

## 多线盘鮡人工繁殖和胚胎发育规律研究

王岳松<sup>1</sup>, 杨洋<sup>1</sup>, 徐林<sup>2</sup>, 甘星<sup>1</sup>, 何大江<sup>2</sup>, 程睿<sup>1</sup>, 黎国樑<sup>2</sup>, 毕建启<sup>1</sup>, 陈锋<sup>1</sup>, 张志明<sup>1,3</sup>

1. 水利部中国科学院水工程生态研究所/水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 湖北武汉 430079
2. 广西大藤峡水利枢纽开发有限责任公司, 广西南宁 530000
3. 长江水利委员会流域河湖生态系统修复关键技术创新团队, 湖北武汉 430079

**摘要:** 多线盘鮡 (*Discogobio multilineatus*) 为红水河特有鱼类, 分布区域狭窄, 野生资源匮乏。为实现多线盘鮡苗种的规模化生产, 为其人工增殖放流提供技术支撑, 对人工驯养的多线盘鮡亲鱼进行强化培育和催产, 通过干法授精获得受精卵, 并观察其胚胎发育过程。研究显示, 多线盘鮡绝对繁殖力为  $(415.53 \pm 133.27)$  粒、相对繁殖力为  $(24.24 \pm 5.64)$  粒·g<sup>-1</sup>。共进行 3 次人工繁殖, 平均催产率为  $(93.12 \pm 1.73)\%$ 、受精率为  $(67.03 \pm 3.62)\%$ 、孵化率为  $(61.34 \pm 2.13)\%$ 。多线盘鮡受精卵为沉性卵, 无黏性, 呈淡青色或浅黄色, 成熟卵子直径为  $(2.11 \pm 0.04)$  mm, 吸水膨胀后呈白色, 卵膜径达  $(3.37 \pm 0.09)$  mm。水温 22~24 °C 下, 经 67~91 h 孵化出膜, 孵化积温为 1 728.17 h·°C, 历经胚盘期、卵裂期、囊胚期、原肠期、神经胚期、器官形成期和孵化期共 7 个发育阶段、26 个时期。初孵仔鱼全长为  $(6.25 \pm 0.17)$  mm, 肌节 26 对。

**关键词:** 多线盘鮡; 人工繁殖; 胚胎发育; 红水河

中图分类号: S 961.2

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Study on artificial propagation and embryonic development regularity of *Discogobio multilineatus*

WANG Yuesong<sup>1</sup>, YANG Yang<sup>1</sup>, XU Lin<sup>2</sup>, GAN Xing<sup>1</sup>, HE Dajiang<sup>2</sup>, CHENG Rui<sup>1</sup>, LI Guoliang<sup>2</sup>, BI Jianqi<sup>1</sup>, CHEN Feng<sup>1</sup>, ZHANG Zhiming<sup>1,3</sup>

1. Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences/Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Wuhan 430079, China
2. Guangxi Datengxia Gorge Water Conservancy Development Co. Ltd., Nanning 530000, China
3. Innovation Team of the Changjiang Water Resources Commission for River and Lake Ecosystem Restoration Key Technology, Wuhan 430079, China

**Abstract:** *Discogobio multilineatus* is a species endemic to the Hongshui River, with a narrow distribution range and scarce wild resources. In order to achieve the mass production of its larvae and provide technical support for its enhancement and release, the artificially bred *D. multilineatus* was intensively cultured and artificially induced to spawn. The fertilized eggs were obtained through dry fertilization, and the embryonic development process was observed. The results show that the absolute fecundity of *D. multilineatus* was  $(415.53 \pm 133.27)$  grains, and the relative fecundity was  $(18.70 \pm 4.67)$  grains·g<sup>-1</sup>. A total of three times of artificial breeding were conducted, with average spawning rate of  $(93.12 \pm 1.73)\%$ , fertilization rate of  $(67.03 \pm 3.62)\%$ ,

收稿日期: 2024-09-22; 修回日期: 2024-11-12

基金项目: 科技基础资源调查专项(2019FY1011900); 来宾市红水河珍稀鱼类增殖保护站运行管理(DHB2022013)

作者简介: 王岳松(1998—), 男, 研究实习员, 硕士, 研究方向为珍稀特有鱼类人工繁育技术。E-mail: 15327117294@163.com

通信作者: 张志明(1985—), 男, 副研究员, 博士, 研究方向为鱼类生态学及珍稀特有鱼类人工繁育。E-mail: zhangzm@mail.ihe.ac.cn

and hatching rate of  $(61.34 \pm 2.13)\%$ . The fertilized eggs of *D. multilineatus* were demersal, non-adhesive, in light blue or pale yellow color, with an eggshell diameter of  $(2.11 \pm 0.04)$  mm. After absorbing water and swelling, they turned white, with an egg membrane diameter of  $(3.37 \pm 0.09)$  mm. At water temperatures of  $22\text{--}24$  °C, the eggs hatched and eclosed after 67–91 h, with a total hatching and eclosion energy of  $1\ 728.17$  °C·h. The embryonic development went through seven stages and 26 periods, including the blastula stage, cleavage stage, blastocyst stage, gastrula stage, neural plate stage, organogenesis stage, and hatching stage. The newly hatched larvae had a total length of  $(6.25 \pm 0.17)$  mm and 26 myotomes.

