



黄鰂无齿鲂胚胎及胚后发育特征

黄炜坪¹, 甘松永², 王庆³, 杨少森², 黄锦雄², 赵艳飞², 邹翠云¹,
黄培卫², 张潇潇¹, 陈永南¹, 秦真东¹, 吴锦辉^{2*}, 林鑫^{1*}

(1. 广东省水环境与水产品安全工程技术研究中心, 广州市水产病害与水禽养殖重点实验室,

仲恺农业工程学院动物科技学院, 广东广州 510222;

2. 广东省农业技术推广中心, 广东广州 510520;

3. 华南农业大学海洋学院, 广东广州 510642)

摘要: 黄鰂无齿鲂是一种兼具观赏与食用价值的名贵海水鱼类。本文通过人工催产方法, 获取黄鰂无齿鲂受精卵并追踪观察, 旨在对其胚胎及胚后发育特征进行观察记录。结果显示, 受精卵孵化条件为盐度 30.26 ± 0.67 、温度 $(24.72 \pm 0.32)^\circ\text{C}$ 、pH 值 (7.46 ± 0.12) 、溶解氧 $(5.13 \pm 0.33) \text{ mg/L}$ 、光照强度约 $3\ 000 \text{ lx}$ 。黄鰂无齿鲂受精卵为透明浮性圆球形, 平均卵径 $(764.29 \pm 14.74) \mu\text{m}$; 含单油球, 油球平均直径 $(166.32 \pm 18.28) \mu\text{m}$ 。胚胎发育历经受精卵期、胚盘期、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 8 个阶段, 再进一步细分成 24 个时期。受精后 $18 \text{ h } 30 \text{ min}$ 孵化出膜, 进入仔鱼阶段(含前仔鱼期和后仔鱼期)。前仔鱼期为孵化后 0~3 d, 卵黄囊没有完全吸收; 后仔鱼期为孵化后 4~20 d, 卵黄囊完全吸收。初孵仔鱼全长 $(1\ 520 \pm 19) \mu\text{m}$, 出膜后第 6 天油球储备耗尽并形成鳔。孵化后第 20 天, 鱼体后脊索完全弯曲, 各鳍和消化系统发育完善, 体表大量色素沉淀且具有独立生活的能力, 仔鱼进入稚鱼阶段。研究表明, 黄鰂无齿鲂的发育模式符合典型硬骨鱼类的规律, 发育周期较其他鲂科鱼类更短, 其胚胎及胚后发育特征与卵形鲳鲂比较接近。本研究为黄鰂无齿鲂苗种培育提供了重要参考。

关键词: 黄鰂无齿鲂; 受精卵; 胚胎发育; 胚后发育

中图分类号: Q 132.8; S 917.4

文献标志码: A

黄鰂无齿鲂(*Gnathanodon speciosus*)属于鲈形目(Perciformes)鲂科(Carangidae)无齿鲂属(*Gnathanodon*)。其体色金黄, 故俗称黄金鲂, 体侧具 7~11 条的黑色纵向条纹^[1]。黄鰂无齿鲂主要分布于我国南海, 日本本州岛以南、琉球群岛、印度洋太平洋及东南亚珊瑚礁海域等地。游泳能力强, 成群活动, 个体中小型, 常常跟随在大型

鱼类后方, 如鲨鱼、大型石斑鱼等。肉食性, 依靠可伸缩的吻部吸食珊瑚礁中的小型无脊椎动物为生, 其幼鱼期下颌具有少数齿, 而成鱼下颌和犁骨部位则无齿, 仅有舌面较为粗糙, 同类相残比较少。黄鰂无齿鲂成鱼可达 1 m 以上, 肉质鲜美, 可加工为刺身食用。由于其肉质比主养品种卵形鲳鲂(*Trachinotus ovatus*)更加细嫩, 市场售价

收稿日期: 2023-12-28 修回日期: 2024-02-06

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)

第一作者: 黄炜坪(照片), 从事鱼类繁殖生物学研究, E-mail: SCY991116@163.com;

甘松永, 从事工厂化水产养殖研究, E-mail: 813460397@qq.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, E-mail: linli@zhku.edu.cn



也更高。这些特征使得黄鹌无齿鲈既是良好的观赏性鱼类, 又是高经济价值的食用鱼。

黄鹌无齿鲈的人工养殖以海水网箱和室内海水循环水池模式为主。目前国内只针对水族养殖的黄鹌无齿鲈的细菌性疾病进行了初步研究^[2], 国外主要集中在其环境因子适应性、生长性能、食性、营养需求和微卫星序列测定等方面^[3-9], 该鱼种的研究还处于比较初级的阶段, 对于其生殖生理特性以及胚胎发育过程等的研究还较缺乏。本研究通过人工繁殖黄鹌无齿鲈, 并使用显微拍摄技术对其胚胎发育和胚后发育过程进行了记录, 描述了不同发育阶段的形态特征, 为后续开发该品种的人工繁殖和苗种培育提供基础。

1 材料与方 法

1.1 实验对象

实验用黄鹌无齿鲈成鱼购于海南陵水当地渔民捕捞的野生个体, 转运至广东省农业技术推广中心大亚湾基地海水循环水系统中养殖, 养殖池大小为 5 m×5 m×3 m, 光周期为 12L:12D, 光照强度约 3 000 lx、DO≥5 mg/L、pH 值 (7.66±0.17)、水温 (27.75±1.38) °C、盐度 32.32±0.59。亲鱼强化培育交替使用冰鲜鱼和人工配合饲料。人工配合饲料使用鳗鱼粉、鱿鱼浆、沙虫浆按照 5:3:2 的比例制作成颗粒。隔天投喂冰鲜的日本鳀 (*Engraulis japonicus*)、沙丁鱼 (*Sardina pilchardus*)、日本鲭 (*Scomber japonicus*) 等杂鱼, 连续投喂 15~30 d 后检查成熟度。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 亲鱼繁殖及受精卵的获得

强化培育 15~30 d 后检查成熟度, 使用氧化锌丁香酚水门汀麻醉后, 当雄鱼能挤出精液及雌鱼腹部柔软微微隆起、生殖孔发红, 转移至催产池进行人工催产。

人工催产采用两针催产法, 均采用背部肌肉注射, 第 1 针注射促黄体素释放激素 A3 (LHRH-A3), 剂量为 3~5 μg/kg。12 h 后注射第 2 针, LHRH-A3 和绒毛膜促性腺激素 (HCG) 联合用药, LHRH-A3 的剂量为 10~15 μg/kg, HCG 的剂量为 7.5~10.0 μg/kg。注射完第 2 针后 12 h 通常可以获得成熟的卵。用干法受精进行人工授精操作: 将成熟鱼卵放入干净的烧杯中, 加入成熟的精液,

用羽毛搅拌均匀, 静置 3 min 后加入新鲜海水, 轻轻搅动 5 min 后, 用新鲜海水冲洗鱼卵, 挑选浮性卵放入孵化桶中孵化。

1.3 受精卵的孵化、胚胎发育及胚后发育观察

将受精卵置于 500 L 循环桶中孵化, 同时通气保持水体充氧。受精卵在 Leica DM2000 显微镜下进行观察, 显微图像系统拍摄图片, 记录各时期特征, 每次观察取样胚胎 30 粒。

