

大鳍鱮胚胎及仔稚鱼发育观察

陈思奇^{1,2}, 朱永久¹, 吴兴兵¹, 杨德国¹, 李晓莉¹

1. 中国水产科学研究院长江水产研究所/农业农村部淡水生物多样性保护重点实验室, 湖北 武汉 430223

2. 长江大学 生命科学学院, 湖北 荆州 434020

摘要: 大鳍鱮 (*Mystus macropterus*) 是一种亟待开发的优质养殖品种。探明养殖大鳍鱮早期发育阶段的特征和规律, 可为其人工催产和苗种培育提供理论依据。采用显微镜观察法, 对其胚胎及仔稚鱼发育各时期的形态特征和发育特点进行了研究, 并对其形态学指标进行了测量, 推算出仔稚鱼阶段生长特性的回归方程。结果表明: 大鳍鱮受精卵呈椭圆形、黄褐色, 卵径为 (3.46 ± 0.3) mm; 平均水温 26.2 °C 下, 大鳍鱮胚胎发育历时 79 h, 积温为 2065.26 h·°C, 根据发育时胚胎的典型外部形态特征, 将其分为受精卵、胚盘期、卵裂期、囊胚期、原肠期、神经胚期、器官分化期和出膜期共 8 个阶段 28 个时期; 初孵仔鱼全长 (7.31 ± 0.52) mm, 仔鱼期历时 10 d, 仔鱼前期卵黄囊大部分被吸收, 全长特定生长率 (SGR_L) 为 9.79%, 体质量特定生长率 (SGR_m) 为 12.31%, 出膜后 7~8 d 仔鱼大部分开口, 9 d 卵黄囊消失, 仔鱼后期 SGR_L 为 4.15%, SGR_m 为 12.25%。稚鱼期历时 11 d, 各鳍基本长成, 体型和体色接近成鱼, SGR_L 为 4.30%, SGR_m 为 13.17%, 全长 22~24 mm。统计模型显示, 大鳍鱮仔稚鱼的生长属于异速生长类型。

关键词: 大鳍鱮; 胚胎发育; 仔稚鱼发育

中图分类号: S 961.2⁺3

文献标志码: A

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Morphological development of embryos and larvae of *Mystus macropterus*

CHEN Siqu^{1,2}, ZHU Yongjiu¹, WU Xingbing¹, YANG Deguo¹, LI Xiaoli¹

1. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430223, China

2. Collage of Life Science, Yangtze University, Jingzhou 434020, China

Abstract: *Mystus macropterus* is a high-quality aquaculture variety that urgently needs to be developed. Exploring the characteristics and patterns of early developmental stages of cultured *M. macropterus* can provide basic data for its seedling cultivation and large-scale efficient seed production. We studied the morphological characteristics and developmental features of its embryos and juveniles by microscopic observation, and measured the morphological indicators to derive regression equations for the growth characteristics of juveniles. The results show that the fertilized eggs of the fish were oval and yellowish brown, with a diameter of (3.46 ± 0.3) mm. At incubation temperature of 26.2 °C, the embryos took 79 h to develop for eight stages with 28 periods, including fertilization, cleavage, blastocyst, gastrula, neuroembryo, organ differentiation and hatching, and the total accumulative temperature was 2065.26 h·°C. The total length of the larvae was (7.31 ± 0.52) mm, the larvae stage lasted for 10 d, and most of the yolk sac was absorbed at early stage of larvae. The full-length specific growth rate (SGR_L) was 9.79%, and the weight-specific growth rate (SGR_m) was 12.31%. Most of the larvae opened 7~8 d after membrane emergence, and the yolk sac disappeared

收稿日期: 2023-04-25; 修回日期: 2023-06-28

基金项目: 湖北省长江野生鱼类繁育驯化科技攻关项目; 国家现代农业产业技术体系 (CARS-46); 中国水产科学研究院基本科研业务费专项资金 (2023TD61)

作者简介: 陈思奇 (1998—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水生生物学。E-mail: csq170912040@163.com

通信作者: 李晓莉 (1981—), 女, 副研究员, 硕士, 研究方向为鱼类驯养繁殖与池塘养殖。E-mail: lxl@yfi.ac.cn

on 9th day. The SGR_L and SGR_m were 4.15% and 12.25% at later stage of larvae, respectively. The juvenile stage lasted for 11 d. The fins were basically mature, and the body size and body color were close to those of adult fish. SGR_L was 4.30%, SGR_m was 13.17%, and the total length was 22–24 mm. The statistical model shows that the growth of the larvae and juveniles is of allometric type.

Keywords: *Mystus macropterus*; Embryonic development; Larval and juvenile development

大鳍鲩 (*Mystus macropterus*) 属于硬骨鱼纲、鲶形目、鲶科、鲩属, 俗称石扁头、石胡子、江鼠等, 其自然分布于长江和珠江流域, 是鲩属中生长迅速、个体较大的一种。其肉质细嫩、味道鲜美、营养丰富、蛋白质含量高, 具有较高的食用和经济价值, 市场售价可达 100~120 元·kg⁻¹[1]。长江实施十年禁渔前, 受水利工程建设、过度捕捞以及生态环境污染等影响, 大鳍鲩野生资源严重枯竭, 其捕捞死亡率系数偏高、捕捞个体偏低龄、体型较小[2-3]。随着长江“十年禁渔”的实施, 市场上更难以见到大鳍鲩的身影。

大鳍鲩适温范围广、适应环境能力强, 其对水质要求不高, 生长速度较快, 是一种亟待开发的优质养殖品种[3-4]。自 20 世纪 90 年代便已开展大鳍鲩人工繁殖技术探索[5-6]。近年来, 通过受精工艺的优化, 其平均受精率达到 55%, 平均孵化率达到 21.3%。然而, 由于苗种培育技术尚不成熟, 早期发育过程中的苗种成活率仍较低(约 14%)[6-7], 导致目前大鳍鲩人工养殖苗种规模及数量无法满足市场需求, 限制了其产业化发展[7]。

鱼类早期生活史作为个体发生和系统发育中的重要组成部分, 是开展鱼类自然资源繁殖保护和养殖业苗种培育的基础[8]。掌握鱼类早期发育的特点, 对于提高苗种成活率、优化仔稚鱼的生长条件、扩大种群资源具有重要意义[9]。本研究在全人工繁殖条件下, 对大鳍鲩胚胎发育及仔稚鱼生长过程进行了观察和分析, 旨在探究人工繁育条件下大鳍鲩的胚胎发育及仔稚鱼生长规律, 为其苗种培育和人工繁殖提供基础数据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用大鳍鲩亲鱼来自中国水产科学研究院长江水产研究所特有鱼类繁育基地, 为人工繁殖子一代培育而成, 均为 4 龄以上。催产用雄鱼亲本尾细长、腹扁平、生殖孔凸起, 其须和尾柄较同体长的雌鱼长[10], 体质量 (409.16±87.09) g; 雌鱼亲本腹

部柔软膨大, 轻压腹部后端可见生殖孔有卵粒流出, 体质量 (310.51±100.63) g。亲鱼活动敏捷, 体质健壮、外表光滑无伤, 无病害, 生长发育情况良好。

