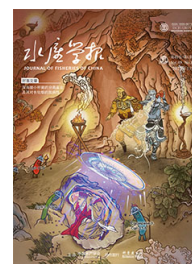


DOI: 10.11964/jfc.20240614591

蓝圆鲈的胚胎及胚后发育特征观察



张潇潇¹, 杨少森², 邹翠云¹, 张勇³, 黄锦雄², 甘松永²,
秦真东¹, 黄玮坪¹, 陈永南¹, 吴锦辉^{2*}, 林鑫^{1*}

1. 仲恺农业工程学院动物科技学院, 广东广州 510225; 2. 广东省农业技术推广中心, 广东广州 510520; 3. 中山大学生命科学学院, 广东广州 510275

摘要:

【目的】详细了解并描述蓝圆鲈胚胎及胚后发育特征。

【方法】本研究采取人工注射催产激素 HCG 得到受精卵, 利用体视显微镜对胚胎发育和胚后发育过程进行观察和图像采集, 对蓝圆鲈从受精卵到仔鱼的各个阶段进行详细的观察及特征描述。

【结果】蓝圆鲈受精卵为圆球形, 浮性卵且无色透明, 平均卵径 (763.4±27.6) μm, 含单油球。在温度 22.10~25.17 °C、盐度 32.56~33.91、溶解氧 4.85~5.95 mg/L、pH7.94~8.07 的条件下, 受精卵历经 19 h 10 min 孵化出膜, 48 h 油球被完全吸收, 72 h 鱼鳔开始形成。

【结论】胚胎发育历经受精卵期、胚盘形成期、卵裂期、囊胚期、原肠胚期、神经胚期、器官形成期与孵化出膜期等 8 大阶段, 细分为 23 个时期。孵化后发育包括前后仔鱼 2 个时期, 初孵仔鱼全长 (1 777.5±156.5) μm, 孵化后 0~17 d, 平均日生长速率为 565 μm/d。

关键词: 蓝圆鲈; 受精卵; 胚胎发育; 胚后发育

第一作者: 张潇潇, 从事鱼类营养和繁殖生物学研究, E-mail: zhangxiaoxiao0222@163.com;



杨少森, 从事水产养殖研究, E-mail: yangshaosen@163.com

通信作者: 吴锦辉, 从事工厂化循环水育苗技术研究, E-mail: wjhin@sina.com;

林鑫, 从事水产动物健康养殖研究, E-mail: linli@zhku.edu.cn

资助项目: 广东省重点领域研发计划 (2021B0202030001); 2023 年广东省乡村振兴战略专项省级项目; 2024 年中央财政支持地方高校改革发展专项 (KA24Y0201)

收稿日期: 2024-06-25

修回日期: 2024-08-28

文章编号:

1000-0615(2025)01-019608-11

中图分类号: Q 132.4; S 965.328

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)

蓝圆鲈 (*Decapterus maruadsi*) 俗称巴浪、池鱼等, 属鲈形目 (Perciformes) 鲈科 (Carangidae) 圆鲈属 (*Decapterus*), 体呈纺锤形, 稍侧扁, 属于中上层鱼类, 自然分布于印度-西太平洋地区, 在我国主要分布于南海、东海和黄海^[1]。蓝圆鲈是我国重要的经济鱼类, 据中国渔业统计年鉴, 蓝圆鲈捕捞量近年呈下降趋势^[2-3]。国内外关于蓝圆鲈的研究涵盖了摄食习性、胶体性质和生物活性肽等多个方面。研究揭示了其食物来源、营养成分、区域结构和多样性以及蛋白质水解物活性肽特性。这些研究为蓝圆鲈的生物学特性及其在食品中的作用提供了重要的依据^[4-7], 目前国内对蓝圆鲈的研究主要集中在基础生态学、肌肉营养成分和基础质构分析^[8]。研究显示, 人工养殖的蓝圆鲈肌肉粗脂肪含量更高, 肉质的适口性更佳, 更受消费者喜爱^[9]。

蓝圆鲈在生态系统中扮演着重要角色, 作为中上层鱼类, 其种群变化可能对食物链和生态平衡产生深远影响^[10]。因此, 研究和保护蓝



圆鲈不仅具有经济价值, 还具生态价值。目前, 蓝圆鲈的养殖技术主要依赖于野生苗种, 因蓝圆鲈对应激反应大, 导致野生苗种养殖成活率很低^[1]。现有的养殖模式和技术尚未能完全满足市场需求, 存在较多挑战和局限性。

因此, 开发蓝圆鲈人工繁育技术, 通过人工培育苗种可满足养殖对苗种的需求, 减少对蓝圆鲈野生资源的捕捞。国内外尚无蓝圆鲈人工繁育的报道。本研究对蓝圆鲈胚胎发育和胚后发育过程进行了记录, 对不同发育阶段的形态特征进行观察、记录描述, 为后续进行大规模苗种繁育提供基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用亲鱼购自福建东山, 在广东省海洋渔业试验中心进行驯养和培育, 亲鱼饲养在 4.5 m×4.5 m×2.0 m 水池中, 培育水温 18~22 °C, 盐度 31.5~33.0, 强化培育期间用自制饲料饲喂, 饲料配比为冰鲜杂鱼: 鳗鱼粉: 利生素: 多维: 鱼油: 粪肠球菌和酵母 = 400: 800: 1: 1: 1: 1: 1 (质量比)。定期检查亲鱼性腺发育状态, 发育成熟及水温适宜后开始进行催产。实验过程中操作人员严格遵守实验动物伦理规范, 并按照仲恺农业工程学院动物科技学院伦理委员会制定的规章制度执行。

1.2 受精卵的获得与孵化

经 8 周强化培育后, 挑选性腺发育成熟的大小为 (247.40±54.32) g 的雌鱼和雄鱼, 并采用生理盐水稀释过的人绒毛膜促性腺激素 (HCG, 500 IU/kg) 对亲鱼进行背部肌肉注射。在注射前, 使用氧化锌丁香酚水门汀对亲鱼进行麻醉, 在注射后 18~24 h, 亲鱼自然产卵和受精, 用 100 目的筛绢网收集受精卵, 受精卵转移至 3.0 m×1.5 m×1.5 m 的孵化池中, 流水充气孵化。

1.3 胚胎发育及胚后发育观察

用 200 mL 杯取样, 每次取 30~40 枚卵进行观察, 用 5 mL 的吸管吸取 10~20 枚受精卵到载玻片上, 重复 2 次, 在 Leica DM2000 光学显微镜下进行观察, M-shot 成像软件进行摄像, 并对环境温度、时间和发育阶段进行记录。

受精卵孵出仔鱼后, 每天取出 10~15 尾鱼

苗进行观察, 使用 Leica S8AP0 体式镜观察其外部形态和器官发育状态, 记录体长和器官发育情况。每次观察前对鱼苗进行降温处理, 便于观察。

1.4 卵径的测量及胚胎发育总积温的计算方法

取 120 枚受精卵, 在显微镜下对卵径进行测量, 根据有效积温法则, 胚胎发育总积温的公式:

$$K=N \times (T-C)$$

式中, K 为总积温 ($h \cdot ^\circ C$); N 为完成某一发育阶段所需的时间 (h); T 为发育期间的平均水温 ($^\circ C$); C 为该生物种类的发育起始温度 ($^\circ C$)。