仔鱼出膜后, 在直径 6.0 m, 水深 1.5 m 的圆形水泥池中进行苗种培育, 饵料系列为经营养强化的褶皱臂尾轮虫 (*Brachionus plicatilis*)、丰年虫 (*Artemia salina*)、冻存的低盐咸水剑水蚤 (*Halicyclops aequoreus*)、丰年虫成体及微囊颗粒饲料等。初孵仔鱼培养密度约为 10 000 尾/m³, 水质条件为温度 (25.59±0.21) °C、盐度 31.36±0.47、pH 值 7.58±0.11、DO≥5 mg/L、光照强度约 3 000 lx。胚后发育的时间采用日龄 (day post hatch, dph) 进行记录, 初孵的仔鱼定义为 0 日龄, 以此类推。胚后发育观察为每日选取 25~30 尾健康仔鱼, 在 Leica S8AP0 体视镜下拍照, 显微图像系统测量记录全长、卵黄囊大小等。

1.4 卵径的测量及胚胎发育总积温的计算方法

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 代表总积温 (h·°C); N 代表完成某一发育阶段所需的时间 (h); T 代表发育期间的平均水温 (°C); C 代表该生物种类的发育起始温度 (°C)。利用显微图形软件测量 100 粒受精卵的直径, 取这 100 粒卵直径的算术平均值。

1.5 数据分析

受精卵与仔鱼可量性状数据以平均值±标准差 (mean±SD) 表示。

2 结果

2.1 受精卵

黄鹌无齿鲈受精卵为非黏性、圆球形的透明浮性卵, 但大量受精卵聚集在一起时呈现淡黄色。受精卵平均卵径为 (764.29±14.74) μm, 具有 1 个油球, 油球平均直径为 (166.32±18.28) μm。

2.2 胚胎发育

受精卵在盐度 30.26±0.67、温度 (24.72±0.32) °C、pH 值 7.46±0.12、溶解氧 (5.13±0.33)

mg/L、光照强度约 3 000 lx 的海水环境中孵化, 18 h 30 min 后, 开始出膜。整个胚胎发育过程所需要

的总积温为 470.8~503.8 °C·h, 黄鰮无齿鰻胚胎发育时序见表 1。

表 1 黄鰮无齿鰻胚胎发育特征

Tab. 1 Embryonic development characteristics of *G. speciosus*

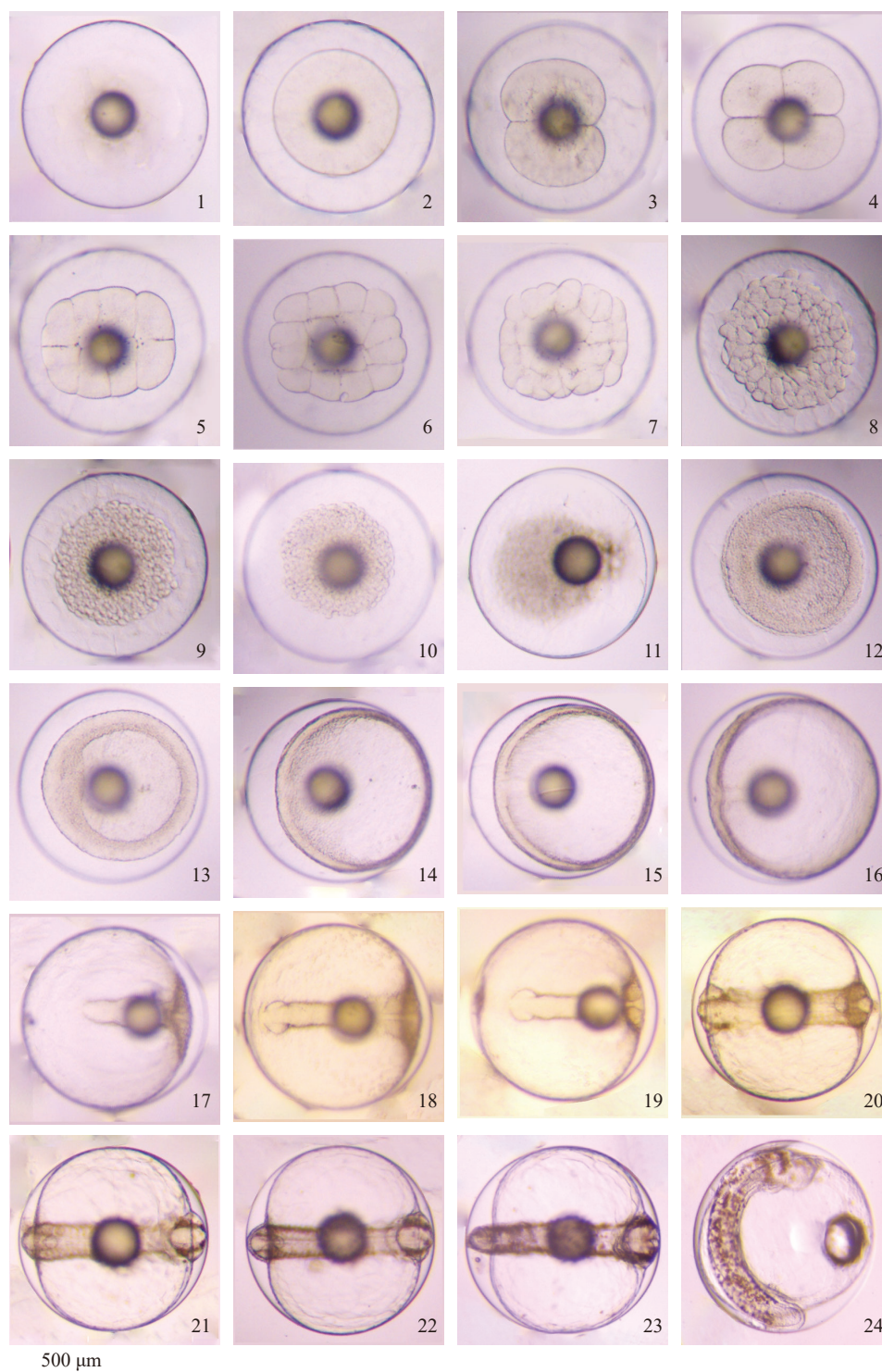
发育时期 development stage	特征描述 characteristics	受精后时间 time after fertilization
受精卵 fertilized eggs	受精卵一端有一圆形油脂球, 细胞质分布均匀	0 min
胚盘形成 blastodisc formation	受精卵内细胞质与细胞核向动物极流动, 形成胚盘	15 min
2细胞期 2-cell stage	胚盘分裂成为2个卵裂球, 大小相等且形状相同	25 min
4细胞期 4-cell stage	胚盘分为4个卵裂球, 卵裂沟与第1次相垂直	35 min
8细胞期 8-cell stage	胚盘分裂为8个卵裂球, 8个卵裂球形状不同但大小相近	45 min
16细胞期 16-cell stage	第4次卵裂, 胚盘分为16个形状不同、大小相近的卵裂球	55 min
32细胞期 32-cell stage	受精卵第5次分裂, 胚盘细胞变小, 胚盘由“矩形”向“圆形”靠拢	1 h
桑椹胚早期 early morula stage	卵裂越分越小, 大小不一	1 h 10 min
桑椹胚晚期 late morula stage	细胞变得更小, 边缘细胞分裂增多, 胚盘接近圆形	1 h 25 min
高囊胚期 high blastula stage	胚盘细胞变的很小, 逐渐形成半圆形囊胚层	2 h 5 min
低囊胚期 low blastula stage	胚盘细胞分裂的更小, 胚盘细胞开始向一边移动	3 h
原肠胚早期 early gastrula stage	胚盘细胞扩展变薄, 并逐渐向植物极方向包裹	3 h 35 min
原肠胚中期 middle gastrula stage	胚层细胞覆盖卵黄囊的1/2, 形成胚环, 胚盾增厚	4 h
原肠胚晚期 late gastrula stage	胚层细胞覆盖卵黄囊超过2/3, 胚盾变窄	4 h 40 min
胚孔闭合前期 early blastopore closure stage	胚胎形成胚孔, 并逐渐接近闭合	5 h 30 min
胚孔闭合期 closure of blastopore	胚胎胚孔逐渐闭合, 胚体开始形成	6 h 10 min
头部原基形成期 head primordium formation stage	胚体向一端延伸, 变长变细, 一端膨胀发育为头部原基	7 h
眼基形成期 ocular primordium stage	头部原基两侧隆起, 逐渐形成眼原基, 柱状胚体一端发育为铲状	8 h 30 min
眼囊形成期 ocular sac stage	眼囊膨胀形成	9 h
心脏出现期 cardiac onsets	心脏发育成长管状结构, 出现在头部末端下方	11 h 35 min
晶状体出现期 eye lens emergence	晶体形成	13 h 30 min
心跳期 heart-beating stage	心脏开始有节律地跳动	13 h 45 min
出膜前期 pre-hatching stage	血液循环, 身体在鱼卵中成“C”形, 卵壳与卵黄之间空隙变大	18 h
初孵仔鱼 pre-hatching stage (side)	胚体脱离卵膜, 仔鱼身体伸展	18 h 30 min

