

新疆特克斯河斑重唇鱼胚胎发育 和胚后发育观察

王程欣^① 陈生熬^{①②*} 王新月^① 訾方泽^① 林旭元^② 魏齐^③

① 塔里木大学生命科学与技术学院, 塔里木珍稀鱼类研究中心 阿拉尔 843300; ② 新疆生产建设兵团水产技术推广总站 乌鲁木齐 810000; ③ 新疆维吾尔自治区昭苏县山水农业科技有限公司 昭苏 835600

摘要: 为保护伊犁河水系特克斯河特有鱼类斑重唇鱼 (*Distychus maculatus*) 种质资源, 探究斑重唇鱼胚胎发育与胚后发育规律。2021年5月, 对斑重唇鱼开展人工繁殖, 观察其胚胎发育和胚后发育过程, 记录各发育阶段形态特征。水温 15.0 ~ 16.0 °C 条件下, 斑重唇鱼胚胎发育历经受精、卵裂、囊胚、原肠胚、神经胚、器官形成和孵化出膜 7 个阶段, 经过 2 969.830 °C·h 破膜而出。斑重唇鱼成熟卵子淡黄色, 卵径 (2.75 ± 0.24) mm ($n = 20$), 卵受精 35 min 后卵周隙最大, 为 (3.46 ± 0.16) mm ($n = 20$), 其中卵黄约占体积的 3/5。胚后发育过程中, 仔鱼全长 (L_T , mm) 和出膜天数 (D) 关系式: $L_T = 0.50D + 9.15$ ($R^2 = 0.90$); 卵黄囊全长 (L_Y) 和出膜天数 (D) 关系式: $L_Y = -0.11D^2 + 7.61$ ($R^2 = 0.76$); 仔鱼全长 (L_T) 和卵黄囊体积 (L_P) 关系式: $L_T = -2.35L_P + 19.96$ ($R^2 = 0.88$); 卵黄囊全长 (L_Y) 和卵黄囊体积 (L_P) 关系式: $L_Y = 0.49L_P + 5.34$ ($R^2 = 0.68$); 卵黄囊体积 (L_P) 和出膜天数 (D) 关系式: $L_P = 0.002D^2 - 0.24D + 4.67$ ($R^2 = 0.98$)。本研究通过特克斯河斑重唇鱼人工繁殖实验, 观察其胚胎和胚后发育特征, 丰富斑重唇鱼早期生活史资料, 为特有鱼类苗种培育提供理论数据, 进一步为种质资源保护和开发奠定基础。

关键词: 特克斯河; 斑重唇鱼; 胚胎发育; 胚后发育

中图分类号: Q954 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2022) 05-668-10

Observation on Embryonic Development and Post-embryonic Development of *Distychus maculatus* in Turks River, Xinjiang

WANG Cheng-Xin^① CHEN Sheng-Ao^{①②*} WANG Xin-Yue^①
ZI Fang-Ze^① LIN Xu-Yuan^② WEI Qi^③

① *College of Life Science and Technology, Tarim University, Tarim Research Center of Rare Fishes, Alar 843300;*

② *Fishery Technical Extension Station, Xinjiang Production & Construction Group, Urumqi 810000;*

③ *Xinjiang Zhaosu Shanshui Agricultural Science and Technology Co. LTD, Zhaosu 835600, China*

基金项目 农业财政专项“西北地区重点水域渔业资源与环境调查”, 塔里木畜牧科技兵团重点实验室项目 (No. HS201902);

* 通讯作者, E-mail: chenshengao@163.com;

第一作者介绍 王程欣, 女, 硕士研究生; 研究方向: 鱼类生物学; E-mail: 1715254304@qq.com。

收稿日期: 2022-02-28, 修回日期: 2022-07-29 DOI: 10.13859/j.cjz.202205003

Abstract: [Objectives] *Distychus maculatus* is an endemic fish in Turks River of the Yili River basin. In order to protect its resources, we carried out its artificial breeding to explore the embryonic development and post-embryonic development pattern. **[Methods]** In May 2021, artificial breeding of *D. maculatus* was carried out, the embryonic and post-embryonic development were observed and photographed with a dissecting microscope, and the morphological characteristics of each developmental stage were recorded. Embryos and early larvae were randomly selected each time. The biological indexes of embryos and larvae were measured with Image pro plus 6.0 software. Photoshop CS6 was used for image processing and the SPSS 16.0 software was used for data processing. In this study, $K = NT$, where K is accumulated temperature ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$), N is the time required for development to a certain stage (h), and T is the average water temperature at this stage ($^{\circ}\text{C}$). Descriptive statistics was presented as mean \pm standard error. **[Results]** In the water temperature of 15.0 - 16.0 $^{\circ}\text{C}$, the embryo development of the fish was divided into 7 key stages: fertilization, cleavage, blastocyst, gastrula, neuroembryo, organogenesis and membrane emergence, and the membrane was broken after 2 969.830 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$. The mature eggs were pale yellow with a diameter of 2.75 ± 0.24 mm ($n = 20$). After 35 min of fertilization, the largest perioocyte gap was 3.46 ± 0.16 mm ($n = 20$), and the volume of yolk accounted for about 3/5. The relationship between the length of larval fish (L_T) and the days post hatching (D) was as follows: $L_T = 0.50D + 9.15$ ($R^2 = 0.90$); The relationship between the length of yolk-sac (L_Y) and the days of membrane emergence (D) was: $L_Y = -0.11D^2 + 7.61$ ($R^2 = 0.76$); The relationship between larval length (L_T) and yolk-sac volume (L_P) was as follows: $L_T = -2.35L_P + 19.96$ ($R^2 = 0.88$); The relationship between yolk-sac total length (L_Y) and yolk-sac volume (L_P) was as follows: $L_Y = 0.49L_P + 5.34$ ($R^2 = 0.68$); The relationship between yolk-sac volume (L_P) and membrane extraction days (D) was as follows: $L_P = 0.002D^2 - 0.24D + 4.67$ ($R^2 = 0.98$). The total length and volume of yolk sac decreased with the growth of body length. The yolk sac was consumed 15 days after membrane emergence. The whole length of larva increased with the days after membrane emergence. The whole length of larva increased significantly in yolk sac absorption stage. **[Conclusion]** By studying the artificial reproduction of *D. maculatus*, we explored its characteristics of embryo and post-embryonic development, to enrich the data of its early life history, and provide theoretical data for the breeding of unique fish seedlings, which further lays a foundation for the protection and development of germplasm resources.