1.5 数据分析

利用 Excel 2019 软件对受精卵卵径、孵化温度、仔鱼体长等数据进行分析。结果以平均值±标准差 (mean±SD) 呈现。

2 结果

2.1 受精卵

蓝圆鲈的卵为圆球形、非黏性的透明浮性卵, 单油球。雌鱼排卵以后收集受精卵, 取样后在光学显微镜下对卵径测量, 分析后得出受精卵的卵径为 (763.4±27.6) μm , 油球径为 (181.7±12.7) μm 。

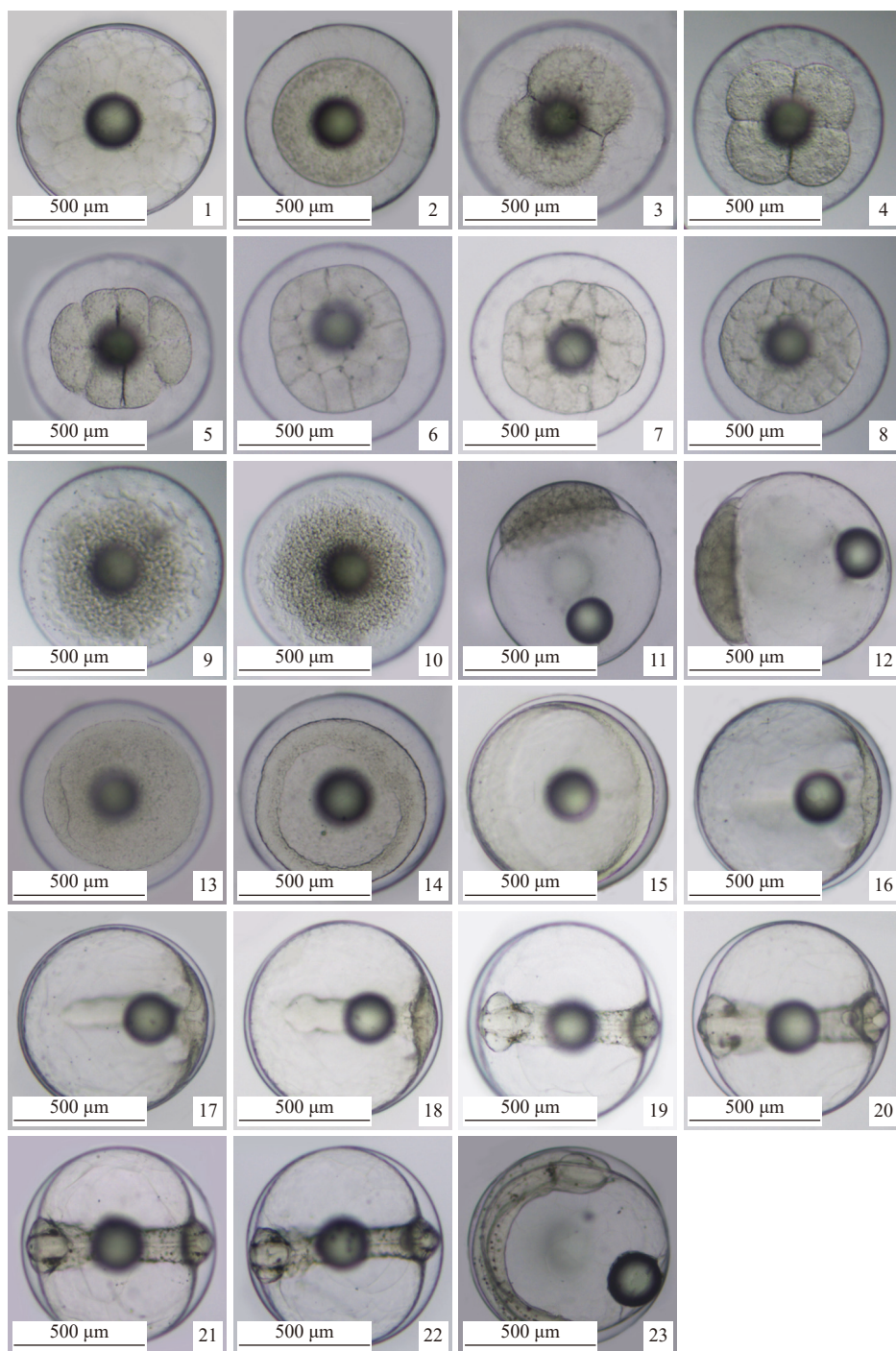
2.2 胚胎发育

受精卵孵化的温度为 22.10~25.17 °C, 盐度为 32.56~33.91, 溶解氧为 4.85~5.95 mg/L, pH 值为 7.94~8.07, 历经 19 h 10 min 出膜。胚胎发育的有效总积温为 465.59~526.90 °C·h。

受精卵阶段 观察到受精卵时, 受精卵的卵膜吸水膨胀, 细胞质分布均匀, 有一圈圈的油脂球 (图版 I -1, 表 1)。

胚盘隆起阶段 胚胎发育的早期阶段, 受精卵内的细胞开始分裂, 形成了一个胚盘结构。在此阶段, 胚胎呈现出一个扁平的圆盘形状, 随着细胞的增殖和移动, 此胚盘会逐渐隆起, 并最终形成胚胎的基本结构 (图版 I -2)。

卵裂阶段 在卵裂阶段, 从 15 min 到 1 h 20 min, 受精卵经历了连续的细胞分裂, 形成 2、4、8、16 个卵裂球, 每个阶段的卵裂球



图版 I 蓝圆鲹受精卵至出膜期阶段图谱

1. 受精卵, 2. 胚盘隆起, 3. 2细胞期, 4. 4细胞期, 5. 8细胞期, 6. 16细胞期, 7. 32细胞期, 8. 多细胞期, 9. 桑葚胚早期, 10. 桑葚胚晚期, 11. 高囊胚期, 12. 低囊胚期, 13. 原肠胚早期, 14. 原肠胚中期, 15. 原肠胚晚期, 16. 胚孔闭合期, 17. 头部原基形成期, 18. 眼基形成期, 19. 眼囊形成期(尾芽期), 20. 心脏出现期, 21. 晶状体出现期, 22. 心跳期, 23. 出膜前期。

Plate I Developmental stages of *D. maruadsi* from fertilized egg to hatching

1. fertilized egg, 2. embryonic disc elevation, 3. 2-cell stage, 4. 4-cell stage, 5. 8-cell stage, 6. 16-cell stage, 7. 32-cell stage, 8. multicellular stage, 9. early morula stage, 10. late morula stage, 11. high blastula stage, 12. low blastula stage, 13. early gastrula stage, 14. mid gastrula stage, 15. late gastrula stage, 16. embryonic pore closure stage, 17. head primordium formation stage, 18. eye primordium formation stage, 19. eye vesicle formation stage (tail bud stage), 20. heart appearance stage, 21. lens appearance stage, 22. heartbeat stage, 23. pre-hatching stage.

