

## 尖翅燕鱼早期胚胎发育及仔稚鱼形态观察

刘明鉴<sup>1,2</sup>, 郭华阳<sup>2</sup>, 高杰<sup>2</sup>, 朱克诚<sup>2</sup>, 刘宝锁<sup>2</sup>, 郭梁<sup>2</sup>, 张楠<sup>2</sup>, 杨静文<sup>2</sup>,  
刘波<sup>2</sup>, 张殿昌<sup>2,3</sup>

1. 天津农学院水产学院, 天津 300384

2. 中国水产科学研究院南海水产研究所/农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室/广东省海洋生物种业工程技术研究中心, 广东广州 510300

3. 三亚热带水产研究院, 海南三亚 572019

**摘要:** 为了提高尖翅燕鱼 (*Platax teira*) 的卵孵化率和苗种成活率, 并为人工催产和苗种繁育提供理论依据, 观察分析了尖翅燕鱼受精卵胚胎发育和仔稚鱼发育的时序特征, 对其形态学指标进行测量, 推算出仔稚鱼阶段生长特性的回归方程。结果显示, 尖翅燕鱼受精卵为浮性卵, 直径 (1.29±0.09) mm, 卵壳较坚韧, 呈黄色透明的球状, 单个油球, 无黏性。在孵化温度 (26±0.3) °C、盐度 34~36 和 pH 7.8±0.5 条件下, 整个胚胎发育经历 7 个阶段共 27 个时期, 耗时 27 h 45 min。初孵仔鱼全长 (3.120±0.349) mm, 呈透明状, 体表散布着大量分枝叶黄素, 先后经历仔鱼期 (0~17 d) 和稚鱼期 (17~25 d), 25 d 后进入幼鱼期。此时幼鱼鳍棘和鳍条已发育完全, 其典型特征为头部、躯干部和尾部各有 3 条黑色条带, 身体呈银白色。统计模型显示, 尖翅燕鱼早期阶段生长速度较缓, 7 日龄后生长加速; 8 日龄仔鱼出现残食和攻击行为。

**关键词:** 尖翅燕鱼; 胚胎发育; 仔稚鱼发育; 形态特征

中图分类号: S 962

文献标志码: A

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



## Embryonic development and morphological characteristics of larvae and juvenile of *Platax teira*

LIU Mingjian<sup>1,2</sup>, GUO Huayang<sup>2</sup>, GAO Jie<sup>2</sup>, ZHU Kecheng<sup>2</sup>, LIU Baosuo<sup>2</sup>, GUO Liang<sup>2</sup>, ZHANG Nan<sup>2</sup>, YANG Jingwen<sup>2</sup>,  
LIU Bo<sup>2</sup>, ZHANG Dianchang<sup>2,3</sup>

1. College of Fisheries, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China

2. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Guangdong Provincial Engineer Technology Research Center of Marine Biological Seed Industry, Guangzhou 510300, China

3. Sanya Tropical Fisheries Research Institute, Sanya 572019, China

**Abstract:** In order to improve the egg hatching rate and fry survival rate of Tiera batfish (*Platax teira*), and to provide a theoretical basis for artificial spawning and fry breeding, we observed and analyzed the temporal characteristics of embryonic and juvenile development of fertilized eggs of *P. teira*, and measured the morphological indexes to derive the regression equations for the growth characteristics of juvenile stages. The results show that the eggs were floating, (1.29±0.09) mm in diameter, with a tough, transparent, yellow spherical shell and a single oil globule that was not sticky. At an incubation temperature of (26±0.3) °C,

收稿日期: 2021-09-02; 修回日期: 2021-10-10

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0901204); 南海海洋生物种质资源库建设与共享服务广东省省级科技计划项目 (2019B030316030)

作者简介: 刘明鉴 (1996—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产遗传育种。E-mail: 15222387853@139.com

通信作者: 张殿昌 (1977—), 男, 研究员, 博士, 从事水产种质资源与遗传育种研究。E-mail: zhangdch@scsfri.ac.cn

salinity of 34–36 and pH 7.8±0.5, the embryos underwent seven stages of development for 27 periods, taking 27 h 45 min. The total length of newly hatched larvae were (3.120±0.349) mm, transparent, with a large amount of branched lutein scattering on the surface of the body, followed by the juvenile stage (0–17 d) and the larval stage (17–25 d). The juvenile stage was 25 d later, when the fin spines and fin ray were fully developed, typically with three black bands on the head, trunk and tail, and a snowy silvery body color. Statistical models show that the early stages of growth were slow, but accelerated after 7 dah. At 8 dah, the juveniles showed cannibalism and aggressive behavior.

**Keywords:** *Platax teira*; Embryonic development; Larvae and juvenile development; Morphological characteristics

尖翅燕鱼 (*Platax teira*) 又称长鳍蝙蝠鱼, 属鲈形目、刺尾鱼亚目、白鲷科, 原产于印度-太平洋, 广泛分布于亚热带和热带沿海地区, 是一种杂食性鱼类<sup>[1]</sup>。其幼鱼体色黑白相间, 背鳍、臀鳍和腹鳍较长, 鱼体边缘线呈弧形, 形态优美, 具有较高的观赏价值; 其肉质鲜美, 生长较快, 具有较高的经济价值<sup>[2]</sup>。随着人工繁育技术的发展, 尖翅燕鱼在中国和东南亚等国成功实现人工养殖, 成为深海网箱养殖最具发展潜力的鱼类之一。

鱼类早期胚胎发育的脆弱性, 是制约鱼种成活率的重要因素之一, 并容易受水质<sup>[3]</sup>、饵料适口性<sup>[4]</sup>、营养来源 (内源性到外源性营养的过渡)<sup>[5]</sup>、食物丰富度、光照强度<sup>[6]</sup> 和放养密度<sup>[7]</sup> 等因素的影响。目前对于尖翅燕鱼的研究相对较少, 仅见于消化器官发育<sup>[8]</sup>、肌肉成分<sup>[9]</sup> 和幼鱼异速生长<sup>[2]</sup> 等方面, 而对其发育生物学的相关研究尚未深入。本研究系统阐述了尖翅燕鱼早期胚胎发育及仔稚鱼形态学发育, 详细记录了各发育时期及形态变化, 并确定仔稚鱼的异速生长模式, 旨在为尖翅燕鱼人工催产和苗种繁育提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 亲鱼培育

