

波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂杂交子一代胚胎发育

周胜杰^{1, 2, 3, 4, 5}, 马振华^{1, 2, 3, 4, 5}, 唐贤明⁶, 吴洽儿³, 胡静^{1, 2, 3, 4, 5}, 杨蕊^{1, 2, 4, 5}, 戴世明^{1, 2, 3, 4, 5}

(1. 三亚热带水产研究院, 海南 三亚 572018; 2. 海南省深远海渔业资源高效利用与加工重点实验室, 海南 三亚 572018; 3. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300; 4. 深远海养殖与加工海南省工程研究中心, 海南 三亚 572018; 5. 南海渔业资源保护与应用国际联合研究中心, 海南 三亚 572018; 6. 海南省热带海水养殖技术重点实验室, 海南 海口 570100)

摘要: 本试验旨在通过人工挤取波纹唇鱼(*Cheilinus undulatus*)♀的卵和鞍带石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*)♂的精液, 并进行人工混合受精, 以观察和描述杂交受精卵胚胎的发育过程及其特征。采用光学显微镜观察并记录各个发育阶段的特征。研究发现, 在水温为 27.5 °C ± 0.5 °C 的条件下, 波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂受精卵直径为(574 ± 31)μm; 历时 26 h 21 min 开始孵化出膜; 波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂与其他硬骨鱼类胚胎发育特征基本相同, 胚胎发育过程可分为受精卵阶段、卵裂阶段、囊胚阶段、原肠胚阶段、神经胚阶段、器官形成阶段和孵化出膜阶段, 共 7 个阶段; 波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂子一代原肠胚的中晚期与神经胚的早中期高度重合, 容易混淆无法区分。研究结果表明, 波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂子一代胚胎发育时长较长, 与直径大小相关的发育时长规律出现偏离, 属于特例情况; 波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂子一代胚胎的发育时长长于父本和母本, 显示受到杂交的影响而延长; 更接近于父本, 表明杂交子一代胚胎发育速度受父本影响较大。

关键词: 波纹唇鱼(*Cheilinus undulatus*); 鞍带石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*); 受精卵; 胚胎发育; 杂交
中图分类号: S961.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2025)2-0047-09
DOI: 10.11759/hyxx20240814002

近 10 年来, 杂交鱼种在理论研究和实际生产中取得了显著的成就。杂交技术广泛应用于食用鱼和观赏鱼领域, 在实际生产中受到广泛好评。食用类杂交鱼通常具有生长速度快、抗病性强、食用口感好等特点, 因此具有更高的经济价值, 得到广泛推广, 例如珍珠龙胆石斑鱼(点带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)♀×鞍带石斑鱼(*E. lanceolatus*)♂)^[1]、云龙斑(云纹石斑鱼(*Epinephelus moara*)♀×鞍带石斑鱼♂)^[2]、杉虎斑(棕点石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*)♀×清水石斑鱼(*E. polyphemadion*)♂)^[3-4]、金虎斑鱼(棕点石斑鱼♀×蓝身大斑石斑鱼(*E. tukula*)♂)^[5]等。观赏类杂交鱼通常具有独特外观、鲜艳美丽、具有特殊象征意义等特点, 因此具有更高的观赏价值, 受到广泛追捧, 例如鸚鵡鱼(紫红火口鱼(*Paratheraps synspilus*)♀×红魔鬼鱼(*Amphilophus labiatus*)♂)^[6]等。

鱼类胚胎发育是指鱼类发育成熟的精子、卵子在水体中或者在体内受精, 形成受精卵, 逐步发育到仔鱼出膜初孵或者卵胎生鱼类的仔鱼初产的发育

过程, 是鱼类早期发育不可或缺的环节^[7]。因此, 近年来随着水产鱼类杂交技术的发展, 越来越多的研究者开始关注杂交鱼的胚胎发育过程, 例如对云纹石斑鱼(♀) × 赤点石斑鱼 (*E. akaara*)♂^[8]等的研究, 以促进鱼类生产和繁育产业的发展。

波纹唇鱼(*Cheilinus undulatus*) 隶属鲈形目(Perciformes)、隆头鱼亚目(Labroidei), 隆头鱼科(Labridae)、唇鱼属(*Cheilinus*), 是体型最大的珊瑚礁鱼类之一^[9]。鞍带石斑鱼隶属鲈形目(Perciformes)、鲈

收稿日期: 2024-08-14; 修回日期: 2024-12-16

基金项目: 三亚崖州湾科技城科技专项(SCKJ-JYRC-2023-42); 海南省重大科技计划项目(ZDK2021011); 海南省热带海水养殖技术重点实验室开放课题基金资助项目(HNTMTOF202303)

[Foundation: the Project of Sanya Yazhou Bay Science and Technology City, No.SCKJ-JYRC-2023-42; Hainan Major Science and Technology Project, No.ZDKJ2021011; Hainan Provincial Key Laboratory of Tropical Maricultural Technologies, No. HNTMTOF202303]

作者简介: 周胜杰, (1990—), 男, 山东济宁人, 硕士, 副研究员, 主要从事海水鱼类繁育与深远海养殖研究, E-mail: zhousj_1704@126.com; 马振华(1981—), 辽宁大连人, 通信作者, 研究员, 主要从事海水鱼类繁育与深远海养殖研究, E-mail: zhenhua.ma@hotmail.com

科(Serranidae)、石斑鱼亚科(Epinephelinae)、石斑鱼属(*Epinephelus*)^[1], 主要存在于太平洋和印度洋的热带亚热带海域的珊瑚礁区域, 在中国主要分布于南海诸岛、广东沿海等地, 体长可达 2.5 m, 体质量可达 190 kg^[10]。因眼睛后方有 2~3 条眉毛状的黑色花纹而得名“苏眉鱼”。雄性苏眉鱼体色艳丽、宝蓝色, 额头隆起; 雌性体色较雄性略显暗淡, 额头隆起较雄性小或不隆起。鱼肉白且略带淡蓝色, 是日本人最喜欢的刺身食物之一。因其具有极高的观赏和食用价值, 导致过度捕捞, 野生种群量快速下降, 被列为中国国家二级保护动物。波纹唇鱼以虾、蟹等为食, 有从食物获得毒性的能力^[10-11]。目前有关波纹唇鱼, 已有的研究报道多集中于性激素基因的表达、免疫、驯化养殖、疾病、消化道形态、染色体分析、生理生化、种群分析等方面, 尚无成熟的人工繁殖技术^[9, 12-20], 然而在催产操作过程中发现波纹唇鱼雄鱼精子产生困难, 常规的鱼用催产剂不能使其产生成熟精子, 且在室内工厂化养殖条件下也未能自行产生成熟精子或交配产生受精卵。鞍带石斑鱼又称龙胆石斑鱼, 是体型最大的石斑鱼类之一, 其生长速度快、肉质鲜美, 具有较高的食用和观赏价值, 常作为石斑鱼杂交的父本^[21], 与波纹唇鱼有较近的亲缘关系且较容易获取。本实验对波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂杂交子一代胚胎发育过程的形态特征进行了系统观察和记录。旨在探索出一种新型名贵杂交鱼类, 并为后续苗种规模化繁育、养殖生产提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

