距离洄游习性, 广泛分布于渤海、黄海至东海海域, 在海洋生态系统中占据重要位置^[68]。CCA 结果反映蓝点马鲛产卵偏好低温高盐产卵环境, 且其卵分布与 Depth 正相关; 适宜产卵 SST 20.7~22.5 °C, SSS 31.4~31.7, Depth 14.6~19.0 m; 主要产卵场位于大凌河、小凌河河流入海口外深水区。这与烟威近岸海域蓝点马鲛种群产卵特性^[45]相似, 但与象山港蓝点马鲛种群^[67]产卵适盐属性存在明显差异, 后者认为蓝点马鲛产卵需求相对低盐环境。

短吻红舌鲷作为亚热带及暖温带浅海底层鱼类^[59], 具有活动范围小、洄游距离短、围捕率高、环境适应能力强等特性^[69], 是重要的渔业资源种类之一, 在该海域生态系统中占据重要地位。辽东湾北部海域短吻红舌鲷适宜产卵 SST 22.5~28.6 °C, SBT 21.7~25.3 °C, SSS 27.5~31.5, SBS 29.5~31.7, Depth 5.4~21.7 m。主要产卵场位于辽河、大辽河口附近海域和白砂湾附近深水区。这和黄海近岸短吻红舌鲷产卵特性 (Depth 15.0~26.0 m、SST 29.0~32.0 °C、SSS 22.0~25.0)^[69]存在差异。

赤鼻棱鲢为产浮性卵的暖水性小型中上层鱼类, 辽东湾北部海域赤鼻棱鲢适宜产卵 SST 24.7~25.5 °C, SSS 26.4~27.7, Depth 5.4~11.8 m。主要产卵场位于辽河入海口的附近浅水海域。赤鼻棱鲢仔稚鱼与 SSS 显著负相关, 这与莱州湾赤鼻棱鲢的产卵适盐低^[43]的产卵特性一致。与胶州湾^[70]与莱州湾^[43]相比, 辽东湾赤鼻棱鲢产卵盛期为 6 月中旬至 7 月上旬, 分析主要辽东湾纬度偏高, 水温回升较慢, 从而导致其产卵盛期延后。

方氏云鲷为近岸集群性小型底层冷温性鱼类, 有季节性洄游的习性^[71], 常作为大型经济鱼类的饵料, 在食物链中起着承上启下的关键作用^[72], 对于鱼类群落结构的稳定性至关重要。方氏云鲷仔稚鱼是 4 月优势种和 12 月重要种。12 月份方氏云鲷仔稚鱼主要分布在白砂湾以北的海域和连山湾附近海域 (SST 范围为 5.4~9.5 °C, SBT 范围

为 4.8~9.5 °C, SSS 范围为 25.7~29.8, SBS 范围为 26.3~29.8, Depth 4.2~7.0 m)。4 月份辽河入海径流量较低, 此时方氏云鲷育幼场主要分布在辽河、大辽河入海口附近海域 (SST 范围为 8.5~9.4 °C, SBT 范围为 8.0~9.4 °C, SSS 范围为 26.5~29.6, SBS 范围为 27.6~29.7, Depth 2.8~7.0 m)。