胚盘期 黄鰮无齿鰻的受精卵 (图版 I -1) 在受精后 15 min, 细胞质与细胞核开始从植物极定向流动向动物极, 形成盘状的胚盘隆起 (图版 I -2)。

卵裂阶段 受精后 25 min, 黄鰮无齿鰻的受精卵进行第 1 次卵裂, 标志着胚胎发育进入 2 细胞期。此时胚盘中央区域由外向内进行缢裂, 均等分成 2 个分裂球, 这是整个胚胎发生过程中的首次细胞分裂 (图版 I -3)。受精后 35 min~1 h, 胚胎连续进行从第 2 次到第 5 次的细胞分裂, 即胚胎从 2 细胞期快速发育到 32 细胞期。每次细胞分裂所形成的分裂面均与上一轮分裂面垂直, 使得胚胎整体维持球对称性, 而细胞数则以几何级数翻倍增长 (图版 I -4~7)。受精后 1 h 10 min, 随着胚盘中央区域的快速分裂, 各个细胞或细胞团

大小开始不均等, 中心区域细胞较小, 边缘区域较大。细胞之间分界面也变得不再规则, 呈现出桑椹状早期胚胎的特征 (图版 I -8)。15 min 后, 受精卵发育到桑椹胚晚期, 此时分裂球继续变小, 特别是边缘区域细胞分裂数目增加, 使得整个胚盘轮廓近似圆形。细胞分化初步完成, 胚胎发育进入下一个更为复杂的阶段 (图版 I -9)。

囊胚阶段 受精后 2 h 5 min, 黄鰮无齿鰻的受精卵进入囊胚发育阶段。此时胚盘细胞极度缩小, 并在一侧形成半圆形的囊胚层。同时胚盘开始向一侧移动, 标志着高囊胚期的开始 (图版 I -10)。此后随着时间的推移, 在受精后 3 h, 越来越多的囊胚层表层细胞向下层及外围区域生长、扩散和迁移, 囊胚腔可见, 进入低囊胚期 (图版 I -11)。



图版 I 黄颡无齿鲈受精卵至出膜前期阶段图谱

1. 受精卵, 2. 胚盘形成, 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. 桑椹胚早期, 9. 桑椹胚晚期, 10. 高囊胚期, 11. 低囊胚期, 12. 原肠胚早期, 13. 原肠胚中期, 14. 原肠胚晚期, 15. 胚孔闭合早期, 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, 20. 心脏出现期, 21. 晶状体出现期, 22. 心跳期, 23. 出膜前期, 24. 出膜前期(侧)。

Plate I Photos of *G. speciosus* from fertilized eggs to pre-hatching stage

1. fertilized eggs, 2. blastodisc formation, 3. 2-cell stage, 4. 4-cell stage, 5. 8-cell stage, 6. 16-cell stage, 7. 32-cell stage, 8. early morula stage, 9. late morula stage, 10. high blastula stage, 11. low blastula stage, 12. early gastrula stage, 13. middle gastrula stage, 14. late gastrula stage, 15. early blastopore closure stage, 16. closure of blastopore, 17. head primordium formation stage, 18. ocular primordium stage, 19. ocular sac stage, 20. cardiac onsets, 21. eye lens emergence, 22. heart-beating stage, 23. pre-hatching stage, 24. pre-hatching stage (side).

原肠胚阶段 受精后 3 h 35 min, 原肠胚发育进入早期, 此阶段可观察到两层胚层中的外层细胞开始向原卵黄囊 1/3 区域发育、扩张, 而尚未形成完整的胚环, 仅有模糊虚影。此时出现原始的胚盾结构, 但细胞分化还不明显 (图版 I -12)。4 h 时, 原肠胚发展到中期, 细胞快速分裂增殖, 外层胚层完全覆盖了卵黄囊右上方 1/2 的表面, 胚环边界清晰可辨, 且胚盾增厚放大, 细胞分化明显, 预示原肠腔形成 (图版 I -13)。40 min 后, 进入原肠胚晚期, 外层细胞开始向另一侧覆盖, 到达卵黄囊的 2/3 左右。此时胚盾变窄, 原肠胚发育结束 (图版 I -14)。

神经胚阶段 受精后 5 h 30 min, 黄鰮无齿鲈胚胎发育进入神经胚阶段。在胚盾外层可见神经板细胞出现分化, 神经芽的雏形出现, 同时胚孔接近闭合 (图版 I -15)。受精后 6 h 10 min, 胚层细胞已经几乎完全覆盖整个卵黄囊, 尚存的孔隙被填平, 胚胎从单层的胚盘发育成了由两层细胞构成的柱状胚体结构 (图版 I -16)。1 h 后, 神经板进一步发育为中空圆筒状神经管, 头部原基在膨大的柱状胚体一端成形, 这标志着胚胎器官和系统开始进行高速分化, 进入新的发育阶段 (图版 I -17)。

器官形成阶段 受精后 8 h 30 min, 黄鰮无齿鲈胚胎发育进入眼原基形成期, 头部两侧隆起眼芽结构的雏形。与此同时柱状胚体前端呈现铲状扁平结构, 为头部特征发育奠定基础 (图版 I -18)。在受精后的 9 h, 眼原基的外胚层向内下陷, 逐渐膨胀凸出而形成眼囊。这标志着视觉器官的关键分化已经开始 (图版 I -19)。发育到受精后 11 h 35 min, 心脏作为第一个运动器官而出现, 呈现简单的管状结构位于尾部末端略为下方, 这预示着胚胎循环系统形成 (图版 I -20)。13 h 30 min, 在扩张的眼囊下方可观察到光学性晶状体的出现, 视网膜和其他结构将在其后形成 (图版 I -21)。至 13 h 45 min 心脏开始有自主规律的收缩和舒张, 标志着有效的血液循环系统已经建立 (图版 I -22)。18 h 30 min 进入出膜前期, 最后阶段胚胎整体呈“C”字形, 心跳和血流明显, 破膜孵化的最后阶段即将到来 (图版 I -23~24)。