Key words: Turks River; *Distychus maculatus*; Embryonic development; Post-embryonic development

斑重唇鱼 (*Distychus maculatus*) 隶属于鲤形目 (Cypriniformes) 鲤科 (Cyprinidae) 裂腹鱼亚科 (Schizothoracinae) 重唇鱼属 (*Distychus*), 俗称斑黄瓜鱼、马棒子、蛇鱼 (任慕莲等 1998), 是我国典型冷水性特有珍稀鱼类, 曾广泛分布于新疆塔里木河和伊犁河两大水系, 现仅分布于伊犁河上游支流特克斯河和塔里木河上游支流叶尔羌河 (郭焱等 2012), 2021 年已被列为国家 II 级重点保护水生野生动物 (国家林业和草原局等 2021)。

近年来, 关于斑重唇鱼的研究主要集中在遗传多样性 (杜岩岩等 2016, 赵雪飞等 2019)、种群分布 (牛建功等 2015)、人工驯养繁育等 (牛建功等 2016)。农田水利建设等人类活动加剧 (董力民 1997, 吐尔逊阿依·艾拜布拉等 2011) 和虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 等外来物种持续引入 (任慕莲等 1998, 郭焱等 2012), 导致斑重唇鱼等土著鱼类的种群资源日趋枯竭, 种群数量急剧下降。本研究通过对新疆特克斯河斑重唇鱼胚胎发育和胚后发育观察研

究, 以期为斑重唇鱼种质资源保护及开发提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 亲鱼来源

2021年4月和5月, 在新疆伊犁昭苏县千眼泉冷水鱼养殖基地(塔里木大学产学研基地), 依据王武(2000)选择体质健壮、体表无伤病斑重唇鱼亲鱼12尾, 其中雌性8尾, 体长(344.11 ± 15.18) mm, 体重(510.08 ± 60.90) g; 雄性4尾, 体长(289.65 ± 26.09) mm, 体重(301.69 ± 116.64) g, 开展人工繁殖。

1.2 人工繁殖

催产剂购自宁波第二激素厂, 多潘立酮注射液(domperidone injection, DOM)(2 ml: 0.1 g × 10支)、促黄体素释放激素(luteinizing hormone releasing hormone A₂ for injection, LRH-A₂)(25 μg × 10支)和绒毛膜促性腺激素(human chorionic gonadotropin, HCG)(2 000单位)3种混合使用。亲鱼采用2次注射, 间隔时间为24 h, 雄鱼催产剂量减半注射, 每隔48 h检查亲鱼。

待斑重唇鱼亲鱼腹部饱满且轻压有流动感时, 雌雄比1:2或1:3开展干法授精, 完全授精后, 清水冲洗受精卵2~3 min, 至卵膜吸水膨胀后开始孵化。将受精卵平铺于放置在流水槽(4.00 m × 0.80 m × 0.50 m)中自制的40目筛绢(0.90 m × 0.75 m × 0.10 m)孵化框内,

密度2~4粒/cm², 静水充氧孵化, 溶解氧9.00 mg/L以上, 水温15~16℃。每天8:00时、16:00时和24:00时各轻搅1次, 保持充足溶氧, 防止堆积致死; 早晚挑选死卵, 以防水霉病。

1.3 取样和观察

破膜前每隔1 h取10粒卵, 置于解剖显微镜(SMZ-140 N2GG, MOTIC, 厦门)下观察, 拍照(PowerShot A3000 IS, Canon, 珠海)记录胚胎发育特征。待破膜后, 每12 h取仔鱼10尾, 观察外部形态变化, 拍照后测量早期仔鱼全长(L_T)、卵黄囊长径(L_Y)和卵黄囊体积(L_P)。卵黄囊体积计算依据李忠利等(2009)公式, $V = DH^2\pi/6$, 式中, D 为卵黄囊长(mm), H 为卵黄囊高(mm)。胚胎发育各阶段有效积温推算(施德亮 2012), $K = NT$, 式中, K 为积温(℃·h), N 为发育至某一阶段所需时间(h), T 为该发育阶段的平均水温(℃)。

1.4 数据分析

Photoshop CS6进行图片处理; Image pro plus 6.0测量相关数据; SPSS 16.0分析处理数据, 结果以平均值 ± 标准差(Mean ± SD)表示。