大小、形状及卵裂沟的方向都有所不同, 但整体呈现出规律地增殖 (图版 I -3~10)。

囊胚阶段 在囊胚阶段, 从 3 h 10 min 到 3 h 50 min, 随着细胞的继续分裂, 囊胚层逐渐形成, 胚盘细胞变得更小, 囊胚隆起逐渐变低, 为后续器官形成奠定了基础 (图版 I -11~12)。

原肠胚阶段 进入原肠胚阶段后, 从 4 h 40 min 到 6 h 5 min, 胚盘细胞逐渐扩展并形成胚环结构, 胚层细胞覆盖卵黄囊的比例逐渐增加, 胚盾也随之增厚 (图版 I -13~15)。

神经胚阶段 在神经胚阶段, 从 7 h 25 min 到 8 h 25 min, 胚胎胚孔逐渐闭合, 胚体开始形成, 头部原基逐渐膨胀形成 (图版 I -16~17)。

器官形成期 进入器官形成期, 从 10 h

到 15 h 10 min, 眼基、心脏、晶状体等重要器官开始形成, 眼囊膨胀, 心脏原基出现, 并开始有节律地跳动 (图版 I -18, 22)。

孵化出膜阶段 孵化出膜阶段从 19 h 10 min 开始, 标志着胚胎准备离开卵壳, 血液循环明显, 胚体开始扭动, 身体呈现“C”状, 同时开始出现色素斑点。这一阶段的到来意味着胚胎即将孵化, 进入新的生命阶段 (图版 I -23)。

2.3 胚后发育

蓝圆鲹受精卵孵化成功后进入仔鱼阶段。放入室内水泥圆池, 仔鱼投放密度 5 000 尾/m³, 温度为 24.98~26.68 °C, 盐度为 32.45~33.12, 溶解氧含量为 5.28~5.63 mg/L, pH 值为 7.98~8.22, 蓝圆鲹育苗初期投喂 SS 型褶皱臂尾轮虫 (*Brachionus plicatilis*), 育苗中期投喂 S 型和 L 型褶皱臂尾轮虫、丰年虫 (*Artemia salina*) 无节

表 1 蓝圆鲹胚胎发育特征

Tab. 1 Embryonic development characteristics of *D. maruadi*

发育时期 development stage	受精后时间 time after fertilization	受精卵各发育时期特征描述 description of developmental stages of fertilized eggs
受精卵阶段 fertilized egg stage	0 min	受精后卵膜吸水膨胀, 受精卵一端有一圆形油脂球, 细胞质分布均匀
胚盘隆起 blastodisc elevation	15 min	受精卵内细胞质与细胞核向动物极流动, 形成胚盘
2细胞期 2-cell stage	25 min	胚盘分裂成为2个卵裂球, 大小相近且形状相似
4细胞期 4-cell stage	35 min	胚盘分为4个卵裂球, 卵裂沟与第一次相垂直, 4个卵裂球大小相等且形状相同
8细胞期 8-cell stage	50 min	胚盘分裂为8个卵裂球, 8个卵裂球形状不同但大小相近
16细胞期 16-cell stage	1 h 5 min	受精卵第4次卵裂, 胚盘分为16个形状不同、大小相近的卵裂球, 形成4排, 卵裂沟明显
32细胞期 32-cell stage	1 h 20 min	受精卵第5次分裂, 胚盘细胞变小
多细胞期 multicellular stage	1 h 40 min	胚盘细胞继续分裂, 胚盘分裂出多个细胞
桑葚胚早期 early morula stage	2 h	随着细胞的不断分裂, 胚盘细胞隆起似桑葚状
桑葚胚晚期 late morula stage	2 h 5 min	细胞变得更小, 边缘细胞分裂增多, 胚盘接近圆形
高囊胚期 high blastula stage	3 h 10 min	胚盘细胞变得很小, 逐渐形成半圆形囊胚层
低囊胚期 low blastula stage	3 h 50 min	胚盘细胞分裂地更小, 囊胚隆起逐渐变低
原肠胚早期 early gastrula stage	4 h 40 min	胚盘细胞逐渐扩展并变得薄弱, 逐渐形成胚环结构
原肠胚中期 middle gastrula stage	5 h 20 min	胚层细胞覆盖卵黄囊的2/3, 形成胚环, 胚盾增厚
原肠胚晚期 late gastrula stage	6 h 5 min	胚层细胞覆盖卵黄囊超过3/4, 胚盾变窄, 胚胎胚孔有闭合趋势
胚孔闭合期 closure of blastopore	7 h 25 min	胚胎胚孔逐渐闭合, 胚体开始形成
头部原基形成期 head primordium formation stage	8 h 25 min	胚体向一端延伸变长变细, 卵的一端开始逐渐膨胀, 形成头部原基
眼基形成期 ocular primordium stage	10 h	头部原基两侧出现隆起, 逐渐形成眼原基
眼囊形成期 ocular sac stage	10 h 20 min	眼基膨胀形成眼囊, 尾芽突出
心脏出现期 cardiac onsets	12 h 55 min	前方出现心脏原基, 出现在头部末端下方
晶状体出现期 eye lens emergence	12 h 50 min	晶体形成
心跳期 heart-beating stage	15 h 10 min	能观察到心脏开始有节律地跳动
出膜前期 pre-hatching stage	19 h 10 min	血液循环明显, 胚体开始扭动, 身体在鱼卵中成“C”形, 身体开始有色素斑点

幼体、冻存的低盐咸水剑水蚤 (*Halicyclops aequoreus*), 育苗后期, 使用丰年虫成体及粉粒饲料交叉投喂, 以此加强配合饲料驯化, 并最终过渡到粉粒配合饲料或颗粒配合饲料阶段。对鱼苗 0~17 DPH (days post hatch, 孵化后的天数) 进行特征记录。

0~3 DPH 处于孵化后的最初阶段 (图版 II), 0~2 DPH 蓝圆鲂仔鱼身体呈现出微小且透明的状态。它们的运动较为缓慢, 头部和尾部尚未完全发育, 呈现出圆形或椭圆形的形态 (图 III-1), 身体周围存在少量残留的卵黄囊。早期口腔尚未发育完全, 结构不明显, 眼睛形态初步形成, 但未完全发育, 视网膜尚不明显 (图版 II-1, 2)。随着仔鱼的发育, 眼球结构逐渐完整, 视网膜和其他结构开始发育, 口腔开始发育并显现, 逐渐具备开口的特征, 但只是一个小小的口裂, 未完全形成, 用于吸收卵黄中的营养, 腹部比较平坦, 没有明显的消化器官轮廓 (图版 II-1, 4, 5; 图版 III-5)。

