

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.150012

叶尔羌高原鳅胚胎发育与胚后发育观察

陈生熬¹, 宋勇¹, 牛玉娟^{1,2}, 刘洁雅^{1,2}, 谢从新², 任道全¹, 范镇明³

1. 塔里木大学 动物科学学院, 新疆生产建设兵团塔里木畜牧科技重点实验室, 新疆 阿拉尔 843300;

2. 华中农业大学 水产学院, 湖北 武汉 430070;

3. 新疆生产建设兵团 水产技术推广总站, 新疆 乌鲁木齐 830002

摘要: 采用形态学和生态学方法, 对叶尔羌高原鳅 [*Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day)] 胚胎发育和胚后发育阶段全过程进行观察、拍照并测量。结果显示: 叶尔羌高原鳅, 卵微黏性, 略有沉性, 受精卵呈卵圆形, 卵径为 (0.60 ± 0.052) mm, 在水温 $(20.0 \pm 1.0)^\circ\text{C}$ 下, 历时 65 h 34 min 完成整个胚胎发育分为 7 个生理阶段过程; 胚后发育主要根据卵黄囊、体色、鼓鳔和须的变化分为仔鱼期、稚鱼期、幼鱼期。初孵卵黄囊仔鱼全长 (2.0 ± 0.65) mm, 出膜后 7 d, 卵黄囊吸收完毕, 完全消失; 初孵仔鱼继续培育至 16 日龄, 仔鱼鳃盖后缘鼓鳔明显长出, 须清晰可辨, 体色加深, 心脏红色素明显, 体色与成体相似, 标志后期仔鱼发育完全进入稚鱼期, 此时鱼苗全长 (8.0 ± 0.45) mm; 培育至 30 日龄, 仔鱼鼓鳔完全, 鳃盖张合明显, 身体透明特征消失, 稚鱼阶段完成发育进入幼鱼期, 此时全长达 (13.0 ± 0.55) mm, 其外部形态和生态习性均与成鱼相似。试验中, 卵黄囊长度(L_Y)和出膜天数(D)的关系式: $L_Y = 0.0286D^2 - 0.0636D + 3.1196$ ($R^2 = 0.9050$); 用直线方程拟合卵黄囊长度(L_Y)和卵黄囊仔鱼全长(L_T)的关系式: $L_Y = -1.315L_T + 5.368$ ($R^2 = 0.8199$); 拟合卵黄囊仔鱼全长(L_T)和出膜后仔稚鱼天数(D)的关系式: $L_T = -0.0263D^2 + 0.5113D + 1.6169$ ($R^2 = 0.9890$)。本研究旨在通过了解叶尔羌高原鳅的早期发育特征为该物种的保护和增殖对策提供科学依据, 并对其苗种生产提供理论指导。

关键词: 叶尔羌高原鳅; 胚胎发育; 胚后发育

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)04-0597-11

叶尔羌高原鳅 [*Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day)], 地方名: 狗头鱼、小大头, 隶属鲤形目 (Cypriniformes), 鳅科 (Cobitidae), 条鳅亚科 (Nemachilinae), 高原鳅属 (*Triplophysa*)、鼓鳔亚属 (*Hedinichthys*), 塔里木河水系土著鱼类^[1-2]。关于塔里木河水系渔业的研究多为渔业环境调查、外来物种、裂腹鱼类等生物学研究^[3-6]; 有关该水系高原鳅的研究也仅限于新种报道、形态特征、摄食与生长等, 对于叶尔羌高原鳅的报道已有生物学特征、生长与摄食和繁殖习性等方面研

究报道^[6-13]。

近年来叶尔羌高原鳅资源锐减, 前景令人堪忧, 可能会成为塔里木河水系继扁吻鱼 (*Aspiorhynchus laticeps*) 和塔里木裂腹鱼 (*Schizothorax biddulphi*) 之后的第三种濒危鱼类^[13-14]。鉴于此, 开展叶尔羌高原鳅人工繁殖和苗种培育工作迫在眉睫。曾霖等^[10]和陈生熬等^[11-12]曾开展人工繁殖方面的研究工作, 为该物种的保育提供了有效数据, 但迄今未曾发现叶尔羌高原鳅胚胎发育及仔稚鱼等阶段的研究报道。本研究在人工繁殖成功

收稿日期: 2015-01-19; 修订日期: 2015-02-09.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31360635); 国家科技基础性工作专项 (2012FY112700-8); 新疆生产建设兵团基本科技计划项目 (2013BA005); 新疆生产建设兵团一师科技局项目 (2012YY01); 新疆生产建设兵团塔里木畜牧科技重点实验室项目 (201505).

作者简介: 陈生熬 (1980—), 男, 硕士研究生, 主要从事鱼类生态学方面的研究. E-mail: chenshengao@163.com

通信作者: 谢从新, 教授. E-mail: xiecongxin@mail.hzau.edu.cn

的基础上,采用传统的研究方法,系统地观察叶尔羌高原鳅胚胎发育和胚后发育过程情况,记录和拍摄胚胎发育特征,并与其他高原鳅属鱼类进行比较,旨在对叶尔羌高原鳅早期生活史进行探究,为其增殖保护和苗种生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 受精卵的采集和孵化

2014年5月采用塔里木大学水产试验站叶尔羌高原鳅亲鱼,进行人工催产后获得受精卵,受精卵则采用50 L塑料桶改装的孵化桶内流水孵化,孵化用水采用曝气48 h以上的自来水,pH为6.5~7.5,溶解氧(DO)保持着8.0 mg/L以上,水温(T)控制为 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 。

1.2 仔、稚、幼鱼的培育

仔鱼采用 $1.00\text{ m}\times 0.60\text{ m}\times 0.80\text{ m}$ 水族箱培育,2 500~4 500尾/ m^3 ;稚鱼至幼鱼阶段则采用 $2.40\text{ m}\times 0.80\text{ m}\times 0.50\text{ m}$ 玻璃钢流水槽培育,放养密度1 000~1 500尾/ m^3 ,分级培养。放养期间增氧方式均采用电磁式空气泵(ACO-004, 0.75~1.1 kW)静水曝气法,投喂时间采用每天8:00、15:00和23:00。

卵黄囊仔鱼后期(即开口摄食),采用虾苗开口饲料(天津英伟水产有限公司)投喂;当卵黄囊消失后至仔鱼后期,按照上述时间点,每天8:00和15:00投喂鸡蛋黄(用200 μ 筛绢过滤),23:00则投喂虾苗饲料。当培育至稚鱼及幼鱼期间,按照上述时间点,则投喂鲫苗配合饲料(正大饲料2.0)。

投喂期间,遵从投喂量则以每天均有少量剩余为准,按照多次少量的原则,控制在15%~25%,投喂期间关掉增氧设施等杂音,保持安静,每次投喂时间30~60 min为宜。