4 小结

辽东湾北部海域鱼类早期资源在年内呈现明显的月际更替。鱼类主要产卵期集中在 5 月下旬至 7 月下旬及 12 月, 全年优势种不突出。在海水温度主导下, 自春至冬季主要产卵鱼类适温属性呈现暖温性—暖温性-暖水性共存—冷温性更替模式。5 月下旬至 7 月下旬主要产卵种类有鲢、蓝点马鲛、黄鲫、叫姑鱼和短吻红舌鲷等暖温性种类, 以及赤鼻棱鲢和白姑鱼等暖水性种类; 主要产卵场位于锦州湾至白砂湾以北的小凌河、大凌河、辽河和大辽河的河流入海口附近海域; 仔稚鱼则主要在分布在大小凌河、辽河和大辽河入海口附近海域。12 月主要为方氏云鲷和玉筋鱼等冷温性种类为主, 产卵中心 (仔稚鱼密集区) 主要分布在连山湾-太平湾以北的海域。辽河月径流量和水深是导致鱼卵群落结构时空变化主要环境因子; 辽河月径流量和海表温是导致仔稚鱼群落结构时空变化主要环境因子。海表温对于调查海域鱼类早期资源时空分布具有重要的影响, 并主导产卵鱼种适温属性由暖温性至暖温性-暖水性向冷温性更替。辽河月径流量主导海域盐度梯度和营养盐的丰富程度进而间接影响鱼卵仔稚鱼时空分布。水深与水体理化特征和生物群落结构密切相关, 显著影响鱼类产卵场选择。相较历史调查, 鲢在鱼类早期资源群落中优势度下降, 而蓝点马鲛、鲮、斑鲹、短吻红舌鲷等经济种类优势度呈上升趋势。

科学合理的渔业管理对维持该海域鱼类种群稳定具有重要意义。自 2017 年始, 黄渤海伏季休渔期起始时间提前至 5 月 1 日, 本调查发现对比 2015、2016 年同期, 2021 年的斑鲹、蓝点马鲛、赤鼻棱鲢、黄鲫资源密度有所回升, 可见实施伏季休渔等渔业管理措施对鱼类早期资源恢复起到

了积极作用。然而, 在环境变化和人类活动的双重扰动下, 辽东湾北部海域鱼类早期资源群落结构仍处于动态更替中, 部分传统优势种类如鲈等优势度下降明显, 应进一步关注环境变化对鱼类繁殖策略的影响, 以支持可持续渔业管理和渔业资源保育。

致谢: 谨向‘鲁昌渔 64756/65678 号’及‘中渔科 102 号’船长和轮机长等致以诚挚谢意, 感谢他们在出海工作中所给予的悉心支持与积极配合。同时, 衷心感谢黄海水产研究所渔业资源生态学团队张雨轩、位明、王惠宾和王凯传等诸位科研人员在调查采样期间所付出的辛勤努力与重要贡献; 感谢项目助理张晓燕在调查资料整理过程中提供的帮助。

参考文献:

- [1] Wang X L, Ji G, Zhang Y J, et al. Seasonal variation characteristics of fish community structure in Liaodong Bay[J]. Fisheries Science, 2023, 42(6): 996-1005. [王小林, 吉光, 张怡晶, 等. 辽东湾鱼类群落结构的季节变化特征[J]. 水产科学, 2023, 42(6): 996-1005.]
- [2] Fang Z G, Mu Y X. Research in the trend of Eutrophication in Liaodong Bay of the Bohai Sea[J]. Environmental Protection Science, 2001, 27(3): 15-17. [方志刚, 穆云侠. 渤海辽东湾富营养化的趋势研究[J]. 环境保护科学, 2001, 27(3): 15-17.]
- [3] Zhang X L. The analysis of summer circulation of the Bohai Sea[D]. Qingdao: First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, 2015. [张晓璐. 渤海夏季环流结构研究[D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所, 2015.]
- [4] Wang K, Wu J, Du J, et al. Distribution of chlorophyll-a concentration in sea waters of Liaodong Bay in summer and winter[J]. Fisheries Science, 2016, 35(6): 675-680. [王昆, 吴景, 杜静, 等. 夏季和冬季辽东湾海域水体中叶绿素 a 含量分布特征[J]. 水产科学, 2016, 35(6): 675-680.]
- [5] Shuang X Z. Study on phytoplankton community structure in western waters of Liaodong Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011. [双秀芝. 辽东湾西部海域浮游植物群落结构研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.]
- [6] Mei X, Meng X J, Wang Z B, et al. Abundance and community structure of the phytoplankton in surface sediments recorded by biomarkers from Liaodong Bay[J]. Marine Geology Frontiers, 2019, 35(2): 10-17. [梅西, 孟祥君, 王中波, 等. 辽东湾表层沉积物中生物标志物记录的浮游藻类生物量和群落组成特征[J]. 海洋地质前沿, 2019, 35(2): 10-17.]
- [7] Yu X G, Dong J, Li Y P, et al. Species composition and protection of fish eggs and larvae in the coastal waters in Liaodong Bay[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2018, 33(3): 370-378. [于旭光, 董婧, 李轶平, 等. 辽东湾近海鱼卵、仔稚鱼种类组成和保护分析[J]. 大连海洋大学学报, 2018, 33(3): 370-378.]
- [8] Wan R J, Jiang Y W. 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. [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.]
- [9] Bian X D, Wan R J, Shan X J, et al. Preliminary analysis on recruitment variation and the exogenous driving factors to early life stages of small pelagic fishes in the Laizhou Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(3): 446-468. [卞晓东, 万瑞景, 单秀娟, 等. 莱州湾中上层小型鱼类早期资源量动态及其外在驱动因素[J]. 中国水产科学, 2022, 29(3): 446-468.]
- [10] Alderdice D F, Forrester C R. Some effects of salinity and temperature on early development and survival of the English sole (*Parophrys vetulus*)[J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1968, 25(3): 495-521.
- [11] Alderdice D F, Velsen F P J. Some effects of salinity and temperature on early development of Pacific herring (*Clupea pallasii*)[J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1971, 28(10): 1545-1562.
- [12] Bunn N A, Fox C J, Webb T. A literature review of studies on fish egg mortality: implications for the estimation of spawning stock biomass by the annual egg production method[R]//CEFAS. Science Series Technical Report. Lowestoft, 2000: 1-37.
- [13] Miller, B S, Kendall A W. Early Life History of Marine Fishes[M]. Berkeley: University of California Press, 2009: 1-376.
- [14] Sun K, Xu B. Analysis of the fishery resources drying up in Liaodong[J]. Journal of Liaoning University(Philosophy and Social Sciences), 2007, 35(2): 108-112. [孙康, 徐斌. 辽东湾渔业资源枯竭原因探究[J]. 辽宁大学学报(哲学社会科学版), 2007, 35(2): 108-112.]
- [15] Qin Y W, Zheng B H, Zhang L, et al. Pollution characteristics analysis of water quality in Liaodong Bay from 2004 to 2008[J]. Research of Environmental Sciences, 2010, 23(8): 987-992. [秦延文, 郑丙辉, 张雷, 等. 2004—2008 年辽东湾水质污染特征分析[J]. 环境科学研究, 2010, 23(8): 987-992.]
- [16] Ma Z Q, Zhou Z C, Xue K, et al. The relationship between the primary production and fishery resources in the northern waters of Liaodong Bay[J]. Fisheries Science, 2004, 23(4): 12-15. [马志强, 周遵春, 薛克, 等. 辽东湾北部海区初级生产力与渔业资源的关系[J]. 水产科学, 2004, 23(4): 12-

