

引用格式:

柯伟清, 刘至治, 钟英斌, 李晨虹, 刘志伟. 海南新沙塘鳢的繁殖和胚胎发育[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(1): 63–70.

KE W Q, LIU Z Z, ZHONG Y B, LI C H, LIU Z W. Reproduction and embryonic development of *Neodontobutis hainanensis*[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2024, 50(1): 63–70.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



海南新沙塘鳢的繁殖和胚胎发育

柯伟清^{1,2}, 刘至治^{1,2}, 钟英斌^{3,4}, 李晨虹⁵, 刘志伟^{1,2*}

(1.上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 2.上海海洋大学上海市水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306; 3.苏州大学苏州医学院基础医学与生物科学学院, 江苏 苏州 215123; 4.江苏省泥鳅遗传与育种重点实验室, 江苏 苏州 215123; 5.上海海洋大学环境 DNA 技术与水生态健康评估工程中心, 上海 201306)

摘要: 为探究海南新沙塘鳢(*Neodontobutis hainanensis*)繁殖和胚胎发育的特性, 观察并记录 10 对人工繁育的海南新沙塘鳢的繁殖周期, 采用显微镜观察其胚胎发育过程及其形态变化。结果显示: 在 28 °C 水温下, 人工繁育的海南新沙塘鳢约 6 月龄时达到性成熟, 能够连续多次产卵, 繁殖周期约 5~9 d; 在交配前后 1 d 的时间里, 雄性海南新沙塘鳢出现体色(特别是鳃部)变黑的现象; 海南新沙塘鳢受精卵呈椭圆形, 其一端具黏性附着细丝; 在 (20±2) °C 水温下, 其胚胎发育历时约 157 h, 可分为受精卵、卵裂期、囊胚期、原肠期、神经胚期、器官形成期、肌肉效应期和孵化出膜期 8 个时期, 分别历时 50 min、4 h 30 min、6 h 40 min、5 h、2 h、16 h、110 h、12 h; 在胚胎发育过程中, 其卵黄囊上始终出现油球。海南新沙塘鳢的繁殖和胚胎发育特征与其他塘鳢科鱼类相似, 但在器官发育时序上存在差异。

关键词: 海南新沙塘鳢; 胚胎发育; 沙塘鳢科

中图分类号: Q949.481

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2024)01-0063-08

Reproduction and embryonic development of *Neodontobutis hainanensis*

KE Weiqing^{1,2}, LIU Zhizhi^{1,2}, ZHONG Yingbin^{3,4}, LI Chenhong⁵, LIU Zhiwei^{1,2*}

(1.National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2.Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3.School of Biology and Basic Medical Sciences, Suzhou Medical College of Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215123, China; 4.Key Laboratory of Loach Genetics and Breeding of Jiangsu Province, Suzhou, Jiangsu 215123, China; 5.Engineering Research Center of Environmental DNA and Ecological Water Health Assessment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to explore the characteristics of reproduction and embryonic development of *Neodontobutis hainanensis* and provide data basis for its biological research, we recorded and analyzed the reproductive cycle, the embryonic development process and the morphological changes via microscopy in 10 pairs of artificially bred *Neodontobutis hainanensis*. The results show that, under the temperature of 28 °C, the artificially bred *Neodontobutis hainanensis* reached sexual maturity at about 6 months of age, when it could lay eggs continuously with a reproductive cycle of about 5-9 days. About one day before and after mating, the body color, especially the gills, of the male *Neodontobutis hainanensis* will turn black. The fertilized egg of *Neodontobutis hainanensis* is oval in shape and sticky at one end. Under the temperature of (20±2) °C, the embryonic development lasts about 157 h, which is divides into 8 stages: fertilized egg, cleavage stage, blastocyst stage, gastrula stage, neurula stage, organogenesis stage, muscle response stage and hatching stage, which lasts 50 min, 4 h 30 min, 6 h 40 min, 5 h, 2 h, 16 h, 110 h and 12 h, respectively; During embryonic development, oil globules always appear on the yolk sac. In conclusion, the reproductive and embryonic development characteristics of *Neodontobutis hainanensis* are similar

收稿日期: 2023-02-05

修回日期: 2023-11-01

基金项目: 江苏省泥鳅遗传与育种重点实验室开放课题(KJS2201); 上海市教委创新项目(13YZ094); 上海市科技兴农项目(2021-02-08-00-12-F00784)

作者简介: 柯伟清(1997—), 女, 广东汕头人, 硕士研究生, 主要从事鱼类发育和分子生物学研究, 943389067@qq.com; *通信作者, 刘志伟, 博士, 主要从事动物遗传学和发育生物学研究, zwliu@shou.edu.cn

to those of other Odontobutidae, but there are some differences in the timing of organ development.

Keywords: *Neodontobutis hainanensis*; embryonic development; Odontobutidae

沙塘鳢科鱼类是东亚及东南亚特有的中、小型溪流底栖性肉食性鱼类,广泛分布于中国东部各省市水域^[1]。沙塘鳢科常见的鱼类有葛氏鲈塘鳢(*Perccottus glenii*)^[2]、河川沙塘鳢(*Odontobutis potamophila*)、海丰沙塘鳢(*Odontobutis haifengensis*)^[3]、小黄鲈鱼(*Micropercops swinhonis*)^[4]、鸭绿沙塘鳢(*Odontobutis yaluensis*)^[5]等。2004年,鸭绿沙塘鳢和海丰沙塘鳢被列入《中国物种红色名录》;2010年,河川沙塘鳢被列入《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》^[6]。大多数沙塘鳢科鱼类性成熟时间较长,成鱼体型较大,体色较深,多集中于4—6月产卵^[7]。有关沙塘鳢科鱼类的研究多集中于生境调查^[8]、繁殖生物学^[9]、养殖技术、分子克隆^[10]等领域。