1.2 方法

1.2.1 催产受精

采用二次注射法用催产剂 (HCG、LHRH-A 和 DOM 混合药物) 对雌鱼进行腹腔注射诱导催熟产卵, 及时检查卵子成熟情况, 待卵子成熟后便开始进行人工授精。将卵子挤入事先准备好的干净且干燥的盆中并称质量, 避免鱼卵与水接触。为减少卵子发育程度差异对受精的影响, 观察并参照 Chatakondi 和 Torrains[11] 的方法对卵子活力进行评估, 卵液 pH>7.4 即可以判断卵子质量合格。受精前 12 h 对雄鱼进行一次注射催熟, 催熟药物及剂量同雌鱼一致。雄鱼精液收集采用杀鱼取精的方法。取出精巢后用滤纸吸干精巢表面组织液和血液, 称质量, 在干净的小烧杯中剪碎, 用纱布过滤。按照体积比 1:10 将采集的精液加入精子稀释液[12]后保存备用。按照精卵体积 (mL) 质量 (g) 比 1:20 将精子与卵子混合[13], 轻轻搅拌 10 s, 然后加入激活液再搅拌 2 min 使卵受精。倒出多余的激活液和卵巢液后再用清水冲洗受精卵 1~2 遍, 完成受精。

1.2.2 孵化

受精卵在直径 300 cm、高 110 cm、水深 100 cm 的孵化桶中进行挂网孵化。挂网用聚乙烯网片为 30 目, 规格为 60 cm×40 cm。将受精卵均匀的撒在网片上, 晾干 10 min, 待受精卵充分粘贴在网片上后, 挂入孵化桶中流水孵化。孵化水质: pH (8.4±0.1), 溶解氧质量浓度 (7.5±0.3) mg·L⁻¹, 日换水率为 50%, 平均水温为 26.2 °C。

1.2.3 仔稚鱼培育

仔鱼出膜后及时收集, 为方便观察及投喂, 将苗种收集至底部镂空的孵化框中, 将孵化框置于孵化桶中继续培育, 孵化框规格为长 50 cm×宽 50 cm×

高 10 cm, 底部孔径为 60 目。仔鱼上浮可摄食后, 投喂丰年虫, 投喂时间为 09:00 和 17:00。培育过程中及时吸出残饵和粪便。每日统计仔稚鱼死亡尾数并记录。

1.2.4 早期发育观察及分析

以同批发育正常的受精卵为观测对象, 每次随机选取 50 粒受精卵使用体视显微镜 (Olympus SZX 16) 对其胚胎发育各时期形态特征进行观察和拍照。并通过 Olympus 软件测量卵径。大鳍鲮受精卵开始发育初始 2 h 内, 连续观察, 随后每 2 h 观察 1 次。并在大鳍鲮胚胎发育的心脏跳动期及肌肉效应期进行录像。胚胎发育各个阶段的划分以 50% 以上样本进入该阶段来确定^[14]。

以同批发育正常的仔稚鱼为观测对象, 仔稚鱼阶段每天观察 1 次, 每次随机取样 10 尾, 用 MS-222 (100 mg·L⁻¹) 麻醉后, 进行生长发育观察和测定。采用体视显微镜配套的 Olympus 软件测量仔、稚鱼全长。体质量用分析天平测定 (精度为 0.1 mg)。

1.2.5 数据分析

胚胎发育的总积温为所有发育阶段的积温相加^[15-16]。

各发育阶段积温计算公式为: 积温 (h·°C)=该发育阶段的持续时间 (h)×该发育阶段的平均水温 (°C)。

参照钟全福等^[17]的方法计算全长特定生长率 ($R_{SGR,L}$) 和体质量特定生长率 ($R_{SGR,m}$):

$$R_{SGR,L} = (\ln L_2 - \ln L_1) / (t_2 - t_1) \times 100\% \quad (1)$$

$$R_{SGR,m} = (\ln m_2 - \ln m_1) / (t_2 - t_1) \times 100\% \quad (2)$$

式中: t_1 、 t_2 代表相邻的日龄; L_1 、 L_2 代表 t_1 、 t_2 日龄时的全长; m_1 、 m_2 代表 t_1 、 t_2 日龄时的体质量。

采用 Excel 2010、SPSS 16.0 软件对数据进行整理并统计作图, 所有统计值以“平均值±标准差 ($\bar{x} \pm s$)”表示。

2 结果

2.1 胚胎发育

根据胚胎发育过程中的外部形态变化将大鳍鲮的胚胎发育分为受精卵、胚盘形成、卵裂、囊胚、原肠、神经胚、器官分化和出膜共 8 个阶段。平均水温为 26.2 °C 条件下, 整个胚胎阶段发育耗时 79 h, 所需积温为 2065.26 h·°C, 其中器官形成阶段耗时最长, 为 32.25 h, 积温为 841.73 h·°C, 各发育阶段耗时和积温详见表 1。

2.1.1 受精卵

大鳍鲮受精卵呈椭圆球形, 黄褐色不透明, 成熟卵卵径为 (2.72±0.2) mm, 遇水后吸水膨胀, 卵周隙扩大, 卵径为 (3.46±0.30) mm, 卵黄直径为 (3.13±0.12) mm, 卵膜透明, 弱黏性 (图 1-a)。

2.1.2 胚盘期

受精后 2 h, 植物极和动物极分化, 原生质流向动物极, 胚盘隆起 (图 1-b)。

2.1.3 卵裂期

受精后 3.35 h 胚盘中央向下凹陷, 形成两个相近的半圆形细胞 (图 1-c)。随后出现与 2 细胞期相互垂直的分裂面, 此时形成大小均等的 4 个细胞 (图 1-d)。在经历第三次细胞分裂后形成 8 个细胞 (图 1-e), 之后两次分裂分别形成 16 和 32 个近似球状的细胞 (图 1-f—1-g)。在此之后, 进入多细胞期, 细胞分裂不再同步进行, 形成的细胞大小不一, 细胞界限清楚, 细胞堆叠形如桑椹 (图 1-h)。

2.1.4 囊胚期

受精后 6.5 h 进入囊胚早期, 细胞之间的界限模糊, 形成高囊胚 (图 1-i)。随后囊胚高度开始下降, 进入囊胚中期, 胚层逐渐向下方扩展变薄 (图 1-j)。至囊胚晚期时囊胚高度降至最低, 之后逐渐变平无凸起 (图 1-k)。

2.1.5 原肠期

受精后 19.15 h 进入原肠早期, 在此期间囊胚边缘细胞增多, 胚层沿卵黄向下延伸至包裹卵黄 1/3 左右, 在卵黄周边出现明显的波纹状滚动, 形成的胚环不甚明显 (图 1-l)。原肠中期胚体下包至卵黄 1/2 处, 形成微微隆起的胚盾雏形 (图 1-m)。原肠晚期时胚体继续下包到卵黄 2/3 至 3/4 处, 开始出现胚胎雏形, 原肠晚期历时 1.9 h (图 1-n)。

