

矛尾复虾虎鱼的繁殖生物学



许星鸿^{1,2,3*}, 亓 鲁¹, 吴 桐¹, 刘 顺¹, 李铁铮¹, 赵子言¹,
朱 龙^{1,3}, 林春梅¹, 徐国成^{1,3}

1. 江苏海洋大学海洋科学与水产学院, 江苏 连云港 222005; 2. 江苏海洋大学,
江苏省海洋生物技术重点实验室, 江苏 连云港 222005; 3. 江苏海洋大学, 江苏
省种质资源与遗传育种重点实验室, 江苏 连云港 222005

摘要:

【目的】了解矛尾复虾虎鱼的繁殖特征。

【方法】以从海州湾采集到的矛尾复虾虎鱼成鱼作为材料, 测定性比、繁殖力、生殖细胞等基础数据, 研究其生殖腺特征和胚胎发育规律, 并采用正交实验法分析了主要环境因子对其受精率的影响。

【结果】矛尾复虾虎鱼在非繁殖期的雌雄比例为 1.03 : 1.00, 而繁殖期的雌雄比例为 3.26 : 1.00。绝对繁殖力为 5 987~42 828 (19 655±12 551) 粒, 相对繁殖力为 42~263 (144±59) 粒, 怀卵量与体重呈显著正相关 ($R=0.82$)。成熟卵为浅黄色半透明、具多油球的黏性卵, 卵径为 $(1.53\pm0.16)\times(1.33\pm0.20)$ mm。精子密度为 $(1.43\pm0.14)\times10^9$ 个/mL, 雄体平均精子数为 $(5.43\pm0.53)\times10^9$ 个。胚胎发育过程可分为胚盘形成期、卵裂期、囊胚期、原肠胚期、神经胚期、器官形成期和孵化期 7 个阶段, 在水温 $(17\pm1)^\circ\text{C}$ 下, 受精卵历时 149 h 50 min 孵化, 胚胎发育积温为 $2455.82\text{ h}\cdot^\circ\text{C}$ 。受精率的最佳环境条件为温度 19°C 、盐度 32、pH 8.0, 环境因子影响力依次为盐度>pH>温度。

【结论】矛尾复虾虎鱼雌鱼性腺成熟晚于雄鱼, 胚胎发育期较长, 较高的水体盐度可促进受精。研究初步阐明了矛尾复虾虎鱼胚胎发育的时序特征, 可丰富其繁殖生物学基础资料, 为人工繁育及种质资源保护提供了依据。

关键词: 矛尾复虾虎鱼; 繁殖特征; 性腺成熟度; 胚胎发育

通信作者: 许星鸿, 教授, 博士, 硕士生导师, 江苏省“六大人才高峰”高层次人才、连云港市“521”高层次人才“第二层次培养对象”、连云港市三八红旗手、校优秀教师和育人先进个人。从事海洋动物繁育生物学与环境毒理学的科研和教学工作, 致力于水产苗种繁育和健康养殖提供科学依据。以第一作者或通讯作者发表学术论文90余篇, 其中SCI收录论文11篇, 参编教材1部; 获得授权中国发明专利2件。以排名第一获得国家海洋局海洋科学技术奖二等奖、江苏省海洋与渔业局科技创新三等奖、连云港市自然科学成果奖二等奖、连云港市科学技术进步奖三等奖各1项, E-mail: xhxul19@163.com



资助项目: 江苏省科技厅苏北科技专项(SZ-LYG202124); 连云港市花果山英才计划(KK20100)

收稿日期: 2023-09-18

修回日期: 2024-01-10

文章编号:

1000-0615(2025)06-069112-12

中图分类号: Q 954.4; S 917.4

文献标志码: A

作者声明本文无利益冲突

©《水产学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)
Copyright © Editorial Office of Journal of Fisheries of China (CC BY-NC-ND 4.0)

矛尾复虾虎鱼 (*Synechogobius hasta*) 隶属于鲈形目 (Perciformes) 虾虎鱼科 (Gobiidae) 复虾虎鱼属 (*Synechogobius*), 又名虾虎鱼、沙光鱼, 主要分布于中国、日本及朝鲜半岛的潮间带、潮下带海域, 是沿海渔获的重要组成部分^[1]。其肉质细嫩、口味鲜美, 民间有“十月沙光赛羊汤”美誉, 且蛋白质和多不饱和脂肪酸含量丰富, 经济价值较高^[2]。矛尾复虾虎鱼生长快、抗病力强, 在虾蟹贝混养池塘中加入一定数量的虾虎鱼, 可通过其摄食病虾阻断虾病扩散, 提高综合产量和经济效益^[3]。

矛尾复虾虎鱼资源的开发利用日益引起学者们对其基础生物学的关



注。Han 等^[4]观察了矛尾复虾虎鱼血细胞的形态学和细胞化学特征。Zhou 等^[5]报道了饥饿对矛尾复虾虎鱼肠道形态、消化酶活性及脂代谢相关基因表达的影响。Ling 等^[6]分析了水源性锌对矛尾复虾虎鱼肠道锌吸收和脂质代谢的影响。由于矛尾复虾虎鱼为一年生的短生命周期, 且具有底栖和穴居繁殖的特性, 目前对其繁殖生物学特性的报道很少。李春岭等^[7]、罗刚等^[8]和冯坚等^[9]分别调查了渤海、黄海和东海的矛尾复虾虎鱼生殖力。虽然已有少量关于矛尾复虾虎鱼人工育苗的探索性研究报道^[10], 但并未见对其发育规律的详细阐述。Takita^[11]于 1975 年发表了人工绘制的矛尾复虾虎鱼胚胎发育的部分时期图, 迄今尚未见有关其生殖细胞及胚胎发育的直观图像报道。本研究对矛尾复虾虎鱼的生殖细胞、受精率和胚胎发育等繁殖生物学特征进行了分析, 以期为其生殖生理及人工繁育技术的深入研究提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

矛尾复虾虎鱼于 2022 年 9 月—2023 年 5 月采集自连云港市海州湾海头海鲜码头新捕捞渔获, 每月采集 1 次。3—4 月为主要繁殖时期, 水温 13~18℃, 盐度 25~26, 每 10 天采集 1 次, 每次采集样品 40 尾以上, 测体长、体重, 并记录性别。本研究获得了江苏海洋大学实验动物管理和使用伦理委员会批准, 实验过程中操作人员严格遵守伦理规范, 并按照江苏海洋大学伦理委员会制定的相关规章制度执行。

1.2 实验方法

生殖腺特征和繁殖力 解剖观察卵巢、精巢形态特征; 取成熟期卵巢, 分别剪取前、中、后段, 分别按照公式 (1) 和 (2) 计算绝对繁殖力 (absolute fecundity, AF) 和相对繁殖力 (relative fecundity, RF):

$$AF = N \times OW \quad (1)$$

式中, N 为 1 g 卵子数量 (粒); OW 为成熟期卵巢质量。

$$RF = AF / FW \quad (2)$$

式中, AF 为公式 (1) 得出的绝对繁殖力, FW 为成熟期雌性体重 (g)。

卵径和精子密度 随机取成熟期雌、雄鱼各 3 尾, 每尾鱼性腺分别取前、中、后段 3 个不同部位的卵子或精子, 制作生殖细胞水封片, 用 Nikon E1000 显微镜测量卵径; 用血球计数板计数。

环境因子对受精率影响的正交实验设计

本实验采用温度、盐度及 pH 3 个主要环境因子: A 因子 (温度) 取 16℃、19℃、22℃、25℃ 和 28℃ 等 5 个梯度; B 因子 (盐度) 取 16、20、24、28 和 32 共 5 个梯度; C 因子 (pH) 取 7.0、7.5、8.0、8.5 和 9.0 共 5 个梯度。采用 $L_{25}(5^3)$ 的正交表进行实验, 计算各组受精率。