1.3 取样和观察

胚胎发育时,每次取10粒受精卵,并置于加水培养皿中,采用Motic SMZ-140解剖镜(目镜10 $\times$ 20,4倍变焦)和Canon PC-1475照相机,每隔10 min取样对胚胎发育情况进行观察和拍照,记录胚胎发育时序及各期典型特征,以50%个体出现新特征作为划分发育时期的标准^[15-17]。

仔鱼、稚鱼及幼鱼观察。每天8:30和20:30取样10尾,观察外部形态变化,并测量拍照^[15-17]。运用ipp6.0软件测量早期仔鱼全长(L_T)、卵黄囊长径(L_Y)。用游标卡尺测量晚期仔鱼和稚鱼的全长(L_T)等指标。

1.4 数据处理

所得数据用Excel 2007和Photoshop CS5软件处理。

2 结果与分析

2.1 胚胎发育

叶尔羌高原鳅,成熟卵子淡黄色(图1-①),微黏性,椭圆形,饱满,有弹性,卵径 $(0.60\pm 0.052)\text{ mm}$,卵子受精遇水后膨胀(图1-),卵径 $(0.81\pm 0.093)\text{ mm}$,稍有振动或增氧泵水流冲击后散落池底,在水体中植物极朝下,动物极朝上,孵化过程中如采用不当孵化设施,易造成死亡。叶尔羌高原鳅受精卵,在曝气48 h以上的自来水,pH 6.5~7.5,溶解氧(DO) 8.0 mg/L以上,水温(T) $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 中,约计65 h 34 min完成整个胚胎发育,后破膜进入胚后发育。

与其他鱼类一样,叶尔羌高原鳅胚胎发育即可分为卵裂期、囊胚期、原肠胚期、神经胚期和器官形成期阶段等过程(表1)。

2.1.1 卵裂期 当叶尔羌高原鳅卵子在15~30 min内受精,后经过1 h 12 min,原生质逐渐移向动物极,胎盘形成并隆起(图1-),并向两端拉伸,中央出现分裂沟,胚盘被裂等分为相似的两个细胞,即2细胞期(图1-);从此时起,在11 h 20 min内,通过经裂和纬裂,先后分裂为4细胞期(图1-)、8细胞期(图1-)、16细胞期(图1-)、32细胞期(图1-)、64细胞期(图1-);之后1 h 20 min内,继续分裂,细胞越来越不规则,界面难以区分,形成多细胞胚,即多细胞期(图1-)。

2.1.2 囊胚期 叶尔羌高原鳅受精后14 h 17 min,细胞进一步分裂,在受精卵动物极端凸起,侧面观呈卵圆形,似高帽状,即为囊胚早期(图1-)。囊胚细胞再开始向外周扩散,凸起明显,两段基本均分,即为囊胚中期(图1-②)。胚层沿卵表面继

表 1 叶尔羌高原鳅胚胎发育过程
Tab. 1 Embryonic development of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day)

发育期 developmental stage	发育期简要特征 brief characteristics of stage	发育时间/(h:min) developing time	图 1 Fig. 1
受精卵 fertilized egg	卵受精后 15~30 min 吸水膨胀	09:20(0d) (00:00)	
胚盘期 blastodisc	受精卵的动物极端, 出现凸起胚盘	10:32(01:12)	
2 细胞期 2-cell stage	胚盘顶部 1 纵裂沟, 分出 2 个细胞	12:33(03:13)	
4 细胞期 4-cell stage	与第一次卵裂沟垂直分裂为 4 个	15:03(05:43)	
8 细胞期 8-cell stage	与第一次卵裂沟平行且两侧的 2 卵裂沟, 形成 8 个相似细胞	18:00(08:40)	
16 细胞期 16-cell stage	与第二次卵裂沟平行且两侧的 2 条卵裂沟, 形成 16 个相等细胞	18:28(09:08)	
32 细胞期 32-cell stage	胚盘进行第 5 次分裂, 仍为经裂, 形成 32 个细胞, 不整齐	19:39(10:19)	
64 细胞期 64-cell stage	胚盘进行第 6 次分裂, 为经裂, 细胞显著变小并开始重叠, 大小不一	20:40(11:20)	
多细胞期 morula	细胞较多, 无法确定分裂界面	22:01(12:41)	
囊胚早期 early blastula	囊胚凸起而集中, 似高帽状	23:37(14:17)	
囊胚中期 middle blastula	凸起明显, 但两侧大小基本等同	00:29(1d) (15:09)	⑪
囊胚后期 last blastula	囊胚层沿卵表面向植物极扩散	01:36(16:16)	⑫
原肠早期 early gastrul	胚环形成, 包裹部分卵黄, 圆形	02:57(17:37)	⑬
原肠中期 middle gastrul	胚层包裹卵黄较早期多	03:32(18:12)	⑭
原肠后期 last gastrul	胚层包裹绝大部分卵黄	05:23(19:03)	⑮
神经胚期 neural embryo formation	胚胎背部形成神经板, 卵黄栓外露	06:28(20:08)	⑯
胚孔封闭期 closure of blastopore	胚层包裹卵黄, 胚孔闭合	08:12(22:52)	⑰
肌节出现期 appearance of myomere	出现多对肌节, 明显	10:03(24:43)	⑱
眼囊期 optic capsule stage	卵圆形眼囊出现, 较清晰	13:05(27:45)	⑲
尾芽期 tail-bud stage	胚体伸长, 卵黄囊被裹端缩小, 尾芽形成	14:27(29:07)	⑳
耳囊出现期 otocyst stage	眼囊凹陷, 后脑两侧泡状小耳囊	16:58(31:38)	㉑
尾鳍原基出现 rudiment of tail fin	肌节明显, 尾巴边缘有褶皱	17:54(32:34)	㉒
眼晶体出现期 crystal stage of eyes	眼杯出现晶体, 眼睛形态变化明显	19:08(33:48)	㉓
心脏出现期 appearance of heart	在卵黄前背上方细胞状心脏原基	02:21(2d) (41:01)	㉔
耳石出现期 appearance of statolith	耳囊出现小石粒	04:00(42:40)	㉕
心跳期 heart beating stage	心脏由弱到强跳动, 血液循环	09:21(48:01)	㉖
眼色素期 appearance of eyeball pigment	眼球周围出现黑色素沉积	12:56(51:36)	㉗
出膜前期 early hatching	卵膜透明, 极薄, 有破膜迹象	13:54(52:34)	㉘
出膜中期 middle hatching	破膜中, 破膜仔鱼尾先出	00:56(3d) (63:36)	㉙
出膜期 embryo hatching	完全破膜, 卵黄囊仔鱼出现	02:54(65:34)	㉚