2.1.6 神经胚期

受精后 26.2 h, 神经板和表皮层形成, 并且神经板的中央线向下凹陷, 逐渐形成细胞索, 卵黄栓较大凸起在外 (图 1-o)。随后外胚层细胞逐渐包裹卵黄, 胚孔封闭, 神经胚期结束 (图 1-p)。

2.1.7 器官形成期

器官形成期持续时间为 32.25 h, 胚孔封闭后分化形成的头部区域隆起膨大, 胚体出现较为明显的肌节, 肌节较为透明 (图 1-q)。头部胚轴两侧出现椭圆形原肾, 同时, 第三脑泡下方出现透明区为围心腔原基 (图 1-r)。头部进一步分化, 在胚体约 1/5~1/4 处出现一对椭圆形耳囊 (图 1-s)。胚体继续

表1 大鳍鱮胚胎发育时序
Table 1 Process of embryonic development of *M. macropterus*

发育时期 Developmental stage		受精后时间 Time after fertilization/ h	持续时间 Duration/ h	平均卵径 Average egg diameter/ mm	平均水温 Average temperature/ ℃	积温 Accumulative temperature/ (h·℃)	图 1 Fig. 1
受精卵 Fertilized egg	受精卵 Fertilized egg	0	2.00	3.46±0.30	26.1	52.20	a
胚盘期 Blastodisc stage	胚盘期 Blastodisc stage	2.00	1.35	3.44±0.16	26.2	35.37	b
卵裂期 Cleavage stage	2 细胞期 2-cell stage	3.35	3.15	3.52±0.12	26.3	82.85	c
	4 细胞期 4-cell stage						d
	8 细胞期 8-cell stage						e
	16 细胞期 16-cell stage						f
	32 细胞期 32-cell stage						g
	多细胞期 Multicellular stage						h
囊胚期 Blastula stage	囊胚早期 Early blastula stage	6.50	12.65	3.53±0.17	26.3	332.70	i
	囊胚中期 Middle blastula stage						j
	囊胚晚期 Late blastula stage						k
原肠期 Gastrula stage	原肠早期 Early gastrula stage	19.15	7.05	3.42±0.18	26.3	185.42	l
	原肠中期 Middle gastrula stage						m
	原肠晚期 Late gastrula stage						n
神经胚期 Neurula stage	神经胚期 Neurula stage	26.20	13.47	3.40±0.05	26.0	350.22	o
	胚孔封闭期 Blastopore closed stage						p
器官形成期 Organogenesis stage	体节出现期 Appearance of myomere	39.67	32.25	3.57±0.28	26.1	841.73	q
	原肾出现期 Proto-renal stage						r
	耳囊形成期 Appearance of otic capsule						s
	尾芽分离期 Tail bud separation period						t
	肌肉效应期 Muscular effect stage						u
	心脏跳动期 Heart pulsation						v
	眼囊形成期 Optic capsule stage						w
	耳石出现期 Otolith formation stage						x
	第二对须原基出现 The second pair of whisker primordia						y
	胸鳍原基出现期 Thoracic fin primordium						z
眼色素出现期 Occupation of ocular pigment	aa						
出膜期 Hatching stage	出膜仔鱼 Hatching stage	71.90	7.08		26.1	184.79	ab

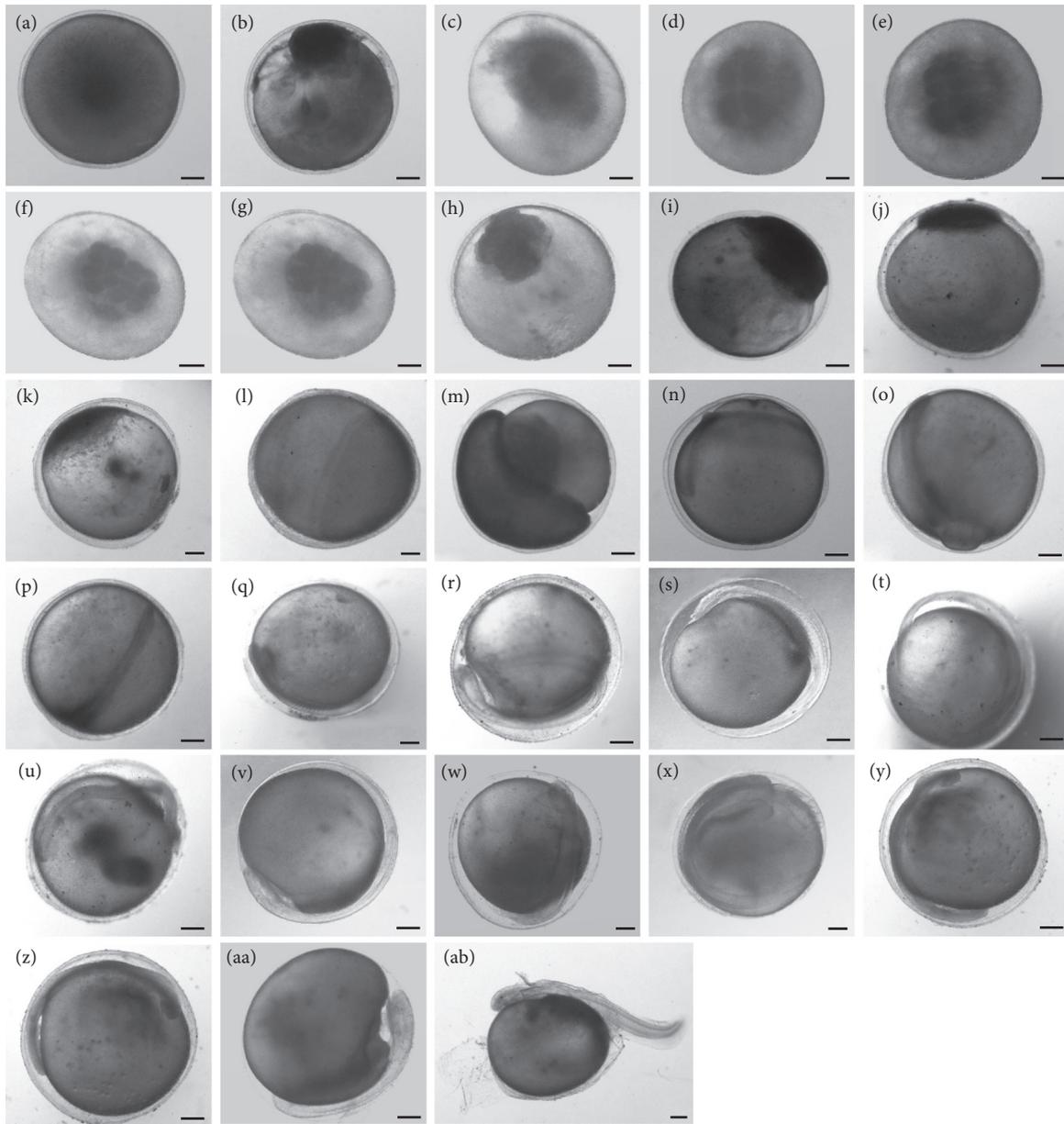


图1 大鳍鱩胚胎发育各时期

注: a. 受精卵; b. 胚盘期; 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. 多细胞期; i. 囊胚早期; j. 囊胚中期; k. 囊胚晚期; l. 原肠早期; m. 原肠中期; n. 原肠晚期; o. 神经胚期; p. 胚孔封闭期; q. 体节出现期; r. 原肾出现期; s. 耳囊形成期; t. 尾芽分离期; u. 肌肉效应期; v. 心脏跳动期; w. 眼囊形成期; x. 耳石出现期; y. 第二对须原基出现期; z. 胸鳍原基出现期; aa. 眼色素出现期; ab. 出膜仔鱼; 标尺=500 μm 。

