



黄海南部近岸水域棘头梅童鱼仔稚鱼的分布和漂移趋势

邹明汐¹, 陈渊戈^{2*}, 宋小晶², 李圣法², 钟俊生^{1*}

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

摘要: 鱼类早期资源特征对鱼类种群的研究和渔业资源的评估管理具有极大的价值。实验于2019年3月—2020年1月在黄海南部近岸水域设置47个站点, 每月大潮期间使用仔稚鱼网采集仔稚鱼, 揭示了棘头梅童鱼仔稚鱼丰度的时空分布特征和漂移趋势, 采用广义相加模型分析环境因子与之关联。调查共采集到棘头梅童鱼仔稚鱼2385尾, 出现在6—10月, 6月丰度最高(165.15尾/100 m³), 并呈逐月降低的趋势, 同时各月样品中最优势的发育阶段依次从前弯曲期仔鱼变为了稚鱼。前弯曲期和弯曲期仔鱼集中分布在北部靠近海州湾水域, 向海扩散的范围相对较大, 后弯曲期仔鱼和稚鱼则集中分布在中部近岸水域。GAM模型结果显示, 经纬度对丰度的偏差解释率最高, 为52.3%, 其次是月份和表层盐度。研究表明, 实验所涉及黄海南部近岸水域是棘头梅童鱼早期阶段的保育场, 其仔稚鱼可能主要来自于海州湾海域6月的产卵群体, 鱼卵和前弯曲期仔鱼被动漂流扩散开后, 随着生长发育, 同时在表层盐度、表层水温和水深等环境因子的影响下, 一部分后弯曲期仔鱼和稚鱼向岸聚集。9月整个早期群体都发育到稚鱼为主, 并随后从仔稚鱼网的样本中消失。

关键词: 棘头梅童鱼; 仔稚鱼; 丰度; 分布; 漂移趋势; 黄海南部

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

仔稚鱼的数量变动会直接影响鱼类补充群体的大小, 对鱼类的资源补充和渔业资源可持续利用有重要作用^[1]。研究天然水域中一种仔稚鱼的变动首要解决的基本问题是时间与空间上的分布特征及其与环境因子的关联。研究表明仔稚鱼在时间上的分布具有明显的季节性^[2-3], 且与亲鱼的产卵时间有关^[4]。在产卵高峰期的季节, 仔稚鱼的数量明显高于其他季节^[5]。仔稚鱼的空间分布格局与漂移有很大关联。鱼类在早期生活史阶段因水流作用和自身生物生态学特征而漂移^[6], 促进仔稚鱼在适宜水域的聚集, 能提高它们的存活率^[7-8], 这在其洄游和生活史中具有重要意义, 也

是影响鱼类种群数量补充的关键因素。此外水温、盐度、水深等环境因子也是影响仔稚鱼分布的重要因素^[9], 仔稚鱼各生长阶段对环境因子的需求不同^[10-11], 也对仔稚鱼在空间上的分布产生影响。

黄海南部近岸海域由于受黄海沿岸流、长江冲淡水的影响, 其水文环境较为复杂, 拥有丰富的饵料生物, 成为许多鱼类的产卵场和索饵场^[12-13]。棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)是黄海南部水域的优势种^[14-15], 也是江苏近岸海域与江苏近岸-沿海海域的分歧种类(造成不同站位组之间群落结构的种类)^[16], 其繁殖期主要在3—6月, 产卵场位于黄海吕泗渔场中南部和海州湾^[17-18],

收稿日期: 2020-11-21 修回日期: 2021-04-02

资助项目: 中国水产科学研究院东海水产研究所基本科研业务费专项(2019M05); 农业农村部近岸产卵场调查专项(125C0505)

第一作者: 邹明汐(照片), 从事鱼类早期生活史研究, E-mail: zoumingxicc@126.com

通信作者: 陈渊戈, 从事鱼类早期生活史研究, E-mail: chenyg@ccsf.ac.cn;

钟俊生, 从事鱼类早期生活史研究, E-mail: jszhong@shou.edu.cn



但目前其仔稚鱼在黄海南部近岸水域的时空分布和漂移途径还不清楚。为完善棘头梅童鱼基础生物学研究并了解棘头梅童鱼的资源补充现状,实验分析了2019年3月—2020年1月黄海南部近岸水域棘头梅童鱼仔稚鱼丰度的时空分布特征、漂流趋势以及环境因子对丰度分布的影响,为进一步保护和合理利用棘头梅童鱼资源提供参考资料。

1 材料与方 法

1.1 采样时间与地点

2019年3月—2020年1月在黄海南部近岸水域(119°00′~123°00′E, 31°00′~35°00′N, 图1)设置47个调查站点,使用2艘渔船(“沪崇渔11050”、“沪崇渔11197”)在每月大潮期间进行采样调查。

1.2 采样工具与方法

使用仔稚鱼网(网口直径1.3 m,网长6.0 m,网目孔径0.5 mm)进行水平拖网采样,网口浸没于水面以下,每网拖曳10 min,拖网速度为1~2 kn。网口挂流量计(Hydro-Bios 438 115型)以计算滤水体积,同时使用CTD(“SBE37”和“SBE Plus19”型)测量温度、盐度和水深。样品现场用5%的甲醛溶液固定保存。

1.3 样品处理

在实验室鉴定、分拣样品,依Kendall等^[19]

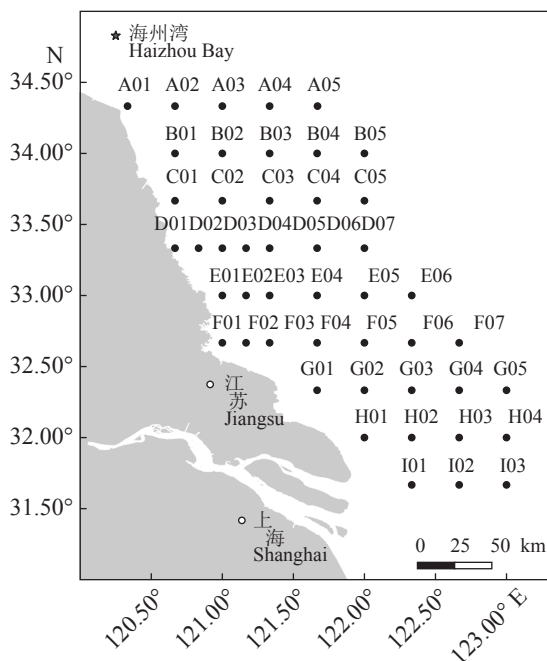


图1 仔稚鱼采样点站位图

Fig. 1 Sampling stations of fish larvae and juveniles

的方法划分为卵黄囊期仔鱼、前弯曲期仔鱼、弯曲期仔鱼、后弯曲期仔鱼和稚鱼5个阶段,使用体视显微镜(Leica M205FA)测量体长(BL,单位:mm),体长超出体视显微镜测量范围(>15 mm)的使用电子数显卡尺(三量,0~150 mm)进行测量。

1.4 数据分析

仔稚鱼丰度(尾/100 m³):

$$G_a = 100 N_a / (S \cdot L \cdot C)$$

式中, N_a 为每网棘头梅童鱼仔稚鱼数量(尾); S 为网口面积(m²); L 为流量计转数; C 为流量计校正值($C=0.3$)^[20]。

利用广义相加模型(generalized additive models, GAM)分析环境因子对棘头梅童鱼仔稚鱼分布的影响。由于调查中大量站位的仔稚鱼丰度为0,因此采用基于Tweedie分布的GAM。Tweedie分布为一组指数簇,幂方差函数为 $\text{Var}[y_i] = \phi \mu_i^p$,其中 ϕ 为尺度参数, p 为幂参数,可应用扩展准似然的剖面和对数连接函数进行估算,1< p <2时,该分布为混合Poisson-gamma分布,并允许0值,Tweedie分布优于传统的零膨胀问题的处理方法^[21]。

