

DOI: 10.12264/JFSC2021-0014

多纹钱蝶鱼胚胎发育及胚后发育观察

刘鉴毅^{1,2,3,4}, 李琪^{1,2}, 孙艳秋^{1,2}, 庄平^{1,2,3,4}, 冯广朋^{1,2,3,4}, 邹雄¹, 赵峰^{1,2,3,4},
余焱方^{1,2}, 孙雪娜^{1,2}, 杨俊^{1,2}, 王好^{1,3,4}, 黄晓荣^{1,2,3,4}

1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090;
2. 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海海洋大学, 上海 201306;
3. 农业农村部东海与长江口渔业资源环境科学观测实验站, 上海 200090;
4. 上海长江口渔业资源增殖和生态修复工程技术研究技术中心, 上海 200090

摘要: 为建立多纹钱蝶鱼(*Selenotoca multifasciata*)人工繁育技术, 为其生产性育苗工艺和管理技术的建立提供科学依据, 采用人工养殖的多纹钱蝶鱼经人工催产获得受精卵, 对胚胎及胚后发育阶段进行了连续观察、拍照和测量。结果显示, 水温(27.0±1.0) °C, 盐度 32 条件下, 多纹钱蝶鱼从受精卵发育, 经 18 h 20 min 出膜, 受精后 3 h 进入囊胚期, 4.5 h 进入原肠期, 8 h 进入胚体形成期, 8.5 h 进入器官形成期, 器官形成顺序为视囊期、尾泡形成期、肌节期、脑泡期、耳囊期、尾芽期、尾鳍期、晶体形成期、耳石形成期, 16.5 h 出现心跳, 17.5 h 出现肌肉效应, 18.5 h 完成出膜。多纹钱蝶鱼胚后发育分为仔鱼期、稚鱼期和幼鱼期, 初孵仔鱼全长 1.350~1.655 mm; 水温 26 °C 下, 出膜后 2 d 卵黄囊完全消失; 出膜后 3 d 仔鱼开口, 口裂 0.265~0.280 mm; 出膜后 15 d, 鱼体体色加深, 进入稚鱼期; 19 d, 胸鳍发育完全; 23 d, 背鳍发育完全; 29 d, 尾鳍、臀鳍发育完全; 33 d, 鱼身上鳞片基本长出, 身体不再透明, 发育至幼鱼期, 此时全长 15.625~15.647 mm, 体长 12.013~12.234 mm, 体重 0.045~0.059 g, 心跳 150~159 次/min。

关键词: 多纹钱蝶鱼; 胚胎发育; 胚后发育; 人工繁育

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)08-0978-10

多纹钱蝶鱼(*Selenotoca multifasciata*)又称银鼓鱼, 隶属于辐鳍鱼纲(*Actinopterygii*), 鲈形目(*Perciformes*), 金钱鱼科(*Scatophagidae*)^[1], 钱蝶鱼属, 原产于菲律宾、印度尼西亚、泰国等地的江河入海口, 在我国东海南部至南海及北部湾区域有分布。多纹钱蝶鱼体扁圆形, 体色银白色, 腹部遍布黑圆斑, 背部有黑横带, 硬棘分泌毒素。可生活在海水、咸淡水、盐碱水和淡水中, 具有适应性强、耐高温、生长速度快、肉质细嫩、杂食性(偏植食性)等特点, 既有观赏价值又有食用价值, 开发前景广阔。

鱼类胚胎发育是其早期生活史的主要研究内容之一, 是进行鱼类增养殖的基础, 对其人工繁

殖和苗种生产有重要的指导意义。近几年, 关于各种鱼类胚胎发育及胚后发育的研究很多, 主要涉及胚胎发育形态变化、胚后发育形态变化以及环境因子(如温度、盐度、pH 等)对胚胎发育的影响等, 鲈形目鱼类中, 有关金钱鱼(*Scatophagus argus*)^[2]、云纹石斑鱼(*Epinephelus moara*)^[3]、眼斑双锯鱼(*Amphiprion ocellaris*)^[4]、泰国斗鱼(*Betta splendens*)^[5]、淡水黑鲷(*Hephaestus fuliginosus*)^[6]、太平洋鲑(*Pacific cod*)^[7]、欧洲舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)^[8]、黄姑鱼(*Nibea albiflora*)^[9]、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)^[10]等胚胎发育均有报道, 为多纹钱蝶鱼的胚胎发育时期划分提供了科学依据。由于多纹钱蝶鱼资源稀少, 迄今有关该鱼的

收稿日期: 2021-01-14; 修订日期: 2021-02-19.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD0900405); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2019Z01, 2020TD13); 国家科技资源共享服务平台。

作者简介: 刘鉴毅(1965-), 男, 研究员, 主要从事珍稀濒危水生动物保护及水产生态养殖研究. E-mail: liujy@ecsfc.ac.cn

研究报道很少,罗璋等^[1,11]对多纹钱蝶鱼链球菌病进行了初步研究,从患病的多纹钱蝶鱼肾脏组织中分离出的菌株经人工感染健康鱼后,通过综合鉴定得出该菌株为海豚链球菌。至今未见有关多纹钱蝶鱼的其他报道。由于多纹钱蝶鱼的胚胎发育过程缺乏数码影像资料,本研究利用显微镜观察的方法分析了多纹钱蝶鱼胚胎发育及胚后发育过程,填补了多纹钱蝶鱼研究空白,丰富了其繁殖生物学资料,为其资源保护和苗种培育提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

多纹钱蝶鱼受精卵来自中国水产科学研究院东海水产研究所海南琼海研究中心。

1.2 方法

1.2.1 亲鱼培育 实验于2020年6月6日开始,亲鱼来源为人工饲养于东星斑或者石斑鱼中套养的1.5龄以上多纹钱蝶鱼成鱼,经强化培育,可以作为亲鱼使用。挑选出1.5龄以上、体态成熟且健康的亲鱼供繁育使用。培育亲鱼所用饲料主要为新鲜小杂鱼虾和沙蚕。

1.2.2 受精与孵化 选择成熟亲鱼进行人工催产,麻醉后胸鳍基部注射催产素,将亲鱼移入室内水泥池40目筛绢网箱。一段时间后,收集精液和卵子,用毛笔或手轻轻地混合均匀,进行干法授精。待1~2 min后即可添水,停滞2~3 min,开始洗卵。将受精卵置于直径1 m的孵化桶内,微充气,水温维持在 (27.0 ± 1.0) °C,孵化海水盐度32,选取受精率80%以上的同批次受精卵进行观察。