海南新沙塘鳢(*Neodontobutis hainanensis*)是虾虎鱼目(Gobiiformes)沙塘鳢科(Odontobutidae)新沙塘鳢属(*Neodontobutis*)的暖水性淡水鱼类^[11],主要分布于珠江水系和海南各水系,为海南特有种。该鱼个体小,体长为40~60 mm,游泳性能较差,无食用价值;成鱼主要以水生昆虫、底栖甲壳类为食。2004年被列入《中国物种红色名录》,属于易危物种。李鸿杰^[12]通过基因富集和高通量测序构建系统发育树,将沙塘鳢科分为2大支,其中新沙塘鳢属与鲈塘鳢属为姐妹群,与沙塘鳢属亲缘关系较近,归为1支。LYU等^[13]通过线粒体基因组和重建系统发育分析,认为海南新沙塘鳢与葛氏鲈塘鳢形成姐妹株。

笔者从海南陵水采集海南新沙塘鳢幼鱼,养殖至性成熟后通过繁殖获得交配亲本,观察记录海南新沙塘鳢的繁殖和胚胎发育过程,了解胚胎发育各阶段的形态特点,以期为海南新沙塘鳢的生物学研究打下基础。

1 材料与方 法

1.1 材 料

自海南陵水采集6条海南新沙塘鳢幼鱼,于上海海洋大学28℃水循环系统中养殖至成鱼。将成鱼交配的后代鱼卵,先于水温(20±2)℃充氧水中孵化,1个月后再转移至28℃水循环系统中养殖,作为繁殖后代的亲本。仔鱼开口后早晚各投喂1次活卤虫。

1.2 方 法

将水循环系统中约6月龄的海南新沙塘鳢以腹部是否圆鼓为特征区分雌雄。选择雌、雄各1尾鱼作为1组,观察能否进行交配并产卵。选取能够交配并产卵的10组,编号1~10,记录每组鱼的产卵时间及间隔。将鱼卵置于(20±2)℃充氧水中孵化。在Leica M205体视显微镜下观察受精卵的发育过程并拍照记录。

2 结果与分析

2.1 海南新沙塘鳢的繁殖特性

根据海南新沙塘鳢产卵日期,计算每次产卵的时间间隔并绘制繁殖周期图。据统计,10个交配组共有47次交配成功,获得37个繁殖周期,每组均有4次或4次以上的交配,即每组都有3个或3个以上的繁殖周期。结果表明,繁殖周期为5 d的占总数的29.7%(11/37),繁殖周期为9 d的占24.3%(9/37),第3、5、6、7、8、9、10组的所有繁殖周期均维持在5~9 d,有的交配组如第1组的第1个繁殖周期只有4 d,第2组的第4个繁殖周期为10 d,第4组的第4个繁殖周期达到了13 d,这可能是由于每组的海南新沙塘鳢个体间的差异、摄入食物的能力、人工繁育过程中人为干扰等因素造成。故海南新沙塘鳢的繁殖周期可认定为5~9 d。

观察发现,海南新沙塘鳢交配的前后1 d,雄鱼会出现体色变黑的现象,其腮部尤为明显;雌鱼体色较透明,腹部圆滚,还可以分辨出腹部略黄。交配前6 h左右,雄鱼会寻觅合适的交配和产卵场所,躲避至陶瓷罐中或者瓦片上,随后通过不断摆动胸鳍和尾鳍求偶。待雌鱼进入陶瓷罐或者瓦片后,雌鱼和雄鱼会贴在一起,通过雄鱼不断地摆动胸鳍和尾鳍刺激雌鱼产卵,使得卵排出并一端粘附在陶瓷罐或者瓦片上。雌鱼产卵后离开,雄鱼则附着在卵上进行受精。受精结束后,雌鱼离开产卵场所,而雄鱼留下护卵,同时偶尔摆动胸鳍,使得受精卵能够进行有效呼吸。

