

雅砻江短须裂腹鱼胚胎和卵黄囊仔鱼的形态发育

甘维熊 王红梅 邓龙君* 曾如奎 张宏伟 向成权

雅砻江流域水电开发有限公司 成都 610015

摘要: 当前短须裂腹鱼 (*Schizothorax wangchiachii*) 已被列为雅砻江和金沙江的增殖放流保护鱼类, 为探讨两水系的环境差异对其早期发育产生的影响, 本文以雅砻江短须裂腹鱼为研究对象, 通过人工授精获得受精卵, 对胚胎和早期仔鱼的形态发育特征进行了观察, 并与已有报道的金沙江短须裂腹鱼胚胎与仔鱼早期发育研究进行比较。研究结果显示, 雅砻江短须裂腹鱼卵径 (2.70 ± 0.02) mm, 较金沙江短须裂腹鱼大 0.34 mm; 初孵仔鱼全长 (11.36 ± 0.22) mm, 比金沙江短须裂腹鱼长 2.7 mm; 在水温 (14 ± 1) °C 时, 两水系的短须裂腹鱼胚胎发育时序基本一致, 但听囊等部分功能器官的发育时序存在差异; 胚胎发育历时 181 h, 积温 2 539.98 h°C, 分别比金沙江短须裂腹鱼早 73 h 和低 1 025 h°C; 出膜后 1 ~ 9 d, 仔鱼的鳃、口、胸鳍、尾鳍、鳔、肠道等功能器官先后形成, 第 9 天卵黄囊吸收基本完全, 与金沙江短须裂腹鱼一致。比较表明, 两水系短须裂腹鱼早期发育特征基本相同, 但卵径大小、孵化历时、部分器官发育时序存在一定差异, 可能是二者为适应环境而做出不同的选择。

关键词: 短须裂腹鱼; 胚胎; 卵黄囊仔鱼; 形态发育

中图分类号: Q954 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2016) 02-253-08

The Morphological Development of Embryos and Yolk-sac Larvae of Yalong River Wangchiachii's Schizothoracin (*Schizothorax wangchiachii*)

GAN Wei-Xiong WANG Hong-Mei DENG Long-Jun* ZENG Ru-Kui
ZHANG Hong-Wei XIANG Cheng-Quan

Yalong River Hydropower Development Company Limited, Chengdu 610051, China

Abstract: The Wangchiachii's schizothoracin (*Schizothorax wangchiachii*), an important economic fish, is mainly distributed in southwest river system of China, and its wild resource is gradually decreasing in recent years, due to over-fishing and water conservancy project. In order to protect the species, hatchery-produced juvenile release program has been implemented in China, and some basic research has been carried out

基金项目 雅砻江流域水电开发有限公司项目 (No. JPIA-201226);

* 通讯作者, E-mail: denglongjun@ylhdc.com.cn;

第一作者介绍 甘维熊, 男, 硕士; 研究方向: 雅砻江保护及特有鱼类人工驯养与繁殖; E-mail: ganweixiong@ylhdc.com.cn.

收稿日期: 2015-07-13, 修回日期: 2015-11-10 DOI: 10.13859/j.cjz.201602011

simultaneously. The paper is mainly focused on the morphological development of embryos and yolk-sac larvae of Yalong river Wangchiachii's schizothoracin, and then the data were compared to those of the Jinsha river counterparts, in order to understand the early life of Wangchiachii's schizothoracin from different living environments. The mature Yalong river Wangchiachii's schizothoracin, reared in Fish Breeding and Releasing Station of Jinping-Guandi Hydropower Plants, were used for artificial propagation in this study. The fertilized eggs were hatched in Yushchenko incubator with water temperature of $14 \pm 1^\circ\text{C}$. The morphological development of embryos and yolk-sac larvae was described and photographed with stereoscopic anatomical microscopy, by randomly selecting 30 embryos and 10 larvae every time, respectively. The biological data of larvae were measured with vernier caliper. Photoshop CS4 was used for photograph processing and the Excell software was used for data processing. The results showed that the Yalong river Wangchiachii's schizothoracin larvae hatched 181 h after fertilization, and the accumulative temperature was $2\ 539.98\ \text{h}^\circ\text{C}$. The time course of Wangchiachii's schizothoracin embryo development was shown Table 1 and the morphological development of embryos was shown in Fig. 1. The average total length (TL) of newly hatched larvae was $11.36 \pm 0.22\ \text{mm}$, and the TL was $15.64 \pm 0.59\ \text{mm}$ when the yolk-sac was absorbed thoroughly. The larvae growth data and morphological development data were shown in Table 2 and Fig. 2, respectively. The conclusion was that the early life stage of Yalong river Wangchiachii's schizothoracin was basically the same with that of Jin-sha river counterparts, but some characteristics such as egg diameter and hatch time were different, which may be due to the difference in their living environments.