1.2.3 取样与观察 用烧杯捞取适量受精卵,在显微镜(型号DM750,徕卡显微系统有限公司)下进行连续观察,并通过Toupview软件进行拍照记录,每次取受精卵不少于30粒。观察胚胎的形态变化,当一个视野中有一半以上受精卵发生形态变化时则判定为进入下一发育时期,采集样本均为浮在烧杯内水体表层的活性样本。破膜后的仔鱼耗氧量增大,需要降低仔鱼密度进行培育。将孵出的仔鱼分到3个孵化桶内继续培育,每天分别从3个桶内捞出5条仔鱼并进行拍照和测量,观察胚后发育状况。

1.2.4 数据处理 本研究用于卵径及各发育阶段的仔鱼全长和卵黄囊长径测量的样本数均为20个,利用Excel进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 胚胎发育

多纹钱蝶鱼受精卵在水温26~28 °C,盐度32,微充气条件下,依次经历受精卵、卵裂期、囊胚期、原肠期、胚体形成期、器官形成期、心跳期、肌肉效应期和出膜期等阶段,经18.5 h完成胚胎发育过程。参考徐嘉波等^[12]、张燕萍等^[13]的方法,并根据显微镜下对多纹钱蝶鱼胚胎发育的观察,对其胚胎发育时期进行了划分(表1)。

2.1.1 受精卵 多纹钱蝶鱼受精卵(图版I-1)呈透明、形状规则的圆形,卵膜薄且无色透明,无黏性,浮性卵,其受精卵直径为0.600~0.610 mm,位于卵中央的油球1个,直径在0.225~0.250 mm。未成功受精的卵颜色发白并沉底。受精后20 min,原生质向动物极集中,胚盘形成(图版I-2)。

2.1.2 卵裂 受精卵卵裂方式为盘状卵裂,受精后30 min经历第一次卵裂,在胚盘处由1个细胞分裂成2个大小相等的细胞,进入2细胞期(图版I-3);受精后40 min细胞经历第2次卵裂,分裂面与第1次垂直,进入4细胞期(图版I-4);50 min后第3次分裂进入8细胞期(图版I-5),细胞排列整齐,清晰可见;1 h后细胞发生第4次分裂,进入16细胞期(图版I-6);1 h 10 min后发生第5次卵裂,进入32细胞期(图版I-7);1 h 20 min后进入64细胞期(图版I-8);1 h 50 min后进入128细胞期(图版I-9);胚胎继续分裂,细胞排列逐渐不整齐,2 h 10 min后进入多细胞期(图版I-10),细胞分层明显,开始重叠;受精后2 h 40 min细胞团呈桑葚球状,进入桑葚期(图版I-11)。

2.1.3 囊胚期 受精后3 h,细胞继续分裂,分裂球越来越小,间隙逐渐不清晰,胚盘与卵黄之间形成囊胚腔,囊胚中部向上隆起,似高帽状,此时进入高囊胚期(图版I-12);3 h 20 min后,受精卵进入低囊胚期(图版I-13),囊胚层细胞下包明显,向植物极扩散,囊胚层紧贴卵黄,变扁平。

2.1.4 原肠期 受精后4 h 30 min,囊胚层边缘

细胞继续向下包, 约占整个胚胎的 1/3, 胚环出现, 进入原肠前期(图版 I -14); 受精后 5 h 40 min, 胚层继续下包卵黄至 1/2 处, 进入原肠中期(图版 I -15, 16); 6 h 50 min 后, 胚层下包卵黄至 4/5 处, 进入原肠后期(图版 I -17)。

2.1.5 胚体形成期 受精经过 8 h, 胚体轮廓变清晰, 进入胚体形成期(图版 I -18)。

2.1.6 器官形成期 受精 8 h 30 min 后, 色素开

始形成, 胚体头部前两侧出现突起, 形成视囊, 进入视囊形成期(图版 I -19); 受精 9 h 后, 胚体尾部出现椭圆形囊状结构, 形成尾泡, 进入尾泡出现期(图版 I -20); 9 h 30 min 后, 体节形成, 胚体色素沉积, 此为肌节期(图版 I -21); 10 h 30 min 后, 肌节增多, 胚体出现长方圆形板状脑泡, 此时脑泡尚未分室, 进入脑泡期(图版 I -22); 11 h 40 min 后, 油球出现点状黑色素, 胚体头部视囊后方两侧