实验亲鱼选自海南省陵水培育的 3 龄以上尖翅燕鱼亲鱼。催产前挑选健康无伤、体表完整、活力好的亲鱼于新村港网箱 (长 6 m×宽 3 m×高 3 m) 进行 45 d 营养强化。亲鱼促熟期间以投喂冰鲜鲮鱼和小杂鱼为主, 同时加入强化剂 (鱼油、维生素等), 日投喂 3 次, 投喂量约为鱼体质量的 3%; 定期观察亲鱼性腺发育情况, 以亲鱼腹部圆润 (轻轻挤压腹部, 精液或卵子从生殖孔流出) 为标准, 确定亲鱼性腺是否发育成熟。亲鱼催产期持续 30 d 左右, 培育水温 24~27 ℃。

### 1.2 受精与孵化

挑选性腺发育成熟的雌鱼 [平均体质量 (2 120±

155) g] 和雄鱼 [平均体质量 (1 600±112) g] 各 10 尾用于人工催产。催产前, 将绒毛膜促性腺激素 (HCG, 500 IU·kg<sup>-1</sup>) 和丘脑下部促黄体素释放激素的类似物 3 号 (LRH-A<sub>3</sub>, 3.5 μg·kg<sup>-1</sup>) 溶于生理盐水, 制备成标准注射剂。用丁香酚 (30~50 mg·L<sup>-1</sup>) 对尖翅燕鱼进行麻醉后, 利用注射器吸入催产剂进行背鳍肌肉注射, 剂量根据鱼体质量确定。

根据催产剂效应时间 18~22 h, 人工催产后 20 h 左右, 采用人工挤卵的方式收集精液和卵子, 进行干法受精。将受精卵放入 500 L 锥形底孵化桶孵化, 充分曝气, 每隔 30 min 分卵 1 次, 取上浮优质受精卵转入新的孵化桶进行孵化。孵化温度 (26±0.3) ℃、溶解氧质量浓度 >6.5 mg·L<sup>-1</sup>、盐度和 pH 分别为 34~36 和 7.8±0.5。

受精卵孵化至初孵仔鱼后, 将仔鱼转移到室内水泥池进行工厂化育苗。前 10 d 水体保持为静态 (可添加适量小球藻净化水质), 10 d 后, 每天更换 10% 的海水。保证水体饵料充足, 2~10 日龄 (Days after hatching, dah) 投喂轮虫 (5~10 个·mL<sup>-1</sup>); 7~15 dah 投喂卤虫无节幼体 (2~3 个·mL<sup>-1</sup>); 15 dah 以后开始投喂鳗鱼粉及微囊颗粒饲料。每天从育苗桶中抽出残饵、粪便和死亡的仔鱼。

### 1.3 取样与观察

从孵化桶捞取受精卵, 用 2 mL 移液管吸取受精卵将其置于玻璃皿上, 在光学显微镜 (Nikon Eclipse E100) 下观察和拍摄。每 5 min 观察一次受精卵, 每次随机选取 50 粒。根据硬骨鱼发育阶段的划分, 各时期的发育时间以观察视野中 50% 以上受精卵发育至该时期的时间为准<sup>[10]</sup>, 观察胚胎发育的形态变化, 并记录发育时间、温度和发育特征。

受精卵孵化为初孵仔鱼后, 每天 10:00 时取 30 尾仔稚鱼, 通过解剖镜观察其生长发育特征 (观察前用丁香酚进行麻醉)。观察记录仔稚鱼形态变化和器官发育情况, 并对其全长、体长、体高、头长、眼径和卵黄囊进行测量。参照杨建等<sup>[11]</sup> 的方

法计算卵黄囊体积( $V$ ):

$$V = (R \cdot r^2 \cdot \pi) / 6 \quad (1)$$

式中:  $R$  为长径;  $r$  为短径。

#### 1.4 数据处理与分析

采用 Photoshop 2020 软件对尖翅燕鱼胚胎发育和仔稚鱼发育照片进行处理, 通过 Image View 软件对其形态学指标进行测量, 用 SPSS 20.0 软件对数据进行单因素方差分析, 并以“平均值 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm SD$ )”表示, 用 Excel 2020 软件对测量数据进行分析, 推算出仔稚鱼阶段生长特性的回归方程。尖翅燕鱼仔稚鱼全长、体长、体高、头长、眼径以及卵黄囊的体积与日龄的关系用多项式表示:

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (2)$$

式中:  $x$  为生长天数( $d$ );  $y$  代表全长(mm)、体长(mm)、体高(mm)、头长(mm)、眼径(mm)、卵黄囊体积( $\text{mm}^3$ )中的一种;  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  为常数, 且  $a \neq 0$ 。

方程(2)的一阶导数表示为:

$$y' = 3ax^2 + 2bx + c \quad (3)$$

当  $y' > 0$  时, 表示  $y$  随着日龄的增加而正增长; 当  $y' < 0$  时, 则表现为负增长。方程(2)的二阶导数如下:

$$y'' = 6ax + 2b \quad (4)$$

当  $y'' > 0$  时, 表示  $y$  随着日龄的增加而加速增长; 当  $y'' < 0$  时, 则表现为减速增长。

若  $y'$  和  $y''$  总是满足  $y' > 0$  且  $y'' > 0$  时, 则说明尖翅燕鱼仔稚鱼的全长、体长、体高、头长和眼径随着日龄的增加在加速生长。若  $y'$  和  $y''$  总是满足  $y' < 0$  且  $y'' > 0$  时, 则说明尖翅燕鱼仔稚鱼的卵黄囊体积随着日龄的增加而加速减小。

## 2 结果

### 2.1 胚胎发育

尖翅燕鱼胚胎发育经历了合子期、卵裂期、囊胚期、原肠胚期、神经胚期、器官形成期和孵化出膜 7 个阶段, 共 27 个时期, 历时 27 h 45 min, 所需积温 721.5 h $\cdot$ °C (表 1 和图 1)。

#### 2.1.1 合子期 (0~30 min)

尖翅燕鱼受精卵的胚盘呈帽状, 颜色较深, 未受精的卵呈白色浑浊状且静止后逐渐下沉。受精卵为浮性卵, 直径 (1.29 $\pm$ 0.09) mm, 呈圆球形, 黄色透明, 卵膜坚韧, 含 1 个油球, 油球直径为 (0.42 $\pm$ 0.02) mm (图 1-a)。