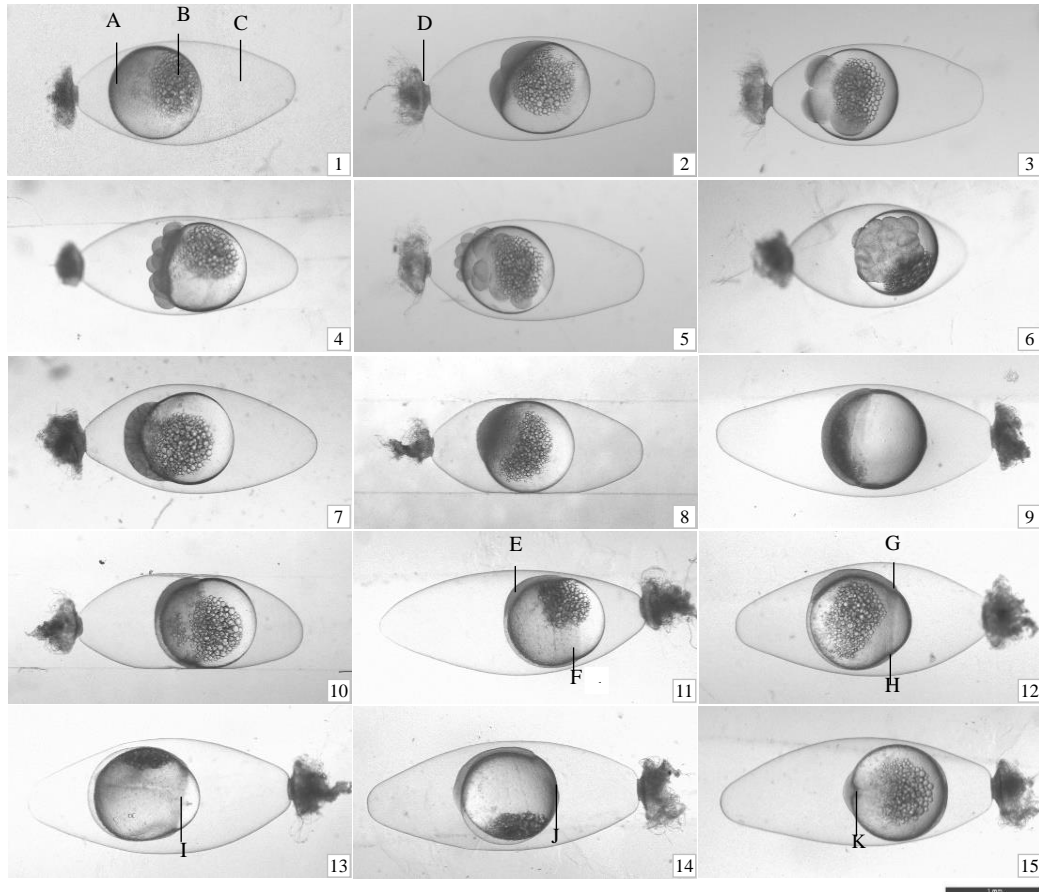
2.2 海南新沙塘鳢的胚胎发育

在(20±2)℃水温下,海南新沙塘鳢胚胎发育可划分为受精卵、卵裂期、囊胚期、原肠期、神经胚

期、器官形成期、肌肉效应期和出膜期等 8 个连续发育阶段, 共历时约 157 h。

受精后约 10 min, 受精膜与卵黄体之间的空隙形成卵周间隙, 受精卵最终呈椭圆形。外周细胞质

向动物极移动, 形成一隆起原生质帽即胚盘(图 1-1)。卵黄中富含油滴并移向植物极。卵的一端带有黏性附着细丝能够黏附于巢穴壁上, 从而使卵一端悬浮于水中。50 min 后受精卵进入卵裂期。



1 1 细胞期; 2 2 细胞期; 3 4 细胞期; 4 8 细胞期; 5 16 细胞期; 6 32 细胞期; 7 桑葚期; 8 囊胚早期; 9 囊胚晚期; 10 原肠早期; 11 原肠中期; 12 原肠晚期; 13 原肠晚期(背面); 14 神经胚期; 15 神经胚期(背面)。

A 胚盘; B 油滴; C 卵周间隙; D 黏附性附着丝; E 胚盾; F 胚环; G 腹唇; H 卵黄栓; I 背唇; J 胚孔; K 神经板。

图1 海南新沙塘鳢的受精卵期至神经胚期的发育

Fig.1 Fertilized egg stage to neurula stage of *Neodontobutis hainanensis*

进入卵裂期后, 胚盘细胞进行第 1 次经裂, 分成 2 个大小相等的分裂球(图 1-2)。1 h 20 min 后, 分裂成 2×2 形式的 4 个分裂球(图 1-3)。2 h 22 min 后, 分裂成 2×4 形式排列的 8 个分裂球(图 1-4)。3 h 后, 8 个分裂球再分为 16 个分裂球, 以 4×4 的形式排列(图 1-5)。以上分裂均为经裂, 且每次分裂面都与上一次分裂面垂直。受精后 3 h 35 min, 第 5 次经裂会伴有纬裂, 形成的 32 个分裂球由于分裂速率不同而大小不一(图 1-6)。随着分裂球层数增多, 分裂球越来越小, 胚盘中间部分的细胞分裂速率较快, 受精后 4 h 10 min, 胚盘呈桑葚状, 胚胎发育进入桑葚期(图 1-7)。卵裂期总历时约为 4 h 30 min, 胚胎随后进入囊胚期。

胚盘细胞继续分裂, 经裂和纬裂同时进行, 分

裂球层数增多, 分裂球数量也成倍增多, 同时体积减小, 细胞间的界限模糊, 呈一隆起的半球状细胞团, 形成盘装囊胚, 此时为受精后 5 h 20 min, 胚胎发育为囊胚早期(图 1-8)。受精后 11 h 左右, 囊胚层变扁, 进入囊胚晚期, 此时胚盘细胞下包速率大于增生速率, 使细胞团开始下包, 下包至 30% 左右, 原肠作用即将开始(图 1-9), 此时整个囊胚期总历时约 6 h 40 min。