2.3 胚后发育

黄鰮无齿鲈从破壳而出到尾鳍骨骼开始形成的 0~20 dph 为仔鱼期, 其中 0~3 dph 为前仔鱼期 (图版 II), 是整个仔鱼发育中最为关键的阶段。刚孵化时体内卵黄尚存余, 口部和消化道尚未完全形成, 不能进食, 依赖储存养分。在 0~3 dph,



图版 II 黄鰮无齿鲈前仔鱼期

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

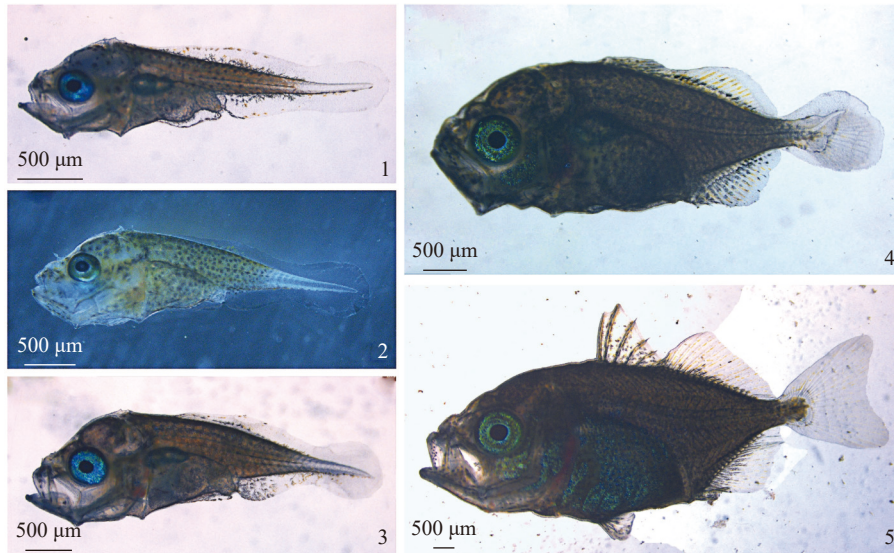
Plate II *G. speciosus* larvae-prelarval stage

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

一系列器官和系统快速发育, 口咽开启, 肠胃通路建立, 与此同时眼部色素沉积, 视网膜和晶状体功能加速建立, 这为下一个积极摄食和快速成长的发育阶段奠定了基础。

4~20 dph 为黄颡无齿鲶的后仔鱼期 (图版 III), 以卵黄囊被完全吸收作为进入该阶段的标志。后仔鱼期作为其生长发育中极为关键的一个时期, 卵黄囊储备已消耗殆尽, 消化道系统完善, 通过

主动捕食获得外部营养。同时各鳍条迅速延长, 使运动更为灵活敏捷, 追逐和捕食能力大幅提高。20 dph 后仔鱼进入稚鱼阶段, 以脊索的完全弯曲作为进入该阶段的标志。同时各鳍和消化系统发育完善, 身体大面积浸染色素, 不再透明, 具备一定的保护色, 这标志着其由依赖型向独立型生长的转变。



图版 III 黄颡无齿鲶 6、9、12、15 和 20 dph 图谱

6 日龄仔鱼, 2. 9 日龄仔鱼, 3. 12 日龄仔鱼, 4. 15 日龄仔鱼, 5. 20 日龄仔鱼。

Plate III Photos of 6, 9, 12 and 20 dph of *G. speciosus* larvae

6 dph larvae, 2. 9 dph larvae, 3. 12 dph larvae, 4. 15 dph larvae, 5. 20 dph larvae.

卵黄囊前仔鱼期 黄颡无齿鲶初孵仔鱼全长为 $(1\ 520 \pm 19)\ \mu\text{m}$, 卵黄囊呈长椭圆形, 长径为 $(981 \pm 12)\ \mu\text{m}$, 短径为 $(597 \pm 11)\ \mu\text{m}$, 位于仔鱼身体前下方, 油球位于卵黄囊的最前端 (图版 II-1~2)。此位置构造与其他鲶科鱼类有所不同, 其他鲶科鱼类初孵仔鱼的卵黄囊一般与头部齐平或不超过头部位置, 且油球位于卵黄囊中部或中前端。初孵仔鱼刚脱膜时, 身体弯曲, 躯体前半部分伏在卵黄囊上, 呈现弯曲弓背状, 腹部朝天。头部与躯干可见散点黑色素, 细长肠道紧贴在腹面, 眼囊与晶状体不着色 (图版 IV-1)。

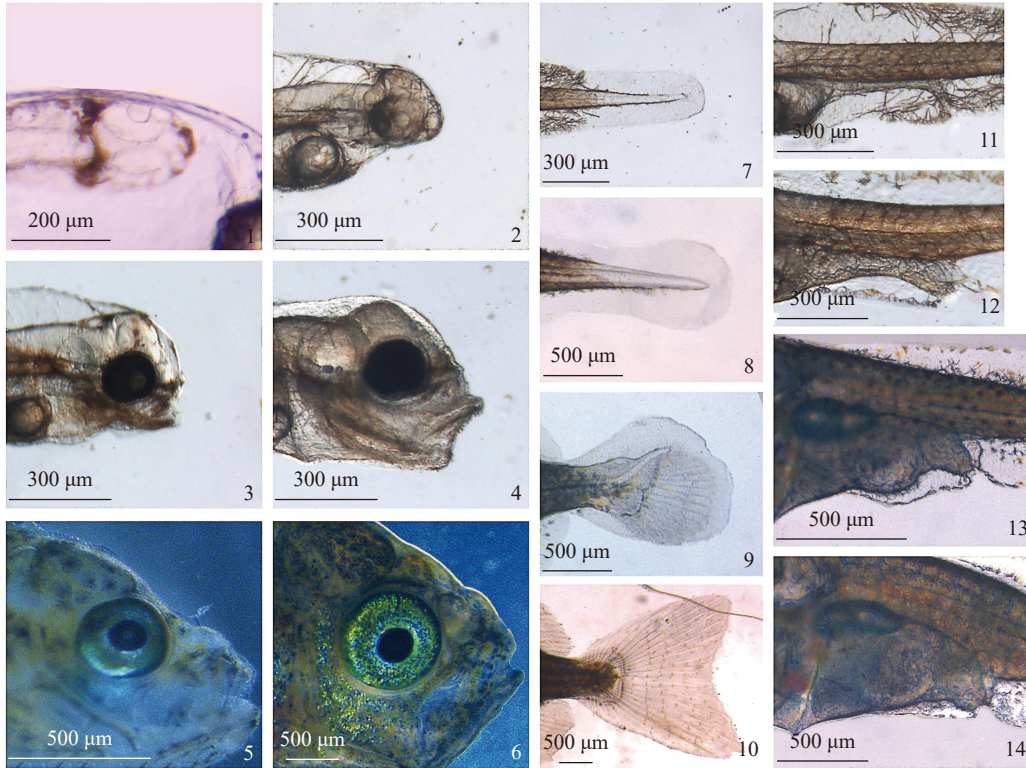
1 dph 仔鱼: 全长为 $(1\ 737 \pm 24)\ \mu\text{m}$, 卵黄囊体积缩小约 75%, 不再遮盖整个头部。仔鱼身体完全伸展, 尾部提供动力, 能在水中上下调整身姿, 但活动能力仍较虚弱。背鳍与臀鳍基部色素沉积增加, 形成色素带, 眼囊开始着色 (图版 IV-2、7), 躯干两侧颜色加深, 尾部近乎透明。细长肠

