

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20220128001

http://www.yykxjz.cn/

张雨轩, 卞晓东, 单秀娟, 金显仕, 王惠宾. 烟威近岸海域鱼类早期资源群落结构及适宜产卵生境. 渔业科学进展, 2022, 43(6): 148–167

ZHANG Y X, BIAN X D, SHAN X J, JIN X S, WANG H B. Community structure and suitable habitat for the early life stages of marine fish in the Yantai-Weihai offshore waters. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(6): 148–167

烟威近岸海域鱼类早期资源群落结构 及适宜产卵生境*

张雨轩^{1,2,3} 卞晓东^{1,2①} 单秀娟^{1,2} 金显仕^{1,2} 王惠宾¹

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室 山东省渔业资源与生态环境重点实验室 山东 青岛 266071; 2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 山东 青岛 266071; 3. 上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306)

摘要 烟威近岸海域是历史上重要的鲈(*Scomber japonicus*)产卵场之一,或囿于对其“过路渔场”的认知,近年来对该海域鱼类产卵场的研究相对较少。为了解烟威近岸海域鱼类产卵场现状,于2020年4—9月对该海域开展逐月产卵场调查,基于鱼卵、仔稚鱼及环境数据,运用空间插值、聚类分析、非度量多维标度排序、相似性分析和冗余分析(RDA)等方法对该海域鱼类早期资源时空分布、群落结构月度更替及主要种类适宜产卵生境进行了综合分析。结果显示,2020年4—9月于烟威近岸海域采集到鱼类早期资源种类52种,包括33种鱼类的337 038粒鱼卵和28种鱼类的2122尾仔稚鱼;5—6月为主要产卵期,共有21种鱼卵出现,鱼卵数量占全年鱼卵总数的98.32%,主要产卵场位于烟台套子湾至威海鸡鸣岛北部海域,主要产卵种类为鳀(*Engraulis japonicus*)、鲈、蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)、高眼鲷(*Cleisthenes herzensteini*)、黄条鲷(*Seriola lalandi*)、绯鲷(*Callionymus beniteguri*)、少鳞鳕(*Sillago japonica*)、黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)、短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)、长蛇鲷(*Saurida elongata*)等;烟威近岸海域鱼卵与仔稚鱼群落结构年内变化明显,除产卵末期(8—9月)外,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73%;海表温度(SST)、海底温度(SBT)、海表盐度(SSS)和深度(DEP)是显著影响4—9月主要鱼种产卵选择的环境因子。研究表明,烟威近岸海域为黄渤海规模较大的鱼类产卵场之一,需在鱼类早期生活史研究与产卵场养护策略制定时得到足够重视。

关键词 烟威近岸海域; 产卵场; 鱼卵仔稚鱼; 群落结构; RDA

中图分类号 S931 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2022)06-0148-20

* 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”重点专项(2018YFD0900903)、农业农村部财政项目“黄渤海产卵场调查”(125C0505)、国家自然科学基金项目(41506168)、山东省泰山学者专项基金(tsqn202103135)和黄渤海渔业资源与生态创新团队(2020TD01)共同资助 [This work was supported by National Key Research and Development Plan Blue Granary Science and Technology Innovation Special Project of China (2018YFD0900903), Special Financial Fund of Spawning Ground Survey in the Bohai Sea and the Yellow Sea of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs (125C0505), National Natural Science Foundation of China (41506168), Special Fund of the Taishan Scholar Project (tsqn202103135), and Innovation Team of Fishery Resources and Ecology in the Yellow Sea and Bohai Sea (2020TD01)]. 张雨轩, E-mail: zyx17853532606@163.com

① 通信作者: 卞晓东, 副研究员, E-mail: bianxd@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2022-01-28, 收修改稿日期: 2022-03-15

渔业种群资源量的变动主要是由其补充量来决定, 海洋鱼类通过繁殖、发育和生长使种群因自然死亡和捕捞死亡而导致的减损得到补偿(Hutchings *et al.*, 2004)。产卵场是海洋水产动物早期生活史阶段的重要栖息地, 鱼类产卵场的生境条件影响了鱼卵及仔稚鱼种类、数量和生长发育状况, 进而对海洋鱼类补充量产生重要影响(卞晓东等, 2018; Beaugrand *et al.*, 2003)。因此, 对产卵场开展鱼卵、仔稚鱼及环境调查, 可以从鱼类早期生活史视角探寻渔业资源种类组成及补充状况。

烟威近岸海域鱼类产卵场研究始于 1953 年新中国首次海洋渔场综合调查“烟、威海区鲈鱼渔场调查”(朱树屏, 1959), 该调查探明了烟威渔场地理、水文和浮游生物等环境状况, 证实了烟威近岸海域存在重要的鲈(*Scomber japonicus*)产卵场。1985—1988 年, 中国水产科学研究院黄海水产研究所于黄海开展了大范围、多航次鱼卵和仔稚鱼调查采集工作, 其中于 121°~124°30'E、37°~38°N 范围内设置 39 个站位, 覆盖整个烟威近岸海域。调查发现, 烟威渔场西北部为鱼卵密集分布区, 5 月盛期主要产卵种类为鳀(*Engraulis japonicus*)、多鳞鱈(*Sillago sihama*)、鱈科(*Callionymidae*)、长蛇鲭(*Saurida elongata*)和远东拟沙丁鱼(*Sardinops sagax*)等; 通过对比烟威渔场与黄海其他渔场鱼卵数量与产卵场密集区范围, 得出烟威渔场内产卵场不稳定、“过路渔场”属性显著的结论(万瑞景等, 1998)。1997—2001 年, 对黄渤海近岸包括烟威近岸海域的生态环境与生物群落结构开展全面研究(卞晓东, 2018), 但调查月份(2、5、8 和 10 月)未涵盖主要产卵季节。2014—2018 年, 再次于山东半岛北部烟威近岸海域开展了主要产卵季节(4—7 月)鱼类早期补充现状调查工作(卞晓东, 2018), 但所设站位也不能很好地阐明产卵场分布状况。或囿于对其“过路渔场”的认知, 烟威近岸海域产卵场近年来未受到足够重视, 少有研究对该产卵场鱼卵和仔稚鱼种类、数量、分布及群落结构现状进行系统阐述。

烟威近岸海域为多种经济鱼类亲体生殖洄游进入渤海和其幼体索饵洄游出渤海的重要通道, 渔业资源种类多达 67 种(张玉钦等, 2019)。春季鱼类产卵群体在烟威渔场温盐锋面两侧集群, 待机洄游进入渤海或沿岸各海湾产卵; 夏季该海域初级生产力亦为黄海较高水平, 为各种仔稚鱼的生长发育提供了良好的生境条件(金显仕等, 2005; 张孝威等, 1959)。作为黄渤海鱼类生殖洄游的重要通道和毗邻海域渔业资源补充的重要海域, 开展烟威近岸海域产卵场现状调查对摸清水域内主要种类的产卵期、产卵场范围和其补充

能力以及洄游性鱼类迁徙路线的研究均具有重要意义, 而站位广覆盖的逐月产卵场调查则是剖析烟威近岸海域产卵场现状的首要条件。因此, 本研究基于 2020 年 4—9 月烟威近岸海域 36 站位逐月调查采集的鱼卵、仔稚鱼及环境数据, 分析该海域鱼卵、仔稚鱼群落结构和数量分布特征及月际变动, 获取烟威近岸海域鱼类产卵场现状新认知, 为黄渤海鱼类早期资源养护和产卵场保护策略制定提供生态学基础。

1 材料与方法

1.1 数据采集和样品分析

2020 年 4—9 月, 中国水产科学研究院黄海水产研究所于烟威近岸海域开展了共 6 航次、每航次 36 站位的逐月产卵场调查(图 1), 调查船为中渔科 101/102 号。调查时间分别为 4 月底(4 月 22 日—5 月 1 日)、5 月底—6 月初(5 月 30 日—6 月 9 日)、6 月底(6 月 25—30 日)、7 月中旬(7 月 12—20 日)、8 月下旬(8 月 16—25 日)和 9 月中下旬(9 月 16—25 日), 调查采集到 4—9 月期间各月的鱼卵、仔稚幼鱼、海水表层温度、海水表层盐度、水深、叶绿素、浮游动植物及 5 项营养盐数据。海上调查流程严格遵守《海洋调查规范—海洋生物调查》(GB/T 12763.6-2007)。各航次鱼卵和仔稚鱼采样操作均保持一致, 即每个调查站位通过大型浮游生物网(网口内径 0.8 m, 网长 2.7 m, 网目孔径 0.505 mm)于海水表层水平拖网采集 1 次, 每次以 2 n mile/h 拖速拖行 10 min, 并系网口流量计以计算滤水量。浮游动植物则分别采用浅水 II 型网(网口内径 0.316 m, 网目孔径 0.160 mm)和浅水 III 型网(网口内径 0.370 m, 网目孔径 0.070 mm)由海水底层垂直向上采集。表层叶绿素则通过采集 500 mL 表层海水后, 抽滤至玻璃纤维滤膜(孔径 0.7 μm), 于 -20℃ 冷冻保存。表、底层海水温度和盐度通过美国 Seabird 19 plus 或德国 Sea & Sun Technology CTD 60M 温盐深仪采集, 将海面向下 0.5 m 判定为表层海水, 海底向上 0.5 m 判定为底层海水。各采样点的海水深度通过船载声呐获取。

鱼卵、仔稚鱼和浮游动植物样品采集后, 5% 海水甲醛溶液固定。鱼卵和仔稚鱼样品全样本分析, 体视显微镜下经形态学鉴定并反复核实, 参照张仁斋等(1985)、冲山宗雄(2014)和万瑞景等(2016), 确认至每一物种单元, 并按种类及其发育阶段分别记录个体数, 分析过程严格遵守《海洋调查规范—海洋生物调查》(GB/T 12763.6-2007), 物种学名引自 World Register of Marine Species (WoRMS, <https://www.>

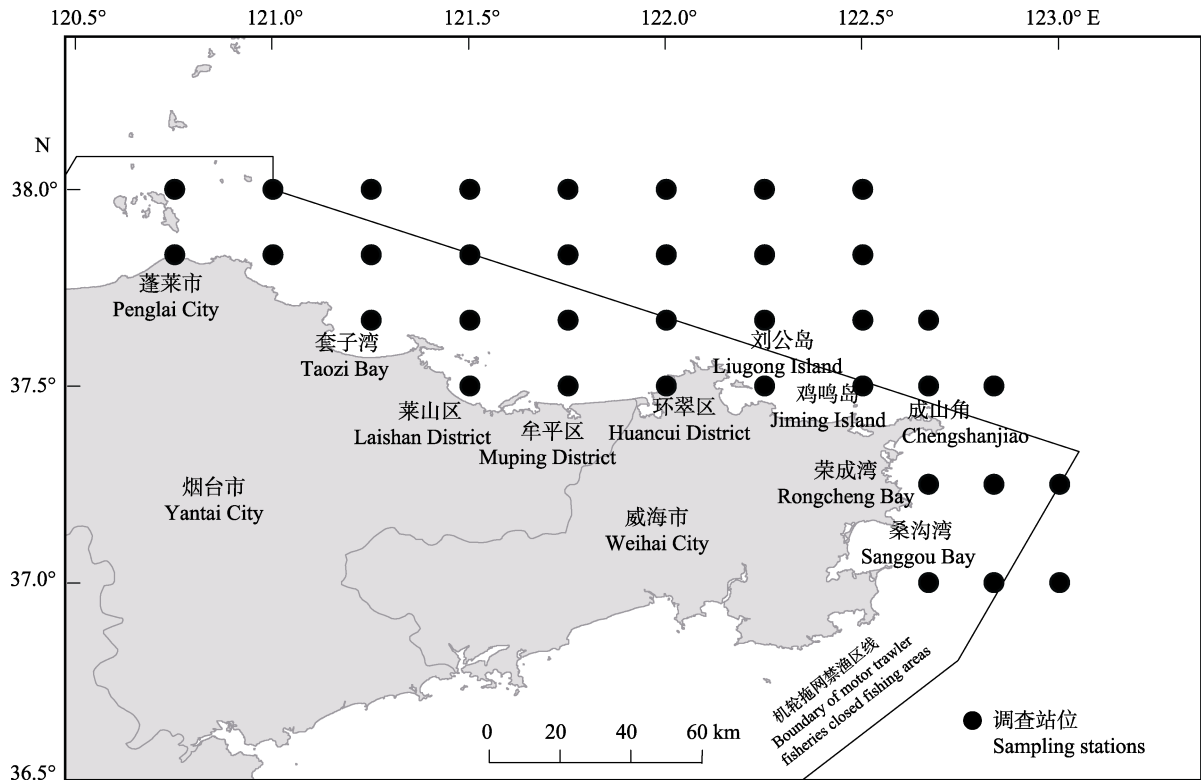


图1 2020年烟威近岸海域产卵场调查站位

Fig.1 Sampling stations of the spawning ground survey in the Yantai-Weihai offshore waters in 2020

marinespecies.org/). 浮游动植物样品形态学鉴定, 样品处理及分析方法严格遵守《海洋调查规范—海洋生物调查》(GB/T 12763.6-2007)。叶绿素滤膜则使用90%丙酮溶液于 -20°C 冷冻萃取12 h后, 利用Turner Designs Trilogy 荧光仪测定叶绿素 *a* 浓度。