2 结果与分析

2.1 胚胎发育

斑重唇鱼的胚胎发育过程划分为受精、卵裂、囊胚、原肠胚、神经胚、器官形成和孵化出膜7个阶段, 共26期(表1)。

表1 斑重唇鱼胚胎发育过程

Table 1 Embryonic development of *Distychus maculatus*

发育阶段 Developmental stage	简要特征 Brief characteristics	距受精时间 (h:min) Time after fertilization	持续时间 (h:min) Time duration	图序 Figure ordinal
受精卵 Fertilized egg	淡黄色, 圆球形, 透明, 沉性卵 Pale yellow, round, transparent, sedate eggs	0:00	0:00	图 1a Fig. 1a
胚盘期 Blastoderm stage	动物极端形成隆起胚盘 Animal extremes form a raised blastodisk	1:06	1:06	图 1b Fig. 1b
2细胞期 2-cell stage	胚盘顶部1纵裂沟, 分出2个细胞 There is a longitudinal fissure at the top of the blastocyst, and 2 cells are separated	3:20	2:14	图 1c Fig. 1c

续表 1

发育阶段 Developmental stage	简要特征 Brief characteristics	距受精时间 (h:min) Time after fertilization	持续时间 (h:min) Time duration	图序 Figure ordinal
4 细胞期 4-cell stage	4 个大小相似的细胞 Four cells of similar size	3:40	0:20	图 1d Fig. 1d
16 细胞期 16-cell stage	16 个大小相似、体积缩小的细胞 16 similar-sized, shrunken cells	4:22	0:42	图 1e Fig. 1e
32 细胞期 32-cell stage	经裂成 32 个不整齐细胞 The cells were divided into 32 irregular cells	4:55	0:33	图 1f Fig. 1f
多细胞期 Multi-cell stage	细胞继续分裂, 细胞团隆起 The cells continue to divide and the clumps swell	6:48	1:53	图 1g Fig. 1g
囊胚早期 Early blastula	囊胚凸起集中成“高帽”状, 细胞数量剧增, 界限不明显 Blastocyst protrusion concentrated into a "high hat" shape, the number of cells increased sharply, the boundary is not obvious	8:38	1:50	图 1h Fig. 1h
囊胚中期 Middle blastula	凸起明显, 两侧大小基本等同 Protruding is obvious, the size of both sides is basically equal	10:32	1:54	图 1i Fig. 1i
囊胚后期 Last blastula	囊胚层沿卵表面向植物极扩散 The blastocyst spreads along the surface of the egg toward the plant pole	16:50	6:18	图 1j Fig. 1j
原肠早期 Early gastrula	胚层下包 1/3, 胚环出现, 包裹部分卵黄 1/3 of the hypoderm is enclosed, and a ring of the embryo appears, enclosing part of the yolk	24:36	7:46	图 1k Fig. 1k
原肠中期 Middle gastrula	胚层下包 1/2, 胚盾出现 The hypoderm encloses 1/2 and the blastocyst appears	29:33	4:57	图 1l Fig. 1l
原肠晚期 Last gastrula	胚层包裹绝大部分卵黄, 胚盾伸长 The germ layer encloses most of the yolk and the embryo shield elongates	35:38	5:55	图 1m Fig. 1m
小卵黄栓期 Little egg yolk plug stage	植物极处仅露极小卵黄, 形成卵黄栓 Only a very small yolk is exposed at the extreme of the plant, forming a yolk plug	43:19	7:41	图 1n Fig. 1n
神经胚期 Neural embryo formation	胚体紧贴卵黄囊, 前端膨大形成脑泡 The embryo body clings to the yolk sac and the front end expands to form a brain bubble	54:59	11:40	图 1o Fig. 1o
胚孔封闭期 Closure of blastopore	胚层下包, 胚孔封闭 The hypoderm is enclosed and the blastocyst is closed	55:23	0:24	图 1p Fig. 1p
肌节出现期 Appearance of myomere	多对明显肌节 Multiple pairs of distinct sarcomere	57:48	2:25	图 1q Fig. 1q
眼囊出现期 Eye capsule appears stage	头部两侧卵圆形凹陷, 眼囊清晰 Both sides of the head oval depression, clear eye sac	59:24	1:36	图 1r Fig. 1r
耳囊出现期 Otocyst stage	眼囊凹陷, 后脑两侧泡状小耳囊 Eye sac depression, posterior brain on both sides of the vesicular small ear sac	61:47	2:23	图 1s Fig. 1s
尾芽期 Tail-bud stage	胚体后端伸长, 卵黄囊缩小, 形成尾芽 The posterior end of the embryo body elongates and the yolk sac shrinks to form the tail bud	65:53	4:06	图 1t Fig. 1t
肌肉效应期 Effects of muscle stage	胚体微弱颤动 The embryo body faintly vibrates	74:27	8:34	图 1u Fig. 1u
耳石期 Otolith appear stage	胚体两侧耳囊中 2 个颗粒 There are two granulosa in the two lateral auricular sacs of embryo body	84:48	10:21	图 1v Fig. 1v
心搏期 Cardiac stage	心跳动由弱到强 The heart beats from weak to strong	90:23	5:35	图 1w Fig. 1w
血液循环期 Blood circulation stage	心向头部供血, 血液淡红色 The heart supplies blood to the head, and the blood is reddish	121:43	31:20	图 1x Fig. 1x
出膜期 Embryos hatching	胚体出膜, 运动剧烈 The embryo body comes out of the membrane and moves violently	154:40	32:57	图 1y Figure 1y
出膜仔鱼 Hatching larvae	卵黄囊仔鱼通体透明, 全长约 9.28 mm The whole body of yolk sac larva is transparent, with a total length of 9.28 mm	165:17	10:37	图 1z Figure 1z

