

Observation on Embryonic Development and Postembryonic Development of *Lates calcarifer*

Shengjie Zhou^{1,2,3}, Jing Hu^{1,2,3}, Qibin Yang^{1,2,3}, Rui Yang^{1,2,3}, Zhenhua Ma^{1,2,3*}, Zhi Wang⁴

¹Tropical Fisheries Research and Development Center, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Sanya Hainan

²Key Lab of South China Sea Fishery Resource Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture, Guangzhou Guangdong

³Sanya Tropical Fisheries Research Institute Sanya Hainan

⁴The People's Government of Xiaochangshan Island Town, Dalian Liaoning

Email: zhousj_1704@126.com, *zhenhua.ma@hotmail.com

Received: Mar. 9th, 2020; accepted: Mar. 24th, 2020; published: Mar. 31st, 2020

Abstract

In order to systematically observe and describe the embryonic development and characteristics of various stages of barramundi, artificial fertilization method was used to obtain the fertilized eggs, and then observe by a stereo microscope, and the characteristics of each development stage were described. Incubation at a water temperature of $(29 \pm 1)^\circ\text{C}$, the fertilized egg of barramundi hatched for 15 h and 50 min, and swim bladder formed at 82 h. The embryonic development process is divided into eight stages: fertilized egg, cleavage stage, blastocyst stage, gastrula stage, neuroblast stage and organogenesis stage and post-hatching development. The eight stages are divided into 32 periods. This experiment described the embryonic development process of tropical marine economic fish-barramundi in detail, and provided an important theoretical basis for improving and optimizing the artificial breeding and breeding technology of marine fish.

Keywords

Lates calcarifer, Fertilized Egg, Embryo Development

尖吻鲈胚胎发育及胚后发育观察

周胜杰^{1,2,3}, 胡静^{1,2,3}, 杨其彬^{1,2,3}, 杨蕊^{1,2,3}, 马振华^{1,2,3*}, 王志⁴

*通讯作者。

¹中国水产科学研究院南海水产研究所, 热带水产研究开发中心, 海南 三亚

²农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东 广州

³三亚热带水产研究院, 海南 三亚

⁴大连市长海县小长山岛镇人民政府, 辽宁 大连

Email: zhousj_1704@126.com, zhenhua.ma@hotmail.com

收稿日期: 2020年3月9日; 录用日期: 2020年3月24日; 发布日期: 2020年3月31日

摘要

为了系统观察并描述尖吻鲈胚胎发育及其各时期特征, 试验采用人工注射催产的方法获得尖吻鲈受精卵, 然后使用体视显微镜进行拍照、观察, 描述各个发育阶段的特征。研究发现, 在水温为 $(29 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的孵化条件下, 尖吻鲈受精卵历时15 h 50 min孵化出膜, 82 h 鳔形成。胚胎发育过程及孵化后发育经历了受精卵阶段、卵裂阶段、囊胚阶段、原肠胚阶段、神经胚阶段、器官形成阶段、孵化出膜阶段和胚后发育8个阶段, 共分为32个时期。尖吻鲈与硬骨鱼类发育特征基本相同, 不同的是尾牙期和眼囊形成期几乎同时进行。该实验详细描述了热带海水经济鱼类——尖吻鲈的胚胎发育过程, 为提高和优化海水鱼类人工繁育和养殖技术提供重要的理论依据。

关键词

尖吻鲈, 受精卵, 胚胎发育

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

鱼类胚胎发育是指鱼类发育成熟的精子、卵子在水中或者在体内受精, 形成受精卵, 逐步发育到仔鱼出膜初孵或者卵胎生鱼类的仔鱼初产的发育过程, 是鱼类早期发育不可或缺的环节。

尖吻鲈(*Lates calcarifer*)俗称盲鳢、金目鲈、红目鲈等, 属脊索动物门(Chordata)、辐鳍鱼纲(Actinopterygii)、鲈形目(Perciformes)、鲈形亚目(Percoidei)、尖吻鲈科(Latidae)、尖吻鲈属(*Lates*)。尖吻鲈为热带与亚热带肉食性、广盐性鱼类, 主要分布地区有印度西太平洋区, 包括波斯湾、印度、斯里兰卡、缅甸、印度尼西亚、日本、菲律宾、澳洲北部以及中国南海等海域。具有口感好、生长速度快、饵料系数低等特点, 既可深水网箱养殖也可内陆池塘养殖。

尖吻鲈亲鱼通常在网箱中或室内海水养殖池内进行培育。成年亲鱼不会出现明显的性腺发育表现特征, 在海水环境中可自然产卵, 也可通过人工干预的方式进行人工催产。国内关于尖吻鲈的研究开始的较早, 但是后续研究较少[1][2]。近期关于尖吻鲈的研究主要集中在环境因子、骨骼发育、异速生长、营养与提取物、疾病防治、工厂化育苗等方面[3]-[14]。对于胚胎发育的研究未见报道。

尖吻鲈胚胎发育的研究, 可以清楚地了解该时期各个发育阶段的发育特征及各组织器官的发育时期, 掌握其发育规律, 描述其早期生活史的发育特征, 为人工繁育技术和养殖技术提供重要的理论指导及科学依据。本研究结果在于积累重要海水养殖鱼类尖吻鲈的基础发育生物学资料, 为尖吻鲈的研究提供基础。