1.2 物种优势度

通过 Pinkas 相对重要性指数(index of relative importance, IRI) (Pinkas, 1971)判断各月份鱼卵、仔稚鱼的优势种($\text{IRI} \geq 1000$)、重要种($1000 > \text{IRI} \geq 100$)、常见种($100 > \text{IRI} > 10$)、一般种($10 > \text{IRI} > 1$)和少见种($\text{IRI} < 1$) (程济生, 2004), 计算公式如下:

$$\text{IRI} = N\% \times F\% \times 10 \quad (1)$$

式中, $N\%$ 为某种鱼卵或仔稚鱼的数量占当月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。

1.3 物种多样性

通过 Margalef 丰富度指数 D (Margalef, 1957)、Shannon-Wiener 多样性指数 H' (Shannon, 1948)和 Pielou 均匀度指数 J' (Pielou, 1969)判断各月份的生物多样性状况, 计算公式如下:

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

$$H' = -\sum_{i=1}^s \frac{N_i}{N} \ln \frac{N_i}{N} \quad (3)$$

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

式中, S 为当月鱼卵或仔稚鱼物种数量; N_i 为当月物种 i 的鱼卵或仔稚鱼数量; N 为当月所有物种的鱼卵或仔稚鱼总数量。

1.4 群落结构月度变动分析

种类更替率(E)采用各月鱼卵与仔稚鱼物种的并集进行计算, 公式为(卞晓东等, 2010):

$$E = \frac{A}{A+B} \quad (5)$$

式中, A 为2个月间种类增加数与减少数之和; B 为2个月间相同种类数。

构建 Bray-Curtis 相似度矩阵, 对鱼卵、仔稚鱼丰度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。通过相似性分析(analysis of similarities, ANOSIM)研究组间差异显著性, 通过胁强系数(stress)检验 NMDS 结果可靠性, 若 $\text{Stress} < 0.05$, 说明结果具有很好的代表性(Khalaf *et al*, 2002; Crona *et al*, 2006)。将鱼卵及

仔稚鱼丰度(即单位滤水量采集到的鱼卵数或仔稚鱼数, Abu)作为 Cluster 及 NMDS 月份-物种二维矩阵元素值, 计算公式为:

$$Abu = \frac{N}{R \times q \times \pi \times r} \quad (6)$$

式中, N 为鱼卵数量(ind.); R 为网口流量计转数差值(round); q 为网口流量计的距离转数比(m/round); r 为大型浮游生物水平拖网的网口半径(m)。

对 2020 年 4—9 月鱼卵与仔稚鱼种类进行相邻月间相似性百分比分析(similarity percentage analysis, SIMPER), 结合月间种类更替率与各物种的平均相异性贡献率, 反映相邻月间群落结构更替情况及主要分歧种(平均相异性贡献率之和达 90%的物种); 对 Cluster 和 NMDS 分出的鱼卵与仔稚鱼种类各月份组进行相似性分析, 通过各物种的平均相似性贡献率反映不同月份组的主要特征种(平均相似性贡献率之和达 90%的物种)。

1.5 环境因子分析

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(潘玉龙等, 2019; 梁姗姗等, 2021)。由于 2020 年烟威近岸海域调查中, 4 月和 9 月鱼卵和仔稚鱼种类、数量、丰度及出现频率均较低, 因此, 选择主要产卵季节 5—8 月出现频率 $\geq 5\%$ 的鱼卵、仔稚鱼种类构建物种变量矩阵(温超男等, 2020), 并对其丰度(Abu)进行 $[\log(x+1)]$ 对数转换以降低极端值影响(樊紫薇等, 2020)。采用物种变量矩阵中各站位对应的环境数据构建环境变量矩阵, 包括海表温度(SST)、海底温度(SBT)、海表盐度(SSS)、海底盐度(SBT)、深度(DEP)、海表叶绿素 a 浓度(SCHLA)、浮游动物总数(ZP)和浮游植物总数(PP)共 8 个环境变量。

对物种变量矩阵通过除趋势对应分析(detrended correspondence analysis, DCA)结果中第 1 排序轴的梯度长度判断采用 RDA 或 CCA, 若第 1 排序轴的梯度长度 > 4.0 , 应采用 CCA 分析; 若梯度长度处于 $[3.0, 4.0]$ 区间内, CCA 和 RDA 均可使用; 若梯度长度 < 3.0 , RDA 分析是更好的选择(Ter Braak, 1986)。通过蒙特卡洛置换检验(Monte Carlo permutation tests)判断环境变量显著性, 保留 $P < 0.05$ 的环境变量构建最终模型, 判断环境因子对鱼卵及仔稚鱼优势种和重要种的影响。

1.6 数据分析及可视化工具

使用 ArcGIS 10.2 对 2020 年 4—9 月烟威近岸海表温度进行普通克里金空间插值和绘图, 使用 Excel 2016 计算物种优势度、多样性指数和更替率, 通过 Primer 6 进行群落结构分析, 通过 R 4.0.2 和 Canoco 5 分析物种与环境因子的相关性。

2 结果

2.1 鱼卵及仔稚鱼时空分布

2020 年 4—9 月鱼卵的站位分布情况如图 2 所示。4—9 月共采集鱼卵 337 038 粒, 其中, 4 月底采集 46 粒, 出现频率为 33.33%, 站均 1.28 粒, 平均丰度为 3.09×10^{-3} ind./m³, 鱼卵分布于烟台蓬莱-牟平北部海域、威海鸡鸣岛北部近岸海域以及桑沟湾东部外海, 最大丰度为 0.04 ind./m³; 5 月底—6 月初采集鱼卵 287 844 粒, 出现频率为 94.44%, 站均 7 995.67 粒, 平均丰度为 35.40 ind./m³, 烟台蓬莱市-威海鸡鸣岛北部大面海域分布着大量鱼卵, 以烟台牟平-威海刘公岛北部海域的站卵量水平最高, 最大丰度为 498.15 ind./m³; 6 月底采集鱼卵 43 542 粒, 出现频率为 100%, 站均 1 209.5 粒, 平均丰度为 3.99 ind./m³, 鱼卵集中分布在烟台牟平-威海鸡鸣岛北部离岸海域, 最大丰度为 29.75 ind./m³; 7 月中旬采集 4751 粒鱼卵, 出现频率为 94.44%, 站均 131.97 粒, 平均丰度为 0.69 ind./m³, 烟台牟平-威海鸡鸣岛北部离岸海域和荣成湾-桑沟湾东部近岸海域的站卵量水平较高, 最大丰度为 11.54 ind./m³; 8 月下旬采集 641 粒鱼卵, 出现频率为 77.78%, 站均 17.81 粒, 平均丰度为 0.05 ind./m³, 烟威交界-桑沟湾外海具有较高的鱼卵出现频率和站卵量水平, 最大丰度为 0.71 ind./m³; 9 月中下旬采集鱼卵 214 粒, 出现频率为 33.33%, 站均 5.94 粒, 平均丰度为 0.01 ind./m³, 鱼卵主要分布在烟台牟平-威海鸡鸣岛北部外海和成山角-荣成湾近岸海域, 最大丰度为 0.22 ind./m³。

2020 年 4—9 月仔稚鱼的站位分布情况见图 3。4—9 月共采集仔稚鱼 2122 尾, 其中, 4 月底采集到 181 尾, 出现频率为 47.22%, 站均 5.03 尾, 平均丰度为 6.12×10^{-3} ind./m³, 仔稚鱼主要分布在威海刘公岛-荣成湾近岸海域, 最大丰度为 0.18 ind./m³; 5 月底—6 月初采集到 271 尾, 出现频率为 47.22%, 站均 7.53 尾, 平均丰度为 0.04 ind./m³, 仔稚鱼主要分布在烟台莱山区北部近岸海域和威海荣成湾东部近岸海域, 最大尾数为 163 尾, 最大丰度为 0.96 ind./m³;

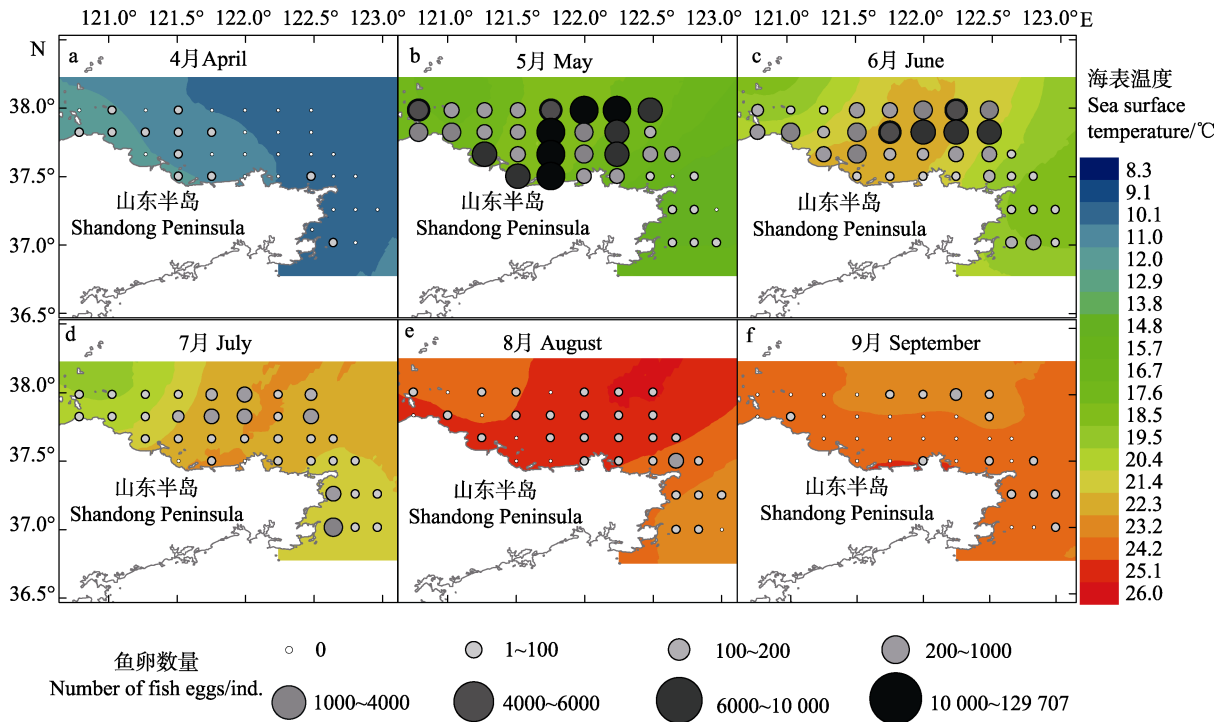


图2 2020年4—9月烟威近岸海域鱼卵数量分布及海表温度月度变动
 Fig.2 Monthly distribution patterns of fish eggs and sea surface temperature in the Yantai-Weihai offshore waters from April to September, in 2020

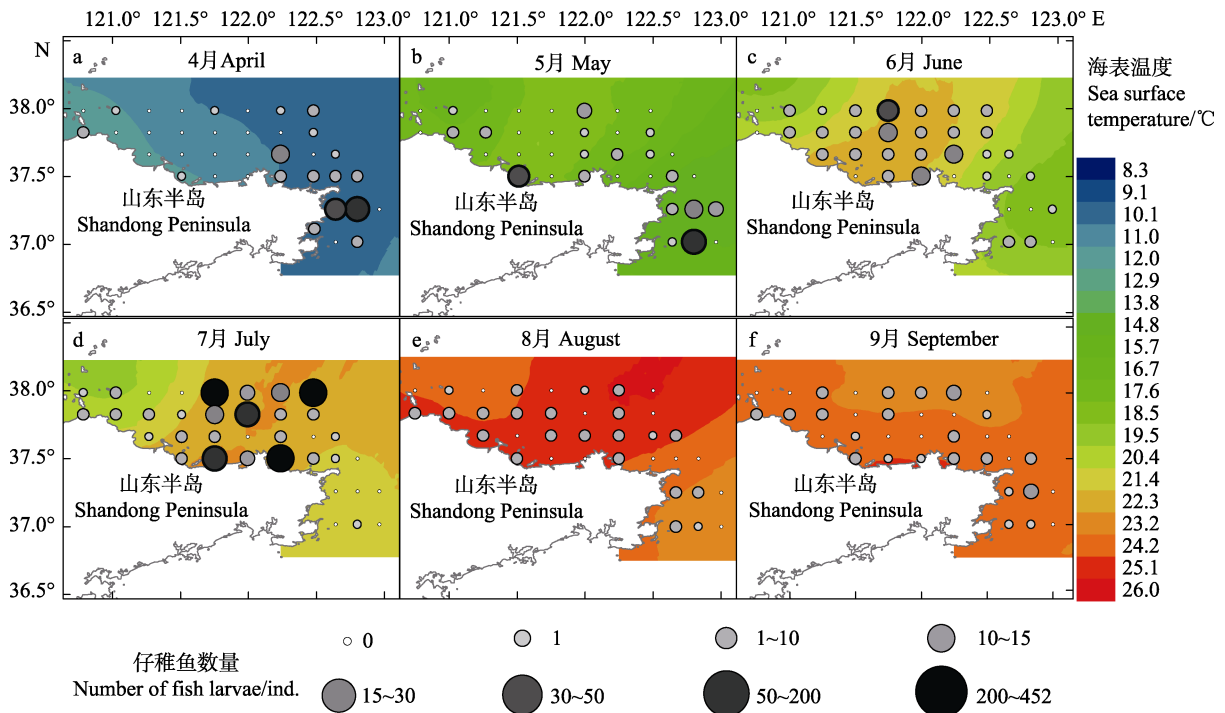


图3 2020年4—9月烟威近岸海域仔稚鱼数量分布及海表温度月度变动
 Fig.3 Monthly distribution patterns of fish larvae and sea surface temperature in the Yantai-Weihai offshore waters from April to September, in 2020