波纹唇鱼和鞍带石斑鱼来自中国水产科学研究院南海水产研究所热带水产研究开发中心, 是执行项目过程中通过自行养殖培育的亲鱼。亲鱼养殖池环境条件为: 水温 $27.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 盐度 33 ± 0.6 , pH 7.7 ± 0.3 , 溶解氧质量浓度 $(7.6 \pm 0.6)\text{ mg/L}$ 。采用丁香油水门汀对波纹唇鱼雌鱼和鞍带石斑鱼雄鱼进行麻醉, 个体麻醉至腹部向上、静止不动, 刚好失去行动能力。接着, 挤出波纹唇鱼雌鱼的卵子和鞍带石斑鱼雄鱼的精子, 将 0.2 kg 卵子与 1 mL 精子在 20 L 干净的海水中混合搅拌, 充分混匀。卵子硬度明显变化, 视为受精成功。

受精卵随后放入孵化池中, 孵化池水环境与亲鱼池基本一致, 使用气泡气石, 出气量调至受精卵

刚好随气泡在水中翻滚。用烧杯在孵化池中取样后, 放置在显微镜下连续观察并拍照。

1.2 胚胎发育观察方法

取受精卵在 LEICA 倒置显微镜下观察其形态变化, 并使用 LEICA 配套摄像头和软件进行连续拍照, 并记录拍摄时间。为达到最准确地拍摄效果, 在发育前期每隔 5 min 换取新鲜的受精卵进行观察并拍照, 至囊胚阶段后每 10 min 换取新鲜的受精卵并进行观察并拍照, 器官形成后每 15 min 换取新鲜的受精卵并进行观察并拍照记录。

2 结果与分析

2.1 受精卵特征及受精率、孵化率

波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂受精卵呈透明球形, 直径为 $(574 \pm 3)\text{ }\mu\text{m}$ 。卵中心包含一个直径约为 $137\text{ }\mu\text{m}$ 的大透明卵黄囊。该受精卵属于浮性、非黏性卵, 在无充气状态下, 能悬浮于海水中或漂浮于海水表面; 而未受精或发育不良的卵则会沉于水底。经统计波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂杂交过程中受精率 $96\% \pm 1\%$, 杂交卵子分裂率 $92\% \pm 2\%$, 杂交卵孵化率为 $42\% \pm 5\%$ 。

2.2 胚胎发育特征

波纹唇鱼♀卵子与鞍带石斑鱼♂精子混合后, 若卵子在干净海水中开始变硬(约 3 min), 则被视为受精成功, 并记录时间为受精后 0 min。随后, 定期采集孵化池中受精卵并放置在显微镜下进行胚胎发育观察并拍照记录, 同时记录每个时期出现的最早时间。根据已有海水鱼胚胎发育特征, 区分受精卵各时期的差异, 描述发育时序特征并与其他海水鱼胚胎发育进行对比分析。经取样拍摄、观察表明, 波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂受精卵的整个发育过程可分为 7 个阶段、共 28 个时期、25 个时间节点(表 1、图 1-2)。值得注意的是, 原肠胚中期与头部原基形成期、原肠胚晚期与胚孔闭合前期、胚孔闭合前期与尾牙期等阶段在时间上存在重合。在平均水温为 $27.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下, 这些受精卵在 26 h 21 min 陆续完成了孵化过程。

3 讨论

本研究中, 波纹唇鱼与鞍带石斑鱼属于同目不同科物种, 属远源杂交。波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂受精率为 $96\% \pm 1\%$, 杂交卵子分裂率为 $92\% \pm 2\%$,

溶解氧

表 1 波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂子一代胚胎发育特征

Tab. 1 Developmental characteristics of *Cheilinus undulatus*♀ × *Epinephelus lanceolatus*♂ hybrid embryos