Fig. 1 Embryonic development of *M. macropterus*

Note: a. Fertilized egg; b. Blastodisc stage; c. 2-cell stage; d. 4-cell stage; e. 8-cell stage; f. 16-cell stage; g. 32-cell stage; h. Multicellular stage; i. Early blastula stage; j. Middle blastula stage; k. Late blastula stage; l. Early gastrula stage; m. Middle gastrula stage; n. Late gastrula stage; o. Neurula stage; p. Blastopore closed stage; q. Appearance of myomere; r. Proto-renal stage; s. Appearance of otic capsule; t. Tail bud separation period; u. Muscular effect stage; v. Heart pulsation; w. Optic capsule stage; x. Otolith formation stage; y. The second pair of whisker primordia; z. Thoracic fin primordium; aa. Occupation of ocular pigment; ab. Hatching stage; Bar=500 μm .

伸长,尾芽从卵黄囊上方伸出,尾芽分离(图1-t)。胚体中部出现不规则收缩,随后逐步加强开始左右扭动,扭动频率 $8\sim 12\text{次}\cdot\text{min}^{-1}$ (图1-u),心脏跳动加快,频率大于 $40\text{次}\cdot\text{min}^{-1}$ (图1-v)。在脑两侧出现与体轴平行的圆形泡状结构,即眼的雏形(图1-w),随后耳石形成,形似黑色的圆点,左右听囊内各一

对(图1-x)。在分化形成的第一对须原基的下方出现呈椭圆形向前方突出的第二对须原基(图1-y)。位于耳囊后下方,与卵黄接合处出现胸鳍原基(图1-z)。眼部亦出现黑色素(图1-aa),胚体在膜内不停扭动,直至出膜,多数胚胎通过尾部剧烈摆动出膜,然后头部出膜(图1-ab)。

2.2 大鳍鲮仔稚鱼发育的特征

根据大鳍鲮仔稚鱼卵黄囊消失、仔鱼开口与摄食、鳍条变化等外部形态变化特征和器官分化过程, 将仔稚鱼分为前期仔鱼、晚期仔鱼和稚鱼期3个阶段(图2)。

前期仔鱼又称为卵黄囊期仔鱼, 在这个阶段, 仔鱼卵黄囊大部分被吸收并开始摄入外部营养物质。

初孵仔鱼全长为(7.31±0.52) mm, 此时大鳍鲮已经完全出膜, 头部伏于卵黄囊上, 卵黄囊近似椭圆形, 嗅窝内凹, 眼球突出, 耳囊清晰, 耳石2粒, 第一对颌须有扁平的基部, 钝的圆形尖端, 尖端向下延伸; 腹部鳍褶窄而薄, 连为一体, 有肛凹锥形; 头部靠围心腔和后肠部位被吸收为空泡; 躯体透明, 头、躯干、尾部都能观察到明显的血液(图2-a)。2 d后仔鱼头部出现黑色素, 下颌须原基伸长分化出颌须, 颌须共2对, 位于下巴处(图2-b)。3 d后仔鱼卵黄囊逐渐缩小, 眼囊内充满黑色素。仔鱼躯体透明, 可以清楚看到红色血液, 除头部外, 在仔鱼的背部和躯体两侧表面都有黑色素团出现, 鳃板发育, 口开始张开, 左右两侧两对触须伸

长变细。卵黄囊逐渐减小, 大量的油性卵黄分解物出现在肠道中, 尾鳍褶出现雏形骨质鳍条(图2-c)。4 d后仔鱼全长为(10.85±1.76) mm, 后脑部黑色加深, 嘴部开口增大。连续而直的消化管开始分化, 腹部长条状奇鳍褶中间部分出现凹陷, 呈半圆形, 中间出现鳍条雏形, 初具臀鳍雏形, 进入尾、臀鳍分化期(图2-d)。5 d后仔鱼全长为(11.58±0.22) mm, 背部的鳍褶折叠分化为背鳍和脂肪鳍, 背鳍出现鳍条, 可短时平游, 臀鳍出现鳍条雏形, 背部脂肪鳍很长仍然与尾鳍相连, 尾鳍鳍条增多。出现第三对颌须, 这三对颌须, 一对在嘴角, 另两对在下巴上(图2-e)。6 d后仔鱼全长为(11.93±1.19) mm, 腹鳍褶初现, 黑色素遍布整个躯干, 同时在尾部出现黑色素; 卵黄囊继续缩小, 即将进入晚期仔鱼阶段(图2-f)。