6月底采集到186尾, 出现频率为77.78%, 站均5.17尾, 平均丰度为0.02 ind./m³, 仔稚鱼分布较均匀, 其中, 烟台牟平-威海刘公岛北部海域仔稚鱼数量较

多, 最大丰度为0.12 ind./m³; 7月中旬采集1323尾, 出现频率为72.22%, 站均36.75尾, 平均丰度为0.11 ind./m³, 烟台牟平北部外海和近岸海域、威海刘

公岛近岸海域以及鸡鸣岛北部外海分布着大量仔稚鱼, 最大丰度为 1.50 ind./m³; 8 月下旬采集 92 尾, 出现频率为 61.11%, 站均 2.56 尾, 平均丰度为 7.63×10⁻³ ind./m³, 仔稚鱼分布较均匀, 最大丰度为 0.05 ind./m³; 9 月中下旬采集 69 尾, 出现频率为 58.33%, 站均 1.92 尾, 平均丰度为 5.66×10⁻³ ind./m³, 烟台套子湾北部近岸海域、威海刘公岛北部海域和荣成湾东部海域仔稚鱼数量较多, 最大丰度为 0.02 ind./m³。

2.2 鱼卵及仔稚鱼种类组成

2020 年 4—9 月共采集 33 种鱼卵, 1 种未定种, 32 种鉴定到种, 隶属 6 目 21 科。已鉴定种类中, 鲈形目(Perciformes) 21 种, 鲹形目(Pleuronectiformes) 5 种,

鲱形目(Clupeiformes) 4 种, 灯笼鱼目(Myctophiformes) 和鲻形目(Mugiliformes)各 1 种;共采集仔稚鱼 28 种, 隶属 8 目 22 科,其中,鲈形目 16 种,颌针鱼目(Beloniformes) 和鲻形目各 3 种,海龙目(Syngnathiformes) 2 种, 鲱形目、银汉鱼目(Atheriniformes)、灯笼鱼目和鲹形目各 1 种。从时间上看, 4 月底采集到 4 种鱼卵和 4 种仔稚鱼, 5 月底—6 月初采集到 21 种鱼卵和 6 种仔稚鱼, 6 月底采集到 19 种鱼卵和 13 种仔稚鱼, 7 月中旬采集到 13 种鱼卵和 12 种仔稚鱼, 8 月下旬采集到 11 种鱼卵和 10 种仔稚鱼, 9 月中下旬采集到 9 种鱼卵和 8 种仔稚鱼, 其中, 5 月底—6 月初采集到的鱼卵种类数最多, 6 月底采集到的仔稚鱼种类最多, 的鱼卵和仔稚鱼均具有最高的月份出现频率(表 1)。

表 1 2020 年 4—9 月烟威近岸海域鱼卵及仔稚鱼种类组成

Tab.1 Species composition of fish eggs and larvae in the Yantai-Weihai offshore waters from April to September, in 2020

编号 No.	科 Family	物种 Species	4 月 April	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 Aug.	9 月 Sept.
1	鲱科 Clupeidae	斑鲹 <i>Konosirus punctatus</i>		○				
2	鲱科 Clupeidae	青鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>		○	○			
3	鲹科 Engraulidae	鲹 <i>Engraulis japonicus</i>	○	○●	○●	○●	○●	○●
4	鲹科 Engraulidae	赤鼻棱鲹 <i>Thryssa kammalensis</i>		○				
5	银汉鱼科 Atherinidae	白氏银汉鱼 <i>Hypoatherina valenciennei</i>			●	●	●	●
6	狗母鱼科 Synodontidae	长蛇鲻 <i>Saurida elongata</i>		○	○	○	○●	
7	颌针鱼科 Belonidae	尖嘴扁颌针鱼 <i>Strongylura anastomella</i>			●	●	●	●
8	鲻科 Hemiramphidae	沙氏下鲻 <i>Hyporhamphus sajori</i>		●	●		●	●
9	飞鱼科 Exocoetidae	真燕鲩 <i>Cheilopogon agoo</i>					●	
10	海龙科 Syngnathidae	舒氏海龙 <i>Syngnathus schlegeli</i>					●	●
11	海龙科 Syngnathidae	日本海马 <i>Hippocampus mohnikei</i>				●	●	
12	鲆科 Sphyracidae	油鲆 <i>Sphyracna pinguis</i>		○	○			●
13	鲻科 Mugilidae	鲻 <i>Mugil cephalus</i>				●		
14	鲻科 Mugilidae	鲻 <i>Planiliza haematocheilus</i>		●				
15	花鲈科 Sparidae	花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>						○
16	天竺鲷科 Apogonidae	细条天竺鲷 <i>Apogon lineatus</i>					●	
17	鲳科 Sillaginidae	少鳞鲳 <i>Sillago japonica</i>		○	○	○●	○	●
18	鲷科 Carangidae	黄条鲷 <i>Seriola lalandi</i>		○	○●	○		
19	鲷科 Carangidae	蓝圆鲷 <i>Decapterus maruadsi</i>				○		
20	鲷科 Carangidae	竹筴鱼 <i>Trachurus japonicus</i>				○	○	
21	鲷科 Coryphaenidae	鲷 <i>Coryphaena hippurus</i>					○	○
22	石首鱼科 Sciaenidae	小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>		○				
23	石首鱼科 Sciaenidae	白姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>		○	○			
24	石首鱼科 Sciaenidae	黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>		○	○			
25	石首鱼科 Sciaenidae	叫姑鱼 <i>Johnius grypotus</i>		○	○			
26	石首鱼科 Sciaenidae	黑鳃梅童鱼 <i>Collichthys niveatus</i>				○●	○	
27	鲷科 Sparidae	黑鲷 <i>Acanthopagrus schlegelii</i>		○				
28	鲷科 Blenniidae	矶鲷 <i>Parablennius yatabei</i>			●	●	●	●
29	鲷科 Blenniidae	美肩鳃鲷 <i>Omobranchus elegans</i>			●	●		

续表 1

编号 Number	科 Family	物种 Species	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 Aug.	9月 Sept.
30	锦鲷科 Pholidae	方氏云鲷 <i>Pholis fangi</i>	●					
31	玉筋鱼科 Ammodytidae	玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i>	○●					
32	鲱科 Callionymidae	绯鲱 <i>Callionymus beniteguri</i>		○	○	○	○	○
33	带鱼科 Trichiuridae	带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>			○	○	○	○
34	带鱼科 Trichiuridae	小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>		○	○			○
35	鲭科 Scombridae	鲈 <i>Scomber japonicus</i>	○	○	○●	○		
36	鲭科 Scombridae	蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>		○	○			
37	鲟科 Stromateidae	银鲟 <i>Pampus argenteus</i>		○	○	○		
38	鰕虎鱼科 Gobiidae	髯缟鰕虎鱼 <i>Tridentiger barbatus</i>			●			
39	鰕虎鱼科 Gobiidae	纹缟鰕虎鱼 <i>Tridentiger trigonocephalus</i>			●	●		
40	鰕虎鱼科 Gobiidae	裸项蜂巢鰕虎鱼 <i>Favonigobius gymnauchen</i>			●	●		
41	平鲷科 Sebastidae	许氏平鲷 <i>Sebastes schlegelii</i>		●	●	●		
42	平鲷科 Sebastidae	褐菖鲉 <i>Sebastes marmoratus</i>		●				
43	鲂科 Triglidae	绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys kumu</i>			○			
44	六线鱼科 Hexagrammidae	大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	●	●				
45	鲷科 Platycephalidae	鲷 <i>Platycephalus indicus</i>		○	○			
46	杜父鱼科 Cottidae	*松江鲈 <i>Trachidermus fasciatus</i>	●					
47	牙鲆科 Paralichthyidae	褐牙鲆 <i>Paralichthys olivaceus</i>		○				
48	鲾科 Pleuronectidae	高眼鲾 <i>Cleisthenes herzensteini</i>		○	○	○	○	○
49	鲾科 Pleuronectidae	尖吻黄盖鲾 <i>Pseudopleuronectes herzensteini</i>	○		●			
50	舌鲷科 Cynoglossidae	半滑舌鲷 <i>Cynoglossus semilaevis</i>						○
51	舌鲷科 Cynoglossidae	短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>			○	○	○	○
52	未定种 1	未定种 1 sp. 1					○	

注：“○”表示鱼卵出现，“●”表示仔稚鱼出现。*：采自桑沟湾内(123°30'29"E、37°05'56"N)

Note: “○” indicates the presence of fish eggs, “●” indicates the presence of fish larvae; *: Sampled at 123°30'29"E and 37°05'56"N in Sanggou Bay

2.3 优势种和重要种

2020年4月底,烟威近岸海域鱼卵优势种为尖吻黄盖鲾(*Pseudopleuronectes herzensteini*),重要种为鲈(*Scomber japonicus*);仔稚鱼优势种为玉筋鱼(*Ammodytes personatus*),重要种为方氏云鲷(*Pholis fangi*)。5月底—6月初,鱼卵优势种为鲈和鲈,无重要种;仔稚鱼优势种为许氏平鲷(*Sebastes schlegelii*),重要种为鲈。6月底,鱼卵优势种为鲈,重要种为鲈;仔稚鱼优势种为鲈,重要种为沙氏下鱈(*Hyporhamphus sajori*)和矶鲷(*Parablennius yatabei*)。7月中旬,鱼卵优势种为鲈,重要种为短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)、少鳞鱈(*Sillago japonica*)和绯鲱(*Callionymus beniteguri*);仔稚鱼优势种为鲈,无重要种。8月下旬,鱼卵优势种为短吻红舌鲷和少鳞鱈,重要种为带鱼(*Trichiurus lepturus*);仔稚鱼优势种为鲈,重要种为白氏银汉鱼(*Hypoatherina valenciennei*)、沙氏下鱈和真燕鲷(*Cheilopogon agoo*)。9月中下旬,无鱼卵和

仔稚鱼优势种,鱼卵重要种为鲈和短吻红舌鲷,仔稚鱼重要种为鲈、矶鲷和舒氏海龙(*Syngnathus schlegeli*)。可以看出,鲈在除4月和8月外其他月份的鱼卵物种中皆具有当月最高的优势度,且在6—9月皆具有当月最高的仔稚鱼优势度,是4—9月烟威近岸海域鱼卵和仔稚鱼的主要物种。

2.4 物种多样性指数

2020年4—9月,烟威近岸海域鱼卵及仔稚鱼的群落多样性有明显的月度变动(图4)。鱼卵丰富度指数(*D*)在4月最低,5—9月均较高,其中6月最高;鱼卵多样性指数(*H'*)在6月最低,7—9月均较高,其中8月最高;鱼卵均匀度指数(*J'*)在6月最低,4月最高。仔稚鱼丰富度指数(*D*)在4月和5月水平较低,6—9月较高,其中6月最高;仔稚鱼多样性指数(*H'*) 在4月、5月和7月较低,在6月、8月和9月较高,其中8月最高;仔稚鱼均匀度指数(*J'*)在8月最高,7月则明显低于其他月份。

表 2 2020 年 4—9 月烟威近岸海域鱼卵和仔稚鱼优势种及重要种

Tab.2 Dominant and important species of eggs and larvae in the Yantai-Weihai offshore waters from April to September, in 2020

月份 Month	鱼卵 Fish eggs		仔稚鱼 Fish larvae	
	物种 Species	IRI	物种 Species	IRI
4 月 April	尖吻黄盖鲈 <i>P. herzensteini</i>	**1 111.11	玉筋鱼 <i>A. personatus</i>	**2 780.85
	鲈 <i>S. japonicus</i>	*688.41	方氏云鲷 <i>P. fangi</i>	*399.02
5 月 May	鳀 <i>E. japonicus</i>	**5 841.38	许氏平鲈 <i>S. schlegelii</i>	**1 139.81
	鲈 <i>S. japonicus</i>	**1 706.39	鳀 <i>E. japonicus</i>	*225.50
6 月 June	鳀 <i>E. japonicus</i>	**8 386.82	鳀 <i>E. japonicus</i>	**2 106.44
	鲈 <i>S. japonicus</i>	*114.31	沙氏下鱈 <i>H. sajori</i>	*541.07
7 月 July			矾鲷 <i>P. yatabei</i>	*209.50
	鳀 <i>E. japonicus</i>	**4 664.92	鳀 <i>E. japonicus</i>	**4 459.56
	短吻红舌鲷 <i>C. joyneri</i>	*212.24		
	少鳞鳉 <i>S. japonica</i>	*199.08		
8 月 August	短吻红舌鲷 <i>C.oyneri</i>	**1 840.01	鳀 <i>E. japonicus</i>	**1 026.57
	少鳞鳉 <i>S. japonica</i>	**1 005.37	白氏银汉鱼 <i>H. valenciennei</i>	*380.43
	带鱼 <i>T. lepturus</i>	*360.55	沙氏下鱈 <i>H. sajori</i>	*326.09
9 月 September			真燕鳐 <i>C. agoo</i>	*211.35
	鳀 <i>E. japonicus</i>	*778.82	鳀 <i>E. japonicus</i>	*998.39
	短吻红舌鲷 <i>C. joyneri</i>	*210.28	矾鲷 <i>P. yatabei</i>	*547.50
			舒氏海龙 <i>S. schlegeli</i>	*209.34