续向植物极扩散, 逐渐变扁平, 紧贴卵黄, 即囊胚晚期(图 1-⑫)。

2.1.3 原肠期 叶尔羌高原鳅受精后 17 h 37min, 进入原肠期(图 1-⑬、⑭、⑮); 此期同囊胚期一样, 分三个时期, 共耗时 2 h 26 min, 囊胚周围开始向下包裹卵, 内外胚层分化完全, 此时向下包裹卵黄达到 2/5(图 1-⑬), 胚盘继续下包至卵黄 3/5(图 1-⑭), 直到下包卵黄达到 4/5, 出现胚体雏形(图 1-⑮)。

2.1.4 神经胚期 当叶尔羌高原鳅受精卵经过

20 h 8 min, 此时囊胚继续向下包裹, 且过程中细胞数量不断增加, 外胚层分化成神经板和表皮层, 即为神经胚期(图 1-⑯)。22 h 52 min 时, 囊胚层收缩, 胚孔关闭, 胚尾半圆形, 随着卵黄外露部分不断减少, 卵黄完全被全部包起, 即为胚孔闭合期(图 1-⑰)。胚孔闭合后, 两侧神经褶向正中愈合, 形成前端膨大的神经管, 开始分化进入肌节出现期(图 1-⑱)。

2.1.5 器官形成期 当叶尔羌高原鳅受精后 27 h 45 min, 进入器官形成期。当肌节形成, 前脑两侧

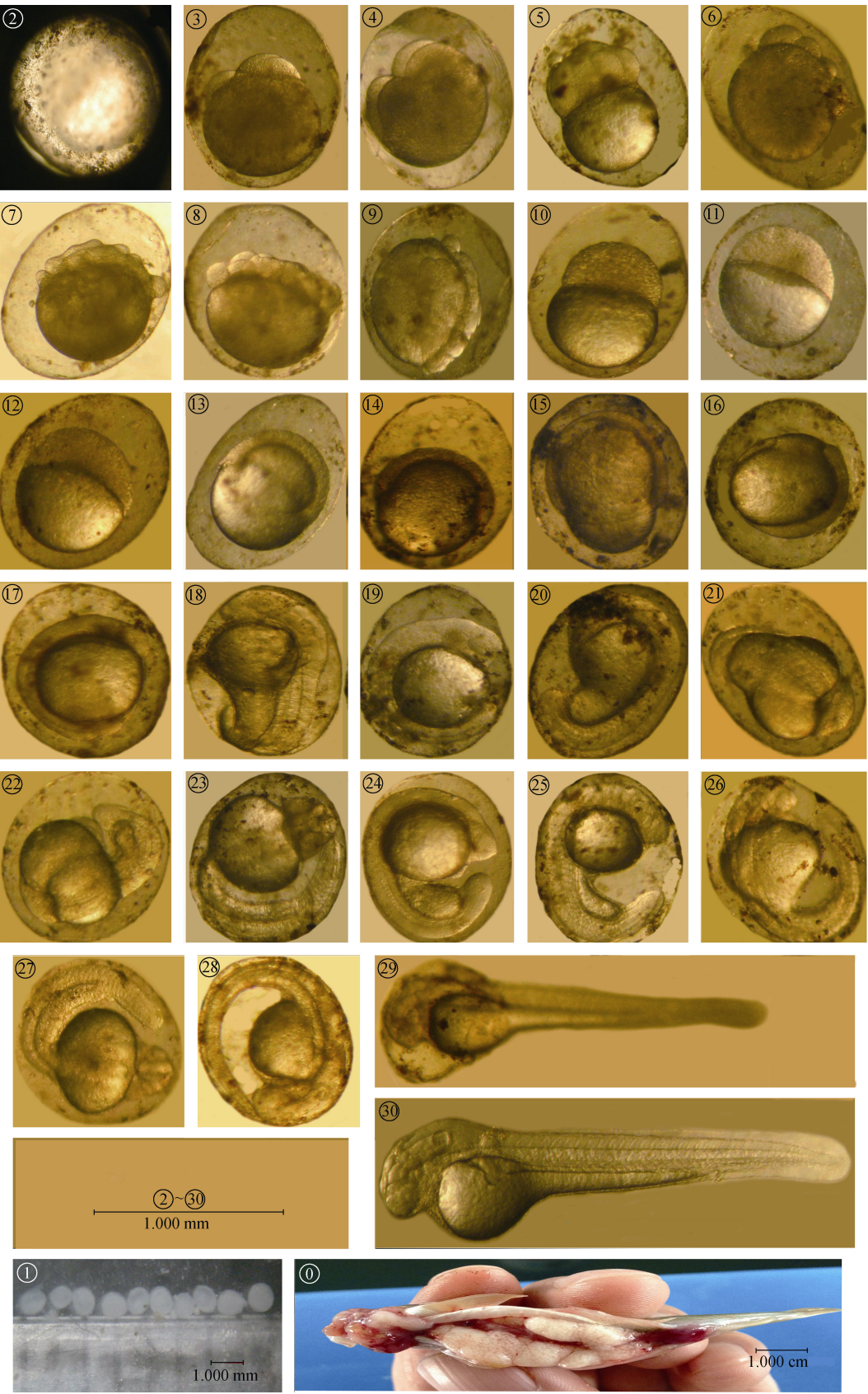


图 1 叶尔羌高原鳅胚胎发育分期

Fig. 1 Embryonic development of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day)

出现一对肾形的隆起, 眼原基, 肌节增至 4~8 对, 眼囊出现, 为眼囊期(图 1-①9)。受精后 29 h 07 min, 肌节增多, 脑区增大, 尾端明显, 为尾芽期(图 1-②0)。31 h 38 min 后, 嗅板明显, 耳囊雏形出现, 即为耳囊出现期(图 1-②1)。随后伴随肌节的增加和颤动, 受精后 32 h 34 min, 尾部继续发育, 形成似圆而宽大尾鳍迹象, 尾鳍原基出现(图 1-②2)。33 h 48 min 后, 胚体围绕卵黄囊多于 2/3, 眼杯内口出现似有色素圆形的晶体, 即为晶体出现期(图 1-②3)。41 h 1min 后, 胚体出现卵圆形的围心腔, 并在腔内有类似丝胞的心脏原基, 即为心脏出现期(图 1-②4)。受精后 42 h 40 min, 眼囊内黑色素沉积明显, 身体呈弯曲状, 尾尖有游离迹象, 胸鳍原基也已出现, 耳囊中出现有色素颗粒, 为耳石出现期(图 1-②5)。48 h 1min 后, 心脏有微弱搏动迹象, 频率较快, 伴有透明液体流动, 即为心跳期(图 1-②6)。51 h 36 min 后, 眼睛周围色素沉积明显, 为眼色素期(图 1-②7)。52 h 34 min, 胚体转动明显, 尾部游离, 胸鳍明显, 卵膜透明装, 即为出膜前期(图 1-②8)。在此后的 63 h 36 min 内, 胚体扭动剧裂, 开始破膜而出, 尾巴先出, 即为出膜中期(图 1-②9)。65 h 34 min, 完全破膜(图 1-③0), 卵黄囊仔鱼平均全长 2.23 mm。