2. 材料与方法

2.1. 实验材料

尖吻鲈亲鱼由中国水产科学研究院南海水产研究所热带水产研究开发中心自行养殖培育。尖吻鲈亲鱼使用丁香油水门汀麻醉至刚好失去行动能力(腹部向上,静止不动)。催熟剂为促黄体激素释放激素类似物(LRH-A3)(宁波三生生物科技有限公司)和注射用绒促性素 I(宁波三生生物科技有限公司),符合 NY 5071 的标准;将两种催熟剂按照 4:1 的比例溶解在微量 100%乙醇中制备注射剂,然后用无菌盐水将其稀释至 1 mL,并将该溶液装入连接有 25 号针头的注射器中;雌雄性亲鱼均通过背部肌肉注射,注射点为:距离第一和第二背鳍射线的中点大约 3 cm;注射点的鱼鳞无需去除,针头挑起鱼鳞、穿过鳞片底部的柔软区域;注射完毕将亲鱼放到产卵池中;雌鱼、雄鱼 LRH-A3 的适用浓度分别为 20~80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 40 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。将注射后的亲鱼放入产卵池中(水温 $29.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$,盐度 $33 \pm 0.8\text{‰}$ (Mean \pm SD), pH 7.7 ± 0.2 ,溶氧 7.5 ± 0.7 ,白天光照强度 1500 LX,夜晚黑暗),等待产卵。一般在注射后的第二个晚上至次日凌晨(11:00~次日 1:00)产卵完成。本次产卵时间为注射后的第二个晚上(11:00)。

实时关注亲鱼动态,待亲鱼开始甩尾产卵后记录产卵时间(受精后 0 min)。开始使用解剖镜观察并拍照记录发育状况。至产卵后的次日凌晨 6:00 将受精卵从产卵池收好放入孵化桶中,(水温 $29.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$,盐度 $33 \pm 0.8\text{‰}$ (Mean \pm SD), pH 7.7 ± 0.2 ,溶氧 7.5 ± 0.7)水环境基本一致,气石气量调大至尖吻鲈受精卵刚好在水中翻滚。期间每 5 分钟取样一次,显微观察并拍照。受精后的 15 h 将气石气泡调小准备迎接孵化(刚孵化后的鱼苗比较弱,在保证水体溶氧的前提下尽量减少水体的扰动)。

自尖吻鲈仔鱼孵化后 2 天时,将其从孵化器中分别转移到若干容积为 7 m^3 的育苗池中,保证池内鱼苗密度为 20~30 尾 $\cdot\text{L}^{-1}$ 自此进入了仔、稚鱼饲养阶段。过滤水(砂滤后的海水再次经过 $5 \mu\text{m}$ 孔径纱网进行过滤)流入水泥池底部,育苗池中部立 1 根站管连接排水管溢水排水,溢水管用 $300 \mu\text{m}$ 孔径纱网拦截幼苗,防止逃逸。通过调节入水管阀门,实现日换水量为育苗池总容量的 1.5 倍。每日定时清理排水口过滤网,保证出水口水流畅通。光照强度为 300~3000 Lx。盐度 $33 \pm 0.8\text{‰}$ (Mean \pm SD),水温控制 $29.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$,pH 控制在 7.7 ± 0.2 ,溶氧控制在 7.5 ± 0.7 。为保证充足溶氧,每池放置 12 个气石,同时为减小气泡破裂力对幼苗的伤害,气量调小,保证溶氧。

2.2. 胚胎发育观察方法

取受精卵在解剖镜下观察其形态变化,并使用 TouPCam 体视显微镜进行连续拍照。为达到最佳的拍摄效果,在发育前期每隔 5 min 换取新鲜的尖吻鲈受精卵进行观察并拍照,至囊胚阶段后每 10 min 换取新鲜的受精卵并进行观察并拍照,器官形成后每 15 min 换取新鲜的受精卵并进行观察并拍照记录。

3. 结果与分析

3.1. 受精卵特征

尖吻鲈鱼受精卵为透明球形,直径为 $0.765 \pm 0.032 \text{ mm}$ 的非粘性卵。卵表面具有类似鳞片的花纹,中心是一个大的透明的卵黄囊,直径约为 0.18 mm 的微油滴嵌入其中。雌鱼产卵时快速游动并甩尾,雄鱼追赶雌鱼,排精并甩尾,使其在水中进行充分受精。尖吻鲈受精卵属浮性卵,无充气状态下,受精后漂浮于水面或悬浮于海水水体中。未受精或发育不良的卵则沉于水底。

