

贝氏高原鳅胚胎和仔鱼的形态发育

李忠利 严太明

(四川农业大学动物科技学院, 雅安 625014)

摘要: 通过人工授精获得受精卵, 对贝氏高原鳅胚胎和仔鱼的发育过程进行了观察和描述。结果表明, 成熟卵淡黄色, 卵径较小 (直径 $0.94-1.10\text{mm}$), 遇水后产生强黏性。在水温 $9.0-12.8^{\circ}\text{C}$ 下, 胚盘在受精后 $4\text{h}20\text{min}$ 开始分裂, 在 $19\text{h}50\text{min}$ 和 $27\text{h}40\text{min}$ 时达到囊胚期和原肠期, $64\text{h}40\text{min}$ 胚孔封闭, 287h 时部分胚胎开始出膜, $405\text{h}30\text{min}$ 全部出膜。初孵仔鱼全长 (4.32 ± 0.23) mm , 肌节 $36-38$ 对, 眼和躯干部黑色素细胞明显, 胸鳍原基发育良好。出膜后第 5 天仔鱼体侧和头部出现浓密的感觉芽。到第 8 天时全长 (6.05 ± 0.41) mm , 卵黄吸收完全。仔鱼鳔一室和鳔二室分别于出膜后第 30 天和第 50 天形成。第 55 天的仔鱼全长 (14.05 ± 1.01) mm , 肌节 $52-53$ 对, 体侧出现 $7-8$ 条黑色素带, 各鳍鳍条数目与成鱼基本一致, 但仍有少量鳍褶存在。仔鱼的卵黄囊体积减小速度为 $0.027\text{mm}^3/\text{d}$ 。鱼体长度生长、鱼体长度性状间的比例关系并不相同, 其中, 肛后长/全长比例随胚后发育逐渐增加, 由初出膜时的 3% 增加到最后的 42% 左右。

关键词: 贝氏高原鳅; 胚胎; 仔鱼; 形态发育

中图分类号: Q132.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2009)04-0636-07

高原鳅属 *Triplophysa* 鱼类由原始条鳅类在青藏高原隆升的过程中逐步演化而成, 是条鳅亚科 *Nemacheilinae* 中最大的类群, 广泛分布于青藏高原及其比邻地区^[1-4]。全世界现知的高原鳅属鱼类约有 106 个种和亚种, 我国有 88 个种和亚种^[5]。迄今为止, 对高原鳅鱼类的研究主要集中在新种的描述、物种订正、系统分类和生物地理学分析等分类学领域^[6-10], 在繁殖特性、种群特征与遗传多样性等生态学方面开展了一些工作^[11-16], 对其早期发育生物学特点的探讨未见文献报道。贝氏高原鳅 (*T. bleekeri* Sauvage et Dabry) 常见于汉水、嘉陵江和长江三峡各河段各支流以及青衣江、大渡河等长江上游流水域^[17], 对它的研究工作仅有繁殖特性方面资料^[11]。本文对贝氏高原鳅胚胎和仔鱼发育过程进行观察和描述, 旨在为了解其早期发育形态特点及其早期生活史等方面提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料 2005 年 12 月 10 日用小型刺网 (网目 10mm) 在青衣江中游雅安段捕获贝氏高原鳅繁殖

群体 105 尾。选取自然成熟的亲鱼 5 尾 ($\text{♀}:\text{♂}=2:3$), 在四川农业大学水产系实验室内进行人工干法授精, 获得的受精卵作为本次胚胎和仔鱼发育观察的实验材料。受精卵置于水族箱 ($36.0\text{cm}\times28.0\text{cm}\times11.0\text{cm}$) 中常温 ($9.0-12.8^{\circ}\text{C}$) 静水充气孵化, 每天早晚各换一次曝气的自来水 ($\text{pH } 7.0-7.2$ 溶氧 $9.04-9.16\text{mg/L}$)。刚出膜仔鱼在常温下发育, 第 21 天后转入恒温生化培养箱 (15.0 ± 0.2) $^{\circ}\text{C}$ 中培育。初次摄食仔鱼投喂鸡蛋黄, 30d 后逐步转为投喂剁碎的水蚯蚓, 每天定时投喂 2 次。