使用R语言中的“mgcv”包^[22]拟合棘头梅童鱼仔稚鱼丰度与环境因子的Tweedie GAM:

$$\begin{cases} Y \sim T_{W_p}(\theta, \emptyset) \\ \mu = E(Y) \\ \log(\mu) = \text{month} + s(\text{longitude}, \text{latitude}) + \\ t_i(\text{latitude}, \text{temperature}) + t_i(\text{longitude}, \text{depth}) \\ s(\text{depth}) + s(\text{salinity}) + s(\text{temperature}) + \epsilon_i \end{cases}$$

式中, μ_i 为仔稚鱼丰度的期望值; t_i (latitude, temperature)为平滑拟合北向(latitude)和水温(temperature)的张积量(tensor product); t_i (longitude, depth)为平滑拟合东向(longitude)和水深(depth)的张积量(tensor product),并考虑了调查数据的空间自关, s 为拟合环境因子的薄板回归样条,因子选择了经纬度(longitude, latitude)、水深(depth)、表层盐度(salinity)和表层水温(temperature),调查月份为因素水平(factor),本实验中月份因素水平仅选择了棘头梅童鱼仔稚鱼出现较多的6—9月, $\epsilon \sim N(0, 1)$ 。Tweedie GAM拟合中通过受限的最大似然法(REML)估算相关系数^[23]。

数据处理和环境因子变化图在Office 2016中进行,GAM模型图构建及检验在R 4.0.2^[24]软件中完成,使用ggplot23.3.2^[25]和mgcv1.8-31^[26]软件,地信绘制使用QGIS3.14.1^[27]软件。

2 结果

2.1 温度、盐度和水深的变化

平均温度各月变化较大, 2019 年 3—8 月, 平均温度逐月上升, 8 月平均温度最高, 为 27.55 °C, 8 月开始至次年 1 月平均温度逐月降低, 次年 1 月温度最低, 为 9.29 °C (图 2)。

A-I 断面各站点平均盐度变化较小, 最低盐度出现在 F01 站点 (26.59), 最高盐度出现在 B05 站点 (31.86), 从近岸海域到近海海域, 表层盐度呈现逐渐增加的趋势。A-B 断面站点的水深均为 15~20 m, 各站点间水深变化较小; C 断面上的 C03 站点恰好落在深槽中, 水深陡然增大,

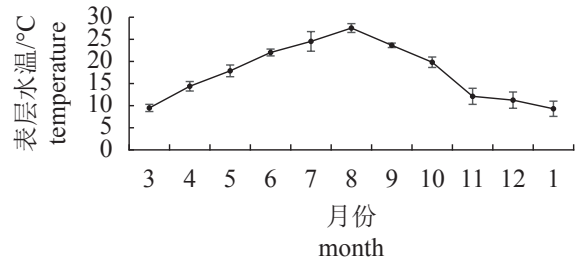


图 2 表层水温月变化

Fig. 2 Monthly change in surface water temperature

除此以外的其他站点水深呈逐渐增加的趋势; D~I 断面的水深均呈明显递增的趋势。调查水域最小水深为 E01 站位的 4.36 m, 最大水深为 H04 站位的 36.17 m (图 3)。

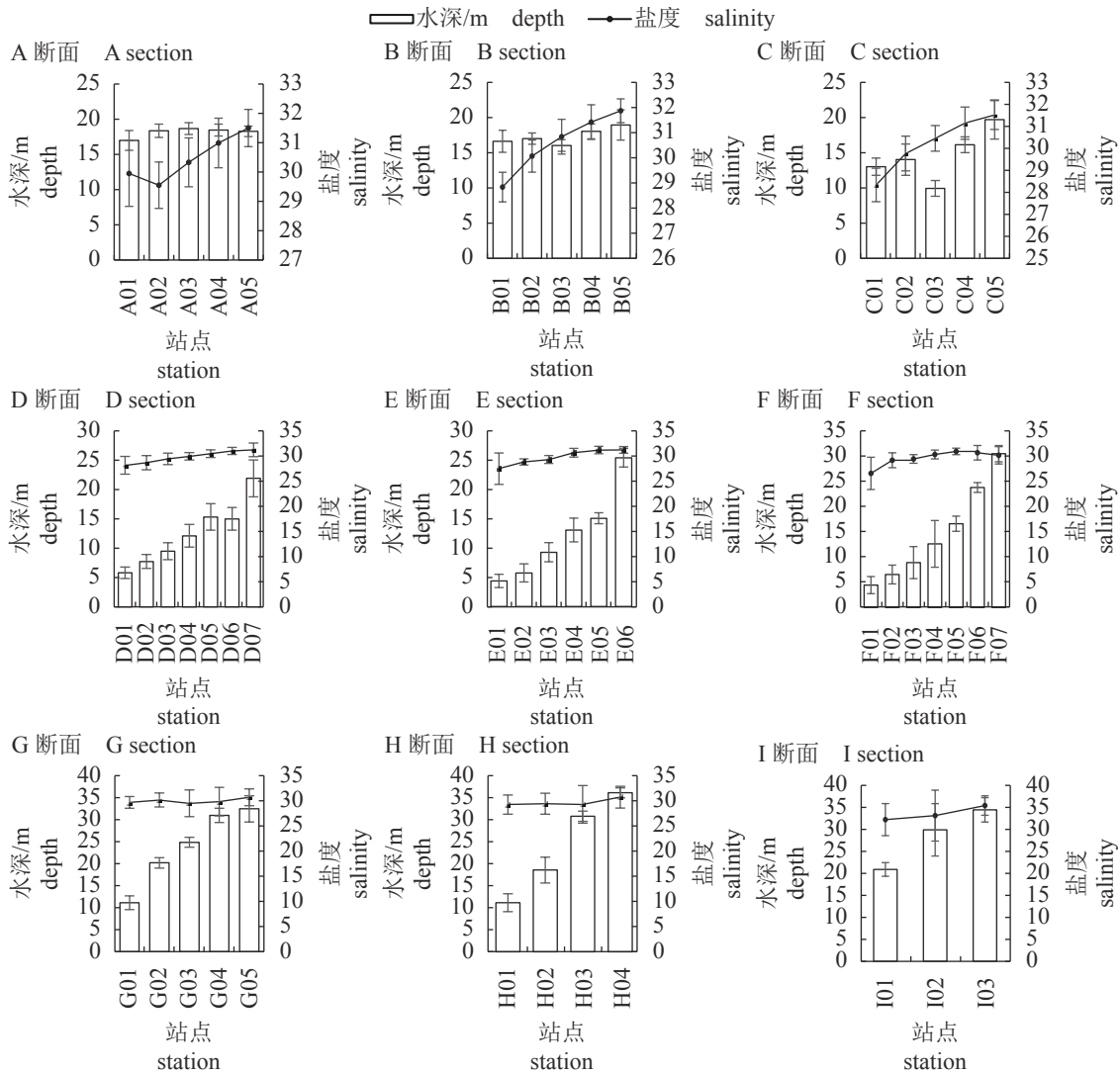


图 3 各断面表层盐度和水深变化

横坐标表示各断面站点, 主纵坐标表示水深 (白色柱状图), 次纵坐标表示盐度 (黑色折线图)

Fig. 3 Changes in surface salinity and water depth at each section

X coordinates show each sampling site, left Y coordinates indicate depth with white bars, right Y coordinates indicate salinity with black broken lines