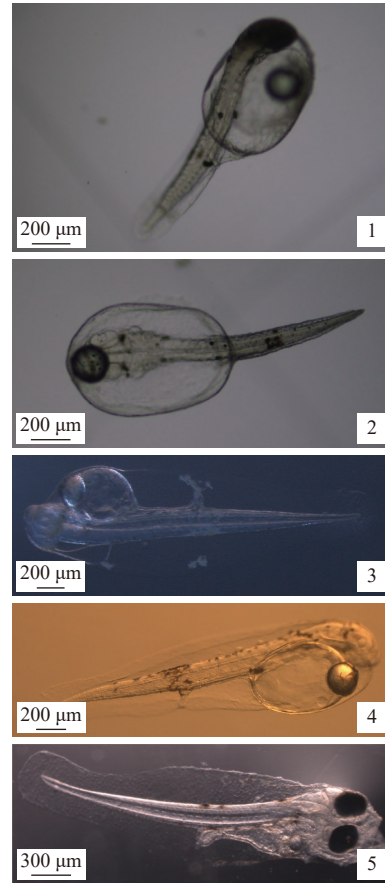
3 DPH 卵黄囊被完全吸收, 头部和尾部的形态逐渐清晰, 眼睛和口腔区域也进一步发育, 呈现出更加明显的轮廓, 头部、尾部和身体的比例开始趋于正常, 口部会逐渐扩张, 变得更为明显, 以适应吞食固体食物, 消化道开始发育, 消化器官区域的轮廓逐渐显现, 仔鱼的游动能力显著提高, 能够更加灵活地在水中追逐食物和躲避捕食者 (图版 II-5)。

5~17 DPH 是后仔鱼时期, 在解剖镜下拍照记录下具有代表性的 5、8、11、14、17 DPH 的蓝圆鲂仔鱼 (图版 IV)。

5 DPH 仔鱼 全长 ($3\ 358.71 \pm 188.78$) μm , 头腹内原有的油球储备已完全被吸收利用。鱼鳔形成, 游泳和避障能力明显提高, 能够主动在水体中活动。眼囊区域因黑色素高度富集呈现出黑色, 消化系统雏形出现, 整体体色以黄褐色为主 (图版 IV-1)。

8 DPH 仔鱼 全长 ($4\ 290.14 \pm 396.11$) μm , 躯干部分黑色素细胞大量增加沉积, 在体表形成了大块黑色色斑。肠道出现生理弯曲。背鳍位置向尾部后移, 尾鳍逐渐出现 (图版 III-11), 尾鳍柄变细, 尾柄雏形开始出现 (图版 IV-2)。

11 DPH 仔鱼 全长 ($5\ 550 \pm 286.71$) μm , 背鳍和臀鳍区域开始出现明显的色素沉积, 尾柄处变得更加纤细, 消化系统进一步完善, 出



图版 II 出膜期阶段

1. 初孵仔鱼 (正), 2. 初孵仔鱼 (侧), 3. 1 日龄, 4. 2 日龄, 5. 3 日龄。

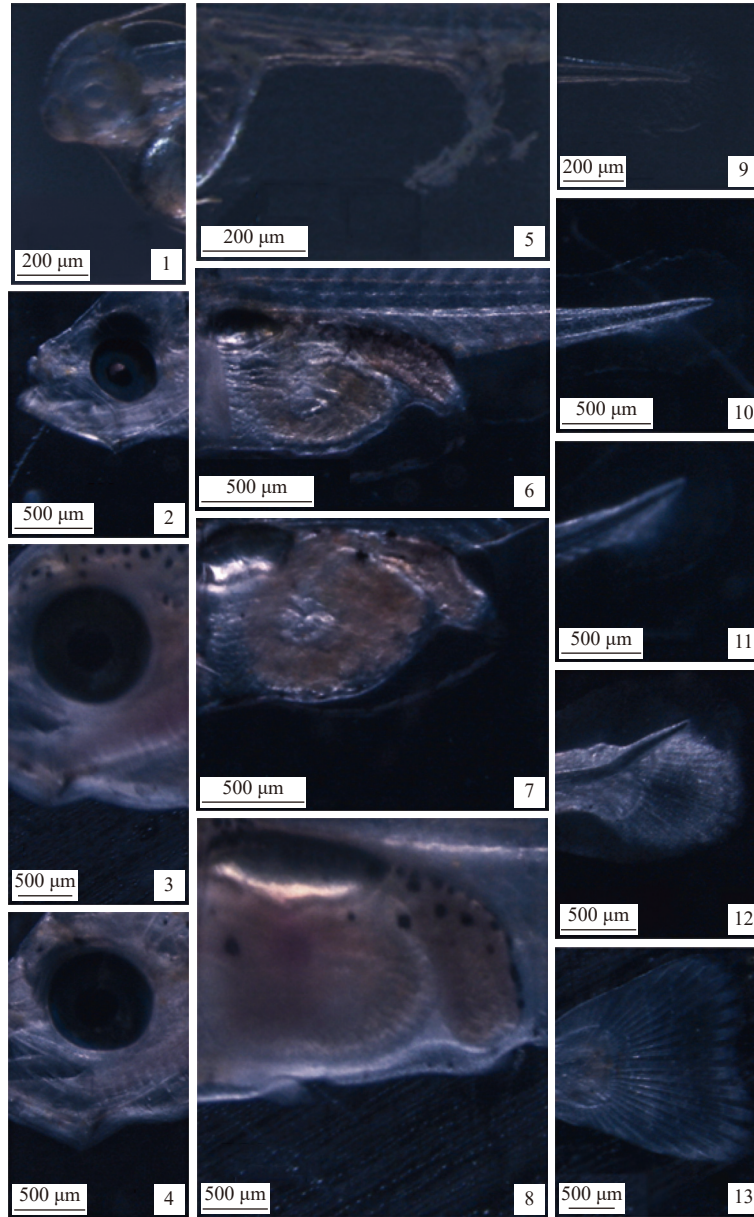
Plate II Hatching stage

1. newly hatched larva (front), 2. newly hatched larva (side), 3. 1 dph larvae, 4. 2 dph larvae, 5. 3 dph larvae.

现明显的胃部和肠道轮廓 (图版 III-8)。整个身体遍布分散的黑棕色色斑, 整体颜色为棕色 (图版 IV-3)。

14 DPH 仔鱼 全长 ($6\ 230.17 \pm 563.14$) μm , 除了尾端外其他区域可见大量黑色色素遍布鱼体表面, 体色以黄黑为主 (图版 IV-4)。脊索开始向上弯曲, 尾柄部位愈加明确, 各鳍面逐步完善, 尾鳍、第一背鳍、第二背鳍及臀鳍出现。

17 DPH 仔鱼 全长 ($9\ 684.63 \pm 591.03$) μm , 随着眼睛的进一步发育, 色素开始沉积在眼部结构中, 形成眼部的颜色 (图版 IV-4), 除尾部, 全身大量色素沉淀。第一背鳍和第二背鳍愈发清晰, 可见清晰的鳍条 (图版 IV-5), 臀鳍发育进一步完善, 尾鳍扇形面积增大, 有分叉趋势 (图版 III-13)。