Key words: *Schizothorax wangchiachii*; Embryo; Yolk-sac larvae; Morphological development

短须裂腹鱼 (*Schizothorax wangchiachii*) 属鲤科 (Cyprinidae) 裂腹鱼亚科 (Schizothoracinae) 裂腹鱼属, 主要分布金沙江、雅砻江、乌江等水系, 以着生藻类、底栖生物为食, 是产区重要的经济鱼类 (丁瑞华 1994)。近年来, 金沙江上游梯级电站的建立使得河流的生境破碎, 阻碍了鱼类的分布和洄游, 并可能导致它们的数量急剧下降甚至灭绝 (张沙龙 2014)。当前, 短须裂腹鱼的人工驯化 (徐伟毅等 2003) 和人工繁殖 (刘跃天等 2007, 李光华等 2014) 都取得成功, 在此基础上也开展了早期发育生物学研究 (左鹏翔等 2015), 但其研究未对短须裂腹鱼卵黄囊仔鱼的生长规律加以探讨, 而关于不同生活水系的环境差异对短须裂腹鱼在早期生活史阶段的发育是否存在影响, 也未见报道。基于此, 本研究以雅砻江短须裂腹鱼为实验对象, 在观察其胚胎和卵黄囊仔鱼形态发育的基础上, 研究了雅砻江短须裂腹鱼卵黄囊仔鱼的生长, 同时与已有研究

的金沙江短须裂腹鱼的早期发育 (左鹏翔等 2015) 进行异同比较, 旨在探明雅砻江短须裂腹鱼早期生活史阶段的发育规律, 为规模化人工繁殖和苗种培育提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料来源

短须裂腹鱼亲鱼于 2012 年 9 ~ 10 月采自雅砻江锦屏大河湾江段, 饲养于雅砻江锦屏官地水电站鱼类增殖放流站的环形流水池, 2015 年 2 月 26 日, 挑选 10 尾成熟度好的雌性亲本和 15 尾性征明显的雄性亲本, 雌鱼一次性注射鲤鱼脑垂体 (pituitary gland, PG) ($3\ \text{mg/kg}$) 和促黄体生成激素释放激素 A_2 (luteinizing hormone-releasing hormone- A_2 , LHRH- A_2) ($12\ \mu\text{g/kg}$), 注射催产药物 20 h 后雌雄亲本追逐剧烈, 人工干法授精, 受精卵作为本研究实验材料。

1.2 受精卵孵化和仔鱼管理

受精卵孵化和卵黄囊仔鱼培育在尤先科孵化器(定制, 材质为不锈钢, 尺寸为 2.4 m × 0.8 m × 1.2 m)内进行, 配套循环水处理系统(武汉中科瑞华生态科技股份有限公司, 集成组装)和温控系统(广州瑞姆节能设备有限公司 RMRB-25KT-2D), 孵化水温保持在(14 ± 1) °C, 胚胎发育至原肠晚期时开始清除死卵。仔鱼出膜后, 温控系统调控水温为(17 ± 1) °C。定期清洗孵化框网布, 防止网眼堵塞。

1.3 胚胎和仔鱼的观察及数据测量

用 Olympus SZ61 体视解剖镜对胚胎和卵黄囊仔鱼进行观察和拍照, 每次随机挑选受精卵和仔鱼, 数量分别不少于 30 粒和 10 尾, 记录典型的形态特征及发育时间, 发育时间以 70% 以上进入该发育阶段为准。用游标卡尺(成

都成量工具集团有限公司, 精度 0.02 mm, 测量范围 0 ~ 200 mm)测量卵径和仔鱼全长、头长、肛后长, 测量仔鱼时先用麻醉剂 MS-222 麻醉。用 Photoshop CS4 软件处理胚胎和卵黄囊仔鱼照片, 用 Excel 软件统计仔鱼的基础生物学数据。胚胎发育各时期的积温为胚胎某发育阶段的时间与水温的乘积。