表 1 多纹钱蝶鱼胚胎发育过程
Tab. 1 Embryonic development of *Selenotoca multifasciata*

发育时期 developmental stage	受精后时间 time after fertilization	各发育期简要特征 brief characteristics of different stages	图版 plate
受精卵 fertilized egg	0 min	圆形、无色透明、单油球、浮性卵、无黏性	I-1
胚盘隆起 gastrodisc eminence	20 min	原生质向动物极集中, 形成隆起的胚盘	I-2
2 细胞 2-cell period	30 min	胚盘处分裂形成 2 个对等的细胞	I-3
4 细胞 4-cell period	40 min	分裂面与第一次垂直, 形成 4 个对等细胞	I-4
8 细胞 8-cell period	50 min	继续分裂形成 8 个细胞	I-5
16 细胞 16-cell period	1 h	继续分裂形成 16 个细胞	I-6
32 细胞 32-cell period	1 h 10 min	继续分裂形成 32 个细胞	I-7
64 细胞 64-cell period	1 h 20 min	继续分裂形成 64 个细胞	I-8
128 细胞 128-cell period	1 h 50 min	继续分裂形成 128 个细胞	I-9
多细胞期 multicellular period	2 h 10 min	细胞明显分层, 开始重叠	I-10
桑葚期 morula	2 h 40 min	细胞团呈桑椹球状	I-11
高囊胚期 high blastula	3 h	胚盘与卵黄之间形成囊胚腔, 囊胚中部向上隆起	I-12
低囊胚期 low blastula	3 h 20 min	囊胚层细胞下包明显, 囊胚层变扁平, 紧贴卵黄	I-13
原肠前期 early-gastrula period	4 h 30 min	囊胚层边缘细胞向下包, 约占整个胚胎的 1/3, 胚环出现	I-14
原肠中期 mid-gastrula period	5 h 40 min	胚层继续下包卵黄至 1/2 处	I-15, 16
原肠后期 late-gastrula period	6 h 50 min	胚层下包卵黄至 4/5 处	I-17
胚体形成期 embryogenesis period	8 h	胚体轮廓清晰, 胚孔将封闭	I-18
视囊形成期 eye vesicle formation period	8 h 30 min	胚体头部前两侧出现突起	I-19
尾泡出现期 tail vesicle period	9 h	尾部出现尾泡	I-20
肌节期 appearance of myomere	9 h 30 min	出现长方形体节, 胚体出现色素	I-21
脑泡期 vesicle formation period	10 h 30 min	长方圆形板状脑泡, 脑泡尚未分室	I-22
耳囊期 otocyst period	11 h 40 min	胚体头部视囊后方两侧出现 1 对听囊	I-23
尾芽期 tail-bud period	12 h 10 min	胚体后端腹面出现圆锥形突起, 尾部与卵黄囊分离	I-24
晶体形成期 crystal stage of eyes	14 h 30 min	晶体轮廓清晰	I-25
尾鳍期 rudiment of tail fin	15 h 30 min	尾芽边缘表皮外突成皮褶状	I-26
耳石形成期 appearance of statolith	16 h	耳囊轮廓十分明显, 耳囊内耳石形成	I-27
心跳期 heart beating period	16 h 30 min	心窦波动, 心跳次数随时间匀速增加	I-28
肌肉效应期 muscular contraction period	17 h 30 min	体节明显增多, 胚体出现无规律扭动	I-29
将孵期 the incubation period	18 h 30 min	胚体扭动, 身体先破膜	I-30
破膜期 embryo hatching	18 h 30 min	身体破膜	I-31
初孵仔鱼 newly hatched larvae	18 h 30 min	仔鱼 3-5 min 出膜	I-32

注: 受精卵孵化温度(27.0±1.0) ℃, 盐度 32, pH 7.2-7.5.
Note: The temperature of hatching seawater was (27.0±1.0) ℃, the salinity was 32 , and the pH value was 7.2-7.5.



图版 I 多纹钱蝶鱼胚胎发育图

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. 64 细胞期; 9. 128 细胞期; 10. 多细胞期; 11. 桑葚胚期; 12. 高囊胚期; 13. 低囊胚期; 14. 原肠前期; 15. 原肠中期; 16. 原肠中期侧面; 17. 原肠后期; 18. 胚体形成期; 19. 视囊形成期; 20. 尾泡出现期; 21. 肌节期; 22. 脑泡形成期; 23. 耳囊形成期; 24. 尾芽期; 25. 晶体出现期; 26. 尾鳍期; 27. 耳石形成期; 28. 心跳期; 29. 肌肉效应期; 30. 将孵期; 31. 破膜期; 32. 初孵仔鱼。标尺表示 0.2 mm.

Plate I Embryonic development of *Selenotoca multifasciata*

1. Fertilized eggs; 2. Gastrodisc eminence; 3. 2-cell period; 4. 4-cell period; 5. 8-cell period; 6. 16-cell period; 7. 32-cell period; 8. 64-cell period; 9. 128-cell period; 10. Multicellular period; 11. Morula; 12. High blastula; 13. Low blastula; 14. Early-gastrula period; 15. Mid-gastrula period; 16. The side of mid-gastrula period; 17. Late-gastrula period; 18. Embryogenesis period; 19. Eye vesicle formation period; 20. Tail vesicle period; 21. Appearance of myomere; 22. Vesicle formation period; 23. Otocyst period; 24. Tail-bud period; 25. Crystal stage of eyes; 26. Rudiment of tail fin; 27. Appearance of statolith; 28. Heart beating period; 29. Muscular contraction period; 30. The incubation period; 31. Embryo hatching; 32. Newly hatched larvae. Scale bar=0.2 mm

出现1对听囊,进入耳囊期(图版 I -23); 12 h 10 min 后, 胚体后端腹面出现圆锥形的突起, 尾部与卵黄囊分离, 进入尾芽期(图版 I -24); 14 h 30 min 后, 晶体轮廓清晰, 进入晶体形成期(图版 I -25); 15 h 30 min 后, 胚体尾芽边缘表皮外突出, 呈皮褶状, 此时进入尾鳍期(图版 I -26); 16 h 后, 进入耳石形成期(图版 I -27), 耳囊内形成耳石, 轮廓十分明显。

2.1.7 心跳期 受精后 16 h 30 min 后, 心脏分化, 出现心窦波动, 清晰可见, 进入心跳期(图版 I -28)。

2.1.8 肌肉效应期 受精后 17 h 30 min, 观察到胚体肌节明显增多, 并出现无规律地扭动, 进入肌肉效应期(图版 I -29)。

2.1.9 出膜期 受精后 18 h 30 min, 胚体剧烈扭动, 头部先破膜, 出膜过程持续 3~5 min(图版 I -30, 31)。

2.1.10 初孵仔鱼 刚孵出的仔鱼, 身体弯曲, 似“逗号”, 带有卵黄囊, 营内源性营养。初孵仔鱼(图版 I -32)体透明, 运动不活跃, 头部紧贴卵黄囊。卵黄囊前段较膨大, 呈鸡蛋状, 约占全身的 1/2。背鳍膜出现在身体头后 1/3 处, 尾鳍膜在卵黄囊后。初孵仔鱼全长 1.350~1.655 mm, 卵黄囊长径 0.954~0.988 mm, 短径 0.600~0.623 mm。

2.2 胚后发育

胚后发育根据鳞片、卵黄囊、体色的变化将其分为仔鱼期、稚鱼期和幼鱼期^[14]。

2.2.1 仔鱼期 出膜后 1 d (图版 II -1): 全长 1.575~1.690 mm, 体透明, 身体和头部黑色素沉积明显; 心脏跳动明显, 腹部略突出, 直肠出现, 肛门未通; 卵黄囊被吸收, 紧贴腹腔内壁, 后部出现空泡, 有消失迹象; 口吻端分化, 胸鳍扇形轮廓开始形成; 仔鱼呈直线游动。