#### 2.1.2 卵裂期 (30 min~4 h 7 min)

受精 1 h 后, 胚盘顶部出现裂沟, 开始第 1 次卵裂形成 2 个对等的细胞 (图 1-b)。受精 1 h 6 min 后进行第 2 次卵裂, 分裂沟与第 1 次分裂面垂直, 形成 4 个细胞 (图 1-c)。1 h 40 min 后进行第 3 次卵裂, 进入 8 细胞期 (图 1-d)。1 h 50 min 后进行第 4 次卵裂, 进入 16 细胞期 (图 1-e)。2 h 10 min 后进行第 5 次卵裂, 形成 32 个大小形状不规则的细胞 (图 1-f)。2 h 30 min 后进行第 6 次卵裂, 进入 64 细胞期 (图 1-g)。从 32 细胞期开始, 细胞进行不规则卵裂, 细胞体积随着卵裂次数增加而逐渐变小。2 h 58 min 进入多细胞期 (图 1-h), 细胞排成多层。受精后 3 h 23 min 发育至桑葚期 (图 1-i), 细胞数量剧增, 接近模糊, 胚胎外观类似于桑椹球状。

#### 2.1.3 囊胚期 (4 h 7 min~5 h 41 min)

受精后 4 h 7 min 进入第 3 阶段囊胚期。高囊胚期囊胚呈帽状堆积在原胚盘处, 细胞数量多且体积小 (图 1-j)。51 min 后胚盘高度降低, 变扁平, 进入低囊胚期 (图 1-k)。

#### 2.1.4 原肠胚期 (5 h 41 min~9 h 49 min)

受精后 5 h 41 min 胚盘开始下包, 形成胚环, 进入了原肠早期 (图 1-l)。34 min 后, 部分细胞集中加厚形成胚盾雏形, 进入原肠中期 (图 1-m)。8 h 8 min 胚层下包 4/5, 胚盾继续膨大, 开始出现胚体雏形, 进入原肠晚期 (图 1-n)。

#### 2.1.5 神经胚期 (9 h 49 min~11 h 28 min)

受精后 9 h 49 min 发育至胚体形成期 (图 1-o), 胚环缩小, 胚层细胞包围着植物极, 未包部分形成卵黄栓。11 h 进入胚孔封闭期 (图 1-p)。

#### 2.1.6 器官形成期 (11 h 28 min~27 h 20 min)

器官形成期持续时间最长, 共持续 15 h 52 min。受精后 11 h 28 min, 胚体前端膨大形成头部, 两侧向外隆起, 形成眼泡, 进入眼泡出现期 (图 1-q)。12 h 36 min 肌节出现, 开始出现零星色素, 进入肌节出现期 (图 1-r)。13 h 25 min 胚胎进入色素形成期, 胚体背部出现点状色素细胞 (图 1-s)。14 h 42 min 后视杯中逐渐形成圆形晶体, 肌节增多, 进入晶体形成期 (图 1-t)。16 h 55 min 胚体后端出现圆锥状突起, 卵黄囊与尾部分离, 进入尾芽期 (图 1-u)。受精卵发育至 19 h 18 min, 心脏开始不规则搏动, 进入心跳期 (图 1-v)。受精后的 20 h 36 min, 胚体不断抽搐, 尾从卵黄上分离, 进入肌

表1 尖翅燕鱼胚胎发育过程  
Table 1 Embryonic development of *P. teira*

发育阶段 Developmental stage	发育期 Developmental period	受精后时间 Time after fertilization	持续时间 Duration	积温 Accumulative Temperature/ (h·°C)	图1 Fig. 1
合子期 Zygo phase	受精卵 Fertilized egg	30 min	30 min	13	a
卵裂期 Cleavage stage	2细胞期 2-cell stage	60 min	30 min	13	b
	4细胞期 4-cell stage	1 h 6 min	16 min	7	c
	8细胞期 8-cell stage	1 h 40 min	36 min	15.6	d
	16细胞期 16-cell stage	1 h 50 min	10 min	4.3	e
	32细胞期 32-cell stage	2 h 10 min	20 min	8.6	f
	64细胞期 64-cell stage	2 h 30 min	20 min	8.6	g
	多细胞期 Multicellular stage	2 h 58 min	28 min	12.1	h
	桑葚期 Morula	3 h 23 min	25 min	12.1	i
	囊胚期 Blastula stage	高囊胚期 High blastula	4 h 7 min	44 min	19.1
低囊胚期 Low blastula		4 h 58 min	51 min	22.1	k
原肠胚期 Gastrula stage	原肠早期 Early-gastrula stage	5 h 41 min	1 h 13 min	31.6	l
	原肠中期 Mid-gastrula stage	6 h 45 min	34 min	14.7	m
	原肠晚期 Late-gastrula stage	8 h 8 min	1 h 23 min	36	n
神经胚期 Neurula stage	胚体形成期 Embryogenesis period	9 h 49 min	1 h 41 min	43.8	o
	胚孔封闭期 Closure of blastopore stage	11 h	1 h 11 min	30.8	p
器官形成期 Organogenesis stage	眼泡出现期 Tail vesicle period	11 h 28 min	28 min	12.1	q
	肌节出现期 Appearance of myomere	12 h 4 min	36 min	15.6	r
	色素形成期 Formation of pigment	13 h 25 min	1 h 21 min	35.1	s
	晶体形成期 Crystal stage of eyes	14 h 42 min	1 h 17 min	33.4	t
	尾芽期 Tail-bud period	16 h 55 min	2 h 13 min	57.6	u
	心跳期 Heart beating period	19 h 18 min	2 h 23 min	62	v
	肌肉效应期 Muscular contraction period	20 h 36 min	1 h 18 min	33.8	w
	耳石形成期 Appearance of statolith	22 h 20 min	2 h 14 min	58.1	x
	孵化前期 Pre-hatching stage	25 h 30 min	2 h 40 min	69.3	y
孵化期 Hatching stage	26 h 55 min	1 h 25 min	36.0	z	
孵化期 Hatching stage	初孵仔鱼 Newly hatched larvae	27 h 20 min	25 min	10.8	za

注: 受精卵孵化温度为 (26±0.3) °C、盐度 34~36、pH 7.8±0.5。

Note: The temperature of hatching seawater was (26±0.3) °C; the salinity was 34~36; pH was 7.8±0.5.