注：“**”表示优势种，“*”表示重要种

Note: “**” indicates dominant species, “*” indicates important species

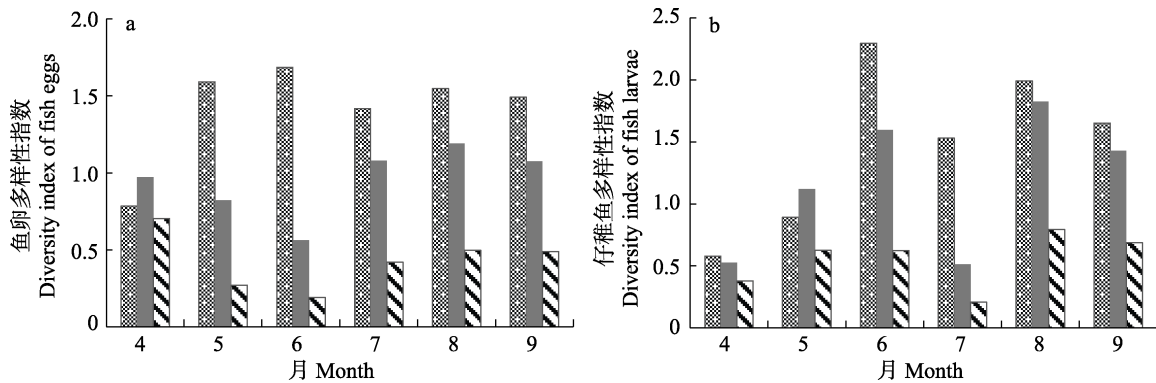


图 4 2020 年 4—9 月烟威近岸海域鱼卵(a)及仔稚鱼(b)多样性指数

Fig.4 Diversity index of fish eggs (a) and larvae (b) in the Yantai-Weihai offshore waters from April to September, in 2020

▨: Margalef 丰富度指数 D ; ■: Shannon-Wiener 多样性指数 H' ; ▨: Pielou 均匀度指数 J'
 ▨: Margalef richness index D ; ■: Shannon-Wiener diversity index H' ; ▨: Pielou evenness index J'

2.5 月间种类相似与更替情况

2020 年 4—9 月共采集到 52 种鱼卵和仔稚鱼, 4—5 月鱼卵及仔稚鱼种类更替率为 90.00%, 鱼卵群落平均相异性为 99.98%, 仔稚鱼群落平均相异性为 99.68%; 5—6 月种类更替率为 51.35%, 鱼卵群落平均相异性为 80.65%, 仔稚鱼群落平均相异性为

81.37%; 6—7 月种类更替率为 50.00%, 鱼卵群落平均相异性为 73.34%, 仔稚鱼群落平均相异性为 78.79%; 7—8 月种类更替率为 53.57%, 鱼卵群落平均相异性为 87.83%, 仔稚鱼群落平均相异性为 93.47%; 8—9 月种类更替率为 47.82%, 鱼卵群落平均相异性为 81.77%, 仔稚鱼群落平均相异性为 59.03% (图 5)。从图 5 可以看出, 4—5 月具有最高的

鱼卵及仔稚鱼种类更替率、鱼卵群落平均相异性和仔稚鱼群落平均相异性，7—8 月次之。8—9 月种类更替率最低，6—7 月鱼卵群落平均相异性最低，8—9 月仔稚鱼群落平均相异性最低。

4—5 月鱼卵群落主要分歧种为鳀和鲐，仔稚鱼群落主要分歧种为许氏平鲷、褐菖鲈(*Sebastiscus marmoratus*)、玉筋鱼和鳀；5—6 月鱼卵群落主要分歧种为鳀和鲐，仔稚鱼群落主要分歧种为许氏平鲷、褐菖鲈、鳀、沙氏下鱚和矶鲯；6—7 月鱼卵群落主要分歧种为鳀和鲐，仔稚鱼群落主要分歧种为鳀和纹缟鰕虎鱼(*Tridentiger trignocephalus*)；7—8 月鱼卵群落主要分歧种为鳀和绯鲮，仔稚鱼群落主要分歧种为鳀和纹缟鰕虎鱼；8—9 月鱼卵群落主要分歧种为短吻红舌鲷、少鳞鱧、鳀和带鱼，仔稚鱼群落主要分歧种为矶鲯、舒氏海龙、真燕鲷、白氏银汉鱼、沙氏下鱚、鳀、长蛇鲷和尖嘴扁颌针鱼(*Strongylura anastomella*)等(表 3)。

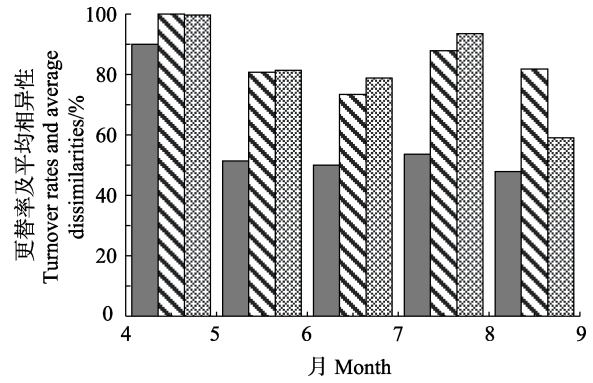


图 5 月间鱼卵及仔稚鱼种类更替率及平均相异性
Fig.5 Monthly species turnover rates and average dissimilarities of fish eggs and larvae

■: 月间种类更替率; ▨: 鱼卵群落平均相异性;
▩: 仔稚鱼群落平均相异性
■: Monthly species turnover rates; ▨: Average dissimilarities of fish egg communities; ▩: Average dissimilarities of fish larva communities

表 3 月间鱼卵及仔稚鱼平均相异性贡献率之和占 90%以上的分歧种

Tab.3 The discriminating species that contribute more than 90% to the monthly average dissimilarity of fish eggs and larvae

种类 Species	4—5 月 April to May		5—6 月 May to June		6—7 月 June-July		7—8 月 July to Aug.		8—9 月 Aug. to Sept.	
	Ad	C /%	Ad	C /%	Ad	C /%	Ad	C /%	Ad	C /%
	鱼卵 Fish eggs									
鳀 <i>E. japonicus</i>	70.12	70.13	53.99	66.95	64.18	87.51	75.81	86.32	11.17	13.66
少鳞鱧 <i>S. japonica</i>									19.02	23.25
绯鲮 <i>C. beniteguri</i>							4.33	4.93		
带鱼 <i>T. lepturus</i>									5.85	7.16
鲐 <i>S. japonicus</i>	25.50	25.50	22.47	27.87	3.75	5.12				
短吻红舌鲷 <i>C. joyneri</i>									39.12	47.84
仔稚鱼 Fish larvae										
鳀 <i>E. japonicus</i>	9.30	9.33	10.80	13.28	67.36	85.50	80.53	86.15	5.15	8.72
白氏银汉鱼 <i>H. valenciennei</i>									6.61	11.20
长蛇鲷 <i>S. elongata</i>									3.86	6.54
尖嘴扁颌针鱼 <i>S. anastomella</i>									3.68	6.24
沙氏下鱚 <i>H. sajori</i>			5.20	6.39					5.47	9.27
真燕鲷 <i>C. agoo</i>									7.74	13.11
舒氏海龙 <i>S. schlegeli</i>									10.45	17.71
矶鲯 <i>P. yatabei</i>			3.29	4.04					10.52	17.83
玉筋鱼 <i>A. personatus</i>	20.70	20.76								
纹缟鰕虎鱼 <i>T. trignocephalus</i>					5.21	6.61	6.17	6.60		
许氏平鲷 <i>S. schlegelii</i>	37.00	37.12	31.45	38.65						
褐菖鲈 <i>S. marmoratus</i>	27.23	27.32	23.70	29.13						

注: Ad 表示平均相异性, C 表示平均相异性贡献率。

Note: Ad means the average dissimilarity, and C means the contribution of the average dissimilarity.

2.6 月份聚类及相似性分析

鱼卵和仔稚鱼丰度的 Cluster 和 NMDS 结果显示, 在 17.88%相似性水平上可将产卵月份分为 4 组: A 组为 4 月, B 组为 8 月和 9 月, C 组为 5 月, D 组为 6 月和 7 月(图 6); 在 32.67%相似性水平上, 可将仔稚鱼生长月份分为 4 组: A 组为 4 月, B 组为 7 月, C 组为 5 月, D 组为 6 月、8 月和 9 月(图 7)。ANOSIM 检验结果显示, 鱼卵和仔稚鱼 Cluster 各组间均存在显著差异($P < 0.05$), 说明分组结果合理; NMDS 胁强

系数 Stress 皆为 $0.01 < 0.05$, 说明排序结果具有极好的代表性。

产卵月份各聚类组中, A 组鱼卵特征种为鲈和尖吻黄盖鲂, B 组鱼卵特征种为带鱼、短吻红舌鲷和鳀, C 组鱼卵特征种为鳀和鲈, D 组鱼卵特征种为鳀和绯鲷; 仔稚鱼生长月份各聚类组中, A 组仔稚鱼特征种为玉筋鱼和方氏云鲷, B 组仔稚鱼特征种为鳀和纹缟鰕虎鱼, C 组仔稚鱼特征种为许氏平鲈、褐菖鲈和鳀, D 组仔稚鱼特征种为鳀、矶鲷、白氏银汉鱼和沙氏下鱚(表 4)。

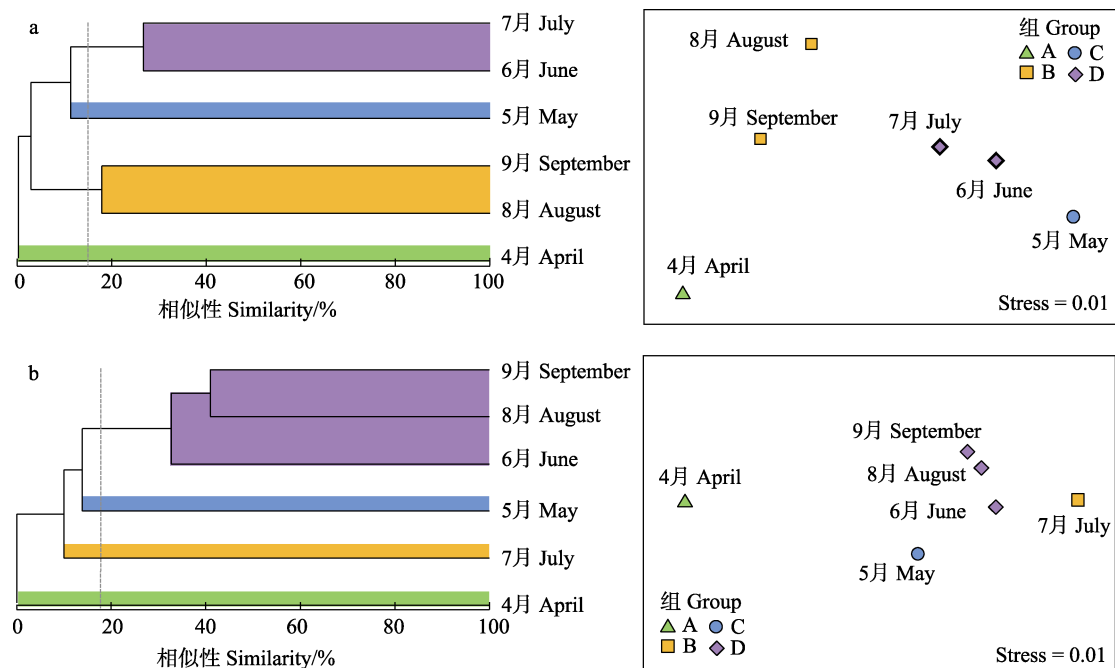


图 6 2020 年 4—9 月鱼卵(a)和仔稚鱼(b)种类聚类图及 NMDS 排序图

Fig.6 Monthly scale clustering diagram and NMDS ordination diagram of fish eggs (a) and larvae (b) from April to September, in 2020

表 4 聚类组内(图 6 中 A~D 组)鱼卵及仔稚鱼平均相似性贡献率之和占 90%以上的特征种
Tab.4 The typical species that contribute more than 90% of the average similarity in cluster groups (from A to D in Fig.6) of fish eggs and larvae

种类 Species	A 组 Group A		B 组 Group B		C 组 Group C		D 组 Group D	
	As	C /%	As	C /%	As	C /%	As	C /%
鱼卵 Fish eggs								
鳀 <i>E. japonicus</i>			1.34	7.38	70.12	70.12	23.85	89.44
绯鲷 <i>C. beniteguri</i>							1.37	5.13
带鱼 <i>T. lepturus</i>			7.80	42.78				
鲈 <i>S. japonicus</i>	46.62	46.62			25.50	25.50		
尖吻黄盖鲂 <i>P. herzensteini</i>	44.85	44.85						
短吻红舌鲷 <i>C. joyneri</i>			7.36	40.40				
仔稚鱼 Fish larvae								
鳀 <i>E. japonicus</i>			88.26	88.26	12.43	12.43	21.48	60.68
白氏银汉鱼 <i>H. valenciennei</i>							3.60	10.16

续表 4

种类 Species	A组 Group A		B组 Group B		C组 Group C		D组 Group D	
	As	C /%	As	C /%	As	C /%	As	C /%
沙氏下鱈 <i>H. sajori</i>							2.87	8.10
矶鲷 <i>P. yatabei</i>							5.06	14.28
方氏云鲷 <i>P. fangi</i>	15.50	15.50						
玉筋鱼 <i>A. personatus</i>	82.16	82.16						
纹缟鰕虎鱼 <i>T. trigonocephalus</i>			6.58	6.58				
许氏平鲉 <i>S. schlegelii</i>					49.46	49.46		
褐菖鲉 <i>S. marmoratus</i>					39.40	39.40		