胚胎发育 于 3 月下旬, 取腹部饱满雌鱼, 从胸鳍处向腹腔内注射催产剂: 绒毛膜促性腺激素 500 IU/kg+促黄体生成素释放激素类似物 3 μg/kg+地欧酮 7.5 mg/kg。48 h 后, 通过挤压腹部从泄殖孔获取成熟生殖细胞进行干法人工授精, 受精卵用 60 目筛绢网过滤, 洗卵 3 次后转入水族箱 (70 cm×60 cm×50 cm) 中进行培养。培养期间自然水温 (17±1)℃, 盐度 (25±1), pH (8.0±0.1), 自然光照, 连续充气, 每天定时测量 4 次水温、计算平均水温, 根据胚胎发育进展随时取样显微镜观察、拍照并记录。按照公式 (3) 计算积温 K :

$$K(h \cdot ^\circ C) = t \times T \quad (3)$$

式中, t 为各发育阶段所需时间 (h); T 为该发育阶段的平均水温 (℃)。

1.3 数据分析

采用 SPSS 22.0 软件进行数据处理, 实验数据用“平均值±标准差”表示。进行 t 检验或单因子方差分析 (One-Way ANOVA), LSD 多重比较和 Duncan 氏检验。

正交实验各因素同一水平之和 (T 值) 的计算: A 因子所对应的 T_1 值是正交表括号中数字“1”所对应的实验结果之和, T_2 值是正交表括号中数字“2”所对应的实验结果之和, 以此类推, 可计算出其他 T 值。各因素同一水平的平均值 ($\bar{X}_1$ 值) 的计算: A 因子所对应的 $\bar{X}_1$ 值为 (T_1 值/正交表括号中数字“1”的重复次数), $\bar{X}_2$ 值为 (T_2 值/正交表括号中数字“2”的重复次数), 以此类推, 可计算出其他 $\bar{X}$ 值。极差 (R 值) 能表明因素的主次顺序, 即 R 值越大, 该因子的水平变化对结果的影响越大, 该因子就越重要。A 因子所对应的 R 值=A 因子所对应的 $\bar{X}_1$ 、 $\bar{X}_2$ 、 $\bar{X}_3$ 、

$\bar{X}_4$ 和 $\bar{X}_5$ 中最大值减去最小值, 同理可得出 B、C 因子的 R 值。

2 结果

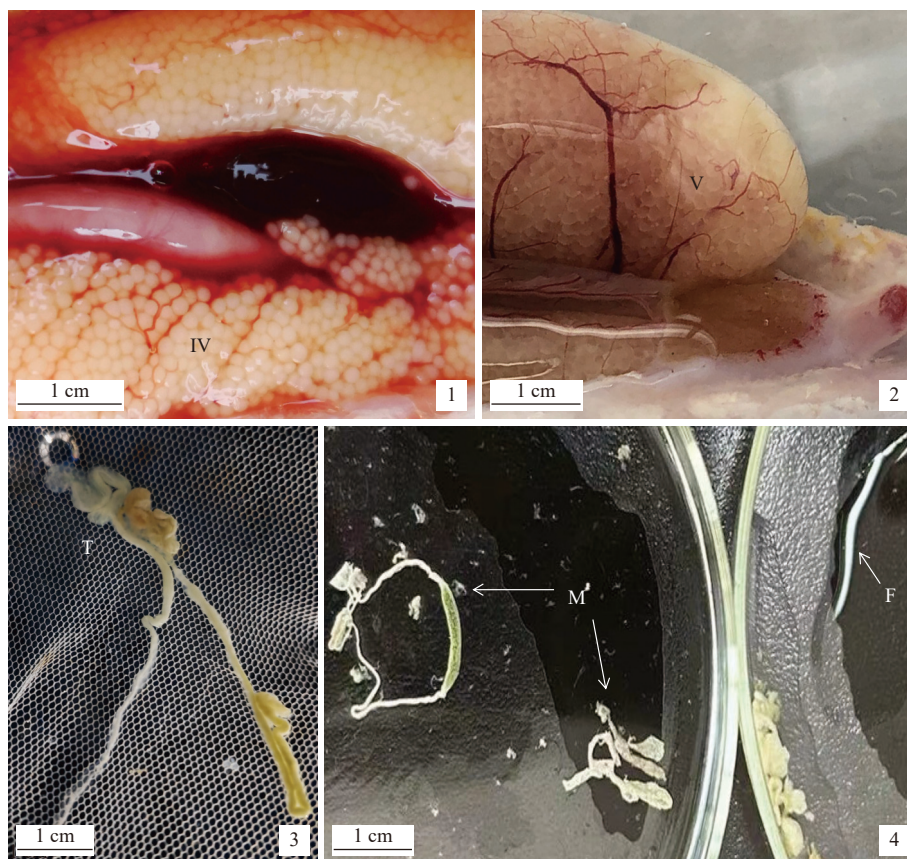
2.1 生殖腺特征、性比、繁殖力、卵径和精子密度

矛尾复虾虎鱼生殖腺成对分布于消化系统和鳔之间。繁殖期的卵巢体积饱满、充满腹腔, 表面血管纹理清晰, 卵粒分明。3 月上旬卵巢发育至Ⅳ期, 卵粒大小均匀, 为第Ⅳ时相卵母细胞, 呈黄白色、不透明(图版Ⅰ-1); 3 月中旬卵巢发育至Ⅴ期, 卵粒晶莹半透明, 为处于适当成熟期的第Ⅴ时相卵母细胞(图版Ⅰ-2)。精巢呈白色长条状(图版Ⅰ-3), 于3月初雄鱼和部分雌鱼生殖孔可挤出精子团(图版Ⅰ-4), 表明在雌鱼成熟前, 雄鱼经过交配将精子团传递

至雌鱼腹腔中。3 月中旬有少量产卵现象, 大批集中产卵出现于4月初。

对采集的 522 尾矛尾复虾虎鱼进行性别比例分析, 除去性别难以分辨的 52 尾, 矛尾复虾虎鱼的雌雄比为 1.78 : 1.00 (卡方检验, $P < 0.05$)。按照非繁殖期和繁殖期(3 月中旬—5 月)分别进行统计, 矛尾复虾虎鱼在非繁殖期的雌雄比例为 1.03 : 1.00, 与 1 : 1 不存在显著差异(卡方检验, $P > 0.05$); 繁殖期的雌雄比例为 3.26 : 1.00 ($P < 0.01$), 表明繁殖期的矛尾复虾虎鱼雌鱼数量显著多于雄性。

矛尾复虾虎鱼绝对繁殖力为 5 987~42 828 (19 655±12 551) 粒, 相对繁殖力为 42~263 (144±59) 粒, 怀卵量与体重呈显著正相关 ($R=0.82$, $P < 0.01$)。成熟卵径为 $(1.53 \pm 0.16) \times (1.33 \pm 0.20)$ mm。精子密度为 $(1.43 \pm 0.14) \times 10^9$ 个/mL, 雄体平均精子数为 $(5.43 \pm 0.53) \times 10^9$ 个。



图版Ⅰ 矛尾复虾虎鱼生殖腺

1. Ⅳ期卵巢; 2. Ⅴ期卵巢; 3. 精巢; 4. 精子团。Ⅳ. 第Ⅳ时相卵母细胞; Ⅴ. 第Ⅴ时相卵母细胞; T. 精巢; M. 从雄鱼生殖孔挤出的精子团; F. 从雌鱼生殖孔挤出的精子团。