2.2 仔稚鱼丰度时间分布

共采集到 2 385 尾棘头梅童鱼仔稚鱼。出现时间为 6—10 月，集中分布在 6—8 月，6 月丰度最高 (165.15 尾/100 m³)，随后逐月显著降低，10 月仅采集到 1 尾后弯曲期仔鱼。每月样本中占比最高的发育阶段依次为前弯曲期仔鱼、弯曲期仔鱼、后弯曲期仔鱼、稚鱼和后弯曲期仔鱼 (图 4)。所获棘头梅童鱼仔稚鱼体长范围：2.41~26.32 mm，各发育阶段的体长范围分别为前弯曲期仔鱼 2.41~7.01 mm、弯曲期仔鱼 4.12~8.01 mm、后弯曲期仔鱼 6.30~16.14 mm、稚鱼 12.73~26.32 mm。平均体

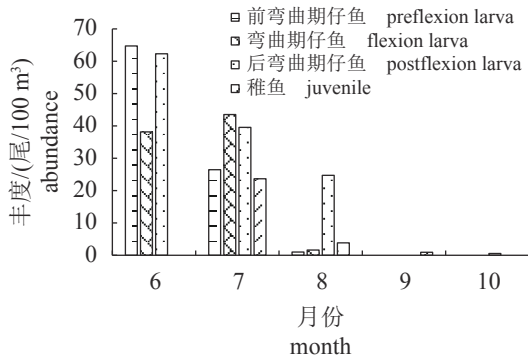


图 4 各月各发育阶段丰度变化

Fig. 4 Abundance of different developmental stages varies in each month

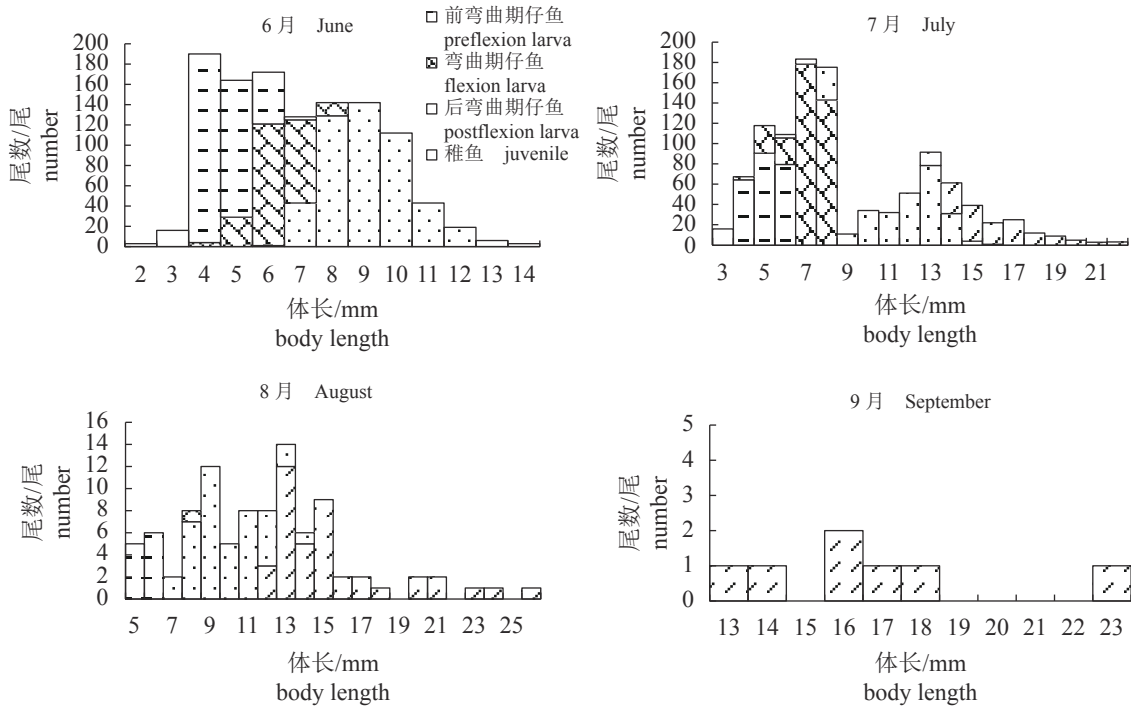


图 5 各月各发育阶段体长分布

Fig. 5 Body length distribution at different developmental stages in each month

长逐月呈显著增加趋势 (Pearson 检验, $P < 0.05$, $r = 0.51$), 各发育阶段体长范围随月份逐渐增加 (图 5)。

2.3 仔稚鱼的空间分布及移动趋势

6—10 月仔稚鱼出现频率分别为 34.04%、31.11%、22.73%、0.09%、0.03%，且集中出现在近岸的北部和中部海域。6—7 月在北部靠近海州湾海域的 A02 站点仔稚鱼丰度最高，分别为 103.79 和 73.17 尾/100 m³，主要以前弯曲期仔鱼和弯曲期仔鱼为主，6 月没有采集到稚鱼。6 月北部水域以前弯曲期仔鱼和弯曲期仔鱼为主，中部水域以后弯曲期仔鱼为主；7 月北部水域以前弯曲期仔鱼和弯曲期仔鱼为主，中部水域以后弯曲期仔鱼和稚鱼为主；8 月主要以后弯曲期仔鱼和稚鱼为主，分布在中部偏北水域，9 月只出现稚鱼，以北部水域为主。6—8 月中部水域仔稚鱼丰度逐渐降低，中部偏北水域仔稚鱼丰度逐渐升高。从西至东 (近岸水域—近海水域)，6 月前弯曲期仔鱼在北部近海海域出现，7 月近海海域未出现仔稚鱼，而 8—9 月在近海海域有极少数后弯曲期仔鱼和稚鱼出现，推测在 6—7 月仔鱼的游泳能力较弱，会随着水流漂移到近岸水域，而 8—9 月个体逐渐长大，游泳能力增强，能够自主选择适宜的栖息水域 (图 6)。