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

2.7 物种与环境因子 RDA 分析

选取 2020 年 5—8 月鱼卵和仔稚鱼优势种、重要种及其他出现频率较高且具较大经济价值或食物网研究价值的物种构建物种变量矩阵,该矩阵由鳀、鲈、蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)、黄条鲷(*Seriola lalandi*)、少鳞鱧、带鱼、绯鲷、高眼鲷(*Cleisthenes herzensteini*)、短吻红舌鲷、长蛇鲷、黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)的鱼卵丰度变量与鳀、许氏平鲉、沙氏下鱈、矶鲷、白氏银汉鱼、真燕鲷的仔稚鱼丰度变量构成。物种变量矩阵的 DCA 分析结果显示,第 1 排序轴的梯度长度为 $1.88 < 3$,因此,应对物种变量矩阵和环境变量矩阵进行 RDA 分析,以识别显著环境因子及其对鱼卵、仔稚鱼丰度的影响。RDA 前向选择最终模型中,第 1 排序轴特征值 0.242,第 2 排序轴特征值 0.005;2 个排序轴共解释物种变异的 24.61%,共解释环境变异的 99.56%;蒙特卡洛置换检验结果显示,第 1 排序轴 $P=0.002$,所有排序轴 $P=0.002$,均呈现显著差异。海表温度、海底温度、海表盐度和深度是影响鱼卵及仔稚鱼丰度的显著变量,海底温度贡献率与显著性最高,海表温度次高,盐度次低,深度最低(表 5)。鱼卵丰度变量中,鳀卵丰度与海表盐度呈正相关,与海底温度和海表温度呈负相关,与深度无相关性;少鳞鱧鱼卵丰度与海底温度呈弱正相关,与海表温度和深度呈负相关,与海表盐度呈弱负相关;带鱼鱼卵丰度与海底温度呈正相关,与海表温度呈弱正相关,与海表盐度呈负相关,与深度呈弱负相关;鲈、蓝点马鲛鱼卵丰度与海表盐度呈正相关,与海表温度和海底温度呈负相关,与深度呈弱负相关;黄条鲷、绯鲷和高眼鲷鱼卵丰度与海表盐度呈正相关,与深度呈弱正相关,与海底温度和海表温度呈负相关;黑鲷鱼卵丰度与深度和海表温度呈负相关,与

海底温度和海表盐度相关性不大;短吻红舌鲷鱼卵丰度与海表温度和海底温度呈正相关,与海表盐度呈负相关,与深度呈弱正相关;长蛇鲷鱼卵丰度与海底温度呈正相关,与海表盐度、深度呈负相关,与海表温度相关性不大(图 7)。仔稚鱼丰度变量中,鳀仔稚鱼丰度与海表盐度和深度呈弱正相关,与海表温度和海底温度相关性不大;白氏银汉鱼仔稚鱼度与海表温度和海底温度呈正相关,与海表盐度呈负相关,与深度呈弱负相关;沙氏下鱈仔稚鱼丰度与海表盐度和深度呈正相关,与海表温度呈弱正相关,与海底温度呈负相关;真燕鲷仔稚鱼丰度与海表温度、海底温度和深度呈正相关,与海表盐度呈负相关;矶鲷仔稚鱼丰度与海表盐度呈弱正相关,与海底温度和海表温度呈弱负相关,与深度相关性不大;许氏平鲉仔稚鱼丰度与海表温度与深度呈负相关,与海底温度和海表盐度相关性不大(图 7)。

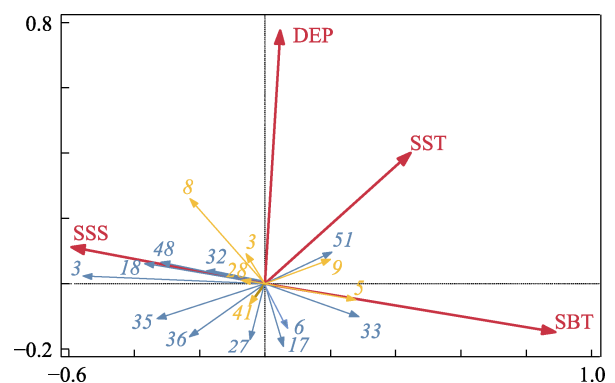


图 7 鱼卵及仔稚鱼种类与环境因子间 RDA 排序图
Fig.7 RDA ordination of fish egg and larva taxas with environmental factors

各编号代表的鱼类物种如表 1 所示; —▶: 环境因子;
—▶: 鱼卵物种; —▶: 仔稚鱼物种
The fish species names corresponding to the numbers are shown in Tab.1; —▶: Environmental factors;
—▶: Fish egg taxas; —▶: Fish larva taxas

表 5 RDA 分析中显著环境变量的统计学参数

Tab.5 Statistical parameters of significant environmental variables in RDA

环境变量 Environment variables	解释率 Explains /%	贡献率 Contribution /%	F 值 F-value	P 值 P-value
海底温度 SBT	12.2	42.1	20.8	0.002
海表温度 SST	5.1	17.6	7.3	0.006
海表盐度 SSS	4.0	13.7	5.9	0.008
深度 DEP	3.4	11.7	6.0	0.014

3 讨论

3.1 烟威近岸海域鱼卵及仔稚鱼时空分布特征

与 1985—1988 年调查(万瑞景等, 1998)结果相似, 2020 年 4—9 月烟威近岸海域鱼卵和仔稚鱼的数量有明显时空变化, 产卵盛期均在 5—6 月, 仔稚鱼盛期在 7 月。1985—1988 年调查结果显示, 鱼卵密集中心位于烟威渔场偏西部海域, 9 月后由烟威近岸和海洋岛产卵场游出并进行越冬洄游的鱼类早期资源在烟威渔场东部海域聚集(万瑞景等, 1998)。2020 年 4—9 月调查结果显示, 鱼卵密集中心位于烟台套子湾至威海鸡鸣岛北部海域, 仔稚鱼则主要分布在烟台牟平—威海鸡鸣岛北部海域; 由于 2020 年调查站位未覆盖 123°E 以东海域, 因此, 本研究未能针对该海域仔稚鱼在 9 月的分布情况进行相关讨论。4 月底, 烟威近岸海域盐度较高但水温较低, 尚未达到绝大多数暖温性鱼类的产卵水温要求, 仅在烟台牟平以西、威海鸡鸣岛近岸和桑沟湾近岸海域采集少量鱼卵, 在威海刘公岛—荣成湾近岸海域采集部分仔稚鱼。5 月底—6 月初, 海域盐度稍有下降但整体水平较高, 且随着水温持续上升, 多数鱼类进入产卵期, 产卵场范围覆盖整个山东半岛北部黄海近岸, 平均水温最高的烟台套子湾—牟平北部海域也是卵量最高值区域; 同期威海东部近岸海域仔稚鱼尾数高值区扩大, 且烟台北部海域仔稚鱼数量水平有所提升。6 月底, 水温进一步升高, 产卵盛期尚未结束, 主要产卵场范围缩小并移至烟台牟平至威海鸡鸣岛北部离岸海域; 仔稚鱼密度仅与 4 月底相当, 但出现频率提升至全年最高水平, 高值区由威海东部近岸移至烟台牟平—威海刘公岛北部海域。7 月, 烟台套子湾以东海域的水温已高于 20.4℃, 但海表盐度明显低于 4—6 月, 鱼类产卵盛期结束, 鱼卵出现频率虽仍保持在 90%以上, 但鱼卵数量超过 1000 粒的站位仅剩 1 站; 仔稚鱼数量达到全调查月份最高水平, 鳀仔稚鱼开始大量出现, 分布高值区由威海东部近岸移至烟台牟平—威海刘公岛

北部海域。8 月, 烟威北部海域的水温升至 24.1℃以上, 鱼类亲体的产卵种类和规模骤减, 除鳀和短吻红舌鲷外, 仅有少量暖水性鱼类产卵繁殖, 平均站卵量和鱼卵出现频率均下降, 卵量高值区东移至威海北部、东部近岸海域; 仔稚鱼出现频率仍明显高于 4 月底和 5 月底—6 月初, 但仔稚鱼密度明显降低。9 月起海域水温开始下降, 烟威近岸海域鱼卵数量和出现频率骤降, 卵量高值区移至威海刘公岛北部离岸海域; 仔稚鱼数量降至全调查月份次最低水平。

3.2 烟威近岸海域鱼卵及仔稚鱼群落结构及月度更替中的特征种和分枝种

2020 年 4—9 月, 烟威近岸海域共采集到鱼类早期资源种类 52 种, 包括 33 种鱼类的 337 038 粒鱼卵和 28 种鱼类的 2122 尾仔稚鱼。鱼卵与仔稚鱼群落结构年内变化明显, 除产卵末期 8—9 月外, 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 73%。烟威近岸海域温盐环境的显著变化是鱼类早期资源群落结构更替的主要原因。4 月底, 烟威近岸海域海水温度较低, 早期资源种类以玉筋鱼、尖吻黄盖鲷、方氏云鲷、许氏平鲷等冷温性鱼类为主; 5 月底—6 月初, 该海域平均表温已高于 16℃, 海水表底层盐度的平均值高于 32.4, 且在南北方向上梯度变化明显(北高南低), 为鳀、鲈、蓝点马鲛、黄条鲈、绯鲷、少鳞鳎、黑鲷等海水中上层及近岸底层暖温性、暖水性鱼类的聚集和大规模产卵提供了适宜的水温条件, 且此时烟台莱山—威海成山角北部离岸深水区仍存在一个底温低于 12℃的低温水团, 为适宜栖息于冷温性海水底层的高眼鲷进入产卵盛期提供了低温环境; 6 月底, 北部离岸底层冷水区范围大幅消减, 导致高眼鲷产卵适宜性大幅降低, 不再大规模产卵, 但较高的表层温盐对非冷温性鱼类较适宜, 因此, 产卵种类保持较高水平; 7 月中旬, 水温的继续升高为鳀仔稚鱼的生长发育提供适宜的温度条件, 但海表盐度平均水平降至 31.6 以下, 烟台套子湾—烟威交界北部的中心产卵场表盐骤降且形成低盐斑块, 是导致适宜高盐海水的鱼类产卵量大幅下降的主要原因; 8 月及 9 月海表温度平均值高于 23.5℃, 海底温度平均值高于 20.8℃, 且表底层盐度平均值低于 32.1, 对作为产卵主体的中上层暖温性、高盐性鱼类的适宜性下降, 早期资源种类多为近岸浅水或岩礁性鱼类。整体来看, 烟威近岸产卵场在 5 月底—6 月初进入产卵盛期的主要原因是较高的表温环境、较高且水平梯度差异显著的表盐环境以及水深的空间异质性所形成的垂直温度差异, 而盐度水平在 7 月中旬之

后大幅下降是制约 2020 年烟威近岸产卵场鱼卵丰度长期维持较高水平的重要因素。

2020 年 4—9 月, 烟威近岸海域共出现 33 种鱼卵, 鳀在 5—9 月的 3 个群落中均为鱼卵特征种, 鲈是 4 月群落和 5 月群落鱼卵特征种, 尖吻黄盖鲂是 4 月群落鱼卵特征种, 绯鲢是 6—7 月群落鱼卵特征种, 带鱼和短吻红舌鲷是 8—9 月群落鱼卵特征种。4 月底, 于调查海域的中西部和东部采集到 4 种鱼类的少量鱼卵, 丰富度指数为全调查月份最低, 而均匀度指数为全调查月份最高; 鳀和鲈的亲鱼均从山东半岛以南的海域洄游至烟威渔场产卵(赵传纲, 1990), 然而在该航次调查中, 鲈卵全部采集自中西部海域且为当月重要种, 鳀卵只在东部 2 站出现且仅采集到 1 粒, 说明 4 月底已有一定数量的鲈亲鱼从越冬场洄游进入烟威渔场内部并开始产卵, 而烟威近岸海域环境条件尚不适合鳀亲鱼产卵。5 月底—6 月初, 烟威近岸海域鳀和鲈进入产卵盛期, 分别采集到 19 万余粒鳀卵和 9 万余粒鲈卵, 占当月总卵量的 95.76%, 因此, 鳀和鲈是烟威近岸海域鱼类产卵盛期的绝对优势种和 4—5 月鱼卵群落结构更替的主要分歧种, 也是 5 月底—6 月初多样性指数和均匀度指数为全调查月份次低的主要原因; 该时期烟威近岸海域鱼卵种类数上升至全年最高(21 种), 除鳀和鲈外, 蓝点马鲛、高眼鲈、黄条鲈为主要种, 黑鲷、褐牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)、少鳞鳎为常见种, 这也使得烟威近岸海域丰富度指数达全年次高。6 月底, 烟威近岸海域鱼卵种类仍保持 19 种, 鱼卵数量明显下降, 烟威近岸产卵场的丰富度指数升至全年最高, 但多样性指数和均匀度指数降至全年最低; 鳀卵仍是绝对优势种, 但数量明显下降, 鲈卵降级为重要种, 此 2 种鱼卵的数量降级使其成为 5—6 月鱼卵群落结构更替的主要分歧种; 黑鲷产卵期结束, 蓝点马鲛、黄条鲈和高眼鲈产卵盛期结束, 绯鲢、少鳞鳎和白姑鱼卵量均明显提升, 长蛇鲻进入主要产卵期。7 月中旬, 烟威近岸海域卵量继续下降, 鱼卵种类降至 13 种, 鱼卵丰富度指数下降; 鳀仍为鱼卵优势种, 但卵量明显下降, 鲈进入产卵末期, 这使得鳀和鲈成为 6—7 月群落结构更替的主要分歧种, 不过也造成鳀卵和鲈卵与其他鱼种的数量差异明显缩小, 使当月鱼卵多样性指数和均匀度指数明显上升, 短吻红舌鲷、少鳞鳎和绯鲢成为重要种。8 月下旬, 烟威近岸海域鱼卵数量进一步降低, 鱼卵种类降为 11 种, 丰富度指数、多样性指数和均匀度指数稍有升高; 鳀的产卵盛期结束且不再是鱼卵优势种, 绯鲢进入产卵末期; 在鳀的数量级影响消失后, 短吻红舌鲷和少鳞鳎成为当月鱼卵优势种, 带鱼