**Keywords:** *Discogobio multilineatus*; Artificial breeding; Embryonic development; Hongshui River

多线盘鮡 (*Discogobio multilineatus*) 隶属鲤形目、鲤科、野鲮亚科、盘鮡属, 为中国特有鱼类, 仅分布于广西巴马县境内红水河支流盘阳河, 分布区域狭窄, 野生资源匮乏。多线盘鮡属溪流小型鱼类, 体长, 前部呈圆筒形; 上唇消失, 下唇与下颌分离, 具口吸盘, 吸盘中央为 1 个小而光滑的马蹄形隆起肉质垫; 体灰黑色, 体侧自头后至尾鳍基部有 5~6 条黑色纵纹, 具有特别的观赏价值。多线盘鮡栖息于多砾石、砂底河段, 刮食岩石上的固着藻类为生<sup>[1]</sup>。近年来, 受梯级水电开发、采砂活动、过度捕捞等人类活动和环境污染, 以及外来鱼类入侵等因素的影响, 其资源量明显减少<sup>[2-4]</sup>。因此, 研究多线盘鮡人工繁育技术并开展放流活动, 对保护其野外种群资源具有重要意义<sup>[5]</sup>。

鱼类胚胎发育研究是人工繁育研究中的重要一环, 对珍稀特有鱼类种群保护、资源可持续利用至关重要<sup>[6]</sup>。目前对盘鮡属鱼类的研究主要集中于云南盘鮡 (*D. yunnanensis*), 包括种群分化<sup>[7]</sup>、资源调查<sup>[8]</sup>、繁殖特性<sup>[9]</sup>、性腺发育<sup>[10-11]</sup>、人工驯养繁殖<sup>[12]</sup>、早期发育<sup>[13-16]</sup>以及基础营养学研究<sup>[17-18]</sup>等。而关于多线盘鮡的研究极少, 目前仅有关于其精子活力<sup>[4]</sup>和人工繁育<sup>[19]</sup>的相关研究, 未见关于其胚胎发育方面的报道。因此, 本研究开展了 3 次多线盘鮡人工繁殖试验, 观察记录其胚胎发育过程中各时期的形态特征, 为其苗种规模化生产及放流活动提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 亲鱼培育

试验用多线盘鮡亲鱼采集自红水河支流盘阳河, 于广西来宾市红水河珍稀鱼类增殖保护站室内循环水养殖系统进行驯养培育。2024 年 3 月初, 挑选 3 龄以上亲鱼 300 尾 (雌: 雄约为 1: 1), 置于培育缸 (直径 3 m 的圆柱形塑料桶, 水深 1.5 m) 中开展强化培育, 每天 7:00 和 18:00 各投喂 1 次

鲤 (*Cyprinus carpio*) 配合饲料 (蛋白质质量分数为 30%~35%), 每次饲料投喂量为鱼总质量的 2%。每天下午冲水 1 次, 每次 2 h。

### 1.2 人工催产和授精

挑选体质量在 10 g 以上的多线盘鮡雄鱼及 15 g 以上的雌鱼为亲鱼。其中, 雄鱼腹部轻压有乳白色精液流出, 雌鱼腹部柔软, 明显隆起, 生殖孔红肿。

催产剂由促黄体素释放激素  $A_2$  (LHRH- $A_2$ )、马来酸地欧酮 (DOM) 和绒毛膜促性腺激素 (HCG) 组成, 采用 1 次注射法: 雌鱼注射 LHRH- $A_2$   $0.05\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ +DOM  $10\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ +HCG  $4\ \text{IU}\cdot\text{g}^{-1}$ , 雄鱼注射的剂量为雌鱼的 50%。

催产剂注射 6~7 h 后, 在亲鱼开始达到发情高潮时进行干法授精, 采用人工挤压鱼体腹部的方式收集卵子和精液: 亲鱼用丁香酚溶液麻醉后捞出擦干体表水分, 用手从鱼体前部向后挤压, 将卵子挤出置于洗净擦干的塑料盆中, 待所有雌鱼排卵完毕后, 将雄鱼精液挤至卵子之上, 要求精液呈乳白色, 无水、尿、血和粪便, 入水后立即散开, 显微镜下可见精子快速运动。雌雄亲本比约为 1: 1, 加入适量  $0.45\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  生理盐水激活精子后, 用羽毛搅拌均匀, 静置 2 min 后冲洗数次, 洗去黏液和杂质后将受精卵置于尤先科孵化器 (XYK-3260, 水工程生态研究所监制) 中流水孵化, 每平方米水面布置约  $1 \times 10^4$  粒受精卵。孵化水温为  $22\text{--}24$  °C, 溶解氧 (DO) 质量浓度  $\geq 7\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 每小时搅动受精卵 12~15 次, 每天早晚用塑料吸管挑出死卵。

### 1.3 胚胎发育观察

每次从孵化器中随机取 30~50 粒受精卵置于培养皿中, 在 ZEISS Stemi 305 体视显微镜 (北京普瑞赛司仪器有限公司) 下进行持续观察和拍照, 记录胚胎发育各时期的形态特征及水温。原肠期前每次取受精卵间隔不超过 10 min, 之后每次取受精卵间隔不超过 2 h。参照文献<sup>[16, 20-24]</sup>的方法, 并根