发育时期	受精卵各发育时期特征描述	受精后首次出现特征时间
(1) 受精卵阶段	处于刚受精且未开始分裂阶段的卵, 即 1 细胞期。该阶段受精卵将精子和卵子染色体整合并复制, 为下一阶段卵裂做准备。该阶段细胞外观特征为球形且透明, 受精卵一侧有一球形油脂(油球), 在海水中油球受浮力影响处于受精卵最上方。该阶段持续(50~55) min(图 1-1)	0 min
(2) 卵裂阶段		
2 细胞期	受精卵第一次卵裂, 胚盘(动物极)由外向内缢裂成为两个卵裂球, 大小相等且形状相同(图 1-2)	55 min
4 细胞期	受精卵第二次卵裂, 胚盘由外向内缢裂四个卵裂球, 卵裂沟与第一次相垂直, 卵裂几乎同步, 4 个细胞大小相等且形状相同(图 1-3)	1 h 2 min
8 细胞期	受精卵第三次卵裂, 胚盘缢裂为 8 个卵裂球, 卵裂几乎同步, 8 个细胞形状不同但大小相近(图 1-4)	1 h 22 min
16 细胞期	受精卵第四次卵裂, 胚盘分为 16 个形状不同大小相近的卵裂球, 卵裂几乎同步, 卵裂沟痕迹开始变淡(图 1-5)	1 h 41 min
32 细胞期	受精卵第五次分裂, 胚盘细胞变小, 分为 32 个卵裂球, 卵裂基本同步, 形状不同大小相近, 胚盘由“矩形”慢慢向“圆形”演变, 边缘光滑(图 1-6)	2 h
64 细胞期	受精卵第六次分裂, 胚盘细胞变得更小, 分为 64 个卵裂球, 卵裂基本同步, 胚盘外缘光滑(图 1-7)	2 h 18 min
桑葚胚早期	卵裂越分越小, 大小不一, 胚盘表面开始凹凸不平, 状若桑葚(图 1-8)	2 h 43 min
桑葚胚中期	细胞变得更小, 但仍可观察到细胞轮廓, 胚盘表面凹凸不平加剧, 状若桑葚(图 1-9)	2 h 48 min
桑葚胚晚期	细胞变得更小, 胚盘表面凹凸不平加剧, 细胞轮廓已无法观察, 仅能观察到表面凹凸不平, 状若桑葚(图 1-10)	3 h 52 min
(3) 囊胚阶段		
囊胚早期	细胞变小, 胚盘表面趋于光滑, 逐渐形成囊胚层(图 1-11)	6 h 6 min
囊胚中期	胚盘细胞分裂的更小, 看不到细胞颗粒, 边缘增厚, 形成囊胚(图 1-12)	7 h
囊胚晚期	囊胚拓展变大, 开始向下延伸(图 1-13)	7 h 21 min
(4) 原肠胚阶段		
原肠胚早期	胚盘细胞扩展, 逐渐向植物极方向包裹, 胚层细胞覆盖卵黄囊超过 1/3(图 1-14)	7 h 44 min
原肠胚中期	胚层细胞覆盖卵黄囊的 1/2 左右, 形成半包裹胚环(图 1-15), 同时头部原基形成	8 h 19 min
原肠胚晚期	胚层细胞覆盖卵黄囊超过 2/3(图 1-16), 同时进入胚孔闭合前期	9 h 22 min
(5) 神经胚阶段		
头部原基形成期	胚体向一端延伸变长变细, 一端膨胀发育为头部原基(图 1-15)	8 h 19 min
胚孔闭合前期	胚胎形成胚孔, 并逐渐接近闭合(图 1-16)	9 h 22 min
胚孔闭合期	胚孔逐渐闭合(图 2-1)	10 h 38 min
(6) 器官形成阶段		
尾牙期	柱状胚体尾端开始发育(图 2-1)	10 h 38 min
眼基形成期	头部原基两侧出现隆起, 逐渐形成眼原基(图 2-2)	11 h 30 min
心脏出现期	心脏出现并开始跳动(图 2-3)	13 h 13 min
眼囊形成期	眼原基膨胀形成眼囊(图 2-4)	13 h 32 min
晶状体形成期	晶体形成(图 2-5)	13 h 54 min
肌节出现期	肌肉出现明显的节(图 2-6)	14 h 6 min
心跳期	心脏开始有节律地跳动(图 2-7)	14 h 22 min

续表

发育时期	受精卵各发育时期特征描述	受精后首次出现特征时间
(7) 孵化出膜阶段		
出膜前期	身体在鱼卵中呈“C”形, 身体逐渐延长、变大, 器官分化逐渐明显, 血液循环明显(图 2-8)	15 h 26 h
出膜期	尾部笔直, 头部略向腹部弯曲, 油球位于卵黄中间靠后, 身体开始有零星色素斑点, 卵黄囊为椭圆形(图 2-9)	26 h 21 min

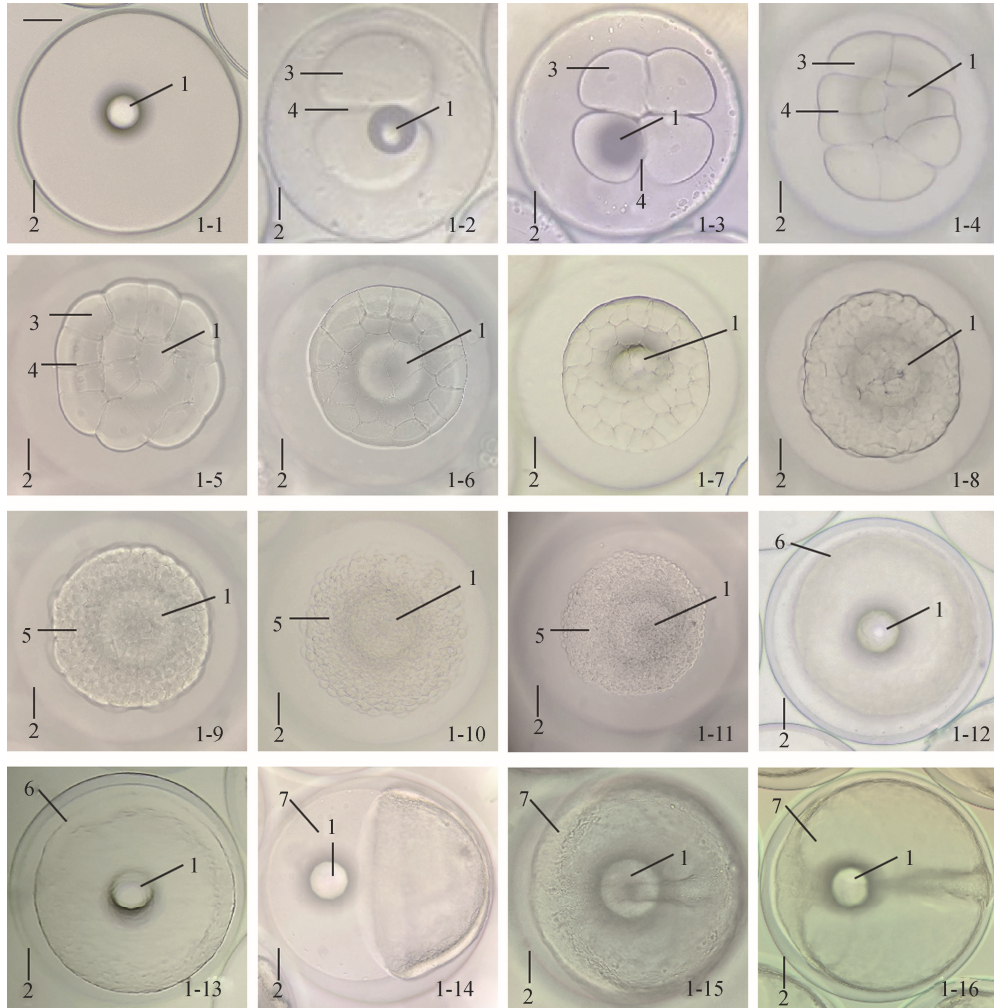


图 1 波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂子一代受精卵至胚孔闭合期阶段图谱(比例尺: 100 μm)