2.1.1 成熟卵的形态特征 斑重唇鱼卵沉性、较大、呈圆球形，淡黄色、略带黏性，遇水膨胀，卵径约 (3.46 ± 0.16) mm ($n = 20$) (图 1a)。受精后其黏性增强，随微流水冲洗，黏性逐渐减弱，卵粒分散。受精后 1 h，胚盘动物极隆起高度约占卵黄 1/4 (图 1b)。

2.1.2 卵裂阶段 受精后 3 h，隆起胚盘出现分裂沟，分裂出 2 个相似细胞，即 2 细胞期 (图 1c)；胚胎发育加快，与第一次分裂沟垂直的另一分裂沟出现，分裂细胞成球状，即 4

细胞期 (图 1d)；继续分裂，细胞大小不均，排列不规则，即 16 细胞期 (图 1e)；32 细胞期，分裂球个体差异变大 (图 1f)。分裂继续进行，分裂球增加，卵黄上方堆积隆起，为多细胞期 (图 1g)。

2.1.3 囊胚阶段 受精后 10~18 h，细胞继续分裂，数目增加，胚盘隆起明显，为囊胚早期 (图 1h)。胚盘高度下降，为囊胚中期 (图 1i)。随着囊胚细胞向边缘扩展，胚盘缩小，似“小帽”盖于卵黄囊，即囊胚晚期 (图 1j)。



图 1 斑重唇鱼的胚胎发育

Fig. 1 Embryonic development of *Distychus maculatus*

a. 受精卵; b. 胚盘期; c. 2 细胞期; d. 4 细胞期; e. 16 细胞期; f. 32 细胞期; g. 多细胞期; h. 囊胚早期; i. 囊胚中期; j. 囊胚晚期; k. 原肠早期; l. 原肠中期; m. 原肠晚期; n. 神经胚期; o. 小卵黄栓期; p. 胚孔封闭期; q. 肌节出现期; r. 眼囊出现期; s. 耳囊出现期; t. 尾芽期; u. 肌肉效应期; v. 耳石形成期; w. 血液循环期; x. 心搏期; y. 出膜期; z. 出膜仔鱼。

a. Fertilized egg; b. Blastodisc formation stage; c. 2-cell stage; d. 4-cell stage; e. 16-cell stage; f. 32-cell stage; g. Multicellular stage; h. Early-blastula; i. Mid-blastula; j. Late-blastula; k. Early-gastrula; l. Mid-gastrula; m. Late-gastrula; n. Neurula; o. Little yolk plug stage; p. Blastopore closing stage; q. Appearance of myomere; r. The stage of optic vesicle present; s. Appearance of otic capsule; t. Caudal bud appearance; u. Muscular effect; v. Otoliths formation; w. Blood circulation stage; x. Heart pulsation; y. Hatching; z. Newly hatched larvae.

2.1.4 原肠胚阶段 受精后 20~37 h, 囊胚细胞向植物极下包至卵黄高度 1/3, 细胞边缘卷曲成胚环, 为原肠早期 (图 1k)。胚环一侧细胞隆成胚盾, 即原肠中期 (图 1l)。胚盾前端膨大, 进一步延伸形成较大卵黄栓, 即原肠晚期 (图 1m)。

2.1.5 神经胚阶段 受精后 38~57 h, 胚层下包至卵黄 5/6 处, 植物极卵黄极少, 为小卵黄栓期 (图 1n)。“马蹄形”脑泡形成, 整个胚体卧于卵黄囊, 为神经胚期 (图 1o)。胚层下包卵黄, 胚孔闭合, 即胚孔封闭期 (图 1p)。

2.1.6 器官形成阶段 受精后 59 h 45 min, 胚体中部观察到体节 2~4 对, 逐渐增多, 即肌节出现期 (图 1q)。61 h 21 min, 胚体长度伴随肌节增加而伸长, 眼囊轮廓形成, 即眼囊出现期 (图 1r)。63 h 44 min, 眼后方和脊索前端出现圆形听囊, 耳囊出现期 (图 1s)。67 h 50 min, 卵黄球凹陷, 尾部与卵黄球分离, 进入尾芽期 (图 1t)。76 h 24 min, 背部肌节不规律收缩, 尾部摇摆, 频率约 7~9 次/min, 后逐渐加快, 即肌肉效应期 (图 1u)。86 h 45 min, 胚体耳囊内出现 1 对“石头”状颗粒, 为耳石形成期 (图 1v)。92 h 20 min, 胚体头部与卵黄囊处现心室空泡, 有心跳动, 血液透明, 即心搏动期 (图 1w)。123 h 40 min, 心向头部供血, 血液淡红色, 即血液循环期 (图 1x)。