卵量有所升高, 成为当月鱼卵重要种。9 月中下旬, 仅采集到 9 种鱼类的少数鱼卵, 除鳀外的其他鱼卵均零星出现, 短吻红舌鲷、少鳞鳎和带鱼由于卵量骤降而成为 8—9 月群落结构更替的主要分歧种; 鳀卵数量稍有上升, 成为主要分歧种之一, 不过其出现站位已位于威海刘公岛北部外海。

2020 年 4—9 月, 烟威近岸海域共出现 28 种仔稚鱼, 鳀在 5—9 月的 3 个群落中均为仔稚鱼特征种, 方氏云鳎和玉筋鱼是 4 月群落仔稚鱼特征种, 许氏平鲈和褐菖鲈是 5 月群落仔稚鱼特征种, 纹缟鰕虎鱼是 7 月群落仔稚鱼特征种, 白氏银汉鱼、沙氏下鱚和矶鲷是 6、8、9 月群落仔稚鱼特征种。4 月底, 烟威近岸海域只采集到 4 种鱼类的仔稚鱼, 丰富度指数为全调查月份最低, 多样性指数和均匀度指数为全年次低; 玉筋鱼占当月仔稚鱼总尾数的 83.43%, 是唯一的优势种。5 月底—6 月初, 烟威近岸海域仔稚鱼种类出现明显更替, 鳀、许氏平鲈和褐菖鲈仔稚鱼大量出现, 玉筋鱼仔稚鱼消失, 当月丰富度指数、多样性指数和均匀度指数有所提升。6 月底, 烟威近岸海域仔稚鱼种类增加到 11 种, 丰富度指数和多样性指数明显提升; 在 5—6 月仔稚鱼分歧种中, 鳀仔稚鱼增多并成为优势种, 沙氏下鱚和矶鲷仔稚鱼也明显增多并成为重要种, 许氏平鲈仔稚鱼明显减少, 褐菖鲈仔稚鱼消失。7 月中旬, 烟威近岸海域仔稚鱼种类数增加至 14 种, 但仔稚鱼数量却骤增至 6 月底的 7 倍以上, 且各种类仔稚鱼数量分布不均; 由于 5—6 月大量鳀卵孵化生长, 鳀仔稚鱼暴发式出现, 占当月仔稚鱼总数的 89.19%, 这使得鳀成为 6—7 月仔稚鱼群落结构更替的主要分歧种以及 7 月仔稚鱼唯一优势种, 也使当月丰富度指数、多样性指数和均匀度指数相比 6 月底呈明显下降; 一定数量的纹缟鰕虎鱼仔稚鱼于当月出现, 由于其适宜生长于近岸底层水域(Slynko *et al.*, 2020), 仅现于烟台牟平至威海刘公岛近岸站位。8 月下旬, 烟威近岸海域仔稚鱼数量骤降, 不过种类数量仍保持 10 种, 使得当月丰富度指数、多样性指数和均匀度指数升至全部调查月份最高; 鳀和矶鲷仔稚鱼数量大幅下降, 使得 7—8 月仔稚鱼群落相异性较高, 成为群落结构更替的主要分歧种。9 月中下旬, 烟威近岸海域仔稚鱼数量降至全部调查月份最低, 鱼卵种类降至 8 种, 丰富度指数、多样性指数和均匀度指数下降; 由于 9 月中下旬与 8 月下旬之间仔稚鱼数量差距较小, 各仔稚鱼种类没有明显的数量变化, 因此, 群落结构平均相异性较低, 各鱼种对平均相异性的贡献率没有明显差异。总体来看, 鳀在 5—9 月烟威近岸海域鱼卵和仔稚鱼群落结构中具最重要地位,

是各时期鱼卵和仔稚鱼群落特征的重要识别鱼种,也是各月群落结构更替的重要分歧种;鲈在 4—6 月烟威近岸海域鱼卵群落结构中的重要性仅次于鳀,对烟威近岸海域鱼类产卵盛期内鱼卵群落结构更替和多样性特征变动产生深刻影响。

3.3 主要鱼种适宜产卵生境

烟威近岸海域环境因子在 4—9 月变动明显,调查海域海表温度(SST)范围为 8.27~26.05℃,海底温

度(SBT)范围为 8.01~24.52℃,海表盐度(SSS)范围为 30.87~33.27,海水深度范围为 4.4~82.0 m,海表温度、海底温度、海表盐度与深度的时空变动显著影响鱼类产卵选择。各鱼种产卵月份、主要产卵区域及适宜产卵生境如表 6 所示。

鳀为暖温性中上层洄游鱼类,是海洋鱼类重要的饵料生物(唐启升等, 2005),其鱼卵在黄渤海(万瑞景等, 2008; 阮洪超, 1984)各产卵场中占较大比重,水温上升是驱动鳀产卵洄游并在 4 月下旬抵达黄海北部

表 6 主要鱼种产卵月份、主要产卵区域及适宜产卵生境
Tab.6 Spawning month, major spawning areas and suitable spawning habitats of main species

种类 Species	产卵月份 Spawning month	主要产卵区域 Major spawning areas	适宜表盐 Suitable SSS	适宜表温 Suitable SST /°C	适宜底温 Suitable SBT /°C	适宜水深 Suitable depth /m	产卵适宜性 Spawning suitability
鳀 <i>E. japonicus</i>	4—9 月 Apr. to Sept.	烟威北部海域 Areas north of Yantai-Weihai	32.0~33.0	16.4~21.7	8.5~15.7	11.0~43.2	低 SST、SBT 和高 SSS 海域 Areas with low SST and SBT, and high SSS
鲈 <i>S. japonicus</i>	4—7 月 Apr. to Jul.	烟台牟平—威海刘公岛北部海域 Areas north of Yantai Muping District-Weihai Liugong Island	32.0~33.0	16.4~21.7	8.5~16.2	26.5~43.2	低 SST、SBT 和高 SSS 海域 Areas with low SST and SBT, and high SSS
蓝点马鲛 <i>S. niphonius</i>	5—6 月 May to Jun.	烟台莱山—威海刘公岛北部海域 Areas north of Yantai Laishan District-Weihai Liugong Island	32.0~32.6	16.9~19.8	8.6~16.2	10.6~43.2	低 SST、SBT 和高 SSS 海域 Areas with low SST and SBT, and high SSS
高眼鲽 <i>C. herzensteini</i>	5—9 月 May to Sept.	烟台牟平—威海刘公岛北部离岸海域 Farther offshore areas north of Yantai Muping District-Weihai Liugong Island	32.2~33.0	16.9~19.1	8.6~13.5	19.8~43.2	低 SST、SBT 和高 SSS 海域 Areas with low SST and SBT, and high SSS
黄条鲷 <i>S. lalandi</i>	5—7 月 May to Jul.	烟台莱山—威海刘公岛北部离岸海域 Farther offshore areas north of Yantai Laishan District-Weihai Liugong Island	32.1~32.7	16.4~21.6	8.5~15.9	18.4~43.2	低 SST、SBT 和高 SSS 海域 Areas with low SST and SBT, and high SSS
少鳞鳎 <i>S. japonica</i>	5—8 月 May to Aug.	烟台蓬莱—套子湾北部海域 Areas north of Yantai Penglai City-Taozi Bay	30.9~32.6	16.9~22.9	15.3~20.1	10.4~31.7	高 SBT 的海水底层 Bottom waters with high SBT
黑鲷 <i>A. schlegelii</i>	5 月底—6 月初 Late May to early Jun.	烟台蓬莱—莱山区北部近岸海域 Offshore waters north of Yantai Penglai City-Laishan District	32.0~32.6	16.4~19.6	13.5~16.9	10.4~23.7	低 SST 的浅水海域 Shallow waters with low SST
长蛇鲻 <i>S. elongata</i>	5—8 月 May to Aug.	烟台蓬莱—莱山区北部海域 Areas north of Yantai Penglai City-Laishan District	31.0~32.6	19.3~21.9	15.3~20.6	16.8~30.4	高 SBT、低 SSS、水深较浅的海域 Medium shallow waters with high SBT and low SSS
尖吻黄盖鲽 <i>P. herzensteini</i>	4 月 Apr.	烟台蓬莱—烟威交界北部海域 Areas north of Yantai Penglai City-the border between Yantai and Weihai	32.3~33.0	9.6~12.2	8.4~11.2	8.4~24.2	低 SST、SBT 和高 SSS 的浅水海域 Shallow waters with low SST, SBT, and high SSS

和渤海的重要条件(卞晓东等, 2022b; 金显仕等, 2005)。鳀在烟威近岸海域产卵期为4—9月, 其鱼卵在5—9月鱼卵群落中均表现最高优势度, 主要产卵期为5—6月, 鳀适宜产卵生境为低温高盐海域, 鳀卵主要分布于海表盐度 32.0~33.0、海表温度 16.4~21.7℃、海底温度 8.5~15.7℃、深度 11.0~43.2 m 的烟威北部海域, 水温和盐度对鳀卵分布影响较大。

鲈为暖水性中上层洄游鱼类, 在我国黄海、东海有集中分布, 具有重要的经济价值(严利平等, 2012)。20世纪50年代, 烟威外海是重要的鲈产卵场(朱树屏, 1959), 但近年来鲈资源量波动较大(陈大刚, 1991), 其补充量分布规律及资源评估研究受到广泛关注(李曰嵩等, 2018; Takasuka *et al.*, 2008)。鲈于4—7月在烟威近岸海域产卵, 主要产卵期为5—6月, 其鱼卵为5月优势种和4月、6月重要种, 鲈亲鱼适宜在低温高盐海洋环境产卵, 鲈卵主要分布于海表盐度 32.0~33.0、海表温度 16.4~21.7℃、海底温度 8.5~16.2℃、深度 26.5~43.2 m 的烟台牟平—威海刘公岛北部海域中。

蓝点马鲛为洄游性中上层鱼类, 具有重要的经济价值(邱盛尧等, 1993; 祖凯伟等, 2019), 适宜产卵生境为低温高盐海洋环境(卞晓东等, 2022b)。5月底—6月初于烟威近岸海域采集到大量蓝点马鲛卵, 不过产卵期较短, 其鱼卵在6月底之后基本消失。水温及盐度对蓝点马鲛鱼卵丰度影响明显, 低温高盐海洋环境适宜蓝点马鲛产卵, 其鱼卵主要分布于海表盐度 32.0~32.6、海表温度 16.9~19.8℃、海底温度 8.6~16.2℃、深度 10.6~43.2 m 的烟台莱山区—威海刘公岛北部海域。值得一提的是, 同为大尺度洄游性中上层鱼类的鳀、蓝点马鲛和鲈的产卵盛期与密集中心高度重合, 而鳀在蓝点马鲛和鲈的食物组成中均占重要地位(张波, 2018; 张孝威等, 1959), 因此, 在饵料层面上, 鳀群分布对鲈和蓝点马鲛产卵选择影响深刻, 这一点也在烟威近岸海域鲈产卵区域影响因子研究(张雨轩等, 2022)及黄、渤海蓝点马鲛产卵场分布规律研究(韦晟, 1980)中得到印证。

高眼鲽为冷温性底层鱼类(万瑞景等, 1998), 是黄海渔业生态系统中的主要种类(滕广亮等, 2018), 其越冬场位于石岛东部水域, 主要产卵场位于山东南部、山东北部、海洋岛等海域。烟威近岸海域高眼鲽产卵期由5月持续至9月, 5月底—6月初为其产卵盛期, 之后仅零星分布, 低温高盐环境适宜高眼鲽产卵, 其鱼卵主要分布于海表盐度 32.2~33.0、海表温度 16.9~19.1℃、海底温度 8.6~13.5℃、深度 19.8~43.2 m 的烟台牟平—威海刘公岛北部离岸海域。

黄条鲈为全球性分布的海洋中上层暖温性远洋

洄游鱼类, 在中国沿海有广泛分布(Chai *et al.*, 2009), 其生长速度快、个体大、肉质鲜美, 具有很高的经济价值和食用价值(史宝等, 2020)。烟威近岸海域黄条鲈产卵期为5—7月, 5月为产卵高峰期, 7月鱼卵几乎消失, 8月开始不再产卵。低温高盐海域适宜黄条鲈产卵, 鱼卵主要分布于海表盐度 32.1~32.7、海表温度 16.4~21.6℃、海底温度 8.5~15.9℃、深度 18.4~43.2 m 的烟台莱山区—威海鸡鸣岛北部离岸海域。

少鳞鱈为暖水性近岸底层鱼类, 具有重要的经济价值, 亲鱼适宜栖息地为浅水(<93 m)、近岸(<22 km)海域, 深度、离岸距离和水温对其分布有较大影响(Zhang *et al.*, 2019; 万瑞景, 1996)。烟威近岸海域少鳞鱈产卵期为5—8月, 产卵高峰期为6月, 5—6月少鳞鱈产卵场主要分布于烟台蓬莱—莱山区北部海域, 7月产卵区域东界扩至威海刘公岛近岸, 8月主要产卵区域西界东移至烟台牟平北部, 东界位于威海桑沟湾东部海域, 已有亲鱼绕过成山角向南洄游产卵。少鳞鱈鱼卵分布仅与海底温度和水深有明显相关性, 底温较高的浅水区是少鳞鱈适宜产卵海域, 其鱼卵主要分布于海表盐度 30.9~32.6、海表温度 16.9~22.9℃、海底温度 15.3~20.1℃、深度 10.4~31.7 m 的烟台蓬莱—套子湾北部海域。