1.2 胚胎和仔鱼形态发育的观察、照相与数据的获得 在 Leica MZ16 A 体视显微镜下观察胚胎和仔鱼发育过程, 并对各发育期典型的形态特征进行照相。受精卵每 30min 观察一次, 每次随机取样 30 粒, 观察前用透明液 (15mL 的冰醋酸 + 100mL 的 0.7% NaCl 溶液) 对胚胎卵膜进行透明处理。出膜后每 12h 观察一次, 每次取样 30 尾。仔鱼全长、头长、肛后长、体高和卵黄囊长等数据用 Leica DC500 照相系统自带软件进行测量。各发育期的划分参照殷名称^[18]的方法, 按 50% 以上个体到达该时期的

收稿日期: 2007-11-27 修订日期: 2008-09-03

基金项目: 四川农业大学青年创新基金资助

作者简介: 李忠利 (1982-), 男, 汉族, 四川隆昌人; 硕士研究生; 主要从事鱼类生态学研究。E-mail: lzl1982506@sina.com

通讯作者: 严太明, Tel: 13980174386 E-mail: yantaini@sina.com

时间来确定。

1.3 数据处理 卵黄囊体积计算公式为: $V = DH^2 \cdot \pi / 6$ (D 为卵黄囊长, H 为卵黄囊高)。图片用 Adobe Photoshop CS 进行处理, 仔鱼生长和卵黄吸收曲线拟合均用 Microsoft Office Excel 2003 软件进行二项式回归分析。

2 结果

2.1 胚胎发育过程

贝氏高原鳅胚胎发育特点与多数鲤科鱼类相似, 整个发育过程主要经过胚盘隆起、卵裂、囊胚、原肠胚、神经胚、器官形成和出膜等 7 个阶段, 各阶段所经历的时间、积温和形态特征等简述如下:

胚盘形成阶段(水温 10.0—10.3℃) 成熟卵圆球形, 卵径 0.94—1.10 mm [(1.02 ± 0.22) mm], 淡黄色。受精卵遇水产生强黏性, 卵膜膨胀后由透明逐渐变得模糊。受精后 5 min, 卵径 (1.04 ± 0.06) mm, 卵周隙体积 (0.13 ± 0.04) mm³。40 min 时, 卵径略微增大 (1.13 ± 0.04) mm, 而卵周隙明显增大, 体积达到 (0.28 ± 0.05) mm³ (图版 iv-1)。受精后 2 h 原生质向动物极集中形成胚盘原基, 40 min 后胚盘方形隆起达到最高 (图版 iv-2)。受精卵卵径和卵周隙体积在受精后 6 h 40 min 时均达到最大, 分别为 (1.18 ± 0.05) mm 和 (0.47 ± 0.08) mm³。

卵裂阶段(水温 9.2—10.2℃) 受精后 4 h 20 min 胚盘第一次分裂形成两个等大的半圆球形分裂球 (图版 iv-3)。1 h 50 min 后胚盘完成第二次分裂, 形成 4 个等大的分裂球 (图版 iv-4)。40 min 后胚盘第 3 次分裂完成, 形成 8 个大小不完全均等的分裂球, 中间四个偏大, 周围略小 (图版 iv-5)。受精后 8 h 40 min 时, 胚盘进一步分裂形成 16 个分裂球 (图版 iv-6)。受精后 11 h 20 min 和 13 h 20 min 时分别形成 32 个分裂球 (图版 iv-7) 和 64 个分裂球 (图版 iv-8)。之后细胞分裂速度出现差异, 分裂球数量逐渐增多且界限清晰, 到受精后 14 h 20 min 时分裂球高高隆起, 类似桑椹状 (图版 iv-9)。

囊胚阶段(水温 10.0—10.6℃) 随着细胞的继续分裂, 分裂球更为细小且细胞间的界线变得模糊, 到受精后 19 h 50 min 时, 胚胎进入囊胚早期, 囊胚呈高帽状高举在卵黄上 (图版 iv-10)。2 h 后囊胚腔明显, 囊胚层呈扁平状紧贴于卵黄囊, 细胞界线已难以区分 (图版 iv-11)。经 2 h 的继续分化, 囊胚层变扁并下包卵黄囊约 1/3 部分 (图版 iv-12)。

原肠胚阶段(水温 9.8—10.5℃) 受精后 27 h 40 min 时, 胚层下包卵黄囊约 1/2 胚盘的边缘隆起加厚成帽沿状, 胚环形成 (图版 iv-13)。10 h 40 min 后, 原肠胚下包整个卵黄囊 2/3 左右, 胚层细胞集中增厚形成胚盾 (图版 iv-14), 此时卵膜黏性微弱, 胚体侧卧。受精后 52 h 50 min 胚盘下包整个卵黄囊约 3/4 时, 胚胎背面较隆起, 胚盾伸长变细, 胚体雏形开始显现 (图版 iv-15)。