2.1.7 出膜阶段 受精后 156 h 37 min, 仔鱼出膜, 进入出膜期 (图 1y)。出膜前胚体翻滚或旋转运动加快, 撞击卵膜。卵膜变软、变薄, 尾部附近破口, 游离到水中摆动, 随后扭动剧烈, 破口变大, 胚体完全出膜 (图 1z)。刚出膜仔鱼淡黄色, 全长约 9.29 mm, 镜下体节明显, 体色素未形成。卵黄囊前呈球状, 后呈棒状, 紧贴仔鱼腹部。卵黄上血色素肉眼可见, 眼球色素、体色素、胸鳍及鳃等未现。仔鱼大部分时间侧卧水底, 间歇式抬头或上窜运动。

2.2 早期仔鱼发育

出膜后, 仔鱼发育经眼色素出现期、体色素出现期、鳔充气期、卵黄囊完全吸收期四个时期 (图 2)。仔鱼眼、鳍、口腔、鳃、鳔、体色素、消化系统、血液循环系统等发育并趋于完善, 卵黄吸收殆尽后营外源性营养。

2.2.1 眼色素出现期 出膜后, 仔鱼全长 (9.28 ± 0.02) mm, 卵黄囊长径 (6.26 ± 0.01) mm ($n=20$), 呈哑铃型, 前端膨大椭圆形, 后端圆柱状。首先仔鱼最大变化是出现眼色素。出膜 12 h, 眼廓明显, 眼腹面内侧斑点增大, 色素少量沉积。出膜 25 h 36 min, 仔鱼全长 (10.76 ± 0.02) mm, 卵黄囊长径 (6.74 ± 0.02) mm ($n=20$), 卵黄囊被吸收变细, 前端圆球渐小, 眼色素增多呈黑色。最后眼球色素增多, 眼大且突出。

2.2.2 体色素出现期 出膜 82 h 20 min, 仔鱼

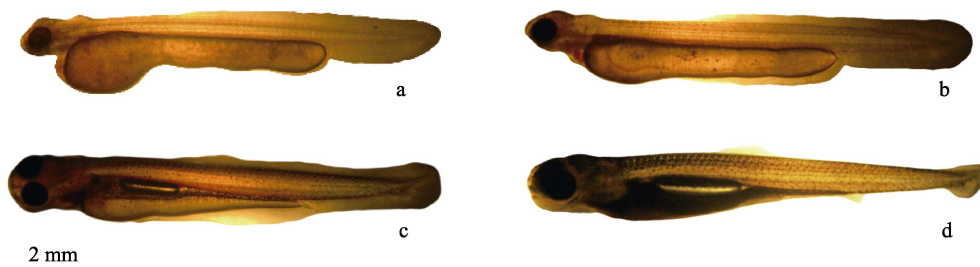


图 2 斑重唇鱼的早期仔鱼发育

Fig. 2 Larval development of *Distychus maculatus*

a. 眼球色素出现期; b. 体色素出现期; c. 鳔充气期; d. 卵黄囊完全吸收期。

a. Eye pigmentation increasing period; b. Body pigmentation increasing period; c. Air bladder inflated period; d. Yolk sac absorbed completely.

全长 (12.57 ± 0.02) mm, 卵黄囊长径 (7.38 ± 0.00) mm ($n = 20$)。头部骨骼逐渐形成, 头部、胸部和背部出现黄、黑色素。卵黄囊被吸收变细长, 体色素继续沉积。

2.2.3 鳔充气期 出膜 212 h 50 min, 仔鱼全长 (14.47 ± 0.03) mm, 卵黄囊长径 (7.05 ± 0.01) mm ($n = 20$)。仔鱼头部色素沉积较多, 颜色加深。从口咽腔到尾部, 均沉积大量黑色素。此时, 鳔充气膨大, 消化道发育完整, 尾鳍全展, 仔鱼平游。

2.2.4 卵黄囊完全吸收期 出膜 312 h 15 min, 仔鱼全长 (14.71 ± 0.04) mm ($n = 20$), 卵黄囊完全被吸收, 外源营养存活。

根据形态特征, 斑重唇鱼胚胎发育过程可分受精、卵裂、囊胚、原肠胚、神经胚、器官形成和出膜 7 个阶段, 共 26 个时期。水温 $15.0 \sim 16.0$ °C 下, 从受精卵到孵化历时 167.23 h, 积温 $2\,969.83$ °C·h, 其中, 卵裂期耗时 7.49 h, 积温 136.53 °C·h, 囊胚期耗时 8.12 h, 积温 156.59 °C·h; 原肠期耗时 10.50 h, 积温 285.69 °C·h; 神经胚期耗时 12.07 h, 积温 305.95 °C·h; 器官分化期耗时 63.92 h, 积温 $1\,018.84$ °C·h。

2.3 卵黄囊吸收与仔鱼生长

斑重唇鱼受精卵破膜后, 对卵黄囊全长、卵黄囊体积、出膜后天数和仔鱼全长拟合如下 (图 3)。

仔鱼全长 (L_T , mm) 和出膜后天数 (D , d) 关系式: $L_T = 0.50D + 9.15$ ($R^2 = 0.90$);

卵黄囊全长 (L_Y , mm) 和出膜后天数 (D) 关系式: $L_Y = -0.11D^2 + 7.61$ ($R^2 = 0.76$);

仔鱼全长 (L_T) 和卵黄囊体积 (L_P , mm³) 关系式: $L_T = -2.35L_P + 19.96$ ($R^2 = 0.88$);