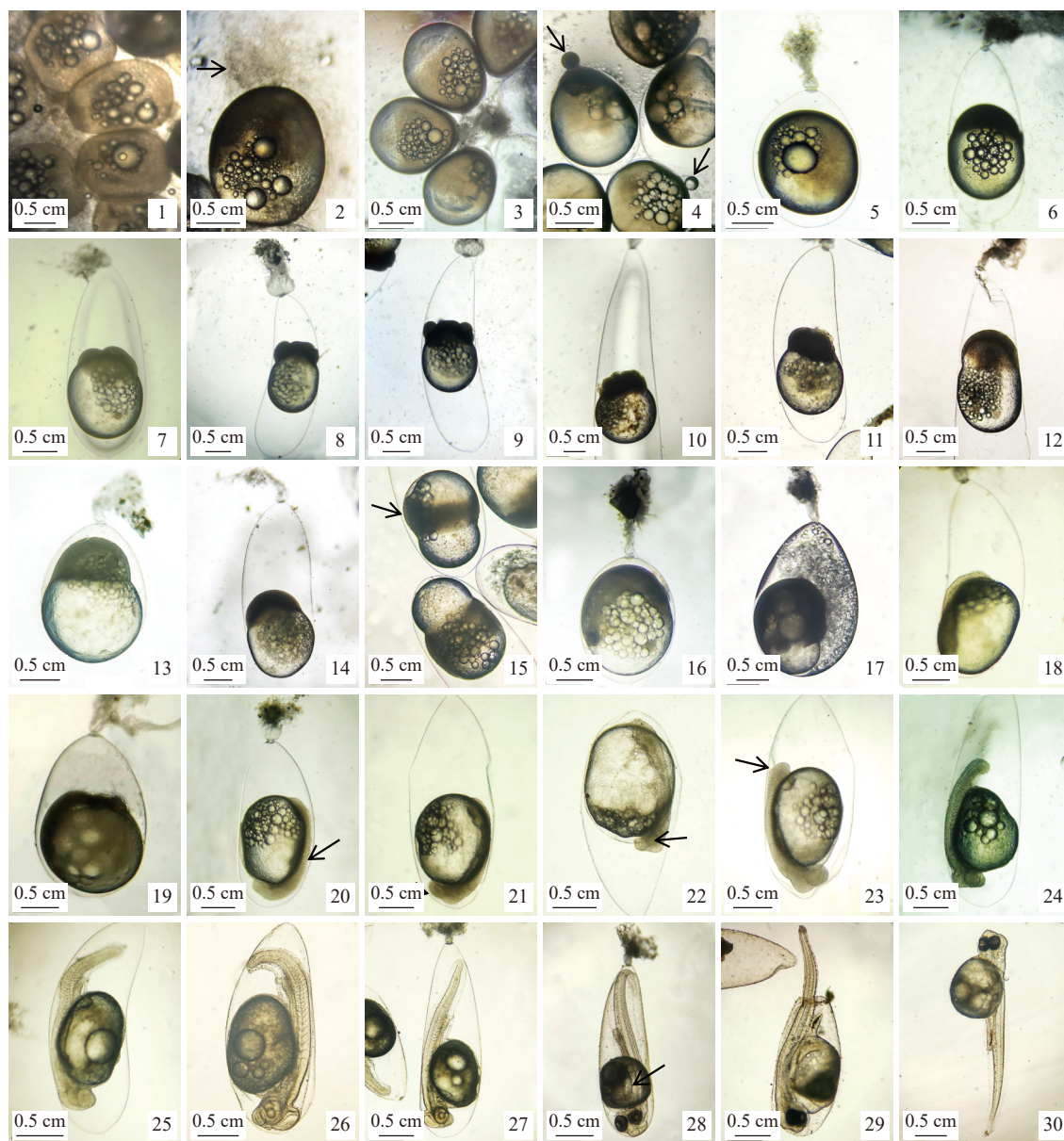
Plate I Gonad of *S. hasta*

1. ovary of stage IV; 2. ovary of stage V; 3. testis; 4. spermatium. IV. oocytes at phase IV; V. oocytes at phase V; T. testicle; M. sperophmass extruded from the male reproductive pore; F. sperophmass extruded from the male reproductive pore.

2.2 胚胎发育

矛尾复虾虎鱼胚胎发育过程可分为胚盘形成期、卵裂期、囊胚期、原肠胚期、神经胚期、

器官形成期和孵化期 7 个阶段, 各期发育特征见图版 II, 发育时间和积温见表 1。在水温 $(17\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 时, 受精卵历时 149 h 50 min 完成胚胎



图版 II 矛尾复虾虎鱼胚胎发育

1. 成熟卵; 2. 卵分泌附着丝, “↑”示附着丝; 3. 卵凝结成团; 4. 释放极体, “↑”示极体; 5. 受精卵; 6. 胚盘形成; 7. 2 细胞期; 8. 4 细胞期; 9. 8 细胞期; 10. 16 细胞期; 11. 桑葚胚期; 12. 囊胚早期; 13. 囊胚中期; 14. 囊胚晚期; 15. 原肠胚早期, “↑”示胚环和胚盾; 16. 原肠胚中期; 17. 原肠胚晚期; 18. 神经胚期; 19. 胚孔封闭期; 20. 体节出现期; 21. 眼基出现期; 22. 眼囊期; 23. 尾芽期; 24. 晶体出现期; 25. 肌肉效应期; 26. 耳石出现期; 27. 心跳期; 28. 眼色素沉积期, “↑”示鳔; 29. 出膜孵化期; 30. 初孵仔鱼。

Plate II Embryonic development of *S. hasta*

1. mature eggs; 2. attached filaments secreted from egg, “↑” showing attached filaments; 3. eggs condensing into groups; 4. releasing pole body, “↑” showing pole body; 5. fertilized egg; 6. blastoderm formation; 7. 2 cells stage; 8. 4 cells stage; 9. 8 cells stage; 10. 16 cells stage; 11. morula stage; 12. early blastocyst stage; 13. middle blastocyst stage; 14. late blastocyst stage; 15. early gastrula stage, “↑” showing embryo ring and embryo shield; 16. middle gastrula stage; 17. late gastrula stage; 18. neural embryo stage; 19. blastocene closed stage; 20. body segment stage; 21. optic rudiment stage; 22. capsula optica stage; 23. tail bud stage; 24. crystal stage; 25. muscular contraction effect; 26. otolith stage; 27. heartbeat stage; 28. eye pigment deposition stage, “↑” showing fish blubber; 29. hatching stage; 30. newly hatching larva.

表 1 矛尾复虾虎鱼胚胎发育各阶段时间和积温

Tab. 1 Developmental time and accumulated temperature during embryonic stages of <i>S. hasta</i>					
发育阶段 developmental stage	发育时期 developmental period		发育持续时间/h developmental time	平均水温/℃ average water temperature	积温/(h·℃) accumulated temperature
胚盘形成期 placental formation stage	成熟卵	mature egg	—	—	—
	受精卵	fertilized egg	—	—	—
卵裂期 cleavage stage	胚盘形成	placental formation	1.67	16.3	27.22
	2细胞期	2 cells stage	0.83	16.4	13.61
	4细胞期	4 cells stage	0.42	16.6	6.97
	8细胞期	8 cells stage	0.28	16.5	4.62
	16细胞期	16 cells stage	0.6	16.5	9.90
囊胚期 blastula stage	桑葚期	morula stage	3.53	16.4	57.89
	囊胚早期	early blastocyst stage	2.87	16.5	47.36
	囊胚中期	middle blastocyst stage	5.33	16.6	88.48
原肠胚期 gastrul stage	囊胚晚期	late blastocyst stage	5.5	16.7	91.85
	原肠胚早期	early gastrula stage	7.17	16.6	119.02
	原肠胚中期	middle gastrula stage	2.08	16.8	34.94
神经胚期 neurula stage	原肠胚晚期	late gastrula stage	3.42	16.7	57.11
	神经胚期	neural embryo stage	3.16	16.9	53.40
器官形成期 organogenesis stage	胚孔封闭期	blastopore closed stage	2.75	17	46.75
	体节出现期	body segment stage	5.75	16.9	97.18
	眼基出现期	optic rudiment stage	2.79	17	47.43
	眼囊期	capsula opitca stage	5.88	17.2	101.14
	尾芽期	tail bud stage	2.25	17.4	39.15
	晶体出现期	eye crystal stage	11.25	17.4	195.75
	肌肉效应期	muscular contraction effect stage	9.83	17.6	173.01
	耳石出现期	otolith stage	5.84	17.6	102.78
	心跳期	heartbeat stage	8.83	17.8	157.17
孵化期 hatching stage	色素沉积期	eye pigment deposition period	37.75	17.9	675.73
	出膜孵化期	hatching stage	11.42	18.2	207.84
	初孵仔鱼	newly hatched larva	—	18.1	—