出膜后 2 d (图版 II -2): 全长 1.650~1.710 mm, 体透明, 耳囊清晰可见; 心脏跳动明显; 卵黄囊被吸收完全; 腹部膨大, 似胃。

出膜后 3 d (图版 II -3): 全长 1.700~1.735 mm, 眼及腹部黑色素增多, 肌节清晰, 呈“<”形, 肌间刺显现, 脊椎骨、心跳明显; 仔鱼头部变宽大, 腹部变平滑, 直肠后出现膀胱, 肛门通; 脑后冠状

幼鳍原基明显, 腹鳍原基形成; 部分仔鱼下颌出现活动, 口裂 0.265~0.280 mm。

出膜后 4 d (图版 II -4): 全长 1.715~1.855 mm, 眼部、腹部色素沉积明显, 心跳明显可见; 腹鳍变长, 尾部鳍条不明显, 出现褶皱, 扇形轮廓开始形成, 背鳍条形成不明显。

出膜后 5 d (图版 II -5): 全长 2.015~2.275 mm, 脊椎骨、肌间刺清晰可见, 心跳明显, 鳃盖开始形成, 脑颅、眼眶清晰; 腹鳍变长, 胸鳍、尾鳍加长变宽, 尾柄处鳍褶开始内缢, 背鳍原基形成。

出膜后 6 d (图版 II -6): 全长 2.215~2.315 mm, 体透明, 鳃盖形成, 口裂变大; 在脑部、腹部黑色素继续沉积, 背部显现土黄色; 腹鳍继续变长, 胸鳍、臀鳍、尾鳍逐渐丰满增大, 臀鳍开始出现。

出膜后 12 d (图版 II -7): 全长 3.375~3.485 mm, 体色进一步加深, 眼球大无光泽, 心跳变模糊; 尾鳍条清晰, 腹鳍、胸鳍初步形成, 背鳍未形成完全。

出膜后 13 d (图版 II -8): 全长 3.846~3.951 mm, 体长 3.109~3.145 mm, 体高 1.542~1.563 mm, 平均体重 0.002 g, 心跳 105~120 次/min; 脑颅、鱼骨不再清晰, 背部黄色素逐渐堆积, 腹部、头部黑色素堆积, 身体不透明范围加大; 尾鳍条清晰, 腹鳍形成完全, 背鳍、臀鳍、尾鳍、胸鳍继续变大。

2.2.2 稚鱼期 当鳞片开始出现, 标志着鱼苗进入稚鱼期。出膜后 15 d (图版 II -9): 全长 4.511~4.621 mm, 体长 3.2876~3.2952 mm, 体高 1.916~1.945 mm, 平均体重 0.003 g, 鳃盖张合 111~126 次/min; 鱼身体出现鳞片, 体色进一步加深, 呈现土黄色, 此时进入稚鱼期; 鳃盖张合明显, 吻部形成, 眼眶轮廓清晰, 眼球发亮, 转动灵敏, 身体形状变扁圆; 胸鳍、臀鳍、尾鳍继续增大, 背鳍继续变长; 此时口裂长 0.231~0.245 mm, 摄食能力增强。

出膜后 19 d (图版 II -10): 全长 5.718~5.747 mm, 体长 4.137~4.372 mm, 体高 2.112~2.324 mm, 平均体重 0.0037 g, 鳃盖张合 130 次/min, 呈上升趋势; 鳞片还未覆盖全身, 胸鳍发育完全, 臀鳍、尾鳍继续增大, 背鳍变长。

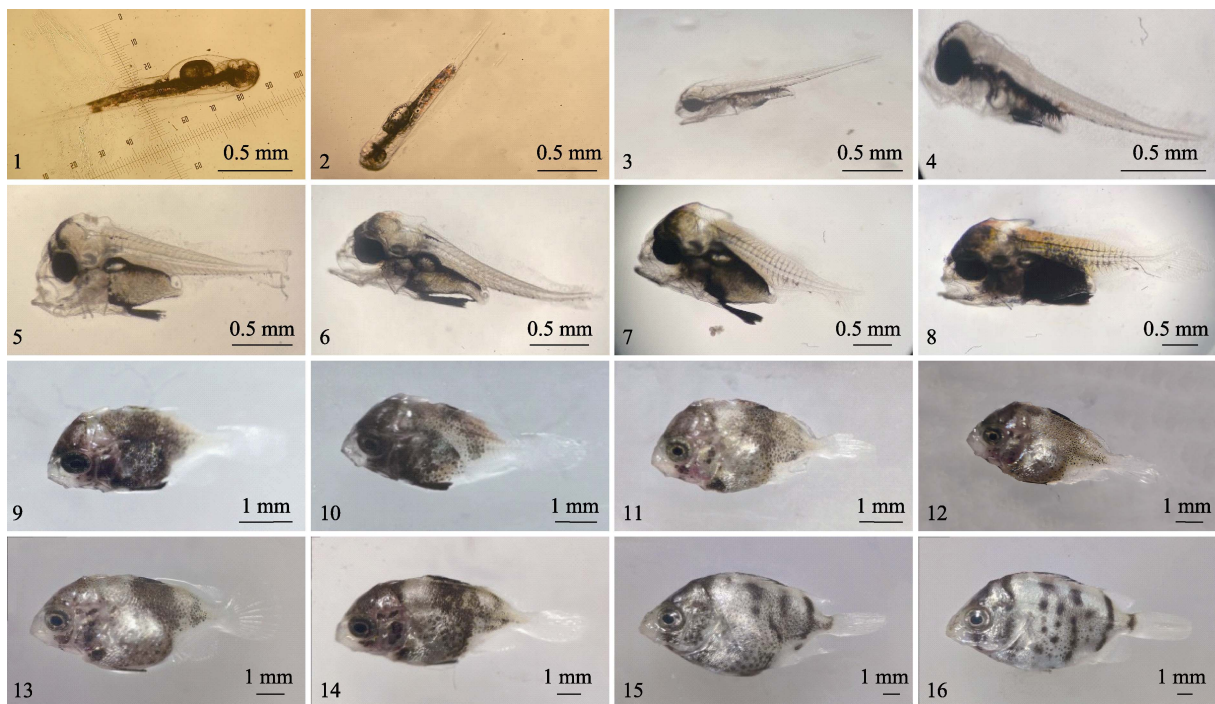
出膜后 23 d (图版 II -11), 全长 5.813~5.991 mm, 体长 4.547~4.791 mm, 体高 2.327~2.594 mm; 背鳍发育完全, 臀鳍、尾鳍继续变大。