Fig. 1 Photos of *Cheilinus undulatus*♀ × *Epinephelus lanceolatus*♂ from the zygote to the closed period of germ hole (scale bar: 100 μm)

注: 1-1. 受精卵; 1-2. 2 分期; 1-3. 4 分期; 1-4. 8 分期; 1-5. 16 分期; 1-6. 32 分期; 1-7. 64 分期; 1-8. 桑葚胚早期; 1-9. 桑葚胚中期; 1-10. 桑葚胚晚期; 1-11. 囊胚早期; 1-12. 囊胚中期; 1-13. 囊胚晚期; 1-14. 原肠胚早期; 1-15. 原肠胚中期(头部原基形成期); 1-16. 原肠胚晚期(胚孔闭合前期); 1. 油球; 2. 卵壳; 3. 卵裂细胞; 4. 分裂沟; 5. 囊胚层; 6. 胚环; 7. 胚孔。

杂交卵孵化率为 $42\% \pm 5\%$ 。其中受精率远高于星斑川鲷 (*Platichthys stellatus*)♀ × 石鲷 (*Platichthys bicoloratus*)♂ 的受精率(15.6%)^[22], 略高于云纹石斑鱼♀ × 赤点石斑鱼♂ 的受精率(87.3%)^[23] 和杂交鲟(达氏鲟 *Huso dauricus*♀ × 施氏鲟 *A. schrenckii*)受精率(82.9%)^[24]。

因此就受精率而言, 本研究杂交受精卵的受精率等于或高于现阶段成熟的杂交报道种类, 是优质的杂交方式。本研究中孵化率与星斑川鲷♀ × 石鲷♂(42.1%)相近^[22], 低于云纹石斑鱼♀ × 鞍带石斑鱼♂ 的孵化率(91.5%)、云纹石斑鱼♀ × 赤点石斑鱼♂ 的孵化率(91.6%)^[23] 和杂交

鲟(达氏鳇♀×施氏鲟♂)受精率(63.2%)^[24]。就孵化率来讲,本研究中杂交卵的孵化率小于大多数现有较成熟的杂交种,但仍有 $42\% \pm 5\%$ 的孵化率,与星斑川鲟♀×

石鲮♂(42.1%)相近,仍具有开发和大规模生产可能性的孵化率基础,具有进一步研究的意义。

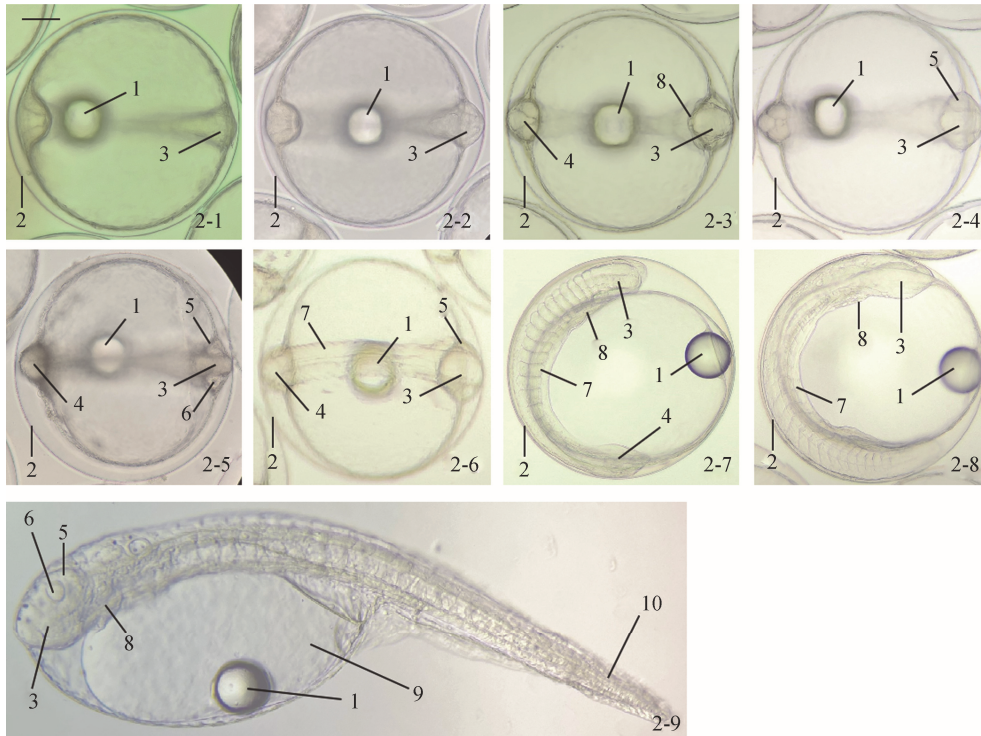


图2 胚孔闭合期至出膜期图片(比例尺: 100 μm)

Fig. 2 Pictures of the blastopore closure stage to the heartbeat phase (scale bar: 100 μm)

注: 2-1. 胚孔闭合期; 2-2. 眼基形成期; 2-3. 心脏出现期; 2-4. 眼囊形成期; 2-5. 晶状体形成期; 2-6. 肌节出现期; 2-7. 心跳期; 2-8. 出膜前期; 2-9. 出膜期; 1. 油球; 2. 卵壳; 3. 头部原基; 4. 尾牙; 5. 眼囊; 6. 晶状体; 7. 肌节; 8. 心脏; 9. 卵黄; 10. 尾。

一般来说不同鱼类产生的受精卵直径存在差异,不论是否杂交,其直径取决于母本产生的卵子直径^[25]。具体而言,波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂子一代受精卵直径为 $(574 \pm 31) \mu\text{m}$, 小于尖吻鲈(*Lates calcarifer*) $(574 \pm 31) \mu\text{m}$ ^[26]和云纹石斑鱼♀×七带石斑鱼♂杂交子一代受精卵 $(0.8627 \pm 0.0312) \text{mm}$ ^[8, 27], 但大于鲮鱼 *Mugil cephalus* 受精卵 $(0.316 \pm 0.007) \text{mm}$ ^[25]。一般来说,鱼卵的直径会影响胚胎发育至破膜的时长,较大的鱼卵需要较长的时间来发育^[28-29]。