2 结果

2.1 胚胎发育各阶段经历时间和积温

根据短须裂腹鱼胚胎发育特点, 整个发育过程可分为受精卵、卵裂、囊胚、原肠胚、神经胚、器官形成及出膜 7 个阶段共 27 个时期(表 1, 图 1), 在水温(14 ± 1) °C 条件下, 胚胎从受精卵到孵化出膜历时 181 h, 积温 2 539.98 h °C,

表 1 短须裂腹鱼胚胎发育时序

Table 1 Time table of Wangchiachii's schizothoracin embryo development

发育时期 Development stage	水温 °C Water temperature	受精后时间 Time after fertilization	持续时间 Time duration	积温 (h °C) Accumulative temperature	图序 Plate
受精卵 Fertilized egg	14	0 h 0 min	0	0	—
胚盘隆起 Blastodisc stage	14	4 h 10 min	4 h 10 min	58.33	1a
2 细胞期 2-cell stage	14	4 h 54 min	44 min	10.27	1b
4 细胞期 4-cell stage	14	6 h 9 min	1 h 15 min	17.50	1c
8 细胞期 8-cell stage	14	7 h 41 min	1 h 32 min	21.47	1d
16 细胞期 16-cell stage	14	9 h 28 min	1 h 47 min	24.97	1e
32 细胞期 32-cell stage	14	10 h 30 min	1 h 2 min	14.47	1f
64 细胞期 64-cell stage	14	13 h	2 h 30 min	35.00	1g
多细胞期 Morula stage	14	14 h 13 min	1 h 13 min	17.03	1h
囊胚早期 Early blastula stage	15	20 h 30 min	6 h 17 min	94.25	1i
囊胚中期 Mid-blastula stage	15	23 h 41 min	3 h 11 min	47.75	1j
囊胚晚期 Late blastula stage	14	29 h 20 min	5 h 39 min	79.10	1k
原肠早期 Early gastrula stage	14	36 h 30 min	7 h 10 min	100.33	1l
原肠中期 Mid-gastrula stage	13	40 h 20 min	3 h 50 min	49.83	1m
原肠晚期 Late gastrula stage	14	47 h 33 min	7 h 13 min	101.03	1n
神经胚期 Neural embryo formation	14	50 h 20 min	2 h 47 min	38.97	1o
胚孔封闭期 Blastopore formation	14	55 h 19 min	4 h 59 min	69.77	1p
体节出现期 Metameres appearance	14	58 h 10 min	2 h 51 min	39.90	1q
眼基出现期 Optic primordium appearance	13	63 h 40 min	5 h 30 min	71.50	—
眼囊出现期 Eye sac formation	14	67 h 19 min	3 h 39 min	51.10	1r
听囊出现期 Ear vesicle present	15	73 h 10 min	5 h 51 min	87.75	1s
尾芽期 Caudal bud appearance	14	79 h 50 min	6 h 40 min	93.33	1t
肌肉效应期 Muscular effect	14	81 h 20 min	1 h 30 min	21.00	1u
晶体出现期 Lens appearance	14	87 h 7 min	5 h 47 min	80.97	1v
耳石形成 Otolith formation	14	96 h 30 min	9 h 23 min	131.37	1w
心跳期 Heart beating	14	102 h	5 h 30 min	77.00	1x
出膜期 Hatching	14	181 h	79 h	1 106.00	—