- 15.]
- [17] Zhao J, Zhang X M, Bian X D, 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. [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(自然科学版), 2011, 41(11): 34-42.]
- [18] Wang A Y, Wan R J, Jin X S. Decadal variations of ichthyoplankton biodiversity in spring in Laizhou Bay of the Bohai Sea[J]. Progress in Fishery Sciences, 2010, 31(1): 19-24. [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.]
- [19] Zhao C Y. Preliminary study on several ecological issues of small yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis* Bleeker) eggs and larvae in the Bohai Sea[A]. In: Editorial Committee of the 1962 Symposium on Marine Fishery Resources (Ed.), Selected Papers on Marine Fishery Resources[C]. Beijing: Agricultural Press, 1965, 12-19. [赵传纲. 渤海小黄鱼鱼卵、幼鱼生态学几个问题的初步研究[A]. 1962 年海洋渔业资源学术会议论文编审委员会, 海洋渔业资源论文选集[C]. 北京: 农业出版社, 1965, 12-19.]
- [20] Liu X S. The geographic race and gonad research of small yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis* Bleeker) [A]. Proceedings of the Seventh Meeting of the Western Pacific Fisheries Research Council[C], Beijing, Science Press, 1966, 35-70. [刘效舜. 小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis* Bleeker) 地理族及性腺的研究[A]. 太平洋西部渔业研究委员会第七次全体会议论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1966, 35-70.]
- [21] Dalian Fisheries Experimental Station. Survey report on the spawning grounds of the yellow croaker[R]. 1953: 1-30. [大连水产试验场. 黄花鱼产卵场调查报告[R]. 1953: 1-30.]
- [22] Jiang Y W, Wan R J, Chen R S. Investigation of eggs and larvae of Osteichthyes in the Bohai Sea[J]. Marine Fisheries Research, 1988, 9: 121-149. [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.]
- [23] 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.]
- [24] Cheng J S. Ecological Environment and Biological Communities in Offshore Waters of the Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Qingdao: Ocean University of China Press, 2004. [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.]
- [25] Jin X S. Current Status and Future Perspectives of Fishery Stock Enhancement in the Yellow and Bohai Seas, China[M]. Beijing: Science Press, 2014. [金显仕. 黄渤海渔业资源增殖基础与前景[M]. 北京: 科学出版社, 2014.]
- [26] Bian X D, Wan R J, Shan X J, et al. Temporal variation of the early life stages of marine fish assemblage structure and abundance in the Bohai Bay[J]. Progress in Fishery Sciences, 2024, 45(3): 1-30. [卞晓东, 万瑞景, 单秀娟, 等. 渤海湾鱼类早期资源群落结构特征及其时间变化研究[J]. 渔业科学进展, 2024, 45(3): 1-30.]
- [27] Dong J, Liu X Z, Wang A Y. Fishery Resources in Coastal Waters and Estuarine Areas in Liaoning Province [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2018. [董婧, 刘修泽, 王爱勇. 辽宁近海与河口区渔业资源[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.]
- [28] Bian X D, Wan R J, Jin X S, 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. [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.]
- [29] Zhang R Z, Lu S F, Zhao C Y, et al. Fish Eggs and Larvae in the Offshore Waters of China[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Press, 1985. [张仁斋, 陆穗芬, 赵传纲, 等. 中国近海鱼卵与仔鱼[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.]
- [30] Muneo Okiyama. An Atlas of Early Stage Fishes in Japan (Second Edition)[M]. Tokyo: Tokai University Press, 2014. [冲山宗雄. 日本产稚鱼图鉴(第二版)[M]. 东京: 东海大学出版社, 2014.]
- [31] Wan R J, Zhang R Z. Fish Eggs and Larvae in the Offshore Waters of China[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Press, 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.]
- [32] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. California Department of Fish and Game, Fish Bulletin, 1971, 152: 1-105.
- [33] Bian X D, Zhang X M, Gao T X, 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. [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.]
- [34] Crona B I, Holmgren S, Rönnbäck P. Re-establishment of epibiotic communities in reforested mangroves of Gazi Bay, Kenya[J]. Wetlands Ecology and Management, 2006, 14(6): 527-538.
- [35] Khalaf M A, Kochzius M. Changes in trophic community structure of shore fishes at an industrial site in the Gulf of Aqaba, Red Sea[J]. Marine Ecology Progress Series, 2002, 239: 287-299.