3.2. 尖吻鲈胚胎发育特征描述

尖吻鲈受精卵自尖吻鲈亲鱼交配动作停止后开始定时采集并记录时间,将受精卵放置于显微镜下进

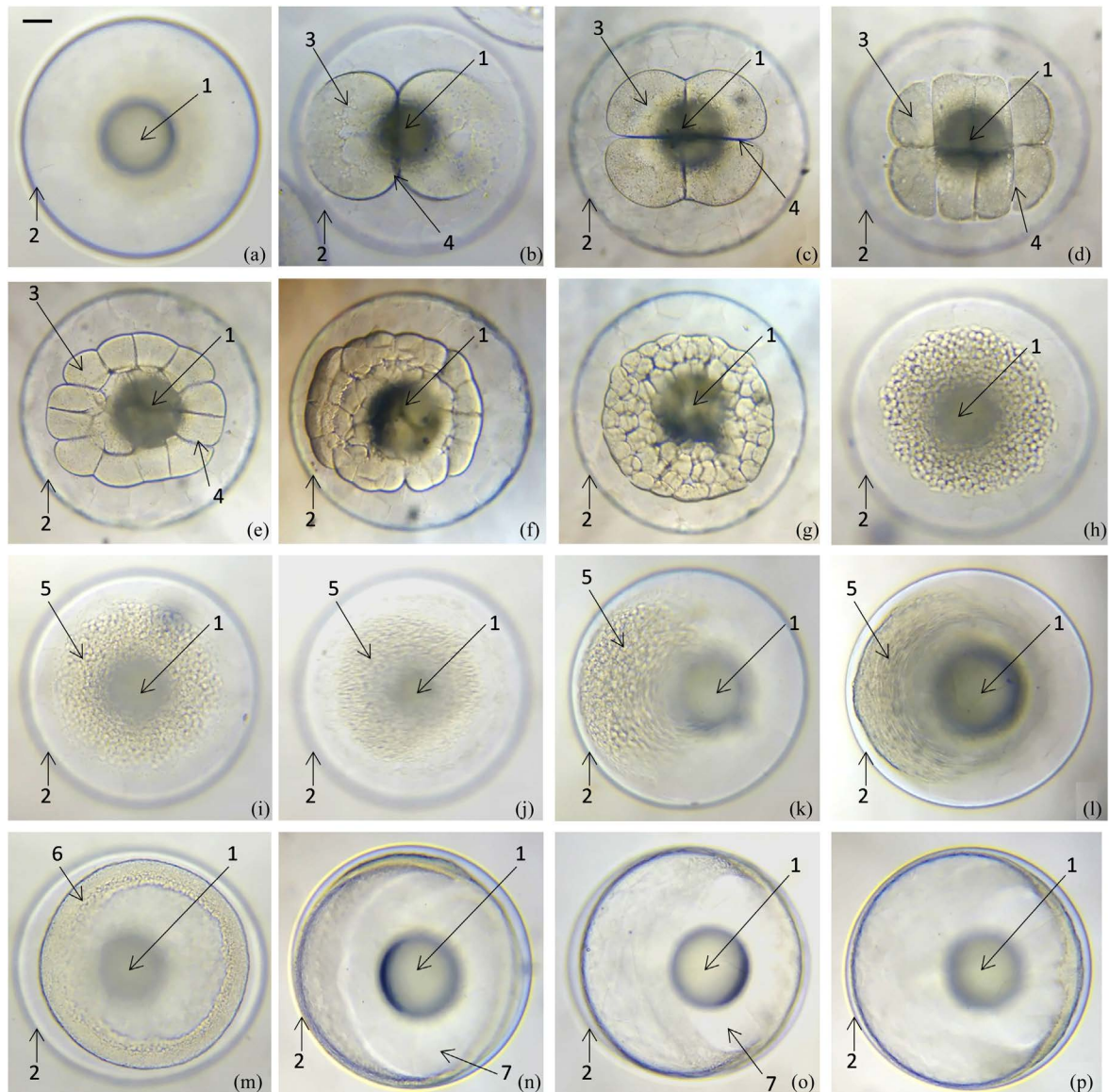
Table 1. Embryonic development characteristics of *Lates calcarifer***表 1.** 尖吻鲈胚胎发育特征

发育时期	受精卵各发育时期特征描述	受精后时间
1) 受精卵阶段	受精卵一端有一圆形油脂球, 细胞质分布均匀	0 min
2) 卵裂阶段		
2 细胞期	胚盘分裂成为两个卵裂球, 大小相等且形状相同	30 min
4 细胞期	胚盘分为四个卵裂球, 卵裂沟与第一次相垂直, 四个卵裂球大小相等且形状相同	40 min
8 细胞期	胚盘分裂为 8 个卵裂球, 8 个卵裂球形状不同但大小相近	55 min
16 细胞期	受精卵第四次卵裂, 胚盘分为 16 个形状不同大小相近的卵裂球, 形成 4 排, 卵裂沟不明显	1 h 5 min
32 细胞期	受精卵第五次分裂, 胚盘细胞变小, 胚盘由“矩形”向“圆形”靠近	1 h 25 min
桑葚胚早期	卵裂越分越小, 大小不一	1 h 35 min
桑葚胚晚期	细胞变得更小, 边缘细胞分裂增多, 胚盘接近圆形	1 h 55 min
3) 囊胚阶段		
囊胚早期	胚盘细胞变的很小, 逐渐形成半圆形囊胚层	2 h 40 min
囊胚中期	胚盘细胞分裂的更小, 细胞界限逐渐不清晰, 胚盘细胞开始向一边移动	3 h
囊胚晚期	细胞分裂, 胚盘边缘增厚, 细胞越来越小, 细胞界限无法分辨	3 h 30 min
4) 原肠胚阶段		
原肠胚早期	胚盘细胞扩展变薄, 并逐渐向植物极方向包裹	4 h 30 min
原肠胚中期	胚层细胞覆盖卵黄囊的 1/2, 形成胚环, 胚盾增厚	5 h
原肠胚晚期	胚层细胞覆盖卵黄囊超过 2/3, 胚盾变窄	5 h 30 min
5) 神经胚阶段		
胚孔闭合前期	胚胎形成胚孔, 并逐渐接近闭合	6 h
胚孔闭合期	胚胎胚孔逐渐闭合, 胚体开始形成	6 h 30 min
头部原基形成期	胚体向一端延伸变长变细, 一端膨胀发育为头部原基	7 h
6) 器官形成阶段		
眼基形成期	头部原基两侧出现隆起, 逐渐形成眼原基	7 h 10 min
尾牙期	柱状胚体一端发育为铲状	7 h 25 min
眼囊形成期	眼囊膨胀形成	7 h 25 min
心脏出现期	心脏发育成长管状结构, 出现在头部末端下方	10 h 40 min
晶状体形成期	晶体形成	12 h 30 min
心跳期	心脏开始有节律地跳动	12 h 30 min
7) 孵化出膜阶段		
出膜前期	血液循环明显, 身体在鱼卵中成“C”形, 卵壳与卵黄之间空隙变大	15 h 50 min
出膜期	头部略向腹部弯曲, 油球位于头部正前方, 身体开始有色素斑点, 卵黄囊变为椭圆形	15 h 50 min
8) 孵化后发育阶段		
眼球色素出现期	眼球开始着色, 变黑, 卵黄基本吸收完毕	41 h
开口期	口张开, 可以自由张合, 卵黄吸收完毕肠管基本建成	58 h
肠管建成期	肠管形成完整通路	59 h
鳔形成期	鳔形成, 油球明显减小, 对在水体中的位置控制能力增强	82 h