卵黄囊全长 (L_Y) 和卵黄囊体积 (L_P) 关系式: $L_Y = 0.49L_P + 5.34$ ($R^2 = 0.68$);

卵黄囊体积 (L_P) 和出膜后天数 (D) 关系式: $L_P = 0.002D^2 - 0.24D + 4.67$ ($R^2 = 0.98$)。

出膜仔鱼卵黄囊全长、体积随体长增长而减小 (图 3)。仔鱼出膜后 2 d 卵黄囊消耗量减少; 出膜后 6 ~ 11 d, 卵黄囊消耗最大, 此时能量

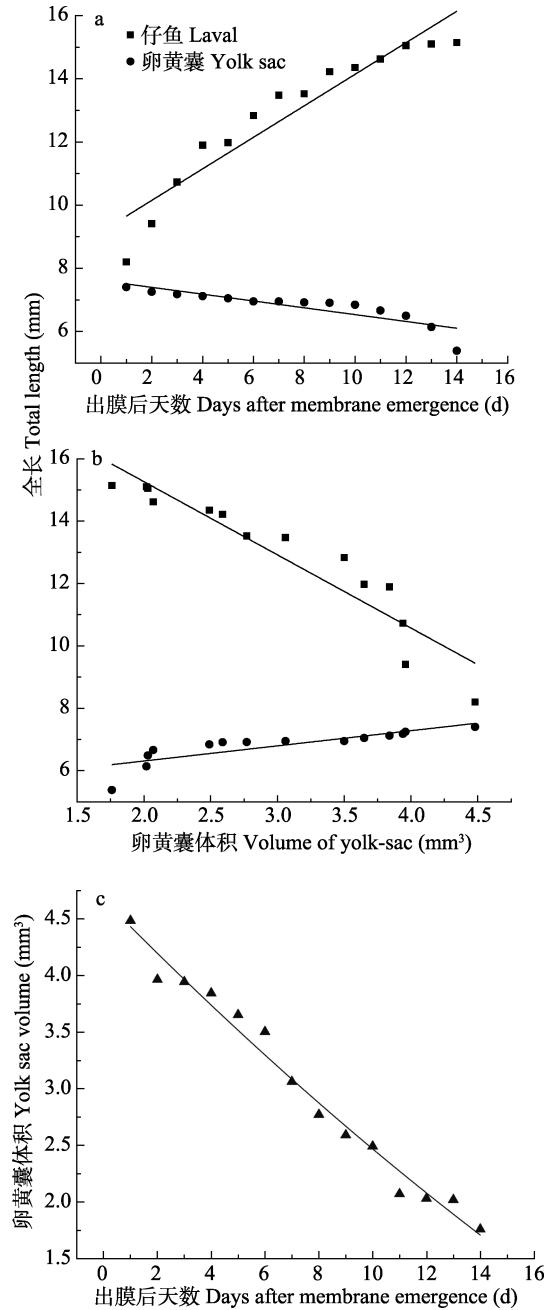


图 3 斑重唇鱼仔鱼发育

Fig. 3 Larval development of *Distychus maculatus*

a. 出膜后天数与卵黄囊全长、仔鱼全长的关系; b. 卵黄囊体积与卵黄囊全长、仔鱼全长的关系; c. 出膜后天数与卵黄囊体积的关系。
a. Relationship between the number of days after membrane emergence and the total length of yolk sac and larva; b. Relationship between yolk sac volume and total length of yolk sac and larva; c. Relationship between the number of days after membrane emergence and yolk sac volume.

消耗最大。出膜后 15 d, 卵黄囊消耗完毕。

仔鱼全长随出膜后天数增长。卵黄囊吸收阶段, 仔鱼全长增长趋势显著, 其体积快到 0 时, 全长稳步增长。出膜后 1~4 d 仔鱼生长达最大增长率, 随后渐小。

3 讨论

3.1 斑重唇鱼受精卵特征

裂腹鱼类一般栖息于高原水域, 常见于宽谷河道的缓流或峡谷河道的急流(伍献文 1964), 从形态和生态学方面均有较强的高原极端环境适应性。本研究观察到斑重唇鱼受精卵呈淡黄色, 和大部分裂腹鱼类卵色相似(蔡林钢等 2011, 张建明等 2019, 胡仁云等 2020, 刘茂春等 2020); 与同样分布于高海拔地区的叶尔羌高原鳅(*Triplophysa yarkandensis*) (陈生熬等 2015)、安氏高原鳅(*T. angeli*) (王华等 2009) 和贝氏高原鳅(*T. bleekeri*) (李忠利等 2009) 相似, 卵色也均为淡黄色。高原鱼类受精卵进化特性表现出同样的适应性, 以保障物种延续性。

卵径是反映生物进化过程的重要生物学特征, 是鱼类长期适应环境的结果(Yamamoto et al. 1992)。本研究中斑重唇鱼卵径在 2.75 mm 左右, 稍大于新疆裸重唇鱼[*Gymnodiptychus dybowskii*, 卵径(2.57 ± 0.01) mm] (刘茂春等 2020), 和伊犁裂腹鱼(*Schizothorax pseudaksaiensis*) (1.70~1.80 mm) (蔡林钢等 2011), 小于齐口裂腹鱼(*S. prenanti*) (张建明等 2019, 卵径为 2.9~3.0 mm), 和重口裂腹鱼[*S. davidi*, 卵径(2.91 ± 0.29) mm] (胡仁云等 2020), 与常见裂腹鱼亚科鱼类的卵径差异不显著($P > 0.05$)。与常见鲤科鱼类相比, 斑重唇鱼卵径明显大于乌原鲤(*Procypris merus*) (韩耀全等 2018) 和岩原鲤(*P. rabaudi*) (庾云 2006) 的卵径。由此得知鱼类卵径大小与鱼类种类、规格大小密切相关(李霞 2006, 陈军平等 2021)。