据显微镜下对多线盘鲟胚胎发育的观察, 对其胚胎发育时期进行划分, 当超过 50% 的受精卵发生形态变化时, 则判定为进入下一个发育时期<sup>[25]</sup>。

#### 1.4 数据采集和分析

人工繁殖效率和胚胎发育过程相关指标计算公式为:

$$\text{催产率} = \text{产卵鱼数} / \text{催产鱼总数} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{受精率} = \text{原肠中期活卵数} / \text{产卵总数} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{孵化率} = \text{鱼苗水花数} / \text{受精卵总数} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{绝对繁殖力} = \text{亲鱼卵巢中的实际怀卵数} \quad (4)$$

$$\text{相对繁殖力} = \text{绝对繁殖力} / \text{鱼体质量} \quad (5)$$

$$K = N \times T \quad (6)$$

式中:  $K$  为积温 ( $\text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ );  $N$  为发育所需时间 ( $\text{h}$ );  $T$  为平均水温 ( $^\circ\text{C}$ )。

采用 Adobe Photoshop CC 2023 软件对胚胎发育图片进行裁剪和编排, 采用 Excel 2021 软件对测量数据进行分析, 数据以“平均值 $\pm$ 标准差 ( $\bar{x} \pm s$ )”表示。

## 2 结果

### 2.1 人工繁殖情况

2024 年 4 月 15—25 日, 共进行了 3 次人工繁殖试验 (表 1), 共计催产雌鱼 57 尾, 产卵 51 尾, 催产率为  $(93.12 \pm 1.73)\%$ 、受精率为  $(67.03 \pm 3.62)\%$ 、孵化率为  $(61.34 \pm 2.13)\%$ 、绝对繁殖力为  $(415.53 \pm 133.27)$  粒、相对繁殖力为  $(24.24 \pm 5.64)$  粒 $\cdot\text{g}^{-1}$ , 共获得初孵仔鱼  $1.02 \times 10^4$  尾。

表 1 多线盘鲟人工繁殖情况  
Table 1 Artificial propagation of *D. multilineatus*

繁殖参数 Reproductive parameter	时间 Time		
	2024-04-15	2024-04-22	2024-04-25
雌雄亲鱼数量比 Male-to-female parental ratio	15 : 13	19 : 18	23 : 20
催产率 Oxytocic rate/%	93.33	94.74	91.30
产卵量 Spawning capacity/ $10^4$ 粒	0.57	0.82	1.07
受精率 Fertilization rate/%	67.50	63.20	70.40
孵化率 Hatchability/%	59.04	63.25	61.73
出苗量 Seedling output/ $10^4$ 尾	0.23	0.33	0.46
绝对繁殖力 Absolute fecundity/粒	415.53 $\pm$ 133.27		
相对繁殖力 Relative fertility/(粒 $\cdot\text{g}^{-1}$ )	24.24 $\pm$ 5.64		

### 2.2 胚胎发育

多线盘鲟受精卵呈圆球状 (图 1-a), 淡青色或浅黄色, 成熟卵子直径为  $(2.11 \pm 0.04)$  mm, 为沉性卵, 无黏性, 吸水膨胀后卵黄部分呈灰白色, 卵膜呈浅白色, 卵周隙增大, 卵膜径达  $(3.37 \pm 0.09)$  mm, 增大约 60%。水温  $22 \sim 24$   $^\circ\text{C}$  下, 多线盘鲟受精卵经 67~91 h 完成胚胎发育过程孵化出膜, 孵化积温为  $1\,728.17$   $\text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ , 分为胚盘期、卵裂期、囊胚期、原肠期、神经胚期、器官形成期和孵化期共 7 个阶段、26 个时期, 各发育时期具体形态特征、历时详见图 1 和表 2。

#### 2.2.1 胚盘形成期

多线盘鲟卵受精后, 卵膜遇水缓慢膨胀, 呈浅白色半透明状, 卵外周原生质向动物极汇集, 逐渐隆起形成胚盘, 在受精 1 h 13 min 后胚盘隆起最高, 约达到卵黄高度的 1/4, 在受精卵动物极形成 1 个淡乳白色球状结构 (图 1-b)。

#### 2.2.2 卵裂期

多线盘鲟属盘状卵裂, 即胚盘分裂而卵黄不分裂。在受精 1 h 50 min 后, 受精卵进行了第 1 次分裂, 即经裂, 胚盘中央沿动物极向植物极的轴向出现 1 条分裂沟, 把胚盘分割成 2 个同样大小的分裂球, 到达 2 细胞期 (图 1-c); 又经过 35 min, 进行第 2 次卵裂, 此次分裂面与第 1 次分裂面相垂直, 出现 4 个大小相同的分裂球, 到达 4 细胞期 (图 1-d); 在进入 4 细胞期 23 min 后进行第 3 次分裂, 有 2 个分裂面通过第 2 次分裂沟, 将 4 个分裂球分裂成 8 个, 到达 8 细胞期 (图 1-e); 又经过 18 min, 受精卵进行第 4 次卵裂, 本次分裂也产生 2 个分裂面, 与第 2 次分裂面平行, 分裂为 16 个细胞 (图 1-f); 再经过 17 min, 受精卵进行第 5 次分裂, 产生 4 个分裂面, 与第 1、第 3 次分裂面平行, 32 个细胞大小不再均一, 排列也变得不规则 (图 1-g); 在受精 4 h 37 min 后, 到达多细胞期, 细胞分裂速度不一, 分裂球体积逐渐缩小, 开始堆积排列, 分裂球边缘尚清晰可见 (图 1-h)。