行胚胎发育观察并拍照记录。根据已采集的照片和特征描述, 将尖吻鲈胚胎发育全过程进行分阶段分期处理。本研究将尖吻鲈受精卵整个发育过程可分为 8 个阶段。受精卵在平均温度为 29℃ 的水温条件下, 16 h 内孵化出膜, 82 h 鳔形成。表 1 将尖吻鲈胚胎发育的各个阶段进行了特征描述如下:

受精卵阶段处于刚受精阶段的卵, 卵表面有类似鳞片状花纹, 细胞质分布均匀, 即 1 细胞期, 受精卵中间有一球形油脂, 该阶段持续 25~30 min。

卵裂阶段受精后 30 min, 尖吻鲈受精卵进行第一次分裂。在与油球相对的另一端(动物极)发生第一次分裂, 胚盘逐渐由外向内缢裂, 形成明显卵裂沟, 将胚盘分裂成两个大小相等, 形状对称的近半球形的卵裂球, 两个卵裂球总体构成一个椭圆, 进入 2 细胞期(图 1(b)); 受精后 40 min, 开始第二次卵裂, 卵



注: 1→油球; 2→卵壳; 3→卵裂细胞; 4→分裂沟; 5→囊胚层; 6→胚环; 7→胚孔。a→受精卵; b→二分期; c→四分期; d→八分期; e→十六分期; f→三十二分期; g→桑葚胚早期; h→桑葚胚晚期; i→囊胚早期; j→囊胚中期; k→囊胚晚期; l→原肠胚早期; m→原肠胚中期; n→原肠胚晚期; o→胚孔闭合前期; p→胚孔闭合期。

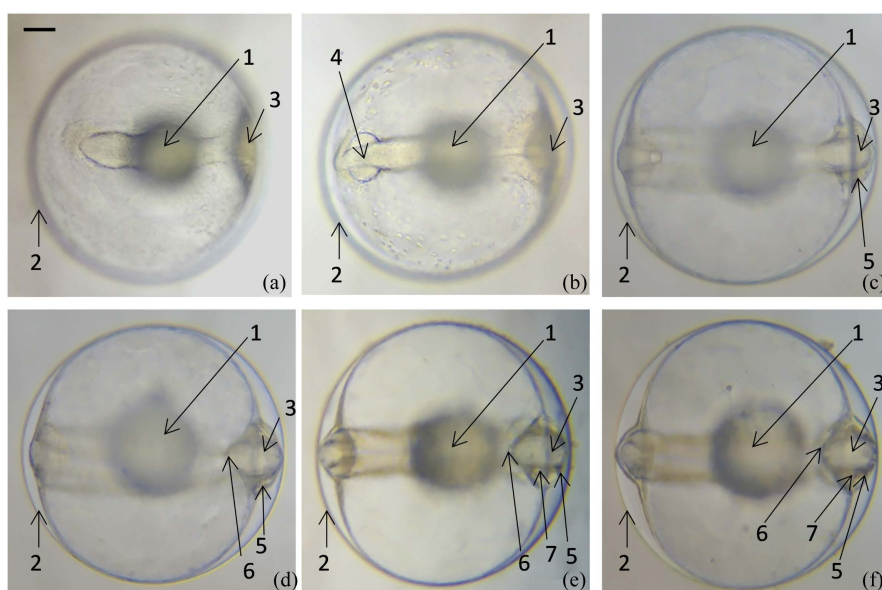
Figure 1. Photos of *Lates calcarifer* from fertilized eggs to the closed period of germ hole (scale bar: 100 μ m)

图 1. 尖吻鲈受精卵至胚孔闭合期阶段图谱(比例尺: 100 μ m)