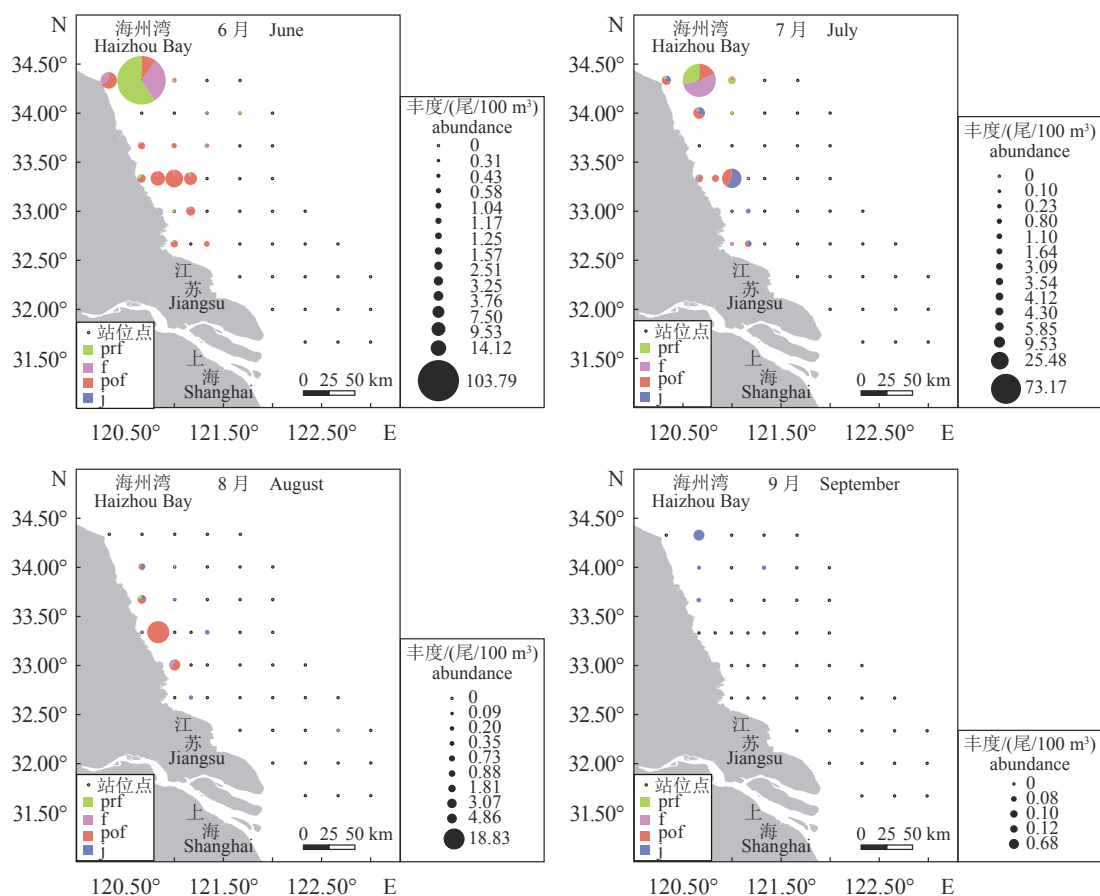


图 6 棘头梅童鱼仔稚鱼丰度空间分布

prf 表示前弯曲期仔鱼; f 表示弯曲期仔鱼; pof 表示后弯曲期仔鱼; j 表示稚鱼

Fig. 6 Spatial distribution of the abundance of *C. lucidus* larvae and juveniles

prf denotes pre-flexion larvae; f denotes flexion larvae; pof denotes post-flexion larvae; j denotes juveniles

2.4 环境因子对仔稚鱼丰度分布的影响

GAM 模型分析 所有解释变量对仔稚鱼丰度的总偏差解释率为 93.4%，位置 (即经纬度) 对丰度的偏差解释率最高，为 52.3%，其次是月份 (14.8%)。F 检验表明，所有解释变量均对仔稚鱼丰度有显著影响，且表层水温与纬度、水深与经度的交互作用显著 ($P < 0.05$) (表 1)。

模型因子与棘头梅童鱼仔稚鱼丰度的关系

从 GAM 模型中可以看出，仔稚鱼丰度其他各因子之间均呈非线性关系。丰度与采样位置 (经纬度) 显著关联，从南向北沿纬度方向逐渐增加，从西向东沿经度方向逐渐降低。随着温度的增加，仔稚鱼丰度呈现出增加-降低-增加-降低-增加的波浪形的波动趋势，在 21.2 °C 左右出现第一个峰值，随后丰度开始逐渐下降，24 °C 时丰度降到最低，然后随着温度的升高丰度逐渐升高，25.3 °C 出现第二个峰值。在盐度为 26~32 范围内，仔稚鱼丰度呈现先增加后降低的趋势，盐度为 29.5 时仔稚

鱼丰度达到最高，且仔稚鱼集中分布在盐度为 29.0~30.0 范围。在水深 20 m 以内仔稚鱼丰度受水深的影响相对稳定，水深超过 20 m 后仔稚鱼丰度随着水深的增加呈逐渐降低的趋势 (图 7)。

GAM 模型丰度预测值与环境因子的关系

通过 GAM 模型得到丰度的预测值与环境因子之间的关系，6—8 月，表层水温中部水域整体高于北部水域，而仔稚鱼在中部和北部水域均有分布，6—7 月温度偏低的 A02 站点 (分别为 21.24 和 25.27 °C) 仔稚鱼丰度均比其他站点高，温度偏高的中部水域仔稚鱼丰度较低；而 8 月则是在温度偏高的水域仔稚鱼丰度高于温度偏低的水域，在温度为 28.74 °C 的 D02 站点仔稚鱼丰度最高。9 月表层水温从北部到中部先升高后逐渐降低，而仔稚鱼主要分布在温度偏低的水域，且各站点丰度均较低 (图 8)。

表层盐度从近岸水域向近海水域逐渐升高。随着表层盐度的增加，仔稚鱼的丰度呈现先增加

表 1 GAM 模型拟合结果的偏差分析

Tab. 1 Analysis of deviance for generalized additive models (GAM)

解释变量 explanatory variables	累计偏差解释率% cumulative of deviance explained	偏差解释率% deviance explanation	F值 F-value	P值 P-value
月份 month	14.8	14.8		$1.87 \times 10^{-11**}$
+经度, 纬度 longitude, latitude	67.1	52.3	12.95	$2 \times 10^{-16**}$
+表层盐度 salinity	76.1	9.0	9.86	$2 \times 10^{-16**}$
+表层水温 temperature	80.6	4.5	3.68	$1.89 \times 10^{-7**}$
+水深 depth	81.9	1.3	2.66	$3.37 \times 10^{-6**}$
+经度: 水深 longitude: depth	92.9	11.0	3.28	$5.52 \times 10^{-8**}$
+纬度: 表层水温 Latitude: temperature	93.4	0.5	0.97	0.01**

注: **表示差异极显著 ($P < 0.01$)
Notes: ** denotes extremely significant difference ($P < 0.01$)

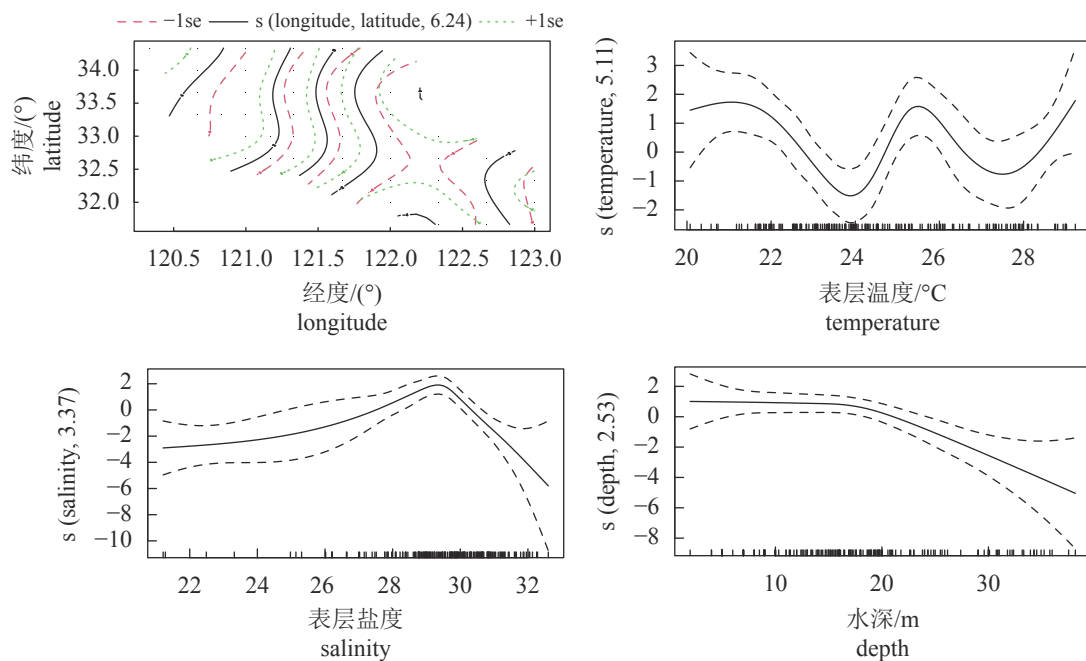


图 7 各解释变量对棘头梅童鱼仔稚鱼丰度的影响

Fig. 7 Effects of temporal, spatial and environment variables on the abundance of *C. lucidus* larvae and juveniles derived from the GAM analysis