#### 2.2.3 囊胚期

在受精 7 h 5 min 后, 随着卵裂不断进行, 分裂球变得很小使细胞团边缘显得平滑, 细胞间界限变模糊, 分裂球堆积成向上隆起的帽状结构, 即囊胚, 到达囊胚早期 (图 1-i); 囊胚早期持续 1 h 1 min 后, 细胞体积持续缩小, 囊胚体积随之缩小, 颜色加深, 囊胚层与卵黄相接处凹痕明显, 到

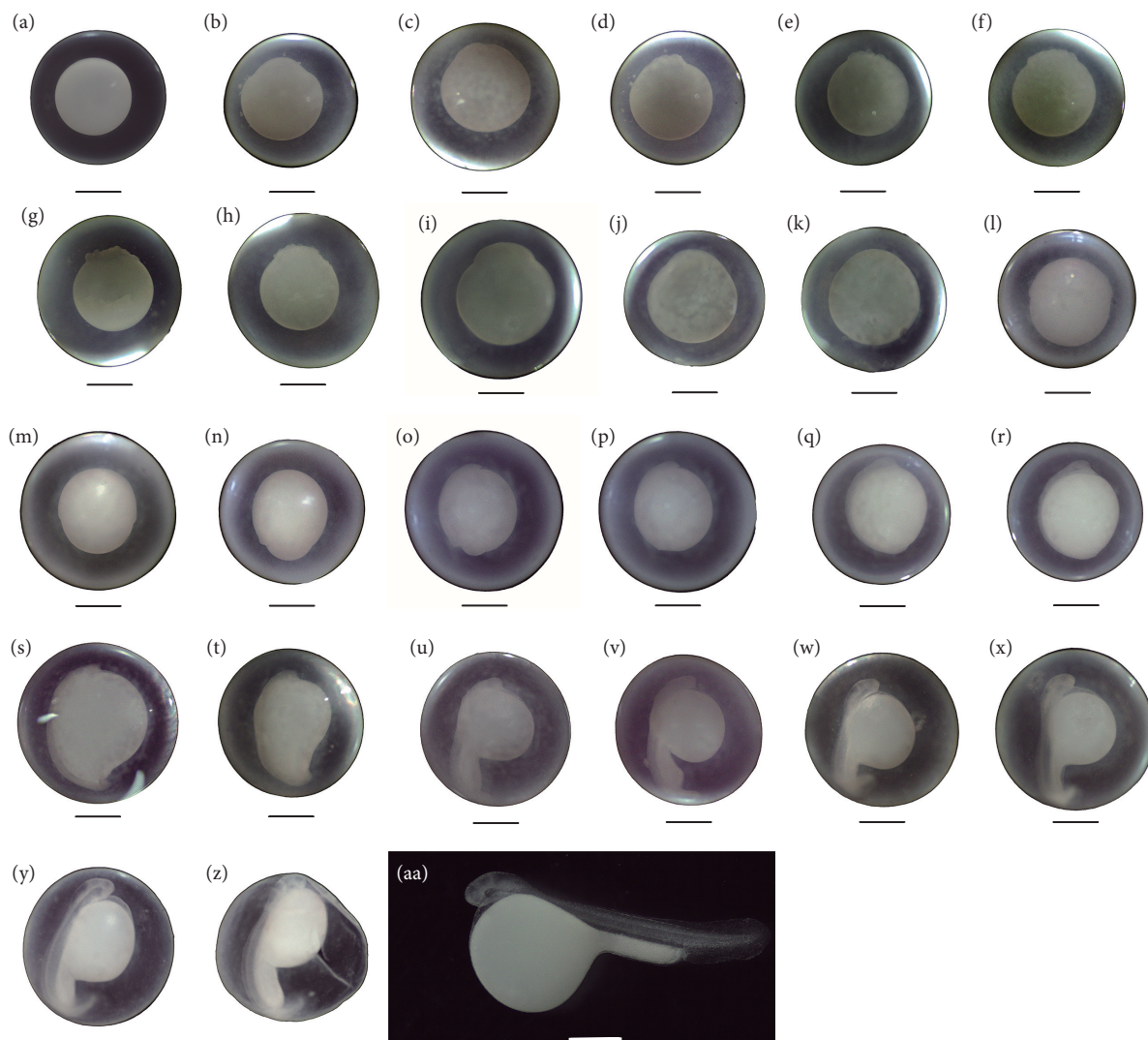


图1 多线盘鲷胚胎发育

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. 肌节出现期; r. 眼囊期; s. 尾芽期; t. 眼晶体形成期; u. 耳石出现期; v. 尾鳍出现; w. 肌肉效应期; x. 心脏搏动期; y. 出膜前期; z. 破膜期; aa. 初孵仔鱼。标尺=1 mm。