在本实验中,作者发现波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂子一代在 $27.5 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 的水温条件下,孵化出膜的时间为 26 h 21 min,比卵径较小的鲮鱼要长^[25],比卵径大的黑棘鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)、喷点雪印小丑鱼 (*Amphiprion* sp.)、大鳍鲷 (*Mystus macropterus*)、尖翅燕鱼 (*Platax teira*)、长鳍光唇鱼 (*Acrossocheilus longipinnis*)破膜时长短^[25, 30-33]。该结果验证了卵径越大破膜所需时长越长的论点。

但是比卵径较大尖吻鲈、云纹石斑鱼(♀)×七带石斑鱼(♂)杂交子一代、褐点石斑鱼(*E.fuscoguttatus*)破膜所需时长更长、黄姑鱼(*N.albiflora*)^[25, 26], 这表明波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂子一代受精卵具有特殊性。

根据已有研究,波纹唇鱼受精卵在 $28.35 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 0.65 \text{ } ^\circ\text{C}$ 的水温条件下,历时 15 h 30 min 孵化出仔鱼^[16]。相比之下,本研究中波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂子一代胚胎发育水温低了 $0.85 \text{ } ^\circ\text{C}$, 其发育时长较非杂交胚胎延长了 10 h 51 min, 约延长了 70%。通常情况下, $0.85 \text{ } ^\circ\text{C}$ 的温差不会使同一种海水鱼的受精卵孵化时长产生较大的变化。而在水温 $27 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 的条件下,鞍带石斑鱼胚胎历时 25 h 40 min 完成胚胎发育并孵化出膜^[34]。对比表明,波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂子一代的发育时长更接近于父本,而均长于父本和母本。因此推测这可能是由于杂交导致的发育缓慢。文献调查显示,不同的杂交鱼类展现出不同的发育特性。有研究表明,在相似温度条件下,某些杂交鱼的胚胎发育速率可能比父本和

母本更快,例如短须裂腹鱼(*Schizothorax wangchiachii*♀)与鲈鲤(*Percocypris pingipingi*♂)^[35]、棕点石斑鱼(♀)和鞍带石斑鱼(♂)^[1];而另一些研究则表明,一些杂交鱼的发育时长可能长于父本和母本,如施氏鲟(♀)×西伯利亚鲟(*A.baeri*♂)^[36]、达氏鳇(♀)×施氏鲟(♂)^[24]。因此,本研究中的波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂子一代胚胎发育属于受杂交影响导致发育时长延长的情况之一。

目前对鱼类胚胎发育的研究较多,不同鱼种胚胎发育过程中能观察并记录的时期有所差异,达到同一时期所需时长也有所差异,甚至发育时序有所差异。例如,云南光唇鱼(*Acrossocheilus yunnanensis*)^[37]、棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)^[38]、金钱鱼(*Scatophagus argus*)^[39]、云南盘鮠(*Discogobio yunnanensis*)^[40]、台湾泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus*)^[41]等一些鱼种的胚胎发育时序和经历的阶段与常见鱼类一致。然而,斑马鱼(*Danio rerio*)^[42-43]没有描述神经胚阶段,可能是因为原肠胚阶段与神经胚阶段高度重合导致。本研究中的波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂子一代原肠胚的中晚期与神经胚的早中期(头部原基形成期和胚孔闭合前期)也高度重合,很容易混在一起无法区分。

4 结论

本研究观察和描述了波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂子一代受精卵胚胎发育过程,将整个发育过程分为7个阶段,并将每个阶段细分,共分为28个时期以描述发育细节的变化。研究分析表明,波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂子一代胚胎发育时长较长,与直径大小相关的发育时长规律出现偏离,属于特例情况。波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂子一代胚胎的发育时长长于父本和母本,显示受到杂交的影响而延长,更接近于父本,表明发育速度受父本影响较大。此外,本研究发现波纹唇鱼♀×鞍带石斑鱼♂子一代原肠胚的中晚期与神经胚的早中期高度重合,容易混淆无法区分。这项研究对于名贵鱼类波纹唇鱼杂交研究奠定了理论基础,并有望为相关领域的进一步研究提供重要参考。

参考文献:

[1] 陈超,孔祥迪,李炎璐,等. 棕点石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交子代胚胎及仔稚幼鱼发育的跟踪观察[J]. 渔业科学进展, 2014, 35(5): 135-144.
CHEN Chao, KONG Xiangdi, LI Yanlu, et al. Embryonic and morphological development in the larva, juvenile, and

young stages of *Epinephelus fuscoguttatus*(♀)×*E. lanceolatus*(♂)[J]. Fisheries Science Progress, 2014, 35(5): 135-144.

- [2] 吴水清,郑乐云,黄种持,等. 云纹石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交子代胚胎发育及仔稚幼鱼形态观察[J]. 渔业研究, 2016, 38(1): 27-35.
WU Shuiqing, ZHENG Leyun, HUANG Zhongchi, et al. Embryonic and morphological development in larva, juvenile, and young stages of hybrid grouper(*Epinephelus moara* ♀×*E.lanceolatus* ♂)[J]. Journal of Fisheries Research, 2016, 38(1): 27-35.
- [3] 付伟杰,邝杰华,罗君,等. 杉虎斑 Galectin-8 基因克隆及其在不同阿魏酸水平饲料下的表达响应[J]. 生物技术通报, 2022, 38(12): 312-323.
FU Weijie, KUANG Jiehua, LUO Jun, et al. Gene cloning of galectin-8 in *Epinephelus fuscoguttatus* ♀×*E. polyphkadion* ♂ and its expression responses under different of ferulic acid level[J]. Biotechnology Bulletin, 2022, 38(12): 312-323.
- [4] 刘敏,谢瑞涛,王卓铎,等. 杉虎斑营养成分分析与营养价值评价[J]. 渔业研究, 2023, 45(5): 496-505.
LIU Min, XIE Ruitao, WANG Zhuoduo, et al. Analysis and evaluation of nutritive composition of *Epinephelus fuscoguttatus* ♀×*E.polyphkadion* ♂[J]. Fisheries Research, 2023, 45(5): 496-505.
- [5] 王林娜,田永胜,李振通,等. 棕点石斑鱼、杂交“金虎斑”及珍珠龙胆的肌肉营养成分分析及品质评价[J]. 水产学报, 2023, 47(9): 113-121.
WANG Linna, TIAN Yongsheng, LI Zhentong, et al. Analysis and quality evaluation of nutritional components in the muscle of *Epinephelus fuscoguttatus*, *E. fuscoguttatus*♀×*E. tukula*♂ and *E. fuscoguttatus*♀×*E. lanceolatus*♂[J]. Journal of Fishery Sciences, 2023, 47(9): 113-121.
- [6] 胡玉花,季延滨,张家全,等. 鸚鵡鱼品系对不同亲本和繁殖技术的响应[J]. 科技资讯, 2014, 12(26): 221.
HU Yuhua, JI Yanbin, ZHANG Jiaquan, et al. Responses of parrotfish strains to different parental combinations and breeding techniques[J]. Science and Technology Information, 2014, 12(26): 221.
- [7] 向成权,曾如奎,邓龙君,等. 细鳞裂腹鱼人工催产及胚胎发育观察[J]. 现代农业, 2018, 8: 78.
XIANG Chengquan, ZENG Rukui, DENG Longjun, et al. Artificial induction and embryonic development observation of fine-scaled barb[J]. Modern Agriculture, 2018, 8: 78.
- [8] 杨求华,黄种持,郑乐云,等. 云纹石斑鱼(♀)×赤点石斑鱼(♂)杂交子代胚胎发育及生长[J]. 海洋渔业, 2014, 36(3): 224-231.
YANG Qiuhua, HUANG Zhongchi, ZHENG Leyun, et al. Embryonic development and growth of hybrid from