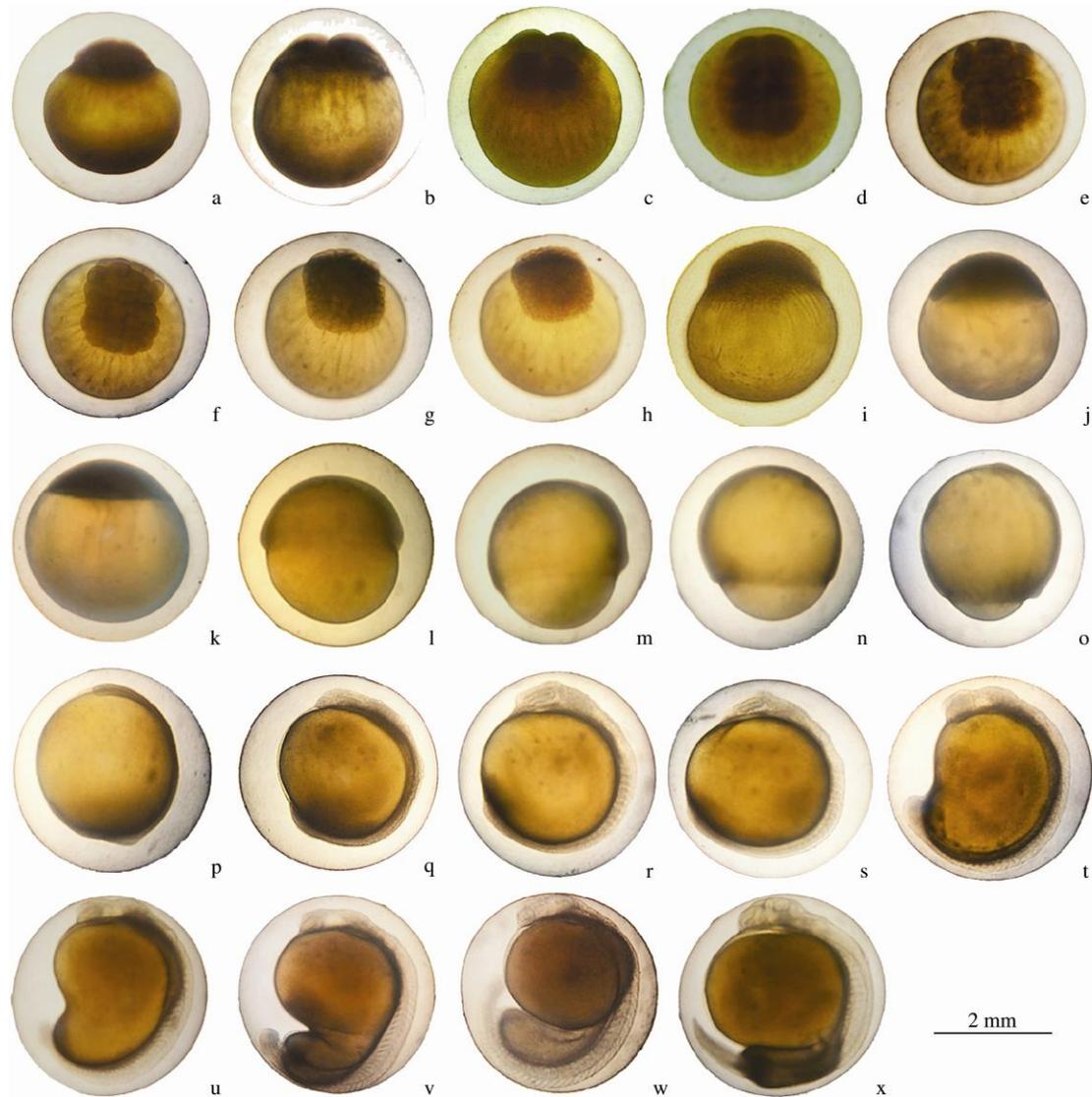


图 1 短须裂腹鱼胚胎发育的形态特征

Fig. 1 Embryo development of Wangchiachii's schizothoracin

a. 胚盘隆起期; 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. 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. 眼囊出现期; s. 听囊出现期; t. 尾芽期; u. 肌肉效应期; v. 晶体出现期; w. 耳石出现期; x. 心跳期。

a. Blastodisc stage; 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. Morula 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 embryo formation; p. Blastopore formation; q. Metameres appearance; r. Eye sac formation; s. Ear vesicle present; t. Caudal bud appearance; u. Muscular effect; v. Lens appearance; w. Otolith formation; x. Heart beating.

其中受精卵耗时 4 h 10 min, 积温 58.33 h°C, 卵裂期耗时 9 h 3 min, 积温 140.71 h°C, 囊胚期和原肠期分别耗时 15 h 7 min、18 h 13 min,

积温分别为 221.1 h°C 和 251.19 h°C, 神经胚期耗时 7 h 46 min, 积温 108.73 h°C, 器官分化期耗时 46 h 51 min, 积温 653.92 h°C, 出膜期耗

时 79 h, 积温 1 106.00 h^oC。

2.2 胚胎发育过程

卵盘隆起阶段 受精卵圆形, 呈淡黄色, 卵径 (2.70 ± 0.02) mm。遇水产生弱黏性, 30 min 后充分吸水, 吸水后卵径 (3.68 ± 0.02) mm。受精后 4 h 10 min, 原生质集中在卵子动物极, 形成隆起的胚盘 (图 1a)。