图版 III 蓝圆鲈各部位发育形态特征

1-4. 眼睛发育, 5-8. 肠道发育, 9-13. 尾鳍发育。

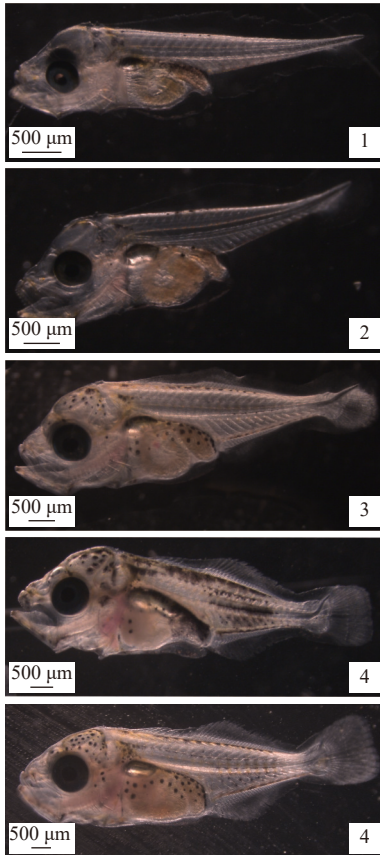
Plate III Morphological characteristics of *D. maruadsi*

1-4. eye development, 5-8. intestine development, 9-13. caudal fin development.

3 讨论

鱼类的胚胎发育过程具有多样性, 不同种类的鱼在发育阶段的划分上存在差异。一般来说, 鱼类的胚胎发育经历多个典型阶段, 具体阶段划分有所不同。例如, Musialak 等^[12]将大西洋鲑 (*Salmo salar*) 的胚胎发育分为卵裂、原肠胚和器官形成期 3 个阶段, 并详细描述了器官形成阶段的特征情况。此外, 蓝点马鲛 (*Scomberomorus niphonius*)^[13] 和青鳉 (*Oryzias latipes*)^[14] 的胚胎发育过程被划分为 6 个阶段, 其中蓝点马鲛重点描述胚盘发育时期和尾芽形成期, 而青鳉侧重描述其体节的发育特征。侧带波鱼 (*Rasbora lateristriata*)^[15]、攀鲈 (*Anabas testudineus*)^[16] 和军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)^[17] 等的胚胎发育则被划为 7 个阶段, 其中受精卵和胚盘形成均归于胚盘形成期, 这可能与受精卵过渡至胚盘形成阶段用时较短有关。而五条鲷 (*Seriola quinqueradiata*)^[18]、大刺鳅 (*Mastacrispis*)^[19] 和青斑 (*Lateolabrax japonicus*)^[20] 的胚胎发育则被划为 8 个阶段, 其中受精卵和胚盘形成均归于胚盘形成期, 这可能与受精卵过渡至胚盘形成阶段用时较短有关。而五条鲷 (*Seriola quinqueradiata*)^[18]、大刺鳅 (*Mastacrispis*)^[19] 和青斑 (*Lateolabrax japonicus*)^[20] 的胚胎发育则被划为 8 个阶段, 其中受精卵和胚盘形成均归于胚盘形成期, 这可能与受精卵过渡至胚盘形成阶段用时较短有关。

鱼类的胚胎发育过程具有多样性, 不同种类的鱼在发育阶段的划分上存在差异。一般来说, 鱼类的胚胎发育经历多个典型阶段, 具体阶段划分有所不同。例如, Musialak 等^[12]将大西洋鲑 (*Salmo salar*) 的胚胎发育分为卵裂、原肠胚和器官形成期 3 个阶段, 并详细描述了器官形成阶段的特征情况。此外, 蓝点马鲛 (*Scomberomorus niphonius*)^[13] 和青鳉 (*Oryzias latipes*)^[14] 的胚胎发育过程被划分为 6 个阶段, 其中蓝点马鲛重点描述胚盘发育时期和尾芽形成期, 而青鳉侧重描述其体节的发育特征。侧带波鱼 (*Rasbora lateristriata*)^[15]、攀鲈 (*Anabas testudineus*)^[16] 和军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)^[17] 等的胚胎发育则被划为 7 个阶段, 其中受精卵和胚盘形成均归于胚盘形成期, 这可能与受精卵过渡至胚盘形成阶段用时较短有关。而五条鲷 (*Seriola quinqueradiata*)^[18]、大刺鳅 (*Mastacrispis*)^[19] 和青斑 (*Lateolabrax japonicus*)^[20] 的胚胎发育则被划为 8 个阶段, 其中受精卵和胚盘形成均归于胚盘形成期, 这可能与受精卵过渡至胚盘形成阶段用时较短有关。



图版 IV 蓝圆鲈 5、8、11、14、17 DPH 图谱

1. 5 日龄仔鱼, 2. 8 日龄仔鱼, 3. 11 日龄仔鱼, 4. 14 日龄仔鱼, 5. 17 日龄仔鱼。

Plate IV Developmental stages of *D. maruadsi* at 5, 8, 11, 14 and 17 DPH

1. 5 dph larvae, 2. 8 dph larvae, 3. 11 dph larvae, 4. 14 dph larvae, 5. 17 dph larvae.

cembelus armatus)^[19] 和扁吻鱼 (*Aspiorhynchus laticeps*)^[20] 胚胎发育过程则被划分为 8 个阶段, 涵盖了从受精卵期到孵化出膜期的全过程。本研究中, 蓝圆鲈的胚胎发育也划分为 8 个阶段, 分别为受精卵期、胚盘形成期、卵裂期、囊胚期、原肠胚期、神经胚期、器官形成期和出膜前期, 受精至孵化出膜用时 19 h 10 min, 这与黄鰮无齿鲈 (*Gnathanodon speciosus*) 的胚胎发育十分相似, 后者胚胎发育至出膜用时稍短, 为 18 h 30 min, 这可能与胚胎发育的温度有关^[21]。综上所述, 不同种类的鱼类在胚胎发育阶段的划分上存在一定的差异, 反映了鱼类胚胎发育的多样性。