出膜后 29 d (图版 II -13): 全长 8.428~8.995 mm, 体长 6.276~6.879 mm, 体高 3.367~3.786 mm, 平均体重 0.02 g, 口裂长 0.758~0.763 mm, 鳃盖张合 152 次/min; 尾鳍、臀鳍发育完全。

2.2.3 幼鱼期 鳞片长齐, 鱼苗进入幼鱼期。出膜后 33 d (图版 II -15): 全长 15.013~15.934 mm, 体长 12.967~12.334 mm, 体高 6.996~7.146 mm, 平均体重 0.053 g, 鳃盖张合 155 次/min; 此时鱼全身被满鳞片, 身体透明特征完全消失, 体色呈现银色, 稚鱼阶段发育完全进入幼鱼期, 其形态和习性均与成鱼相似。

多纹钱蝶鱼在卵黄囊期营养主要用于其生长和代谢^[15]。在开口后从内源性营养物质提供营养转向外源性物质提供营养^[16-17], 但由于游动能力较差, 捕食效率低, 此时生长较慢, 13 d 后个体摄

食能力增强, 生长差异明显增大, 其全长随出膜后天数持续稳步增长(图 1)。在仔稚鱼发育过程中, 色素的变化比较大, 出膜后 1 d 头部及体背黑色素沉积, 并逐渐增多; 5 d 开始鱼背部、头颅处黄色素增多; 在 13 d 之前鱼骨清晰, 心跳跳动明显, 肉眼可见; 15 d 体色加深, 与成鱼相似, 心跳无法看清, 鳃盖张合明显, 身体出现鳞片; 33 d 时, 鱼体基本发育完全, 体色为银色, 与成鱼无异, 全身被鳞, 身体透明特征完全消失。关于鳍的发生, 多纹钱蝶鱼胚后发育最先出现的是胸鳍, 出膜后 1 d 便有形成迹象, 随后第 3 d 出现腹鳍原基, 4 d 时尾鳍扇形轮廓开始形成, 5 d 时开始形成背鳍原基, 6 d 时臀鳍原基出现。鳍的发育完成时间为 13 d 腹鳍发育完全, 19 d 胸鳍发育完全, 23 d 背鳍发育完全, 29 d 尾鳍、臀鳍发育完全。



图版 II 多纹钱蝶鱼胚后发育

1. 出膜后 1 d; 2. 出膜后 2 d; 3. 出膜后 3 d; 4. 出膜后 4 d; 5. 出膜后 5 d; 6. 出膜后 6 d; 7. 出膜后 12 d;
8. 出膜后 13 d; 9. 出膜后 15 d; 10. 出膜后 19 d; 11. 出膜后 23 d; 12. 出膜后 27 d;
13. 出膜后 29 d; 14. 出膜后 31 d; 15. 出膜后 33 d; 16. 出膜后 41 d.

Plate II Post-embryonic development of *Selenotoca multifasciata*

1. 1 day after incubation; 2. 2 days after incubation; 3. 3 days after incubation; 4. 4 days after incubation; 5. 5 days after incubation;
6. 6 days after incubation; 7. 12 days after incubation; 8. 13 days after incubation; 9. 15 days after incubation; 10. 19 days after
incubation; 11. 23 days after incubation; 12. 27 days after incubation; 13. 29 days after incubation;
14. 31 days after incubation; 15. 33 days after incubation; 16. 41 days after incubation.

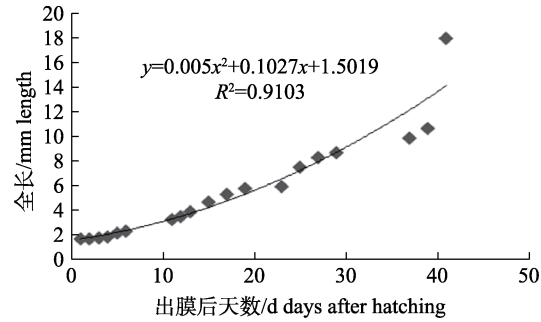


图 1 多纹钱蝶鱼仔稚鱼生长

Fig. 1 Growth of larva and juveniles of *Selenotoca multifasciata*

3 讨论

3.1 多纹钱蝶鱼胚胎发育特点

3.1.1 多纹钱蝶鱼受精卵发育特点 多纹钱蝶鱼受精卵卵膜薄，无黏性，为透明浮性卵，这与黄斑蓝子鱼(*Siganus oramin*)沉性黏性卵不同^[18]，卵的沉浮性与油球有关，油球的主要成分是脂肪，密度小于水，因此具油球的卵子一般是浮性卵^[19-20]。无充气状态下，受精卵集群浮于水体表面，多纹钱蝶鱼胚胎发育分为卵裂期、囊胚期、原肠期、胚体形成期、器官形成期、心跳期、肌肉效应期、出膜期，其发育时序和形态特征符合“卵裂-胚体形成-器官分化-孵化出膜”的顺序。

3.1.2 多纹钱蝶鱼与其他鱼类胚胎发育的比较 多纹钱蝶鱼与金钱鱼卵裂期的各个时期间隔短，到囊胚期间隔时间变长，总体的出膜时间有很大差异^[2,12]。金钱鱼^[2]在 24 ℃、盐度 28 条件下，3 h 完成细胞分裂，6.5 h 进入原肠期，12.5 h 形成胚体，13.5 h 进入器官形成期，用时 28.5 h 出膜；而多纹钱蝶鱼在 24 ℃下受精卵死亡率高，水温(27.0±1.0) ℃、盐度 32，2 h 10 min 完成细胞分裂，4.5 h 进入原肠期，8 h 形成胚体，8.5 h 进入器官形成期，经 18.5 h 出膜(表 2)，较金钱鱼出膜早，这与其为适应生态环境和提高种群繁衍有关。二者胚胎发育过程的区别主要在于器官形成时序不同，金钱鱼依次经历肌肉效应期、心跳期、耳石形成期^[2-12]，而经过观察多纹钱蝶鱼胚胎发育，发现其发育顺序与金钱鱼恰好相反，依次为耳石形成期、心跳期、肌肉效应期，可以此来区分多纹钱蝶鱼和金钱鱼的胚胎。多纹钱蝶鱼受精卵直径 0.600~0.610 mm，