神经胚阶段(水温 9.8—10.0℃) 受精后 55 h 30 min 胚胎神经板雏形形成, 胚盾延长, 卵黄栓明显 (图版 iv-16)。经 9 h 10 min 的继续发育, 胚层完全包住卵黄囊且胚孔封闭 (图版 iv-17)。

器官形成阶段(水温 9.0—11.8℃) 受精后 66 h 40 min 时, 胚体前中部出现肌节 2—3 对, 胚胎头部隆起膨大 (图版 iv-18)。受精后 68 h 50 min 眼基出现, 肌节 4—6 对。眼基经过 13 h 的继续分化发育后逐步扩大为椭圆状, 眼囊形成, 脑分为前、中、后三个脑泡, 肌节达 10—12 对 (图版 iv-19)。4 h 后圆斑状嗅板原基明显 (图版 iv-20)。受精后 110 h 20 min 胚体尾芽出现, 眼囊变圆并明显内凹, 脊索开始形成, 听囊隐约出现, 肌节 12—15 对。尾芽出现 5 h 后, 中脑隆起, 在后脑两侧出现椭圆状听囊, 卵黄囊形状开始变化成前大后小的椭圆形, 肌节约 16—18 对 (图版 iv-21)。受精后 133 h 20 min 眼晶体出现, 听囊前下方出现围心腔, 肌节 20—22 对, 尾鳍原基形成 (图版 iv-22)。7 h 20 min 后, 肌节开始收缩, 频率为 3—4 次/分。受精后 148 h 30 min 围心腔内出现管状心脏, 卵黄囊呈肾形, 肌节 29—30 对, 胚体扭动频率为 8—10 次/分 (图版 iv-23)。约 12 h 后, 卵黄囊前端圆球形, 后端棒状, 听囊中两对耳石出现, 眼上开始出现黑色素细胞 (图版 iv-24)。受精后 168 h 50 min 眼球上黑色素细胞增多, 眼褐色, 鳃腔出现, 心脏已开始搏动, 心率为 9—10 次/分 (图版 iv-25)。5 h 30 min 后, 肌节增加到 34—36 对, 眼灰黑色, 在鳃板后方出现小圆锥状的胸鳍原基 (图版 iv-26)。受精后 186 h 20 min 眼黑色, 心率 28—30 次/分, 头部表面出现褐色的颗粒状孵化腺 (图版 iv-27)。受精后 214 h 20 min 肛门原基明显, 经过 30 h 30 min 的进一步发育, 胚胎出现 2—3 对鳃弓, 且在头背部和卵黄囊前端密布孵化腺, 居维氏管形成。受精后 248 h 30 min 胚胎口凹明显, 4 对鳃弓清晰, 前两对鳃弓上开始出现乳突状鳃丝, 心率 50—55 次/分, 体侧和背部出现大量点状黑色素 (图版 iv-28)。

出膜期(水温 10.0—12.8℃) 到受精后 287h 时胚胎开始孵化出膜。所有胚胎出膜共历时约 5d 每天的出膜率分别为 6.0%、8.7%、21.4%、50.3% 和 13.6%, 其中在受精后 358h40min 时, 有 65.2% 的个体出膜; 所有胚胎出膜需要 405h30min, 本次实验胚胎受精率为 50.6%, 畸形率 4.3%。

2.2 仔鱼的发育过程

仔鱼划分为卵黄囊仔鱼和晚期仔鱼两个阶段, 其中卵黄囊仔鱼阶段从仔鱼孵出开始到卵黄吸收完全为止, 共历时 8d; 后期仔鱼发育阶段从仔鱼卵黄吸尽开始至各鳍鳍条基本形成结束, 共历时 47d。