- [36] Ter Braak C J F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis[J]. *Ecology*, 1986, 67(5): 1167-1179.
- [37] Yang Y S, Li Y Y, Song C, et al. Analysis of β -diversity patterns of macrobenthic communities and their drivers in spring and fall in the Oujiang River estuary[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2024, 55(6): 1478-1487. [杨玉澍, 李茵茵, 宋晨, 等. 瓯江口春秋两季大型底栖动物群落 β 多样性格局及其驱动因素分析[J]. *海洋与湖沼*, 2024, 55(6): 1478-1487.]
- [38] Lopes M R M, Bicudo C E D M, Ferragut M C. Short term spatial and temporal variation of phytoplankton in a shallow tropical oligotrophic reservoir, southeast Brazil[J]. *Hydrobiologia*, 2005, 542(1): 235-247.
- [39] Belsley D A, Kuh E, Welsch R E. Regression Diagnostics: Identifying Influential Data and Sources of Collinearity[M]. New York: John Wiley and Sons, 1980.
- [40] Flores L N, Barone R. Phytoplankton dynamics in two reservoirs with different trophic state (Lake Rosamarina and Lake Arancio, Sicily, Italy)[J]. *Hydrobiologia*, 1998, 369: 163-178.
- [41] Muylaert K, Sabbe K, Vyverman W. Spatial and temporal dynamics of phytoplankton communities in a freshwater tidal estuary (Schelde, Belgium)[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2000, 50(5): 673-687.
- [42] Cui P D, Bian X D, Zhang Y X, et al. Distribution patterns and influencing factors of *Engraulis japonicus* spawning grounds in offshore waters of the Liaoning Province in the North Yellow Sea[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2024, 45(3): 31-45. [崔培东, 卞晓东, 张雨轩, 等. 黄海北部辽宁近岸海域鳀产卵场分布特征及其影响因素[J]. *渔业科学进展*, 2024, 45(3): 31-45.]
- [43] Bian X D, Wan R J, Jin X S, et al. Early life resources assemblage structure and succession to the marine Osteichthyes in the Laizhou Bay of Bohai Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2022, 46(1): 51-72. [卞晓东, 万瑞景, 金显仕, 等. 渤海莱州湾硬骨鱼类早期资源群落结构及演变[J]. *水产学报*, 2022, 46(1): 51-72.]
- [44] Zhang Y X, Shan X J, Bian X D, et al. Early life resources community structure and functional diversity to the Osteichthyes in the waters adjacent to the Changdao Islands[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2024, 45(5): 64-81. [张雨轩, 单秀娟, 卞晓东, 等. 长岛毗邻水域硬骨鱼类早期资源群落结构及功能多样性[J]. *渔业科学进展*, 2024, 45(5): 64-81.]
- [45] Zhang Y X, Bian X D, Shan X J, et al. Community structure and suitable habitat for the early life stages of marine fish in the Yantai-Weihai offshore waters[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2022, 43(6): 148-167. [张雨轩, 卞晓东, 单秀娟, 等. 烟威近岸海域鱼类早期资源群落结构及适宜产卵生境[J]. *渔业科学进展*, 2022, 43(6): 148-167.]