晚期仔鱼阶段仔鱼卵黄囊完全消失, 混合营养期结束, 独立摄食, 进入外源性营养阶段, 体型与成鱼之间可能存在一定差异, 器官分化仍未完成。

7 d后仔鱼全长为(12.96±1.80) mm, 腹鳍褶由长条状变成半圆形, 尾鳍、脂鳍和臀鳍间相连的鳍

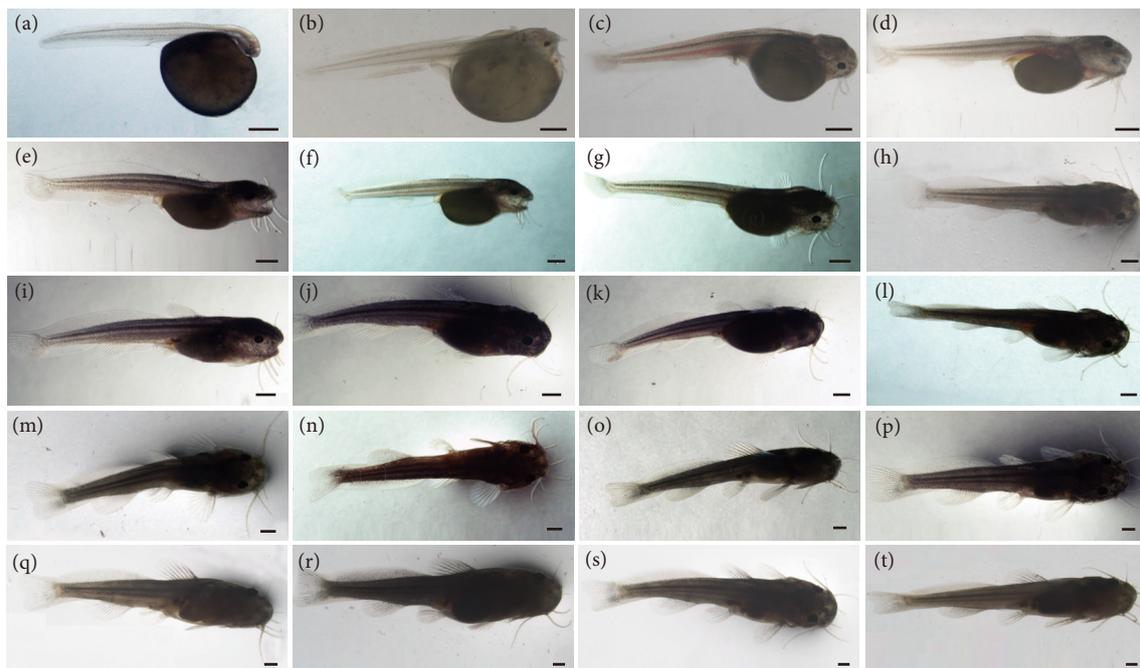


图2 大鳍鲮仔稚鱼发育

注: a. 出膜 1 d; b. 出膜 2 d; c. 出膜 3 d; d. 出膜 4 d; e. 出膜 5 d; f. 出膜 6 d; g. 出膜 7 d; h. 出膜 8 d; i. 出膜 9 d; j. 出膜 10 d; k. 出膜 11 d; l. 出膜 12 d; m. 出膜 13 d; n. 出膜 14 d; o. 出膜 16 d; p. 出膜 17 d; q. 出膜 18 d; r. 出膜 19 d; s. 出膜 20 d; t. 出膜 21 d; 标尺=1 mm。

Fig. 2 Development of *M. macropterus* larva and juvenile

Note: a. 1 d post hatching; b. 2 d post hatching; c. 3 d post hatching; d. 4 d post hatching; e. 5 d post hatching; f. 6 d post hatching; g. 7 d post hatching; h. 8 d post hatching; i. 9 d post hatching; j. 10 d post hatching; k. 11 d post hatching; l. 12 d post hatching; m. 13 d post hatching; n. 14 d post hatching; o. 16 d post hatching; p. 17 d post hatching; q. 18 d post hatching; r. 19 d post hatching; s. 20 d post hatching; t. 21 d post hatching; Bar=1 mm.

褶随着各鳍的分化已变得很窄但仍然连接在一起,胸鳍出现 4 条鳍条。少量开口摄食丰年虫(图 2-g)。8d 后仔鱼全长为 (13.74 ± 3.45) mm, 相连的奇鳍褶开始分化, 在没有鳍条处分离形成不相连的两部分, 各鳍条明显变长, 脂肪鳍缩小但仍和尾鳍连在一起, 臀鳍向下伸长和尾鳍分离, 肌体黑色素团变大颜色加深。上颌须长于下颌须, 两对下颌须长度相近。仔鱼 80% 开口(图 2-h)。孵化后 9 d 大多数仔鱼个体的卵黄囊完全消失, 肛门处有排泄物排出, 可以独立觅食, 进入外源性营养阶段。腹鳍褶出现鳍条分化, 背部脂肪鳍开始出现黑色素团(图 2-i); 孵化后 10 d 腹鳍形成 5 条鳍条, 胸鳍伸长鳍条增多(图 2-j)。

稚鱼期: 在此期间器官分化完成, 鱼体在其外部特征上逐渐与成鱼相似。

出膜 11~14 d, 稚鱼全长 14~19 mm 左右。尾鳍中部内凹, 开始分化成上下两叶, 所有鳍条都出现黑色素团, 出现第四对颌须。皮肤颜色加深, 尾鳍下叶较上叶短而宽。背鳍至尾鳍间背部前段的奇鳍褶消失, 其余部分也只剩下一薄而窄的没有骨质支撑的脂肪鳍, 其上覆盖着与体色一致的色素团。肛前奇鳍褶已全部消失, 腹鳍条为 8 条。至此大鳍鳊仔鱼各鳍基本分化完毕即外部器官分化基本完成。出膜 16~21 d 的稚鱼全长为 22~24 mm, 侧线形成, 背鳍分化形成一枚骨质鳍条, 背鳍条为 7 条, 尾鳍条为 16~18 条, 臀鳍条为 10~14 条。各器官都已分化完善, 鳍褶完全消失, 稚鱼期分化结束。完成稚鱼期分化的幼鱼体型接近成鱼, 前部略圆, 尾部侧扁, 背部黑色, 腹部白色, 游泳能力、捕食能力提高, 消化系统发育完全(图 2-k—2-t)。

2.3 仔稚鱼的生长模型

统计出膜后 30 d 大鳍鳊仔稚鱼生长情况(表 2), 对鱼体的全长与日龄进行回归分析, 建立生长模型为: $y = -0.000 5x^3 + 0.017 1x^2 + 0.659 6x + 7.649$ ($R^2 = 0.992 5$)。全长随日龄的变化曲线如图 3-a 所示。对体质量与日龄进行回归分析, 建立生长模型为: $y = 3 \times 10^{-6}x^3 + 0.000 2x^2 - 0.000 5x + 0.013 6$ ($R^2 = 0.984 3$)。体质量随日龄的变化曲线如图 3-b 所示; 采用曲线回归分析体质量与全长的关系, 结果如图 3-c 所示, 其幂指数函数方程为: $y = 5 \times 10^{-5}x^{2.413 7}$ ($R^2 = 0.948 7$)。

表 2 大鳍鳊不同日龄仔、稚鱼生长变化情况
Table 2 Growth variation of larval and juvenile *M. macropterus* at different time

日龄 Days post hatching/d	全长 Total length/mm	体质量 Body mass/g	全长特定 增长率 SGR _L /%	体质量特定 增长率 SGR _m /%
1	7.31±0.52	0.011±0.005		
2	10.01±0.96	0.013±0.001		
3	10.19±0.42	0.016±0.001		
4	10.85±1.76	0.018±0.003	9.79	12.31
5	11.58±0.22	0.018±0.003		
6	11.93±1.19	0.020±0.001		
7	12.96±1.80	0.021±0.001		
8	13.74±3.45	0.021±0.002		
9	13.92±0.45	0.024±0.003	4.15	12.25
10	14.68±1.08	0.030±0.001		
11	15.81±2.16	0.033±0.002		
12	17.00±3.87	0.034±0.013		
13	18.26±2.95	0.037±0.011		
14	18.38±3.72	0.055±0.003		
15	19.19±2.60	0.056±0.013		
16	21.65±2.25	0.061±0.001	4.30	13.17
17	22.65±3.79	0.062±0.007		
18	23.06±2.93	0.089±0.004		
19	23.11±4.08	0.100±0.011		
20	24.11±0.21	0.115±0.032		
21	24.32±0.05	0.122±0.019		
22	25.00±0.23	0.125±0.001		
23	25.32±1.23	0.127±0.007		
24	26.02±0.78	0.130±0.004		
25	27.28±2.55	0.140±0.011		
26	27.98±0.56	0.163±0.032	2.28	12.13
27	28.36±1.78	0.189±0.019		
28	29.50±2.21	0.227±0.005		
29	29.72±0.66	0.227±0.019		
30	30.02±1.68	0.230±0.035		