卵黄囊仔鱼阶段(水温 11.8—12.8℃) 初孵仔鱼肌节 36—38 对, 大多数 36 对 (22+14), 全长 (4.32±0.23) mm, 体高 (0.81±0.01) mm, 头长 (0.69±0.05) mm, 肛后长 (1.28±0.02) mm; 头部偏大, 略下倾; 卵黄囊前段为圆球状, 后部呈棒状; 身体透明, 眼黑色, 在头背面和鳃盖外分布较多的斑点状黑色素, 躯体上侧以及肌节和卵黄囊之间各形成一系列浓密色素带; 心脏位于卵黄囊前方, 心率约 95 次/min, 血细胞微红色, 血液循环达到脊索末端; 鳃弓 4 对, 前 3 对血液循环明显可见; 卵黄囊表面居维氏管宽大, 毛细血管较少; 胸鳍进一步扩大 (图版 iv-29)。出膜后第 1 天, 仔鱼作间歇性冲游; 头部两侧出现少量斑块状黄色素细胞; 眼晶体黑色, 外周有少量黄色素细胞分布; 4 对鳃弓均出现血流 (图版 iv-30)。第 2 天仔鱼头部斑点状黑色素增多, 背部黑色素聚集成星状 (图版 iv-31)。第 4 天仔鱼全身出现黄色素; 头部平抬 (图版 iv-32)。第 5 天仔鱼头部和体侧出现透明的细丝状感觉芽; 鳃盖形成, 鳃丝明显; 嗅囊前缘至吻部上方出现空泡状隆起结构 (图版 iv-33)。第 6 天仔鱼消化道贯通并开始摄食; 鳃室雏形出现, 仔鱼缓慢平游开始, 沿消化道外表面直至尾部出现斑点状黑色素细胞; 颌须一对; 尾鳍褶开始分化 (图版 iv-34)。出膜后第 8 天, 仔鱼卵黄吸收完全, 心脏位移至鳃下方, 在腹部出现黄色反光质 (图版 iv-35)。

后期仔鱼阶段(水温 4.0—15.0℃) 后期仔鱼发育初期水温经历了较大的变化, 由第 10 天时 10℃ 的降低至第 15 天的 4.0℃, 之后逐渐上升 9.3℃, 从第 21 天开始维持在 15.0℃。因此, 仔鱼在卵黄吸收以后较长一段时间内发育缓慢。出膜后第 27 天, 仔鱼星耳石出现, 肌节 42—44 对。第 30 天时吻须一对, 鳃一室, 黑色, 具反光膜; 背鳍、臀鳍原基出现, 尾鳍条 3—4 枚, 脊索末端略微上翘 (图

版 iv-36)。第 35 天仔鱼消化道前端开始卷曲; 臀鳍原基明显。2d 后鳃第二室出现, 脊椎骨末端上翘, 腹鳍原基出现, 背鳍 4—5 枚, 胸鳍 5—6 枚, 尾鳍 16—18 枚, 鳍条分成 2 节, 臀鳍 2—3 枚, 肌节 46—48 对 (图版 iv-37)。第 50 天仔鱼吻须两对; 鳃两室, 前室略短, 分为左右两侧泡 (图版 iv-38)。出膜后第 55 天仔鱼全长 (14.05±1.00) mm、体高 (1.89±0.13) mm、头长 (3.03±0.22) mm、肛后长 (5.85±0.60) mm; 体圆筒形, 体侧出现 7—8 条黑色素条带, 肌节 52—53 对; 鳃尚未被骨质囊包裹; 除了背鳍、尾鳍前缘有少量鳍褶外, 各个鳍基本形成, 鳍条数目与成鱼基本一致 (图版 iv-39, 40)。

2.3 卵黄的吸收与仔鱼的生长

初孵仔鱼卵黄囊前段为呈椭圆球状, 平均长 (1.18±0.14) mm, 高 (0.59±0.13) mm, 后部呈细长的棒状, 长 (1.00±0.12) mm, 高 (0.18±0.05) mm, 整个卵黄囊体积 (0.213±0.095) mm³。出膜后第 3 天, 卵黄囊变成前段略膨大后段尖细的棒状, 体积 (0.144±0.035) mm³。到第 8 天时卵黄仅剩残余, 体积 (0.036±0.023) mm³。卵黄囊体积 VY (mm³) 随发育逐渐减少 (图 1), 与出膜后天数 D (days) 的关系式为: $VY = -0.0012D^2 - 0.0161D + 0.2133$ ($R^2 = 0.9922$)。卵黄囊中卵黄物质的平均吸收率为 0.027mm³/d 卵黄完全吸收的理论时间为 8.2d。