后减小的趋势, 6—7月在盐度为 29.57、29.25 的 A02 站点丰度最高, 8月则在盐度为 29.48 的 D02 站点仔稚鱼丰度最高。整体上棘头梅童鱼仔稚鱼集中分布在盐度 28~30 的水域内, 盐度过高或过低的水域仔稚鱼丰度均偏低 (图 9)。

仔稚鱼主要在 5~19 m 水深范围内出现。6、7、9 月最高丰度出现在水深为 18~19 m 的靠近海州湾的北部水域, 8 月集中分布在水深为 5~15 m 的中部水域, 水深较深的近海水域仔稚鱼丰度均较低 (图 10)。

3 讨论

前弯曲期仔鱼和弯曲期仔鱼的游泳能力较弱,

主要靠水流推动进行漂移^[28], 后弯曲期仔鱼和稚鱼有较强游泳能力, 能自主地选择栖息水域^[29-30]。在河口碎波带不同生境中, 后弯曲期仔鱼的 CPUE 与流速成负相关, 与水深成正相关。低流速深水度的生境中后弯曲期仔鱼的比例高于前弯曲期仔鱼, 且后弯曲期仔鱼的 CPUE 比高流速低水深的生境高, 进一步说明了后弯曲期仔鱼能够独立地选择栖息水域^[31]。Lechner 等^[32] 和 Zens 等^[33] 在研究鱼类早期发育阶段的漂移模式时, 认为仔稚鱼并不全是被动漂移, 也并不完全是主动漂移, 而是一种“被动-主动”相结合的漂移模式。Tharith 等^[34] 发现湄公河有些鱼类在夸特布拉斯河流产卵,

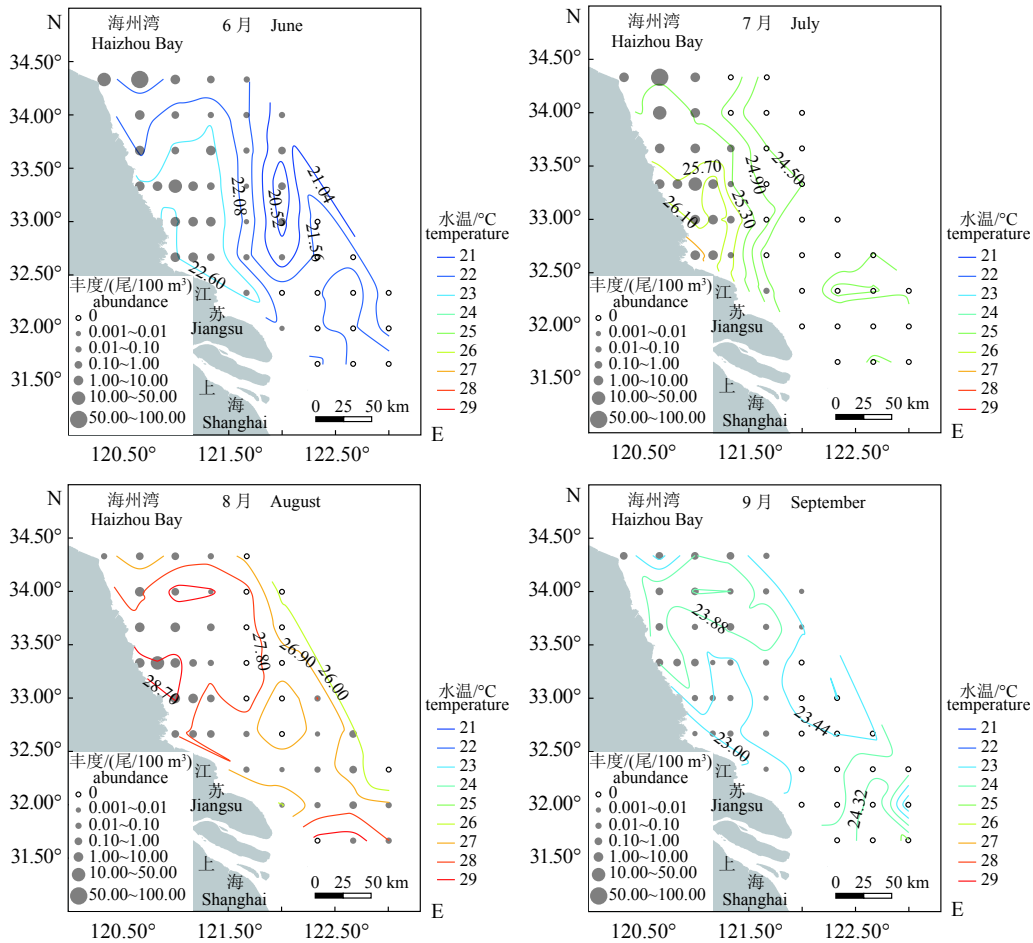


图 8 仔稚鱼丰度分布与水温的关系

Fig. 8 Relationship between the spatial distribution of the abundance of fish larvae and juveniles and temperature

随后与上游的仔鱼一起漂移到洞里萨湖。本实验中, 棘头梅童鱼仔稚鱼主要集中分布在 120°33'~121°66'E, 33°00'~34°33'N 靠近海州湾的北部水域和中部水域, 且近岸水域仔稚鱼丰度高于近海水域, 张虎等^[15]对江苏近岸鱼类群聚时空格局的研究也表明棘头梅童鱼主要分布在海州湾附近, 且在夏季作为优势种出现。

本实验中, 6—10月仔稚鱼丰度逐月显著降低, 6—7月北部靠近海州湾水域出现大量发育阶段较早的个体(前弯曲期仔鱼和弯曲期仔鱼), 中部水域有大量发育阶段较晚的个体(后弯曲期仔鱼和稚鱼), 且自北向南仔稚鱼的体长在逐渐增加, 显示了6—7月甚至6月之前有部分游泳能力弱的个体随水流从北部水域漂移至中部水域并生长发育。8—9月仅在中偏北部水域和北部水域采集少量后弯曲期仔鱼和稚鱼, 推测此时期仔稚鱼游泳能力较强, 受水流影响较小, 原本生活在中部水域的仔稚鱼有自南向北自主漂移的趋势, 而6—7

月栖息在北部水域的前弯曲期仔鱼和弯曲期仔鱼在8—9月时已逐渐长成有较强游泳能力的个体, 可能离开了本次采样范围, 向更北部的海州湾水域移动, 使8—9月仔稚鱼整体丰度低于6—7月。同时6月有少部分前弯曲期仔鱼在北部近海海域出现, 7—9月近海海域仔稚鱼丰度较低, 且近岸水域仔稚鱼体长大于近海海域, 推测仔稚鱼有自近海水域向近岸水域漂移的趋势, 类似南黄海鲛(*Planiliza haematocheilus*)仔稚鱼漂移趋势^[35]。

仔稚鱼在时间上分布不同主要受水温影响, 空间分布主要受盐度和水深变化影响^[36]。当水温适宜时, 有利于亲鱼产卵, 促进其性腺发育和成熟以及生殖洄游, 进而影响仔稚鱼的数量分布。水温过高或者过低均会导致卵的孵化率降低, 从而导致仔稚鱼的丰度发生变化^[37-38]。不同水域盐度和水深差异较大, 在适宜盐度和水深的水域环境中, 仔稚鱼的丰度会偏高, 但盐度的变化能使仔鱼的发育出现异常而产生畸形仔鱼, 由于畸形仔鱼无法进一步发育, 导致仔稚鱼丰度减小^[39]。