2.2 胚后发育

2.2.1 卵黄囊期或初期仔鱼

初孵仔鱼: 刚出膜的仔鱼, 附带有卵黄囊, 全长均值 2.23 mm。卵黄囊呈长锥状, 前段膨大明显, 后段呈长细棒状, 紧贴鱼体, 卵黄囊全长约占全长的 1/2, 中间有缢痕, 通体透明, 肌节 28+15, 眼及背部未出现黑色素; 胸鳍细长, 成尖状, 未伸展开, 鳍棘不明显; 心脏跳动明显, 血液涌动明显, 但红色不明显; 肠道随体型呈现直行状, 末端稍有弯曲, 接肛门; 尾鳍等其他鳍条不明显, 似有出现褶皱。初孵仔鱼多数呈直线运动, 活泼好动(图 2-)。

出膜后 1 d: 未见血液呈红色, 血液循环清晰可见, 透明; 胸鳍加长变宽, 眼眶突出, 鳃弧出现, 未见鳃丝。尾柄处鳍褶开始内缢, 其他鳍条出现; 卵黄囊变小迹象明显(图 2-)。

出膜后 2 d: 头部顶端出现明显的黑色素点, 为 6~9 个, 体背也有少量出现, 胸鳍增大, 吻部形态明显, 脑部有形成迹象, 心脏处血红色沉积明显, 有吞食迹象, 卵黄囊明显变小(图 2-)。

出膜后 3 d: 胸鳍增大, 头部及背部色素继续沉积, 头顶色素点为 15~20 个, 心脏色素明显沉积, 体内流动血液色素沉积明显, 消化道贯通, 卵黄囊继续缩小呈细长棒状, 部分仔鱼卵黄囊后部出现空泡, 开始摄食(图 2-)。

出膜后 4 d: 多数仔鱼开始摄食, 肠道中开始出现异物颗粒, 摄食状态为吞食, 仔鱼游泳能力增强, 可自由游泳, 平衡身体能力增强, 卵黄囊直径开始缩短, 后端呈针状, 缩小明显(图 2-)。

出膜后 5 d: 黑色素沉积加剧, 布满头部和体背, 眼睛明显, 鳃丝明显, 仔鱼摄食能力增强, 消化道中充满食物, 消化道前端膨大, 后端渐细, 直通肛门, 可见排泄物; 卵黄囊后部缩小呈线状, 紧贴腹腔内壁, 消失迹象(图 2-)。

出膜后 6 d: 黑色素布满整个头部和脊背处, 眼睛突出明显, 胸鳍成卵圆型, 黑色素沉积, 尾鳍明显, 背鳍条形成不明显, 有大量排泄物排出; 卵黄囊仍有少量残留(图 2-)。

出膜后 7 d: 卵黄囊消失, 消化道明显, 且内充满食物, 鱼体呈现不透明状, 吻部突出明显, 鳃丝明显(图 2-)。

2.2.2 后期仔鱼阶段

后期仔鱼, 7 d 后, 卵黄囊吸收完全, 并进入外源性营养阶段, 完全依靠外源食物获取能量, 主要以脊椎形成以及各鳍的分化与形成为主要标志。

8 d, 头部和身体黑色素沉积明显, 胸鳍向体内侧移动, 逐渐丰满增大, 基部出现色素; 鳃盖闭合匀称, 眼球乌黑发亮, 转动灵活; 肠道为直形, 吞食食物颗粒排列在食道中(图 2-)。

10 d, 体背出现两道黑色素沉积线, 胸鳍向体内侧移动, 基部出现色素, 支鳍骨形成; 肠道为直形, 对食物选择性较大, 但在身体前端形成膨大状, 似胃(图 2-)。

12 d, 头部和身体黑色素从点状逐渐加深成线状, 胸鳍尖锐状明显, 背鳍皱褶出现, 尾鳍条

也明显增大,摄食旺盛,吞食明显,肛门后有粪便,消化道明显增大;鳃丝明显可数(图2-⑪)。

14 d, 头部和体背黑色素沉积加深,脑颅明显,鳃丝出现,耳石明显,清晰可见,眼睛大无光泽,晶体出现;消化道进一步增大,吞食颗粒有被消化迹象(图2-⑫)。

16 d, 背鳍褶突起明显,可观察到鳍条原基的出现,臀鳍原基出现,尾鳍色素明显增多且增大,肠仍为直条形;体色加深,呈现土黄色,身体不透明状部分加大(图2-⑬)。

2.2.3 稚鱼阶段

17 d, 初孵仔鱼继续培育,仔鱼鳃盖后缘鼓鳔明显长出,须清晰可辨,体色加深,心脏红色素明显,体色与成体相似,标志后期仔鱼发育完全进入稚鱼期。

19 d, 头部及体背色素进一步加深,吻部特征明显,须清晰可见,背鳍明显,臀鳍出现,尾鳍继续增大变色,食物充满体内多部分,有鼓鳔迹象,游动相当迅速(图2-⑭)。

21 d, 头部及体背色素沉积,心脏色素沉积明显,血液流动穿过体侧,背鳍明显,臀鳍条可辨,尾鳍继续增大变厚,色素沉积明显,充满体内较多,鼓鳔有膨大现象。

23 d, 头部及体背色素沉积明显,与成体基本相似,鳃丝继续增长,鳃盖色素沉积明显,脊椎骨明显,肌间刺清晰可见;尾鳍呈正尾型,鳍条发育完全,背鳍和臀鳍发育未完全,布有黑斑;肠道有弯曲(图2-⑮)。

25 d, 头部及体背色素沉积明显,胸鳍基部色素沉积明显,鳍条可辨,脊椎骨明显,肌间刺明显,清晰可见;背鳍和臀鳍已经发育完全,鳍条均清晰;肠道弯曲,并在肠道前端有膨大形成似胃。

27 d, 心脏血液布满机体本身,鳃丝血红色明显,头部和体背黑色素呈线状密集,臀鳍和背鳍黑色素沉积,胸鳍端状变化明显;觅食自如,吞食明显加大;吻部突出明显。

29 d, 黑色素布满头部及体背,体色进一步加深,与成体基本相似,土黄色鲜明;各鳍条骨

清晰可见,色素沉积明显,肠道前端有弯曲,后端倾斜至肛门处;鼓鳔近完全,鳃盖不透明程度降低,完全覆盖鳃丝。

30 d, 仔鱼鼓鳔完全,鳃盖张合明显,身体透明特征消失,稚鱼阶段完成发育进入幼鱼期,此时平均全长达 (13.0 ± 0.55) mm,其外部形态和生态习性均与成鱼相似。