道尚未充气膨胀 (图版 II-3、图版 IV-11)。

2 dph 仔鱼: 全长为 $(1\ 981 \pm 41)\ \mu\text{m}$, 卵黄囊体积仅余 10% 左右。此时能够平衡悬浮并自主游动, 通过尾鳍摆动快速变换身体位置。各鳍面的发育加快, 尤其眼囊区黄色素沉淀, 不透明 (图版 IV-3)。消化道管腔扩大, 轮廓清晰可见 (图版 II-4)。

3 dph 仔鱼: 全长为 $(2\ 126 \pm 39)\ \mu\text{m}$, 原有巨大卵黄囊储备已完全被吸收消化。尾端残留少量散点状色素沉淀, 躯干区域颜色转为棕黄。活动行为仍较虚弱。眼部因黑色素高度富集而全黑 (图版 IV-4)。心脏血液循环明显。口器张开, 下颌支撑骨可见。消化道贯通畅通, 肠道表面出现褶皱 (图版 II-5、图版 IV-12)。

脊索弯曲后仔鱼期 **6 dph 仔鱼:** 全长为 $(2\ 796 \pm 53)\ \mu\text{m}$, 头腹内原有的油球储备已完全被吸收。鱼鳔形成, 与孵化初期相比, 其游泳和避障能力获得明显提高, 能够主动在水体中活动,



图版 IV 黄鰮无齿鲈各部位发育形态特征

1~6. 眼睛发育, 7~10. 尾鳍发育, 11~14. 肠道发育。

Plate IV Morphological characteristics of various parts of *G. speciosus* in development

1-6. eye development, 7-10. caudal fin development, 11-14. intestine development.

向光源方向趋化, 这揭示了视觉系统和平衡装置的逐步成熟。消化活动增多, 肠前段和胃后方之间形成了生理性的弯曲 (图版 IV-13), 鱼体躯干部分以及上下两侧体表可看到大块颜色深沉的色素细胞聚集区块, 而眼囊区域因黑色素高度富集而呈现出黑色。此时仔鱼整体体色以黄褐色为主 (图版 III-1)。

9 dph 仔鱼: 全长为 $(3\ 266 \pm 63)\ \mu\text{m}$, 与 6 日龄相比, 躯干部分黑色素细胞沉积大量增加, 在体表上形成了大块黑色色斑。虹膜环明显变宽, 内缘呈灰白色, 外缘呈黄绿色 (图版 IV-5)。背鳍位置向尾部后移, 尾鳍逐渐呈扇形, 尾鳍柄缩细, 锥形开始体现 (图版 III-2、图版 IV-8)。

12 dph 仔鱼: 全长为 $(3\ 849 \pm 65)\ \mu\text{m}$, 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, 肠道出现第 2 个生理弯曲 (图版 IV-14), 除头下半部和尾端外, 整个身体上遍布有分散的棕黄色色斑, 整体颜色为深褐色 (图版 III-3)。

15 dph 仔鱼: 全长为 $(5\ 016 \pm 88)\ \mu\text{m}$, 除了尾端外, 其他区域可见大量黑色素遍布鱼体表面,

体色以黄黑为主。虹膜环占眼球面积的 2/3, 均匀分布大量的颗粒状色素 (图版 IV-6)。尾柄部位愈加明确, 脊索弯曲 (图版 IV-9), 各鳍面逐步完善, 尾鳍、第一背鳍、第二背鳍及臀鳍出现 (图版 III-4)。

20 dph 仔鱼: 全长为 $(10\ 743 \pm 127)\ \mu\text{m}$, 除尾部和眼囊, 全身大量色素沉淀, 不透明, 脊索末端弯曲完成。腹鳍出现, 第一背鳍鳍条 6 根; 第二背鳍鳍条 18 根; 臀鳍鳍条 24 根; 尾鳍扇形面积增大, 尾鳍鳍条 34 根, 尾叉出现 (图版 III-5、图版 IV-10)。

3 讨论

3.1 黄鰮无齿鲈的胚胎发育特征

鱼类胚胎发育可大致分为 8 个阶段, 包括受精卵期、胚盘期、卵裂期、囊胚期、原肠胚期、神经胚期、器官形成期和孵化出膜期。但不同鱼种在各发育阶段的命名和过程描述上存在一定差异。如毕加索小丑鱼 (*Amphiprion percula*)、云南光唇鱼 (*Acrossocheilus yunnanensis*) 和美洲鲈 (*Alosa sapidissima*) 的胚胎发育较为典型, 可明确区分出

8个发育阶段^[10-12]。而锦鲤 (*Cyprinus carp*)、棘头梅童鱼 (*Collichthys lucidus*)、金钱鱼 (*Scatophagus argus*)、翘嘴鲌 (*Culter alburnus*) 等^[13-17] 则缺失了胚盘期的描述, 这可能是由于胚盘期时间较短导致的。另外, 云南盘鮃 (*Discogobio yunnanensis*) 和台湾泥鳅 (*Paramisgurnus dabryanus*) 亦未详细描述胚盘期和孵化期的特点, 仅描述了6个发育阶段^[18-19]。此外, 以斑马鱼 (*Danio rerio*) 为例, 其发育阶段的命名存在个别差异, 如增加了体节期和眼囊期等^[20]。这些差异一方面反映了鱼类胚胎发育过程中存在一定的物种特异性, 但总体发育规律是高度一致的。研究发现, 发育时间长短更多的与鱼卵的黏性程度相关, 黏性卵发育时间较长, 非黏性卵较短, 这一点也不完全对应于淡水鱼和海水鱼的区分^[10, 21-28]。因此, 尽管存在细微差异, 鱼类胚胎发育的整体发育顺序和过程是高度同质的。后续研究需关注这些差异形成的内在机制, 以期对不同物种发育规律有更深入理解。

黄鰮无齿鲈为广盐性鱼类, 其受精卵仅能在海水条件下正常发育。通过室内人工繁育观察发现, 黄鰮无齿鲈胚胎发育可分为8个阶段: 受精卵期、胚盘期、卵裂期、囊胚期、原肠胚期、神经胚期、器官分化形成期和出膜期。这一发育模式与其他硬骨海水鱼类如军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)^[29]、黄斑篮子鱼 (*Siganus oramin*)^[30]、豹纹鳃棘鲈 (*Plectropomus leopardus*)^[31] 等高度相似。值得一提的是, 尽管上述研究均对胚胎发育中胚盘隆起阶段进行了记录与描述, 但其对该阶段的命名仍存在差异, 如军曹鱼研究中, 其将受精卵发育至胚盘隆起阶段合称为合子期, 而在对豹纹鳃棘鲈的研究中, 则将胚盘隆起阶段归属于卵裂期等。这可能是由于鱼类胚胎发育胚盘期时间较短引起的命名差异, 实际上, 鱼类从受精卵期发