硬骨鱼的基本发育机制相似, 但胚胎发育时间的差异受到多个因素的影响, 这种差异可能受遗传和环境因素控制^[22-24]。温度是影响孵

化时间的关键环境因素, 一般来说, 较高的孵化温度会加速胚胎发育过程。已有研究表明, 适宜的水温可以加速胚胎发育的进程^[25]。例如, 在 23~25 °C, 蓝圆鲈的胚胎发育时间较高体鲈 (*S. dumerili*)^[26-27] 更短, 说明适宜的温度可以显著缩短胚胎发育时间, 提高孵化效率。卵径的大小对孵化时间也有显著影响。通常情况下, 卵径较大的鱼类需要更长的发育时间, 因为较大的卵通常意味着胚胎发育过程中的营养储备更多、发育更为复杂^[28-30]。例如, 蓝圆鲈的卵径较小, 其胚胎发育时间较短, 而卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*)^[31] 的卵径较大, 导致胚胎发育时间显著更长。然而斜带石斑鱼 (*Epinphelus coioides*)^[32-33] 的卵径比黄斑篮子鱼 (*Siganus oramin*)^[34] 的大, 但胚胎发育所用的时间更短, 绿鳍马面鲈 (*Thamnaconus modestus*)^[35] 和日本黄姑鱼 (*Nibea japonica*)^[36] 相比也呈现相似的结果, 这可能是由于鱼类的种属差异导致。卵的黏性和浮性也是影响胚胎孵化时间的因素之一, 它们可能改变受精卵在水体中的分布, 从而影响其接触环境条件的稳定性, 最终影响孵化时间。虽然该影响较为间接, 但在一定程度上也影响了发育过程的速率。此外, 神经胚形成时间是胚胎发育过程中的关键阶段, 对后续的器官发育和功能定型至关重要^[37]。蓝圆鲈和黄鰮无齿鲈的神经胚形成时间较短, 同时胚胎发育完成所用的时间较短, 表明它们在早期神经系统发育上表现出高度的活跃性, 这可能有助于更快完成胚胎发育。而卵形鲳鲹的神经胚形成时间更长, 胚胎发育所用的时间也更长, 这可能反映了其神经系统发育过程的复杂性或较慢的发育速率。高体鲈、五条鲈和黄尾鲈 (*S. lalandi*)^[38] 的神经胚形成时间则显示出一定程度的差异, 且神经胚形成的时间越长, 胚胎发育所需的总时间也越长。这表明不同鱼类在神经系统发育上存在显著的生物学差异, 这些差异不仅影响其胚胎发育过程, 还可能对其后续的行为和生长产生重要影响。

不同种类鱼类的仔鱼发育特点存在较大差异。根据观察, 蓝圆鲈的仔鱼发育可分以下几个阶段, 0~3 DPH 发育阶段划分为仔鱼发育的前期。因其在 3 DPH 卵黄刚吸收完毕, 此时期仔鱼依赖于卵黄囊中储存的营养物质进行发育, 这些营养物质提供了孵化后仔鱼最初的能量和

营养来源^[39-40]。平均体长在 (1 777.5±156.5) μm , 且 0~3 DPH 仔鱼的各部位鳍条还未发育。5~17 DPH 发育阶段为仔鱼发育的后阶段。仔鱼开始主动寻找外部食物源, 进行外部摄食, 17 DPH 的仔鱼平均体长为 (9 684.625±591.03) μm , 且各部位鳍条发育完善。前后阶段的过渡, 营养来源由内源性变为外源性, 消化系统完善, 各部位鳍条逐渐发育和分化至成熟。在发育环境接近的情况下, 比较 4 种鲈科鱼类^[21, 26-27, 31]、3 种石斑鱼属的仔鱼阶段发育特征, 石斑鱼分别为斜带石斑鱼^[32-33]、棕点石斑鱼 (*E. fuscoguttatus*)^[41] 及鞍带石斑鱼 (*E. lanceolatus*)^[42], 发现在 4 种鲈科鱼类中, 五条鲈的初孵仔鱼全长最大, 为 (4.03±0.27) mm, 其卵黄囊消失时间和油球耗尽时间分别为 6 d 和 10 d, 鳍条发育完成时间为 25 d, 显示出较长的发育周期和更高的初期能量储备。蓝圆鲈以及黄颡无齿鲈鳍条发育完成所用的时间较短, 分别为 20 和 17 d。斜带石斑鱼、棕点石斑鱼和鞍带石斑鱼的初孵仔鱼全长相对较小, 分别为 1.78、1.81 和 1.80 mm, 但它们的发育存在差异。斜带石斑鱼的油球耗尽时间较短, 而鳍条发育时间较长, 表明其在早期发育过程中可能更依赖外部环境的营养供给。棕点石斑鱼和鞍带石斑鱼的油球耗尽时间和鳍条发育时间相对较短, 显示出更快的发育速率和较强的适应能力。此外, 本研究蓝圆鲈仔鱼的发育速率存在阶段性变化, 在其发育的 0~14 DPH 时间段, 平均增长速率为 445.01 $\mu\text{m}/\text{d}$, 而在 14~17 DPH 时间段, 平均发育速率 1 151.49 $\mu\text{m}/\text{d}$, 这一发育规律与黄颡无齿鲈生长模式相似, 二者均出现了的“异速增长”的情况^[21]。此外, 与发育前期相比, 各部位鳍条在发育后期快速完善。不同鱼类仔鱼阶段发育特征差异显著, 且鲈科鱼类和石斑鱼属鱼类在仔鱼全长、鳍条发育时间和速率等方面各有特点。

综上所述, 本研究成功实现了蓝圆鲈的人工繁育, 未来的研究应进一步探讨蓝圆鲈在不同环境条件下的发育反应, 特别是温度、盐度和溶解氧等因素对其胚胎和仔鱼生长的影响。此外, 还应深入研究蓝圆鲈的营养需求和最佳饵料配方, 以优化人工养殖过程中的成活率和生长速率。

参考文献 (References):

- [1] 崔明远, 田思泉, 麻秋云, 等. 基于单位补充量模型的浙江南部海域蓝圆鲈资源评价 [J]. 水产科学, 2022, 41(5): 727-737. Cui M Y, Tian S Q, Ma Q Y, et al. Assessment for Japanese scad *Decapterus maruadsi* fishery in offshore waters of Southern Zhejiang based on per recruitment model[J]. Fisheries Science, 2022, 41(5): 727-737 (in Chinese).
- [2] 黄茂坤, 林志杰. 蓝圆鲈鱼头酶解工艺及其酶解产物抗氧化活性 [J]. 武夷学院学报, 2023, 42(12): 1-6,33. Huang M K, Lin Z J. The preliminary study on enzymolysis technology and antioxidant activity of *Decapterus maruadsi* heads[J]. Journal of Wuyi University, 2023, 42(12): 1-6,33 (in Chinese).
- [3] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2023. Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023 (in Chinese).
- [4] Hu X, Zhou Y, Zhou S B, et al. Purification and identification of novel xanthine oxidase inhibitory peptides derived from round scad (*Decapterus maruadsi*) protein hydrolysates[J]. *Marine Drugs*, 2021, 19(10): 538.
- [5] Wu Q, Wang W, Li X P, et al. Gel properties of blue round scad (*Decapterus maruadsi*) mince as influenced by the addition of egg white powder[J]. *Journal of Texture Studies*, 2022, 53(4): 563-576.
- [6] 徐雯, 杨蕊, 陈淦, 等. 基于胃含物和碳、氮稳定同位素研究浙江南部近海蓝圆鲈的摄食生态 [J]. 应用生态学报, 2022, 33(11): 3097-3104. Xu W, Yang R, Chen G, et al. Feeding ecology of *Decapterus maruadsi* in the southern coastal area of Zhejiang based on stomach contents and stable isotope analysis[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022, 33(11): 3097-3104 (in Chinese).
- [7] Yi S M, Wu Q, Tong S N, et al. Thermal aggregation behavior of egg white protein and blue round scad (*Decapterus maruadsi*) myofibrillar protein[J]. *Journal of Food Science*, 2022, 87(9): 3900-3912.
- [8] 王爽, 周爱梅, 戴泽伟, 等. 蓝圆鲈不同部位的营养成分分析与评价 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(10): 303-307,314. Wang S, Zhou A M, Dai Z W, et al. Composition analysis and nutritional evaluation of different parts of *Decapterus maruadsi*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(10): 303-307,314 (in Chinese).
- [9] 黄茂坤, 赖谱富. 人工养殖蓝圆鲈肌肉营养成分的分析与评价 [J]. 武汉轻工大学学报, 2022, 41(6): 44-52.