肉效应期 (图 1-w)。22 h 20 min 肌肉收缩剧烈, 心跳速度加快, 每个听囊中各形成 2 个钙质耳石, 此阶段为耳石形成期 (图 1-x)。25 h 30 min 后胚体颤动更加剧烈, 卵膜显得松弛, 进入孵化前期 (图 1-y)。孵化期尾部剧烈摆动, 头部使卵膜逐渐出现隆起,

仔鱼头部先破膜而出 (图 1-z)。

#### 2.1.7 孵化出膜 (27 h 20 min~27 h 45 min)

受精后 27 h 20 min 进入最后一个阶段, 胚体脱离卵膜, 悬浮静止在水面, 持续时间 25 min。初孵仔鱼全长为 (3.120±0.349) mm, 呈透明状, 头



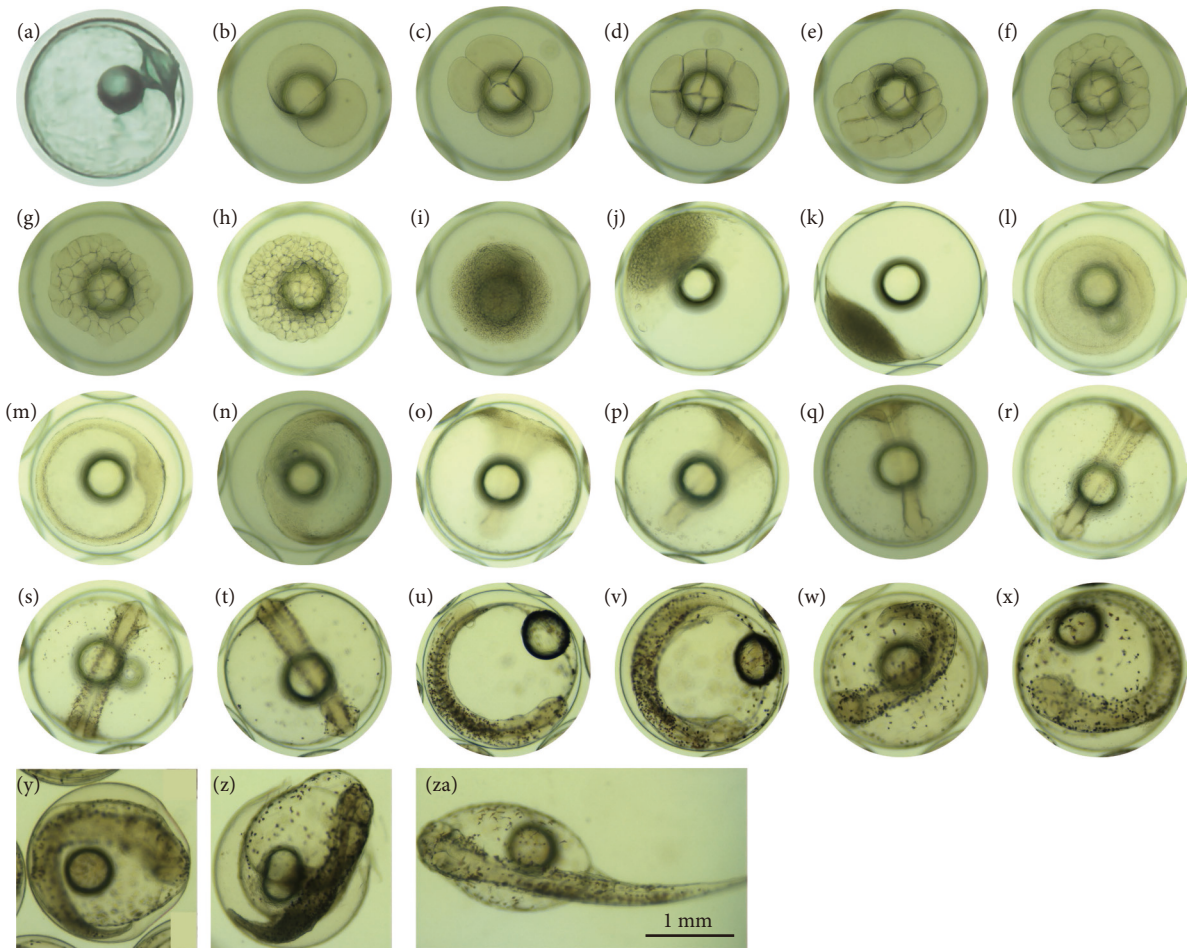


图1 尖翅燕鱼胚胎发育

注: a. 受精卵; b. 2细胞期; c. 4细胞期; d. 8细胞期; e. 16细胞期; f. 32细胞期; g. 64细胞期; h. 多细胞期; i. 桑葚期; j. 高囊胚期; k. 低囊胚期; l. 原肠早期; m. 原肠中期; n. 原肠晚期; o. 胚体形成; p. 胚孔封闭; q. 眼泡出现期; r. 肌节出现期; s. 色素形成; t. 晶体形成; u. 尾芽期; v. 心跳期; w. 肌肉效应期; x. 耳石形成; y. 孵化前期; z. 孵化期; za. 初孵仔鱼。

Fig. 1 Embryonic development of *P. teira*

None: a. Fertilized egg; b. 2-cell stage; c. 4-cell stage; d. 8-cell stage; e. 16-cell stage; f. 32-cell stage; g. 64-cell stage; h. Multi-cell stage; i. Morula stage; j. High blastula stage; k. Low blastula stage; l. Early gastrula; m. Middle gastrula; n. Late gastrula; o. Embryo body formation; p. Closure of blastopore; q. Eye vesicle stage; r. Muscle burl stage; s. Formation of pigment; t. Formation of eye lens; u. Caudal bud stage; v. Heart beating stage; w. Muscle contraction; x. Formation of otolith; y. Pre-hatching stage; z. hatching stage; za. Newly hatched larvae.

部、体部、卵黄囊以及背鳍表面散布着大量分枝叶黄素(图1-za)。

## 2.2 仔稚鱼生长发育

根据尖翅燕鱼胚后发育卵黄囊、体色、鳍条以及其他形态结构变化,将其划分为3个时期(仔鱼期、稚鱼期和幼鱼期),其中仔鱼期和稚鱼期的划分以各鳍条是否形成为依据,同时可根据卵黄囊的吸收情况将仔鱼期划分为仔鱼前期和仔鱼后期;幼鱼期判定标准为鱼体表面有3条黑色条带,身体呈雪白银色,且形态与成鱼相似。

### 2.2.1 仔鱼期

1日龄时,仔鱼全长( $3.220 \pm 0.729$ ) mm,有24个肌节,眼睛无色素(图2-a),卵黄囊体积( $0.099 \pm 0.004$ )  $\text{mm}^3$ ,此阶段的仔鱼仍浮在水面。

2日龄仔鱼全长( $3.358 \pm 0.895$ ) mm,卵黄囊逐渐减小,身体背侧和腹侧的叶黄素比侧面更密集,身体的后部和躯干的腹侧开始出现小的黑色素细胞(图2-b)。3日龄仔鱼全长( $3.518 \pm 0.851$ ) mm,此时的卵黄囊体积已经缩小到( $0.068 \pm 0.005$ )  $\text{mm}^3$ ,仔鱼开口,开始摄食轮虫无节幼体,黑色素细胞散布在身体的后部、躯干的腹侧和消化道的背面,眼睛有色素沉积(图2-c)。4日龄时,仔鱼长出了小牙齿,卵黄囊和油球几乎消失,此时的卵黄囊体积为( $0.003 \pm 0.003$ )  $\text{mm}^3$ (图2-d)。5日龄时,鱼体中卵黄囊消失进入后仔鱼阶段,仔鱼前鳃盖骨处形成短的、针状的棘,游泳能力增强,具有趋光性(图2-e)。在7日龄时,肠道开始弯曲,仔鱼鳃盖前棘发育良好,鳃盖、腹腔以及口腔顶部出现黄体,眼球发亮