注：“—”表示未计入胚胎发育积温。
Notes: "—" indicates it is not included in the embryo development accumulated temperature.

发育过程，发育积温为 2 455.82 h·℃。

矛尾复虾虎鱼卵子类型为端黄卵，成熟卵处于第 2 次成熟分裂中期。卵粒在卵巢内相互挤压而呈不规则形状，大小不等的油球散布于卵黄颗粒之间 (图版 II -1)。成熟卵为浅黄色半透明、黏性卵，入水后，动物极处分泌附着丝，卵粒变成椭球状，大小约 1.63 mm×1.13 mm；动物半球由于卵质集中颜色深，油球多分布于植物半球 (图版 II -2)。多个卵粒可通过附着丝黏着成团 (图版 II -3)。精卵混合后约 20 min，于卵动物极排出极体，同时可见围卵黄周隙出

现并逐渐增大 (图版 II -4)。受精后约 40 min，附着丝凝聚成束状，形成受精卵，大小约 1.54 mm×1.31 mm (图版 II -5)。

胚盘形成期 受精后 1 h 40 min，动物极处形成颜色较深的胚盘，有油球分布的卵黄区颜色相对较浅；大小约 1.73 mm×1.18 mm；围卵黄周隙逐渐增大 (图版 II -6)。

卵裂期 卵膜逐渐拉长呈长纺锤形，长径可达短径的 1~4 倍。卵裂方式为盘状卵裂：前两次卵裂为纵裂，受精后 2 h 30 min，胚盘纵裂成 2 个等大的细胞 (图版 II -7)；受精后 2 h 55

min, 形成 4 个等大的分裂球 (图版 II -8); 第 3 次分裂为横裂, 8 个细胞排列成两层 (图版 II -9)。以后每隔约 20 min 分裂 1 次 (图版 II -10), 至受精后 7 h 20 min 发育至桑葚期, 分裂球小、排列不规则 (图版 II -11)。

囊胚期 受精后 10 h 10 min 发育成盘状囊胚, 此期可分为早、中、晚 3 个时期, 历时约 18 h。囊胚早期细胞界限不清, 囊胚层高度较高, 又名“高囊胚”(图版 II -12)。随着发育进展, 囊胚层高度逐渐降低 (图版 II -13); 至受精后 21 h 发育至囊胚晚期, 又名“低囊胚”(图版 II -14)。

原肠胚期 受精后 28 h 10 min 发育至原肠胚早期, 囊胚层下包至卵黄囊 1/2, 可见环状的胚环和隆起的胚盾 (图版 II -15); 当下包至卵黄囊 2/3, 为原肠胚中期 (图版 II -16); 下包至卵黄囊 3/4, 为原肠胚晚期 (图版 II -17)。原肠胚期共历时 8 h 40 min。

神经胚期 受精后 36 h 50 min 发育至神经胚期, 下包至卵黄囊 4/5, 胚体背中线隆起成神经板 (图版 II -18)。2 h 45 min 后, 胚孔封闭 (图版 II -19)。

器官形成期 受精后 45 h 20 min, 胚体出现横纹状体节, 为体节出现期 (图版 II -20)。约 3 h 后, 在前脑两侧出现椭圆形眼基 (图版 II -21)。眼基逐渐变为圆球形, 受精后 54 h 发育至眼囊期 (图版 II -22)。胚体逐渐伸长, 至受精后 56 h 15 min, 后端形成圆锥状尾芽 (图版 II -23)。眼囊出现约 13 h 50 min 后, 其中形成球形晶体 (图版 II -24)。受精后 77 h 22 min, 胚体开始微弱的肌肉收缩, 间或扭动, 尾部变得细长, 泄殖腔形成 (图版 II -25)。受精后 83 h 10 min, 成对的耳石在耳囊中清晰可见 (图版 II -26)。受精后 92 h, 心脏开始微弱跳动, 油球数量明显减少 (图版 II -27)。受精后 129 h 45 min, 眼球有黑色素沉积而显著变黑, 形成锥形鳃 (图版 II -28)。

孵化期 受精后 141 h 10 min, 胚体在卵膜内剧烈扭动, 频率逐渐加快, 卵膜变薄、韧性减小, 约 8 h 后卵膜破裂, 以尾部先出膜 (图版 II -29)。初孵仔鱼全长 (3.63±0.13) mm, 体透明, 体表有少量星状色素, 胸鳍条明显, 可见连续奇鳍褶, 卵黄囊依然较大, 直径约占体长的 1/3, 靠尾部扭动进行运动 (图版 II -30)。

2.3 环境因子对受精率的影响

从正交实验结果可见, 在本实验的 25 个处

理组中, 受精率以第 9 个处理组 A₂B₄C₅ (19℃、盐度 28、pH 9.0) 最高, 可达 93.12%±1.03% (表 2)。

表 2 矛尾复虾虎鱼受精率正交实验结果

Tab. 2 The results of fertilization rate of *S. hasta* in orthogonal experiments

处理组序号 treatment no.	温度(A)/℃ temperature	盐度(B) salinity	pH (C)	受精率/% fertility rate
1	(1)16	(1)16	(1)7.0	22.92±1.35
2	(1)16	(2)20	(2)7.5	32.30±0.78
3	(1)16	(3)24	(3)8.0	91.34±1.13
4	(1)16	(4)28	(4)8.5	69.47±0.46
5	(1)16	(5)32	(5)9.0	84.89±2.05
6	(2)19	(1)16	(2)7.5	43.21±0.54
7	(2)19	(2)20	(3)8.0	32.26±0.39
8	(2)19	(3)24	(4)8.5	83.91±1.27
9	(2)19	(4)28	(5)9.0	93.12±1.03
10	(2)19	(5)32	(1)7.0	86.79±0.94
11	(3)22	(1)16	(3)8.0	75.26±0.48
12	(3)22	(2)20	(4)8.5	55.20±1.02
13	(3)22	(3)24	(5)9.0	33.95±0.33
14	(3)22	(4)28	(1)7.0	40.44±0.17
15	(3)22	(5)32	(2)7.5	89.61±2.36
16	(4)25	(1)16	(4)8.5	42.99±1.35
17	(4)25	(2)20	(5)9.0	73.48±1.47
18	(4)25	(3)24	(1)7.0	40.00±0.59
19	(4)25	(4)28	(2)7.5	53.02±1.16
20	(4)25	(5)32	(3)8.0	88.42±2.20
21	(5)28	(1)16	(5)9.0	37.50±1.25
22	(5)28	(2)20	(1)7.0	36.97±0.91
23	(5)28	(3)24	(2)7.5	63.40±0.68
24	(5)28	(4)28	(3)8.0	88.05±1.32
25	(5)28	(5)32	(4)8.5	72.00±1.09

注: 表中带括号的数字代表影响因子的不同水平。
Notes: Numbers in brackets indicate different levels of influence factors.