Fig. 1 Embryonic development of *D. multilineatus*

Note: a. Fertilized egg; b. Blastoderm 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. Mid-blastula stage; k. Late-blastula stage; l. Early-gastrula stage; m. Mid-gastrula stage; n. Late-gastrula stage; o. Neural stage; p. Closure of blastopore stage; q. Appearance of myomere; r. Eye vesicle formation period; s. Tail bud stage; t. Crystal stage of eyes; u. Appearance of statolith; v. Rudiment of tail fin; w. Muscular contraction period; x. Heart beating period; y. Pro-hatching stage; z. Embryo hatching; aa. Newly hatched larvae. Bar=1 mm.

达囊胚中期 (图 1-j); 又经过 1 h 5 min, 囊壁细胞向植物极延伸生长, 逐渐下包卵黄, 囊胚高度降低, 囊胚腔缩小, 进入囊胚晚期 (图 1-k)。

#### 2.2.4 原肠期

在受精 13 h 15 min 后, 胚层细胞不断发育, 下包到卵黄的 1/3 处, 部分胚层细胞向胚胎内部卷入, 在胚盘边缘形成一圈肥厚的胚环, 到达原肠早期 (图 1-l); 又经过 3 h 53 min, 胚层细胞向下包裹到卵黄的 1/2 处, 进入原肠中期 (图 1-m); 再经过 2 h 56 min, 胚层继续下包至卵黄的 4/5 处, 此时

胚环一侧集中增厚形成胚盾 (胚体背部), 背唇、两侧侧唇及腹唇共同组成胚孔, 胚孔外未被胚层包住的卵黄称为卵黄栓, 标志着受精卵进入原肠晚期 (图 1-n)。

#### 2.2.5 神经胚期

在受精 21 h 29 min 后, 胚层背侧开始逐渐增厚形成神经板, 在神经板顶端出现增厚隆起的脑泡, 胚孔进一步收缩, 卵黄栓逐渐变小, 进入神经胚期 (图 1-o); 再经过 57 min, 胚孔完全闭合, 弧形胚体腹面包绕卵黄囊约 1/2, 到达胚孔封闭期

表2 多线盘鲷胚胎发育时序  
Table 2 Time sequence of embryonic development of *D. multilineatus*

发育时期 Developmental period	受精后时间 Time after fertilization	持续时间 Duration	积温 Accumulative temperature/(h·°C)	图序 Plate
受精卵 Fertilized egg	0	1 h 13 min	28.96	1-a
胚盘形成期 Blastodem stage	1 h 13 min	37 min	14.68	1-b
2 细胞期 2-cell stage	1 h 50 min	35 min	13.88	1-c
4 细胞期 4-cell stage	2 h 25 min	23 min	9.12	1-d
8 细胞期 8-cell stage	2 h 48 min	18 min	7.14	1-e
16 细胞期 16-cell stage	3 h 6 min	17 min	6.69	1-f
32 细胞期 32-cell stage	3 h 23 min	1 h 14 min	29.11	1-g
多细胞期 Multicellular stage	4 h 37 min	2 h 28 min	57.97	1-h
囊胚早期 Early-blastula stage	7 h 5 min	1 h 1 min	23.79	1-i
囊胚中期 Mid-blastula stage	8 h 6 min	1 h 5 min	25.13	1-j
囊胚晚期 Late-blastula stage	9 h 11 min	4 h 4 min	95.53	1-k
原肠早期 Early-gastrula stage	13 h 15 min	3 h 53 min	88.54	1-l
原肠中期 Mid-gastrula stage	17 h 8 min	2 h 56 min	67.47	1-m
原肠晚期 Late-gastrula stage	20 h 4 min	1 h 25 min	32.87	1-n
神经胚期 Neural stage	21 h 29 min	57 min	22.42	1-o
胚孔封闭期 Closure of blastopore stage	22 h 26 min	1 h 40 min	39.67	1-p
肌节出现期 Appearance of myomere	24 h 6 min	2 h 21 min	55.93	1-q
眼囊期 Eye vesicle formation period	26 h 27 min	2 h 53 min	68.62	1-r
尾芽期 Tail bud stage	29 h 20 min	3 h 12 min	75.52	1-s
眼晶体形成期 Crystal stage of eyes	32 h 32 min	2 h 24 min	56.16	1-t
耳石形成期 Appearance of statolith	34 h 56 min	1 h 49 min	42.15	1-u
尾鳍出现 Rudiment of tail fin	36 h 45 min	7 h 33 min	172.14	1-v
肌肉效应期 Muscular contraction period	44 h 18 min	3 h 40 min	83.33	1-w
心跳期 Heart beating period	47 h 58 min	17 h 20 min	405.60	1-x
出膜前期 Pro-hatching stage	65 h 18 min	8 h 8 min	188.69	1-y
破膜期 Embryo hatching	73 h 26 min	43 min	17.06	1-z
初孵仔鱼 Newly hatched larvae	74 h 9 min			1-aa