2.2.4 卵黄囊吸收与仔稚鱼的生长 叶尔羌高原鳅受精卵破膜而出后,对卵黄囊长度、天数、卵黄囊仔鱼全长等进行了拟合如下(图3):

卵黄囊长度(L_Y)和出膜天数(D)的关系式: $L_Y = 0.0286D^2 - 0.0636D + 3.1196$ ($R^2 = 0.9050$);

用直线方程拟合卵黄囊长度(L_Y)和卵黄囊仔鱼全长(L_T)的关系式: $L_Y = -1.315L_T + 5.368$ ($R^2 = 0.8199$);

拟合卵黄囊仔鱼全长(L_T)和出膜后仔稚鱼天数(D)的关系式:

$$L_T = -0.0263D^2 + 0.5113D + 1.6169 \quad (R^2 = 0.9890);$$

从图3-a中可以看出,仔鱼出膜后1 d卵黄囊消耗量最大,出膜2 d以后,卵黄囊消耗量逐渐减少,到出膜后7~8 d,卵黄囊消耗完毕,这表明初孵仔鱼出膜后1 d新陈代谢最为旺盛能量消耗也最大。

从图3-b中可以看出,仔鱼出膜后,卵黄囊长度随体长的增长逐渐减小,在3.0 mm处,卵黄囊被吸收加大,长度缩减趋势明显,在3.5 mm处,卵黄囊缩减趋势减小,卵黄囊仔鱼增长速度稍有稳定。

从图3-c中可以看出,叶尔羌高原鳅仔鱼出膜后,全长随天数持续增长,其中卵黄囊吸收阶段,稳步增长,当卵黄囊为0时,增长趋势明显,但稳定性不及卵黄囊吸收阶段,这与摄食明显相关,卵黄囊仔鱼增长速度出膜后2~3 d达到最大增长率。

3 讨论

3.1 叶尔羌高原鳅胚胎发育特点

在鱼类繁衍生息中,繁殖成败取决于其物种自身繁殖策略,也是决定子代成活关键,这与鱼

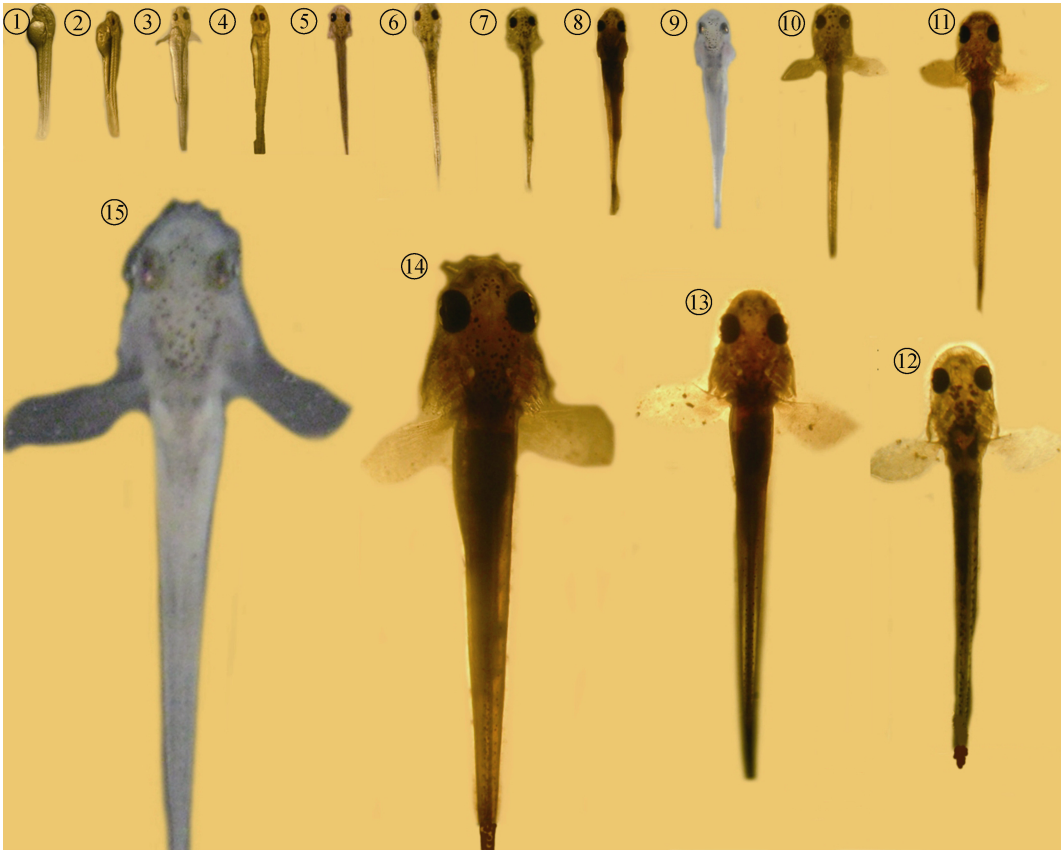


图 2 叶尔羌高原鳅胚胎后期发育分期

Fig. 2 Post-embryonic development of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day)

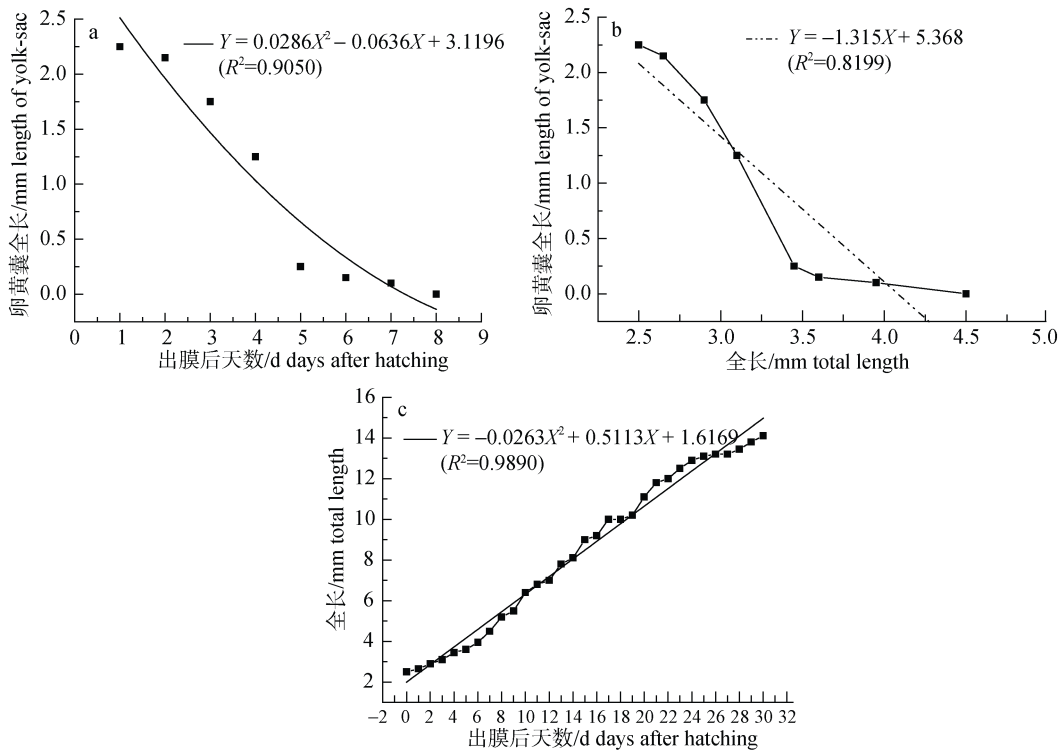


图 3 叶尔羌高原鳅仔稚鱼生长

Fig. 3 Larval development of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day)

