

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20241208001

http://www.yykxjz.cn/

丁棠棠, 田永胜, 白东清, 孙芳芳, 马文辉, 庞尊方, 刘阳. 赤石斑鱼胚胎、胚后发育及仔稚幼鱼形态发育变化观察. 渔业科学进展, 2025, 46(6): 156–166

DING T T, TIAN Y S, BAI D Q, SUN F F, MA W H, PANG Z F, LIU Y. Examination of the embryonic and post-embryonic development and morphological changes of larvae, juveniles, and young fish of *Epinephelus fasciatus*. Progress in Fishery Sciences, 2025, 46(6): 156–166

赤石斑鱼胚胎、胚后发育及仔稚幼鱼 形态发育变化观察*

丁棠棠^{1,2,3} 田永胜^{2,3} 白东清¹ 孙芳芳⁴ 马文辉⁴ 庞尊方⁴ 刘 阳^{2,3①}

(1. 天津农学院水产学院 天津 300384; 2. 海水养殖生物育种与可持续产出全国重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 山东 青岛 266071; 3. 中国水产科学研究院海南创新研究院 海南 三亚 572000; 4. 莱州明波水产有限公司 山东 莱州 261400)

摘要 本研究利用收集的野生亲本, 首次在我国北方工厂化条件下实现赤石斑鱼(*Epinephelus fasciatus*)人工繁育, 并对其胚胎和胚后发育、幼鱼培育开展了系统研究。在水温(23.4 ± 0.8) °C 和盐度 28~30 条件下, 受精卵经 31 h 12 min 完成胚胎发育。胚后发育时序分为前期仔鱼(0~3 days post-hatching, dph)、后期仔鱼(4~29 dph)、稚鱼期(30~54 dph)和幼鱼期(55 dph 以后)。饵料投喂: 3~9 dph 投喂 S 型轮虫; 9~20 dph 投喂 L 型轮虫; 20~30 dph 投喂卤虫(*Artemia salina*)幼体; 培育至 31 dph 时, 开始由动物性饵料转为配合饲料。形态发育: 9 dph 仔鱼背鳍和腹鳍原基开始出现, “三叉戟”在 11~30 d 连续伸展至最长, 30~55 d 连续收缩至最短; 稚鱼 30 dph 时开始长出鳞片, 黑色素在头部和背鳍基部开始堆积; 35 dph 稚鱼头部可见淡粉色体色, 随后背鳍基部和侧线处鳞片上的黑色素扩散开来; 70 dph 的幼鱼躯干部已出现条带, 背鳍鳍褶尖端出现黑色斑块, 连成一条黑边, 与成鱼形态一致。与早期发育阶段相比, 转饵后的鱼苗在生长、表型、鳞片以及体色方面的发育速度均出现快速增长, 说明其在转饵过程中对配合饲料的接受度较高。通过开展胚胎发育及仔稚幼鱼的形态发育研究, 为赤石斑鱼工厂化繁育及规模化养殖提供了科学依据。

关键词 赤石斑鱼; 胚胎发育; 仔稚幼鱼; 形态发育

中图分类号 S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2025)06-0156-11

赤石斑鱼(*Epinephelus fasciatus*), 又称黑边石斑鱼, 隶属于鲈形目(Perciformes)、石斑鱼亚科(Epinephelinae)、石斑鱼属(*Epinephelus*), 其肉质鲜美、营养丰富, 是一种名贵的海水养殖鱼类, 鱼苗(5~8 cm)

出厂价格达 40 元/尾, 且供不应求。赤石斑鱼主要分布于印度洋的非洲东岸海域至太平洋的中部海域, 在中国台湾和南海海域亦有分布(陈国宝等, 2005)。2012 年在地中海海域首次捕获了 1 尾赤石斑鱼

* 海南省重点研发计划(ZDYF2025SXLH002)、山东省重点研发计划(2022LZGC016)、青岛市科技惠民示范专项(24-1-8-xdny-3-nsh)、广东省现代化海洋牧场适养品种核心技术攻关项目(2024-MRB-00-001)、山东省自然科学基金(ZR2025QC146)、青岛市自然科学基金(23-2-1-53-zyyd-jch)、“十四五”国家重点研发计划(2022YFD2400502)、国家现代农业产业技术体系(CARS-47-G31)、中央公益性科研院所基本科研业务费(20603022025002; 20603022024013)和中国水产科学研究院科研业务费(2025CG02; 2020TD19)共同资助。丁棠棠, Email: dingtangtang0928@163.com

① 通信作者: 刘 阳, 助理研究员, Email: yangliu@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2024-12-08, 收修改稿日期: 2025-01-06

(Bariche *et al.*, 2012)。2010年11月至2011年5月在阿曼海系统跟踪了赤石斑鱼鱼群的长期活动(Jawad *et al.*, 2021)。赤石斑鱼为岩礁区及珊瑚礁区常见鱼类, 具有集群习性, 通常鱼群由10~15尾个体组成, 在4~160 m水深范围内活动。赤石斑鱼属于中小型鱼类, 成鱼体长最大可达50 cm (徐文刚等, 2020a)。赤石斑鱼体色呈橘红色, 头部上半部与背部为红褐色, 体侧具5~6条宽横带, 亦作为观赏养殖鱼类。

目前, 国内对赤石斑鱼生物学研究较少, 主要涉及核型和性腺发育等研究。核型方面, 郑莲等(2004)对4种石斑鱼的亲缘关系进行RAPD分析, 发现赤石斑鱼与鲑点石斑鱼(*E. trimaculatus*)的亲缘关系最近, 而与蜂巢石斑鱼(*E. merra*)最远。后对4种石斑鱼核型进行比较分析, 将赤石斑鱼划分为原始类群(郑莲等, 2005), 此结论与先前结果一致(李锡强等, 1994)。性腺发育方面, 主要研究了赤石斑鱼的性腺发育、性逆转年龄、促排卵药物以及血清性激素的周年变化(徐文刚等, 2020a、2020b; 2021a、2021b), 发现其性腺在120日龄时完成分化; 赤石斑鱼初次性成熟年龄约在3龄, 先雌后雄, 性逆转在7~12龄, 其性腺在每年7~8月, 经200 IU/kg的外源HCG激素诱导, 可发育成熟并产卵。在自然产卵的情况下, 赤石斑鱼总孵化时长和每个发育阶段所需时长均随孵化水温升高而呈指数下降(Kawabe *et al.*, 2009)。赤石斑鱼精子单株横截面的微观结构是典型的“9+2”的轴索结构, 不仅可作为系统分类学指标, 而且可用于鱼类精子细胞的结构和功能研究(Kim *et al.*, 2012)。另外, 对促进赤石斑鱼性成熟和排卵的KiSS-GPR54系统开展的分子机制研究结果表明, 性成熟期的 *kiss1* 和 *kiss2* 基因表达量明显高于未成熟期, 其编码的多肽 kisspeptins 通过作用于受体 GPR54 直接刺激 GnRH 神经元, 从而促进性成熟和排卵(Kang *et al.*, 2012)。

目前, 关于赤石斑鱼在我国本土工厂化条件下的人工繁育、胚胎和胚后发育、饵料转化过程研究还未见报道。本研究以工厂化人工繁育的赤石斑鱼受精卵及仔稚幼鱼为研究对象, 对其胚胎发育及仔稚幼鱼的变态生长、饵料转变进行系统观察记录, 以期赤石斑鱼工厂化人工繁育和养殖及高值化利用提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 受精卵的获取与孵化 本实验的亲鱼培育及受精孵化过程均在山东省莱州明波水产有限公司完成。卵子采集: 挑选性腺发育至IV期的赤石斑鱼雌