3.2 斑重唇鱼胚胎发育特征

鱼类胚胎发育不仅是水产动物遗传和发育生物学中重要的研究课题, 也是水产育种工作

中的关键环节(Bobe et al. 2010)。斑重唇鱼胚胎发育先后经历了胚盘形成、卵裂、囊胚、原肠胚、神经胚、器官形成和出膜等阶段, 遵循了淡水硬骨鱼类胚胎发育规律(de Martini 1991)。

对比裂腹鱼亚科胚胎发育可看出, 其胚胎孵化温度均不超过 22 °C, 这是由于其栖息环境决定了它们的繁殖发育水温也相对较低。斑重唇鱼在发育过程中, 耳囊在尾芽期前出现, 与齐口裂腹鱼(张建明等 2019)一致, 但与新疆裸重唇鱼(刘茂春等 2020)和伊犁裂腹鱼(蔡林钢等 2011)相反; 且斑重唇鱼胚胎发育后期阶段, 尾部先出膜, 这与新疆裸重唇鱼(刘茂春等 2020)、伊犁裂腹鱼(蔡林钢等 2011)相似; 然而齐口裂腹鱼(张建明等 2019)和重口裂腹鱼(胡仁云等 2020)出膜方式均未表现出相似的特征, 这与鱼类种类不同有关(徐滨等 2018)。

3.3 斑重唇鱼胚后发育特征

初孵仔鱼中小型体可自由游动, 进入狭缝躲避捕食者(刘俊果等 2018, 胡雪松等 2020)。斑重唇鱼初孵仔鱼全长(9.29 ± 0.02) mm, 与齐口裂腹鱼(9.0~10.0 mm) (张建明等 2019)相似; 短于新疆裸重唇鱼的(10.79 ± 0.07) mm (刘茂春等 2020)、重口裂腹鱼(11.00 ± 0.18) mm (胡仁云等 2020), 推测斑重唇鱼初孵仔鱼中小体型自由游动可避免被捕食。

斑重唇鱼早期仔鱼发育阶段历时 15 d, 其中出膜 1~4 d 达最大生长率, 说明初孵仔鱼 1~4 d 高速生长能量来自内源性营养; 而后转入混合型营养阶段, 但由于器官继续分化和运动摄食行为变化, 消耗大部分能量, 其生长率减弱(Hodson et al. 1986, Enrique et al. 1987); 出膜后 6 d, 仔鱼大量吸收卵黄囊, 生长速度加快(Farris et al. 1959)。斑重唇鱼出膜后 15 d 卵黄囊消耗殆尽, 与异齿裂腹鱼(*S. connori*) (张良松 2011) 和厚唇裸重唇鱼(*G. pachycheilus*) (张艳萍等 2013) 卵黄囊消耗殆尽耗时差异不显著($P > 0.05$), 与扁吻鱼(*Aspiorhynchus laticeps*) 卵黄囊消耗殆尽耗时 8 d (韩军军等 2021)、塔里木裂腹鱼(*S. biddulphi*) 耗时 8 d (赵年桦等 2021)、光唇裂腹鱼(*S.*

*lissolabiatu*s) 耗时 8 d (申安华等 2013) 和齐口裂腹鱼耗时 7~10 d (蒲德成等 2017) 相比, 差异显著 ($P < 0.05$), 这与它们水域环境、配合饲料驯化和水质管理等条件有关 (张瑛珑 2018)。