矛尾复虾虎鱼受精率的最适环境条件为受精率-A₂B₅C₃, 即温度 19℃、盐度 32、pH 8.0 (表 3)。影响受精率的 3 个因子 R 值依次为盐度>pH>温度, 因此, 盐度是受精率的主要影响因素, 温度对受精率的影响较小。正交实验的验证性实验: 按照 A₂B₅C₃ 和 A₂B₄C₅ 两种组合进行受精率的测定实验, A₂B₅C₃ 的受精率为

(96.29%±1.04%), A₂B₄C₅ 的受精率为 (93.43%±0.69%), 二者差异显著 ($P<0.05$)。表明矛尾复

虾虎鱼受精率的最佳环境因子组合为温度 19℃、盐度 32、pH 8.0。

表 3 矛尾复虾虎鱼受精率正交实验分析

Tab. 3 Data analysis of fertilization rate of *S. hasta* in orthogonal experiments

影响因子 factors of effect	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_3$	$\bar{X}_4$	$\bar{X}_5$	R
温度(A) temperature	300.92	339.29	294.46	297.91	297.92	60.18	67.86	58.89	59.58	59.58	8.28
盐度(B) salinity	221.88	230.21	312.60	344.10	421.71	44.38	46.04	62.52	68.82	84.34	39.97
pH (C)	227.12	281.54	375.33	323.57	322.94	45.42	56.31	75.07	64.71	64.59	29.64

注：“ T ”为正交实验各因素同一水平之和，“ $\bar{X}$ ”为各因素同一水平的平均值，“ R ”为极差。
Notes: “ T ” is the sum of the same level of each factor in the orthogonal experiment, “ $\bar{X}$ ” is the mean values of the same level for each factor, “ R ” is range.

3 讨论

3.1 矛尾复虾虎鱼繁殖特征

由于矛尾复虾虎鱼具有穴居特性，难以观察到自然条件下鱼的繁殖行为。黄金田等^[12]通过人工越冬实验推测，矛尾复虾虎鱼于初冬产卵受精，经过整个冬季的护卵，到翌年春天孵化。本实验中，于3月初可从部分雌鱼生殖孔挤出精子团，表明此时期已有亲鱼完成交配，但卵母细胞处于第Ⅳ时相，尚没有受精能力，因此对于一年生的矛尾复虾虎鱼来说，不可能于上一年冬季产卵，关于周年成熟系数的计算结果也证实了此点。罗刚等^[8]报道矛尾复虾虎鱼繁殖盛期为3月中旬，而本研究中3月中旬只见有少量鱼产卵，集中产卵则是出现于4月初，与李莉等^[10]实验结果一致。获得成熟的生殖细胞是鱼类人工繁殖的关键，从3月初开始，矛尾复虾虎鱼雄鱼精巢中已有完成了变态期的成熟精子；而到3月中旬以后卵母细胞才能发育到第二次成熟分裂中期，表明矛尾复虾虎鱼雌雄性腺发育不同步，且雌性性腺成熟晚于雄鱼，与舌虾虎鱼 (*Glossogobius giuris*) 卵巢先发育成熟的特征^[13]相反。适当成熟的鱼卵呈晶莹半透明状，与成熟度不足的不透明卵母细胞对比鲜明，肉眼即可辨认。

自然水体中鱼群的雌雄比可能受到生长、环境和繁殖特征的影响，因此在渔业资源调查中，不同种类鱼群的性别比例差异较大。Arocha 等^[14]报道中西大西洋锯鳞四鳍旗鱼 (*Tetrapturus pfluegeri*) 和白色四鳍旗鱼 (*T. albidus*) 的雌雄比分别为 1.64 : 1.00 和 1.03 : 1.00。吴峰等^[15]对热带大西洋捕捞的锯鳞四鳍旗鱼分析的

雌雄比结果为 1.00 : 1.33。南海南沙群岛海域和中沙群岛、西沙群岛海域所采集的蜂巢石斑鱼 (*Epinephelus merra*)雌雄比分别为 1.46 : 1.00 和 1.72 : 1.00，二者的生长速率及成熟比例亦有较大差异^[16]。本研究发现矛尾复虾虎鱼在繁殖期雌鱼数量显著多于雄鱼，与罗刚等^[8]和孙帼英等^[17]报道一致，可能是由于雄鱼有守穴护卵习性而不易被捕到，此外自3月上旬起就有交配现象，在暂养实验中发现交配后的雄鱼死亡时间早于雌鱼，这也会导致雄鱼数量显著减少。

动物繁殖力可反映该物种个体及种群的繁殖潜能，与机体的繁育方式、栖息环境和营养状况等密切相关。本实验中，矛尾复虾虎鱼绝对繁殖力为平均 19 655 粒，与东海矛尾复虾虎鱼 (18 065 粒^[9]、24 607 粒^[18]) 较接近，而显著低于渤海矛尾复虾虎鱼 (33 609 粒)^[7]以及 2010 年采集的黄海矛尾复虾虎鱼 (38 971 粒)^[8]。矛尾复虾虎鱼绝对繁殖力远大于普氏缙虾虎鱼 (*Amoyap flaumi*) (3 689 粒)^[19]和子陵吻虾虎鱼 (*Rhinogobius giurinus*) (1 516 粒)^[20]等其他多数虾虎鱼类，这可能与矛尾复虾虎鱼为虾虎鱼属中体形较大的种类有关^[21]。本研究结果显示矛尾复虾虎鱼繁殖力的个体差异较大，最大值为最小值的 7.15 倍，怀卵量与体重呈显著正相关。冯坚等^[9]亦发现矛尾复虾虎鱼个体绝对繁殖力与体长、净体重呈直线相关，因此在人工繁育时宜尽量选择个体较大者作为亲本。

3.2 矛尾复虾虎鱼的胚胎发育

同其他虾虎鱼^[13]一样，矛尾复虾虎鱼为黏性卵，成熟卵入水后分泌附着丝，数分钟后即可黏附于水中的物体表面。黏性卵的附着有利

于发育环境的相对稳定和亲鱼的护卵, 可以提高存活率, 但黏性卵膜在入水短时间内即会失去受精能力, 且卵块黏结易造成内部缺氧导致孵化率下降^[22]。目前已有报道脱黏孵化在达氏鳇 (*Huso dauricus*)^[23]、波斯鲟 (*Acipenser persicus*)^[24] 和丁鲷 (*Tinca tinca*)^[25] 等鱼类获得了良好效果。本实验尝试了用泥沙包覆、黄泥浆搅拌和尿素浸泡等方法进行脱黏处理, 但都未孵化成功, 主要是由于矛尾复虾虎鱼卵膜较薄、韧性较差, 脱黏过程中易导致卵膜易破裂。因此矛尾复虾虎鱼人工繁育中应提前做好适宜的附着基供鱼卵附着。本研究发现脊瓦表面积较小、铺设数量有限, 水草原料少且易腐烂, 经对比以 60 目筛绢作为附着基效果较好, 网目过大附着卵数量少, 而网目过小影响透气性。