(图 1-p)。

### 2.2.6 器官形成期

受精 24 h 6 min 后, 胚体发育形成 6~8 对肌节, 卵黄囊被胚体环绕约 3/5, 到达肌节期 (图 1-q); 又经过 2 h 21 min, 胚体前脑两侧出现 1 对椭圆状突起泡, 即眼囊, 标志着进入眼囊期 (图 1-r); 受精 29 h 20 min 后, 胚体伸长, 尾部与卵黄囊分离, 产生一个微微突起的部分, 即尾芽, 标志着进入尾芽期 (图 1-s); 受精 32 h 32 min 后, 眼囊中出

现圆形晶体, 标志着进入眼晶体形成期 (图 1-t); 受精 34 h 56 min 后, 耳囊中形成 1 个小颗粒, 即耳石, 标志着进入耳石形成期 (图 1-u); 又经过 1 h 49 min 后, 尾部卵黄下陷, 尾部完全脱离卵黄囊, 可见尾鳍褶皱, 标志着进入尾鳍期 (图 1-v); 受精 44 h 18 min 后, 随着卵黄吸收逐渐加速, 胚体尾鳍和肌肉发育, 胚体后部腹侧逐渐脱离卵黄囊, 胚体开始扭动, 6~8 次·min<sup>-1</sup>, 此时亦可见心脏原基, 标志着进入肌肉效应和心脏原基期 (图 1-

w); 受精 47 h 58 min 后, 胚体扭动频繁, 胚体心脏可见跳动, 达  $20\sim 30 \text{次}\cdot\text{min}^{-1}$ , 标志着进入心跳期(图 1-x)。

### 2.2.7 孵化期

受精 65 h 18 min 后, 多线盘鮠受精卵进入出膜前期, 胚体长度明显增加, 剧烈扭动翻滚(图 1-y); 受精 73 h 26 min 后, 进入破膜期, 通常情况下, 胚体尾部首先突破卵膜显现, 随后通过尾部的扭动促使头部脱离卵膜, 也有少数胚体先露出头部, 出膜过程可持续 43 min(图 1-z); 仔鱼孵化出膜后伸展身体, 躯体趋于笔直, 尾鳍微微上翘, 初孵仔鱼全长为  $(6.25\pm 0.17) \text{mm}$ , 肌节 26 对(图 1-aa)。

## 3 讨论

### 3.1 多线盘鮠的繁殖特性与人工繁殖技术

多线盘鮠与云南盘鮠的繁殖特性极为相似: 繁殖季节均为 4—5 月, 亲鱼相对怀卵量也十分接近, 仅绝对怀卵量(平均为 415 粒)高于云南盘鮠(平均为 301 粒), 这可能是亲鱼年龄不同所致<sup>[12]</sup>, 二者繁殖力都较低下, 因此, 开展人工繁殖技术研究, 实现苗种的规模化生产, 并通过增殖放流活动加强资源保护, 对恢复和维护其野外种群资源具有重要的生态意义。在自然繁殖环境特征方面, 多线盘鮠为溪流小型鱼类, 主要栖息于砾石、砂底河段, 其受精卵为沉性卵, 比重大于水, 吸水膨胀后卵周隙较小, 能够沉于水底并随水流滚落至溪流底部砂砾间, 这是溪流性鱼类的典型生物学特征<sup>[26-27]</sup>。基于多线盘鮠的自然繁殖环境特征, 在强化培育阶段可针对性设计室内培育池, 如在培育池底铺设小型光滑鹅卵石、引入过滤后清澈的红水河水、放置潜水泵营造环形水流等; 同时调节车间水温在  $22\sim 24 \text{℃}$ , 维持暗光环境, 以模拟其自然产卵环境, 可有效促使亲鱼性腺的发育<sup>[28]</sup>。在模拟自然繁殖环境之外, 笔者课题组曾设计了合适的催产剂配方<sup>[19]</sup>, 其中 LHRH-A<sub>2</sub> 和 HCG 用量低于云南盘鮠<sup>[16]</sup>, 可能是因为本研究所用的多线盘鮠亲鱼经多年人工驯养后更能适应人工繁殖环境。

### 3.2 多线盘鮠卵的特性

多线盘鮠受精卵呈规则的圆球状, 淡青色或浅黄色, 成熟卵子直径为  $(2.11\pm 0.04) \text{mm}$ , 为沉性卵, 无黏性, 吸水膨胀后卵黄部分呈灰白色, 卵膜呈浅白色, 卵膜径达  $(3.37\pm 0.09) \text{mm}$ , 增大约 60%。而同属中的云南盘鮠成熟卵呈黄绿色, 为黏沉性