3 讨论

3.1 大鳍鳊与其他鲢形目鱼类胚胎发育比较

大鳍鳊受精卵呈椭圆球形, 黄褐色、不透明、弱黏性, 与其他鲢形目鱼类受精卵有一定的相似性

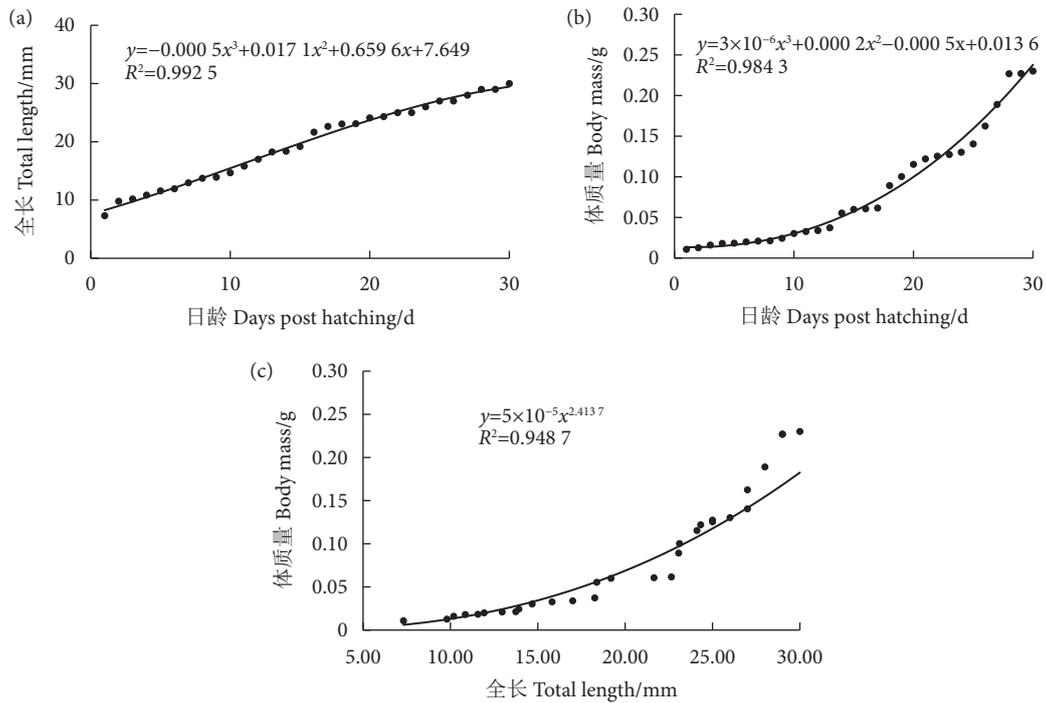


图3 大鳍鲮早期生长曲线

Fig. 3 Early growth curve of *M. macropterus*

表3 大鳍鲮与其他鲶形目鱼类胚胎发育比较

Table 3 Comparison of embryonic developmental characteristics between *M. macropterus* and other Siluriformes fish

种类 Specis	卵径 Egg diameter/ mm	吸水后卵径 Egg diameter after water absorption/ mm	出膜方式 Hatching pattern	出膜长度 Hatching length/mm	胚胎发育水温 Temperature/ ℃	胚胎发育历时 Embryonic development	文献 Reference
大鳍鲮 <i>M. macropterus</i>	2.72±0.2	3.46±0.30	尾部破膜	7.31±0.52	26	79 h	本文
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	1.86~2.26		尾部破膜	4.8~5.5	24~27.5	62 h 50 min	[18]
长吻鲮 <i>Leiocassis longirostris</i>	2.18~2.35	2.51~2.58	尾部破膜	5.33~6.62	21~27	59 h 5 min	[19]
瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	1.67	2.04	尾部破膜	4.2~4.35	20~24.5 24~28	49 h 15 min 64 h	[20]
乌苏里鲮 <i>Pseudobagrus ussuriensis</i>	2.0	2.5	尾部破膜	7	25.5~26	49 h 26 min	[21]
斑鲮 <i>Mystus guttatus</i>	3.1~3.8	4.0~4.2	尾部破膜		27.5±0.5	55 h	[22]
兰州鲮 <i>Silurus lanzhouensis</i>	2.07~2.4	3.44~3.46	尾部破膜	4.5	21.5~22.5 24~25 27~28	53 h 10 min 39 h 37 min 30 h 20 min	[23]
南方大口鲮 <i>S. soldatovi meridionalis</i>	2.089	3.055	尾部破膜	5.0~7.05	16.5~18.5	53 h 25 min	[24]
鲮 <i>S. asotus</i>	1.4~1.7	4.05~5.7	尾部破膜	4.64~5.32	27.5~31	29.5 h	[25]
胡子鲮 <i>Claris fuscus</i>	1.7~1.9	1.9~2.1	腹部卵黄囊破膜	4.8~5.1	28.5~31	28 h 25 min	[26]
革胡子鲮 <i>C. gariepinus</i>	1.23~1.36	1.34~1.43	尾部破膜	3.12~3.62	26.4~29.2	23 h 45 min	[27]

和差异性(表3)。其成熟卵卵径为(2.72±0.2) mm,在鲢科鱼类中卵径较大,吸水后卵径为(3.46±0.30) mm,较吸水前增大约27.21%,高于瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*) (22.16%)、乌苏里鲢(*Pseudobagrus ussuriensis*) (25%),而低于南方大口鲶(*Silurus soldatovi meridionalis*) (46.24%)和鲶(*S. asotus*),这是因为鱼类卵径大小因物种不同而存在差异^[14]。在以往的研究中,获取的大鳍鲮受精卵卵径吸水后介于3.5~3.8 mm^[28],略大于本研究,这可能与其环境变化及产卵时间不同有关^[14]。

总体来看,大鳍鲮的胚胎发育各时期与其他鲶形目鱼类相差不大,但其胚胎发育也有自身的特点,与一般鲶形目鱼类原肠期历时长于囊胚期不同,大鳍鲮囊胚期经历时间是原肠期的1.8倍,这可能是由于大鳍鲮卵径较大、细胞下包困难所致,这在扁吻鱼(*Aspiorhynchus laticeps*)^[14]、尖裸鲤(*Oxygymnocypris stewartii*)^[15]、斑重唇鱼(*Diptycus maculates*)^[29]等的胚胎发育中也有发现。大鳍鲮早期发育过程中的器官形成较快,主要反映在未出膜前就已分化的胸鳍、尾部鳍褶、颌须及各器官的雏形,这与其胚胎卵径大、卵黄丰富、营养物质充足,能够满足器官分化和胚胎生长所需有关,同时也是与其怀卵量小、保证出膜仔鱼有更高成活率的一种适应^[30-31]。