胚后发育各时期的生长参数 (表 1)。由表 1 可以看出, 仔鱼在不同发育阶段的全生长速度上有差异, 且总体上都比较缓慢。在出膜前后 4 天内日生长率由 0.05 mm/d 缓慢增加到 0.11mm/d 但是在第 5 天至第 8 天时生长率快速升至 0.33—0.37mm/d 之后由于水温较低, 生长速度降至在 0.07mm/d 左右, 在 30—55d 期间生长率有先递增后递减的趋势, 最大生长速度出现在鳃第二室形成

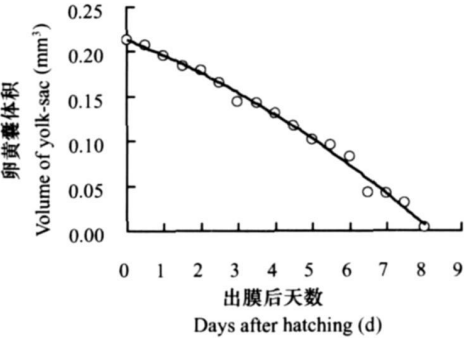


图 1 贝氏高原鳅仔鱼卵黄吸收曲线

Fig. 1 Yolk absorption curve of *T. bleekeri* larvae

和腹鳍原基出现期间。仔鱼全长 (TL) 呈显著的二项式增长 (图 2), 与出膜后天数 D (d) 的关系式为: $TL = 0.0011D^2 + 0.1157D + 4.4125$ ($R^2 = 0.9304$)。体高与全长之比由 0.17 增加至 0.21 左右, 总体变幅不大。头长与全长的比例在卵黄囊仔鱼阶段由 0.21 逐渐递减至 0.11, 在后期仔鱼阶段则基本保持在 0.11—0.13 之间。肛后长与全长之比在胚后发育阶段都是呈递增趋势, 变幅在 0.31—0.42 之间。

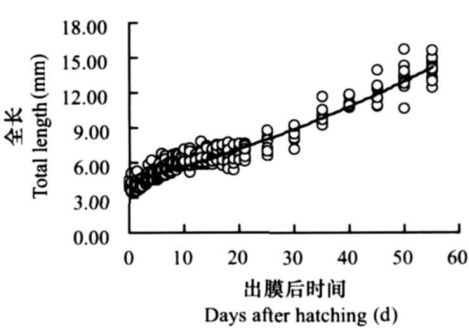


图 2 贝氏高原鳅仔鱼生长曲线
Fig 2 The growth curve of *T. bleekeri* larvae

表 1 贝氏高原鳅胚后发育过程中长度及身体比例的变化

Tab. 1 Variaton in length and body morphanetrics during postembryonic development of <i>T. bleekeri</i>						
出膜后天数 Days	水温 Water Temperature (℃)	全长 Total length		体高 / 全长 Body height/ 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 Growth rate (mm / d)			
0	12.5	4.32 ± 0.23	—	0.17 ± 0.01	0.21 ± 0.02	0.31 ± 0.01
1	12.8	4.37 ± 0.39	0.05	0.17 ± 0.01	0.20 ± 0.02	0.32 ± 0.02
2	12.8	4.44 ± 0.26	0.07	0.16 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.34 ± 0.01
4	11.8	4.66 ± 0.49	0.11	0.16 ± 0.01	0.15 ± 0.02	0.35 ± 0.02
5	11.8	5.02 ± 0.31	0.36	0.17 ± 0.02	0.15 ± 0.02	0.35 ± 0.01
6	11.8	5.39 ± 0.52	0.37	0.18 ± 0.01	0.12 ± 0.02	0.36 ± 0.01
8	12.2	6.05 ± 0.41	0.33	0.19 ± 0.02	0.11 ± 0.01	0.37 ± 0.01
10	10.0	6.19 ± 0.44	0.07	0.20 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.36 ± 0.01
15	4.0	6.53 ± 0.49	0.07	0.20 ± 0.02	0.11 ± 0.01	0.36 ± 0.02
20	9.3	6.87 ± 0.55	0.07	0.20 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.37 ± 0.01
27	15.0	7.47 ± 0.79	0.09	0.19 ± 0.06	0.12 ± 0.01	0.38 ± 0.02
30	15.0	8.23 ± 0.70	0.25	0.21 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.38 ± 0.02
35	15.0	10.00 ± 0.72	0.35	0.21 ± 0.02	0.13 ± 0.01	0.39 ± 0.01
37	15.0	11.04 ± 0.39	0.52	0.21 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.39 ± 0.02
50	15.0	13.23 ± 1.29	0.17	0.20 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.42 ± 0.01
55	15.0	14.05 ± 1.01	0.16	0.22 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.42 ± 0.02