卵裂阶段 受精后 4 h 54 min 在隆起胚盘上开始二分裂, 形成两个等大的半球形分裂球 (图 1b), 6 h 9 min 在与分裂轴垂直方向进行第 2 次等分裂, 形成 4 个等大的分裂球 (图 1c)。7 h 41 min 进行第 3 次卵裂, 形成 8 个不均等细胞 (图 1d), 9 h 28 min 开始第 4 次卵裂, 形成 16 个卵裂球 (图 1e)。10 h 30 min 和 13 h 时分别进行第 5 和第 6 次卵裂, 形成 32 细胞 (图 1f) 和 64 细胞 (图 1g), 此后随着细胞的不断分裂, 14 h 13 min 到多细胞期, 在胚盘处形成多层排列隆起的实心细胞团 (图 1h)。

囊胚期 细胞进一步分裂, 细胞体积变得更为细小且界限模糊, 受精后 20 h 30 min 在卵黄囊上形成一个高耸的细胞团, 胚体进入囊胚期 (图 1i)。之后胚层细胞向下移动, 23 h 41 min 囊胚层呈扁平状紧贴于卵黄囊上, 囊胚腔明显 (图 1j)。29 h 20 min 胚层下包卵黄囊约 1/3, 胚体进一步下包即将进入原肠胚期 (图 1k)。

原肠胚期 受精后 36 h 30 min 胚胎发育进入原肠早期, 胚层细胞下包卵黄囊达 1/2, 胚盘的边缘加厚, 呈帽沿状, 胚环形成 (图 1l)。40 h 20 min 胚层细胞继续下包卵黄囊约 2/3, 囊胚层细胞的集中和内卷, 形成一外观呈三角形的加厚隆起, 胚盾出现, 胚胎发育进入原肠中期 (图 1m)。47 h 33 min 胚盘下包 3/4, 胚体雏形可见 (图 1n)。

神经胚期 受精后 50 h 20 min, 囊胚层细胞下包卵黄囊 4/5 时, 裸露的卵黄即为卵黄栓, 此时胚胎神经板雏形出现 (图 1o)。55 h 19 min 胚层完全将卵黄囊包住, 胚孔封闭, 胚体扁平, 半环状, 紧贴于卵黄 (图 1p)。

器官形成阶段 受精后 58 h 10 min 在胚

体中前部出现 1~3 对肌节, 头部隆起, 脑泡分化为前、中、后三部分 (图 1q)。眼囊 (图 1r) 和听囊 (图 1s) 分别于受精后 67 h 19 min 和 73 h 10 min 出现, 二者都呈长椭圆状, 肌节 10~12 对。79 h 50 min 尾芽开始游离卵黄囊, 眼囊逐渐变圆 (图 1t), 81 h 20 min 肌节 26~29 对, 开始收缩, 收缩节律 5~6 次/min, 此时卵黄囊呈肾形 (图 1u)。87 h 7 min 眼晶体出现, 后端卵黄囊吸收成棒状, 游离的尾芽增长 (图 1v)。96 h 30 min 听囊中出现 2 对耳石, 胚体尾部扭动剧烈 (图 1w), 102 h 可见心位于头部眼囊下方与卵黄相间的地方, 开始轻微搏动 (图 1x)。

出膜期 受精后 181 h, 胚体在卵膜内剧烈翻滚, 尾部破膜而出。初孵仔鱼体透明, 卵黄囊棒槌状, 常静止水底。

2.3 卵黄囊仔鱼的发育过程

胚后早期仔鱼形态特征见图 2。初孵仔鱼侧卧水底, 间歇性扭动身体, 肌节 46~48 对, 鳃弓 4 对, 血液淡红色, 开始体循环, 尾部延伸的鳍褶蔓延到体中前部, 尾柄上翘, 心率 74~76 次/min。

1 日龄仔鱼胸鳍原基明显, 呈扇形; 晶体黑色素增多; 卵黄囊前部形状由近圆形变为长椭圆形; 鳃弓上可见少量短棒状鳃丝。2 日龄仔鱼口开始张闭; 心搏动有力, 回心血呈深红色; 鳃弓上可见 4~5 根指状鳃丝, 两侧鳃盖开始启闭。3 日龄仔鱼卵黄囊色淡呈长棒状。4 日龄仔鱼活动能力增强; 鳃盖外缘覆盖到第 4 对鳃弓处。5 日龄仔鱼卵黄囊呈长条状; 从尾部延伸出的鳍褶在背部形成旗状; 在胸鳍腹部可见淡黄色的管腔状结构。6 日龄仔鱼鳔第一室出现, 呈长条充盈状, 仔鱼可短时间平游, 尾柄鳍褶开始出现鳍条, 肠道贯通, 肛门前段有淡黄色内容物。7 日龄仔鱼能完全自由平游, 鳔延长, 呈银灰色; 卵黄囊进一步缩小。8 日龄仔鱼背鳍鳍条开始显现, 9 日龄仔鱼卵黄囊基本吸收完全。