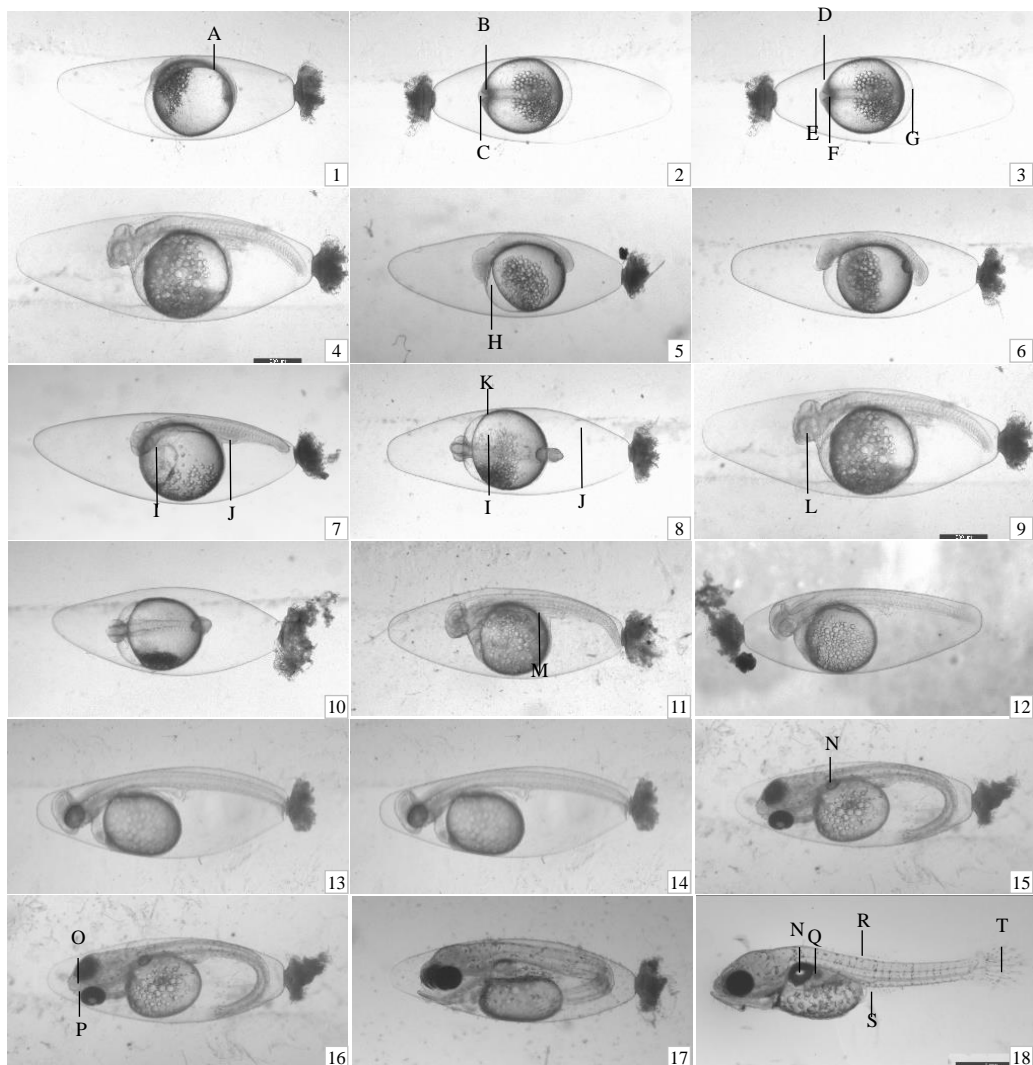
受精后 12 h, 胚胎发育进入原肠早期。此时胚盘细胞有规律地迁移、排列和分化, 其增生速率超过下包速率, 且由于卵黄的阻碍, 胚盘周缘细胞内卷而使胚盘边缘形成一明显增厚的环带, 即胚环(图 1-10)。受精后 14 h, 胚盘细胞下包至卵黄约一半, 胚环一侧隆起形成胚盾, 胚盾处内卷边缘为背唇(图

1-11、图 1-12),其对方的胚环边缘为腹唇(图 1-13)。背唇标志胚胎两侧对称显现。受精后 16 h, 胚盘下包 95 %时进入神经胚期, 此时胚孔逐渐闭合。原肠期总历时 5 h 左右。

受精后 17 h, 随着胚胎的发育, 当胚盾继续伸长, 胚盾发展形成神经板, 神经索隆起, 使胚体呈“C”字形。此时胚孔完全关闭。胚体与卵黄囊相连的前方形成一层透明的膜, 构成围心腔。油滴开始移动至围心腔一侧(图 1-14、图 1-15)。这一阶段为神经胚期, 经 2 h 左右完成, 随即进入器官形成期。

受精后 19 h, 胚胎发育整体进入器官形成期。胚体中部出现 2 个肌节, 此时为肌节出现期(图 2-1), 胚体前端膨大出现脑原基和眼原肌, 油滴集

中于围心腔一侧(图 2-2)。再过 1 h 左右为眼囊出现期, 此时肌节逐渐增加, 脑原基分化出前脑基、中脑基、后脑基, 前脑两侧出现眼囊, 呈椭圆形结构, 同时耳囊雏形出现(图 2-3、图 2-4)。受精后 25 h 进入尾芽期, 肌节从胚体中央向尾部排列, 体轴不断延长, 尾芽细胞分裂旺盛, 使尾芽从卵黄上游离(图 2-5、图 2-6)。受精后 33 h 进入心脏出现期, 围心腔中形成透明管状的心脏原基(图 3-1); 眼囊中下陷形成视杯和晶体。触碰卵时会有胚体抽动。每个耳囊中出现 2 粒前后排列的耳石。脑轮廓逐渐清晰, 胚体与卵黄囊相连的后端分化出圆球状的消化道原基。整个器官形成期历时共约 16 h, 随后胚胎进入肌肉效应期。



1 肌节出现期; 2 肌节出现期; 3 眼囊出现期; 4 眼囊出现期; 5 尾芽期; 6 尾芽期; 7 心脏出现期; 8 心脏跳动期; 9 脑分化期; 10 心脏发育期; 11 消化道发育期; 12 色素形成期; 13 血液循环期; 14 鳃期; 15 鳃出现期; 16 肝形成期; 17 出膜期; 18 鳃充气期。