参 考 文 献

- Bobe J, Labbé C. 2010. Egg and sperm quality in fish. *General and Comparative Endocrinology*, 165(3): 535–548.
- de Martini E E. 1991. Annual variations in fecundity, egg size, and the gonadal and somatic conditions of queenfish *Seriphus politus* (Sciaenidae). *Fishery Bulletin*, 89(1): 9–18.
- Enrique M A, Jesus V J. 1987. Yolk and oil globule utilization and developmental morphology of the digestive tract epithelium in larval rabbitfish, *Siganus guttatus* (Bloch). *Aquaculture*, 65(3/4): 319–331.
- Farris D A. 1959. A change in the early growth rates of four larval marine fishes. *Limnology and Oceanography*, 04(1): 29–36.
- Hodson P V, Blunt B R. 1986. The effect of time from hatch on the yolk conservation efficiency of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Journal of Fish Biology*, 29(1): 37–46.
- Yamamoto S, Nakano S, Tokuda Y. 1992. Variation and divergence of the life-history of Japanese charr *Salvelinus leucomaenis* in an artificial lake-inlet stream system. *Japanese Journal of Ecology*, 42(2): 149–157.
- 蔡林钢, 牛建功, 张北平, 等. 2011. 伊犁裂腹鱼胚胎及早期仔鱼发育的观察. *淡水渔业*, 41(5): 74–79.
- 陈军平, 沈方方, 武慧慧, 等. 2021. 我国鱼类胚胎发育研究进展. *江苏农业科学*, 49(17): 45–52.
- 陈生熬, 宋勇, 牛玉娟, 等. 2015. 叶尔羌高原鳅胚胎发育与胚后发育观察. *中国水产科学*, 22(4): 597–607.
- 董力民. 1997. 特克斯河巩留引水灌区水文地质条件及地下水的开发利用. *干旱区地理*, 15(3): 90–95.
- 杜岩岩, 杨顺文, 史小宁, 等. 2016. 遗传标记技术在裂腹鱼类研究中的应用. *甘肃畜牧兽医*, 46(17): 121–125.
- 郭焱, 张人铭, 蔡林刚. 2012. 新疆鱼类志. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社.
- 国家林业和草原局, 农业农村部. 2021. 国家林业和草原局 农业农村部公告 2021 年第 3 号. [EB/OL]. [2021-02-05]. http://www.yyj.moa.gov.cn/gzdt/202102/t20210205_6361296.htm.
- 韩建军, 贺疆滔, 陈朋, 等. 2021. 扁吻鱼胚胎发育及仔稚鱼形态与生长观察研究. *南方水产科学*, 17(1): 59–66.
- 韩耀全, 何安尤, 蓝家湖, 等. 2018. 乌原鲤的胚胎发育特征. *水产科学*, 37(3): 368–373.
- 胡仁云, 张运海, 舒旗林, 等. 2020. 重口裂腹鱼的胚胎发育观察. *江苏农业科学*, 48(14): 198–203.
- 胡雪松, 李池陶, 葛延龙, 等. 2020. 黑龙江三角鲂的胚胎和早期仔鱼发育观察. *中国水产科学*, 27(10): 1176–1183.
- 李霞. 2006. 水产动物组织胚胎学. 北京: 中国农业出版社.
- 李忠利, 严天明. 2009. 贝氏高原鳅胚胎和仔鱼的形态发育. *水生生物学报*, 33(4): 636–642.
- 刘俊果, 宋炜, 蒋科技, 等. 2018. 棘头梅童鱼胚胎发育和仔鱼形态观察. *海洋渔业*, 40(6): 691–702.
- 刘茂春, 谭刚, 何兴恒, 等. 2020. 开都河流域新疆裸重唇鱼胚胎发育观察. *江苏农业科学*, 48(3): 175–179.
- 牛建功, 蔡林钢, 李红, 等. 2015. 伊犁河两种裂腹鱼类基因安全和种群分布的关系. *水产学杂志*, 28(4): 1–5.
- 牛建功, 张涛, 刘鸿, 等. 2016. 斑重唇鱼人工驯养繁育技术研究. *科学养鱼*, 7(12): 10–12.
- 蒲德成, 苏胜齐, 代昌华, 等. 2017. 大宁河齐口裂腹鱼人工繁育技术研究. *湖北农业科学*, 56(20): 3917–3920.
- 任慕莲, 郭焱, 张清礼, 等. 1998. 伊犁河鱼类资源及渔业. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社.
- 申安华, 李光华, 赵树海, 等. 2013. 光唇裂腹鱼胚胎发育与仔鱼早期发育的研究. *水生态学杂志*, 34(6): 76–80.
- 施德亮, 危起伟, 孙庆亮, 等. 2012. 秦岭细鳞鲑早期发育观察. *中国水产科学*, 19(4): 557–567.
- 吐尔逊阿依·艾拜布拉, 努尔巴依·阿布都沙力克, 阿迪力江·库尔班. 2011. 水库建设下特克斯河谷动植物资源现状评价及保护措施. *安徽农业科学*, 39(27): 16688–16690.
- 庾云. 2006. 岩原鲤胚胎、胚后发育与早期器官分化的研究. 重庆: 西南大学博士学位论文, 11–81.
- 王华, 郭延蜀, 左林, 等. 2009. 安氏高原鳅胚胎和仔鱼发育的观察. *水产科学*, 28(12): 721–725.
- 王武. 2000. 鱼类增殖学. 北京: 中国农业出版社.
- 伍献文. 1964. 中国鲤科鱼类志 (上卷). 上海: 上海人民出版社.
- 徐滨, 魏开金, 朱祥云, 等. 2018. 雅砻江硬刺松潘裸鲤的胚胎及仔鱼发育研究. *水生态学杂志*, 39(5): 67–75.
- 张建明, 姜伟. 2019. 人工繁殖齐口裂腹鱼胚胎及仔鱼发育观察. *西南农业学报*, 32(9): 2238–2244.

- 张良松. 2011. 异齿裂腹鱼胚胎发育与仔鱼早期发育的研究. 大连海洋大学学报, 26(3): 238-242.
- 张艳萍, 王太, 焦文龙, 等. 2013. 厚唇裸重唇鱼胚胎发育的形态学观察. 四川动物, 32(3): 389-392.
- 张瑛珑. 2018. 西部高原地区鲟鱼苗种培育环境条件及鱼病防治. 甘肃畜牧兽医, 48(8): 33-34.
- 赵年桦, 徐筱, 赵贺, 等. 2021. 塔里木裂腹鱼人工繁殖、胚胎发育和早期仔鱼发育研究. 西北农业学报, 30(12): 1767-1776.
- 赵雪飞, 米博翰, 梁利群, 等. 2019. 新疆裸重唇鱼和斑重唇鱼遗传多样性分析. 水产学杂志, 32(2): 19-24.