裂沟与第一次卵裂沟相垂直(如不垂直则为畸形卵,不能孵化),逐渐形成4个大小形态均相同的卵裂球,总体呈四角圆润的“田”形,进入4细胞期(图1(c));受精后55 min,尖吻鲈受精卵第三次卵裂开始,四个卵裂球上均出现卵裂沟,且均与第一次卵裂沟平行,将胚胎平均分成八个大小相近形状略有差异的卵裂球,整齐的排成两行,呈四角圆润的长方形,中间四个卵裂球形状相近,两端四个卵裂球形状相近,进入8细胞期(图1(d));受精后1 h 5 min开始第四次分裂,形成4行排列,每排4个,中间4个形状相近但与油球重叠度较高不易观察,进入16细胞期(图1(e));1 h 25 min开始第五次卵裂,胎盘由“方形”向“圆形”靠近,卵裂球变的更小,进入32细胞期(图1(f))。受精后1 h 35 min进入细胞期,尖吻鲈受精卵桑葚胚早期卵裂球变小,大小不一,边缘大中间小,且边缘胚胎细胞较清晰(图1(g));受精后1 h 55 min进入桑葚胚晚期,细胞变得更小,边缘细胞分裂增多,胚盘接近圆形(图1(h))。

受精后2 h 40 min,进入囊胚阶段,囊胚早期胚盘细胞很小,半圆形囊胚层形成,胚盘开始向一侧开始移动(图1(i));受精后3 h,进入囊胚中期,细胞界限逐渐不清晰,细胞更小胚盘细胞向一边移动更明显(图1(j));受精后3 h 30 min,进入囊胚晚期,胚盘在卵黄囊表面扩展,外包开始(图1(k));4 h 30 min进入原肠胚阶段,囊胚层细胞逐渐增多,细胞层扩展并逐渐向植物极方向包裹,原肠胚开始(图1(l));5 h,进入原肠胚中期,胚层细胞继续扩展,向右上包裹,覆盖卵黄囊的1/2,形成胚环,胚盾增厚(图1(m));5 h 30 min,原肠胚晚期,胚层细胞覆盖卵黄囊2/3,胚盾变窄(图1(n));6 h,囊胚层细胞扩展至卵黄囊右上,神经胚阶段开始,胚孔接近闭合,进入胚孔闭合前期(图1(o));6 h 30 min,胚孔闭合期,胚孔闭合(图1(p))。

7 h,原基出现,胚体形成,柱状胚体一端膨大发育为头部原基(图2(a));7 h 15 min,器官形成阶段开始,头部两侧隆起眼原基,进入眼基形成期(图2(b));7 h 15 min,尾牙期,柱状胚体一端发育为铲状(图2(b));7 h 30 min,眼囊形成期,眼囊膨胀形成(图2(c));10 h 40 min,心脏出现期,心脏发育成长管状结构,出现在头部末端下方(图2(d));12 h 30 min,晶状体形成期,晶体形成(图2(e));12 h 30 min,心跳期,心脏开始有节律地跳动(图2(f));15 h 50 min,出膜前期,血液循环明显,身体在鱼卵中成“C”

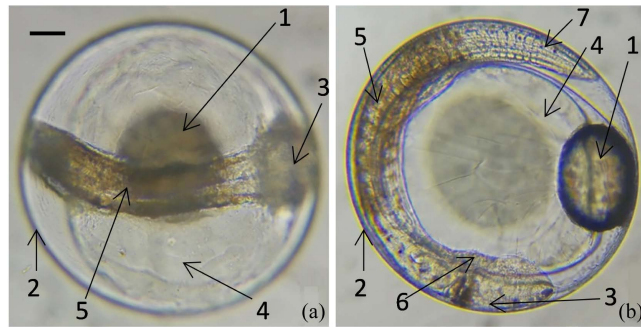


注: 1→油球; 2→卵壳; 3→头部原基; 4→尾牙; 5→眼囊; 6→心脏; 7→晶状体。a→头部原基形成期; b→眼基形成期(尾牙期); c→眼囊形成期; d→心脏出现期; e→晶状体形成期; f→心跳期。

Figure 2. Pictures of the head primordium formation to the heartbeat phase (scale bar: 100 μm)

图 2. 头部原基形成期至心跳期图片(比例尺: 100 μm)

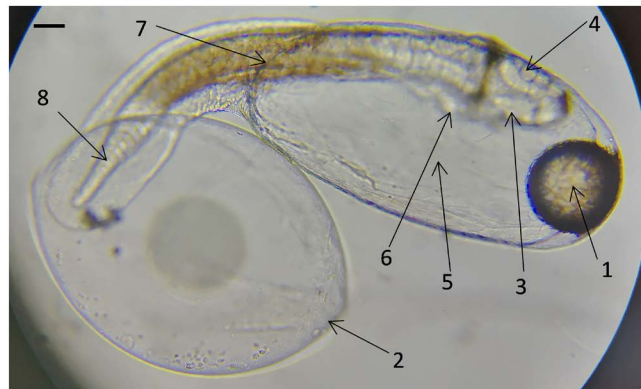
形, 卵壳与卵黄之间空隙较大(图 3(a), 图 3(b)); 15 h 50 min, 出膜期, 头部略弯曲, 油球位于头部前方, 身体有色素斑点, 卵黄囊为椭圆形(图 4), 自孵化后至尾部骨骼开始发育为仔鱼期 0~20 DPH, 其中 0~3 DPH 为前仔鱼期(图 5、图 6)期特征为: 1. 卵黄尚未吸收完毕; 2. 主要依靠卵黄营养; 3. 前期口未开, 肠道不同, 后期口张开, 肠道开通; 4. 眼睛逐渐着色, 视力提升; 5. 后期鳔开始充气。4~20 DPH 为后仔鱼期(图 7), 此阶段特点为卵黄囊吸收完毕, 肠道开通, 可以开口摄食, 此阶段鳍条快速发育, 增加运动能力。此阶段是主动摄食的开始阶段。