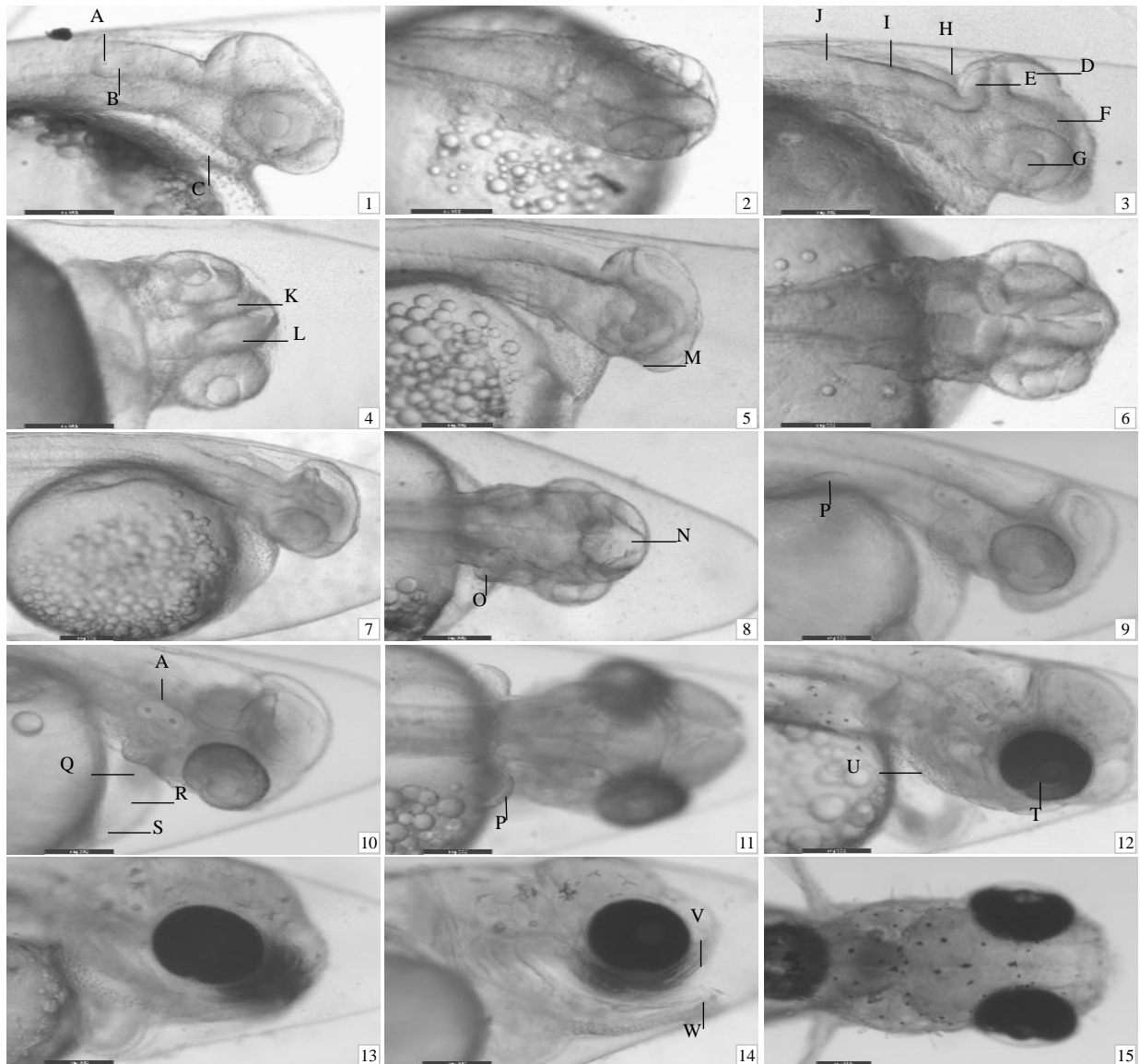
A 肌节; B 眼原肌; C 脑原肌; D 后脑; E 前脑; F 眼囊; G 尾芽; H 围心腔; I 心脏原基; J 消化道原基; K 耳石; L 视杯; M 消化道; N 鳃; O 上颚; P 下颚; Q 肝; R 背鳍; S 臀鳍; T 尾鳍。

图2 海南新沙塘鳢的器官形成期至出膜期的发育

Fig. 2 Organogenesis stage to hatching stage of *Neodontobutis hainanensis*

受精后 35 h 进入肌肉效应期。胚体开始间歇性抽动, 程度逐渐剧烈(图 2-8), 心脏开始有规律的搏动, 将这一小段时间称为心脏跳动期(图 3-1、图 3-2), 消化道原基逐渐由圆球形发育成长条型(图 4-1、图 4-2)。4 h 后进入脑分化期, 胚胎头部分化出五脑室, 即大脑、中脑、小脑、延脑、间脑(图 2-9、图 3-3、图 3-4)。再过 5 h 左右, 胚胎体轴整体增长(图 2-10), 左右脑室之间出现空隙形成松果体, 眼囊前方出现 1 对嗅囊并在后期逐渐变小, 心脏发育成动脉球、心室, 由后向前交替收缩, 形成规律的搏动, 故此时亦称为心脏发育期, 同时心脏呈淡

红色(图 3-5、图 3-6), 尾芽部位开始尾鳍的发育(图 4-7)。再过 3 h 左右, 后消化道从长条型发育成直管状且末端稍微膨大(图 4-3), 此时为消化道发育期, 这一时期中胚体和卵黄中都有透明的血液循环(图 2-11), 头部两侧鳃裂出现(图 3-7、图 3-8)。受精后 53 h, 黑色素出现于视杯周缘一圈, 胚体由透明变成淡黄色, 这一时期称为色素形成期, 此时心脏发育成心耳, 心室, 动脉球, 心脏红色加深, 但血细胞较少, 血液循环还暂为透明, 同时耳石逐渐增大并在后期上移至头部(图 2-12、图 3-9), 消化道尾端膨大并与卵黄囊分离, 并且含黄色内含物



1、2 心脏跳动期; 3、4 脑分化期; 5、6 心脏发育期; 7、8 消化道发育期; 9 色素形成期; 10 血液循环期; 11 血液循环期; 12 鳃动期; 13 鳃出现期; 14 肝形成期; 15 出膜期。