金钱鱼受精卵直径 0.670~0.692 mm，叉尾斗鱼(*Macropodus opercularis*)受精卵直径在 0.612~0.688 mm^[21]，由于多纹钱蝶鱼较金钱鱼、叉尾斗鱼受精卵小，又为浮性卵，自然条件下发育时间长会加大生存风险。其卵裂方式与黑莓鲈(*Pomoxis nigromaculatus*)相同^[22]，均为盘状卵裂。多纹钱蝶鱼的细胞分裂排列整齐，直到多细胞期逐渐紊乱，这与淡水石斑鱼(*Cichlasoma managuense*)的胚胎发育状况不同^[23]，石斑鱼胚胎细胞从第 4 次分裂开始排列趋向紊乱。胚胎尾部先出膜，这在海水鱼中比较常见，如刀鲚(*Coilia nasus*)^[24]、鲈鲤(*Percocypris pingi* (Tchang))^[25]等。多纹钱蝶鱼初孵仔鱼全长 1.350~1.655 mm，与金钱鱼相近。初孵仔鱼与松江鲈(*Trachidermus fasciatus*)相似^[26]，通体透明。

表 2 多纹钱蝶鱼与金钱鱼胚胎发育时间的比较

Tab. 2 Comparison of embryonic development time between *Selenotoca multifasciata* and *Scatophagus argus*

发育时期 development period	多纹钱蝶鱼 <i>Selenotoca multifasciata</i>	金钱鱼 ^[2] <i>Scatophagus argus</i>
2 细胞期 2-cell period	0.5 h	70 min
原肠期 gastrula period	4.5 h	6.5 h
胚体形成期 embryogenesis period	8 h	12.5 h
器官形成期 organogenesis period	8.5 h	13.5 h
破膜期 embryo hatching	18.5 h	28.5 h

注：多纹钱蝶鱼孵化温度(27.0±1.0) ℃，金钱鱼孵化温度 24 ℃。
Note: The incubation temperature of *Selenotoca multifasciata* is (27.0±1.0) ℃. The incubation temperature of *Scatophagus argus* is 24 ℃.

3.1.3 环境因子对多纹钱蝶鱼胚胎发育的影响 经观察发现，发育早期的胚胎对环境变化敏感^[8]，处在原肠期的多纹钱蝶鱼受精卵受影响较大，容易发生死亡，而发育至下一时期的胚胎一般会顺利完成发育直至出膜。水温是影响胚胎发育的一个重要环境因素^[27-28]，过低过高的温度都会降低受精卵的孵化率，高温会使畸形率升高。在适当的温度范围内，受精卵的发育速度与温度呈正相关^[29-30]，温度主要是通过影响动物的新陈代谢来影响胚胎发育的^[31]，一般认为适当的高温会加快胚胎的发育，缩短胚胎发育所用的时间，有关环境因子对多纹钱蝶鱼胚胎发育的影响有待进一步探讨。

3.2 多纹钱蝶鱼胚后发育特点

依据不同发育特点,很多学者对海水鱼类仔、稚、幼鱼时期的划分也不尽相同。对多纹钱蝶鱼仔、稚、幼鱼发育时期的划分尚未见报道。本研究参考林红军等^[15]对黄颡鱼(*Pelteobagrus intermedius*)仔、稚、幼鱼的时期划分方法,并结合本研究对多纹钱蝶鱼仔、稚、幼鱼发育的观察,根据仔鱼卵黄囊被吸收、鱼鳍分化、鳞片出现和全身被鳞等发育特征把多纹钱蝶鱼胚后发育分为仔鱼期、稚鱼期和幼鱼期3个发育时期。从初孵仔鱼至14 d为仔鱼期,卵黄囊被完全吸收,各鳍开始分化;15~32 d为稚鱼期,由鳞片突起,到遍及全身,鳍发育完全,体型类似成鱼;33 d后进入幼鱼期,身体透明特征完全消失,鳞片长齐,具备成鱼的各个特征,行动灵敏。多纹钱蝶鱼发育周期短,与黄斑蓝子鱼(*Siganus oramin*)的胚后发育相似^[18],而同为鲈形目的斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)发育较慢,36 d进入稚鱼期,42 d成为幼鱼^[32]。

多纹钱蝶鱼鱼鳍分化时间较银鲈(*Bidyanus bidyanus*)^[33]、条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)^[34]长,与松江鲈^[26]鱼鳍分化时间没有显著差异,均首先出现胸鳍,后各鳍先后出现并进行分化。鱼类在早期发育阶段通常死亡率极高,本研究开展多纹钱蝶鱼的胚后发育观察,对提高苗种成活率具有重要意义。多纹钱蝶鱼开口时间与其他鲈形目鱼类差异不大,均在出膜后2~4 d内开口。多纹钱蝶鱼出膜后3 d肌节清晰可见,呈“<”形,这与黄斑蓝子鱼^[18]不同,其呈“W”形。

参考文献:

- [1] Luo Z, Xu J, Han J G, et al. Isolation and identification of pathogenetic *Streptococcus iniae* from *Selenotoca multifasciata*[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2012, 31(1): 95-99. [罗璋, 许杰, 韩进刚, 等. 银鼓鱼病原菌(海豚链球菌)的分离与鉴定[J]. 华中农业大学学报, 2012, 31(1): 95-99.]
- [2] Cai Z P, Hu J W, Wang Y. Observing early development of *Scatophagus argus*[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2014, 33(4): 20-25. [蔡泽平, 胡家玮, 王毅. 金钱鱼早期发育的观察[J]. 热带海洋学报, 2014, 33(4): 20-25.]
- [3] Zhang T T, Chen C, Shi Z H, et al. Effects of temperature on the embryonic development and larval activity of *Epinephelus moara*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2016, 37(3): 28-33. [张廷廷, 陈超, 施兆鸿, 等. 温度对云纹石斑鱼(*Epinephelus moara*)胚胎发育和仔鱼活力的影响[J]. 渔业科学进展, 2016, 37(3): 28-33.]
- [4] Ju C X, Li Y, Liu H, et al. Morphological observation on embryonic development of *Amphiprion ocellaris*[J]. Marine Fisheries, 2014, 36(1): 8-15. [鞠晨曦, 李云, 刘红, 等. 眼斑双锯鱼胚胎发育的形态学观察[J]. 海洋渔业, 2014, 36(1): 8-15.]
- [5] Li C, Jiang Z Q, Liu Q K, et al. Embryonic development and temperature effects in fighting fish *Betta splendens*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2011, 26(5): 402-406. [李岑, 姜志强, 刘庆坤, 等. 泰国斗鱼的胚胎发育及温度对胚胎发育的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(5): 402-406.]
- [6] Yan Y J, Wang C W, Shi Y X, et al. Embryonic development of sooty grunter *Hephaestus fuliginosus*[J]. Fisheries Science, 2009, 28(4): 188-191. [闫永健, 王成武, 时永香, 等. 淡水黑鲷胚胎发育初步观察[J]. 水产科学, 2009, 28(4): 188-191.]
- [7] Yu D D, Liu M, Liu H J, et al. The embryonic development of *Gadus macrocephalus* Tilesius[J]. Marine Sciences, 2014, 38(3): 80-86. [于道德, 刘名, 刘洪军, 等. 黄海大头鲈胚胎发育过程[J]. 海洋科学, 2014, 38(3): 80-86.]
- [8] Ma B, Zhang L, Zhang Z Q, et al. Observation of embryonic and larval development of sea bass *Dicentrarchus labrax*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2019, 34(3): 303-309. [马宾, 张磊, 张志强, 等. 欧洲舌齿鲈胚胎发育及仔鱼生长观察[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(3): 303-309.]
- [9] Huang X K, Shan L Z, Yan M C, et al. Embryonic development of *Nibea albiflora* and the effects of temperature and salinity on embryogenesis[J]. Marine Sciences, 2017, 41(7): 44-50. [黄贤克, 单乐州, 闫茂仓, 等. 黄姑鱼胚胎发育及其与温度和盐度的关系[J]. 海洋科学, 2017, 41(7): 44-50.]
- [10] Zhan W, Lou B, Chen R Y, et al. Observation of embryonic, larva and juvenile development of small yellow croaker, *Larimichthys polyactis*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(5): 1033-1039. [詹炜, 楼宝, 陈睿毅, 等. 小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)胚胎发育及仔、稚鱼形态特征观察[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(5): 1033-1039.]
- [11] Luo Z, Zhuo D W. Diagnosis and treatment of streptococcal disease in *Selenotoca multifasciata*[J]. Scientific Fish Farming, 2011(7): 60. [罗璋, 卓德武. 一例银鼓鱼链球菌病的诊治[J]. 科学养鱼, 2011(7): 60.]
- [12] 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. [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.]
- [13] Zhang Y P, Zhang H X, Fu Y L, et al. Study on embryonic development of *Xenocypris davidi* Bleeker[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(16): 174-178. [张燕萍, 章海鑫, 傅义龙, 等. 黄尾鲴的胚胎发育[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(16): 174-178.]
- [14] Gu R B, Xu G C, Wen H B, et al. Embryonic and post-embryonic development of *Paracanthobrama guichenoti*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(3): 414-424. [顾若波, 徐钢春, 闻海波, 等. 似刺鳊鮡的胚胎及胚后发育[J]. 中国水产科学, 2008, 15(3): 414-424.]
- [15] Lin H J, Liu S, Zeng L. Study on artificial insemination and embryonic development of *Pelteobagrus intermedius*[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2019(12): 138-140, 170. [林红军, 刘莎, 曾玲. 黄颡鱼人工授精及胚胎发育研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2019(12): 138-140, 170.]
- [16] Avila E M, Juario J V. Yolk and oil globule utilization and developmental morphology of the digestive tract epithelium in larval rabbitfish, *Siganus guttatus* (Bloch)[J]. Aquaculture, 1987, 65(3-4): 319-331.
- [17] Nie G F, Li J E, Ou Y J, et al. Histological studies on post-embryonic development of the digestive system in larval, juvenile, and young *Liza haematocheila*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(1): 90-103. [聂广锋, 李加儿, 区又君, 等. 梭鱼仔、稚、幼鱼消化系统胚后发育的组织学观察[J]. 中国水产科学, 2016, 23(1): 90-103.]
- [18] Huang X L, Yang Y K, Li T, et al. Morphology and growth of larval, juvenile and young *Siganus oramin*[J]. South China Fisheries Science, 2018, 14(5): 88-94. [黄小林, 杨育凯, 李涛, 等. 黄斑篮子鱼仔、稚、幼鱼形态观察与生长研究[J]. 南方水产科学, 2018, 14(5): 88-94.]
- [19] Ahlstrom E H, Moser H G. Characters useful in identification of pelagic marine fish eggs[J]. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report, 1980, 21(1): 121-131.
- [20] Riis-Vestergaard J. Energy density of marine pelagic fish eggs[J]. Journal of Fish Biology, 2002, 60(6): 1511-1528.
- [21] Zheng W B. Observation on the embryonic and larval development of *Macropodus opercularis* (Linnaeus)[J]. Zoological Research, 1984, 5(3): 261-268, 301. [郑文彪. 叉尾斗鱼的胚胎和幼鱼发育的研究[J]. 动物学研究, 1984, 5(3): 261-268, 301.]
- [22] Zhong Q F. Observation on the embryonic development of *Pomoxis nigromaculatus* and the effect of the water temperature on the embryonic development[J]. Journal of Fujian Fisheries, 2014, 36(5): 333-343. [钟全福. 黑莓鲈胚胎发育观察及温度对胚胎发育的影响[J]. 福建水产, 2014, 36(5): 333-343.]
- [23] He J, Sun X C, Sui D H. Observation of embryonic development of *Cichlasoma managuense*[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2014, 11(29): 38-43, 6. [何杰, 孙兴驰, 隋东海. 淡水石斑鱼胚胎发育观察[J]. 长江大学学报(自科版), 2014, 11(29): 38-43, 6.]
- [24] Shi Y H, Zhang G Y, Zhang H M, et al. Complete artificial propagation and embryonic development of *Coilia nasus*[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2015, 24(1): 36-43. [施永海, 张根玉, 张海明, 等. 刀鲚的全人工繁殖及胚胎发育[J]. 上海海洋大学学报, 2015, 24(1): 36-43.]
- [25] Shen A H, Wang H L, Fu S W, et al. Observation on the embryonic of *Percocypris pingi retrodorsalis*[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014(11): 284-285, 288. [申安华, 王海龙, 符世伟, 等. 后背鲢鱼胚胎发育研究[J]. 现代农业科技, 2014(11): 284-285, 288.]
- [26] Zhao Y J, Zhang M Z, Wen H S. Morphologic observation on embryonic and larval development of *Trachidermus fasciatus*[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2012(19): 256-259. [赵一杰, 张美昭, 温海深. 松江鲈鱼胚胎及仔稚鱼形态观察[J]. 现代农业科技, 2012(19): 256-259.]
- [27] Wang L, Shi W R, Song D Y, et al. Embryonic and post-embryonic development of grass goldfish *Carassius auratus*[J]. Fisheries Science, 2018, 37(6): 742-748. [王磊, 施文瑞, 宋东莹, 等. 草金鱼胚胎与胚后发育观察[J]. 水产科学, 2018, 37(6): 742-748.]
- [28] Wang Y H, Liu H J, Yu D D, et al. Observation of embryonic development of marine medaka *Oryzias melastigma*[J]. Marine Sciences, 2017, 41(6): 18-25. [王友红, 刘洪军, 于道德, 等. 海水青鳞胚胎发育的观察[J]. 海洋科学, 2017, 41(6): 18-25.]
- [29] Lai J S, Du J, Zhao G, et al. Embryonic and postembryonic development of *Percocypris pingi pingi* (Tchang)[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27(3): 1326-1331. [赖见生, 杜军, 赵刚, 等. 鲢鲤胚胎及胚后发育[J]. 西南农业学报, 2014, 27(3): 1326-1331.]
- [30] Chai X J, Sun M, Xu Y J. Effects of temperature and salinity on embryonic development of *Nibea japonica*[J]. South China Fisheries Science, 2011, 7(5): 43-49. [柴学军, 孙敏, 许源剑. 温度和盐度对日本黄姑鱼胚胎发育的影响[J]. 南方水产科学, 2011, 7(5): 43-49.]
- [31] Chai X J, Zhu Y H, Wang Y B, et al. Study on the embryonic development of *Trichiurus lepturus* in the East China Sea[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2015, 34(5): 429-432. [柴学军, 朱云海, 王跃斌, 等. 东海