类繁殖时间和地点及孕育子代机体能量资源分配密切相关^[18-21]。

叶尔羌高原鳅, 成熟卵子淡黄色, 与“四大家鱼”等其他鲤科鱼类的成熟卵子色泽相似, 但是与鲈形目中的大刺鳅(*Mastacembelue armatus*)金黄色卵子色泽不同^[15-19, 22-30], 叶尔羌高原鳅卵径(0.60 ± 0.052) mm, “四大家鱼”及多数鲤科鱼类^[15-18]卵径均大于叶尔羌高原鳅; 与鳅科鱼类相比, 中华沙鳅(*Botia superciliaris*)^[23]、长薄鳅(*Leptobotia elongata*)^[24]、短体副鳅(*Paracobotis potanini*)^[26]、安氏高原鳅(*Triplophysa angeli*)^[30]卵径, 均大于叶尔羌高原鳅卵径, 但叶尔羌高原鳅卵径稍大于贝氏高原鳅(*Triplophysa bleekeri*)^[29]、泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)^[25]。这可能与鱼类种属各异, 区别较大, 或栖息环境不同有关, 需要进一步验证。

叶尔羌高原鳅的卵子黏性较小, 属于微黏性, 略有沉性, 稍有振动或增氧泵水流冲击后散落池底, 这与裂腹鱼类较为相似^[4-5, 19, 22], 但是与大刺鳅^[17]沉性卵、有油球等却不同, 与多数鳅科鱼类^[17-19]相比黏性也不同。叶尔羌高原鳅受精卵, 需要水温控制在 $(20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 方可繁殖并完成生长发育, 从适宜水温区分应该属于亚冷水性鱼类^[19-21], 但繁殖季节在每年的春夏季, 这与多数鱼类生殖季节一致^[10-11, 19, 29]。

Wootton^[21]指出, 水环境因子不同程度影响鱼类性成熟, 本研究中叶尔羌高原鳅性成熟较早, 繁殖水温为 $(20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$, 这与塔里木河水系水体理化因子密切相关^[10-13]。叶尔羌高原鳅在曝气 48 h 以上的自来水, pH 为 6.5~7.5, 溶解氧(DO)保持在 8.0 mg/L 以上, 约计 67 h 26 min 完成整个胚胎发育, 此过程即可分为卵裂期、囊胚期、原肠胚期、神经胚期和器官形成期等阶段, 与其他鲤科鱼类一样^[19], 但由于繁殖水温和种属的不同, 胚胎发育耗时不同, 其中远大于中华沙鳅、长薄鳅、泥鳅等鳅科鱼类的胚胎发育时间^[16, 23-25], 略大于短体副鳅^[26], 这与鲤形目鱼类多数属于温水性鱼类相符^[18-19], 胚胎发育时间少于裂腹鱼类和其他高原鳅属鱼类^[4-5, 27], 这与青藏高原特有的生态环

境密切相关; 相比较鲈形目大刺鳅^[17, 28]胚胎发育时间相当, 但水温与其不同, 这可能是环境和物种分类种属不同, 导致有所差异; 叶尔羌高原鳅的繁殖特性类似于其他高原鳅属鱼类, 但由于栖息环境不同, 产卵方式双峰型有所不同, 这与其他学者的研究结果一致^[1-2, 11, 19, 27]。

鱼类生殖生态习性中, 对不同生境有其自身适应性, 不同积温下才能保证仔鱼出膜和成活率^[1-2, 18-19]。在叶尔羌高原鳅卵裂期、囊胚期、原肠胚期、神经胚期和器官形成期阶段, 与其他高原鳅属鱼类也有所异同; 卵裂期, 叶尔羌高原鳅需要 16 h 左右, 贝氏高原鳅^[29]则为 19 h 左右, 安氏高原鳅^[30]则 8 h 左右, 长薄鳅^[24]则为 5 h, 短体副鳅^[26]则约为 1 h 45 min, 中华沙鳅^[23]则为 1 h 左右, 泥鳅^[25]约为 45 min, 与贝氏高原鳅时间相近, 这其中繁殖孵化水温起到关键作用^[19]。叶尔羌高原鳅则约为 16 h 进入囊胚期此发育阶段, 发育时间小于 36 h 的贝氏高原鳅^[29], 长于包括泥鳅^[25]、短体副鳅^[26]、中华沙鳅^[23]、安氏高原鳅^[30]、长薄鳅^[24]。叶尔羌高原鳅约为 3 h 即可进入原肠胚期, 与长薄鳅^[24]、中华沙鳅^[23]、安氏高原鳅^[30]约 4 h 相近, 短于短体副鳅^[26]则为 16 h 和贝氏高原鳅^[29]约为 8 h, 长于泥鳅^[25]约为 2 h, 这明显与各个物种栖息环境水温不同导致, 符合生长发育规律^[19]。神经胚期, 叶尔羌高原鳅则耗时 7 h 左右, 与安氏高原鳅^[30]发育时间一直, 短于贝氏高原鳅^[29], 长于中华沙鳅、短体副鳅、长薄鳅和泥鳅等^[23-26]。叶尔羌高原鳅器官形成期约 38 h, 短于低温孵化的贝氏高原鳅, 长于安氏高原鳅、短体副鳅、中华沙鳅、长薄鳅、泥鳅^[23-26, 30]。这一研究结果, 可能是由于孵化温水、种属不同造成。

3.2 叶尔羌高原鳅胚后发育特点

叶尔羌高原鳅胚胎通过 65 h 34 min 发育后出膜。刚出膜的仔鱼, 通体透明, 眼及背部未出现黑色素, 与短体副鳅^[26]相类似; 与贝氏高原鳅^[29]则眼和体背出现黑色素有所不同; 反之, 安氏高原鳅^[30]则眼出现黑色素, 体背无色素。叶尔羌高原鳅出膜仔鱼, 附带卵黄囊, 其形状类似与其他高原鳅属鱼类^[29-30], 但是显示透明色, 这与短体副