卵, 成熟卵子直径约为 2.1 mm, 吸水膨胀后达 3.29 mm, 呈淡黄色<sup>[16]</sup>; 四须盘鮠 (*D. tetrabarbatus*) 产漂流性卵, 成熟卵子直径约 0.9 mm, 吸水膨胀后可达 3~3.8 mm, 卵周隙较大<sup>[29]</sup>。盘鮠属几种鱼类卵特性迥异, 可能源于云贵高原面抬升和河流袭夺引发盘鮠属鱼类多次分化和扩散, 进而对不同生境产生了适应性分化<sup>[30]</sup>, 而野鲮亚科鱼类本就是一群对流水环境具有特殊适应性的鱼类<sup>[31]</sup>; 多线盘鮠仅分布于盘阳河, 发展为溪流小型鱼类, 产沉性卵于水底, 要随水流冲击在水底砂砾间滚动, 故而卵膜厚而富有弹性; 云南盘鮠为大宁河土著鱼类<sup>[8]</sup>, 为适应底栖激流冷水的环境发展为产黏沉性卵<sup>[16]</sup>; 而四须盘鮠分布于珠江水系的西江、北江, 该地区气候湿热, 水量充沛, 四须盘鮠因此顺应发展为产漂流性卵<sup>[30]</sup>, 产卵量大, 受精卵随水漂流快速完成胚胎发育<sup>[29]</sup>。类似的, 同属鱼类因生境不同而产生适应性改变的还有野鲮亚科中的墨头鱼属鱼类<sup>[32]</sup>, 如腾冲墨头鱼 (*Garra tengchongensis*) 产漂流性卵<sup>[33]</sup>, 而东方墨头鱼 (*G. orientalis*) 产黏沉性卵<sup>[29]</sup>。

### 3.3 多线盘鮠胚胎发育特点

鱼类胚胎发育期是机体发育过程中变化最大、最激烈的阶段, 不但受到所属物种基因的决定性影响, 而且容易受到外界环境的影响<sup>[6]</sup>, 比较不同鱼类胚胎发育特点是解释鱼类早期发育阶段种群资源、分布和生存能力差异的基础<sup>[34]</sup>。多线盘鮠胚胎发育过程历经胚盘期、卵裂期、囊胚期、原肠期、神经胚期、器官形成期和孵化期共 7 个阶段、26 个时期, 与硬骨鱼类胚胎发育规律基本一致<sup>[35]</sup>。多线盘鮠受精卵孵化用时 67~91 h, 久于四须盘鮠(约 40 h)和东方墨头鱼(约 35 h)<sup>[29]</sup>, 却短于云南盘鮠(168 h 30 min)<sup>[16]</sup>, 这可能是因为多线盘鮠卵黄囊体积(直径约 2.1 mm)远大于四须盘鮠(直径约 0.9 mm), 而卵黄囊体积往往与胚胎发育时间呈正相关<sup>[36]</sup>; 另外, 胚胎发育时间也受到温度和物种本身发育特点影响, 在一定范围内温度升高会缩短发育时间<sup>[37]</sup>, 而多线盘鮠孵化温度 ( $22\sim 24 \text{℃}$ ) 可能低于东方墨头鱼, 却高于云南盘鮠孵化温度 ( $17\sim 19 \text{℃}$ )<sup>[16]</sup>。多线盘鮠初孵仔鱼长度平均为 6.3 mm, 长于四须盘鮠(约 3 mm), 却短于云南盘鮠(约 7.2 mm)和东方墨头鱼(约 7.3 mm)。初孵仔鱼体长往往与卵黄囊体积呈正相关, 而多线盘鮠卵黄囊体积大于四须盘鮠, 小于东方墨头鱼(约 2.5 mm)。

但云南盘鲟胚胎发育历时长, 卵黄吸收更多, 初孵仔鱼体长相对更长<sup>[16]</sup>。此外, 更长的胚胎发育期和更高的孵化积温使得云南盘鲟器官发育也更为完善, 胚胎发育期即具有明显的鳃弓、胸鳍原基和血液循环<sup>[16]</sup>, 而多线盘鲟胚胎发育期并未发育到此程度。

#### 4 结论

本研究对 3 龄以上多线盘鲟进行强化培育和人工催产, 成功孵化  $1.02 \times 10^4$  尾鱼苗, 平均孵化率约为 61%。多线盘鲟受精卵呈淡青色或浅黄色, 无黏性, 吸水膨胀后卵膜呈淡白色半透明具有弹性, 卵黄呈灰白色。胚胎发育过程历经胚盘期、卵裂期、囊胚期、原肠期、神经胚期、器官形成期和孵化期共 7 个阶段、26 个时期, 与同属鱼类发育特点相似, 在水温 22~24 °C 下经 67~91 h 孵化出膜, 孵化积温为 1 728.17 h·°C。初孵仔鱼全长为 (6.25±0.17) mm, 肌节 26 对。