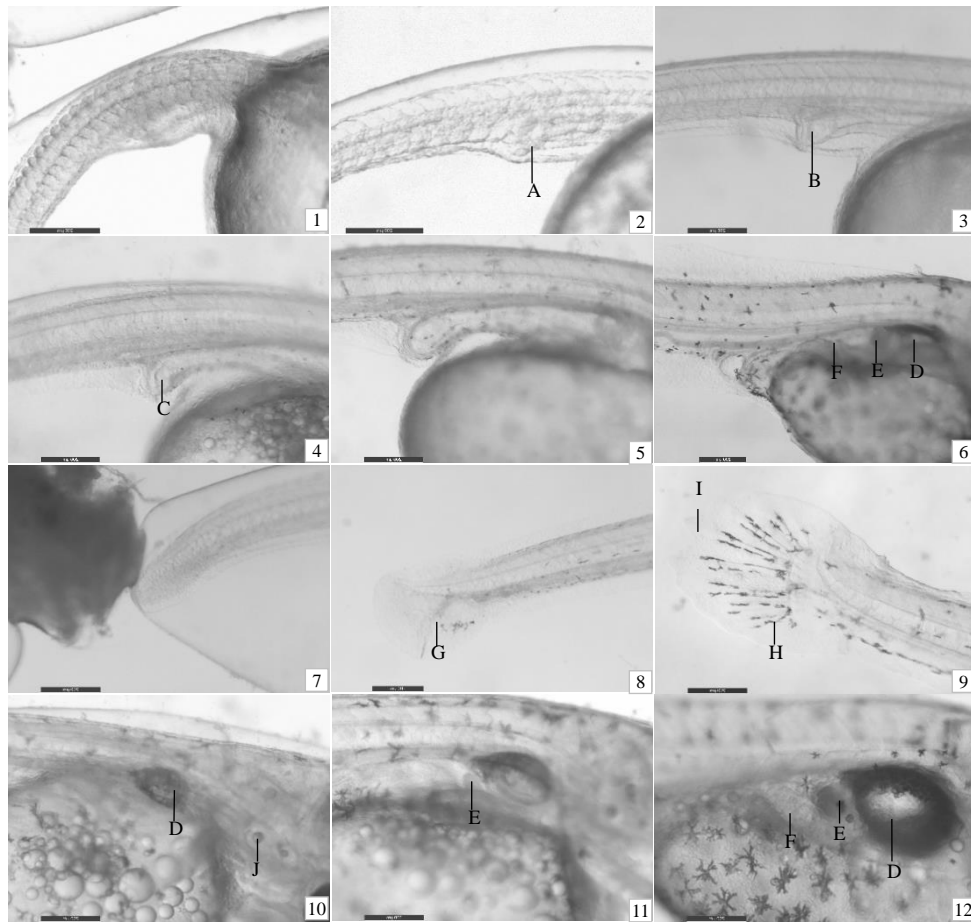
A 耳石; B 耳囊; C 心脏原基; D 中脑; E 小脑; F 间脑; G 晶体; H 第四胸室; I 延脑; J 神经索; K 右脑; L 左脑; M 嗅囊; N 松果体; O 鳃; P 胸鳍; Q 心耳; R 心室; S 动脉球; T 角膜; U 鳃片; V 上颌; W 下颌。

图3 海南新沙塘鳢的头部发育

Fig.3 Development of head of *Neodontobutis hainanensis*

(图4-4)。再继续发育6h,体节和卵黄中出现红色血液循环,即胚胎发育进入血液循环期(图2-13),靠近头部的体轴两侧出现透明的小三角状胸鳍(图3-10、图3-11)。在受精后99h左右,鳃部开始张合运动并有红色血液流动,这一时期称为鳃动期;同时躯体和卵黄中有少许的星状黑色素沉淀(图2-14、图3-12),消化道弯曲成3段并开始蠕动(图4-5),尾鳍逐渐发育成扇形,其中尾脉开始形成并有血液流动(图4-8)。受精后112h进入鳔出现期,此时鳔形成但尚未充气(图2-15、图4-10),胚体和

卵黄中星状黑色素逐渐增多,胚体黄色加深,上、下颌发育,随时间推移而后口张开作张合运动,同时心脏位置逐渐上移至躯体内(图3-13)。受精后133h,鳔下方有绛红色的肝形成,即为肝形成期,背鳍原基发育成背鳍,臀鳍原基发育成臀鳍,其二者的鳍条尚未分化,卵黄逐渐变扁,消化道逐渐变细(图2-16、图4-11)。上下颌的张合运动幅度增大(图3-14),在后续发育中肝越来越大,红色逐渐加深。整个肌肉效应期大约历时110h,随后进入出膜期。



1 心脏出现期; 2 心脏跳动期; 3 消化道发育期; 4 色素形成期; 5 鳃动期; 6 出膜期; 7 心脏发育期; 8 鳃动期; 9 出膜期; 10 鳔出现期; 11 肝形成期; 12 鳔充气期。

A 消化道原基; B 消化道; C 黄色内含物; D 鳔; E 肝; F 肠; G 尾脉; H 血液; I 尾鳍; J 耳石。

图4 海南新沙塘鳢的消化道、尾部、鳔和肝脏的发育

Fig. 4 Development of the digestive tract, tail, swim bladder and liver of *Neodontobutis hainanensis*

受精后145h左右,胚体在卵膜内剧烈抽动,先以头部破膜,再由尾部不断摆动,从而孵化出膜(图2-17),此时多数胚体的器官发育完善,如鳔和肝的形成,头部、眼部以及消化道发育完全(图3-15、图4-6、图4-9),这一时期称为出膜前期。出膜后的仔鱼卵黄囊呈椭圆形,会随着发育时间而逐渐变扁和缩小。油滴则融合成些许大油球分散在卵黄囊前端。此

时刚出膜的仔鱼多沉于水底,再过12h进入鳔充气期,待鳔充气后会出现快速的窜游现象(图2-18、图4-12)。胚胎完成整个出膜期的过程大约需要12h。

2.3 与塘鳢科其他鱼类胚胎发育的比较

海南新沙塘鳢的胚胎发育与云斑尖塘鳢、线纹尖塘鳢、河川沙塘鳢、葛氏鲈塘鳢等塘鳢科鱼类略

有差异,主要体现在器官发育的时序及胚胎发育时间长短上(表 1)。例如海南新沙塘鳢出膜之前,就有黑色素、消化道、胸鳍、尾鳍、鳔的发育,而线纹尖塘鳢和云斑尖塘鳢中都在出膜后才开始发育;海南新沙塘鳢的视觉、听觉和嗅觉器官在出膜前已发育完全,但葛氏鲈塘鳢尚未见相关报道;与河川沙塘鳢相比,海南新沙塘鳢的消化道发育先于视杯和晶体,心脏原基的出现早于五脑室的分化,其肝的