- Huang M K, Lai P F. Analysis and evaluation of nutritional components in the muscle of cultured *Decapterus maruadsi*[J]. *Journal of Wuhan Polytechnic University*, 2022, 41(6): 44-52 (in Chinese).
- [10] Yu J, Liu Z N, Chen P M, *et al.* Environmental factors affecting the spatiotemporal distribution of *Decapterus maruadsi* in the western Guangdong waters, China[J]. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2019, 17(4): 8485-8499.
- [11] Ambarish G P, Anil M K, Surya S, *et al.* Broodstock collection, transportation and maintenance of marine finfishes[M]//Imelda J, George S, Joseph S. Winter school on mariculture technologies for income multiplication, employment, livelihood and empowerment. Kochi: ICAR-Central Marine Fisheries Research Institute, 2023: 140-146.
- [12] Musialak L A, Finstad B, Bråthen K E, *et al.* Embryonic development and sensitive stages of Atlantic salmon (*Salmo salar*) eggs[J]. *Aquaculture*, 2024, 579: 740281.
- [13] 姜屹倩, 樊艳楠, 郑春静, 等. 温度对蓝点马鲛胚胎发育的影响 [J]. *浙江海洋学院学报 (自然科学版)*, 2016, 35(4): 271-275.
- Jiang Y Q, Fan Y N, Zheng C J, *et al.* The effect of temperature on embryonic development of *Scomberomorus niphonius*[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition)*, 2016, 35(4): 271-275 (in Chinese).
- [14] Iwamatsu T. Stages of normal development in the medaka *Oryzias latipes*[J]. *Mechanisms of Development*, 2004, 121(7-8): 605-618.
- [15] Retnoaji B, Nurhidayat L, Pratama S F, *et al.* Embryonic development of Indonesian native fish yellow rasbora (*Rasbora lateristriata*)[J]. *Journal of King Saud University - Science*, 2023, 35(7): 102810.
- [16] 马本贺, 李燕华, 王海华, 等. 攀鲈胚胎发育观察 [J]. *水产科技情报*, 2022, 49(3): 132-136.
- Ma B H, Li Y H, Wang H H, *et al.* Embryonic development of *Anabas testudineus*[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2022, 49(3): 132-136 (in Chinese).
- [17] 邝杰华, 陈刚, 马骞, 等. 军曹鱼的胚胎发育及仔稚鱼形态观察 [J]. *水产学报*, 2021, 45(11): 1814-1824.
- Kuang J H, Chen G, Ma Q, *et al.* Embryonic development and morphological characteristics of larvae and juveniles of cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 45(11): 1814-1824 (in Chinese).
- [18] 方璐, 徐永江, 柳学周, 等. 五条鲷早期生长发育特征及胚胎发育的温度适应特性 [J]. *渔业科学进展*, 2021, 42(6): 194-204.
- Fang L, Xu Y J, Liu X Z, *et al.* Early growth and development characteristics of *Seriola quinqueradiata* and the temperature adaptation of embryonic development[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2021, 42(6): 194-204 (in Chinese).
- [19] 方园, 吴真, 曾庆祥, 等. 大刺鲷人工繁殖与胚胎发育研究 [J]. *江西农业学报*, 2021, 33(12): 99-103,110.
- Fang Y, Wu Z, Zeng Q X, *et al.* Study on artificial propagation and embryonic development of *Mastacembelus armatus*[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2021, 33(12): 99-103,110 (in Chinese).
- [20] 韩建军, 贺疆滔, 陈朋, 等. 扁吻鱼胚胎发育及仔稚鱼形态与生长观察研究 [J]. *南方水产科学*, 2021, 17(1): 59-66.
- Han J J, He J T, Chen P, *et al.* Observation on embryonic development, morphology and growth of larvae and juveniles of *Aspiorhynchus laticeps*[J]. *South China Fisheries Science*, 2021, 17(1): 59-66 (in Chinese).
- [21] 黄炜坪, 甘松永, 王庆, 等. 黄颡无齿鲮胚胎及胚后发育特征 [J]. *水产学报*, 2024, 48(4): 049110.
- Huang W P, Gan S Y, Wang Q, *et al.* Characteristics of the embryonic and post-embryonic development of golden trevally (*Gnathamodon speciosus*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2024, 48(4): 049110 (in Chinese).
- [22] Falk-Petersen I B. Comparative organ differentiation during early life stages of marine fish[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2005, 19(5): 397-412.
- [23] 薛敬阳, 王小明, 张运海, 等. 裸体异鳔鲈人工繁殖与胚胎发育研究 [J]. *水产科技情报*, 2023, 50(4): 205-210.
- Xue J Y, Wang X M, Zhang Y H, *et al.* Artificial reproduction and embryonic development of *Xenophysogobio nudicorpa*[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2023, 50(4): 205-210 (in Chinese).
- [24] 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 M J, Guo H Y, Gao J, *et al.* Embryonic development and morphological characteristics of larvae and juvenile of *Platax teira*[J]. *South China Fisheries Science*, 2022, 18(4): 103-111 (in Chinese).
- [25] 张海瑞, 王中锋, 黄顺楷, 等. 弓背青鳞的胚胎发育及自发荧光观察 [J]. *广东海洋大学学报*, 2019, 39(2): 38-44.
- Zhang H R, Wang Z D, Huang S K, *et al.* Observation of embryonic development and autofluorescence of *Oryzias curvinotus*[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2019, 39(2): 38-44 (in Chinese).
- [26] Stuart K R, Armbruster L, Johnson R, *et al.* Egg diameter as a predictor for egg quality of California yellowtail (*Seriola dorsalis*)[J]. *Aquaculture*, 2020, 522: 735154.
- [27] 殷名称. 鱼类早期生活史研究与其进展 [J]. *水产学报*, 1991, 15(4): 348-358.
- Yin M C. Advances and studies on early life history of fish[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1991, 15(4): 348-358 (in Chinese).