3 讨 论

贝氏高原鳅胚胎和仔鱼发育过程与泥鳅等淡水硬骨鱼类早期发育过程基本相似^[19], 但也具有种的一些特点: (1) 胚胎发育速度缓慢, 孵化历时较长。贝氏高原鳅在马边河的繁殖期为水温 14—15℃ 的 10 月份, 产卵场位于由卵石或小块砾石组成的流水滩上, 受精卵黏附在石头上孵化发育^[11]。用于本实验的成熟亲鱼于 2005 年 12 月 10 日采集自青衣江, 自然水温 10.0℃, 在水温 12.0℃ 左右的 11 月份也采集到性成熟个体, 这表明贝氏高原鳅在青衣江的繁殖水温在 10.0—12.0℃ 左右, 繁殖时间晚于海拔

较高的马边河。在实验室内孵化水温为 9.2—12.8℃, 胚胎开始出膜至少需要 287h, 要明显长于在春季或夏季繁殖的鳅科鱼类。例如泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 胚胎在水温 19.5—22.0℃ 下孵化期为 24h20m in^[19]; 大鳞副泥鳅 (*Paramisgurnus dabryanus*) 在 21—23℃ 下需 38h10m in^[20]; 花斑副沙鳅 (*Parabotia fasciata*) 在 28℃ 下需 12h^[21]。(2) 孵出时器官分化程度较高。贝氏高原鳅的眼色素、体色素、口凹和肛门原基、鳃弓、胸鳍等器官原基在出膜前就已出现, 相比较要早于前面提到的鳅科鱼类等, 与稀有鮎鲫接近^[22]。(3) 同批受精卵在发育速度上明显不同步。贝氏高原鳅出膜阶段历时 5d 表

明同批受精卵发育速度上存在较大的差异, 这可能是在对初冬低温繁殖的适应。低温条件下饵料有限, 个体发育不同步有利于减缓饵料竞争压力。造成胚胎发育速度的差异可能主要是源于水温低和水中溶氧不均匀等环境因素以及个体间的遗传差异, 有关这方面的报道多见于在冬季繁殖的冷水性鱼类, 如河鲈 (*Perca fluviatilis*)^[23] 和哲罗鱼 (*Hucho taimen*)^[24] 等。(4)出膜后第 5 天仔鱼出现临时性感觉器官感觉芽。贝氏高原鳅感觉芽在头部和体侧出现觉芽形成于鳔室雏形出现之前, 与泥鳅^[19] 相同, 大鳞副泥鳅^[20] 则出现在鳔室雏形出现之后。

在温带地区, 冬季河水温度在周年中最低, 此时河流中仔鱼的最适开口饵料生物的种类和数量也较低, 因此, 冬季繁殖的贝氏高原鳅在早期仔鱼阶段必须具有相应的生活史策略才能较好地适应饵料生物匮乏的不利环境。观察结果显示, 贝氏高原鳅胚胎在出膜时胸鳍原基、鳃丝和口凹等就已出现, 且眼以及躯体上还有大量黑色素分布, 初步具备较完善的运动、视觉和消化等器官。而泥鳅、大鳞副泥鳅和花斑副沙鳅等春夏季繁殖的鱼类的这些特征则在出膜以后才出现^[19-21]。由于贝氏高原鳅卵黄较小, 自身储备的内源性营养少, 因而为了尽快开口摄食建立外源性营养, 胚胎在出膜时部分结构出现要早于其他种类, 这有利于提高仔鱼主动搜索和捕食饵料生物的效率, 从而降低在开口摄食阶段的高自然死亡率。

参考文献:

[1] Chen Y Y, Chen Y F, Liu H Z. Studies on the position of the Qinghai-Xizang Plateau Region in zoogeographic divisions and its eastern demarcation line [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1996, **20**(2): 97—103 [陈宜瑜, 陈毅峰, 刘焕章. 青藏高原动物地理区的地位和东部界线问题. 水生生物学报, 1996, **20**(2): 97—103]

[2] He D K, Chen Y X, Chen Y F. The study on the development of molecular phylogeny and biogeography of the *Triplophysa* [J]. *Progress in Natural Science*, 2006 **16**(11): 1395—1404 [何德奎, 陈咏霞, 陈毅峰. 高原鳅属 *Triplophysa* 鱼类分子系统发育和生物地理学研究. 自然科学进展, 2006 **16**(11): 1395—1404]