鱼进行催产, 所用催产激素为 HCG 与 LHRH-A3 的混合物, 使用量分别为 350 IU/kg 和 20 μ g/kg 鱼体重。精子采集: 在采精前 2 天, 对成熟雄鱼注射剂量减半的混合物, 促进雄鱼产精。受精卵获取中, 先将成熟卵子通过挤压腹部法收集到干燥塑料盆中, 同时采集镜检活力高的精子进行人工授精。按照精子与卵子 1:500 的体积比进行干法授精, 搅拌均匀后静置 5 min, 加入卵子同等体积的海水进行洗卵, 静置 5 min 后收集上浮卵于孵化桶中, 在水温(23.4 $\pm$ 0.8) $^{\circ}$ C、溶解氧大于 6 mg/L 和盐度 28~30 的海水中孵化, 到胚孔封闭期结束后用纱布收集, 随后立即转移到培育池, 布卵量为 2~3 mL/m³。

1.1.2 仔稚幼鱼的工厂化培育 仔鱼孵出后的第3天开始投喂 S 级轮虫; 9~20 days post-hatching (dph) 投喂 L 级轮虫; 20~30 dph 投喂卤虫(*Artemia salina*)幼体; 31 dph 开始投喂配合饲料。08:00 和 16:00 投喂, 培育池规格为 6 m $\times$ 8 m $\times$ 2.5 m, 水流交换量为 8 m³/h, 溶氧在 6 mg/L 以上, 盐度为 28~30, 培育温度为 25~28 $^{\circ}$ C。

1.2 取样与观察

从受精卵开始, 定期从孵化桶中取 10 粒上浮卵, 利用光学显微镜(Nikon E200)对胚胎发育过程进行拍照观察, 记录各发育时期的时间及发育特征, 发育时期的时间点以 2/3 的胚胎发育到此时期来确定。从初孵仔鱼开始, 定期从培育池中随机选取生长状态良好的鱼苗, 利用显微镜(Nikon E200)、解剖镜(Olympus)及 Image View 软件对样品进行拍照及测量, 记录仔稚幼鱼的发育时期及特征。期间, 0~10 dph (孵化后的发育天数)每隔 1 d 取样, 10~20 dph 每隔 2 d 取样, 20~40 dph 每隔 5 d 取样。每次随机选取 3~5 尾状态良好的好鱼苗测量全长, 记录生长状况。

1.3 数据处理

利用 SPSS 27.0 对生长数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA), 采用 LSD 和 Duncan 检验比较各组间的显著性差异, 利用 Origin Pro 2022 软件绘图。

2 结果

2.1 胚胎发育

受精卵的卵径为(0.85 $\pm$ 0.03) mm, 在水温(23.4 $\pm$ 0.8) $^{\circ}$ C、盐度 28~30 的海水中经过 31 h 12 min 完成整个胚胎发育过程。胚胎发育可分为受精卵、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。各阶段的发育时间及发育特征见表 1。

表 1 胚胎发育过程时序
Tab.1 Embryonic development schedule

发育阶段 Developmental stage	胚胎发育时期 Developmental stage of embryonic	主要发育特征 Main developmental characteristics	受精后时间 Time post fertilization
受精卵 Fertilized egg	受精卵	圆球形，具有一个油球	0
卵裂期 Cleavage period	胎盘形成期	胚盘形成，侧面观可见胚盘如帽状隆起	23 min
	2 细胞期	第 1 次卵裂，形成 2 个细胞	41 min
	4 细胞期	第 2 次卵裂，形成 4 个细胞	1 h
	8 细胞期	第 3 次卵裂，形成 8 个细胞	1 h 23 min
	16 细胞期	第 4 次卵裂，形成 16 个细胞	2 h 29 min
	32 细胞期	第 5 次卵裂，形成 32 个细胞	2 h 42 min
	64 细胞期	第 6 次卵裂，形成 64 个细胞，分裂面较混乱	3 h 05 min
	多细胞期	持续分裂，细胞变小，数量增多	3 h 40 min
	桑葚期	细胞多层堆积，外观形似桑葚	4 h 08 min
	高囊胚	囊胚高而集中，侧面观呈高帽状	4 h 45 min
囊胚期 Blastula period	低囊胚	囊胚变低，细胞准备向植物极下包	6 h 15 min
	原肠初期	胚层下包卵黄 1/3	7 h 47 min
	原肠中期	胚层下包至卵黄 1/2	9 h 45 min
原肠期 Gastrula period	原肠末期	胚层下包至卵黄 3/4，胚盾变细长，胚体正在形成	11 h 11 min
	神经胚期 Neurula period	胚体形成期	12 h
	胚孔封闭期	胚体形成，轮廓明显	12 h 35 min
器官形成期 Organogenesis	视囊形成期	胚层下包，胚孔完全封闭	12 h 02 min
	肌节形成期	胚体头部出现一对视囊	14 h 57 min
	听囊形成期	胚体中部出现肌节	16 h 05 min
	脑泡形成期	头部视囊靠后位置出现一对听囊	17 h 27 min
	心脏形成期	两视囊中间位置出现脑泡	18 h 55 min
	尾芽期	心脏形成于腹面，轮廓清晰	22 h 25 min
	晶体形成期	胚体尾部开始与卵黄囊分离	23 h 22 min
	心脏跳动期	胚体眼部出现晶体	24 h 57 min
孵化期 Hatching period	孵化前期	心脏开始轻微跳动，后又逐渐稳定	27 h 18 min
	孵化期	胚体剧烈抽动	28 h 55 min
	初孵仔鱼	头部先出膜	31 h 12 min
		仔鱼孵化出膜	

2.1.1 卵裂期 赤石斑鱼的卵裂方式属于不完全卵裂中的盘状卵裂。在受精卵(图 1-a)发育 23 min 后，动物极处开始形成曲面圆盘状胚盘(图 1-b)；受精 41 min 后进行第一次分裂，胚盘被一分为二，形成 2 个形状大小相等的细胞，胚胎发育进入 2 细胞时期(图 1-c)；而后细胞分裂呈指数增长，依次进入 4 细胞期(图 1-d)；8 细胞期(图 1-e)；16 细胞期(图 1-f)；32 细胞期(图 1-g)；64 细胞期(图 1-h)。受精 3 h 40 min 后，细胞逐渐分裂缩小，且大小不一，边缘形成粗糙的圆形，此时进入多细胞期(图 1-i)；受精 4 h 08 min 后，随着分裂次数的不断增加，细胞被分裂得更小，整体的细胞团如桑葚状，此时的胚胎发育进入桑葚期(图 1-j)。

2.1.2 囊胚期 细密的细胞在动物极一侧将卵黄囊包裹，状如高帽，中间隆起形成的空腔为囊胚腔，这一时期被称为高囊胚期(图 1-k)；随后隆起部分下沉，在受精 6 h 15 min 后，细胞分裂成细小的点状，密度增大，进入低囊胚期(图 1-l)。

2.1.3 原肠胚期 囊胚期之后，胚层与卵黄囊之间的腔体消失，并且胚层细胞在逐渐向植物极延伸，向下包裹卵黄囊，侧面观可见胚层具有一定的厚度，如同一把盾牌，卵黄膜与胚盾交界的地方有明显的凹陷，当受精 7 h 47 min 后，卵黄被胚盾包围 1/3 时，进入原肠初期(图 1-m)；受精 9 h 45 min 后，胚盾下包 1/2 的卵黄，胚盾的厚度变薄，且开口端的胚层细胞要明显