目前已报道的虾虎鱼均为多油球卵, 丰富的油球和卵黄可为胚胎发育提供充足的营养。矛尾复虾虎鱼卵内油球数量丰富, 成熟卵径大于子陵吻虾虎鱼^[26] 和波氏吻虾虎鱼 (*R. cliffordpopei*)^[27] 等多数虾虎鱼。随着胚胎发育进展, 油球有数量减少和融合的现象, 与其他鱼类一致^[28-29]。矛尾复虾虎鱼卵受精后, 卵膜拉长成纺锤形, 而且长径逐渐增加直到卵裂期, 这可能是由于其卵膜韧性差, 在水流的冲击下, 卵膜容易变形。矛尾复虾虎鱼胚胎的卵膜长径最大可达短径的 4 倍, 与舌虾虎鱼^[13] 和子陵吻虾虎鱼 (*Ctenogobius giurinus*)^[30] 相似, 而子陵吻虾虎鱼^[26] 和粘皮鲷虾虎鱼 (*Mugilogobius myxodermus*)^[29] 的卵膜长、短径相差较小。严银龙等^[13] 认为纺锤形卵膜内的胚胎纵向发育的空间比近圆形卵膜的胚胎大, 在水温相近的条件下, 其胚胎发育所需要的时间相对较长, 如舌虾虎鱼的胚胎发育时间 (108 h, 25~27℃) 长于子陵吻虾虎鱼胚胎发育时间 [50 h, (27.0±0.5)℃]。本实验中, 在水温 (17±1)℃ 条件下, 矛尾复虾虎鱼胚胎发育需要 149 h 50 min, 长于粘皮鲷虾虎鱼胚胎发育时间 (138 h, 16~18℃)^[29], 亦符合这一规律。

矛尾复虾虎鱼胚胎发育期较长, 在孵化时已具备较为完善的器官, 包括胸鳍、鳔及黑色的眼球。其耳石出现于心跳期前, 同波氏吻虾虎鱼^[27] 和粘皮鲷虾虎鱼^[29], 而子陵吻虾虎鱼的耳石是在心脏开始跳动、血液循环之后才形

成^[26]。粘皮鲷虾虎鱼的泄殖腔出现于心脏跳动后^[29], 而在矛尾复虾虎鱼肌肉效应期即可观察到泄殖腔, 泄殖腔形成时间与子陵吻虾虎鱼^[30] 接近。矛尾复虾虎鱼鳔在孵化前已形成, 早于梭鲈 (*Sander lucioperca*)^[31] 和大黄鱼 (*Larimichthys crocea*)^[32] 等鲈形目鱼类。虾虎鱼类破膜方式有一定差异: 波氏吻虾虎鱼^[27]、粘皮鲷虾虎鱼^[29] 和子陵吻虾虎鱼^[30] 以头部破膜; 舌虾虎鱼以头部或尾部破膜的现象均有发生^[13]; 本研究发现矛尾复虾虎鱼是以尾部破膜, 同子陵吻虾虎鱼^[20]。

3.3 环境因子对矛尾复虾虎鱼繁殖的影响

矛尾复虾虎鱼在海州湾自然海区的繁殖期为 3 月中旬—5 月上旬, 此期间的水温为 13~23℃, 繁殖盛期为 4 月上中旬, 水温 16~18℃, 海水盐度为 25~26。本实验所得出的矛尾复虾虎鱼受精率的最佳环境条件为温度 19℃、盐度 32、pH 8.0, 其中温度和 pH 值基本符合自然水域的生态特征, 盐度值高于自然水体。盐度可通过离子和渗透压作用改变精子细胞内 ATP 酶的活性而影响精子活力^[33]。黄晓荣等^[34] 报道盐度 5 比淡水更能提高长江口纹缟虾虎鱼 (*Tridentiger trigonocephalus*) 精子的活力和寿命。长鳍篮子鱼 (*Siganus canaliculatus*) 和点篮子鱼 (*S. guttatus*) 两种海水鱼精子的最适盐度范围均为 30~35^[35], 与矛尾复虾虎鱼接近。本研究结果显示, 盐度对于矛尾复虾虎鱼受精率的影响力大于温度和 pH, 因此在进行人工授精操作时, 尤其要注意检测水体盐度, 如果因连续降雨导致盐度下降, 可用海水晶调节至适当盐度。

卵生鱼类胚胎期长短与卵子类型及发育水温密切相关, 在适温范围内, 随着水温升高, 胚胎发育加快, 发育期缩短^[36]。在低温下繁殖的冷水鱼类的寡质卵胚胎发育时间长于较高温度下繁殖的温水鱼类的富质卵, 如黑斑狗鱼 (*Esox reicherti*) 在水温 6~10℃, 受精卵历经 529 h 发育才孵化^[37], 而子陵吻虾虎鱼在水温 (27.0±0.5)℃, 孵化时间约 50 h^[26]。在水温 17~25℃ 条件下, 水温越高, 纹缟虾虎鱼胚胎发育期越短, 孵化时间与水温呈负相关关系^[38]。对于胚胎发育有效积温的研究可以帮助推测不同温度下所需的孵化时间。矛尾复虾虎鱼胚胎发育所需积温为 2 455.82 h·℃, 多于波氏吻虾虎

鱼 (1 480.7 h·℃)^[27], 少于纹缟虾虎鱼 (3 128.3 h·℃)^[39] 和大鳍弹涂鱼 (*Periophthalmus magnuspinnatus*) (4 286.7 h·℃)^[28] 等鱼类。由于繁殖季节时间限制, 本次研究尚未开展温度对矛尾复虾虎鱼的胚胎发育的影响实验, 需要进一步研究其胚胎发育的适温范围及孵化率的影响规律, 有助于在人工繁育中通过控温调节生产周期。郭文学等^[37] 提出应尽量提高黑斑狗鱼胚胎温度, 缩短发育时间, 避免因水质污染、缺氧或水霉等影响孵化。本研究发现矛尾复虾虎鱼受精卵虽然经过洗卵, 但水中易产生泡沫, 且易滋生原生动物和霉菌, 造成胚胎死亡, 可能是由于黏性卵膜特殊的成分所致。由于矛尾复虾虎鱼卵膜薄、韧性差, 本实验尝试了数种脱黏方法但都未成功, 因此, 有必要进一步探索可行的脱黏方法以及适于大规模工厂化育苗的繁育方式。

参考文献 (References):