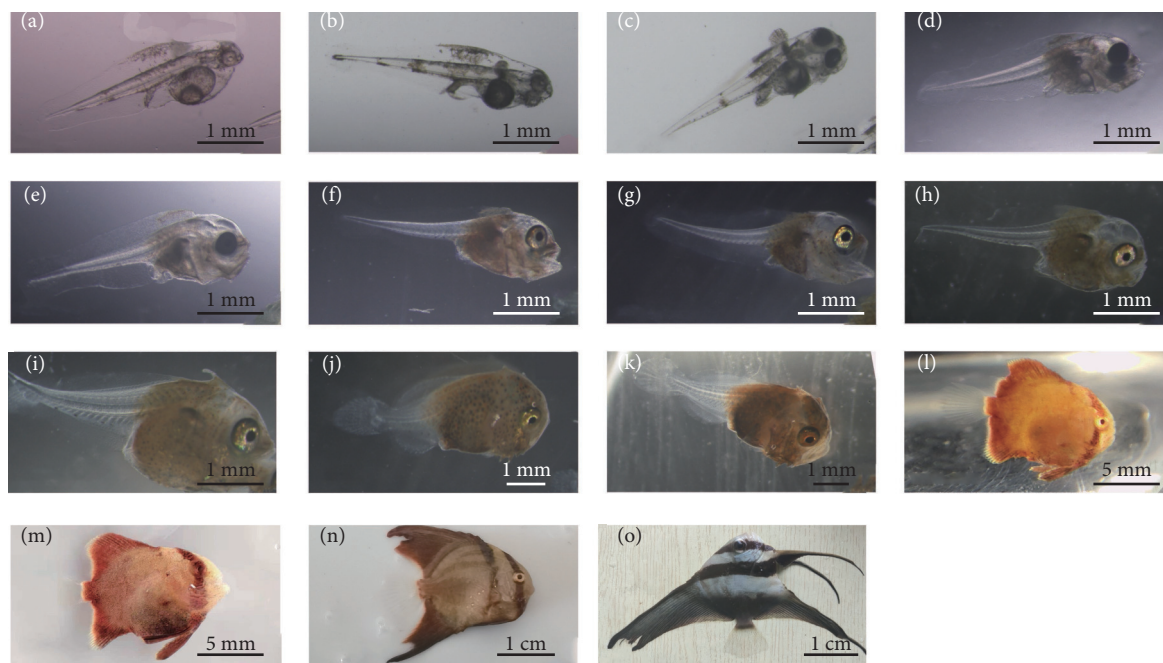


图2 尖翅燕鱼仔稚鱼形态发育

注: a. 1 龄仔鱼; b. 2 日龄仔鱼; c. 3 日龄仔鱼; d. 4 日龄仔鱼; e. 5 日龄仔鱼; f. 7 日龄仔鱼; g. 9 日龄仔鱼; h. 11 日龄仔鱼; i. 13 日龄仔鱼; j. 15 日龄仔鱼; k. 17 日龄仔鱼; l. 19 日龄稚鱼; m. 21 日龄稚鱼; n. 23 日龄稚鱼; o. 25 日龄幼鱼。

Fig. 2 Morphological development of larvae and juvenile of *P. teira*

None: a. 1 dah larvae; b. 2 dah larvae; c. 3 dah larvae; d. 4 dah larvae; e. 5 dah larvae; f. 7 dah larvae; g. 9 dah larvae; h. 11 dah larvae; i. 13 dah larva; j. 15 dah larva; k. 17 dah larva; l. 19 dah juvenile; m. 21 dah juvenile; n. 23 dah juvenile; o. 25 dah juvenile.

轮廓清晰(图 2-f)。9 日龄时,仔鱼全长达到 $(4.180 \pm 1.116)$  mm,背部黄色素堆积,硬棘数量增多,此阶段出现残食和攻击行为(图 2-g)。11 日龄时,仔鱼全长为 $(4.990 \pm 1.296)$  mm,鱼体颜色加深,但尾部仍未有颜色,背鳍鳍条尚未形成(图 2-h)。13 日龄时,仔鱼全长 $(6.320 \pm 1.160)$  mm,躯干部开始附着黑色素细胞,尾鳍鳍条开始分化呈扇形,摄食和游泳能力明显增强(图 2-i)。15 日龄时,仔鱼全长 $(8.451 \pm 1.278)$  mm,尾鳍与背鳍和臀鳍开始分开,身体变得圆润,身体表面黑色素细胞明显增多(图版 2-j)。

### 2.2.2 稚鱼期

17 日龄时,仔鱼全长 $(10.470 \pm 1.135)$  mm,胸鳍、尾鳍、背鳍和臀鳍明显增大,鳃盖张合明显,开始进入稚鱼期阶段(图 2-k)。19 日龄后,鱼体呈橙色,第 1 条黑带从眼部穿过,鳍条分化明显,进入幼鱼期后,鱼体色由橙色转为雪白银色(图 2-l)。21 日龄时,稚鱼全长 $(16.151 \pm 1.081)$  mm,胸鳍、尾鳍、背鳍和臀鳍继续伸长,身体变得狭窄,胸部开始出现白点(图 2-m)。23 日龄时,稚鱼全长为 $(23.248 \pm 1.399)$  mm,此阶段的鱼体生长差异明显,第 2 条黑色条带从鳃盖后缘穿过,腹部白点增多

(图 2-n)。

### 2.2.3 幼鱼期

在 25 日龄时,鱼全长 $(31.066 \pm 1.998)$  mm,此阶段鱼的鳍棘和鳍条发育完成,其典型特征为头部、躯干部和尾部各有 3 条黑色条带,受到外界刺激,体色瞬间变为黑色,形态与成鱼无异(图 2-o)。