- [46] Zhao C Y. Marine Fishery Resources of China[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1990. [赵传纲. 中国海洋渔业资源[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990.]
- [47] Chen C H. *Ammodytes personatus* resources in the Yellow Sea and its sustainable utilization[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2004, 28(5): 603-607. [陈昌海. 黄海玉筋鱼资源及其可持续利用[J]. *水产学报*, 2004, 28(5): 603-607.]
- [48] Qin Y B, Li Y P, Yu X G, et al. The status of Liaoning marine fishing industry in central and southern Yellow Sea[J]. *Fisheries Science*, 2013, 32(8): 492-496. [秦宇博, 李铁平, 于旭光, 等. 辽宁省渔船在黄海中南部捕捞生产现状的分析[J]. *水产科学*, 2013, 32(8): 492-496.]
- [49] Wen H S, Lin H R. Effect of environmental factors on gonadal maturation as well as its ovulation and spawning in teleosts[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(1): 151-155. [温海深, 林浩然. 环境因子对硬骨鱼类性腺发育成熟及其排卵和产卵的调控[J]. *应用生态学报*, 2001, 12(1): 151-155.]
- [50] Zhao B R, Zhuang G W, Cao D M, et al. Circulation, tidal residual currents and their effects on the sedimentations in the Bohai Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1995, 26(5): 466-473. [赵保仁, 庄国文, 曹德明, 等. 渤海的环流、潮流及其对沉积物分布的影响[J]. *海洋与湖沼*, 1995, 26(5): 466-473.]
- [51] Gong Y. Numerical simulation study on the spatiotemporal distribution of nutrients and phytoplankton in the Liao River estuary[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2024. [弓耘. 辽河口营养盐及浮游植物时空分布数值模拟研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2024.]
- [52] Castillo G C, Tempel T, Slater S B, et al. Community patterns and environmental associations for the early life stages of fishes in a highly transformed estuary[J]. *Estuaries and Coasts*, 2023, 46(2): 562-579.
- [53] Li J X, Zheng W J, Cai Z L, et al. Changes in the characteristics of zooplankton communities in response to shifts in the aquatic environment in the shallow waters of northern Liaodong Bay, China[J]. *Water*, 2024, 16(19): 2711.
- [54] Jin X S. Adaptive Strategies of Fishery Populations to Environmental Changes and their Impacts on Population Dynamics in the Baohai Sea. [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020. [金显仕. 渤海渔业种群对环境变化的适应性响应及资源效应[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.]
- [55] Cushing D H. Plankton production and year-class strength in fish populations: an update of the match/mismatch hypothesis[J]. *Advances in Marine Biology*, 1990, 26: 249-293.
- [56] Wang B, Zhang X H, He B Z. An analysis of hydrological character of the Liaohe River Basin[J]. *Water Resource and Hydropower of Northeast China*, 2002, 20(2): 22-24. [王兵, 张晓红, 何宝珠. 辽河流域水文特性浅析[J]. *东北水利水电*