- [28] Soman M, Chadha N K, Madhu K, *et al.* Optimization of temperature improves embryonic development and hatching efficiency of false clown fish, *Amphiprion ocellaris* Cuvier, 1830 under captive condition[J]. *Aquaculture*, 2021, 536: 736417.
- [29] 区又君, 李加儿. 卵形鲳鲹的早期胚胎发育[J]. 中国水产科学, 2005, 12(6): 786-789.
Ou Y J, Li J E. Early embryonic development in *Trachinotus ovatus*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2005, 12(6): 786-789 (in Chinese).
- [30] 陈昌生, 纪荣兴, 黄佳鸣, 等. 高体鲷胚胎、早期仔鱼发育与盐度的关系[J]. 上海水产大学学报, 1997, 6(1): 5-10.
Chen C S, Ji R X, Huang J M, *et al.* The relationship between the salinity and the embryonic, early larval development in *Seriola dumerili*[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 1997, 6(1): 5-10 (in Chinese).
- [31] Masuma S, Kanematu M, Teruya K. Embryonic and morphological development of larvae and juveniles of the amberjack, *Seriola dumerili*[J]. *Japanese Journal of Ichthyology*, 1990, 37(2): 164-169 (in Japanese)
- [32] 王珺, 陈国华, 尹绍武. 斜带石斑鱼受精卵及仔稚鱼生理生态学的研究进展[J]. 海南大学学报(自然科学版), 2008, 26(2): 200-206.
Wang J, Chen G H, Yin S W. Advances in physiological and ecological studies on eggs, larvae and juveniles of *Epinephelus coioides*[J]. *Natural Science Journal of Hainan University*, 2008, 26(2): 200-206 (in Chinese).
- [33] 刘冬娥. 斜带石斑鱼早期发育阶段的生物学研究[D]. 厦门: 集美大学, 2007.
Liu D E. Study on biology of *Epinephelus coioides* during early developmental stage[D]. Xiamen: Jimei University, 2007 (in Chinese).
- [34] 黄小林, 李涛, 林黑着, 等. 网箱养殖黄斑篮子鱼胚胎发育观察[J]. 南方水产科学, 2018, 14(2): 96-101.
Huang X L, Li T, Lin H Z, *et al.* Observation on embryonic development of cage-breeding *Siganus oramin*[J]. *South China Fisheries Science*, 2018, 14(2): 96-101 (in Chinese).
- [35] 王波, 王宗兴, 范士亮, 等. 绿鳍马面鲀胚胎和仔鱼早期发育的初步观测[J]. 水产科技情报, 2011, 38(1): 10-14.
Wang B, Wang Z X, Fan S L, *et al.* Preliminary observation on embryonic and larval development of *Thamnaconus septentrionalis*[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2011, 38(1): 10-14 (in Chinese).
- [36] 许源剑, 孙敏, 柴学军, 等. 日本黄姑鱼胚胎发育及温度对其过程的影响[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2010, 29(6): 544-550.
Xu Y J, Sun M, Chai X J, *et al.* Embryonic development of *Nibea japonica* and its relationship with incubation temperature[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition)*, 2010, 29(6): 544-550 (in Chinese).
- [37] Keller R, Davidson L, Edlund A, *et al.* Mechanisms of convergence and extension by cell intercalation[J]. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 2000, 355(1399): 897-922.
- [38] Yang S G, Hur S W, Ji S C, *et al.* Morphological development of embryo, larvae and juvenile in yellowtail kingfish, *Seriola lalandi*[J]. *Development & Reproduction*, 2016, 20(2): 131-140.
- [39] 田雨苏, 孙远东, 欧密, 等. 壬基酚致红鲷发育畸形的机制[J]. 水产学报, 2020, 44(10): 1619-1636.
Tian Y S, Sun Y D, Ou M, *et al.* Preliminary studies on the mechanism of nonylphenol-induced malformation of *Carassius auratus red var.*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(10): 1619-1636 (in Chinese).
- [40] Yanagitsuru Y R, Main M A, Lewis L S, *et al.* Effects of temperature on hatching and growth performance of embryos and yolk-sac larvae of a threatened estuarine fish: longfin smelt (*Spirinchus thaleichthys*)[J]. *Aquaculture*, 2021, 537: 736502.
- [41] 林彬, 黄宗文, 骆剑, 等. 棕点石斑鱼胚胎发育的观察[J]. 海南师范大学学报(自然科学版), 2010, 23(1): 87-92.
Lin B, Huang Z W, Luo J, *et al.* Embryonic development observation of *Epinephelus fuscoguttatus*[J]. *Journal of Hainan Normal University (Natural Science Edition)*, 2010, 23(1): 87-92 (in Chinese).
- [42] 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, 28(4): 36-40.
Zhang H F, Wang Y X, Liufu Y Z, *et al.* Studies on artificial propagation and embryonic development of *Epinephelus lanceolatus*[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2008, 28(4): 36-40 (in Chinese).

Observation on the embryonic and post-embryonic developmental characteristics of blue round scad (*Decapterus maruadsi*)

ZHANG Xiaoxiao¹, YANG Shaosen², ZOU Cuiyun¹, ZHANG Yong³,
HUANG Jinxiong², GAN Songyong², QIN Zhendong¹, HUANG Weiping¹,
CHEN Yongnan¹, WU Jinhui^{2*}, LIN Li^{1*}

1. College of Animal Science & Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China;

2. Guangdong Agricultural Technology Extension Center, Guangzhou 510520, China;

3. School of Life Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract: Blue round scad (*Decapterus maruadsi*) is an economically significant fish species in China. Wild juveniles of *D. maruadsi* have been caught and are being cultured in net cages in China. However, the lack of artificial seedlings has limited the cultural scale of *D. maruadsi* in China. To date, there have been no reports on the propagation of *D. maruadsi*. To explore artificial breeding techniques for *D. maruadsi*, fertilized eggs were obtained by injecting HCG. The embryonic and post-embryonic development processes were observed and imaged using stereomicroscopy, and the characteristics of each stage from fertilized egg to juvenile fish were described. The results showed that *D. maruadsi* fertilized eggs were spherical, buoyant, and colorless, with an average diameter of $(763.4 \pm 27.6) \mu\text{m}$, containing a single oil globule. Under conditions of hatchery with temperature of $22.10\text{--}25.17\text{ }^\circ\text{C}$, salinity of $32.56\text{--}33.91$, dissolved oxygen of $4.85\text{--}5.95\text{ mg/L}$, and pH of $7.94\text{--}8.07$, the fertilized eggs hatched in 19 hours and 10 minutes. The oil globule was completely absorbed at 48 hours, and the swimming bladder appeared at 72 hours. Embryonic development included 8 main stages, subdivided into 23 periods: fertilized egg, blastoderm, cleavage, blastula, gastrula, neurula, organogenesis, and hatching. Post-hatch development consisted of prelarval and larval stages. Newly hatched larvae had an average total length of $(1\ 777.5 \pm 156.5) \mu\text{m}$, with an average daily growth rate of $565\ \mu\text{m/d}$ from 0 to 17 days post-hatching.

Key words: *Decapterus maruadsi*; fertilized egg; embryonic development; post-embryonic development

Corresponding authors: WU Jinhui. E-mail: wjhin@sina.com;

LIN Li. E-mail: linli@zhku.edu.cn

Funding projects: Fund for R & D Projects in Key Areas of Guangdong Province (2021B0202030001); 2023 Special Fund for Rural Revitalization Strategy of Guangdong Province; 2024 Special Fund from Central Government for the Reform and Development of Local Universities (KA24Y0201)