## 2.3 生长特性

对尖翅燕鱼初孵仔鱼至 25 日龄的鱼体全长、体长、体高、头长、眼径和卵黄囊的体积与日龄的关系进行回归方程拟合,结果表明,尖翅燕鱼仔稚鱼阶段全长(图 3-a)、体长(图 3-b)、体高(图 3-c)、头长(图 3-d)和眼径(图 3-e)与日龄之间的变化规律分别符合公式(5)、(6)、(7)、(8)和(9):

$$y = 0.003 5x^3 - 0.063 2x^2 + 0.506 6x + 2.440 1, R^2 = 0.995 7 \quad (5)$$

$$y = 0.003 1x^3 - 0.053 3x^2 + 0.342 4x + 2.679 6, R^2 = 0.997 9 \quad (6)$$

$$y = 0.003 8x^3 - 0.085 6x^2 + 0.600 1x + 0.086 3, R^2 = 0.994 5 \quad (7)$$

$$y = 0.001 0x^3 - 0.019 8x^2 + 0.209 9x + 0.176 1, R^2 = 0.993 1 \quad (8)$$

$$y = 0.000 5x^3 - 0.014 2x^2 + 0.135 7x + 0.027 3, R^2 = 0.980 7 \quad (9)$$

式中:  $y$  分别为全长、体长、体高、头长和眼径;

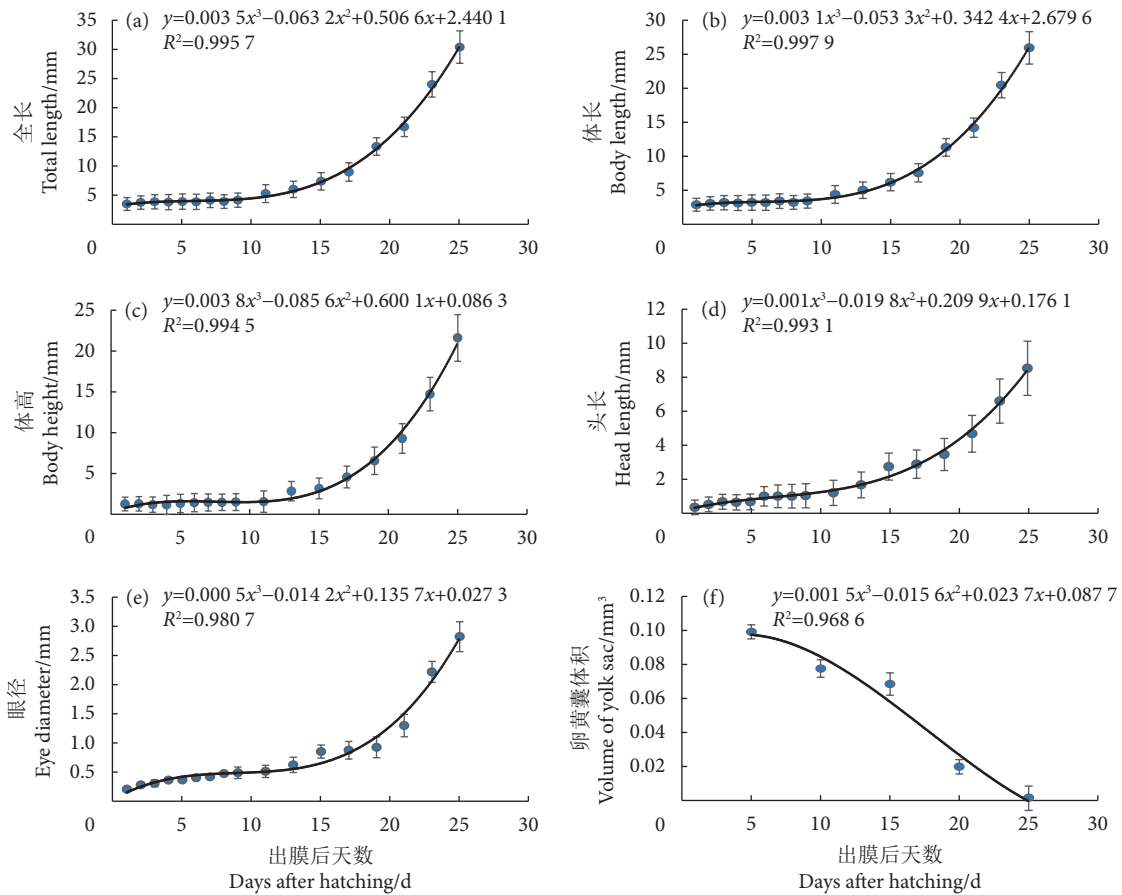


图3 尖翅燕鱼早期生长曲线

注: a. 全长与孵化日龄的关系; b. 体长与孵化日龄的关系; c. 体高与孵化日龄的关系; d. 头长与孵化日龄的关系; e. 眼径与孵化日龄的关系; f. 卵黄囊体积与孵化日龄的关系

Fig. 3 Early growth curve of *P. teira*

Note: a. Relationship between total length and dah; b. Relationship between body length and dah; c. Relationship between body height and dah; d. Relationship between head length and dah; e. Relationship between eye diameter and dah; f. Relationship between yolk sac volume and dah.

$x$  为日龄且  $x \in [1, 25]$ 。

尖翅燕鱼仔稚鱼阶段卵黄囊的体积 (图 3-f) 与日龄之间的变化规律符合公式 (10):

$$y = 0.0015x^3 - 0.0156x^2 + 0.0237x + 0.0877, R^2 = 0.9686 \quad (10)$$

式中:  $y$  为卵黄囊体积;  $x$  为日龄且  $x \in [1, 5]$ 。

尖翅燕鱼仔稚鱼的全长、体长、体高、头长和眼径在发育过程中均表现出超速生长, 在 7 日龄前生长较为缓慢, 7 日龄后各生长指标均加速生长。卵黄囊的体积随日龄的增加逐渐减小, 在 5 日龄时完全消失。

### 3 讨论

#### 3.1 胚胎发育特征比较

本研究观察发现, 尖翅燕鱼卵裂方式为盘状分裂, 与其他鲈形目基本相同; 受精卵为浮性卵, 卵壳较坚韧, 呈黄色透明球状, 为单个油球, 无黏性。一般具有油球的受精卵为浮性卵, 卵的沉浮性

主要取决于油球大小和孵化水体盐度高低。云纹石斑鱼 (*Epinehelus moara*) × 鞍带石斑鱼 (*E. lanceolatus*)<sup>[12]</sup> 的受精卵在盐度低于 25 时为沉性卵, 盐度 30 左右为半沉性, 盐度 35 以上为浮性卵。军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)<sup>[13]</sup> 受精卵在盐度 26 以下为沉性卵, 盐度 29 左右为半沉性, 盐度 32 以上为浮性卵。然而, 黄小林等<sup>[14]</sup> 观察到黄斑篮子鱼 (*Siganus oramin*) 的受精卵为沉性黏性卵。表明鱼类受精卵的沉浮性可能与外部环境和物种繁殖行为模式有关。