厚于其他区域,此时发育进入原肠中期(图 1-n);受精 11 h 11 min 后,胚盾下包 3/4 的卵黄,发育进入了原肠末期(图 1-o)。

2.1.4 神经胚期 受精 12 h 后,胚层背面增厚,形成具有折光性的神经板,出现新月形胚体雏形,胚胎发育进入胚体形成期(图 1-p);受精 12 h 35 min 后,胚环逐渐收缩成小圆环,随之封闭,成为胚体的尾部,进入胚孔封闭期(图 1-q)。

2.1.5 器官形成期 受精后 14 h 02 min,胚体的头部两侧出现 2 个突起,形成视囊,尾部的胚孔处形成一个圆泡,胚体进入视囊形成期(图 1-r);受精后 14 h 57 min,脊索两侧分化出肌节原基和 4 对肌节,胚体

进入肌节形成期(图 1-s);受精 16 h 05 min 后,胚体前端视囊后方紧接着发育出一对听泡,此时胚体进入听囊形成期(图 1-t);受精 17 h 27 min 后,胚体的头部视囊之间出现竖状椭圆形脑泡(图 1-u);受精 18 h 55 min 后,心脏形成(图 1-v);受精 22 h 25 min 后,胚体尾部的圆泡消失,背腹面出现部分鳍褶,小部分尾部与卵黄囊分离,发育进入尾芽期(图 1-w);受精 23 h 22 min 后,头部分化逐渐清晰,视囊内可见具有折光性且呈透明状的晶体,听囊内的折光性透明晶体耳石也形成,胚体进入晶体形成期(图 1-x);受精 24 h 57 min 后,心脏可见间歇性跳动,胚体伴随着抖动,随后趋于平稳,胚体发育进入心脏跳动期(图 1-y)。

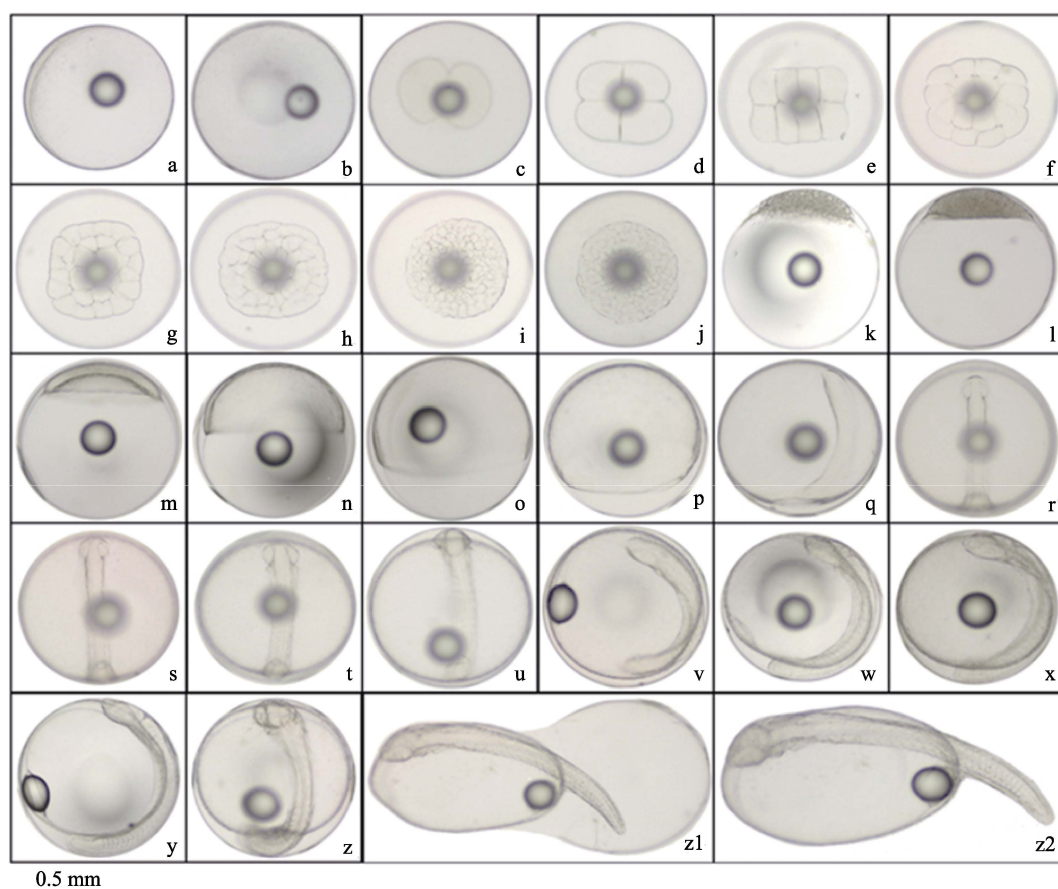


图 1 赤石斑鱼胚胎发育过程

Fig.1 Embryonic development of *E. fasciatus*

- a: 受精卵; b: 胎盘形成期; c: 2 细胞期; d: 4 细胞期; e: 8 细胞期; f: 16 细胞期; g: 32 细胞期; h: 64 细胞期; i: 多细胞期; j: 桑葚期; k: 高囊胚; l: 低囊胚; m: 原肠初期; n: 原肠中期; o: 原肠末期; p: 胚体形成期; q: 胚孔封闭期; r: 视囊形成期; s: 肌节形成期; t: 听囊形成期; u: 脑泡形成期; v: 心脏形成期; w: 尾芽期; x: 晶体形成期; y: 心脏跳动期; z: 孵化前期; z1: 孵化期; z2: 初孵仔鱼。
- a: Fertilized egg; b: Blastodisc formation; c: 2-cell stage; d: 4-cell stage; e: 8-cell stage; f: 16-cell stage; g: 32-cell stage; h: 64-cell stage; i: Multi-cell stage; j: Morula stage; k: High blastula stage; l: Low blastula stage; m: Early gastrula stage; n: Middle gastrula stage; o: Late gastrula stage; p: Embryo body stage; q: Closure of blastopore stage; r: Optic capsule stage; s: Muscle burl stage; t: Otocyst stage; u: Brain vesicle stage; v: Heart stage; w: Tail-bud stage; x: Crystal stage; y: Heart-beating stage; z: Pre incubation stage; z1: Hatching stage; z2: Newly-hatched larvae.

2.1.6 孵化期 受精 27 h 18 min 后, 胚体开始进行剧烈又连续的抽动, 尾部摆动最为有力, 此时尾部脱离卵黄囊的部分约占胚体长度的 1/4, 胚体发育进入孵化前期(图 1-z); 受精 28 h 55 min 后, 胚体头部先破膜而出, 尾部摆动有力, 将卵膜褪去, 此时为孵化期(图 1-z1); 受精 31 h 12 min 后, 孵出仔鱼的数量超过半数时, 胚胎发育进程结束(图 1-z2)。

2.2 仔、稚、幼鱼的形态发育

1 d 仔鱼: 在静水中, 初孵仔鱼呈倒挂姿势, 多数处于水体的中下层, 不喜光。鱼体腹部有一长圆形的卵黄囊, 在其尾端有一个油球。头部、卵黄囊前端和油球, 均匀分布少量色素点, 脊柱中部 1/3 处有树丫状黑色素点, 末尾处紧接着有一稍大的黑色素团。鳍褶从头部开始一直延伸到尾部, 绕过尾部到达肛门, 在中部偏后的位置达到最宽, 呈无色透明状。消化道还未形成, 在肛门上方呈 90°折角(图 2-1)。