[3] Xiang Z F, Liang X C, Huo S, *et al*. Quantitative analysis of land mammal zoogeographical regions in China and adjacent regions [J]. *Zoological Studies*, 2004, **43**(1): 142—160

[4] Zhu S Q. The fishes of the subfamily Nemacheilinae in China (Cypriniformes: Cobitidae) [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1989, 108—110 [朱松泉. 中国条鳅志. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989, 108—110]

[5] Froese R, Pauly D. Fish Base World Wide Web electronic pub-

lication. www.fishbase.org version (10 / 04 / 2006)

[6] Chen X Y, Yang J X. A new blind loach of genus *Triplophysa* from China [J]. *Journal of Fish Biology*, 2005, **66**(3): 599—608

[7] Wang D Z, Li D J. Two new species of the genus *Triplophysa* from Guizhou, China [J]. *Acta Zootaxonica Sinica*, 2001, **26**(1): 98—101 [王大忠, 李德俊. 贵州高原鳅属鱼类二新种(鲤形目:鳅科:条鳅亚科). 动物分类学报, 2001, **26**(1): 98—101]

[8] Yang J X, Chen X Y, Lan J H. Occurrence of two new plateau-indicator loaches of Nemacheilinae (Balitoridae) in Guangxi with reference to zoogeographical significance [J]. *Zoological Research*, 2004 **25**(2): 111—116 [杨君兴, 陈小勇, 蓝家湖. 高原有条鳅鱼类两新种在广西的发现及其动物地理学意义. 动物学研究, 2004, **25**(2): 111—116]

[9] Li W X, Zhu Z G. A new species of *Triplophysa* from cave Yunnan [J]. *Journal of Yunnan University*, 2000, **22**(5): 396—398 [李维贤, 祝志刚. 洞穴高原鳅属新种记述. 云南大学学报(自然科学版), 2000, **22**(5): 396—398]

[10] Chen X Y, Cui G H, Yang J X. A new cave-dwelling fish species of genus *Triplophysa* (Balitoridae) from Guangxi, China [J]. *Zoological Research*, 2004, **25**(3): 227—231 [陈小勇, 崔桂华, 杨君兴. 广西高原鳅属鱼类一穴居新种记述. 动物学研究, 2004 **25**(3): 227—231]

[11] He X F, He J S, Yan T M. Reproductive characteristic of *Triplophysa bleekeri* in Mabian River [J]. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science)*, 1998 **24**(1): 69—73 [何学福, 贺吉胜, 严太明. 马边河贝氏高原鳅繁殖特性研究. 西南师范大学学报(自然科学版), 1998 **24**(1): 69—73]

[12] Song Z B, Yang Y, Yue B S. The study on the biology of *Triplophysa xiqiensis* [J]. *Reservoir Fisheries*, 2005 **25**(1): 27—29 [宋昭彬, 杨晔, 岳碧松. 西溪高原鳅生物学研究. 水利渔业, 2005 **25**(1): 27—29]

[13] Guo Y, Cai L G, Turson, *et al*. The study on the biology of *Triplophysa straudii* (Kessler) in the lake of sailimu [J]. *Chinese Journal of Fishes*, 2002 **15**(2): 6—11 [郭焱, 蔡林钢, 吐尔逊, 等. 赛里木湖新疆高原鳅生物学研究. 水产学杂志, 2002 **15**(2): 6—11]

[14] Guo Y, Cai L G, Turson, *et al*. The study on the population structure of *Triplophysa straudii* (Kessler) in the lake of sailimu [J]. *Chinese Journal of Fishes*, 2002 **15**(2): 1—5 [郭焱, 蔡林钢, 吐尔逊, 等. 赛里木湖新疆高原鳅种群结构研究. 水产学杂志, 2002 **15**(2): 1—5]

[15] Li T P, Li J X. Analysis of restriction endonucleases mDNA of *Triplophysa microps* (Steindachner) in Yellow River [J]. *Sichuan Animal & Veterinary Sciences*, 2003, **30**(8): 23 [李太平, 李军祥. 小眼高原鳅线粒体 DNA 的酶切分析. 四川畜牧兽医, 2003 **30**(8): 23]

[16] Li T P, Li J X. Sequence analysis of mitochondrial DNA cytochrome b gene of *Triplophysa microps* [J]. *Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2003 **33**(3): 10—11