尖翅燕鱼受精卵在水温 ( $26 \pm 0.3$ ) °C、盐度 34~36 和 pH  $7.8 \pm 0.5$  条件下, 历时 27 h 45 min 完成孵化。有研究表明, 海水鱼类受精卵孵化速率与卵径呈正相关, 卵径越大, 孵化时间越久, 且初孵仔鱼越大<sup>[15]</sup>。本研究结果显示, 尖翅燕鱼的卵径和油球直径较大, 略小于黄条鲷 (*Seriola aureovittata*)<sup>[16]</sup>, 也即卵径和油球直径相近, 但尖翅燕鱼受精卵的孵化速率却高于黄条鲷, 这与先前的研究



相一致。物种间卵径和油球的大小因产卵时间和环境等因素不同而有所差异,且卵子、油球和卵黄囊大小对初孵仔鱼的发育起关键作用<sup>[17]</sup>。卵黄囊和油球作为内源性营养物质,其体积越大则营养越充足,这对仔鱼早期器官发育、摄食、成活率有重要意义<sup>[18]</sup>。

鱼类孵化速率与孵化温度密切相关,温度低则孵化速率相对较慢;在最适孵化温度下,水温越高,孵化速率越高。黑棘鲷 (*Acanthopagrus schlegelii*)<sup>[19]</sup> 在水温 23 ℃ 下的孵化时间为 32 h,卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*)<sup>[20]</sup> 在水温 26 ℃ 下的孵化时间为 44 h 48 min,金钱鱼 (*Scatophagus argus*)<sup>[21]</sup> 受精卵在水温 24 ℃ 下经历 28.5 h 孵化出膜,比尖翅燕鱼略慢。然而,在温度相近的条件下,黄条鲷从受精卵到出孵仔鱼历时 73 h 40 min<sup>[16]</sup>,这可能受物种本身发育特点的影响,也可能与栖息环境和繁殖条件有关。有研究表明,孵化水温与孵化速率呈正相关,温度升高可以促进鱼的新陈代谢从而提高胚胎的发育速度,但温度过高会导致畸形率增加<sup>[22-23]</sup>。因此,温度对尖翅燕鱼孵化的影响还有待进一步研究。

### 3.2 形态特征分析

尖翅燕鱼在孵化出膜前已完成了部分器官的分化,25 日龄进入幼鱼期,其仔稚鱼的胚后发育速率相对较快,在形态、生理和功能系统(感觉、消化和运动)方面均经历了剧烈的变化。已有研究中,多纹钱蝶鱼 (*Selenotoca multifasciata*)<sup>[24]</sup> 出膜后 33 d 进入幼鱼期,相对较慢;鞍带石斑鱼<sup>[25]</sup> 21 日龄开始已具备幼鱼的特征。影响鱼类胚后发育的因素很多,如温度<sup>[26]</sup>、盐度<sup>[27]</sup> 和 pH<sup>[28]</sup> 等环境因素均会影响鱼的呼吸、消化、代谢和免疫系统发育,进而影响胚后发育的时长。

在影响胚后发育的所有因素中,早期阶段内源性营养单一、消化系统发育不完善,是制约仔鱼生长的根本因素<sup>[29]</sup>,随着外源性营养的增加和器官发育,尖翅燕鱼仔稚鱼在发育后期生长速度明显加快。此外,在孵化后 5 d 左右,仔鱼的死亡率较高,该阶段仔鱼正处于由内源性营养向外源性营养转变的时期,饵料的适口性与丰富度对仔鱼的发育起决定性作用<sup>[30-31]</sup>。尖翅燕鱼初孵仔鱼的全长和卵黄囊体积略大于其他鱼类,这些因素均有利于其对内源性营养的吸收,促进早期器官发育。4 日龄时仔鱼长出小的牙齿,7 日龄时各器官的生长速度加

快,眼睛、肠道、鳃盖和鳍条,作为消化、呼吸和运动的主要功能器官变化最明显<sup>[32]</sup>。肠道弯曲有利于摄食轮虫,促进对外源性营养的吸收,鳍的形成与其四处游动寻找食物和逃避捕食的能力密切相关,鳍条和眼睛的发育可提高鱼的游泳和捕食能力。上述研究表明卵的质量和外源性食物的差异会影响器官发育,导致仔稚鱼生长速率产生差异<sup>[33]</sup>。

### 3.3 异速生长特性分析

与其他硬骨鱼类一样<sup>[16]</sup>,尖翅燕鱼仔稚鱼全长、体长、体高、头长和眼径均与日龄呈正相关关系。其头部的发育优先于体长和体高,头部为鱼类视觉、呼吸、摄食等重要器官部位,在早期发育阶段尤显重要。眼径大小是衡量鱼类神经元和感觉器官发育的重要指标,直接影响光刺激下幼鱼捕猎的反应能力<sup>[23]</sup>。尖翅燕鱼在孵化初期头长和眼径发育较缓,5 日龄后快速生长,此阶段仔鱼开始具有趋光性且逐渐出现残食和攻击行为,这可能与其生活习性、养殖密度及饵料供应不足有关<sup>[34]</sup>。

鱼类体长和体高的发育通常与内脏器官发育有关,如消化系统和呼吸系统。尖翅燕鱼体高的正异速发育在 7 日龄后,此阶段消化系统逐渐完善,各鳍条快速发育,游泳能力和摄食能力逐渐增强。仔鱼从孵化至卵黄囊消失持续 5 d,这与营养方式由内源性营养向外源性营养过渡相适应,进入外源性营养期后,鱼类运动器官的发育相一致。

尖翅燕鱼早期胚胎发育特点及异速生长特性,保证了其呼吸、消化、生长和摄食等功能的发育,以提高其适应外界环境的能力。因此,深入研究尖翅燕鱼早期发育阶段生物学特性对于提高其苗种成活率具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] BILECENOGLU M, KAYA M. A new alien fish in the Mediterranean Sea: *Platax teira* (Forsskal, 1775) (Osteichthyes: Ephippidae)[J]. Aquat Invasions, 2006, 1(2): 80-83.
- [2] ZENG C, LIU B S, ZHU K C, et al. Comparison of body height, body length, full length and body weight growth curves of the longfin batfish, *Platax teira*[J]. Pak J Zool, 2021, 53(2): 1-7.
- [3] CRESPEL A, ZAMBONINO-INFANTE J L, MAZURAI D, et al. The development of contemporary European sea bass larvae (*Dicentrarchus labrax*) is not affected by projected ocean acidification scenarios[J]. Mar Biol, 2017, 164(7): 155.
- [4] LAGUERRE H, RAYMOND G, PLAN P, et al. First description of embryonic and larval development, juvenile growth of the black sea-cucumber *Holothuria forskali* (Echinodermata: Holothuroi-