3 d 仔鱼: 静水时头部向下、尾部斜向上, 呈倒立姿势, 游泳能力弱; 胸鳍条出现, 短小而摆动迅速; 尾部也能左右摆动, 并且可以控制其游动方向; 心脏的跳动也更加有力。卵黄囊近乎消失, 仔鱼已从内源性营养转为外源性营养; 消化道变粗且贯通, 口形成, 肛门与外部相通; 观察到胃内有食物, 此时投喂的是褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)。视囊黑色素沉积, 眼点形成; 腹壁处有类似树枝状黑色素, 脊柱中部的黑色素点消失; 肛门与尾鳍中部有一环抱脊柱的柱状黑色素块, 在此鳍褶上下辐射出 2 片扇形鳍条丝; 背鳍、尾鳍和腹鳍还未分离(图 2-2)。

5 d 仔鱼: 消化道进一步发育完善, 胃壁加宽, 蠕动更有力, 口开裂更宽, 可以明显观察到口位为口上位, 其吻端到眼前缘的距离相较于眼直径稍短。腹壁的黑色素增多, 向腹面延伸, 肛门与尾鳍中部的柱状黑色素块向前后伸长, 其上下鳍条丝逐渐消失, 稍后部的鳍条和脊柱缩短, 可以看出尾鳍的大致轮廓, 背面和腹面的鳍褶变窄(图 2-3)。

7 d 仔鱼: 胸鳍基部线条明显。游泳能力增强, 能逆流游动, 不浮游于水面, 处于水体中上层。腹壁和肛门到尾部中间的黑色素团范围逐渐缩小。胸鳍变宽, 背和腹面鳍褶收缩变窄, 尾部鳍褶变细, 脊柱结构变得更复杂和细化(图 2-4)。

9 d 仔鱼: 口裂增大, 背、腹鳍棘的原基开始出现, 其位置相对头尾轴基本对称, 腹壁的黑色素向前后延伸。仔鱼喜集群于池底层和边沿, 俯视鱼体可见 3 处黑点, 分别位于头部、腹部和尾部(图 2-5)。

11 d 仔鱼: 一对腹部鳍棘和第二背鳍棘已经长出

一定长度, 第二背鳍棘末端稍肿大, 具有少量的黑色素, 腹鳍棘末端具备大块黑色软膜, 如船桨状, 可辅助游动, 此时的背鳍棘长度稍短于腹部鳍棘。腹壁的黑色素逐渐将腹部覆盖, 难以观察内部形态。鳃盖透明, 可见粉色鳃丝, 鳃丝还未发育完全, 可见每根鳃丝排列分明(图 2-6)。

14 d 仔鱼: 紧挨第二背鳍棘基部前端出现第一背鳍棘原基, 其背部皮肤出现黑色素, 并向头部延伸。第二背鳍棘末端的黑色绒状物伸长, 游动时犹如一抹黑丝带(图 2-7)。

17 d 仔鱼: 第一背鳍棘已经长出, 第三背鳍棘原基出现, 腹膜上出现大小均匀的黑点, 第二背鳍棘继续伸长(图 2-8)。

20 d 仔鱼: 吻端和头部顶端均开始出现黑色素, 第三、第四背鳍棘长出, 其他背鳍棘原基出现。脊柱的线条清晰流畅, 尾椎开始向上弯曲, 背鳍条和臀鳍条分化明显, 第二背鳍棘和腹部鳍棘末端的黑色素向基部以点状延伸(图 2-9)。

25 d 仔鱼: 吻端和头顶的黑色素增多, 第三、第四背鳍棘伸长, 背鳍棘共 11 根, 由鳍褶连接成一排, 臀鳍可见 2 根硬鳍棘。尾柄处脊柱上的黑色素团增多, 且沿脊柱向头部移动、散开, 此时背鳍基部未见黑斑(图 2-10)。

30 d 稚鱼: 此时体表开始长出鳞片, 第二背鳍棘和腹部鳍棘开始缩短, 背鳍基部出现点状黑斑, 从尾柄处黑色素团的位置开始, 沿着背鳍末端向头部延伸, 到达第二背鳍基部后停止向前。吻部和头部黑色素堆积到最大值, 并且头部透明度下降(图 2-11)。

35 d 稚鱼: 第二背鳍棘逐渐收缩, 腹鳍棘末端的黑色绒状物消失, 露出坚硬的棘, 尾柄和眼后上缘处出现黄色块状区域, 观察身体两侧的肌肉透明度逐渐降低, 但仍可见脊柱轮廓。31 dph 时, 饵料由动物饵料转变为配合饲料, 其生长性能也随之出现大幅度提升(图 1), 说明赤石斑鱼在转饵阶段对配合饲料的接受程度较高。此时, 鳞片进一步生长, 并具有一定的折光性, 尾柄处的黑色素团开始沿着侧线鳞的方向朝头部分散, 体色可见头顶及脸颊处的淡粉色(图 2-12)。

40 d 稚鱼: 第二背鳍棘的末端黑色素退去形成锋利的尖端, 此时第二背鳍棘与腹鳍棘的长度近似相等。肌肉透明度进一步降低, 在背鳍基部和侧线处可明显观察到黑点。此时, 尾椎骨的黑色素团逐渐消失, 体色进一步加深, 稚鱼从 40 dph 开始在鳃盖后缘出现红色色素(图 2-13)。