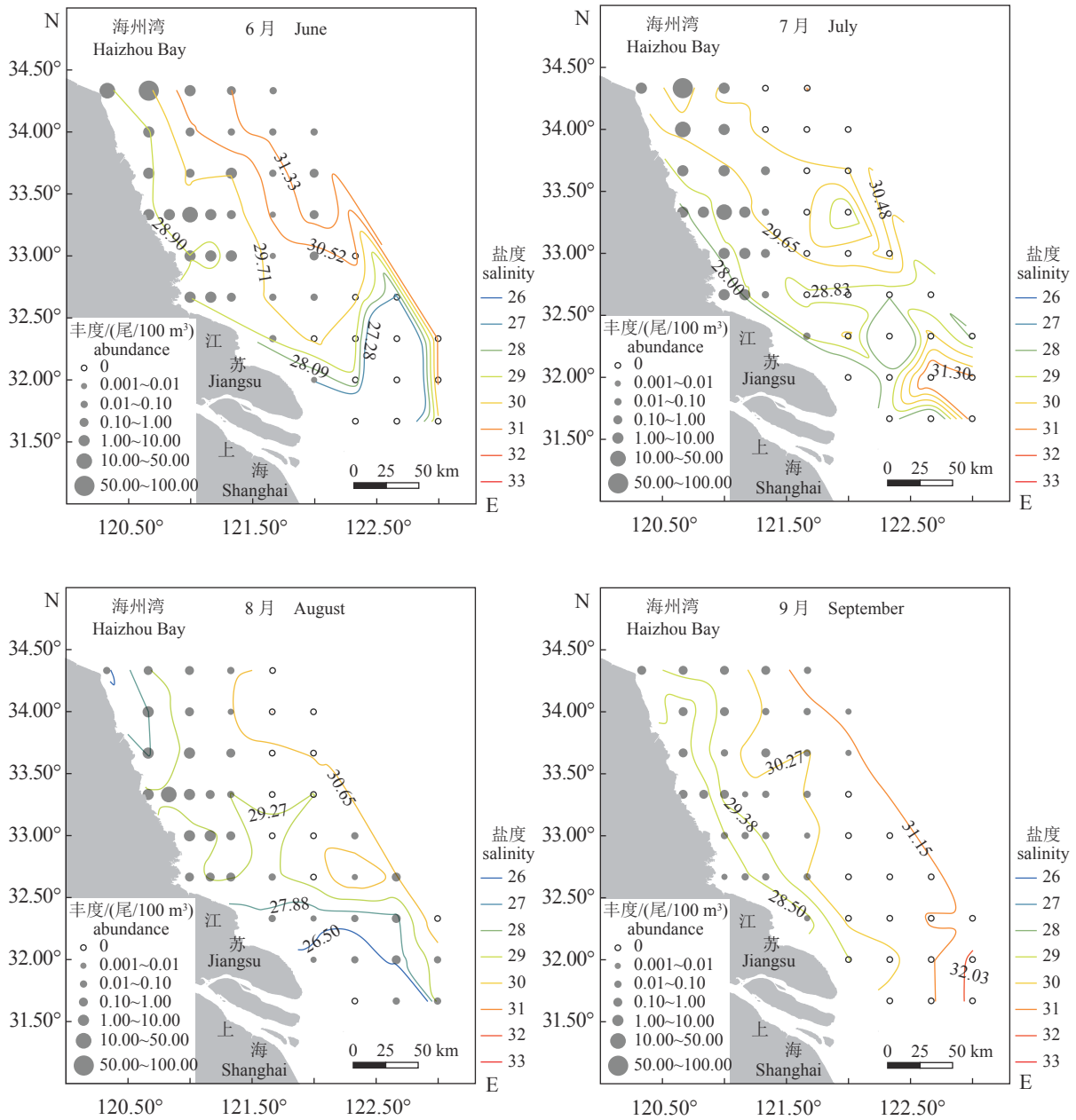


图 9 仔稚鱼丰度分布与盐度关系

Fig. 9 Relationship between the spatial distribution of the abundance of fish larvae and juveniles and salinity

本研究中仔稚鱼的丰度与温度之间呈极显著相关，仔稚鱼集中分布在温度为 22~26 °C 的水域范围内，而表层水温和纬度之间对丰度是存在显著交互作用影响的，所以在 22~26 °C 范围内仔稚鱼丰度偏高可能也与该位置纬度较高有关。从不同发育阶段个体分布的水温范围来看，前弯曲期仔鱼和弯曲期仔鱼主要分布在当月水温相对偏低的水域，而后弯曲期仔鱼和稚鱼则集中分布在当月水温较高的水域，可能的原因是后两个阶段的个体已经发育的较完善，耐温性增强，能在温度高的水域生活。盐度与仔稚鱼丰度之间也呈极显著相关关

系，在盐度为 28~30 的北部和中部水域，仔稚鱼的丰度高，而盐度低于 28 或者高于 30 的水域，仔稚鱼丰度均偏低，推测棘头梅童鱼仔稚鱼的最适盐度范围为 28~30。除以上因素对仔稚鱼的分布有显著影响以外，由于大多数鱼类都是以浮游生物为饵料，鱼类的丰度分布与浮游生物的数量分布和变动存在着密切的关系，当饵料生物比较丰富时，仔稚鱼的丰度也会相对偏高，反之，当浮游生物匮乏时，仔稚鱼的丰度也会相对偏低^[40]。由于该近岸水域浮游生物群落多样性指数较高，为鱼类提供了丰富的饵料^[16]，这可能也与棘头梅