鳅、泥鳅、贝氏高原鳅和安氏高原鳅卵黄囊有色泽而不同^[25-26, 29-30], 随卵黄囊减小, 慢慢开始摄食, 出膜后4~5 d开始摄食, 这与泥鳅及高原鳅属鱼类研究结论相一致^[26, 29-30], 但泥鳅摄食开始于卵黄囊基本吸收后, 叶尔羌高原鳅则在未吸收完时即开始摄食, 这与高原鳅属鱼类研究一致。血液的出现晚于贝氏高原鳅^[29], 早于安氏高原鳅^[30], 叶尔羌高原鳅心脏明显, 色素沉积早于贝氏高原鳅, 晚于安氏高原鳅, 更晚于泥鳅^[26], 造成这一区别的原因可能是物种不同, 但叶尔羌高原鳅体色会随环境变化有所不同也可能是造成这一现象的原因, 需要分子水平进一步鉴定分析^[11-12]。

卵黄囊吸收完全, 叶尔羌高原鳅生长发育至后期仔鱼阶段, 骨质鳃出现, 鳃盖明显, 与安氏高原鳅^[30]相类似, 不同与贝氏高原鳅^[29]的形成鳃室。鳃丝明显可数, 却晚于贝氏高原鳅和安氏高原鳅^[29-30], 泥鳅^[26]此阶段为外鳃, 发育特征明显不同。

叶尔羌高原鳅仔鱼背鳍褶突起明显, 鳍条原基出现, 臀鳍原基出现, 尾鳍色素, 生长发育均晚于安氏高原鳅^[30], 早于贝氏高原鳅^[29], 这孵化水温直接相关。

叶尔羌高原鳅初孵仔鱼继续培育至16日龄, 仔鱼鳃盖后缘鼓鳃明显长出, 须清晰可辨, 体色加深, 心脏红色素明显, 体色与成体相似, 标志后期仔鱼发育完全进入稚鱼期, 鳍条、肠道等部分发育现象与其他高原鳅属^[29-30]鱼类基本相似, 但不同于泥鳅^[26]发育。另外, 叶尔羌高原鳅唯一不同之处是鼓鳃明显, 并发育完全。在后期生长中, 叶尔羌高原鳅仔鱼的生长在出膜后, 2~3 d达到最大值, 这比贝氏高原鳅^[29]的5~8 d生长比速要快, 本研究符合不同水温条件下生长比速不同这一规律^[19]。

参考文献:

- [1] Zhu S Q. The Loaches of the Subfamily Nemacheilinae in China (Cypriniformes Cobitidae)[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1989: 68-132. [朱松泉. 中国条鳅志[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989: 68-132.]
- [2] Wu Y F, Wu C Z. The Fishes of the Qinghai-Xizang Plateau[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1992: 256-259. [武云飞, 吴翠珍. 青藏高原鱼类[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1992: 256-259.]
- [3] Huo T B, Jiang Z F, Karjan A, et al. Length-weight relationships of 16 fish species from the Tarim River, China[J]. J Appl Ichthyol, 2012, 28(1): 152-153.
- [4] Zhang R M, Ma Y W, Turxun, et al. Preliminary observation on embryonic and fry upgrow of *As otiorhynchus laticeps*(Day) [J]. Arid Zone Research, 2008, 25(2): 190-195. [张人铭, 马燕武, 吐尔逊, 等. 新疆扁吻鱼的胚胎发育和仔鱼发育的初步观察[J]. 干旱区研究, 2008, 25(2): 190-195.]
- [5] Gong X L, Cui Z K, Wu M Z, et al. Study on embryonic development and larval growth of *Schizothorax biddulphi* Günther[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(6): 827-834. [龚小玲, 崔忠凯, 吴敏芝, 等. 塔里木裂腹鱼胚胎和仔鱼的发育与生长[J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(6): 827-834.]
- [6] Wang D Z. The Changes of fishes fauna and protections of aboriginal fishes in the Tarim River[J]. Arid Zone Research, 1995, 12(3): 54-59. [王德忠. 塔里木河鱼类区系变化及土著鱼类保护问题[J]. 干旱区研究, 1995, 12(3): 54-59.]
- [7] Li J L, Liu N F, Yang J X. A brief review of *Triplophysa* (Cypriniformes: Balitoridae) species from the Tarim Basin in Xinjiang, China, with description of a new species[J]. Zootaxa, 2007, 1605(7): 47-58.
- [8] Wang Z C, Cheng Y, Chen S A, et al. Morphological characters of *Triplophysa bombifrons* in Tarim River[J]. Chinese Journal of Zoology, 2008, 42(6): 147-148. [王智超, 程勇, 陈生熬, 等. 塔里木河隆额高原鳅形态特征[J]. 动物学杂志, 2008, 42(6): 147-148.]
- [9] Nie Z L, Wu H, Wei J, et al. Length-weight relationship and morphological studies in the Kashgarian loach *Triplophysa yarkandensis* (Day, 1877) from the Tarim River, Tarim River Basin, North-West China[J]. Indian J Fish, 2013, 60(1): 15-19.
- [10] Zeng L, Tang W Q. Age, body growth and reproductive characteristics of *Triplophysa yarkandensis*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2010, 45(5): 29-38. [曾霖, 唐文乔. 叶尔羌高原鳅的年龄、生长与繁殖特征[J]. 动物学杂志, 2010, 45(5): 29-38.]
- [11] Chen S A, Ma C H, Ding H P, et al. Studies on the reproductive Biology of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day) in Tarim River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 37(5): 810-816. [陈生熬, 马春晖, 丁慧萍, 等. 塔里木河叶尔羌高原鳅繁殖生物学研究[J]. 水生生物学报, 2013, 37(5): 810-816.]
- [12] Chen S A, Yao N, Wang Z C, et al. Study on feeding habits