- dea), a new species for aquaculture in the north-eastern Atlantic[J]. *Aquaculture*, 2020, 521: 734961.
- [5] JIN Y, OLSEN R E, OSTENSEN M A, et al. Transcriptional regulation of lipid metabolism when salmon fry switches from endogenous to exogenous feeding[J]. *Aquaculture*, 2019, 503: 422-429.
- [6] HONRYO T, TSUKADA H, KURATA M, et al. Suitable light intensity during the ontogenetic development of white trevally, *Pseudocaranx dentex* (Bloch and Schneider, 1801), larvae[J]. *Aquac Res*, 2021, 52: 3508-3517.
- [7] RIBEIRO F F, FORSYTHE S, QIN J G. Dynamics of intracohort cannibalism and size heterogeneity in juvenile barramundi (*Lates calcarifer*) at different stocking densities and feeding frequencies[J]. *Aquaculture*, 2015, 444: 55-61.
- [8] ZENG C, LIU B S, ZHU K C, et al. Histological study on development of the digestive system of longfin batfish (*Platax teira*) [J]. *Isr J Aquac-Bamidgeh*, 2020, 72: 9.
- [9] LIU B, GUO H Y, ZHU K C, et al. Nutritional compositions in different parts of muscle in the longfin batfish, *Platax teira* (Forsskal, 1775)[J]. *J Appl Anim Res*, 2019, 47(1): 403-407.
- [10] 李松, 李宏, 张明建, 等. 清江河多鳞白甲鱼胚胎发育观察 [J]. *中国农业文摘-农业工程*, 2021, 33(2): 36-40.
- [11] 杨建, 耿龙武, 王雨, 等. 拟赤梢鱼的胚胎发育和仔稚鱼生长特性观察拟赤梢鱼的胚胎发育和仔稚鱼生长特性观察 [J]. *水生生物学报*, 2021, 45(3): 643-651.
- [12] 张梦淇, 陈超, 李炎璐, 等. 盐度对云纹石斑鱼 (*Epinehelus moara* ♀) × 鞍带石斑鱼 (*Epinehelus lanceolatus* ♂) 受精卵孵化的影响及杂交仔稚鱼形态发育观察 [J]. *渔业科学进展*, 2016, 37(4): 81-89.
- [13] 孙丽华, 陈浩如, 王肇鼎. 盐度对军曹鱼胚胎和仔鱼发育的影响 [J]. *生态科学*, 2006, 25(1): 48-51.
- [14] 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.
- [15] DOS SANTOS J A, SOARES C M, BIALETZKI A. Early ontogeny of yellowtail tetra fish *Astyanax lacustris* (Characiformes: Characidae)[J]. *Aquacult Res*, 2020, 51(10): 4030-4042.
- [16] 徐永江, 张正荣, 柳学周, 等. 黄条鲮早期生长发育特征 [J]. *中国水产科学*, 2019, 26(1): 172-182.
- [17] 张亮, 闻海波, 郑冰清, 等. 淡水石首鱼人工催产与胚胎发育观察 [J]. *中国水产科学*, 2021, 28(5): 569-578.
- [18] RIDDLE M R, HU C K. Fish models for investigating nutritional regulation of embryonic development[J]. *Dev Biol*, 2021, 476: 101-111.
- [19] 官曙光, 刘洪军, 李祥东, 等. 黑棘鲷胚胎发育过程及特殊结构观察 [J]. *海洋科学*, 2011, 35(9): 68-72.
- [20] 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.
- [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] YANAGITSURU Y R, MAIN M A, LEWIS L S, et al. Effects of temperature on hatching and growth performance of embryos and yolk-sac larvae of a threatened estuarine fish: longfin smelt (*Spirinchus thaleichthys*) [J]. *Aquaculture*, 2021, 537: 736502.
- [23] HAN M Y, LUO M, YANG R, et al. Impact of temperature on survival and spinal development of golden pompano *Trachinotus ovatus* (Linnaeus 1758)[J]. *Aquac Rep*, 2020, 18: 100556.
- [24] 刘鉴毅, 李琪, 孙艳秋, 等. 多纹钱蝶鱼胚胎发育及胚后发育观察 [J]. *中国水产科学*, 2021, 28(8): 978-987.
- [25] 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.
- [26] 王亚利, 刘玥, 田佳佳, 等. 温度对四川华扁仔、稚鱼生长发育及存活率的影响 [J]. *渔业科学进展*, 2021, 42(5): 47-54.
- [27] THOMAS D, REKHA M U, ANGEL J R J, et al. Effects of salinity amendments on the embryonic and larval development of a tropical brackishwater ornamental silver moony fish, *Monodactylus argenteus* (Linnaeus, 1758)[J]. *Aquaculture*, 2021, 544: 737073.
- [28] SANTOS J A, SOARES C M, BIALETZKI A. Effects of pH on the incubation and early development of fish species with different reproductive strategies[J]. *Aquat Toxicol*, 2020, 219: 105382.
- [29] PEPE-VICTORIANO R, MIRANDA L, ORTEGA A, et al. Descriptive morphology and allometric growth of the larval development of *Sarda chiliensis chiliensis* (Cuvier, 1832) in a hatchery in northern Chile[J]. *Aquac Rep*, 2021, 19: 100576.
- [30] YANGTHONG M, RUENSIRIKUL J. Feed intake stimulation of juvenile spotted scat (*Scatophagus argus* Linnaeus, 1766) using dietary seaweed supplementation (*Ulva* sp.) [J]. *Aquaculture*, 2020, 529: 735626.
- [31] TONG X, YANG X, BAO C, et al. Changes of biochemical compositions during development of eggs and yolk-sac larvae of turbot *Scophthalmus maximus* [J]. *Aquaculture*, 2017, 473: 317-326.
- [32] PAPADAKIS I E, KENTOURI M, DIVANACH P, et al. Ontogeny of the eye of meagre (*Argyrosomus regius*) from hatching to juvenile and implications to commercial larval rearing[J]. *Aquaculture*, 2018, 484: 32-43.
- [33] ZHANG J D, AMENYOGBE E, YANG E J, et al. Feeding habits and growth characteristics of cobia (*Rachycentron canadum*) larval and juvenile stages[J]. *Aquaculture*, 2021, 539: 736612.
- [34] MANDAL B, KAILASAM M, BERA A, et al. Standardization of oocyte size during artificial fertilization and optimization of stocking density during indoor larval and outdoor nursery rearing of captive spotted scat (*Scatophagus argus*) for a viable juvenile production system[J]. *Aquaculture*, 2021, 534: 736262.