2.4 卵黄囊仔鱼的生长

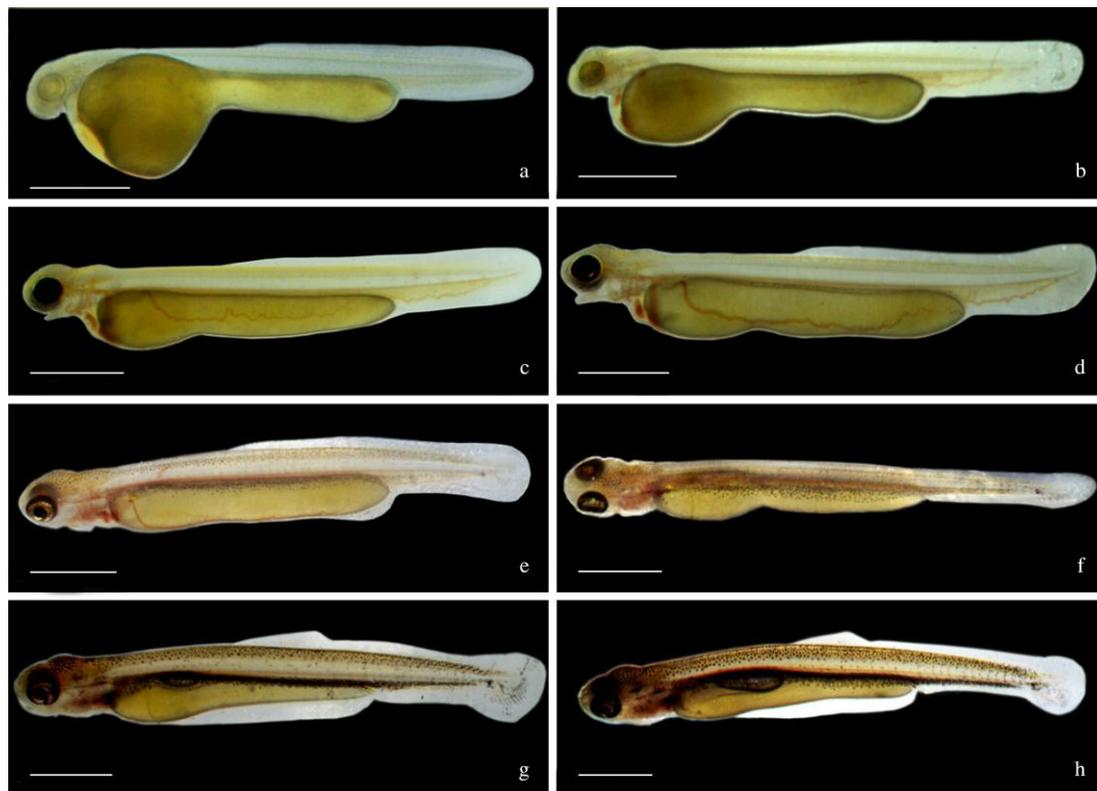


图 2 短须裂腹鱼卵黄囊仔鱼的形态发育

Fig. 2 Morphological development of yolk-sac larvae of Wangchiachii's schizothoracin

a. 初孵仔鱼; b. 出膜 1 d; c. 出膜 2 d; d. 出膜 3 d; e. 出膜 4 d; f. 出膜 5 d; g. 出膜 6 d; h. 出膜 7 d。标尺为 2.0 mm。

a. Newly hatched larvae; b. 1 day post hatching; c. 2 days post hatching; d. 3 days post hatching; e. 4 days post hatching; f. 5 days post hatching; g. 6 days post hatching; h. 7 days post hatching. Bar = 2.0 mm.