据报道,鱼类胚胎发育的快慢与水温密切相关^[32-33],大鳍鲮胚胎在26℃的条件下,从受精到出膜的时长为79 h,是26.5~31.5℃下野生大鳍鲮胚胎发育的1.55倍^[28]。同时胚胎发育还与卵子大小有关,卵径大的胚胎发育较慢^[34];在相近温度下,大鳍鲮受精卵卵径和孵化出膜所需积温(2 065.26 h·℃)均大于黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*) (积温1 645.3~1 921 h·℃)和乌苏里鲢(积温1 285.27 h·℃),而发育时长是黄颡鱼胚胎发育的1.2倍以上,是乌苏里鲢的1.5倍以上,这可能与物种本身发育特点有关,也可能与其栖息环境和繁殖条件有关^[35]。大鳍鲮的尾发生较早,仔鱼通过尾部破膜而出,这与大部分鲶形目鱼类一致。

3.2 大鳍鲮仔稚鱼发育

不同鱼类的生长特性不同,各发育阶段的具体时间也有差异^[34]。参照已有的分期方法^[34,36],本文以大鳍鲮的生活习性为主,兼顾其形态变化,将其胚后发育分为前期仔鱼期、晚期仔鱼期和稚

鱼期。

刚出膜仔鱼全长平均在7.31 mm左右,大于黄颡鱼^[18]、鲶^[25]和革胡子鲶(*Clarias gariepinus*)^[27]等鲶形目鱼类,但小于部分鲤形目鱼类^[37]。较大的出膜仔鱼,有利于建立外源摄食,对提高成活率有极大帮助^[38]。

大鳍鲮初孵仔鱼卵黄囊较大,使其常侧卧水底或吸附在孵化桶中,且能够适应较为恶劣的生活环境如食物短缺^[16]、敌害侵扰^[37]等,也可为仔鱼的生长发育和新陈代谢提供能量,保证仔鱼更大的成活率^[39]。随着卵黄囊消失,大鳍鲮开始主动摄食水体中的食物,进入混合营养期。大鳍鲮卵黄囊完全消失历时9 d,较鲶^[25] (40 h)、黄颡鱼^[20]和革胡子鲶^[27] (4~5 d)历时更长;不同物种卵黄囊留存时间差异较大^[14],较长的卵黄囊留存时间使得大鳍鲮由内源性营养转向外源性营养的时间得以延长,有利于提高仔鱼的成活率,也是其对生存环境适应性的一种表现^[40]。大鳍鲮出膜11~14 d,各鳍基本分化完成,鱼鳍的分化时间较鲶^[25]长,与黄颡鱼^[18]、兰州鲶(*S. lanzhouensis*)^[41]鱼鳍分化时间无明显差异,均首先出现胸鳍,后各鳍先后出现并开始分化,但各鳍的发育顺序与兰州鲶略有不同,这是因为鱼鳍的形成和发育顺序是随着鱼类的进化和环境的变迁逐渐变化,以适应其生存^[41]。大鳍鲮在孵化出膜前已完成了部分器官的分化,22 d后进入幼鱼期,与兰州鲶的胚后发育相似^[42],革胡子鲶的胚后发育速率相对较快,出膜15 d的体型已与成体十分相似^[27],而黄颡鱼胚后发育较慢,出膜25 d后进入幼鱼期^[18],这一差异可能是水温、营养等环境条件的不同所致^[43]。

大鳍鲮在早期仔鱼阶段就具有明显的聚集性、避光及多在夜间摄食的习性,这与其视觉不发达、感触器官发生较早相适应。进入稚鱼期后,其摄食强度增大,肌肉和各鳍条发育趋于完善,游泳能力逐渐加强,生活习性逐渐接近成鱼^[44],喜栖息于角落阴暗处,环境变化时迅速躲藏至阴暗处。这一习性变化与其他鲶形目鱼类^[42,45]、岩原鲤(*Procypris rabaudi*)^[46]、黄斑篮子鱼(*Siganus oramin*)^[47]等相似。

3.3 大鳍鲮仔稚鱼的生长特性

随着日龄的增长,大鳍鲮整体上呈现先快后慢的生长趋势,其特点是全长先增长,体质量增加滞后。仔鱼期历时10 d,其中在仔鱼前期,SGR_L为

9.79%, 显著高于仔鱼后期和稚鱼期, 7 d 后仔鱼开始从外界摄食, 全长和体质量增长速度减慢, 9 d 后体质量开始明显增加。表明在仔鱼前期, 鱼体尚未开口摄食, 卵黄作为内源营养物质主要用于仔鱼各器官的进一步发育, 而不能提供多余的能量使其体质量大幅增加。随着消化系统发育的完善, 仔鱼摄食能力增强, 摄取的充足营养开始用于自身体质量的增加。同时多余的营养转化为能量使得仔鱼的捕食和游泳能力均大幅提高, 这在扁吻鱼^[14]、牙鲮 (*Paralichthys olivacens*)^[48]、四川华鲮 (*Sinibrama taeniatus*)^[49] 等的研究中也类似发现。另外, 大鳍鲩仔稚鱼体质量与全长的相关回归方程的 b 值 (2.241 37) 低于 3, 表明在人工养殖条件下大鳍鲩仔稚鱼生长属于异速生长类型^[50]。

参考文献:

- [1] 葛玲瑞, 刘金凤, 刘科均, 等. 大鳍鲩流水养殖技术要点 [J]. 水产养殖, 2022, 43(11): 51-52.
- [2] 杨德国, 周剑光, 吴国犀, 等. 长江大鳍鲩的人工繁殖 [J]. 中国水产科学, 1998, 5(2): 27-31.
- [3] 朱成科, 郑永华, 高元或, 等. 大鳍鲩的生物学特性和人工繁殖前景研究 [J]. 水利渔业, 2007, 27(5): 86-89.
- [4] 许倩, 刘良国, 黄文轩, 等. 沅水五强溪水库大鳍鲩的遗传多样性分析 [J]. 四川农业大学学报, 2019, 37(2): 253-258.
- [5] 杨德国, 吴国犀, 周剑光, 等. 大鳍鲩亲鱼池塘驯养和培育技术 [J]. 淡水渔业, 1996, 26(2): 3-6.
- [6] 马跃岗, 朱杰, 陈元坤, 等. 大鳍鲩的人工繁殖与苗种培育研究 [J]. 重庆水产, 2012(2): 20-22.
- [7] 李晓莉, 朱永久, 杨德国, 等. 大鳍鲩人工繁殖研究进展及前景展望 [J]. 水产科技情报, 2023, 50(2): 128-132.
- [8] 殷名称. 鱼类早期生活史研究与其进展 [J]. 水产学报, 1991, 15(4): 348-358.
- [9] PUVANESWARI S, MARIMUTHU K, KARUPPASAMY R, et al. Early embryonic and larval development of Indian catfish, *Heteropneustes fossilis*[J]. Eurasian J Biosci, 2009, 3: 84-96.
- [10] 王德寿, 杨松林. 大鳍鲩的可量性状、长重关系和肥满度 [J]. 西南师范大学学报 (自然科学版), 1992, 17(4): 510-515.
- [11] CHATAKONDI N G, TORRANS E L. The influence of ovarian fluid pH of stripped unfertilized channel catfish, *Ictalurus punctatus*, eggs on the hatching success of channel catfish [female]×blue catfish, *Ictalurus furcatus*[male], hybrid catfish eggs[J]. J World Aquac Soc, 2012, 43(4): 585-593.
- [12] NAHIDUZZAMANA M, HASSAN M M, ROY P K, et al. Sperm cryopreservation of the Indian major carp, *Labeo calbasu*: effects of cryoprotectants, cooling rates and thawing rates on egg fertilization[J]. Anim Report Sci, 2012, 136(1/2): 133-138.
- [13] 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.
- [14] 韩军军, 贺疆滔, 陈朋, 等. 扁吻鱼胚胎发育及仔稚鱼形态与生长观察研究 [J]. 南方水产科学, 2021, 17(1): 59-66.
- [15] 许静, 谢从新, 邵俭, 等. 雅鲁藏布江尖裸鲤胚胎和仔稚鱼发育研究 [J]. 水生态学杂志, 2011, 32(2): 86-95.
- [16] 王亚利, 刘玥, 田佳佳, 等. 温度对四川华鲮仔、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.
- [17] 钟全福, 樊海平, 薛凌展, 等. 大刺鲃仔、稚鱼的生长及摄食节律 [J]. 广东海洋大学学报, 2020, 40(2): 28-34.
- [18] 王玲玲, 仇潜如, 邹世平, 等. 黄颡鱼胚胎和胚后发育的观察研究 [J]. 淡水渔业, 1989(5): 9-12.
- [19] 苏良栋, 何学福, 张耀光, 等. 长吻鲩 *Leiocassis longirostris* Gunther 胚胎发育的初步观察 [J]. 淡水渔业, 1985, 15(4): 2-4.
- [20] 袁伦强. 温度对瓦氏黄颡鱼 (*Pelteobagrus vachelli*) 胚胎和仔鱼发育的影响 [D]. 重庆: 西南师范大学, 2005: 8-9.
- [21] 崔宽宽, 李贺密, 苗建春, 等. 乌苏里鲢胚胎发育观察 [J]. 河北渔业, 2012(2): 32-36, 44.
- [22] 焦宗垚, 陈赛, 陈昆慈, 等. 珠江斑鲩的早期胚胎发育观察 [J]. 广东海洋大学学报, 2007, 27(3): 20-23.
- [23] 吴旭东, 李力, 张锋, 等. 兰州鲇胚胎发育初步研究 [J]. 当代水产, 2011, 36(1): 65-67.
- [24] 谢小军. 南方大口鲶的胚胎发育 [J]. 西南师范大学学报 (自然科学版), 1986, 13(3): 72-78.
- [25] 魏刚, 罗学成. 鲶胚胎和幼鱼发育的研究 [J]. 四川师范学院学报 (自然科学版), 1994, 15(4): 350-355.
- [26] 潘炯华, 郑文彪. 胡子鲶的胚胎和幼鱼发育的研究 [J]. 水生生物学集刊, 1982, 7(4): 437-444.
- [27] 潘炯华, 郑文彪. 革胡子鲶的胚胎和仔、稚鱼发育的研究 [J]. 华南师范大学学报 (自然科学版), 1987(1): 19-28.
- [28] 张耀光, 王德寿, 罗泉笙. 大鳍鲩的胚胎发育 [J]. 西南师范大学学报 (自然科学版), 1991, 16(2): 223-229.
- [29] 牛建功, 张涛, 沙文军, 等. 斑重唇鱼胚胎及早期仔鱼发育的初步观察 [J]. 河北渔业, 2021(11): 7-12.
- [30] HANSE T K, FALK-PETERSEN I B. The influence of rearing temperature on early development and growth of spotted wolffish *Anarhichas minor* (Olafsen)[J]. Aquac Res, 2002, 32(5): 369-378.
- [31] THORN M W, MORBEY Y E. Egg size and the adaptive capacity of early life history traits in chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*)[J]. Evol Appl, 2018, 11(2): 205-219.
- [32] 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.
- [33] TSUJI M, ABE H, HANYUU K, et al. Effect of temperature on survival, growth and malformation of cultured larvae and juveniles of the seven-band grouper *Epinephelus septemfasciatus*[J]. Fish Sci, 2014, 80(1): 69-81.
- [34] 王志强, 庞守忠. 黄颡鱼仔稚鱼发育和摄食习性研究 [J]. 江苏农业科学, 2009(6): 311-313.
- [35] 刘明鉴, 郭华阳, 高杰, 等. 尖翅燕鱼早期胚胎发育及仔稚鱼形态观察 [J]. 南方水产科学, 2022, 18(4): 103-111.

- [36] 乔晔. 长江鱼类早期形态发育与种类鉴别 [D]. 武汉: 中国科学院研究生院 (水生生物研究所), 2005: 13-17.
- [37] 徐滨, 朱祥云, 魏开金, 等. 拉萨裂腹鱼的胚胎及仔稚鱼发育特征 [J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(5): 663-670.
- [38] KAJIWARA K, NAKAYA M, SUZUKI K, et al. Effect of egg size on the growth rate and survival of wild walleye pollock *Gadus chalcogrammus* larvae[J]. Fish Oceanogr, 2022, 31(3): 238-254.
- [39] RIDEOUT R M, TRIPPEL E A, LITVAK M K. Effects of egg size, food supply and spawning time on early life history success of haddock *Melanogrammus aeglefinus*[J]. Mar Ecol Prog Ser, 2005, 285: 169-180.
- [40] 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 [J]. 水生生物学报, 2021, 45(3): 643-651.
- [41] 张呈祥, 徐钢春, 徐跑, 等. 美洲鲟仔、稚、幼鱼的形态发育与生长特征 [J]. 中国水产科学, 2010, 17(6): 1227-1235.
- [42] 赵红雪, 吴旭东, 李力, 等. 兰州鲑仔稚鱼发育的初步研究 [J]. 当代水产, 2010, 35(12): 59-62.
- [43] ÇELİK P, CIRILK Ş. Embryonic and larval development of serpaet tetra *Hyphessobrycon eques* (Steindachner, 1882)[J]. Aquac Res, 2020, 51(1): 292-306.
- [44] 李晓莉, 朱永久, 杨德国, 等. 大规格大鳍鲮对隐蔽所的选择及其行为特征 [J]. 中国水产科学, 2022, 29(12): 1768-1777.
- [45] 张耀光, 何学福. 长吻鮠幼鱼发育的研究 [J]. 水生生物学报, 1991, 15(2): 153-160.
- [46] 李萍, 虞云. 岩原鲤早期行为习性的初步观察 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(2): 565-566.
- [47] 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.
- [48] 施兆鸿, 彭士明, 罗海忠, 等. 人工育苗条件下舟山牙鲆仔稚鱼的摄食与生长 [J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(6): 566-557.
- [49] 王亚利, 刘玥, 田佳佳, 等. 四川华鲮仔稚鱼生长与形态发育研究 [J]. 渔业科学进展, 2020, 41(4): 58-67.
- [50] 王雨福, 肖志忠, 刘清华, 等. 斑石鲷早期发育的异速生长模式 [J]. 海洋科学, 2016, 40(5): 43-48.