- 电, 2002, 20(2): 22-24.]
- [57] 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.]
- [58] Liu X Z, Ji G, Wang X L, et al. Biological characteristics and spatio-temporal distribution of relative biomass of *Hexagrammos otakii* and relationships with the impact factors in Liaoning offshore[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, 29(12): 1704-1713. [刘修泽, 吉光, 王小林, 等. 辽宁海域大泷六线鱼的生物学特征、资源丰度时空分布及与环境因子的关系[J]. *中国水产科学*, 2022, 29(12): 1704-1713.]
- [59] 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.]
- [60] Li Q Q, Jiang R J, Zhao P, et al. Study on the potential suitable areas of *Setipinna taty* in Zhejiang coastal sea area based on MaxEnt model[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2025, 32(1): 93-102. [李齐群, 蒋日进, 赵芃, 等. 基于 MaxEnt 模型的浙江近岸黄鲫潜在适生区分布研究[J]. *中国水产科学*, 2025, 32(1): 93-102.]
- [61] Wang B, Dong J, Wang W B, et al. The quantity distribution of giant jellyfish and its relationship to seawater temperature and salinity in inshore waters of the northern Liaodong Bay region[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2012, 43(3): 568-578. [王彬, 董婧, 王文波, 等. 辽东湾北部近海大型水母数量分布和温度盐度特征[J]. *海洋与湖沼*, 2012, 43(3): 568-578.]
- [62] Xue Y H, Xiong X J, Liu Y Q. Distribution features and seasonal variability of the transparency in offshore waters of China[J]. *Advances in Marine Science*, 2015, 33(1): 38-44. [薛宇欢, 熊学军, 刘衍庆. 中国近海海水透明度分布特征与季节变化[J]. *海洋科学进展*, 2015, 33(1): 38-44.]
- [63] Yu J Z, Zhang Y W, Bian X D, et al. Key impact factor identification and future distribution prediction of the anchovy spawning ground in the Bohai Sea[J]. *China Environmental Science*, 2020, 40(5): 2214-2221. [于金珍, 张燕伟, 卞晓东, 等. 渤海鲱鱼产卵场关键影响因素识别及变迁预测[J]. *中国环境科学*, 2020, 40(5): 2214-2221.]
- [64] Liu H, Zhang W C, Li W J, et al. Distribution and early growth characteristics of anchovy eggs, larvae and juveniles in the central Yellow Sea in summer[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2024, 33(1): 172-185. [柳昊, 张文超, 李文甲, 等. 黄海中部夏季鲱鱼卵、仔稚鱼分布与早期生长特征[J]. *上海海洋大学学报*, 2024, 33(1): 172-185.]
- [65] Tang Q S, Su J L, Sun S, et al. A study of marine ecosystem dynamics in the coastal ocean of China[J]. *Advance in Earth Science*, 2005, 20(12): 1288-1299. [唐启升, 苏纪兰, 孙松, 等. 中国近海生态系统动力学研究进展[J]. *地球科学进展*, 2005, 20(12): 1288-1299.]
- [66] Zheng Y J, Li J S, Zhang Q Y, et al. Research progresses of resource biology of important marine pelagic food fishes in China[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(1): 149-160. [郑元甲, 李建生, 张其永, 等. 中国重要海洋中上层经济鱼类生物学研究进展[J]. *水产学报*, 2014, 38(1): 149-160.]
- [67] Song C, Wang Y T, Liu Z L, et al. Relationship between environmental factors and distribution of *Scomberomorus niphonius* eggs, larvae, and juveniles in Xiangshan Bay[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(5): 1197-1204. [宋超, 王宇坛, 刘尊雷, 等. 象山港蓝点马鲛鱼卵、仔稚鱼的时空分布特征及其与环境因子关系[J]. *中国水产科学*, 2016, 23(5): 1197-1204.]
- [68] Wang K D, Yu H M, Yu H Q, et al. Relationship between population dynamics of *Scomberomorus niphonius* and SST in Bohai Sea and Yellow Sea[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2019, 49(12): 31-40. [王凯迪, 于华明, 于海庆, 等. 黄渤海蓝点马鲛种群变动与海表面温度的关系[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2019, 49(12): 31-40.]
- [69] Wan R, Zhang T Z, Li Z G, et al. Spatial distribution and inter-annual variability of spawning grounds of *Cynoglossus joyneri* in the Yellow Sea coastal waters in summer[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(3): 1023-1032. [万荣, 张同征, 李增光, 等. 黄海近岸海域短吻红舌鲷夏季产卵场的空间分布及其年际变化[J]. *应用生态学报*, 2020, 31(3): 1023-1032.]
- [70] Zhang X W, Chen Z R, Ruan H C, et al. On the development of the eggs and larvae of *Thrissa kammalensis* and *Thrissa mystax*[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1982, 28(2): 183-189. [张孝威, 陈真然, 阮洪超, 等. 赤鼻稜鯧、中颌稜鯧卵子和仔稚鱼的发育[J]. *动物学报*, 1982, 28(2): 183-189.]
- [71] Bi Y P. Biology and its fishery of Fang's blenny *Enedrias fangi* Wang et Wang in offshore in Liaoning Province[J]. *Fisheries Science*, 2005, 24(9): 27-28. [毕远溥. 方氏云鳚渔业生物学及其在辽宁沿海的渔业[J]. *水产科学*, 2005, 24(9): 27-28.]
- [72] Huang X X, Zeng X Q, Zhang C. The reproductive biology of *Enedrias fangi* in the inshore waters of Qingdao[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2010, 40(8): 55-59. [黄晓璇, 曾晓起, 张驰. 青岛近海方氏云鳚繁殖生物学的初步研究[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2010, 40(8): 55-59.]