50 d 稚鱼: 此阶段的第二背鳍尖端缩短, 但未完全收缩。眼睛上缘的黑色素群消失, 吻部和头部的黑

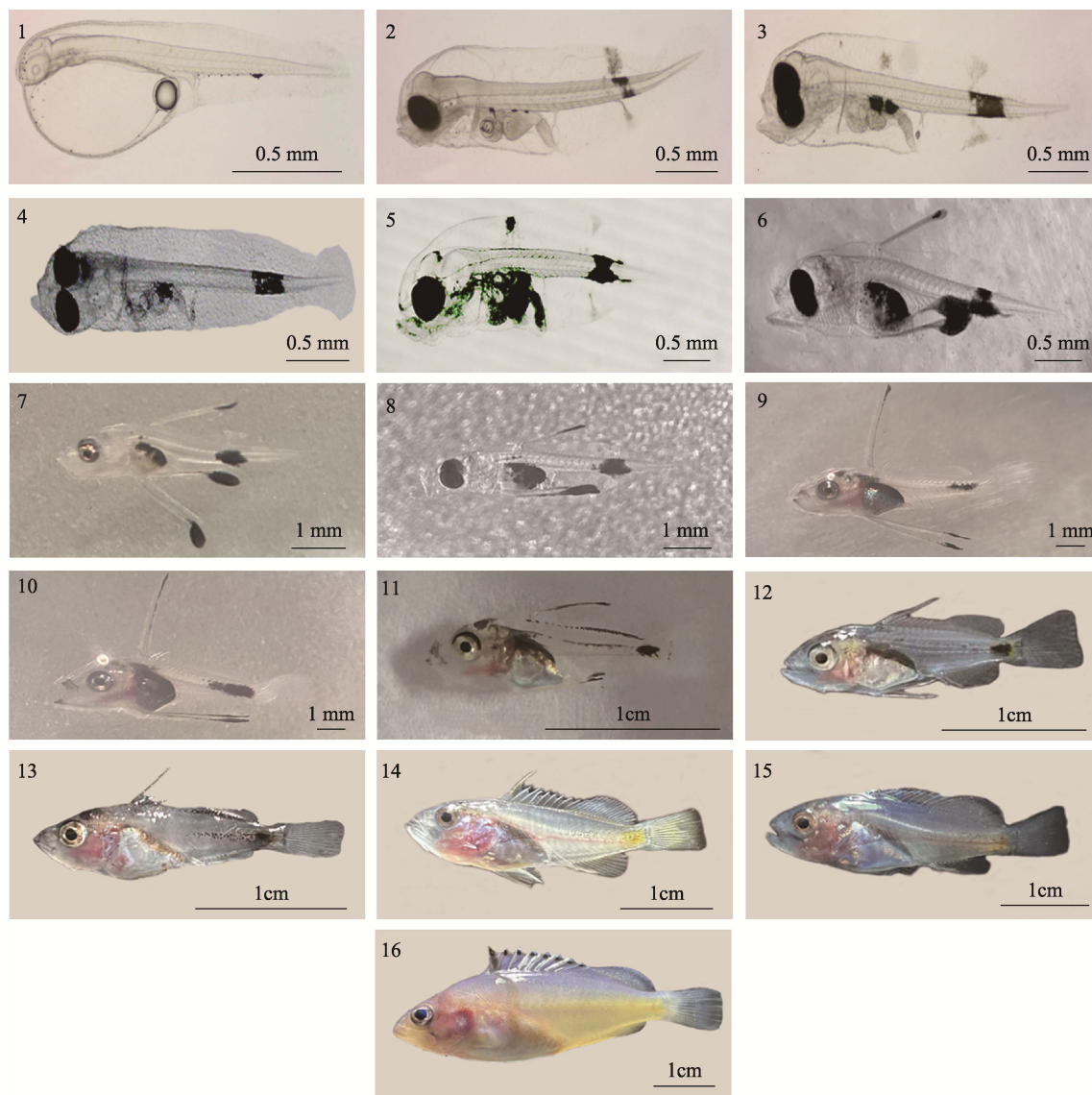


图 2 赤石斑鱼仔稚幼鱼形态发育

Fig.2 Morphological development of larva, juvenile, and young fish of *E. fasciatus*

1: 1 d 仔鱼; 2: 3 d 仔鱼; 3: 5 d 仔鱼; 4: 7 d 仔鱼; 5: 9 d 仔鱼; 6: 11 d 仔鱼; 7: 14 d 仔鱼; 8: 17 d 仔鱼; 9: 20 d 仔鱼; 10: 25 d 仔鱼; 11: 30 d 稚鱼; 12: 35 d 稚鱼; 13: 40 d 稚鱼; 14: 50 d 稚鱼; 15: 55 d 幼鱼; 16: 70 d 幼鱼。

1: Larva of 1 day post-hatching (dph); 2: Larva of 3 dph; 3: Larva of 5 dph; 4: Larva of 7 dph; 5: Larva of 9 dph;

6: Larva of 11 dph; 7: Larva of 14 dph; 8: Larva of 17 dph; 9: Larva of 20 dph; 10: Larva of 25 dph; 11: Juvenile of 30 dph;

12: Juvenile of 35 dph; 13: Juvenile of 40 dph; 14: Juvenile of 50 dph; 15: Young fish of 55 dph; 16: Young fish of 70 dph.

色素褪去, 但尾柄处的黄斑发育明显, 各鳍条发育更加清晰分明。背鳍基部和侧线处的黑斑分散, 体色逐渐明显, 但鳞片上的色素还未完全堆积, 可以看见脊柱腹面的血管分布(图 2-14)。

55 d 幼鱼: 第二背鳍缩至最短, 尾柄处的黑色素团消失, 鳞片的不透明程度进一步加深。与此同时, 尾柄处的黄斑向头部扩散(图 2-15)。

70 d 幼鱼: 全长达到(5.36±0.37) cm, 体型优美, 肌肉饱满, 行动敏捷。幼鱼在水中整体呈现淡红色,

细观各部位又有所区分: 头部呈红色, 背部呈银灰色, 腹部呈金黄色。此时的鱼体已具有成鱼的竖条状花纹, 但鱼鳍仍呈透明状; 背鳍的每个硬棘尖端均出现黑色斑块, 连成一条黑边, 与成鱼一致(图 2-16)。

2.3 仔鱼饵料转变与生长发育观察

赤石斑鱼仔鱼在水温 25~28 °C 和盐度 28~30 的条件下培育, 30 d 完成仔鱼期的过渡。其全长和日龄的关系如图 3 所示: 从初孵仔鱼至第 9 天, 全长呈平

稳上升,此阶段投喂 S 级轮虫;第 9~20 天,全长增长趋势更加明显,此阶段投喂 L 级轮虫,随着摄取活饵的体积变大,鱼体胃部发育也更膨大、完整,能容纳更多的食物;第 20~30 天,开始投喂卤虫幼体,全长的增长速率进一步加快;发育至 30 d 时开始投喂配合饲料,鱼苗进入快速生长期。

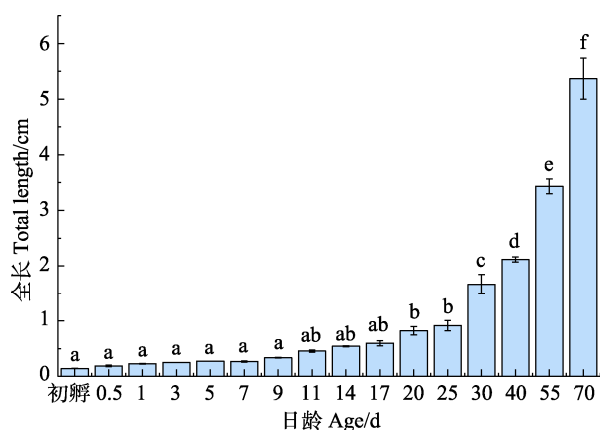


图 3 赤石斑鱼仔稚幼鱼全长和日龄的关系

Fig.3 The relationship between the total length and age of larva, juvenile, and young fish of *E. fasciatus*

上标字母不同代表差异显著($P < 0.05$)。

Different letters represent significant differences ($P < 0.05$).

3 讨论

3.1 赤石斑鱼胚胎发育

不同鱼类的胚胎发育过程不尽相同,但也有其相似之处,一般亲缘关系越近,其胚胎发育阶段、时长、形态及最适温度等越类似。其中,卵径大小在一定程度上影响了出膜时间。在其他条件适宜的情况下,卵径越大,孵化所需的时间越长。仲崇虎(2022)研究发现,鲆亚科(Barbinae)鱼类半刺厚唇鱼(*Acrossocheilus hemispinus*)的受精卵卵径为 1.74~1.97 mm,孵化时长为 60 h 19 min,与卵径为(1.55~2.11) mm 的同属鱼类宽口光唇鱼(*A. monticolus*)的出膜时间 56 h 36 min 相近(严太明等, 1999)。双须叶须鱼(*Ptychobarbus dipogon*)的卵径为 3.7~3.9 mm,需经历 336 h 12 min 孵化出膜(刘海平等, 2019);而同属裂腹鱼亚科(Schizothoracinae)的重口裂腹鱼(*Schizothorax davidi*)自然出膜仅需 217 h 20 min,其卵径为(2.91±0.29) mm,较双须叶须鱼较短(胡仁云等, 2020)。石斑鱼亚科鱼类的卵径大小主要集中在 0.79~0.94 mm,如鞍带石斑鱼(*E. lanceolatus*)卵径为 0.79~0.85 mm(周玲等, 2010),七带石斑鱼(*E. septemfasciatus*)卵径为 0.81~0.85 mm