A report of an outbreak of food poisoning

Progress in Fishery Sciences

Advances in Marine Science

Journal of Tropical Oceanography

研究报告 REPORTS

- the hybridization of *Eqinephelus moara*(♀) × *E. akaara*(♂)[J]. *Marine Fisheries*, 2014, 36(3): 224-231.
- [9] 区又君, 廖光勇, 李加儿. 波纹唇鱼消化道的形态学和组织学[J]. *热带海洋学报*, 2012, 31(6): 83-89.
OU Youjun, LIAO Guangyong, LI Jia'er. Morphology and histology of the digestive tract in *Cheilinus undulatus*[J]. *Tropical Oceanography Journal* 2012, 31(6): 83-89.
- [10] 张贺真, 王爱丽, 刘郁. 苏眉鱼中毒的急救护理[J]. *罕少疾病杂志*, 2005(4): 28-29, 37.
ZHANG Hezhen, WANG Aili, LIU Yu. Emergency care of patients with hump head wrasse poisoning[J]. *Rare Diseases Journal*, 2005(4): 28-29, 37.
- [11] 郑泽璇, 肖秀娟, 郑泽红, 等. 一起食物中毒分析报告[J]. *华南预防医学*, 2005(6): 74.
ZHENG Zexuan, XIAO Xiujian, ZHENG Zehong, et al. Report on a food poisoning incident[J]. *South China Preventive Medicine*, 2005(6): 74.
- [12] 韩邦, 周智, 王茜, 等. 热应激对波纹唇鱼免疫功能的影响[J]. *海南大学学报(自然科学版)*, 2018, 36(3): 271-277.
HAN Bang, ZHOU Zhi, WANG Qian, et al. Effects of heat stress on the immune function of humphead wrasse (*Cheilinus undulates*)[J]. *Journal of Hainan University (Natural Science Edition)*, 2018, 36(3): 271-277.
- [13] 单麟茜. 睾酮及雌二醇对波纹唇鱼 Cyp19a1a 启动子的调控[D]. 海口: 海南大学, 2018.
SHAN Linqian. Testosterone and estradiol regulate the promoter of Cyp19a1a in humphead wrasse(*Cheilinus undulates*)[M]. Haikou: Hainan University, 2018.
- [14] 李雨欣, 王秀英, 张国庆. 基于 mtDNA 控制区的波纹唇鱼的 4 个不同地理群体的遗传多样性[J]. *海南大学学报(自然科学版)*, 2017, 35(4): 359-365.
LI Yuxin, WANG Xiuying, ZHANG Guoqing. Genetic diversity and divergence of *Cheilinus undulates* from four different geographic populations based on mtDNA control region[J]. *Journal of Hainan University (Natural Science Edition)*, 2017, 35(4): 359-365.
- [15] 王永波, 王秀英, 刘金叶, 等. 野生波纹唇鱼驯养过程中的寄生虫病及其防治[J]. *水产科技情报*, 2016, 43(4): 178-180, 184.
WANG Yongbo, WANG Xiuying, LIU Jinye, et al. Parasite diseases and their prevention in wild *Cheilinus undulates* during the domestication process[J]. *Fisheries Technology Intelligence*, 2016, 43(4): 178-180, 184.
- [16] 陈猛猛, 骆剑, 陈国华, 等. 波纹唇鱼(*Cheilinus undulatus*)的胚胎发育及初孵仔鱼的形态观察[J]. *渔业科学进展*, 2015, 36(5): 38-44.
CHEN Mengmeng, LUO Jian, CHEN Guohua, et al. Embryonic development and morphologic observations of newly-hatched *Cheilinus undulatus* larvae[J]. *Fisheries Science Progress*, 2015, 36(5): 38-44.
- [17] 胡静, 侯新远, 尹绍武, 等. 波纹唇鱼(*Cheilinus undulatus*)不同地理种群遗传多样性的微卫星分析[J]. *海洋科学进展*, 2013, 31(4): 538-545.
HU Jing, HOU Xinyuan, YIN Shaowu, et al. Genetic diversity of different geographical populations of *Cheilinus undulatus* revealed by microsatellite analysis[J]. *Marine Science Progress*, 2013, 31(4): 538-545.
- [18] 胡静, 齐兴柱, 尹绍武, 等. 波纹唇鱼 mtDNA D-loop 序列变异分析[J]. *海洋科学*, 2012, 36(4): 50-56.
HU Jing, QI Xingzhu, YIN Shaowu, et al. The variation analysis of mtDNA D-loop sequence of *Cheilinus undulatus*[J]. *Marine Science*, 2012, 36(4): 50-56.
- [19] 彭艳辉, 骆剑, 尹绍武, 等. 波纹唇鱼微卫星分子标记的筛选及适用性分析[J]. *海洋科学*, 2012, 36(5): 109-116.
PENG Yanhui, LUO Jian, YIN Shaowu, et al. Screening and suitability analysis of microsatellite markers in *Cheilinus undulatus*[J]. *Marine Science*, 2012, 36(5): 109-116.
- [20] 廖光勇, 区又君, 李加儿. 波纹唇鱼血细胞显微结构和血液生化指标[J]. *海洋科学进展*, 2011, 29(3): 379-385.
LIAO Guangyong, OU Youjun, LI Jia'er. Microstructure of peripheral blood cell and serum biochemical indices of *Cheilinus undulatus*[J]. *Marine Science Progress*, 2011, 29(3): 379-385.
- [21] 郭仁湘, 符书源, 杨薇, 等. 鞍带石斑鱼仔稚(幼)鱼的发育和生长研究[J]. *水产养殖*, 2011, 32(4): 8-13.
GUO Renxiang, FU Shuyuan, YANG Wei, et al. Study on the growth and development of larva, juvenile and young fish of *Epinephelus lanceolatus*[J]. *Aquaculture*, 2011, 32(4): 8-13.
- [22] 马贵范, 刘振华, 田永胜, 等. 星斑川鲷(♀)与石鲷(♂)杂交子代胚胎发育研究[J]. *水产科学*, 2018, 37(2): 167-173.
MA Guifan, LIU Zhenhua, TIAN Yongsheng, et al. Embryonic development of hybrid between starry flounder *Platichthys stellatus* (♀) and stone flounder *Kareius bicoloratus* (♂)[J]. *Aquatic Science*, 2018, 37(2): 167-173.
- [23] 杨求华, 黄种持, 郑乐云, 等. 云纹石斑鱼(♀)×赤点石斑鱼(♂)杂交子代胚胎发育及生长[J]. *海洋渔业*, 2014, 36(3): 224-231.
YANG Qiuhua, HUANG Zhongchi, ZHENG Leyun, et al. Embryonic development and growth of hybrid from the hybridization of *Eqinephelus moara*(♀) × *E. akaara*(♂)[J]. *Marine Fisheries*, 2014, 36(3): 224-231.
- [24] 肖鑫鑫, 骆小年, 符先飞, 等. 杂交鲟(达氏鲤♀×施氏鲟♂)和施氏鲟的人工繁殖及其胚胎发育比较[J]. *大连海洋大学学报*, 2022, 37(5): 764-774.