- and growth of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day)[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(3): 374–381. [陈生熬, 姚娜, 王智超, 等. 塔里木河叶尔羌高原鳅摄食和生长的研究[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(3): 374–381.]
- [13] Chen S A, Yao N, Ren D Q, et al. Studies on the population structure of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day) in the upper reaches of Tarim River[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2014, 45(8): 90–97. [陈生熬, 姚娜, 任道全, 等. 塔里木河上游叶尔羌高原鳅种群结构研究[J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(8): 90–97.]
- [14] Yue P Q, Chen Y Y. China Red Data Book of Endangered Animals[M]. Beijing: Science Press, 1998, 147–153. [乐佩琦, 陈宜瑜. 中国濒危动物红皮书: 鱼类[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 147–153.]
- [15] Gu R B, Xu G C, Wen H B, et al. Embryonic and post-embryonic development of *Paracanthobrama guichenoti*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(3): 414–424. [顾若波, 徐钢春, 闻海波, 等. 似刺鲃的胚胎及胚后发育[J]. 中国水产科学, 2008, 15(3): 414–424.]
- [16] Gu Z M, Zhu J J, Jia Y Y, et al. Research on embryonic and postembryonic development of *Erythroculter ilishaeformis* Bleeker of Taihu Lake[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(2): 204–214. [顾志敏, 朱俊杰, 贾永义, 等. 太湖翘嘴红鲌胚胎发育及胚后发育观察[J]. 中国水产科学, 2008, 15(2): 204–214.]
- [17] Xue L Z. Observation on the embryonic development of *Mastacembelue armatus*[J]. Freshwater Fisheries, 2014, 44(2): 101–104. [薛凌展. 大刺鳅胚胎发育观察[J]. 淡水渔业, 2014, 44(2): 101–104.]
- [18] Wang J Q, Zhao X L. Fish Aquaculture[M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2000: 130–180. [王吉桥, 赵兴连. 鱼类增养殖学[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2000: 130–180.]
- [19] Ying M C. Fish Aquaculture[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 105–130. [殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 105–130.]
- [20] Jobling M. Environmental biology of fishes[J]. Fish and Fisheries Series, 1995(16): 1–455.
- [21] Wootton R J. Ecology of Teleost Fishes[M]. New York: Chapman and Hall, 1998: 1–370.
- [22] Qadri M Y, Mir S, Yousuf A R. Breeding biology of *Schizothorax richardsonii* gray and hard[J]. J Indian Inst Sci, 1983, 64(6): 73–81.
- [23] Yang M S, Ding X. Study on the reproductive Biology of *Botia superciliaris*[J]. Journal of Hydroecology, 2010, 3(2): 38–41. [杨明生, 丁夏. 中华沙鳅的繁殖生物学研究[J]. 水生态学杂志, 2010, 3(2): 38–41.]
- [24] Liang Y Q, Xie C X, Hu X J, et al. Observation on the embryonic development of *Leptobotia elongata* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1999, 23(6): 631–635. [梁银钊, 谢从新, 胡小建, 等. 长薄鳅胚胎发育的观察[J]. 水生生物学报, 1999, 23(6): 631–635.]
- [25] Zheng W B. Observation on the embryonic and larval development of *Misgurnus anguillicaudatus* (Cantor)[J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 9(1): 37–47. [郑文彪. 泥鳅胚胎和幼鱼发育的研究[J]. 水产学报, 2005, 9(1): 37–47.]
- [26] Wang B S, Yao Y H, Wang Z J. Embryonic development of *Paracobotis potanini*[J]. Freshwater Fisheries, 2008, 38(2): 16–27. [王宝森, 姚艳红, 王志坚. 短体副鳅的胚胎发育观察[J]. 淡水渔业, 2008, 38(2): 16–27.]
- [27] Wang Z J, Huang J, Zhang Y G. The reproductive traits of *Triplophysa bleekeri* in the Daning River[J]. Freshwater Fisheries, 2013, 43(5): 8–13. [王志坚, 黄静, 张耀光. 大宁河贝氏高原鳅的繁殖特性[J]. 淡水渔业, 2013, 43(5): 8–13.]
- [28] Lu X, Sun J J, Wang H F, et al. Observations on embryonic development of reciprocal hybrids of *Siniperca kneri* Garman×*Siniperca chuatsi* Basilevsky and F₂ of *S. kneri* females×*S. chuatsi* males F₁[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(5): 975–981. [卢薛, 孙际佳, 王海芳, 等. 大眼鳊与翘嘴鳊正反交及其正交子代自交的胚胎发育观察[J]. 中国水产科学, 2013, 20(5): 975–981.]
- [29] Li Z L, Yan T M. Morphological development of *Triplophysa bleekeri* (Sauvage et d'abry dethiersant, 1874) embryo and larval[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2009, 33(4): 636–642. [李忠利, 严太明. 贝氏高原鳅胚胎和仔鱼的形态发育[J]. 水生生物学报, 2009, 33(4): 636–642.]
- [30] Wang H, Guo Y S, Zuo L, et al. Embryonic and larval development of *Triplophysa angeli*[J]. Fisheries Science, 2009, 28(12): 721–725. [王华, 郭延蜀, 左林, 等. 安氏高原鳅胚胎和仔鱼发育的观察[J]. 水产科学, 2009, 28(12): 721–725.]

Embryonic and post-embryonic development of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day)

CHEN Sheng'ao¹, SONG Yong¹, NIU Yujuan^{1,2}, LIU Jieya^{1,2}, XIE Congxin², REN Daoquan¹, FAN Zhenming³

1. Key Laboratory of Tarim Animal Husbandry Science and Technology, Xinjiang Production & Construction Group; College of Animal Science, Tarim University, Alar 843300, China;

2. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

3. Fisheries Technology Extension Station, Xinjiang Production & Construction Group, Urumqi 830002, China

Abstract: This study determined the embryonic and post-embryonic development of the fish [*Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day)]. The morphological and ecological traits in each development phase were described in detail using a microscope fitted with a digital camera. The fertilized eggs of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day) are viscous and ovoid, with a diameter of (0.60 ± 0.052) mm ($\bar{x} \pm \text{SE}$). Embryonic development lasted 65 h and 34 min when incubated at a water temperature of $(20.0 \pm 1.0)^\circ\text{C}$ and was categorized into seven physiological stages. Post-embryonic development was divided into a larval, a juvenile, and a growth stage based on morphological variation in the yolk sac, gas bladder, scales, body color, and barbels. Newly-hatched larvae reached an average length of (2.0 ± 0.65) mm ($\bar{x} \pm \text{SE}$). At a water temperature of $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, the yolk sac was completely absorbed 7 days after fertilization. After 16 d's maintained temperature, the gas bladder drum at the rear edge of the gill cover had grown to a visible size, the body color had deepened, and the red pigment of the heart was discernible, indicating that *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* had moved from the larval to the juvenile life stage. During the juvenile stage, individuals reached an average length of (8.0 ± 0.45) mm ($\bar{x} \pm \text{SE}$). Juveniles developed sequentially, growing scales, completing development of the peritoneum, and metamorphosing into young fish at 30 d. Young fish reached an average length of (13.0 ± 0.55) mm ($\bar{x} \pm \text{SE}$). The yolk-sac relationship the day after hatching was: $L_Y = 0.0286D^2 - 0.0636D + 3.1196$ ($R^2 = 0.9050$); $L_Y = -1.315L_T + 5.368$ ($R^2 = 0.8199$); $L_T = -0.0263D^2 + 0.5113D + 1.6169$ ($R^2 = 0.9890$). This study advances knowledge of the early stages of seed breeding of *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis*.

Key words: *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis* (Day); embryonic development; post-embryonic development

Corresponding author: XIE Congxin. E-mail: xiecongxin@mail.hzau.edu.cn