黑鲷为暖温性底层鱼类, 喜栖息于近岸岩礁海区、内湾及咸淡水水域(陈大刚等, 2015), 具极高经济价值, 是我国重要的增殖放流对象(李冬辰等, 2021)。烟威近岸海域黑鲷产卵期为5月底—6月初, 其鱼卵分布于海表盐度 32.0~32.6、海表温度 16.4~19.6℃、海底温度 13.5~16.9℃、深度 10.4~23.7 m 的烟台蓬莱—莱山区北部近岸海域, 尤以烟台莱山区北部近岸1站鱼卵数量最高, 占该航次黑鲷鱼卵总数的 92.60%。温度和水深是影响黑鲷产卵选择的显著因子, 其适宜产卵生境为低温浅水近岸海域。

长蛇鲻为暖温性底层鱼类, 是重要的经济鱼种(陈大刚, 1991)。烟威近岸海域长蛇鲻产卵期较长, 为5—8月, 6—7月为主要产卵期, 适宜在底温较高、盐度较低的较浅海水中产卵, 其鱼卵主要分布在海表盐度 31.0~32.6、海表温度 19.3~21.9℃、海底温度 15.3~20.6℃、深度 16.8~30.4 m 的烟台蓬莱—莱山区北部海域。

尖吻黄盖鲽为近海底层洄游性鱼类, 具有一定的经济价值, 其亲鱼于每年3月由石岛外海深水区越冬场分2支北上产卵洄游, 一支4月游抵渤海海峡, 另一支5月游至海洋岛附近产卵(陈大刚, 1991; 毕庶万等, 1993)。4月底已有尖吻黄盖鲽于烟台蓬莱—烟威交界北部海域产卵, 之后不再出现, 6月下旬发现其仔稚鱼, 其鱼卵主要分布于海表盐度 32.3~33.0、海表

温度 9.6~12.2℃、海底温度 8.4~11.2℃、深度 8.4~24.2 m 的烟台蓬莱—牟平以北低温高盐浅水海域。

3.4 烟威近岸海域硬骨鱼类产卵场重要性

中国水产科学研究院黄海水产研究所于 1985—1988 年对黄海硬骨鱼类产卵场进行综合调查(万瑞景等, 1998), 该调查与本调查相比, 网具规格、取样方法和每站拖网时间基本一致, 也基本覆盖了烟威近岸海域硬骨鱼类主要产卵期。1986 年 5 月 15 日—5 月 29 日黄海大面 86 站调查共采集 14 种硬骨鱼类的 299 592 粒鱼卵, 平均资源密度为 3 524.6 ind./haul, 密度最高的海州湾渔场和连青石渔场西南部海域有 4 站鱼卵数量高达 2.8~16.6 万 ind./haul, 为黄海主要中心产卵场之一, 而烟威渔场西北部密集区的鱼卵密度仅为 500~4000 ind./haul; 1985 年 6 月 25 日—7 月 12 日黄海北段海域 63 站调查共采集 15 种鱼类的 138 942 粒鱼卵, 作为最大密集分布区的石岛渔场东南部至海洋岛渔场东南部海域资源密度均在 1000 ind./haul 以上, 最大 2 站达 18 738 和 21 112 ind./haul, 烟威渔场西部和中部形成 2 个 1000 ind./haul 以上的密集分布区, 最高密度分别达 30 000 和 7231 ind./haul (万瑞景等, 1998)。与该调查结果不同, 2020 年 5 月底—6 月初, 本调查于烟威近岸海域 36 站共采集到 21 种鱼类的 287 844 粒鱼卵, 平均资源密度为 7995.67 ind./haul, 卵量最高的烟台牟平近岸站位采集到 12 万余粒鱼卵, 另有 4 站鱼卵数量为 10 000~40 000 粒, 远高于 1985—1986 年调查中烟威渔场的资源密度水平。当前调查, 烟威近岸海域除鲉和鲈等主要种类外, 仍出现 20 余种产卵期短暂或出现频率与数量占比较低的鱼类早期资源, 其中不乏带鱼、蓝点马鲛和小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)等黄渤海重要经济鱼种, 符合其“过路渔场”属性。不过, 本研究在 1986—1988 年调查(万瑞景等, 1998)未覆盖到的 37°30'N 以南的烟威近岸海域发现大量鲉卵和鲈卵; 此外, 黄条鲈小规模产卵也是烟威近岸海域鱼类产卵场的新发现。

渤海莱州湾为黄渤海众多渔业生物关键栖息地, 是黄渤海渔业生物主要产卵场、育幼场和渤海多种渔业的传统渔场(Jin *et al.*, 2013), 该海域鱼卵平均资源密度季节变化规律与烟威近岸海域相同, 均为升温期(春季、春夏季)最高, 夏季急剧下降, 秋季仅有零星鱼卵分布(卞晓东等, 2022a); 不过, 近年莱州湾春季至春夏季(5—6 月)产卵盛期鱼卵平均资源密度(春季 1 473.61 ind./haul, 春夏季 146~983.14 ind./haul)及种类数量(春季 16 种, 春夏季 18 种)均明显低于烟威近

岸海域同期水平, 作为烟威近岸海域 5—6 月重要产卵鱼种—鲈、高眼鲱、黄条鲈等并未在莱州湾海域出现(卞晓东等, 2022a)。辽东湾为中国著名鱼类产卵场(刘效舜等, 1990), 2008 年 5 月底调查结果显示, 辽东湾近岸海域 46 站仅采集 15 种鱼卵, 平均资源密度仅 1.07 ind./m³, 最高密度为 16.68 ind./m³, 均明显低于烟威近岸海域同期水平; 群落结构亦明显相异, 皮氏叫姑鱼(*Johnius belangerii*)、小黄鱼、斑鲆(*Konosirus punctatus*)和青鳞小沙丁鱼(*Sardinella zunasi*)鱼卵数量在辽东湾 5 月底鱼卵总数中所占比重明显高于烟威近岸海域(于旭光等, 2018)。受限于调查时期和站位的影响, 上述渤海重要产卵场产卵盛期鱼卵种类、数量与群落结构相较烟威近岸海域的实际差距或许并非如数据显示一样大, 不过仍可反映烟威近岸海域硬骨鱼类产卵场的重要地位, 即虽然烟威近岸与渤海莱州湾和辽东湾海域在产卵盛期的卵量规模与群落结构存在一定差异, 但在 5—6 月鱼类产卵场规模和产卵种类数上均要高于渤海各产卵场。烟威近岸海域温盐分布具明显的时空异质性(张雨轩等, 2022), 每年由越冬场洄游至烟威近岸的不同温盐适宜性鱼类可交替利用该水域完成产卵繁殖任务。烟威近岸海域目前仍是黄海重要的鱼类产卵场之一, 具丰富的产卵种类与可观的鱼卵丰度, 是渔业资源补充的重要源头, 需在海洋鱼类早期生活史研究与产卵场养护和修复策略制定中得到足够重视。

4 总结

本研究基于 2020 年 4—9 月逐月调查数据, 对山东半岛北部烟威近岸海域鱼类产卵场现状进行了系统阐述。结果显示, 2020 年 4—9 月, 烟威近岸海域鱼类产卵场分布着大量鱼类早期资源群体, 有 52 种鱼类的鱼卵或仔稚鱼在该产卵场内出现, 产卵盛期为 5—6 月, 仔稚鱼盛期为 7 月, 主要产卵场分布在烟台套子湾至威海鸡鸣岛北部海域, 仔稚鱼主要生长发育场所位于烟台牟平—威海鸡鸣岛北部海域。鱼类早期资源群落结构的月际变化明显, 4 月多为冷温性鱼类, 主要产卵期内以海水中上层暖温性、暖水性鱼类为主导, 产卵末期则多为近岸浅水或岩礁性鱼类, 海水温盐环境的时空差异是鱼类早期资源数量变动及群落结构更替的主要原因, 7 月中旬之后的低盐度水平是产卵盛期持续性的重要限制因子。综合来看, 烟威近岸海域不仅是带鱼、小黄鱼和蓝点马鲛等多种重要经济鱼类的“过路渔场”, 也是鲉、鲈、高眼鲱和黄条鲈等渔业资源的重要产卵场。因此, 烟威近岸海域

鱼类早期资源群落结构和海洋环境因子的年内及年际变动情况值得在未来进行长期监测,这可以为厘清黄渤海鱼类洄游路线、补充机制及环境调控机制提供基础数据,为不同物种、不同时间和不同环境条件下的渔业资源养护策略的精准制定提供生态学基础。

参 考 文 献

- BEAUGRAND G, BRANDER K M, LINDLEY J A, *et al.* Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. *Nature*, 2003, 426(6967): 661–664
- BI S W, ZHENG Z H, FENG D G, *et al.* Preliminary study on the hatching of fertilized eggs and the rearing of larvae and juveniles of *Pseudopleuronectes herzensteini* (Jordan & Snyder). *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1993(4): 75–80 [毕庶万, 郑振虎, 冯敦国, 等. 赫氏黄盖鲈受精卵孵化与仔幼鱼培育初步研究. *海洋湖沼通报*, 1993(4): 75–80]
- BIAN X D. Investigation report on the spawning grounds in offshore waters of the Bohai Sea and Yellow Sea from 2014 to 2018 (unpublished). Yellow Sea Fishery Research Institute Scientific Report, 2018 [卞晓东. 2014–2018年黄渤海近岸产卵场调查报告(未公开发表). 黄海水产研究所调查报告, 2018]
- 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. *Journal of Fisheries of China*, 2022a, 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. *水产学报*, 2022a, 46(1): 51–72]
- 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. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022b, 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补充量动态及其外在驱动因素. *中国水产科学*, 2022b, 29(3): 446–468]
- 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. *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. *渔业科学进展*, 2018, 39(2): 1–15]
- 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. *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. *中国水产科学*, 2010, 17(4): 815–827]
- CHAI X L, LI X X, LU R M, *et al.* Karyotype analysis of the yellowtail kingfish *Seriola lalandi lalandi* (Perciformes: Carangidae) from South Australia. *Aquaculture Research*, 2009, 40(15): 1735–1741
- CHEN D G. *Fishery Ecology in the Yellow Sea and Bohai Sea*. Beijing: Ocean Press, 1991, 326–330 [陈大刚. 黄渤海渔业生态学. 北京: 海洋出版社, 1991, 183–442]
- CHENG J S. *Ecological environment and biotic community in the coastal waters of the Yellow Sea and Bohai Sea*. Qingdao: China Ocean University Press, 2004, 244–260 [程济生. 黄渤海近岸水域生态环境与生物群落. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2004, 244–260]
- CRONA B I, HOLMGREN S, RÖNNBÄCK P. Re-establishment of epibiotic communities in reforested mangroves of Gazi Bay, Kenya. *Wetlands Ecology and Management*, 2006, 14(6): 527–538
- FAN Z W, JIANG R J, LI Z, *et al.* Community structure of ichthyoplankton and its relationship with environmental factors in Zhongjieshan Islands, China. *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. *生态学报*, 2020, 40(13): 4392–4403]
- HUTCHINGS J A, REYNOLDS J D. Marine fish population collapses: Consequences for recovery and extinction risk. *BioScience*, 2004, 54(4): 297–309
- JIN X S, SHAN X J, LI X S, *et al.* Long-term changes in the fishery ecosystem structure of Laizhou Bay, China. *Science China Earth Sciences*, 2013, 56(3): 366–374
- JIN X S, ZHAO X Y, MENG T X, *et al.* *The Yellow Sea and Bohai Sea biological resources and habitats*. Beijing: Science Press, 2005, 263–264 [金显仕, 赵宪勇, 孟田湘, 等. 黄渤海生物资源与栖息环境. 北京: 科学出版社, 2005, 263–264]
- KHALAF M A, KOCHZIUS M. Changes in trophic community structure of shore fishes at an industrial site in the Gulf of Aqaba, Red Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 239: 287–299
- LI D C, ZHANG F. Ingestion of large jellyfish *Aurelia coerulea* by black sea bream *Acanthopagrus schlegelii*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2021, 52(6): 1430–1437 [李冬辰, 张芳. 黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)对海月水母(*Aurelia coerulea*)的摄食研究. *海洋与湖沼*, 2021, 52(6): 1430–1437]
- LI Y S, BAI S L, PAN L Z, *et al.* An individual model based simulation study on impact of water temperature fluctuation on recruitment of chub makerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2018(6): 118–124 [李曰嵩, 白松麟, 潘灵芝, 等. 基于个体模型水温变动对东海鲈鱼补充量影响模拟研究. *海洋湖沼通报*, 2018(6): 118–124]
- LIANG S S, WANG J J, HUANG J S, *et al.* Ecological vulnerability assessment of coral community under the impact of multiple environmental factors. *Ecology and*