- [1] 伍汉霖, 钟俊生. 中国动物志, 硬骨鱼纲, 鲈形目 (五), 虾虎鱼亚目 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 211-215.
Wu H L, Zhong J S. *Fauna Sinica*, Osteichthyes, Perciformes (V), Gobioidae [M]. Beijing: Science Press, 2008: 211-215 (in Chinese).
- [2] 许星鸿, 刘翔, 阎斌伦, 等. 连云港海域野生矛尾复虾虎鱼肌肉营养成分分析与品质评价 [J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(1): 261-265.
Xu X H, Liu X, Yan B L, *et al.* Nutritional composition analysis and quality evaluation of muscles of wild *Synechogobius hasta* in Lianyungang sea area [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2012, 40(1): 261-265 (in Chinese).
- [3] 王凤敏, 马云聪. 鰕虎鱼防控虾病试验报告 [J]. *河北渔业*, 2015(8): 40-41.
Wang F M, Ma Y C. Experimental report on prevention and control of shrimp disease with *Synechogobius hasta* [J]. *Hebei Fisheries*, 2015(8): 40-41 (in Chinese).
- [4] Han G S, Yao H J, Qiang L, *et al.* Comparative study of peripheral blood cells in two marine fishes (*Synechogobius hasta* and *Sebastes schlegelii*): morphological and cytochemical characterization [J]. *Tissue and Cell*, 2021, 73: 101633.
- [5] Zhou R D, Wu G J, Qu L, *et al.* Effect of starvation on intestinal morphology, digestive enzyme activity and expression of lipid metabolism - related genes in javelin goby (*Synechogobius hasta*) [J]. *Agriculture Research*, 2022, 53(1): 87-97.
- [6] Ling S C, Luo Z, Chen G H, *et al.* Waterborne Zn influenced Zn uptake and lipid metabolism in two intestinal regions of juvenile goby *Synechogobius hasta* [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, 148: 578-584.
- [7] 李春岭, 王振怀, 王继芬, 等. 渤海矛尾复虾虎鱼生殖力的研究 [J]. *河北渔业*, 2012(3): 5-7.
Li C L, Wang Z H, Wang J F, *et al.* The study on fecundity of *Synechogobius hasta* in Bohai [J]. *Hebei Fisheries*, 2012(3): 5-7 (in Chinese).
- [8] 罗刚, 徐国成, 程汉良. 矛尾复虾虎鱼性腺发育及个体繁殖力研究 [J]. *淮海工学院学报 (自然科学版)*, 2011, 20(4): 83-85.
Luo G, Xu G C, Cheng H L. Study on the gonad development and individual fecundity of *Synechogobius hasta* [J]. *Journal of Huaihai Institute of Technology (Natural Science Edition)*, 2011, 20(4): 83-85 (in Chinese).
- [9] 冯坚, 竺俊全, 郑忠明, 等. 矛尾复虾虎鱼个体生殖力的研究 [J]. *浙江海洋学院学报 (自然科学版)*, 2004, 23(4): 302-306.
Feng J, Zu J Q, Zheng Z M, *et al.* Studies on the individual fecundity of *Synechogobius hasta* [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition)*, 2004, 23(4): 302-306 (in Chinese).
- [10] 李莉, 车升亮. 矛尾复虾虎鱼室内人工繁育试验 [J]. *水产养殖*, 2012, 33(11): 7-11.
Li L, Che S L. Indoor artificial breeding experiment of *Synechogobius hasta* [J]. *Journal of Aquaculture*, 2012, 33(11): 7-11 (in Chinese).
- [11] Takita T. Spawning and embryonic development of *Synechogobius hasta* in an aquarium, with description of larvae and juveniles [J]. *Japanese Journal of Ichthyology*, 1975, 22(1): 31-39.
- [12] 黄金田, 李强, 张明明. 矛尾复虾虎鱼繁育技术瓶颈浅议 [J]. *水产养殖*, 2018, 39(11): 1-2.
Huang J T, Li Q, Zhang M M. Brief discussion on the bottleneck of the breeding technology of *Synechogobius hasta* [J]. *Journal of Aquaculture*, 2018, 39(11): 1-2 (in Chinese).
- [13] 严银龙, 施永海, 邓平平, 等. 舌鰕虎鱼的人工繁殖及其胚胎发育 [J]. *大连海洋大学学报*, 2016, 31(1): 24-29.
Yan Y L, Shi Y H, Deng P P, *et al.* Artificial propagation and embryonic development of fork-tongue goby *Glossogobius aureus* [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2016, 31(1): 24-29 (in Chinese).
- [14] Arocha F, Bárríos A, Lee D W. Spatial-temporal distribution,

- sex ratio at size and gonad index of white marlin(*Tetrapturus albidus*) and longbill spearfish (*Tetrapturus pfluegeri*) in the west central Atlantic during the period of 2002-2005[J]. Collective Volume of Scientific Papers, 2007, 60(5): 1746-1756.
- [15] 吴峰, 戴小杰, 高春霞, 等. 热带大西洋公海锯鳞四鳍旗鱼生物学与钩捕深度研究 [J]. 海洋湖沼通报, 2016(5): 78-82.
Wu F, Dai X J, Gao C X, et al. Biological characteristics and fishing depth of longbill spearfish in high seas of tropical Atlantic Ocean[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2016(5): 78-82 (in Chinese).
- [16] 李媛洁, 陈作志, 张俊, 等. 南海珊瑚礁海域蜂巢石斑鱼生物学特征研究 [J]. 南方水产科学, 2021, 17(6): 22-30.
Li Y J, Chen Z Z, Zhang J, et al. Biological characteristics of *Epinephelus merra* of coral reef waters in South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2021, 17(6): 22-30(in Chinese).
- [17] 孙幅英, 陈建国. 斑尾复鰕虎鱼的生物学研究 [J]. 水产学报, 1993, 17(2): 146-153.
Sun G Y, Chen J G. Study on the biology of *Synechogobius ommaturus*[J]. Journal of Fisheries of China, 1993, 17(2): 146-153 (in Chinese).
- [18] 冯广朋, 章龙珍, 庄平, 等. 繁殖季节长江口斑尾刺虾虎鱼的形态、生殖力与卵巢组织学特征 [J]. 海洋渔业, 2010, 32(3): 257-263.
Feng G P, Zhang L Z, Zhuang P, et al. Morphological character, individual fecundity and ovary histology of *Acanthogobius ommaturus* in Yangtze River estuary[J]. Marine Fisheries, 2010, 32(3): 257-263 (in Chinese).
- [19] 刘元文, 薛莹, 纪毓鹏, 等. 胶州湾普氏缙虾虎鱼生物学特性的初步研究 [J]. 中国海洋大学学报, 2013, 43(6): 38-43.
Liu Y W, Xue Y, Ji Y P, et al. Preliminary study on biological characteristics of *Amoya pflaumi* in Jiaozhou Bay[J]. Periodical of Ocean University of China, 2013, 43(6): 38-43 (in Chinese).
- [20] 曲瑾. 白洋淀子陵吻虾虎鱼生物学特性的研究 [D]. 保定: 河北大学, 2014.
Qu J. Research on the biological characteristics of the *Rhinogobius giurinus* in Baiyang Lake[D]. Baoding: Hebei University, 2014 (in Chinese).
- [21] 刘群, 苏振明, 曾晓起, 等. 渤海虾虎鱼类的生物学调查——关于区系分布与生态学基础的研究 [J]. 青岛海洋大学学报, 1997, 27(2): 157-165.
Liu Q, Su Z M, Zeng X Q, et al. Studies on ichthyofauna and ecology of goby fishes in the Bohai Sea[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1997, 27(2): 157-165 (in Chinese).
- [22] Kimura M R, Munehara H. Spawning substrata are important for breeding habitat selection but do not determine premating reproductive isolation in three sympatric *Hexagrammos* species[J]. Journal of Fish Biology, 2011, 78(1): 112-126.
- [23] 郭长江, 赵文, 石振广, 等. 达氏鳊养殖群体的胚胎发育研究 [J]. 大连海洋大学学报, 2016, 31(6): 589-597.
Guo C J, Zhao W, Shi Z G, et al. Embryonic development of cultured Siberian huso sturgeon *Huso dauricus*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2016, 31(6): 589-597 (in Chinese).
- [24] Bita K N, Bagher M A, Reza K M, et al. A comparative study on the effect of trypsin treatment and clay method on jelly coat removal of the Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) ova[J]. Journal of Fisheries, 2014, 67(1): 109-122.
- [25] Kujawa R, Kucharczyk D, Mamcarz A. The effect of tannin concentration and egg unsticking time on the hatching success of tench *Tinca tinca* (L.) larvae[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2010, 20(3): 339-343.
- [26] 赵长华. 子陵吻虾虎鱼胚胎发育初步观察 [J]. 南方农业, 2023, 17(1): 6-12.
Zhao C H. Preliminary observation on embryonic development of *Rhinogobius giurinus*[J]. South China Agriculture, 2023, 17(1): 6-12 (in Chinese).
- [27] 王华, 郭延蜀. 波氏吻鰕虎鱼的胚胎发育 [J]. 四川动物, 2009, 28(2): 184-188.
Wang H, Guo Y S. Embryonic development of *Rhinogobius cliffordpopei*[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2009, 28(2): 184-188 (in Chinese).
- [28] 王磊. 弹涂鱼类的早期发育及其在滩涂湿地生态系统中的作用 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.
Wang L. Early development of mudskippers and its effect on the tidal marshes[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014 (in Chinese).
- [29] 陈玉龙, 郭延蜀. 粘皮鰕鰕虎鱼胚胎及仔鱼的发育 [J]. 动物学杂志, 2007, 42(2): 124-128.
Chen Y L, Guo Y S. Embryonic and larval development of *Mugilogobius myxodermus*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2007, 42(2): 124-128 (in Chinese).
- [30] 戚文华, 郭延蜀, 李雪芝, 等. 子陵吻鰕虎鱼繁殖特性、胚胎及仔鱼的发育 [J]. 动物学杂志, 2008, 43(5): 13-24.
Qi W H, Guo Y S, Li X Z, et al. Reproductive character, embryonic and larval development of *Ctenogobius giurinus*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2008, 43(5): 13-24 (in Chinese).
- [31] 黄金善. 梭鲈胚胎、仔鱼发育观察与细胞遗传学研究 [D]. 哈