育至胚盘形成阶段经历了细胞质及细胞核从植物极流向动物极并最终形成盘状胚盘的过程, 是鱼类胚胎发育中首个细胞的形成过程。因此, 本研究将胚盘期作为黄鰮无齿鲈发育过程中独立的一个时期进行描述。黄鰮无齿鲈胚胎发育所需时间为18.5 h, 其发育模式及周期均类似于豹纹鳃棘鲈的胚胎发育, 属于典型的浮性卵类型。黄鰮无齿鲈胚胎出膜后仍无法直接摄食, 约需72 h才能开始获取外源性营养。同时出膜个体的游泳能力较弱, 通常漂浮于水体上层。待鳔完全形成 (约96 h) 后才能自由控制体位。

3.2 胚胎发育的速率及积温

鱼卵的大小对其发育进程有重要影响, 一般以卵径表示其大小。殷名称^[32] 的研究表明, 鱼卵大小对其生长发育有重要生态意义, 总体来看, 卵径越大, 发育速率越慢。以黄鰮无齿鲈为例, 其卵径较小, 所需有效积温为470.8~503.8 °C·h, 而在相近条件下统计了2种鲷科鱼类、4种石斑鱼类, 包括卵形鲳鲹^[30]、高体鲷 (*Seriola dumerili*)^[33-34]、棕点石斑鱼 (*Epinephelus fuscoguttatus*)^[35]、斜带石斑鱼 (*E. coioides*)^[36]、鞍带石斑鱼 (*E. lanceolatus*)^[37] 及豹纹鳃棘鲈的卵径、发育温度、胚胎发育所需时间及有效积温 (表2)。可见黄鰮无齿鲈卵径较卵形鲳鲹、高体鲷更小, 其胚胎发育速率明显更快, 在相近的温度条件下 (22.0~26.0 °C), 高体鲷胚胎经35 h 10 min后孵化出膜^[33]。而卵形鲳鲹的胚胎发育所需时间更是达到41 h 27 min^[38]。而与礁栖性的石斑鱼属相比, 在卵径、温度相近的条件下, 斜带石斑鱼孵化时间要比黄鰮无齿鲈更长, 但其他鲷科鱼类如卵形鲳鲹、高体鲷的胚胎发育所需时间则远远高于石斑鱼属鱼类, 这可能与鲷科 (*Serranidae*) 鱼类和鲹科鱼类的种属特异性有关。

表2 7种海水鱼类受精卵的直径、胚胎发育过程的温度与发育所需时间

Tab. 2 Fertilized egg diameter, temperature and time needed of embryonic development in seven fish species

种类 species	受精卵直径/mm diameter of fertilized egg	发育温度/°C development temperature	胚胎发育所需时间 time for embryonic development	有效积温/(°C·h) effective accumulated temperature
黄鰮无齿鲈 <i>G. speciosus</i>	0.76±0.01	23.5~26.5	18 h 30 min	470.8~503.8
卵形鲳鲹 <i>T. ovatus</i>	0.97	18.0~21.0	41 h 27 min	747.0~871.5
高体鲷 <i>S. dumerili</i>	1.06	23.0~25.0	35 h 10 min	808.9~879.3
豹纹鳃棘鲈 <i>P. leopardus</i>	0.82±0.02	30.0~30.1	16 h 32 min	510.0~511.7
斜带石斑鱼 <i>E. coioides</i>	0.78±0.16	25.0~28.0	25 h 40 min	625.0~700.0
棕点石斑鱼 <i>E. fuscoguttatus</i>	0.82±0.02	27.0~28.0	21 h 16 min	594.0~616.0
鞍带石斑鱼 <i>E. lanceolatus</i>	0.85	27.0~28.0	25 h 40 min	702.0~728.0

黄鹮无齿鲈与4种鲈科鱼类相比较, 其前中期生长速率较快, 黄鹮无齿鲈卵径小, 使得卵裂期、囊胚期、原肠期以及神经胚期等时期的发育时间相对缩短, 从而整个胚胎发育的速率相对加快, 各鲈科鱼类神经胚在胚胎发育过程中形成的时间见表3。

表3 5种鲈科鱼类的神经胚形成时间

Tab. 3 Formation time of neurula of five species in Carangidae

种类 species	神经胚形成时间/h formation of neurula
黄鹮无齿鲈 <i>G. speciosus</i>	7
卵形鲳鲈 <i>T. ovatus</i>	25
高体鲈 <i>S. dumerili</i>	15
五条鲈 <i>S. quinquerediata</i>	19
黄尾鲈 <i>S. lalandi</i>	22

3.3 黄鹮无齿鲈的仔鱼生长特征

在传统的鱼类早期生长阶段理论中, 划分不同发育阶段的方式尚未统一, 其划分依据包括卵黄囊的消耗殆尽、由内源性营养转向外源性营养输入、脊索弯曲等。本研究依据卵黄囊的消失, 将仔鱼期划分为前仔鱼期(0~3 dph)和后仔鱼期(4~20 dph), 并根据脊索的完全弯曲、各鳍条的出现判断后仔鱼期发育是否结束。黄鹮无齿鲈仔鱼初孵时平均全长(1520±19) μm, 其卵黄囊3 dph即被消耗殆尽, 在相近条件下, 较同为鲈科鱼类的高体鲈发育时间明显缩短^[33], 黄鹮无齿鲈仔鱼

发育进入后仔鱼期; 同属内源性营养供给的油球于6 dph后被仔鱼完全吸收。15 dph, 脊索开始向上弯曲, 各鳍逐渐成型。20 dph, 脊索完全弯曲, 各鳍出现且鳍条完备, 后仔鱼期发育结束。

本研究就相近条件下, 对比了5种鲈科鱼类^[33-34, 39-41]的仔鱼阶段发育特征(表4), 发现在4种鲈科鱼类中, 黄鹮无齿鲈初孵仔鱼体型最小, 但其仔鱼期的发育速率较其他同为鲈科的鱼类快, 20 dph时即完成了仔鱼期的发育, 这可能与其独特的摄食方式有关, 有研究者提出观点, 初孵仔鱼的体型越大, 其口裂也越大, 其开口摄入饵料的时间也越早。黄鹮无齿鲈吻部长而宽大, 没有咽齿, 仅依赖可伸缩的吻部吸取食物进行摄食, 因此尽管黄鹮无齿鲈初孵仔鱼体型较小, 但其在开口摄食阶段仍然可获得相对更多的养分, 促进鱼体各部位的分化发育。黄鹮无齿鲈鱼苗的早期生长呈现出生长速率缓慢的前期和快速增长的后期这种典型的“异速生长”模式, 在0~9 dph的平均生长速率仅为194 μm/d, 但在10~20 dph的平均生长速率达到680 μm/d。这一发育规律与某些其他鲈科鱼类的观察结果一致^[33]。这种两段式生长策略被认为是鱼类在进化过程中适应自然环境的重要方式之一, 可提高脆弱苗种在早期关键阶段的适应性和存活率。9 dph前黄鹮无齿鲈仔鱼体表色素以点状和散生的枝状黄褐黑色素为主, 但随后体色迅速加深, 10 dph起以大量黑黄色块为主要特征, 颜色分布趋于均匀, 整体呈现黑黄色调。这提示了体表色素沉积量和模式均与个体生长存在高度协调性。