- Environmental Sciences, 2021, 30(12): 2360–2369 [梁姗姗, 王建佳, 黄锦树, 等. 近岸多源环境因素影响下珊瑚群落的生态脆弱性评价研究. 生态环境学报, 2021, 30(12): 2360–2369]
- LIU X S, WU J N, HAN G Z, *et al.* Investigation and division of fisheries resource of Yellow and Bohai Sea. Beijing: Ocean Press, 1990, 78–266 [刘效舜, 吴敬南, 韩光祖, 等. 黄渤海区渔业资源调查与区划. 北京: 海洋出版社, 1990, 78–266]
- MARGALEF D R. Information theory in ecology. *Memorias de la Real Academia de ciencias y artes de Barcelona*, 1957, 32: 374–559
- OKIYAMA M. An atlas of the early stage stage fishes in Japan (second edition). Tokyo: Tokai University Press, 2014 [冲山宗雄. 日本产稚鱼图鉴(第二版). 东京: 东海大学出版会, 2014]
- PAN Y L, LIU X, SHA J J, *et al.* Influence of environmental factors on phytoplankton community structure and its relationship with coastal aquaculture in the waters adjacent to Rongcheng. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(5): 26–33 [潘玉龙, 刘潇, 沙婧婧, 等. 荣成近岸养殖海域浮游植物群落结构及与环境因子的关系. 渔业科学进展, 2019, 40(5): 26–33]
- PIELOU E C. An introduction to mathematical ecology. New York: Wiley-Interscience, 1969
- PINKAS L. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters. California Department of Fish and Game, *Fish Bulletin*, 1971, 152: 1–105
- QIU S Y, YE M Z. The characteristics of growth for Spanish mackerel underyearing in the Yellow Sea and Bohai Sea. *Journal of Fisheries of China*, 1993, 17(1): 14–23 [邱盛尧, 叶懋中. 黄渤海蓝点马鲛当年幼鱼的生长特性. 水产学报, 1993, 17(1): 14–23]
- RUAN H C. Studies on the eggs and larvae of *Engraulis japonicus*. *Studia Marina Sinica*, 1984, 22: 29–56 [阮洪超. 鳀鱼卵子和仔稚鱼的形态发育及其在黄海、渤海分布. 海洋科学集刊, 1984, 22: 29–56]
- SHANNON C E. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 1948, 27(3): 379–423
- SHI B, LIU X Z, CAO Y N, *et al.* Effects of salinity stress on the digestive physiology and anti-stress index of yellowtail kingfish (*Seriola aureovittata*). *Marine Sciences*, 2020, 44(6): 64–72 [史宝, 柳学周, 曹亚男, 等. 盐度胁迫对黄条鲷消化生理和抗应激指标的影响. 海洋科学, 2020, 44(6): 64–72]
- SLYNKO Y V, SLYNKO E E, ABLIAZOV E R, *et al.* Molecular-genetic identification of chameleon goby *Tridentiger trionocephalus* (Gill, 1859) in the Black Sea. *Ecologica Montenegrina*, 2020, 32: 46–52
- TAKASUKA A, OOEZKI Y, KUBOTA H. Multi-species regime shifts reflected in spawning temperature optima of small pelagic fish in the western North Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, 2008, 360: 211–217
- TANG Q S, SU J L, SUN S, *et al.* A study of marine ecosystem dynamics in the coastal ocean of China. *Advances in Earth Science*, 2005(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. 地球科学进展, 2005(12): 1288–1299]
- TENG G L, SHAN X J, JIN X S, *et al.* A study on the ovary-development characters and oocyte size–Distribution of *Cleisthenes herzensteini* in the Yellow Sea. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(1): 12–20 [滕广亮, 单秀娟, 金显仕, 等. 黄海高眼鲷卵巢发育特征及卵径分布. 渔业科学进展, 2018, 39(1): 12–20]
- TER BRAAK C J F. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 1986, 67(5): 1167–1179
- WAN R J. Morphology of early development of *Sillago sihama* (Forsk.) *Marine Fisheries Research*, 1996, 17(1): 35–41 [万瑞景. 多鳞鳕早期发育形态. 海洋水产研究, 1996, 17(1): 35–41]
- WAN R J, JIANG Y W. Studies on the ecology of eggs and larvae of Osteichthyes in the Yellow Sea. *Marine Fisheries Research*, 1998, 19(1): 60–73 [万瑞景, 姜言伟. 黄海硬骨鱼类鱼卵、仔稚鱼及其生态调查研究. 海洋水产研究, 1998, 19(1): 60–73]
- WAN R J, ZHANG R Z. Fish eggs, larvae and juveniles in the offshore and adjacent waters of China. Shanghai: Shanghai Scientific and 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. 上海: 上海科学技术出版社, 2016]
- WAN R J, ZHAO X Y, WEI H. Spawning ecology of the anchovy *Engraulis japonicus* in the spawning ground of the Southern Shandong Peninsula II. Spawning habits and embryonic developmental characteristics of the anchovy. *Current Zoology*, 2008, 54(6): 988–997 [万瑞景, 赵宪勇, 魏皓. 山东半岛南部产卵场鳀鱼的产卵生态 II. 鳀鱼的产卵习性和胚胎发育特性. 动物学报, 2008, 54(6): 988–997]
- WEI S. The fishing seasons and grounds of the blue spotted mackerel, *Scomberomorus niphonius* in the Yellow Sea and Bohai in relation to environmental factors. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1980(2): 34–40 [韦晟. 蓝点马鲛在黄、渤海的渔场、渔期与环境的关系. 海洋湖沼通报, 1980(2): 34–40]
- WEN C N, HUANG W, CHEN K N, *et al.* Canonical correspondence analysis between zooplankton community structure and environmental factors in the littoral zone of Taihu Lake. *Journal of Hydroecology*, 2020, 41(2): 36–44 [温超男, 黄蔚, 陈开宁, 等. 太湖滨岸带浮游动物群落结构特征与环境因子的典范对应分析. 水生生态学杂志, 2020, 41(2): 36–44]
- YAN L P, ZHANG H, LI S F, *et al.* Progress of population identification and classification of chub mackerel (*Scomber*

- japonicus*) in the East China Sea and the Yellow Sea. Marine Fisheries, 2012, 34(2): 217–221 [严利平, 张辉, 李圣法, 等. 东、黄海日本鲭种群鉴定和划分的研究进展. 海洋渔业, 2012, 34(2): 217–221]
- 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. 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. 大连海洋大学学报, 2018, 33(3): 370–378]
- ZHANG B. Feeding ecology of fishes in the Bohai Sea. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(3): 11–22 [张波. 渤海鱼类的食物关系. 渔业科学进展, 2018, 39(3): 11–22]
- ZHANG R Z, LU S F, ZHAO C Y, *et al.* Fish eggs and larvae in the coastal waters of China. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1985 [张仁斋, 陆穗芬, 赵传纲, 等. 中国近海鱼卵与仔鱼. 上海: 上海科学技术出版社, 1985]
- ZHANG X W, LIU X S. Investigation of ecology of four main commercially important marine fish species in China in the past ten years. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1959, 2(4): 233–240 [张孝威, 刘效舜. 十年来我国四种主要海产经济鱼类生态的调查研究. 海洋与湖沼, 1959, 2(4): 233–240]
- ZHANG Y Q, QIU S Y. A preliminary study on fishery resources in Shandong coastal areas. Journal of Yantai University (Natural Science and Engineering), 2019, 32(1): 61–67, 102 [张玉钦, 邱盛尧. 山东近海渔业资源现状初步研究. 烟台大学学报(自然科学与工程版), 2019, 32(1): 61–67, 102]
- ZHANG Y X, BIAN X D, SHAN X J, *et al.* Spatio-temporal distribution of spawning grounds of chub mackerel (*Scomber japonicus*) and its relationship with environmental factors in the Yantai-Weihai offshore waters. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(4): 618–632 [张雨轩, 卞晓东, 单秀娟, 等. 烟威近岸海域鲈产卵场时空分布及其与环境因子的关系. 中国水产科学, 2022, 29(4): 618–632]
- ZHANG Z, XU S, CAPINHA C, *et al.* Using species distribution model to predict the impact of climate change on the potential distribution of Japanese whiting *Sillago japonica*. Ecological Indicators, 2019, 104: 333–340
- ZHAO C Y. Marine fishery resources of China. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Publishing House, 1990, 106–109 [赵传纲. 中国海洋渔业资源. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990, 106–109]
- ZHU S P. Investigation on *Scomber japonicus* fishing ground in Yantai and Weihai sea area//Expert Office of China Committee of Western Pacific Fishery Commission. Proceedings of the Second Plenary Meeting of the Western Pacific Fishery Commission. Beijing: Science Press, 1959, 1–30 [朱树屏. 烟、威海区鲈鱼渔场调查//太平洋西部渔业研究委员会中国委员会专家办公室. 太平洋西部渔业研究委员会第二次全体会议论文集. 北京: 科学出版社, 1959, 1–30]
- ZU K W, CHENG J H, LIU Y, *et al.* Distribution of fishing grounds of Japanese Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*) during spawning and overwintering period and its relation with sea surface temperature in China Sea. Transactions of Oceanology and Limnology, 2019(6): 48–57 [祖凯伟, 程家骅, 刘阳, 等. 产卵期及越冬期蓝点马鲛渔场分布变化及其与海表温度的关系. 海洋湖沼通报, 2019(6): 48–57]

(编辑 冯小花)

Community Structure and Suitable Habitat of the Early Life Stages of Marine Fish in the Yantai-Weihai Offshore Waters

ZHANG Yuxuan^{1,2,3}, BIAN Xiaodong^{1,2①}, SHAN Xiujuan^{1,2}, JIN Xianshi^{1,2}, WANG Huibin¹

(1. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-Environment of Shandong Province, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao, Shandong 266071, China; 2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao, Shandong 266071, China; 3. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract Spawning grounds are essential habitats for the early life stages of marine aquatic animals. The habitat conditions of fish spawning grounds determine the quantity and growth of eggs and larvae,

① Corresponding author: BIAN Xiaodong, E-mail: bianxd@ysfri.ac.cn

which in turn have an important impact on marine fish recruitment. Historically, there was one important spawning ground of *Scomber japonicus* in the Yantai-Weihai offshore waters, which were considered an unstable spawning ground as it is the main breeding migration channel for most of the breeding fish stocks migrating from the Yellow Sea to the Bohai Sea in the spring, and a feeding ground when adult and juvenile fish migrate out of the Bohai Sea in summer and autumn. Therefore, the Yantai-Weihai offshore waters have not been well studied in recent years. To determine the current fish spawning ground status in this area, monthly surveys were conducted from April to September 2020. Pooled analyses of the fish eggs, larvae, and environmental data employed spatial interpolation, clustering analysis, non-metric multi-dimensional scaling, similarity analysis, and redundancy analysis (RDA). The spatio-temporal distribution patterns and monthly community turnover of the marine fish early life stages and the optimal habitat of the main species were also examined. In total, 52 fish eggs and larvae species were collected, including 337 038 eggs of 33 taxa and 2122 larvae of 28 taxa. The main spawning season was from May to June, with 21 taxa accounting for 98.32% of the total species observed during the whole year. The main spawning ground was located in northern waters from the Yantai Taozi Bay to Weihai Jiming Island. *Engraulis japonicus*, *S. japonicus*, *Scomberomorus niphonius*, *Cleisthenes herzensteini*, *Seriola lalandi*, *Callionymus beniteguri*, *Sillago japonica*, *Acanthopagrus schlegelii*, *Cynoglossus joyneri*, and *Saurida elongata* were the main spawning species. The eggs and larvae community structures presented apparent monthly variance in the Yantai-Weihai offshore waters. Apart from the end of the spawning season between August and September, the monthly species turnover rates were over 50%, with average dissimilarities between eggs and larvae communities in the adjacent months of more than 73%. In April, *Pseudopleuronectes herzensteini* was the dominant eggs taxon, while the dominant larvae taxon was *Ammodytes personatus*. In May, *E. japonicus* and *S. japonicus* were the dominant eggs species, while *Sebastes schlegelii* was the dominant larvae species. *E. japonicus* eggs and larvae were both dominant in June and July. In August, the dominant eggs taxa were *C. joyneri* and *S. japonica*, and the dominant larvae taxon was *E. japonicus*. There was no dominant taxon in September. From April to June, *E. japonicus* was the indispensable species to the community structure and contributed the most to community turnover, while *S. japonicus* was the second most important species. Habitat environmental factors in the Yantai-Weihai offshore waters within the survey areas from April to September 2020 varied as follows: the sea surface temperature (SST) ranged from 8.27°C to 26.05°C, the sea bottom temperature (SBT) from 8.01°C to 24.52°C, the sea surface salinity (SSS) from 30.87 to 33.27, and the seafloor depth from 4.4 to 82.0 m. The RDA results showed that variation in SST, SBT, SSS, and seafloor depth affected fish spawning activities significantly. The suitable spawning habitat of *E. japonicus*, *S. japonicus*, *S. niphonius*, *S. lalandi*, *C. herzensteini*, and *C. beniteguri* was the areas with low SST and SBT, and high SSS. The suitable spawning habitat of *P. herzensteini* and *A. schlegelii* was the shallow waters with low SST, while low SBT and high SSS was suitable only for *P. herzensteini*. The suitable spawning habitat of *C. joyneri* was the areas with high SST and SBT, and low SSS, and for *S. elongata* and *Trichiurus lepturus* was the medium shallow waters and areas with high SBT and low SSS, respectively. Finally, the suitable spawning habitat of *S. japonica* was the bottom waters with high SBT. During the peak spawning season, the species number and ecological density of fish's eggs in the Yantai-Weihai offshore waters were significantly higher than those distributed in the Liaodong Bay and Laizhou Bay, which represented the typical spawning grounds in the whole Yellow Sea and Bohai Sea. In conclusion, typical fish spawning grounds are currently distributed in the Yantai-Weihai offshore waters; therefore, research on the early life history and spawning grounds of marine fish in this area is critical. This study provides important ecological information on the early life stages of fish for conservation and formulation of spawning ground protection strategies in the Yellow Sea and Bohai Sea.

Key words Yantai-Weihai offshore waters; Spawning grounds; Fish eggs and larvae; Community structure; RDA