- 尔滨: 东北农业大学, 2011.
- Huang J S. Studies on embryonic and larval development and cytogenetics of *Sander lucioperca*(L.)[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2011 (in Chinese).
- [32] 程顺, 杜晨, 竺俊全, 等. 岱衢洋大黄鱼 (*Pseudosciaena crocea*) 胚胎与仔稚幼鱼发育 [J]. *海洋科学进展*, 2014, 32(4): 551-559.
- Cheng S, Du C, Zhu J Q, *et al.* The development of embryo, larva, juvenile and young *Pseudosciaena crocea* in Daiqiyang[J]. *Advances in marine science*, 2014, 32(4): 551-559 (in Chinese).
- [33] Tanaka S, Utoh T, Yamada Y, *et al.* Role of sodium bicarbonate on the initiation of sperm motility in the Japanese eel[J]. *Fisheries Science*, 2004, 70(5): 780-787.
- [34] 黄晓荣, 庄平, 章龙珍, 等. 纹缟虾虎鱼精子的主要生物学特性 [J]. *上海海洋大学学报*, 2009, 18(3): 275-281.
- Huang X R, Zhuang P, Zhang L Z, *et al.* Studies on main biological characteristics of *Tridentiger trigonocephalus* sperm[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2009, 18(3): 275-281 (in Chinese).
- [35] 刘鉴毅, 黄晓荣, 章龙珍, 等. 盐度、温度和 pH 对 2 种篮子鱼精子活性的影响 [J]. *海洋渔业*, 2014, 36(6): 523-528.
- Liu J Y, Huang X R, Zhang L Z, *et al.* Effects of salinity, temperature and pH on spermatozoa motility in two kinds of rabbit-fish[J]. *Marine Fisheries*, 2014, 36(6): 523-528 (in Chinese).
- [36] 李霞. 水产动物组织胚胎学 [M]. 第 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2019.
- Li X. Histology and embryology of aquatic animals[M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2019 (in Chinese).
- [37] 郭文学, 张永泉, 张有全, 等. 黑斑狗鱼胚胎发育的研究 [J]. *水产学杂志*, 2015, 28(2): 16-21.
- Guo W X, Zhang Y Q, Zhang Y Q, *et al.* Embryonic development in amur pike *Esox reicherti*[J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2015, 28(2): 16-21 (in Chinese).
- [38] 冯广朋, 庄平, 章龙珍, 等. 长江口纹缟虾虎鱼的繁殖生物学特征 [J]. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(8): 711-718.
- Feng G P, Zhuang P, Zhang L Z, *et al.* Characteristics of reproductive biology of *Tridentiger trigonocephalus* at the Yangtze River estuary[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, 18(8): 711-718 (in Chinese).
- [39] 冯广朋, 庄平, 章龙珍, 等. 长江口纹缟虾虎鱼早期发育对生态因子的适应性 [J]. *生态学报*, 2009, 29(10): 5185-5194.
- Feng G P, Zhuang P, Zhang L Z, *et al.* The adaptability of embryos and larvae of *Tridentiger trigonocephalus* at the Yangtze River estuary to ecological factors[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5185-5194 (in Chinese).

Reproductive biology of *Synechogobius hasta*

XU Xinghong^{1,2,3*}, QI Lu¹, WU Tong¹, LIU Shun¹, LI Tiezheng¹, ZHAO Ziyang¹,
ZHU Long^{1,3}, LIN Chunmei¹, XU Guocheng^{1,3}

1. School of Marine Science and Fisheries, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Marine Biotechnology, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China;

3. Jiangsu Key Laboratory of Marine Genetic Resources and Breeding,
Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China

Abstract: Javelin goby (*Synechogobius hasta*) is an important part of the coastal fishing of China, Japan and Korea, which has high economic and development value due to its tender meat and delicious taste with abundant protein and polyunsaturated fatty acid. In order to understand the breeding characteristics, the adult *S. hasta* collected from Haizhou Bay were used as materials to detect the data about sex ratio, fecundity and germ cells for analyzing the gonad feature and law of embryonic development, besides, the effect of main environmental factors on the fertility rate of *S. hasta* were also assessed by orthogonal experiments in this study. The results showed that sex ratio of *S. hasta* between the female and male was 1.03 : 1.00 in the non-reproductive period and 3.26 : 1.00 ($P < 0.05$) in the reproductive period, respectively, which indicated the number of females was significantly more than males in the breeding stage. The individual differences in fecundity of *S. hasta* were large, with a maximum value of 7.15 times the minimum. The absolute fecundity ranging from 5 987 to 42 828 (19 655±12 551), while the relative fecundity ranging from 42 to 263 (144±59), and significant positive correlation between brood amount and body weight were recorded ($R=0.82$). In early March, the male fish delivered the spermatophore to the female abdominal cavity before the matures of female fish. A small amount of spawning was observed in mid- March, and a large number of concentrated spawning occurred in early April. The type of goby's ovium was anisolecithal, and the mature ovium were at the stage of the middle of the second mature division. The mature ovium was light yellow, translucent and agglutinant containing several oil balls with the diameter of $(1.53 \pm 0.16) \times (1.33 \pm 0.20)$ mm. The sperm density was $(1.43 \pm 0.14) \times 10^9$ ind/mL, and the average number of sperm produced by each male was $(5.43 \pm 0.53) \times 10^9$ ind. Embryonic development process included 7 stages: placental formation, cleavage, blastula, gastrula, neurula, organ formation and hatching, in which the organ formation stage also consisted of body segment stage, optic rudiment stage, capsula opitca stage, tail bud stage, eye crystal stage, muscular contraction effect stage, otolith stage, heartbeat stage and eye pigment deposition period. Under the conditions of incubation water temperature $(17 \pm 1)^\circ\text{C}$, it took 149 h 50 min to hatch, and the required accumulated temperature was $2\,455.82\text{ h}\cdot^\circ\text{C}$. The results of orthogonal experiments showed that the highest fertility rate was obtained under the conditions of temperature of 19°C , the salinity of 32, and pH 8.0. The influence of environmental factors was in the following order: salinity>pH>temperature. In conclusion, the female gonad of *S. hasta* matured later than that of the male fish; the embryo development period was relatively long, and the fertilization rate could be improved by higher water salinity. This study preliminarily clarified the timing characteristics of the embryonic development of *S. hasta*, enriched the basic data of reproductive biology, and provided theoretical evidence for the artificial breeding and conservation of germplasm resources.

Key words: *Synechogobius hasta*; breeding characteristics; gonadal maturity; embryonic development

Corresponding author: XU Xinghong. E-mail: xhxu119@163.com

Funding projects: Subei Science and Technology Special Project, Science and Technology Department of Jiangsu Province (SZ-LYG202124); Huaguoshan Talents Plan of Lianyungang City (KK20100)