表4 5种鲈科鱼类仔鱼阶段发育特征

Tab. 4 Main characteristics of larvae stage of five species in Carangidae

种类 species	发育温度/°C development temperature	初孵仔鱼全长/mm newly hatched larvae length	卵黄囊消失/d yolk-sac depletion	油球耗尽/d oil-ball depletion	鳍条完善/d fin ray completion
黄鹮无齿鲈 <i>G. speciosus</i>	25.4~25.8	1.520±0.019	3	6	20
卵形鲳鲈 <i>T. ovatus</i>	22.6~26.8	2.025±0.367	4	6	18
五条鲈 <i>S. quinquerediata</i>	22.0~24.0	4.03±0.27	6	10	25
高体鲈 <i>S. dumerili</i>	23.0~25.0	2.84~3.04	4	4	27
黄尾鲈 <i>S. lalandi</i>	23.0~25.0	3.62±0.16	4	9	25

本研究发现黄鹮无齿鲈与卵形鲳鲈的胚胎及胚后发育特征比较接近。卵形鲳鲈是我国广东、海南海洋牧场的主养品种, 黄鹮无齿鲈将来的开发和产业发展, 可以借鉴卵形鲳鲈成熟产业链关键环节的技术和管理。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] Nelson J S, Grande T C, Wilson M V H. Fishes of the world[M]. 4th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2016: 380-387.
- [2] 郭微微, 邱军强, 杨先乐, 等. 黄金鲈的一种细菌性疾病初步研究 [C]//中国水产学会. 2013年中国水产学会学术年会论文摘要集. 合肥: 中国水产学会, 2013: 1.

- Guo W W, Qiu J Q, Yang X L, *et al.* Preliminary study of a bacterial disease of pilotfish (*Gnathanodon speciosus*) [C]// China Society of Fisheries. Proceedings of 2013 Chinese Fisheries Society Academic Annual Meeting Paper Abstracts Collection. Hefei: China Society of Fisheries, 2013: 1 (in Chinese).
- [3] Alit A A. Growth and survival rate of golden trevally, *Gnathannodon speciosus* forsskal with different length size[J]. Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis, 2013, 5(2): 401-408.
- [4] Broach J S, Ohs C L, Palau A, *et al.* Induced spawning and larval culture of golden trevally[J]. *North American Journal of Aquaculture*, 2015, 77(4): 532-538.
- [5] Dharma T S. The mass seed production of golden trevally fish (*Gnathanodon Speciosus* Forsskal) with different feed[J]. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, 2015, 6(2): 383-390.
- [6] Feng F, Lo L C, Lin G, *et al.* Isolation and characterization of microsatellites in a marine food fish species, golden trevally *Gnathanodon speciosus*[J]. *Molecular Ecology Notes*, 2005, 5(4): 760-761.
- [7] Jiang F Y, Yang N, Huang H. Complete mitochondrial DNA sequence of golden trevally *Gnathanodon speciosus* (Forsskål, 1775) and the phylogenetic analysis of Carangidae[J]. *Mitochondrial DNA Part B*, 2022, 7(7): 1321-1322.
- [8] Koob E. The quest for fisheries sustainability: age, growth and maturity of golden trevally (*Gnathanodon speciosus*) in Australia[J]. *Inquiry Journal*, 2011, 10.
- [9] Ngo V M, Dinh K V, Chau B L, *et al.* Tank colours do not change the effects of extreme temperatures on the productive parameters, but skeletal deformities of golden trevally[J]. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 2023, 26(8): 461-469.
- [10] 高小强, 刘志峰, 黄滨, 等. 美洲鲈 (*Alosa sapidissima*) 胚胎发育形态学及组织切片观察 [J]. *渔业科学进展*, 2017, 38(5): 9-18.
- Gao X Q, Liu Z F, Huang B, *et al.* Morphological and histological observation of the embryo of american shad (*Alosa sapidissima*)[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(5): 9-18 (in Chinese).
- [11] 何丽斌, 朱志煌, 马敏宁, 等. 毕加索小丑鱼胚胎发育的形态学观察 [J]. *应用海洋学学报*, 2017, 36(4): 545-549.
- He L B, Zhu Z H, Ma M N, *et al.* Morphological observation on embryonic development of Picasso clownfish[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2017, 36(4): 545-549 (in Chinese).
- [12] 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 Z X, Chen J, Shi Y L, *et al.* Observation on artificial reproduction and embryonic development of *Acrossocheilus yunnanensis*[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2017, 44(2): 69-72 (in Chinese).
- [13] 董学飒, 孟庆磊, 安丽, 等. 黄河翘嘴鲌胚胎发育观察 [J]. *长江大学学报 (自然科学版)*, 2017, 14(6): 36-39.
- Dong X S, Meng Q L, An L, *et al.* Observation on embryonic development of the topmouth culter (*Culter alburnus basilewsky*) of Yellow River[J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 2017, 14(6): 36-39 (in Chinese).
- [14] 李梦荣, 庞小磊, 王良炎, 等. 白色锦鲤近交子一代胚胎发育观察 [J]. *河南水产*, 2017(3): 18-20.
- Li M R, Pang X L, Wang L Y, *et al.* Observation of embryonic development of inbreeding *Cyprinus* carp Koi F₁ progeny[J]. *Henan Fisheries*, 2017(3): 18-20 (in Chinese).
- [15] 李梦荣, 庞小磊, 王良炎, 等. 红色黄河鲤胚胎发育观察 [J]. *河南水产*, 2017(5): 27-29.
- Li M R, Pang X L, Wang L Y, *et al.* Observation of embryonic development of red *Cyprinus carpio*[J]. *Henan Fisheries*, 2017(5): 27-29 (in Chinese).
- [16] 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 J G, Song W, Jiang K J, *et al.* Observation of embryonic development and larval morphology of *Collichthys lucidus*[J]. *Marine Fisheries*, 2018, 40(6): 691-702 (in Chinese).
- [17] 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 J B, Shi Y H, Xie Y D, *et al.* Embryonic and postembryonic development of *Scatophagus argus* in pond-culture[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2016, 43(5): 716-721 (in Chinese).
- [18] 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 Y M, Peng K, Yan Y S, *et al.* Observation on