初孵仔鱼全长为 (11.04 ± 0.11) mm, 卵黄囊吸收完全时全长为 (15.64 ± 0.59) mm, 净增加 41.67%。1 ~ 5 日龄全长日增长率呈上升趋势, 并在 5 日龄时达到最大值 0.75 mm/d, 从 6 日龄开始, 全长日生长幅度减缓, 8 日龄最低。初孵仔鱼头长与全长比 (0.23) 最大, 随发育逐渐下降。肛后长与全长比则随仔鱼发育呈递增趋势 (表 2)。

3 讨论

3.1 雅砻江与金沙江短须裂腹鱼早期发育的异同比较

左鹏翔等 (2015) 报道了金沙江短须裂腹鱼的胚胎和仔鱼早期发育特征, 取得了金沙江

短须裂腹鱼卵径、孵化时间、胚胎各期发育时序、初孵仔鱼全长等基础数据。本研究的孵化水温 (14 ± 1) °C 和孵化方式 (尤先科孵化器) 均与左鹏翔等 (2015) 保持一致。比较发现, 雅砻江和金沙江的短须裂腹鱼胚胎发育都经历受精卵、卵裂、囊胚、原肠胚、神经胚、器官形成及出膜 7 个阶段, 但雅砻江短须裂腹鱼卵径 (2.70 mm) 稍大于金沙江短须裂腹鱼 (2.36 mm), 且初孵仔鱼全长也更长 (11.04 mm vs. 8.70 mm)。相反, 金沙江短须裂腹鱼受精卵孵化历时却长于雅砻江短须裂腹鱼 (254 h vs. 181 h), 孵化积温也更高 ($3\ 565.3$ h°C vs. $2\ 539.98$ h°C)。部分功能器官的发育时序有差异, 如听囊的出现时间, 在本研究中是在尾芽

表 2 短须裂腹鱼卵黄囊仔鱼期全长及身体比例的变化

Table 2 Variation in total length and body proportion during post-embryonic development of Wangchiachii's schizothoracin

日龄 Days post hatching	全长 Total length		头长/全长 Head length/ total length	肛后长/全长 Postanal length/ total length
	平均 Average (mm)	日生长率 (mm/d) Growth rate		
0	11.04 ±0.11		0.23 ±0.01	0.26 ±0.01
1	11.36 ±0.22	0.32	0.22 ±0.02	0.27 ±0.03
2	11.93 ±0.38	0.57	0.19 ±0.01	0.27 ±0.02
3	12.60 ±0.28	0.67	0.19 ±0.01	0.27 ±0.01
4	13.31 ±0.34	0.71	0.18 ±0.01	0.29 ±0.01
5	14.06 ±0.31	0.75	0.18 ±0.01	0.31 ±0.02
6	14.68 ±0.41	0.62	0.17 ±0.01	0.31 ±0.03
7	15.15 ±0.30	0.47	0.17 ±0.02	0.32 ±0.01
8	15.39 ±0.41	0.24	0.17 ±0.02	0.32 ±0.01
9	15.64 ±0.59	0.25	0.17 ±0.01	0.32 ±0.01

期前 6 h 40 min, 而左鹏翔等 (2015) 报道的则是在尾芽期后 2 h 35 min, 肌肉效应期在本研究中发生在晶体出现前 6 h 47 min, 而左鹏翔等 (2015) 报道的则是在晶体出现后 13 h 51 min。研究还发现雅砻江短须裂腹鱼的上下颌开始张闭时间和肠道贯通时间也分别早于左鹏翔等 (2015) 报道的金沙江短须裂腹鱼 2 d 和 1 d。总之, 雅砻江和金沙江的短须裂腹鱼在胚胎和早期仔鱼发育的某些方面确实存在差异, 可能原因是短须裂腹鱼生活的环境不同, 如营养条件、水温、水文条件等, 使其选择不同的生活策略。

3.2 与其他裂腹鱼类早期发育的比较

卵径大小对鱼的早期发育和存活具有重要的生物学意义 (殷名称 1995), 小卵死亡率更高, 而大卵具有更高的生存潜力 (潘晓赋等 2011)。本研究中短须裂腹鱼卵径 (2.70 mm) 与同属的细鳞裂腹鱼 (*S. chongi*) (2.6 ~ 3.0 mm) (陈礼强等 2008)、齐口裂腹鱼 (*S. prenanti*) (2.9 ~ 3.0 mm) (吴青等 2004) 相近, 但明显小于重口裂腹鱼 (*S. davidi*) (3.9 ~ 4.1 mm) (严太明等 2007)。孵化时间 (181 h) 早于松潘裸鲤 (*Gymnocypris potanini*) (吴青等 2001), 但却晚于四川裂腹鱼 (*S. kozlovi*) (陈永祥等 1997)。本研究中短须裂腹鱼初孵仔鱼全长