注: 1→油球; 2→卵壳; 3→头部; 4→卵黄; 5→脊索; 6→心脏; 7→尾部。
a→正面观; b→侧面观。

Figure 3. Pre-filming stage (scale bar: 100 μm)

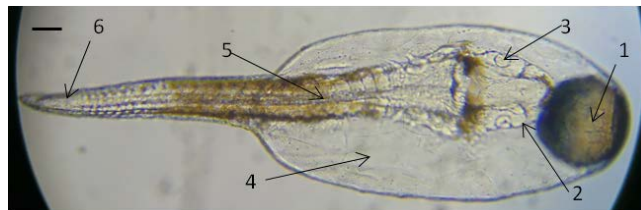
图 3. 出膜前期(比例尺: 100 μm)



注: 1→油球; 2→卵壳; 3→眼睛; 4→晶状体; 5→卵黄; 6→心脏; 7→脊索; 8→尾部。

Figure 4. Film emergence period (scale bar: 100 μm)

图 4. 出膜期(比例尺: 100 μm)



注: 1→油球; 2→眼睛; 3→晶状体; 4→卵黄; 5→脊索; 6→尾部。

Figure 5. Larva after filming (scale bar: 100 μm)

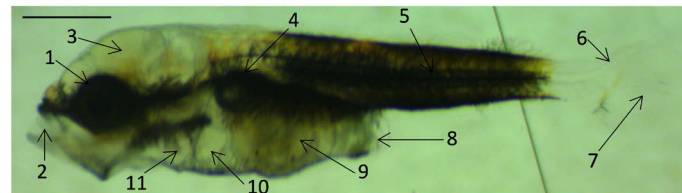
图 5. 出膜后仔鱼(受精后 16 h, 比例尺: 100 μm)



注：a→侧面观；b→上面观；1→眼睛；2→吻；3→脑；4→鳃；5→脊索；6→尾部；7→泄殖孔；8→油球；9→胸鳍。

Figure 6. Barramundi larvae-prelarval stage (scale bar: 200 μm)

图 6. 尖吻鲈仔鱼 - 前仔鱼期(孵化后 3 天, 比例尺: 200 μm)

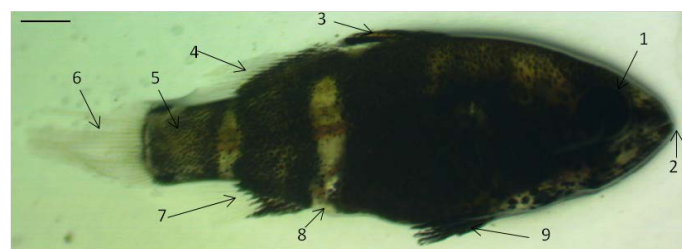


注：1→眼睛；2→吻；3→脑；4→鳃；5→脊索；6→尾杆骨；7→尾鳍；8→泄殖孔；9→消化道；10→肝脏；11→心脏。

Figure 7. Barramundi larvae-larval stage (scale bar: 500 μm)

图 7. 尖吻鲈仔鱼 - 后仔鱼期(孵化后 12 天, 比例尺: 500 μm)

稚鱼期尖吻鲈的身体结构快速发育(图 8)。自鳍条发育基本完成, 至鳞片发育完成, 为尖吻鲈提供足够的保护为止, 通常是指孵化后一个月以内的鱼体(存在特例)。此阶段尖吻鲈体表有色素沉积构成花纹, 但无色素沉积的部位仍然透明, 此阶段生长速度加快可以尝试进行饲料的驯化。



注：1→眼睛；2→吻；3→第一背鳍；4→第二背鳍；5→脊尾柄；6→尾鳍；7→臀鳍；8→泄殖孔；9→腹鳍；10→肝脏；11→心脏。

Figure 8. Barramundi juvenile (scale bar: 1000 μm)

图 8. 尖吻鲈稚鱼(孵化后 22 天, 比例尺: 1000 μm)

4. 讨论

目前, 鱼类胚胎发育的研究较多, 关于胚胎发育所经历的阶段大致相同, 但是不同的鱼种发育胚胎发育时长和阶段有所差异。如: 小丑鱼(*Amphiprioninae*)、云南光唇鱼(*Acrossocheilus yunnanensis*)、美洲鲌(*Alosa sapidissima*)等[15] [16] [17]胚胎发育最主要经历 8 个阶段(受精卵阶段、胚盘阶段、卵裂阶段、囊

胚阶段、原肠胚阶段、神经胚阶段、器官形成阶段、孵化阶段); 而锦鲤(*Cyprinus carp Koi*) [18] [19]、棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*) [20]、金钱鱼(*Scatophagus argus*) [21]、翘嘴鲌(*Culter alburnus*) [22]等可能由于鱼种不同受精卵胚胎经历的发育时间不同, 因此分为 7 个阶段, 没有描述胚盘期, 可能是因为胚盘期时间较短一闪而逝或不易观察而没有详细描述; 而云南盘鮈(*Discogobio yunnanensis*) [23]、台湾泥鳅[24]等描述了 6 个发育阶段, 没有描述胚盘期和孵化期的发育特征; 斑马鱼(*Danio rerio*) [25]描述了 6 个发育阶段, 且没有神经胚期和器官形成期, 描述了体节期和眼囊期等。因此鱼类胚胎发育所经历过程大致相同, 但细节描述有所差异。同时据统计胚胎发育时间在粘性卵与非粘性卵之间有较大的差别: 粘性卵一般胚胎发育时间较长, 非粘性卵胚胎发育时间较短, 但不能笼统的以淡水鱼和海水鱼划分[17] [25]-[33]。有研究表明同属不同种类的鱼类胚胎发育时间有可能会较大的差别, 张薇[34]发现, 同属的鱼类-双锯鱼属(*Amphiprion*)-不同种类双锯鱼产卵时间相差不大, 产卵间隔规律性较强, 但胚胎发育时间有较大差别。