Community structure of early life stage fish resources and its relationships with environmental factors in northern Liaodong Bay

LI Xuening^{1,2}, BIAN Xiaodong^{2,3*}, LI Xun², SUN Ming⁴, Shan Xiujuan^{2,3}, LI Zhao²

1. Shanghai Ocean University, College of Marine Living Resources and Management, Shanghai 201306, China;

2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; State Key Laboratory of Mariculture Biobreeding and Sustainable Goods; Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Qingdao 266071, China;

3. National Field Observation and Research Center for Fisheries Resources in Changdao Waters, Yantai 265800, China;

4. Shandong Modern Fisheries Corporation, Yantai 264003, China

Abstract: To understand current status of fish spawning and suitable spawning habitats in northern Liaodong Bay, this study utilized data from 14 surveys on fish eggs and larvae. Cluster analysis, non-metric multidimensional scaling (NMDS), and similarity percentage analysis (SIMPER) were applied to characterize the community structure of fish eggs and larvae. Canonical correspondence analysis (CCA) and Mantel tests were used to explore the spatial-temporal distribution patterns of ichthyoplankton and their relationships with environmental variables, including sea surface and bottom temperature (SST and SBT), sea surface and bottom salinity (SSS and SBS), depth, monthly runoff of the Liao River (RD), and plankton wet weight (WW). A total of 51 fish species at early life stages were identified and recorded during the survey period. The community structure of fish eggs and larvae exhibited significant monthly succession, with species turnover rates exceeding 50% and average monthly dissimilarity over 71.2%. NMDS and month-based cluster analyses revealed that fish eggs could be classified into three groups, while larvae could be divided into four groups. The major spawning period in the northern Liaodong Bay occurred from late May to late July and in December. No single species overwhelmingly dominated the early life stage assemblages. The primary spawning species included *Pholis fangi*, *Ammodytes personatus*, *Planilaza haematocheilus*, *Konosirus punctatus*, *Engraulis japonicus*, *Scomberomorus niphonius*, *Thryssa kammalensis*, *Setipinna tenuifilis*, *Johnius grypotus*, and *Cynoglossus joyneri*. From late May to late July, the main spawning grounds were concentrated near the estuarine areas of the Xiaoling, Daling, Liao, and Daliao rivers, from Jinzhou Bay to the north of Baisha Bay. In December, larvae were mainly concentrated in the waters north of Lianshan Bay to Taiping Bay. SST, RD, and Depth were identified as the key environmental factors affecting the spatio-temporal variation of fish early life stage communities. SST had a particularly important influence, driving seasonal shifts in dominant spawning species, with temperature preferences shifting from warm-temperate to warm-temperate & warm-water and eventually to cold-temperate types. The spatial distributions of *S. tenuifilis* and *J. grypotus* eggs, as well as *K. punctatus*, *T. kammalensis*, and *P. haematocheilus* larvae, were positively correlated with SST, while the densities of *E. japonicus*, *S. niphonius* eggs and *P. fangi*, *A. personatus* larvae showed negative correlations with SST. RD influenced the gradient of salinity and nutrient levels, indirectly affecting the distribution of fish eggs and larvae. The distributions of *C. joyneri*, *J. grypotus* eggs and *K. punctatus*, *P. fangi*, *T. kammalensis* larvae were positively correlated with RD, whereas *S. niphonius* eggs and *A. personatus* larvae were negatively correlated. Depth was closely related to the physical-chemical characteristics of the water column and the structure of biological communities, significantly affecting fish spawning ground selection. *J. grypotus*, *C. joyneri* eggs and *P. haematocheilus* larvae were positively associated with depth, whereas *S. tenuifilis* eggs and *K. punctatus*, *T. kammalensis* larvae showed negative correlations. This study provides baseline data for the evaluation and conservation of early life stages of fish in Liaodong Bay.

Key words: Liaodong Bay; early life stage fish resources; species composition; community structure; environmental factors; suitable spawning habitat

Corresponding author: BIAN Xiaodong. E-mail: bianxd@ysfri.ac.cn