发生发育早于鳔的形成。比较不同温度条件下,河川沙塘鳢、云斑尖塘鳢和葛氏鲈塘鳢的胚胎发育历程,发现胚胎发育所处的环境温度升高,则胚胎发育加快,孵化时间缩短。这一特性提示在海南新沙塘鳢未来的繁殖培育过程中可以通过适当提高水温来缩短胚胎发育时间,节约种质资源繁育和保存时间。

表 1 几种塘鳢科鱼类胚胎发育的比较

Table 1 Comparison of embryonic development in several species of Eleotridae					
沙塘鳢	水温/°C	发育时间/h	出膜前器官发育顺序	出膜后器官发育	文献来源
海南新沙塘鳢	20±2	157	脑原基、眼原基、耳囊、消化道、视杯、晶体耳石、心脏原基、五脑室、鳃、黑色素、血液循环、胸鳍、嗅囊、鳔、口裂、臀鳍、背鳍、肝	鳔充气	
河川沙塘鳢	21±1	502	脑原基、眼原基、耳囊、视杯、晶体、耳石、五脑室、心脏原基、黑色素、胸鳍、鳃裂、消化道、血岛、血液循环、肝脏、肝脏、口裂、鳔		[14]
	20.5~24.5	386	脑原基、眼原基、耳囊、视杯、晶体、耳石、五脑室、心脏原基、黑色素、胸鳍、鳃裂、消化道、血岛、血液循环、肝脏、肝脏、口裂、鳔		[15]
线纹尖塘鳢	28~29	70	脑泡、眼原基、耳囊、晶体、耳石、嗅囊、心脏原基、血液循环	黑色素、消化道、口裂、胸鳍、尾鳍、鳔	[16]
云斑尖塘鳢	25.6~26.8	91.6	脑原基、眼原基、耳囊、晶体、嗅囊、心脏原基	黑色素、消化道、血液循环、胸	[17]
	28	80.5		鳍、尾鳍、鳔、上下颌、肾脏、	[18]
葛氏鲈塘鳢	18.5~21.5	127.3	脑泡、眼囊、嗅板、心脏、血液循环		[19]
	15~17	140			[20]

3 结论与讨论

观察发现海南新沙塘鳢雄鱼在交配期间会寻觅适合的鱼巢躲藏,通过不停摆动胸鳍来吸引雌鱼入巢产卵,此后由雄鱼护卵。这一生活习性与河川沙塘鳢^[21]、鸭绿沙塘鳢^[22]、六线鱼属(*Hexagrammos*)鱼类^[23]的繁殖行为相似。交配前后 1 d,海南新沙塘鳢雄鱼的鳃部甚至全身会变黑,这一现象在其他塘鳢科类鱼中未见报道。目前主要是依靠肉眼观察雌鱼在性成熟后腹部较雄鱼圆鼓来判定鱼的性别,但该判断方法可能会失误,所以交配前后 1 d 的雄鱼鳃部甚至体色变黑这一特征,可用于区分性成熟后的雌鱼和雄鱼。

在 (20±2) °C 水温下,海南新沙塘鳢胚胎发育可划分为受精卵、卵裂期、囊胚期、原肠期、神经胚期、器官形成期、肌肉效应期和出膜期共 8 个连续发育阶段,分别历时为 50 min、4 h 30 min、6 h 40 min、5 h、2 h、16 h、110 h、12 h,共历时约 157 h。海南新沙塘鳢受精卵形成后,卵膜与卵黄间形成卵周间隙,最终呈椭圆形。卵膜表面附有黏性附着细丝,使其一端黏附在鱼巢上面。其黏性可以防止鱼卵被水流冲散,亦助于亲鱼护卵,从而提高存活率。这与河川沙塘鳢、葛氏鲈塘鳢等沙塘鳢科鱼类相

似,与线纹尖塘鳢、云斑尖塘鳢等塘鳢科其他属鱼类的发育相似。在鲈形目中,虎鱼科(*Gobiidae*)的大鳍弹涂鱼(*Periophthalmus magnuspinnatus*)和大弹涂鱼(*Periophthalmus modestus*)^[24-25]、雀鲷科(*Pomacentridae*)的白条双锯鱼(*Amphiprion frenatus*)^[26]、透红小丑鱼(*Premnas biaculeatus*)^[27]、眼斑双锯鱼(*Amphiprion ocellaris*)^[28]等在胚胎发育过程中也有黏附性附着丝的出现,但鲈科(*Serranidae*)中的棕点石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*)^[29]、鞍带石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*)^[30]和豹纹棘鲈(*Plectropomus leopardus Lac ép àle*)^[31]等在胚胎发育过程中并无黏附性附着丝。沙塘鳢科、虎鱼科和雀鲷科属于洞穴产卵鱼类,由此可以看出,黏附性附着丝的出现主要与繁殖习性有关。在海南新沙塘鳢的胚胎发育过程中,卵黄囊中始终出现油球,这与淡水产卵的云斑尖塘鳢、线纹尖塘鳢等尖塘鳢属鱼类以及暗色沙塘鳢(*Odontobutis obscurus*)^[32]、河川沙塘鳢和葛氏鲈塘鳢等沙塘鳢属鱼类的胚胎发育特点相似。新沙塘鳢属与鲈塘鳢属和沙塘鳢属亲缘关系较近,推断同科中姐妹属的鱼类胚胎形状和发育大体相似。但海水产卵的中华乌塘鳢胚胎发育中并不产生油球^[33]。这是由于淡水浮力比海水小,而油球有助于仔鱼的浮游生活以及营养供应^[34]。