有研究表明环境因子对鱼类胚胎的发育也有较大的影响, 例如: 水温、盐度、溶解氧等。有研究表明水温对大西洋鲭鱼(*Scomber scombrus*) [35]、绯海鲷(*Pagellus erythrinus*) [36]、蓝点马鲛鱼(*Scomberomorus niphonius*) [33]等, 倒刺鲃(*Spinibarbus denticulatus*) [37]、宝石鲈(*Scortum barcoo*) [38]、黑莓鲈(*Pomoxis nigromaculatus*) [39]、日本黄姑鱼(*Nibea japonica*) [40]、白斑狗鱼(*Esox lucius*) [41]等的胚胎发育有较大的影响。少数鱼类即可以在海水中产卵又可以在淡水中产卵, 如青鲈鱼[42] [43] [44], 由于海水与淡水水环境差异较大(如: 盐度、金属离子浓度、水体密度、pH、氨氮、亚盐和溶解氧等) [45] [46], 青鲈鱼在这两种环境中的胚胎发育略有差异。

尖吻鲈为广盐性鱼类, 因其受精卵只能在海水中发育, 所以只有海水尖吻鲈胚胎发育模式, 与青鲈鱼不同。本文对室内人工繁育的尖吻鲈的胚胎发育过程及胚后发育进行了观察及拍照并对发育阶段进行描述, 过程中环境因子稳定。尖吻鲈胚胎发育分为七个阶段(即经过受精卵阶段、卵裂阶段、囊胚阶段、原肠胚阶段、神经胚阶段、器官分化形成阶段及出膜阶段), 是典型的硬骨鱼类胚胎发育的模式, 与锦鲤[18] [19]、棘头梅童鱼[20]、金钱鱼[21]、翘嘴鲌[22]等相似, 不同的是尾牙期和眼囊形成期几乎同时进行。受精后 30min 内, 完成受精卵的激活, 并开始分裂。尖吻鲈胚胎发育时长较短, 发育时长仅为 15 h 50 min, 短于大部分鱼类, 是典型的浮性卵。且其出膜后仍无法摄食, 仅有微弱的游泳能力, 需借助自身营养继续发育, 至 59 h 左右才能获取外源营养。直至 82 h 鳔形成才能自由控制在水中的位置, 不再局限于漂浮于水体上层。

本文在对其发育过程各个时期特点进行描述后, 可为尖吻鲈受精卵对环境因子的响应变化做参考, 将利于进行海洋因子变化对器官发育及发育进程影响的研究。并且尖吻鲈器官发育, 主要是心脏、脑、眼、肠道、鳔等也已进行了描述。尖吻鲈胚胎发育对环境因子的响应及受精卵处理技术的开发有待进一步研究。

5. 结论

本文对尖吻鲈发育进行了观察和描述, 根据发育特征将整个发育过程可分为 8 个阶段(包括胚胎发育 7 个阶段和胚后发育阶段)。根据各阶段内发育细节变化, 又把尖吻鲈胚胎整个发育阶段划分为 32 个时期。本研究发现尖吻鲈与硬骨鱼类发育特征基本相同, 不同的是尾牙期和眼囊形成期几乎同时进行, 每个发育阶段所需发育时长不同, 本研究为提高和优化海水鱼类人工繁育和养殖技术提供重要的理论依据。

基金项目

广西创新驱动发展专项资金项目(桂科 AA18242031); 中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公

益性科研院所基本科研业务费专项资金资助(2018ZD01); 中国水产科学研究院基本科研业务费资助项目(2020XT03, 2020XT0301); 中国水产科学研究院科技创新团队项目(2020TD55); 海南省重点研发计划(ZDYF2018096); 现代农业产业技术体系专项资金资助(CARS-47); 农业农村部财政专项(南海水产研究所南海渔业中心)。