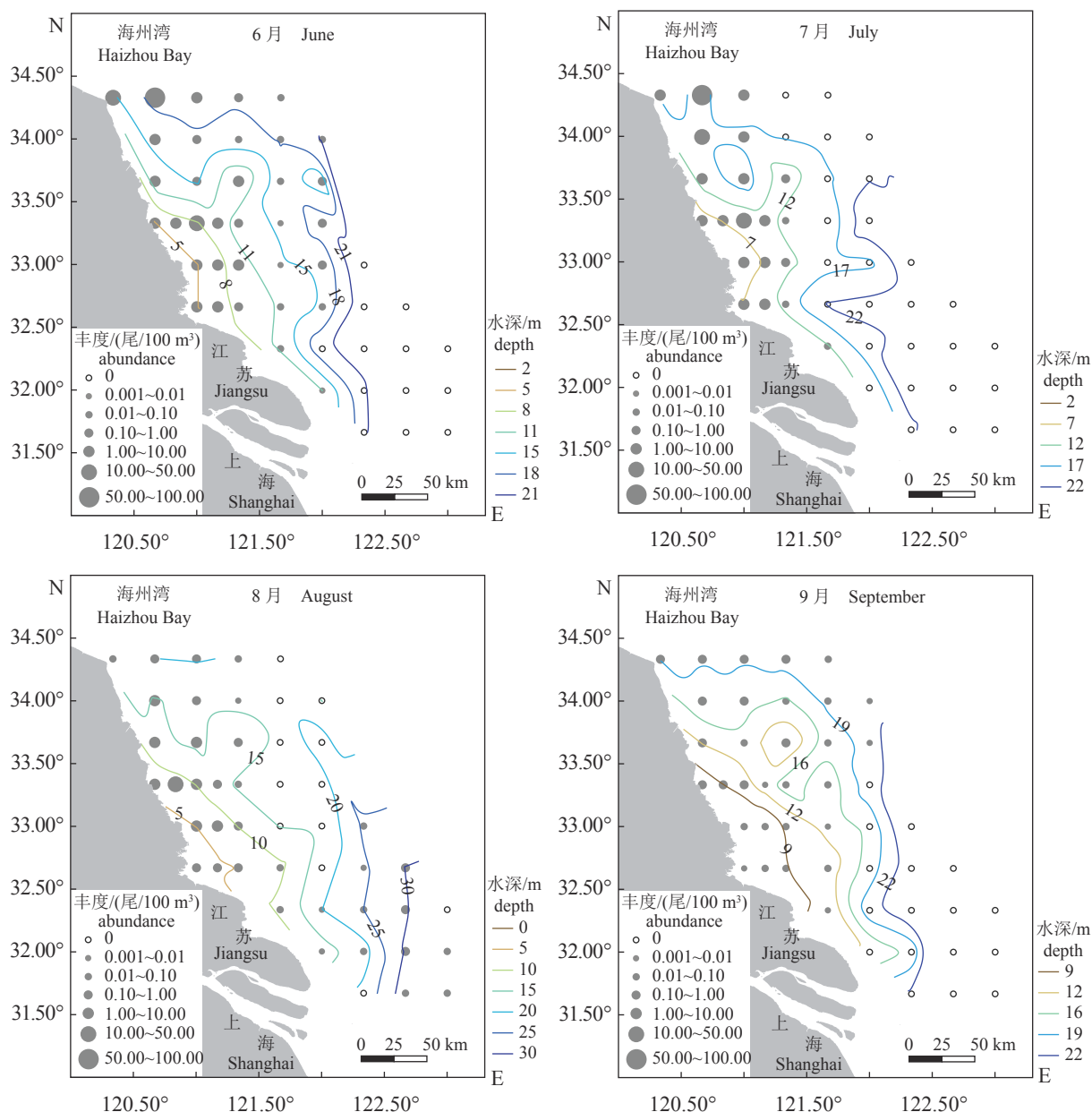


图 10 仔稚鱼丰度分布与水深之间的关系

Fig. 10 Relationship between spatial distribution of abundance of fish larvae and juveniles and depth

童鱼主要聚集在近岸水域有关。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 赵传纲, 张仁斋. 中国近海鱼卵与仔鱼 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 96-99.
Zhao C Y, Zhang R Z. Fish eggs and larvae in China coastal seas[M]. Shanghai Science and Technology Press, 1985: 96-99 (in Chinese).
- [2] Olivar M P, Bernal A, Molí B, *et al.* Vertical distribu-

tion, diversity and assemblages of mesopelagic fishes in the western Mediterranean[J]. *Deep Sea Research*, 2012, 62: 53-69.

- [3] Sassa C, Konishi Y. Late winter larval fish assemblage in the southern East China Sea, with emphasis on spatial relations between mesopelagic and commercial pelagic fish larvae[J]. *Continental Shelf Research*, 2015, 108: 97-111.
- [4] 谷德贤, 宓慧菁, 刘茂林, 等. 天津海域春夏季鱼卵、仔稚鱼的种类组成与数量分布[J]. *大连海洋大学学报*, 2012, 27(6): 567-571.
Gu D X, Mi H J, Liu M L, *et al.* Species composition

- and abundance of fish eggs, larvae, and juveniles in Tianjin sea area during spring and summer[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2012, 27(6): 567-571 (in Chinese).
- [5] 杜平, 黄伟, 徐旭丹, 等. 2015年春、秋季瓯江口鱼卵和仔稚鱼生态分布[J]. *海洋学研究*, 2016, 34(4): 54-62. Du P, Huang W, Xu X D, *et al.* Ecological distribution of ichthyoplankton around Oujiang estuary in spring and autumn in 2015[J]. *Journal of Marine Science*, 2016, 34(4): 54-62 (in Chinese).
- [6] 王建茹, 林元烧, 周美玉, 等. 福建三沙湾鱼卵和仔稚鱼的生态分布[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2010, 49(1): 116-121. Wang J R, Lin Y S, Zhou M Y, *et al.* The ecological distribution of fish eggs and larvae in Sansha Bay, Fujian[J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science Edition)*, 2010, 49(1): 116-121 (in Chinese).
- [7] 李联飞, 钟俊生, 曾娇, 等. 潮汐对长江口南支刀鲚仔稚鱼垂直分布及昼夜变化的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2020, 29(1): 74-82. Li L F, Zhong J S, Zeng J, *et al.* Vertical distribution and changes during day and night of *Coilia nasus* larvae and juveniles depending on flood and ebb tide in southern branch of Yangtze River estuary[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2020, 29(1): 74-82 (in Chinese).
- [8] Pavlov D S. The downstream migration of young fishes in rivers: mechanisms and distribution[J]. *Folia Zoologica* 1994, 43(3): 193-208.
- [9] 万瑞景, 曾定勇, 卞晓东, 等. 东海生态系统中鱼卵、仔稚鱼种类组成、数量分布及其与环境因素的关系[J]. *水产学报*, 2014, 38(9): 1375-1398. Wan R J, Zeng D Y, Bian X D, *et al.* Species composition and abundance distribution pattern of ichthyoplankton and their relationship with environmental factors in the East China Sea ecosystem[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(9): 1375-1398 (in Chinese).
- [10] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995. Yin M C. Fish ecology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995 (in Chinese).
- [11] 李雪渡. 海水温度与渔场之间的关系[J]. *海洋学报*, 1982, 4(1): 103-113. Li X D. Studies on the correlation between the temperature of sea water and fishing grounds[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1982, 4(1): 103-113 (in Chinese).
- [12] 刘静, 宁平. 黄海鱼类组成、区系特征及历史变迁[J]. *生物多样性*, 2011, 19(6): 764-769. Liu J, Ning P. Species composition and faunal characteristics of fishes in the Yellow Sea[J]. *Biodiversity Science*, 2011, 19(6): 764-769 (in Chinese).
- [13] Ichikawa H, Beardsley R C. The current system in the Yellow and East China Seas[J]. *Journal of Oceanography*, 2002, 58(1): 77-92.
- [14] 刘海林, 仲霞铭, 汤建华, 等. 江苏近海鱼类群落组成和多样性的季节变化[J]. *海洋渔业*, 2017, 39(1): 9-20. Liu H L, Zhong X M, Tang J H, *et al.* Seasonal changes of fish community composition and diversity in the offshore waters of Jiangsu[J]. *Marine Fisheries*, 2017, 39(1): 9-20 (in Chinese).
- [15] 张虎, 贲成恺, 高继先, 等. 江苏近岸海域鱼类组成和群聚时空变化[J]. *水产研究*, 2018, 5(2): 76-84. Zhang H, Ben C K, Gao J X, *et al.* Species composition and spatial-temporal patterns of fish assemblages in Jiangsu coastal waters[J]. *Open Journal of Fisheries Research*, 2018, 5(2): 76-84 (in Chinese).
- [16] 肖欢欢, 张崇良, 徐宾铎, 等. 黄海中南部近岸海域春季鱼类浮游生物群落空间格局研究[J]. *海洋学报*, 2017, 39(8): 34-47. Xiao H H, Zhang C L, Xu B D, *et al.* Spatial pattern of ichthyoplankton assemblage in the coastal waters of central and southern Yellow Sea in the spring[J]. *Haiyang Xuebao*, 2017, 39(8): 34-47 (in Chinese).
- [17] 倪勇, 伍汉霖. 江苏鱼类志[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 44. Ni Y, Wu H L. Fish of Jiangsu Province[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 44 (in Chinese).
- [18] 胡海生. 海州湾春夏季习见鱼卵、仔稚鱼形态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013. Hu H S. Morphologic study of common ichthyoplankton in the Haizhou Bay during spring and summer Abstract[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013 (in Chinese).
- [19] Kendall A W J, Ahlstrom E H, Moser H G. "Early life history stages of fishes and their characters" in ontogeny and systematics of fishes [M]. Special publication 1, Moser H G, Richards W J, Cohen D M, *et al.*, ed. Lawrence, KS: Allen press, 1984.
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.6—2007 海洋调查规范 第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12763.6—2007 Specifications for oceanographic survey - Part 6: Marine biological

- survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007 (in Chinese).
- [21] Shono H. Application of the tweedie distribution to zero-catch data in CPUE analysis[J]. *Fisheries Research*, 2008, 93(1-2): 154-162.
- [22] Wood S N. Generalized additive models: an introduction with R[M]. 2nd ed. U. S. CRC Press, 2017: 1-476.
- [23] Pedersen E J, Miller D L, Simpson G L, *et al.* Hierarchical generalized additive models in ecology: an introduction with mgcv[J]. *PeerJ*, 2019, 7: e6876.
- [24] R Core Team. R: A language and environment for statistical computing[R]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2020.
- [25] Wickham H. ggplot2: Elegant graphics for data analysis[M]. New York: Springer-Verlag, 2016.
- [26] Wood S N. Generalized additive models: an introduction with R[M]. 2nd ed. Chapman and Hall/CRC, 2017.
- [27] QGIS Development Team (YEAR), QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>. [EB/OL]. 2020. <http://qgis.org>.
- [28] Schiemer F, Keckeis H, Kamler E. The early life history stages of riverine fish: ecophysiological and environmental bottlenecks[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2002, 133(3): 439-449.
- [29] Dudley B, Tolimieri N, Montgomery J. Swimming ability of the larvae of some reef fishes from New Zealand waters[J]. *Marine and Freshwater Research*, 2000, 51(8): 783-787.
- [30] Kingsford M J, Leis J M, Shanks A, *et al.* Sensory environments, larval abilities and local self-recruitment[J]. *Bulletin of Marine Science*, 2002, 70(1): 309-340.
- [31] Watt-Pringle P, Strydom N A. Habitat use by larval fishes in a temperate South African surf zone[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, 58(4): 765-774.
- [32] Lechner A, Keckeis H, Humphries P. Patterns and processes in the drift of early developmental stages of fish in rivers: a review[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2016, 26(3): 471-489.
- [33] Zens B, Glas M, Trithart M, *et al.* Movement patterns and rheoreaction of larvae of a fluvial specialist (nase, *Chondrostoma nasus*): the role of active versus passive components of behaviour in dispersal[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2018, 75(2): 193-200.
- [34] Tharith C, Sophat L, Phanara T, *et al.* Fish larvae and juvenile drift at the confluence of four rivers near Phnom Penh: the Mekong upstream and downstream, the Tonle Sap and the Bassac River June - September 2002[J]. *Technical Symposium on Mekong Fisheries*, 2002(5): 20-27.
- [35] 蒋日进, 汤建华, 刘培廷, 等. 黄海南部鲮鱼仔稚鱼的表层分布及移动趋势[J]. *上海水产大学学报*, 2007, 16(4): 323-328.
- Jiang R J, Tang J H, Liu P T, *et al.* Horizontal distribution and moving tendency of *Liza haematocheila* larvae and juveniles in the coastal surface of the South Yellow Sea[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2007, 16(4): 323-328 (in Chinese).
- [36] 张迎秋, 钱薇薇, 李文龙. 2004和2007年春季长江口近海鱼类群落特征及其与环境因子的关系[J]. *中国海洋大学学报*, 2013, 43(9): 67-74.
- Zhang Y Q, Xian W W, Li W L. Fish assemblage structure in adjacent sea of Changjiang estuary in spring of 2004 and 2007 and its association with environmental factors[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2013, 43(9): 67-74 (in Chinese).
- [37] 庞诗宜. 环境温度对金鱼胚胎发育的影响[J]. *实验生物学报*, 1961, 7(3): 271-279.
- Pang S Y. The effect of ambient temperature on the embryonic development of goldfish[J]. *Acta Biologica Experimentalis Sinica*, 1961, 7(3): 271-279 (in Chinese).
- [38] 胡发文, 潘雷, 高凤祥, 等. 大泷六线鱼胚胎发育及其与水温的关系[J]. *渔业科学进展*, 2012, 33(1): 28-33.
- Hu F W, Pan L, Gao F X, *et al.* Embryonic development of *Hexagrammos otakii* and its relationship with incubation temperature[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2012, 33(1): 28-33 (in Chinese).
- [39] 王涵生, 方琼珊, 郑乐云. 盐度对赤点石斑鱼受精卵发育的影响及仔鱼活力的判断[J]. *水产学报*, 2002, 26(4): 344-350.
- Wang H S, Fang Q S, Zheng L Y. Effects of salinity on hatching rates and survival activity index of the larvae of *Epinephelus akaara*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2002, 26(4): 344-350 (in Chinese).
- [40] 蒋玫, 王云龙. 东海夏季日本鲷(*Scomber japonicus*)和鳀鱼(*Engraulis japonicus*)鱼卵仔鱼分布特征[J]. *海洋与湖沼*, 2007, 38(4): 351-355.
- Jiang M, Wang Y L. Summer distributions of eggs and larvae of *Scomber japonicus* and *Engraulis japonicus* in the East China Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2007, 38(4): 351-355 (in Chinese).

Distribution and drift trend of *Collichthys lucidus* larvae and juveniles in the coastal waters of the southern Yellow Sea

ZOU Mingxi¹, CHEN Yuange^{2*}, SONG Xiaojing², LI Shengfa², ZHONG Junsheng^{1*}

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: Changes in abundance and distribution during the fish larvae and juveniles period can affect the size of fish replenishment groups and, consequently, result in changes in the size of fish populations. The study of early-stage fish resources has great value for understanding fish stocks recruitment and the assessment of fishery resources. In this study, 47 stations (119°00'-123°00'E, 31°00'-35°00'N) were investigated in the nearshore waters of the southern Yellow Sea from March 2019 to January 2020. Fish larvae were monthly collected using a larval fish net (1.3 m diameter at the mouth, 6.0 m length, 0.5 mm mesh aperture) during the high tide to reveal the spatial-temporal distribution and drifting trends of larval and juvenile *Collichthys lucidus*. The environmental factors (surface water temperature, surface salinity, water depth) of the surveyed waters were also measured, and the spatial and temporal distribution characteristics and drift trends of the abundance of *C. lucidus* fish larvae and juveniles were analyzed. The relationship between environmental factors and fish larvae distribution was analyzed by a GAM model. A total of 2385 fish larvae were collected from June to October, with the highest abundance in June (165.15 ind./100 m³) and a decreasing trend month by month. Each month's most dominant developmental stages changed from pre-flexion larvae to juveniles in the order of months, except that only one post-flexion larva was collected in October. The results of the GAM model showed that the deviation of abundance was explained by latitude and longitude with the highest rate of 52.3%, followed by month and surface salinity. We conclude that the inshore waters of the southern Yellow Sea were nursery ground for *C. lucidus*, with its eggs and pre-flexion larvae dispersed passively. Then, the post-flexion larvae and juveniles drift inshore with growth and development under the influence of environmental factors such as surface salinity, surface water temperature, and water depth. Juveniles dominated in September and subsequently disappeared from the samples, implying potential recruitment success.

Key words: *Collichthys lucidus*; fish larvae and juveniles; abundance; distribution; drift trend; southern Yellow Sea

Corresponding authors: CHEN Yuange. E-mail: chenyg@ecsf.ac.cn;

ZHONG Junsheng. E-mail: jszhong@shou.edu.cn

Funding projects: Basic Scientific Research Operating Expenses of East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences (2019M05); Ministry of Agriculture and Rural Affairs Special Project-2130135-exploration