- XIAO Xinxin, LUO Xiaonian, FU Xianfei, et al. Artificial reproduction and embryonic development of hybrid sturgeon (*Huso dauricus*♀×*Acipenser schrenckii*♂) and Amur sturgeon *A. schrenckii*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2022, 37(5): 764-774.
- [25] 陈军平, 沈方方, 武慧慧, 等. 我国鱼类胚胎发育研究进展[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(17): 45-52.
CHEN Junping, SHEN Fangfang, WU Huihui, et al. Research progress of China's fish embryonic development[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2021, 49(17): 45-52.
- [26] 周胜杰, 胡静, 杨其彬, 等. 尖吻鲈胚胎发育及胚后发育观察[J]. 水产研究, 2020, 7(1): 58-68.
ZHOU Shengjie, HU Jing, YANG Qibin, et al. Observation on embryonic development and postembryonic development of *Lates calcarifer*[J]. Open Journal of Fisheries Research, 2020, 7(1): 58-68.
- [27] 于欢欢, 李炎璐, 陈超, 等. 温度对云纹石斑鱼 (*Epinephelus moara*)(♀)×七带石斑鱼 (*Epinephelus septemfasciatus*)(♂)杂交 F1 胚胎发育和仔鱼活力的影响[J]. 渔业科学进展, 2014, 35(5): 109-114.
YU Huanhuan, LI Yanlu, CHEN Chao, et al. The effects of temperature on the embryonic development and the larval activity of F1 *Epinephelus moara*(♀)×*E. septemfasciatus*(♂)[J]. Fisheries Science Progress, 2014, 35(5): 109-114.
- [28] CAMILLE A L, BJARNI K K, SKULI S. The importance of egg size and egg energy density for early size patterns and performance of Arctic charr *Salvelinus alpinus*[J]. Aquaculture Research, 2016, 47(4): 1100-1111.
- [29] BOBE J, LABBE C. Egg and sperm quality in fish[J]. General & Comparative Endocrinology, 2010, 165(3): 535-548.
- [30] 谭泽宇, 李涛, 姜敬哲, 等. 喷点雪印小丑鱼的胚胎及仔、稚、幼鱼形态发育观察[J]. 南方水产科学, 2024, 20(2): 73-82.
TAN Zeyu, LI Tao, JIANG Jingzhe, et al. Observation of embryo and morphological development of larval, juvenile and young speckled snowmark clownfish (*Amphiprion* sp.)[J]. Southern Aquatic Science, 2024, 20(2): 73-82.
- [31] 陈思奇, 朱永久, 吴兴兵, 等. 大鳍鱠胚胎及仔稚鱼发育观察[J]. 南方水产科学, 2023, 19(6): 60-70.
CHEN Siqi, ZHU Yongjiu, WU Xingbing, et al. Morphological development of embryos and larvae of *Mystus macropterus*[J]. Southern Aquatic Science, 2023, 19(6): 60-70.
- [32] 刘明鉴, 郭华阳, 高杰, 等. 尖翅燕鱼早期胚胎发育及仔稚鱼形态观察[J]. 南方水产科学, 2022, 18(4): 103-111.
LIU Mingjian, GUO Huayang, GAO Jie, et al. Embryonic development and morphological characteristics of larvae and juvenile of *Platax teira*[J]. Southern Aquatic Science, 2022, 18(4): 103-111.
- [33] 王岳松, 徐林, 杨洋, 等. 长鳍光唇鱼 (*Acrossocheilus longipinnis*) 人工繁殖和早期发育研究[J]. 南方水产科学, 2024, 20(2): 63-72.
WANG Yuesong, XU Lin, YANG Yang, et al. Study on artificial propagation and early development of *Acrossocheilus longipinnis*[J]. Southern Aquatic Science, 2024, 20(2): 63-72.
- [34] 张海发, 王云新, 刘付永忠, 等. 鞍带石斑鱼人工繁殖及胚胎发育研究[J]. 广东海洋大学学报, 2008, 31(4): 36-40.
ZHANG Haifa, WANG Yunxin, LIU Fuyongzhong, et al. Studies on artificial propagation and embryonic development of *Epinephelus lanceolatus*[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2008, 31(4): 36-40.
- [35] 杨洋, 陈瑶, 万玉芳, 等. 短须裂腹鱼与鲈鲤杂交 F1 代胚胎及仔稚鱼发育观察[J]. 南方水产科学, 2018, 14(6): 66-73.
YANG Yang, CHEN Yao, WAN Yufang, et al. Embryonic, larval and juvenile development of hybrid between *Schizothorax wangchiachii* and *Percocypris pingipingi*[J]. Southern Aquatic Science, 2018, 14(6): 66-73.
- [36] 付佳琪, 聂竹兰, 罗秀华, 等. 施氏鲟 *Acipenser schrenckii* ♀×西伯利亚鲟 *A. baeri* ♂杂交子代胚胎发育的观察[J]. 水产学杂志, 2017, 30(5): 18-22.
FU Jiaqi, NIE Zhulan, LUO Xiuhua, et al. Embryonic development of hybrid F1 of amur sturgeon *Acipenser schrenckii* ♀×siberian sturgeon *A. baeri* ♂[J]. Journal of Aquaculture, 2017, 30(5): 18-22.
- [37] 华泽祥, 陈俊, 石永伦, 等. 云南光唇鱼的人工繁殖和胚胎发育观察[J]. 水产科技情报, 2017, 44(2): 69-72.
HUA Zexiang, CHEN Jun, SHI Yonglun, et al. Artificial breeding and embryonic development of Yunnan light-lipped fish[J]. Fisheries Technology Intelligence, 2017, 44(2): 69-72.
- [38] 刘俊果, 宋炜, 蒋科技, 等. 棘头梅童鱼胚胎发育和仔鱼形态观察[J]. 海洋渔业, 2018, 40(6): 691-702.
LIU Junguo, SONG Wei, JIANG Keji, et al. Observation of embryonic development and larval morphology of *Collichthys lucidus*[J]. Marine Fisheries, 2018, 40(6): 691-702.
- [39] 徐嘉波, 施永海, 谢永德, 等. 池塘养殖金钱鱼的胚胎发育及胚后发育观察[J]. 安徽农业大学学报, 2016, 43(5): 716-721.
XU Jiabo, SHI Yonghai, XIE Yongde, et al. Embryonic development and post-embryonic development of gold money fish in pond cultivation[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2016, 43(5): 716-721.
- [40] 周燕, 蒲德成, 邓星星, 等. 大宁河云南盘鮡的胚胎发育