参考文献

- [1] 张邦杰, 梁仁杰, 毛大宁, 等. 池养尖吻鲈和花鲈的生长特性[J]. 水产科技情报, 1998(2): 12-17+21.
- [2] 戈汝学, 陈凤林, 陈兴乾. 尖吻鲈池塘集约化养殖的试验研究[J]. 福建水产, 1993(4): 20-25+31.
- [3] 周胜杰, 胡静, 于刚, 等. 光周期对尖吻鲈仔稚鱼消化酶活性的影响[J]. 海洋科学, 2018, 42(6): 63-69.
- [4] 胡静, 周胜杰, 杨蕊, 等. 亚硝酸盐胁迫对尖吻鲈稚鱼抗氧化酶活性及皮质醇的影响[J]. 海洋科学, 2018, 42(4): 132-140.
- [5] 袁丰华, 林黑着, 李卓佳, 等. 凝结芽孢杆菌对尖吻鲈的生长、消化酶及非特异性免疫酶的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(6): 792-797.
- [6] 周胜杰, 胡静, 马振华, 等. 尖吻鲈尾部骨骼胚后发育研究[J]. 水产科学, 2018, 37(3): 342-347.
- [7] 周胜杰, 马婷, 胡静, 等. 尖吻鲈仔鱼骨骼发育观察[J]. 南方农业学报, 2018, 49(3): 592-598.
- [8] 刘亚娟, 程大川, 周胜杰, 等. 尖吻鲈仔、稚鱼异速生长研究[J]. 海洋渔业, 2018, 40(2): 179-188.
- [9] 廖伟, 夏光华, 李川, 等. 尖吻鲈鱼鳞和鱼皮胶原蛋白的提取及其理化特性分析[J]. 食品科学, 2018, 39(1): 36-41.
- [10] 张俊, 周素明, 李安兴. 广东省养殖罗非鱼、海鲈、尖吻鲈海豚链球菌感染调查[J]. 中国水产科学, 2012, 19(1): 161-166.
- [11] 中国水产科学研究院. 南海水产研究所尖吻鲈室内工厂化育苗取得阶段成果[J]. 中国水产, 2017(12): 70.
- [12] 林黑着, 袁丰华, 李卓佳. 光合细菌 PS2 对尖吻鲈的生长、消化酶及非特异性免疫酶的影响[J]. 南方水产, 2010, 6(1): 25-29.
- [13] 赵旺, 胡静, 马振华, 等. 尖吻鲈幼鱼形态性状对体质量影响的通径分析及生长曲线拟合[J]. 南方农业学报, 2017, 48(9): 1700-1707.
- [14] 闵宽洪, 朱健, 张成锋. 尼罗尖吻鲈与几种鱼肌肉营养成分的比较[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2008(1): 52-55.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 高小强, 刘志峰, 黄滨, 等. 美洲鲮(*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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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(自科版), 2017, 14(6): 36-39+34.
- [23] 周燕, 蒲德成, 邓星星, 等. 大宁河云南盘鮈的胚胎发育初步研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2018(15): 192-195+245.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 雷春云, 马建颜, 薛晨江. 脂孟加拉鮠胚胎与仔鱼发育观察试验[J]. 现代农业科技, 2017(5): 217-218+223.
- [27] 薛绍伟, 马建颜, 薛晨江. 中华鲢鳊胚胎发育观察[J]. 现代农业科技, 2018(21): 223+226.
- [28] 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.

- [29] 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.
- [30] 潘瑛子, 李宝海, 格桑加措, 等. 西藏黑斑原鲮胚胎发育观察[J]. 中国水产科学, 2018, 25(6): 1205-1215.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 张薇, 孙志宾, 马爱军, 等. 双锯鱼属(*Amphiprion*)四种鱼种比较胚胎学研究和进化探讨[J]. 海洋与湖沼, 2018, 49(3): 671-681.
- [35] Mendiola, D., Alvarez, P., Cotano, U., *et al.* (2006) Effects of Temperature on Development and Mortality of Atlantic Mackerel Fish Eggs. *Fisheries Research*, **80**, 158-168. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2006.05.004>
- [36] Klimogianni, A., Koumoundouros, G., Kaspiris, P., *et al.* (2004) Effect of Temperature on the Egg and Yolk-Sac Larval Development of Common Pandora. *Marine Biology (Berlin)*, **145**, 1015-1022. <https://doi.org/10.1007/s00227-004-1382-y>
- [37] 谢刚, 陈焜慈, 胡隐昌, 等. 倒刺鲃胚胎发育与水温 and 盐度的关系[J]. 大连水产学院学报, 2003(2): 95-98.
- [38] 陈焜慈, 朱新平, 杜合军, 等. 温度和盐度对宝石鲈胚胎发育的影响[J]. 中国水产科学, 2007(6): 1032-1037.
- [39] 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.
- [40] 许源剑, 孙敏, 柴学军, 等. 日本黄姑鱼胚胎发育及温度对其过程的影响[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2010, 29(6): 544-550.
- [41] 齐遵利, 张秀文, 韩叙, 等. 温度对白斑狗鱼胚胎发育的影响[J]. 淡水渔业, 2010, 40(4): 76-79.
- [42] 陈漪, 王晓杰, 冉皓宇, 等. 海水模式种青鳉鱼(*Oryzias melastigma*)的胚胎发育观察[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(1): 71-82.
- [43] 张海瑞, 王中铎, 黄顺楷, 等. 弓背青鳉的胚胎发育及自发荧光观察[J]. 广东海洋大学学报, 2019, 39(2): 38-44.
- [44] 王友红, 刘洪军, 于道德, 等. 海水青鳉胚胎发育的观察[J]. 海洋科学, 2017, 41(6): 18-25.
- [45] French, R.A., Jacobson, A.R., Kim, B., *et al.* (2009) Influence of Ionic Strength, pH, and Cation Valence on Aggregation Kinetics of Titanium Dioxide Nanoparticles. *Environmental Science & Technology*, **43**, 1354-1359. <https://doi.org/10.1021/es802628n>
- [46] Jeon, J., Kannan, K., Lim, H.K., *et al.* (2010) Bioaccumulation of Perfluorochemicals in Pacific Oyster under Different Salinity Gradients. *Environmental Science & Technology*, **44**, 2695-2701. <https://doi.org/10.1021/es100151r>