#### 参考文献:

- [1] 甘西, 蓝家湖, 吴铁军, 等. 中国南方淡水鱼类原色图鉴[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2017: 212.
- [2] 王崇, 方艳红, 梁银铨, 等. 红水河干流鱼类组成和分类多样性研究[J]. 水产学杂志, 2019, 32(6): 48-53.
- [3] 王崇, 谢山, 谢文星, 等. 红水河干流梯级运行后鱼类资源调查[J]. 淡水渔业, 2015, 45(2): 30-36.
- [4] 杨洋, 李林, 白冠星, 等. 多线盘鲟精卵生物学特性及几种因子对精子活力的影响[J]. 淡水渔业, 2022, 52(4): 77-84.
- [5] 张志明, 梁焯汉, 杨洋, 等. 国家重点保护淡水鱼类特点及其保护建议[J]. 人民长江, 2023, 54(4): 68-75.
- [6] 陈军平, 沈方方, 武慧慧, 等. 我国鱼类胚胎发育研究进展[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(17): 45-52.
- [7] 杨琴, 周伟, 舒树森. 云南盘鲟不同地理居群的形态变异及分化[J]. 动物分类学报, 2011, 36(1): 117-124.
- [8] 耿相昌. 大宁河鱼类资源现状及云南盘鲟生物学初步研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010: 35-41.
- [9] 赵健蓉. 云南盘鲟繁殖生物学研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018: 23-39.
- [10] 王建, 周燕, 黄莉萍, 等. 大宁河云南盘鲟性腺发育的周年变化[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2019(24): 136-139, 178.
- [11] 赵健蓉, 蔡瑞钰, 黄静, 等. 人工养殖云南盘鲟成鱼性腺发育及周年变化[J]. 水生态学杂志, 2019, 40(3): 107-114.
- [12] 蒲德成, 李虹, 苏胜齐, 等. 云南盘鲟人工驯养繁殖及仔稚鱼发育[J]. 贵州农业科学, 2022, 50(8): 47-53.
- [13] 周燕, 蒲德成, 邓星星, 等. 大宁河云南盘鲟的胚胎发育初步研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2018(15): 192-195, 245.
- [14] 蔡瑞钰, 赵健蓉, 黄静, 等. 云南盘鲟仔稚鱼发育的初步观察[J]. 南方水产科学, 2018, 14(3): 120-125.
- [15] 蔡瑞钰. 云南盘鲟仔稚鱼发育及温度的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2019: 11-21.
- [16] 赵健蓉, 解崇友, 蔡瑞钰, 等. 云南盘鲟人工繁殖及胚胎发育初步观察[J]. 南方水产科学, 2017, 13(5): 124-128.
- [17] 赵健蓉, 赵月月, 葛海龙, 等. 云南盘鲟消化系统解剖学、组织学及消化酶活性研究[J]. 水生生物学报, 2017, 41(4): 853-859.
- [18] 蒲德成, 苏胜齐, 姚维志, 等. 云南盘鲟肌肉营养成分分析与营养评价[J]. 食品科学, 2015, 36(10): 129-133.
- [19] 崔延华, 李林, 杨洋, 等. 多线盘鲟驯养及人工繁育[J]. 中南农业科技, 2022, 43(4): 53-55.
- [20] 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.
- [21] 姜建湖, 张德明, 竺俊全, 等. 光唇鱼 (*Acrossocheilus fasciatus*) 胚胎及仔、稚鱼的发育[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(2): 280-287.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 王岳松, 徐林, 杨洋, 等. 长鳍光唇鱼 (*Acrossocheilus longipinnis*) 人工繁殖和早期发育研究[J]. 南方水产科学, 2024, 20(2): 63-72.
- [25] 李霞. 水产动物组织胚胎学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 324-350.
- [26] 姜建湖. 光唇鱼性腺及胚胎与仔、稚鱼发育的研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2012: 8-10, 24-31.
- [27] 甘维熊, 王红梅, 邓龙君, 等. 雅砻江短须裂腹鱼胚胎和卵黄囊仔鱼的形态发育[J]. 动物学杂志, 2016, 51(2): 253-260.
- [28] 潘晓赋, 刘倩, 王晓爱, 等. 软鳍新光唇鱼 (*Neolissocheilus benasi*) 的人工繁殖与胚胎发育[J]. 动物学研究, 2013, 34(6): 617-625.
- [29] 梁秩燊, 易伯鲁, 余志堂. 江河鱼类早期发育图志[M]. 广州: 广东科技出版社, 2019: 195-198, 202-204.
- [30] 周伟, 郑兰平. 鲤科盘鲟属鱼类系统发育及其历史地理分布格局解析[J]. 动物分类学报, 2011, 36(1): 104-116.
- [31] 郑兰平. 中国野鲮亚科 (Labeoninae) 分子谱系地理学及若干亚类群的分类整理[D]. 北京: 中国科学院大学, 2010: 1-3.
- [32] 王伟营. 墨头鱼属 (*Garra*) 鱼类系统发育及生物地理学研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2012: 1-2.
- [33] 线德和, 韩东, 毛夸云, 等. 腾冲墨头鱼的人工驯养繁殖技术[J]. 科学种养, 2012(6): 40-41.
- [34] CHOJNACKI K A, DODSON M J, GEORGE A E, et al. Ontogenetic development of pallid sturgeon (*Scaphirhynchus albus*) and shovelnose sturgeon (*Scaphirhynchus platyrhynchus*) from hatch through yolk absorption[J]. *Ecol Freshw Fish*, 2023, 32: 209-231.
- [35] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 105-130.
- [36] KNUTSEN G M, TILSETH S. Growth, development, and feeding success of Atlantic cod larvae *Gadus morhua* related to egg size[J]. *Trans Am Fish Soc*, 1985, 114(4): 507-511.
- [37] 李晓莉, 朱永久, 吴兴兵, 等. 温度和孵化方式对大鳍鱠受精卵孵化效果的影响[J]. 淡水渔业, 2024, 54(1): 19-26.