- 初步研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2018, 42(15): 192-195, 245.
 ZHOU Yan, PU Decheng, DENG Xingxing, et al. Preliminary study on embryonic development of *Yunnan pangasius* in the Daning River[J]. Journal of Heilongjiang Animal Husbandry and Veterinary, 2018, 42(15): 192-195, 245.
- [41] 廖亚明, 彭扣, 晏有水, 等. 台湾泥鳅的胚胎发育观察[J]. 江西水产科技, 2016(5): 6-7.
 LIAO Yaming, PENG Kou, YAN Youshui, et al. Embryonic development of Taiwanese mudfish[J]. Journal of Jiangxi Aquatic Science and Technology, 2016(5): 6-7.
- [42] 陈漪, 胡瑞芹, 冉皓宇, 等. 斑马鱼早期胚胎发育囊胚 sphere 时期的蛋白组学研究[J]. 海洋渔业, 2019, 41(1): 53-64.
 CHEN Yi, HU Ruiqin, RAN Haoyu, et al. Analyses of proteomic profile at the embryonic developmental sphere stage of *Danio rerio* embryos[J]. Marine Fisheries, 2019, 41(1): 53-64.
- [43] 柳爱莲, 曹更生. 斑马鱼早期胚胎发育形态学观察[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2004(2): 50-53.
 LIU Ailian, CAO Gengsheng. Study on the early stage embryonic growth of zebrafish[J]. Journal of Henan University (Natural Science Edition), 2004(2): 50-53.

Development of female humphead wrasse ♀ × male giant grouper ♂ hybrid embryos

ZHOU Shengjie^{1, 2, 3, 4, 5}, MA Zhenhua^{1, 2, 3, 4, 5}, TANG Xianming⁶, WU Qiaer³, HU Jing^{1, 2, 3, 4, 5}, YANG Rui^{1, 2, 4, 5}, DAI Shiming^{1, 2, 3, 4, 5}

(1. Sanya Tropical Fisheries Research Institute, Sanya 572018, China; 2. Key Laboratory of Efficient Utilization and Processing of Marine Fishery Resources of Hainan Province, Sanya 572018, China; 3. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 4. Hainan Engineering Research Center for Deep-sea Aquaculture and Processing, Sanya 572018, China; 5. International Joint Research Center for Conservation and Application of Fishery Resources in the South China Sea, Sanya 572018, China; 6. Hainan Provincial Key Laboratory of Tropical Maricultural Technologies, Haikou 570100, China)

Received: Aug. 14, 2024

Key words: *Cheilinus undulatus*; *Epinephelus lanceolatus*; artificial fertilization; embryo development; hybridization

Abstract: This experiment aimed to artificially extract eggs from a female humphead wrasse (*Cheilinus undulatus*) and the sperm from a male giant grouper (*Epinephelus lanceolatus*), conduct artificial fertilization, and observe as well as describe the development process and characteristics of the hybrid embryos. The characteristics of each developmental stage were observed and recorded using an optical microscope. The study found that at a water temperature of $27.5^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, the diameter of the fertilized eggs was $574 \pm 31 \mu\text{m}$; hatching took 26 h and 21 min to start. The embryonic developmental characteristics of the hybrid embryos were the same as those of other bony fish species. The embryonic development process was divided into seven stages: fertilized egg, cleavage, blastula, gastrula, neurula, organ formation, and hatching membrane. The mid-late stage of the original intestine embryo overlapped significantly with the early-middle stage of the neural embryo, causing confusion and making it difficult to distinguish. These study results indicate that the developmental time of the hybrid embryos was longer, deviating from the normal developmental time pattern related to diameter and size, which is unique. The developmental time of the hybrid embryos was longer than those of the parent species, indicating an extension influenced by hybridization. It is more similar to that of the male parent, suggesting a marked influence of the male parent on the developmental speed.

(本文编辑: 谭雪静)