(赵明等, 2011),褐点石斑鱼(*E. fuscoguttatus*)为 0.83~0.94 mm(Bai et al, 2016),云纹石斑鱼(*E. moara*)为 0.86~0.88 mm(宋振鑫等, 2012),点带石斑鱼(*E. malabaricus*)为 0.87~0.91 mm(施兆鸿等, 2008)等。本研究中,赤石斑鱼的受精卵卵径为(0.85±0.03) mm,与多数石斑鱼相类似。

胚胎发育的时长与温度存在显著的相关性。在一定的温度范围内,随着水温的升高,胚胎发育的时间缩短,反之则延长。一旦超出可孵化温度范围,温度越高,畸形率越高,温度过高或过低均会造成鱼类胚胎停止发育。陈国华等(2001a)对点带石斑鱼的研究证实了这一点:实验水温 20~21 °C、25.5~28.5 °C 和 30~32 °C 的孵化时间分别为 48 h 40 min、21 h 53 min 和 19 h 7 min,成活率在 24~28 °C 最高;而 30~32 °C 这个梯度出现畸形个体,并且鱼苗后期存活率较低。鞍带石斑鱼受精卵在水温(29.0±0.5) °C 条件下的孵出时间为 18 h 30 min(周玲等, 2010);在水温 25.5 °C 下,鞍带石斑鱼受精卵的孵化时间延长到 32 h(杨洪志等, 2002)。在本研究中,赤石斑鱼的受精卵在水温(23.4±0.8) °C 条件下,经历 31 h 12 min 完成整个胚胎发育进程,这与 Kawabe (2005)研究的赤石斑鱼自然产卵条件下,22 °C 时的孵化时间为 35 h 和 24 °C 时的孵化时间为 28 h 29 min 的结果相一致,说明在适合温度范围内,赤石斑鱼胚胎发育所需时间与孵化温度呈负相关。

3.2 赤石斑鱼早期发育阶段划分

仔鱼期可分为 2 个阶段。前期仔鱼(0~3 dph): 又称为卵黄囊期仔鱼,此阶段主要靠卵黄囊提供营养,也称为内源性营养,卵黄囊消失标志着该阶段的结束。后期仔鱼(4~29 dph): 该阶段仔鱼需要完成从内源性营养到外源性营养方式的转变,其在形态、生理、行为等方面均会发生巨大的变化,此时期死亡率极高。关于后期仔鱼结束有不同的判断标志,邹记兴等(2003)把 34 dph 的点带石斑鱼(腹、背鳍棘收缩和鳞片开始长出)标志为仔鱼期结束;刘银华等(2016)将云纹石斑鱼的鱼鳍形成至鳍膜消失,标志为仔鱼期(29 dph)结束;王涵生等(2001)认为第二背鳍的长度发育到全长的 1/2 时进入稚鱼阶段。本研究参照邹记兴等(2003)的研究,将赤石斑鱼的“三叉戟”收缩和鳞片生长作为后期仔鱼的结束标志。

稚鱼期 30~54 dph,由仔鱼到幼鱼的中间变态过程称为稚鱼期,赤石斑鱼经历了全身被鳞、“三叉戟”缩短至消失以及体色逐渐增强等变化过程。全身被鳞后,鱼体肌肉变得模糊不透明,黑色素点沿中线向背

腹部均匀扩散。“三叉戟”指的是第二背鳍棘和一对腹鳍棘, 初始的形态是由三根硬棘和尖端的黑色绒状物构成, 经过伸长和缩短完成变态发育。石斑鱼“三叉戟”的变态发育是区别于其他鱼类的重要标志, 其不仅可以保持在水流中保持稳定(郭仁湘等, 2011), 还可以惊吓敌害, 提高自身存活率(陈国华等, 2001b)。“三叉戟”最终会消失, 其形成的第二背鳍棘和腹鳍棘与其他硬鳍棘别无二致, 但第二背鳍棘的长度会短于腹鳍棘。

幼鱼期 55~70 dph, 该阶段鱼体在形态、体色(自然光下)及斑纹等与成鱼相似(张海发等, 2006)。55 dph 及以后的鱼体线条更加流畅, 下颌饱满, 各部位的鱼鳍完全舒展, 70 dph 的幼鱼背鳍硬棘尖端之间的鳍膜上出现的黑边与成鱼相似。

3.3 赤石斑鱼饵料转换与生长变态研究

赤石斑鱼从孵出到 3 dph, 期间需由卵黄囊提供营养, 4 dph 开始摄入外源营养, 因其体质及活动能力较弱易出现大量死亡, 称为第一危险期, 常以经小球藻(*Chlorella*)营养强化的 S 级轮虫进行投喂。9 dph 观察到仔鱼背鳍出现第二背鳍原基和腹鳍原基, 位置相对于鱼体的头尾轴对称, 此时开始投喂 L 级轮虫。在 9~20 dph 时, “三叉戟”从开始出现到接近于 1/2 全长, 腹部从透明状到被腹膜包裹, 胸鳍和尾鳍轮廓发育逐渐清晰。从 20 dph 开始投喂卤虫幼体, 20~30 dph 的赤石斑鱼的全长增长速度明显加快, 此阶段“三叉戟”伸至最长后开始缩短, 头部和尾柄处的黑色素堆积, 为后续体色的呈现做准备。“三叉戟”阶段, 鱼苗出现第一次加速生长, 但由于疾病和营养缺乏等问题, 会出现第二危险期。30 dph 开始投喂配合饲料, 此时“三叉戟”的黑色绒状物收缩、消失, 鳞片开始生长, 头部出现淡粉色花纹。从 40 dph 开始, 鱼苗进入快速生长阶段, 口裂明显增大, 因个体间生长差异大, 鱼苗会出现严重的残食现象, 此时期是第三危险期, 应适度提高投喂量和投喂频率, 增加遮蔽物, 并定期进行分级养殖(李涛等, 2013)。

4 结论

目前, 赤石斑鱼虽然可以人工繁殖, 但培育技术还不完善, 尚未实现苗种规模化扩繁。本研究对工厂化人工授精的赤石斑鱼胚胎发育过程以及早期的仔稚幼鱼形态发育变化进行系统研究, 对其变态发育节点及生长、体色的早期变化进行系统描述, 可为人工培育早期仔稚幼鱼度过危险期及科学转饵提供一定的参考依据。