(11.04 mm), 大于四川裂腹鱼 (8.3 mm) (陈永祥等 1997), 而与大渡软刺裸裂尻鱼 (*S. malacanthus*) (11.65 mm) (严太明等 2014) 相差无几。尽管短须裂腹鱼初孵仔鱼较大, 但其许多功能器官仍处于未分化或发育不完善状态, 口和肠道的功能都正在形成, 但二者形成的时间 (孵化后的第 2 天和第 6 天) 早于大渡软刺裸裂尻鱼 (孵化后的第 3 天和第 9 天) (严太明等 2014) 和细鳞裂腹鱼 (孵化后的第 4 天和第 8 天) (陈礼强等 2008), 说明其具备优先获取外源营养物质的条件, 在饵料匮乏的低温环境中优先摄食具有重要的生态学意义。

3.3 雅砻江短须裂腹鱼仔鱼生长

本研究短须裂腹鱼卵黄囊在 5 日龄前被快速吸收, 卵黄囊形态由棒槌状变为棒状, 吸收趋势与大渡软刺裸裂尻鱼 (严太明等 2014)、细鳞裂腹鱼 (陈礼强等 2008) 等裂腹鱼一致; 仔鱼的口、眼、鳃、胸鳍等功能器官也在孵化后前 5 d 快速分化和发育, 且生长速率在孵化后第 5 d 达最大, 卵黄物质的快速利用与仔鱼胚后发育同步。孵化后第 6 d 肠道贯通, 仔鱼进入混合营养阶段, 开始摄取少量人工饵料, 在孵化后第 9 d 卵黄吸收完全, 仔鱼摄食强度增大, 频次增多。及时投喂开口饵料, 可避免仔鱼“不可逆点”的出现, 减少仔鱼早期死亡

的风险。

参 考 文 献

- 陈礼强, 吴青, 郑曙明, 等. 2008. 细鳞裂腹鱼胚胎和卵黄囊仔鱼的发育. *中国水产科学*, 15(6): 927-934.
- 陈永祥, 罗泉笙. 1997. 乌江上游四川裂腹鱼的胚胎发育. *四川动物*, 16(4): 163-167.
- 丁瑞华. 1994. 四川鱼类志. 成都: 四川科学技术出版社, 365-366.
- 李光华, 冷云, 吴敬东, 等. 2014. 短须裂腹鱼规模化人工繁育技术研究. *现代农业科技*, (10): 259-261, 270.
- 刘跃天, 冷云, 许伟毅, 等. 2007. 短须裂腹鱼人工繁殖初探. *水利渔业*, 27(5): 31-32.
- 潘晓赋, 杨君兴, 陈小勇, 等. 2011. 滇池金线鲃亲鱼培育、繁殖力以及卵径大小与胚胎存活率的关系. *动物学研究*, 32(2): 196-203.
- 吴青, 王强, 蔡礼明, 等. 2001. 松潘裸鲤的胚胎发育和胚后仔鱼发育. *西南农业大学学报*, 23(3): 276-279.
- 吴青, 王强, 蔡礼明, 等. 2004. 齐口裂腹鱼的胚胎发育和仔鱼的早期发育. *大连水产学院学报*, 19(3): 218-221.
- 徐伟毅, 冷云, 刘跃天, 等. 2003. 短须裂腹鱼驯化养殖试验研究. *水利渔业*, 23(3): 16-17.
- 严太明, 何智, 苗志国. 2014. 大渡软刺裸裂尻鱼仔鱼形态发育及生长. *四川动物*, 33(3): 409-413.
- 严太明, 周翠萍, 李忠利, 等. 2007. 实验室饲养的重口裂腹鱼仔鱼的形态发育与生长. *四川农业大学学报*, 25(4): 493-497.
- 殷名称. 1995. 鱼类生态学. 北京: 中国农业出版社.
- 张沙龙. 2014. 长丝裂腹鱼和短须裂腹鱼的游泳能力和游泳行为研究. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文.
- 左鹏翔, 李光华, 冷云, 等. 2015. 短须裂腹鱼胚胎与仔鱼早期发育特性研究. *水生态学杂志*, 36(3): 77-82.