- 带鱼的胚胎发育研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2015, 34(5): 429-432.]
- [32] Zhang H F, Liu X C, Liu F Y Z, et al. Embryonic development, morphological development of larva, juvenile and young fish of *Epinephelus coioides*[J]. 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[J]. 中国水产科学, 2006, 13(5): 689-699.]
- [33] Li H S, Wu G M, Fan Y, et al. Observation on embryonic and larval development of *Bidyanus bidyanus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2000, 7(2): 5-9. [李恒颂, 邬国民, 范阳, 等. 银鲈胚胎和仔鱼的发育[J]. 中国水产科学, 2000, 7(2): 5-9.]
- [34] Chang K M, Mao J P, Wu J F, et al. Study on the embryo & larva fish development of *Oplegnathus fasciatus*[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(4): 4401-4405. [常抗美, 毛建平, 吴剑锋, 等. 条石鲷胚胎及仔稚鱼的发育[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(4): 4401-4405.]

Embryonic and post-embryonic development of *Selenotoca multifasciata*

LIU Jianyi^{1,2,3,4}, LI Qi^{1,2}, SUN Yanqiu^{1,2}, ZHUANG Ping^{1,2,3,4}, FENG Guangpeng^{1,2,3,4}, ZOU Xiong¹, ZHAO Feng^{1,2,3,4}, YU Yanfang^{1,2}, SUN Xuena^{1,2}, YANG Jun^{1,2}, WANG Yu^{1,3,4}, HUANG Xiaorong^{1,2,3,4}

1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;
2. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
3. Key Scientific Observing and Experimental Station of Fisheries Resource and Environment in the Yangtze Estuary and East China Sea, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 200090, China;
4. Engineering Research Center of Fisheries Stock Enhancement and Habitat Restoration of the Yangtze Estuary, Shanghai 200090, China

Abstract: To establish artificial breeding technology and provide the scientific basis for the establishment of productive seedling and management technologies for *Selenotoca multifasciata*, their fertilized eggs were obtained by artificially-induced spawning. The whole process of embryo and postembryonic development was continuously observed, photographed, and measured using morphological and ecological research. The results showed that under an incubation temperature of $(27.0 \pm 1.0)^\circ\text{C}$ and salinity of 32, the membrane of *Selenotoca multifasciata* was released 18 h and 20 min after the normal development of fertilized eggs. After fertilization, it entered the blastocyst stage 3 h after fertilization, gastrula stage 4.5 h later, embryo body formation stage 8 h later, and organ formation stage 8.5 h later. The organ formation was in the order of eye vesicle formation period, tail vesicle period, myomere appearance, vesicle formation period, otocyst period, tail bud period, crystal stage of eyes, tail fin rudiment, and appearance of statolith. Heart beating occurred 16.5 h later, muscle effects appeared after 17.5 h, and the membrane emerged after 18.5 h. Post-embryonic development can be divided into the larval stage, juvenile stage, and juvenile stage. The total length of newly hatched larvae was 1583.16–1655.09 μm . At 26°C , the yolk sac was completely absorbed and completely disappeared after 2 d of membrane emergence. After 3 d of continuous cultivation, the length of the mouth fissure was 265–280 μm . After 15 d of continuous cultivation, the body color of the fish was obviously deepened, and the fish entered the juvenile stage. After 19 d of continuous cultivation, the pectoral fins of the fish were fully developed; after 23 d of continuous cultivation, the dorsal fin of the fish was fully developed. After 29 d of continuous cultivation, the caudal and gluteal fins of the fish were fully developed; after 33 d of cultivation, the scales on the fish body basically grew out, the body was no longer transparent, and the larvae were 15.625–15.647 mm in length, 12.013–12.234 mm in body length, and 0.045–0.059 g in weight, with a heart rate of 150–159 beats/min.

Key words: *Selenotoca multifasciata*; embryonic development; post-embryonic development; artificial breeding

Corresponding author: LIU Jianyi. E-mail: liujy@ecs.f.ac.cn