参 考 文 献

- BAI L R, ZHAO Z Y. Study on embryonic development, larva, juvenile and young fish of *Epinephelus fuscoguttatus*. *Agricultural Science & Technology*, 2016, 17(6): 1305–1314, 1354
- BARICHE M, HEEMSTRA P. First record of the blacktip grouper *Epinephelus fasciatus* (Teleostei: Serranidae) in the Mediterranean Sea. *Marine Biodiversity Records*, 2012, 5: e1
- CHEN G B, LI Y Z. Composition and distribution of Serranidae in main coral reef waters of South China Sea. *South China Fisheries Science*, 2005, 1(3): 18–25 [陈国宝, 李永振. 南海主要珊瑚礁 鲷科鱼类的组成与分布. *南方水产*, 2005, 1(3): 18–25]
- CHEN G H, ZHANG B. Observation on the morphology of the larva, juvenile and young fish of *Epinephelus malabaricus* (Bloch & Schneider). *Natural Science Journal of Hainan University*, 2001b, 19(2): 151–156 [陈国华, 张本. 点带石斑鱼仔、稚、幼鱼的形态观察. *海南大学学报(自然科学版)*, 2001b, 19(2): 151–156]
- CHEN G H, ZHANG B. Study on parent fish rearing, spawning and hatching of *Epinephelus malabaricus* (Bloch & Schneider). *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001a, 32(4): 428–435 [陈国华, 张本. 点带石斑鱼亲鱼培育、产卵和孵化的试验研究. *海洋与湖沼*, 2001a, 32(4): 428–435]
- GUO R X, FU S Y, YANG W, *et al.* Study on the growth and development of larva, juvenile and young fish of *Epinephelus lanceolatus*. *Journal of Aquaculture*, 2011, 32(4): 8–13 [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. *水产养殖*, 2011, 32(4): 8–13]
- HU R Y, ZHANG Y H, SHU Q L, *et al.* Observation of embryonic development of *Schizothorax davidi*. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020, 48(14): 198–203 [胡仁云, 张运海, 舒旗林, 等. 重口裂腹鱼的胚胎发育观察. *江苏农业科学*, 2020, 48(14): 198–203]
- JAWAD L A, AL JUFAILI S M. Range extension of four teleost fishes in the sea of Oman. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 2021, 37(2): 825–830
- KANG H, LEE C, SONG Y, *et al.* *kiss1*, *kiss2*, GPR54 mRNA expression of the blacktip grouper *Epinephelus fasciatus*. *Development & Reproduction*, 2012, 16(2): 121–128
- KAWABE K, KOHNO H. Morphological development of larval and juvenile blacktip grouper, *Epinephelus fasciatus*. *Fisheries Science*, 2009, 75(5): 1239–1251
- KAWABE K. Embryonic development and effect of water temperature on hatching of the blacktip grouper, *Epinephelus fasciatus*. *Aquaculture Science*, 2005, 53(4):

- 333–342
- KIM S H, LEE C H, SONG Y B, *et al.* Ultrastructure of blacktip grouper, *Epinephelus fasciatus* spermatozoa. Korean Journal of Microscopy, 2012, 42(2): 61–66
- LI T, LV G M, HUANG X L, *et al.* Studies on morphological development and feed changeover of the larvae, juveniles and young fish of *Epinephelus coioides*♀ × *E. lanceolatus*♂. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(4): 108–110, 237 [李涛, 吕国敏, 黄小林, 等. 青龙斑仔、稚、幼鱼形态发育及饵料转变的观察. 广东农业科学, 2013, 40(4): 108–110, 237]
- LI X Q, PENG Y D. Studies on karyotype of *Epinephelus fasciatomaculatus* and *Epinephelus fasciatus*. Journal of Guangdong Ocean University, 1994, 14(2): 22–26 [李锡强, 彭跃东. 斑带石斑鱼与黑边石斑鱼核型的研究. 湛江水产学院学报, 1994, 14(2): 22–26]
- LIU H P, LIU M J, MOU Z B, *et al.* Characteristics of early development of *Ptychobarbus dipogon* in Xizang autonomous region. Acta Hydrobiologica Sinica, 2019, 43(5): 1041–1055 [刘海平, 刘孟君, 牟振波, 等. 西藏双须叶须鱼早期发育特征. 水生生物学报, 2019, 43(5): 1041–1055]
- LIU Y H, ZHANG Y Z, ZHONG Y P, *et al.* Morphological observation on the larva, juvenile and young of *Epinephelus moara*. Journal of Applied Oceanography, 2016, 35(4): 514–521 [刘银华, 张雅芝, 钟幼平, 等. 云纹石斑鱼仔、稚、幼鱼的形态观察. 应用海洋学学报, 2016, 35(4): 514–521]
- SHI Z H, CHEN B, PENG S M, *et al.* The morphological change under salinity stress in development of yolk sac larvae of *Epinephelus malabaricus*. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39(3): 222–227 [施兆鸿, 陈波, 彭士明, 等. 盐度胁迫下点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)胚胎及卵黄囊仔鱼的形态变化. 海洋与湖沼, 2008, 39(3): 222–227]
- SONG Z X, CHEN C, ZHAI J M, *et al.* Embryonic development and morphological characteristics of larval, juvenile and young kelp bass, *Epinephelus moara*. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(3): 26–34 [宋振鑫, 陈超, 翟介明, 等. 云纹石斑鱼胚胎发育及仔、稚、幼鱼形态观察. 渔业科学进展, 2012, 33(3): 26–34]
- WANG H S, FANG Q S, ZHENG L Y. Morphological development and growth of the larvae, juveniles and young fish of *Epinephelus akaara*. Journal of Shanghai Fisheries University, 2001, 10(4): 307–312 [王涵生, 方琼珊, 郑乐云. 赤点石斑鱼仔稚幼鱼的形态发育和生长. 上海水产大学学报, 2001, 10(4): 307–312]
- XU W G, LIU L M, TANG Y Z, *et al.* Investigation on the interrelation between total length, age, sex maturation and sex reversal in *Epinephelus fasciatus*. Marine Fisheries, 2021a, 43(1): 51–60 [徐文刚, 刘立明, 唐永政, 等. 黑边石斑鱼体长、年龄与性成熟、性逆转的关系研究. 海洋渔业, 2021a, 43(1): 51–60]
- XU W G, LIU L M, WANG J L, *et al.* Immunohistochemistry of FSHβ and LHβ cells and their gene expression in the pituitary around gonadal differentiation in red spotted grouper *Epinephelus akaara* and blacktip grouper *E. fasciatus*. Journal of Dalian Ocean University, 2021b, 36(4): 554–562 [徐文刚, 刘立明, 王九龙, 等. 两种石斑鱼性腺分化前后脑垂体中 FSHβ 和 LHβ 细胞免疫组织化学及其基因表达. 大连海洋大学学报, 2021b, 36(4): 554–562]
- XU W G, TANG Y Z, ZHANG J B, *et al.* Annual ovarian development and changes in the concentration of serum sex hormones in blacktip grouper *Epinephelus fasciatus*. Journal of Dalian Ocean University, 2020a, 35(5): 657–662 [徐文刚, 唐永政, 张建柏, 等. 黑边石斑鱼卵巢周年发育及血清中性激素含量的变化. 大连海洋大学学报, 2020a, 35(5): 657–662]
- XU W G, TANG Y Z, ZHANG J B, *et al.* Study on the ovulation of *Epinephelus fasciatus* induced by exogenous human chorionic gonadotrophin hormone. Guangdong Agricultural Sciences, 2020b, 47(4): 122–128 [徐文刚, 唐永政, 张建柏, 等. 外源人绒毛膜促性腺激素诱导黑边石斑鱼排卵的研究. 广东农业科学, 2020b, 47(4): 122–128]
- YAN T M, HE X F, HE J S. Observations on embryonic development of *Acrossocheilus* (a.) *Monticola* (Günther). Acta Hydrobiologica Sinica, 1999, 23(6): 636–640 [严太明, 何学福, 贺吉胜. 宽口光唇鱼胚胎发育的研究. 水生生物学报, 1999, 23(6): 636–640]
- YANG H Z, LIANG R F. Primary study on reproduction biology of *Epinephelus lanceolatus* (Bloch). Modern Fisheries Information, 2002, 17(7): 20–21 [杨洪志, 梁荣峰. 鞍带石斑鱼 *Epinephelus lanceolatus* (Bloch)繁殖生物学的初步研究. 现代渔业信息, 2002, 17(7): 20–21]
- ZHANG H F, LIU X C, LIU F, *et al.* Embryonic development, morphological development of larva, juvenile and young fish of *Epinephelus coioides*. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(5): 689–699 [张海发, 刘晓春, 刘付永忠, 等. 斜带石斑鱼胚胎及仔稚幼鱼形态发育. 中国水产科学, 2006, 13(5): 689–699]
- ZHAO M, CHEN C, LIU X Z, *et al.* Effect of salinity on embryonic development and post-embryonic larval growth of *Epinephelus septemfasciatus*. Progress in Fishery Sciences, 2011, 32(2): 16–21 [赵明, 陈超, 柳学周, 等. 盐度对七带石斑鱼胚胎发育和卵黄囊仔鱼生长的影响. 渔业科学进展, 2011, 32(2): 16–21]
- ZHENG L, LIU C W, LI C L. Studies on the karyotype of 4 groupers. Marine Sciences, 2005, 29(4): 51–55 [郑莲, 刘楚吾, 李长玲. 4 种石斑鱼染色体核型研究. 海洋科学, 2005, 29(4): 51–55]
- ZHENG L, LIU C W. RAPD analysis of four grouper species.