- embryonic development of *Paramisgurnus dabryanus*[J]. Jiangxi Fishery Science and Technology, 2016(5): 6-7 (in Chinese).
- [19] 周燕, 蒲德成, 邓星星, 等. 大宁河云南盘鮠的胚胎发育初步研究 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2018(15): 192-195,245.
- Zhou Y, Pu D C, Deng X X, *et al.* Preliminary study on embryonic development of *Discogobio yunnanensis* in Daning River[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2018(15): 192-195,245(in Chinese).
- [20] 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 Y, Hu R Q, Ran H Y, *et al.* Analyses of proteomic profile at the embryonic developmental sphere stage of *Danio rerio* embryos[J]. Marine Fisheries, 2019, 41(1): 53-64 (in Chinese).
- [21] 韩耀全, 何安尤, 蓝家湖, 等. 乌原鲤的胚胎发育特征 [J]. 水产科学, 2018, 37(3): 368-373.
- Han Y Q, He A Y, Lan J H, *et al.* Embryonic development of Chinese ink carp[J]. Fisheries Science, 2018, 37(3): 368-373 (in Chinese).
- [22] 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).
- [23] 雷春云, 马建颜, 薛晨江. 脂孟加拉鲮胚胎与仔鱼发育观察试验 [J]. 现代农业科技, 2017(5): 217-218,223.
- Lei C Y, Ma J Y, Xue C J. Observation on the development of *Bangana rendahli* embryo and larva[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2017(5): 217-218, 223 (in Chinese).
- [24] 牛建功, 张涛, 刘鸿, 等. 新疆裸重唇鱼胚胎及早期仔鱼发育的形态观察 [J]. 水产学杂志, 2019, 32(1): 1-6.
- Niu J G, Zhang T, Liu H, *et al.* Morphological observation of embryonic and early larval development of *Gymnodiptychus dybowskii*[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2019, 32(1): 1-6 (in Chinese).
- [25] 潘瑛子, 李宝海, 格桑加措, 等. 西藏黑斑原鲌胚胎发育观察 [J]. 中国水产科学, 2018, 25(6): 1205-1215.
- Pan Y Z, Li B H, Kelsang G, *et al.* Embryonic development of *Glyptosternum maculatum* in Tibet[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(6): 1205-1215 (in Chinese).
- [26] 孙朝徽, 姜秀凤, 张红涛, 等. 星点东方鲀胚胎发育的观察 [J]. 海洋渔业, 2019, 41(1): 65-72.
- Sun Z H, Jiang X F, Zhang H T, *et al.* Observation on embryonic development of *Takifugu niphobles*[J]. Marine Fisheries, 2019, 41(1): 65-72 (in Chinese).
- [27] 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 C Q, Zeng R K, Deng L J, *et al.* Observation on artificial oxytocin and embryonic development of *Schizothorax chongi* [J]. Modern Agriculture, 2018(8): 78 (in Chinese).
- [28] 薛绍伟, 马建颜, 薛晨江. 中华鲱鲌胚胎发育观察 [J]. 现代农业科技, 2018(21): 223, 226.
- Xue S W, Ma J Y, Xue C J. Observation on embryogenesis in oosperm of *Clupisoma sinense*[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2018(21): 223, 226 (in Chinese).
- [29] 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).
- [30] 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).
- [31] 王永波, 陈国华, 林彬, 等. 豹纹鳃棘鲈胚胎发育的初步观察 [J]. 海洋科学, 2009, 33(3): 21-26.
- Wang Y B, Chen G H, Lin B, *et al.* Artificially induced spawning and embryonic development observation of the *Plectropomus leopardus* Lacépède[J]. Marine Sciences, 2009, 33(3): 21-26 (in Chinese).
- [32] 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).
- [33] 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).
- [34] 升間主, 兼松正, 照屋和. カンパチの卵発生と仔稚魚の形態 [J]. 魚類学雑誌, 1990, 37(2): 164-169
- Shukei Masuma, Masaei Kanematu, Kazuhisa Teruya. 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).
- [35] 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).
- [36] 周立斌, 邓妹芳, 张海发, 等. 斜带石斑鱼亲鱼培育和胚胎发育的研究 [J]. 惠州学院学报 (自然科学版), 2006, 26(6): 36-41.
- Zhou L B, Deng M F, Zhang H F, *et al.* Study on brood stock culture and *Embryonic* development of *Epinephelus coioides*[J]. Journal of Huizhou University (Natural Science Edition), 2006, 26(6): 36-41 (in Chinese).
- [37] 周玲, 翁文明, 李金亮, 等. 鞍带石斑鱼胚胎发育及仔鱼形态发育、饵料转变的观察研究 [J]. 中国农学通报, 2010, 26(1): 293-302.
- Zhou L, Weng W M, Li J L, *et al.* Studies on embryonic development, morphological development and feed changeover of *Epinephelus lanceolatus* larva[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(1): 293-302 (in Chinese).
- [38] 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): 786-788.
- Ou Y J, Li J E. Early embryonic development in *Trachinotus ovatus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(6): 786-788 (in Chinese).
- [39] 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.
- [40] 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.* The 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).
- [41] 何永亮, 区又君, 李加儿. 卵形鲳鲹早期发育的研究 [J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(4): 428-434.
- He Y L, Ou Y J, Li J E. Early development of *Trachinotus ovatus*[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(4): 428-434 (in Chinese).

Characteristics of the embryonic and post-embryonic development of golden trevally (*Gnathannodon speciosus*)

HUANG Weiping¹, GAN Songyong², WANG Qing³, YANG Shaosen², HUANG Jinxiong²,
ZHAO Yanfei², ZOU Cuiyun¹, HUANG Peiwei², ZHANG Xiaoxiao¹,
CHEN Yongnan¹, QIN Zhendong¹, WU Jinhui^{2*}, LIN Li^{1*}

- (1. Guangdong Provincial Water Environment and Aquatic Products Security Engineering Technology Research Center, Guangzhou Key Laboratory of Aquatic Animal Diseases and Waterfowl Breeding, College of Animal Sciences and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510222, China;
2. Guangdong Agricultural Technology Extension Center, Guangzhou 510520, China;
3. College of Marine Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Golden trevally (*Gnathanodon speciosus*), a marine fish that combines ornamental value with edibility, is a suitable species for marine cage culture. At present, there are few studies on *G. speciosus* in China, while the studies abroad mainly focus on its adaptability to environmental factors, growth performance, feeding and nutrient requirements, as well as microsatellite sequencing. The studies on its reproductive characteristics and embryonic development is still lacking. Therefore, in this paper, the fertilized eggs of *G. speciosus* were obtained by artificial oxytocin and observed, in order to elucidate the characteristics of its embryonic and post-embryonic development. The hatchery conditions of the fertilized eggs were as follows : salinity 30.26 ± 0.67 , temperature 24.72 ± 0.32 °C, pH value 7.46 ± 0.12 , dissolved oxygen 5.13 ± 0.33 mg/L and light intensity 3 000 lx. The results showed that the zygotes were transparent floating spherical eggs with an average diameter of 764.29 ± 14.74 μm and a single oil bulb with an average diameter of 166.32 ± 18.28 μm. Embryonic development included 8 stages i.e. fertilized egg stage, blastodisc stage, cleavage stage, blastula stage, gastrula stage, neurula stage, organo-forming stage and hatching stage, subsequently subdivided into 24 stages. The fertilized eggs were hatched out at 18 h 30 min after fertilization followed by the larval stage. According to the absorption of yolk sac, larval stage was further divided into pre-larval stage (0-3 days, not complete absorption of yolk sac) and post-larval stage (4-20 days, complete absorption of yolk sac). The total length of the hatched-out larvae was $1\ 520\pm 19$ μm. The yolk sac has been completely absorbed at 3 days post hatchery (DPH), and the oil globule disappeared at 6 DPH with the appearance of swimming bladder. At 20 DPH, the posterior part of spinal column was curved which was the mark of juvenile stage, meanwhile, the fins and the digestive system were fully developed with a great amount of pigments deposited on the surface of the body, which were the symbols for its ability to live independently. The larval development belonged to an allometric model with faster speed at the early stage and slower speed at the late stage. The development pattern of *G. speciosus* is in line with typical bony fish, and the development time was shorter than those of other species of Carangidae. The embryonic and post-embryonic development characteristics of *G. speciosus* were close to those in *Trachinotus ovatus*, which was the main species of marine ranching in Guangdong province and Hainan province in China. In the process of exploitation and industry development of *G. speciosus*, we could benefit a lot from *T. ovatus*. This study will shed a new light on the breeding of *G. speciosus* in the future.

Key words: *Gnathanodon speciosus*; 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)