海南新沙塘鳢的繁殖习性和胚胎形态结构与其他塘鳢科鱼类相似,但在器官系统发育时间顺序上略有不同,如出膜前听觉和视觉器官、消化道发育完善,心脏和肝脏基本形成,五脑室分化完成,口进行张合运动等。由于沙塘鳢科的其他鱼类如河川沙塘鳢、海丰沙塘鳢等体型较大,体色较深,性成熟周期较长,同时饲养成本较高,不适合深入进行分子和细胞层面的研究,而海南新沙塘鳢个体较小,适应性强,经繁育后可在水族缸中连续繁殖,繁殖周期短,故后续可以通过海南新沙塘鳢来研究沙塘鳢科鱼类的生理生化和分子层面的特征,促进其种质资源的保护。

参考文献:

- [1] 杨承忠,黄杰,卡迪丽亚 克依木,等.沙塘鳢科鱼类的DNA条形码及分子系统学研究[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2019,36(4):137-142.
- [2] 杨培民,胡宗云,金广海,等.葛氏鲈塘鳢生物学特性与养殖前景展望[J].河北渔业,2008(1):26-27.
- [3] 伍汉霖,吴小清,解玉浩.中国沙塘鳢属鱼类的整理和一新种的叙述[J].上海水产大学学报,1993,2(1):52-61.
- [4] 伍汉霖,钟俊生.中国动物志:硬骨鱼纲:鲈形目,虾虎鱼亚目[M].北京:科学出版社,2008:171-174.
- [5] 王新荣,徐忠源,骆小年,等.鸭绿沙塘鳢生物学研究[J].中国水产,2013(4):70-72.
- [6] 徐晶,赵伟,文玲梅,等.沙塘鳢属鱼类人工繁育技术研究进展[J].湖北农业科学,2021,60(S2):46-49.
- [7] 王吉桥,王声权,程俊驰,等.沙塘鳢属鱼类的生物学[J].水产科学,2005,24(10):32-34.
- [8] 苏治南,倪翔,范航清,等.广西珍珠湾红树林区中华乌塘鳢的时空分布特征[J].广西科学院学报,2021,37(3):232-239.
- [9] 段友健,骆小年,李文康,等.鸭绿沙塘鳢种群繁殖力和初次性成熟研究[J].水产科学,2022,41(4):652-657.
- [10] 杨静静.中华乌塘鳢4个水通道蛋白基因分子克隆及其在盐度胁迫下的表达分析[D].舟山:浙江海洋大学,2021:17-42.
- [11] 陈炜,郑慈英.中国塘鳢科鱼类的三新种[J].暨南理医学报(理科专版),1985,6(1):73-80.
- [12] 李鸿杰.沙塘鳢科鱼类的系统发育和中国沙塘鳢群体遗传现状分析[D].上海:上海海洋大学,2018,23-31.
- [13] LYU W Q, JIANG H F, BO J, et al. Comparative mitochondrial genome analysis of *Neodontobutis hainanensis* and *Perccottus glenii* reveals conserved genome organization and phylogeny[J]. Genomics, 2020, 112(6): 3862-3870.
- [14] 张君,沈颂东,徐建荣,等.河川沙塘鳢胚胎发育的研究[J].淡水渔业,2011,41(3):83-90.
- [15] 薛俊增.人工养殖条件下沙塘鳢胚胎发育的初步研究[J].杭州师范学院学报(自然科学版),2002,1(4):53-55.
- [16] 莫介化,李本旺,张邦杰,等.线纹尖塘鳢胚胎和前期仔鱼发育的初步研究[J].南方水产,2006,2(4):31-36.
- [17] 木亮亮,徐慈浩,许爱娣,等.温度对云斑尖塘鳢胚胎发育的影响及其胚后发育的形态学观察[J].广东农业科学,2015,42(14):94-99.
- [18] 廖志洪,王春,林小涛,等.云斑尖塘鳢胚胎和早期仔鱼的发育[J].动物学杂志,2004,39(6):18-22.
- [19] 夏玉国,李勇,杨大川,等.葛氏鲈塘鳢胚胎发育初步观察[J].黑龙江水产,2013(3):2-4.
- [20] 刘义新,金广海,杨培民.葛氏鲈塘鳢工厂化人工繁殖技术研究[J].农技服务,2016,33(13):139.
- [21] 赵晓勤.河川沙塘鳢(*Odontobutis potamophila*)的生殖系统发育及其繁殖行为研究[D].上海:华东师范大学,2006:61-68.
- [22] 王吉桥,史建国,姜玉声,等.鸭绿沙塘鳢繁殖习性的观察及性腺发育周期的组织学研究[J].水产科学,2008,27(8):379-385.
- [23] 段妍,董婧,李梦遥.六线鱼属鱼类繁殖行为学研究进展[J].水产科学,2015,34(11):726-732.
- [24] 周天舒,王磊,唐文乔,等.大鳍弹涂鱼的胚胎发育及其对盐度的耐受性[J].水生生物学报,2012,36(5):913-921.
- [25] 洪万树,戴庆年,张其永,等.大弹涂鱼的早期发育研究[J].热带海洋,1988,7(2):1-8.
- [26] 鲍鹰,张鹏,祝承勇,等.红小丑人工繁殖和育苗的初步研究[J].海洋科学,2009,33(2):5-10.
- [27] 单乐州,邵鑫斌,闫茂仓,等.透红小丑鱼的繁殖习性、胚胎发育和胚后发育[J].水产科技情报,2015,42(1):25-29.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [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.
- [32] IWATAA, JEONSR, MIZUNON. Embryonic development of gobiidfish, *Odontobutis obscura interrupta*[J]. SciRep Yokosuka CityMus, 1987 (35): 29-36.
- [33] RIIS VESTERGAARD J. Energy density of marine pelagic fish eggs[J]. Journal of Fish Biology, 2002, 60(6): 1511-1528.
- [34] MANSOUR N, LAHNSTEINER F, PATZNER R. Ovarian fluid plays an essential role in attachment of Eurasian perch, *Perca fluviatilis* eggs[J]. Theriogenology, 2008, 71(4): 586-593.

责任编辑:罗慧敏
英文编辑:罗维