- Fisheries Science, 2004, 23(11): 16–20 [郑莲, 刘楚吾. 4 种石斑鱼亲缘关系的 RAPD 分析. 水产科学, 2004, 23(11): 16–20]
- ZHONG C H. Research on the morphological differences and embryonic development between male and female *Acrossocheilus hemispinus*. Master's Thesis of Nanjing Agricultural University, 2022 [仲崇虎. 半刺厚唇鱼雌雄形态差异和胚胎发育研究. 南京农业大学硕士研究生学位论文, 2022]
- ZHOU L, WENG W M, LI J L, *et al.* Studies on embryonic development, morphological development and feed changeover of *Epinephelus lanceolatus* larva. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(1): 293–302 [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. 中国农学通报, 2010, 26(1): 293–302]
- ZOU J X, XIANG W Z, HU C Q, *et al.* Growth and development of the larva, juvenile and young fish of *Epinephelus malabaricus* (Bloch & Schneider). High Technology Letters, 2003, 13(4): 77–84 [邹记兴, 向文洲, 胡超群, 等. 点带石斑鱼仔、稚、幼鱼的生长与发育. 高技术通讯, 2003, 13(4): 77–84]

(编辑 冯小花)

Examination of the Embryonic and Post-Embryonic Development and Morphological Changes of Larvae, Juveniles, and Young Fish of *Epinephelus fasciatus*

DING Tangtang^{1,2,3}, TIAN Yongsheng^{2,3}, BAI Dongqing¹, SUN Fangfang⁴,
MA Wenhui⁴, PANG Zunfang⁴, LIU Yang^{2,3①}

(1. College of Fisheries, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; 2. State Key Laboratory of Mariculture Biobreeding and Sustainable Goods, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 3. Hainan Innovation Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Sanya 572000, China; 4. Laizhou Mingbo Aquatic Products Co. Ltd., Laizhou 261400, China)

Abstract *Epinephelus fasciatus*, a small grouper, is valued for its delectable flesh and substantial market value. This study utilized wild red grouper parents to examine artificial breeding, embryonic and post-embryonic development, and juvenile fish cultivation under industrialized conditions in northern China. At present, no documented studies exist on the artificial breeding, embryonic and post-embryonic development, and feed conversion processes of *E. fasciatus* under local factory conditions in China. This study focused on fertilized eggs and juvenile fish of *E. fasciatus* artificially bred in factories and recorded their embryonic development and instances of rapid growth. The study also explored the relationship between juvenile fish development and feed conversion, providing a scientific reference for the industrial breeding and aquaculture of *E. fasciatus* and its high-value utilization.

The parent experiments, including fish cultivation, fertilization, and hatching, were conducted at Laizhou Mingbo Aquatic Products Co., Ltd. For egg collection, female red groupers with stage IV gonad development were selected for artificial induction. The oxytocin used was a mixture of HCG and LHRH-A3, which was administered at dosages of 350 IU/kg and 20 µg/kg of fish weight, respectively. Two days before sperm collection, a halved mixture was injected into mature male fish to promote sperm production. To obtain fertilized eggs, mature eggs were first collected in a dry plastic basin by compressing the abdomen, while sperm with high microscopic vitality were simultaneously collected

① Corresponding author: LIU Yang, Email: yangliu@ysfri.ac.cn

for artificial insemination. Dry insemination was performed at a sperm-to-egg volume ratio of 1:500. After stirring, the eggs were allowed to stand for 5 min. The eggs were then washed with an equal volume of seawater and allowed to stand for 5 min. The floating eggs were collected and incubated in an incubation bucket with seawater maintained at a water temperature of $(23.4 \pm 0.8) ^\circ\text{C}$, dissolved oxygen levels greater than 6 mg/L, and a salinity range of 28–30. Upon completion of the embryonic hole closure period, the eggs were collected with gauze and immediately transferred to a breeding pool with an egg-laying volume of 2–3 mL/m³.

Starting with fertilized eggs, 10 floating eggs were regularly removed from the hatching bucket, and an optical microscope (Nikon E200) was used to observe the embryonic development process. Photos were captured, and the time and developmental characteristics of each developmental stage were recorded. The time point of each developmental stage was defined when two-thirds of the embryos reached this stage. The fertilized eggs completed embryonic development within 31 h and 12 min under water temperature and salinity conditions of $(23.4 \pm 0.8) ^\circ\text{C}$ and 28–30, respectively.

Starting with the initial hatching of fry, fish fry exhibiting good growth from the breeding pool were regularly selected. A microscope (Nikon E200), dissecting microscope (Olympus), and Image View software were used to capture photos, measure total length, and record the developmental stages and characteristics of the fry and juveniles. During this period, samples were collected daily from 0 to 10 days post-hatching (dph), every 2 days from 10 dph to 20 dph, and every 5 days from 20 dph to 40 dph. Fish fry (3–5) was randomly selected at each time point to measure their total length and record their growth status. One-way ANOVA was performed on growth data using SPSS 27.0, with significant differences between groups compared using the least significant difference (LSD) and Duncan tests. Origin Pro 2022 software was employed for figure creation.

The post-embryonic developmental sequences were divided into the early larval (0–3 dph), late larval (4–29 dph), juvenile (30–54 dph), and young (>55 dph) stages. At 3 dph, the larvae were fed S-grade rotifers. At 9–20 dph, L-grade rotifers were provided. At 20–30 dph, brine shrimp larvae were provided. Starting at 31 dph, the fish larvae transitioned from animal-based feed to compound feed. Compared to the early developmental stage, the growth rate, phenotype, scales, and body color of the larvae rapidly increased after transitioning to compound feed. This indicated a high acceptance of compound feed during the transitioning stage. The feeding frequency was twice daily, occurring at 08:00 and 16:00. The dimensions of the cultivation tank were 6 m $\times$ 8 m $\times$ 2.5 m, with a water flow exchange rate of 8 m³/h. Dissolved oxygen levels exceeded 6 mg/L, salinity ranged from 28 to 30, and water temperature varied between 25 $^\circ\text{C}$ and 28 $^\circ\text{C}$.

At present, although red groupers can be artificially reproduced, cultivation technology remains imperfect, and large-scale breeding has not yet been realized. This study systematically investigated embryonic developmental processes and early morphological changes in red grouper larvae produced using artificial insemination under industrial conditions. The early developmental patterns of metamorphosis, growth, and early body color changes were systematically documented, providing a reference for the artificial cultivation and scientific feeding of early fry and juveniles to mitigate mortality risk.

Key words *Epinephelus fasciatus*; Embryonic development; Larva, juvenile and young fish; Morphological development