- [李太平, 李均祥. 小眼高原鳅线粒体 DNA 细胞色素 b 基因序列分析. 青海畜牧兽医杂志, 2003, 33(3): 10—11]
- [17] Wu Y F, Wu C Z. The fishes of the Qinghai-Xizang plateau [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1991, 189—190 [武云飞, 吴翠珍. 青藏高原鱼类. 成都: 四川科学技术出版社, 1991, 189—190]
- [18] Yin M C. Advances and studies on early life history of fish [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1991, 15(4): 348—358 [殷名称. 鱼类早期生活史研究与其进展. 水产学报, 1991, 15(4): 348—358]
- [19] Zhen W B. Observations on the embryonic and larval development of *Misgurnus anguillicaudatus* (Cantor) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1985, 9(1): 37—47 [郑文彪. 泥鳅胚胎和幼鱼发育的研究. 水产学报, 1985, 9(1): 37—47]
- [20] Zhang H Y. Observation on the embryonic development of *Parasilgurnus dabryanus* Sauvage [J]. *Freshwater Fisheries*, 2001, 31(5): 20—21 [张恒远. 大鳞副泥鳅胚胎发育观察. 淡水渔业, 2001, 31(5): 20—21]
- [21] Yang M S. Observation on the embryonic development of *Parabotia fasciata* Dabry [J]. *Freshwater Fisheries*, 2004, 34(6): 34—36 [杨明生. 花斑副沙鳅的胚胎发育观察. 淡水渔业, 2004, 34(6): 34—36]
- [22] Chang J B, Wang J W, Cao W X. The embryonic development of *Gobiocypris rarus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1995, 19(2): 97—103 [常剑波, 王剑伟, 曹文宣. 稀有鮡鲫的胚胎发育研究. 水生生物学报, 1995, 19(2): 97—103]
- [23] Qiao D L, Ling Q F, Yin J G, et al. Development of embryo and yolk-sac stage larva of perch (*Perca fluviatilis*) [J]. *Journal of Biology*, 2006, 23(1): 34—38 [乔德亮, 凌去非, 殷建国, 等. 河鲈胚胎及卵黄囊期仔鱼发育. 生物学杂志, 2006, 23(1): 34—38]
- [24] Xu W, Yin J S, Jiang Z F, et al. A technique of artificial reproduction of *Hucho tui nien* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2003, 10(1): 26—30 [徐伟, 尹家胜, 姜作发, 等. 哲罗鱼人工繁育技术的初步研究. 中国水产科学, 2003, 10(1): 26—30]

MORPHOLOGICAL DEVELOPMENT OF *TRIPLOPHYSA BLEEKERI* (SAUVAGE ET DABRY DE THIERSANT, 1874) EMBRYO AND LARVAE

LI Zhong-Li and YAN Tai-Ming

(College of Animal Science and Technology, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014)

Abstract Five mature *Triplophysa bleekeri* captured in the middle section of the Qingyijiang River were selected for artificial fertilization in this study. The fertilized eggs were released into a tank ($36.0 \times 28.0 \times 11.0 \text{ m}^3$) under the water temperature of 9.0—12.8°C. The morphological development of embryos and larva were described and photographed with Leica MZ16A stereomicroscope. 30 specimens were sampled and observed in intervals of 30 min during embryonic stages and 12 h after hatching. The results indicated that mature unfertilized eggs were strongly adhesive and spherical with primrose yellow color and contained a relatively small yolk (0.94—1.10 mm in diameter). The first cleavage occurred at 4 h 20 min after fertilization. The blastula and gastrula stages began at 19 h 50 min and 27 h 40 min, respectively. By 64 h 40 min after fertilization, the blastopore was found to be almost closed. Eye pigment was observed at 160 h 30 min and pectoral fin buds appeared 13 h 50 min later. Hatching occurred at 287 h and finished at 405 h 30 min. Newly hatched larvae usually lied on the bottom of the water, which were 4.32 mm in average total length (TL) with myomeres ranging from 36 to 38 pairs. Pigment on the body and eyes appeared clearly and pectoral fin buds were well-developed. Thick sensory buds appeared on both sides of the head and body on the 5 dph (days post hatching). 3 days later, the larvae reached 6.05 mm in average TL and consumed their yolk completely. In artificially reared conditions, the larvae were fed with egg vitellus and some species of *Tubifex* twice a day. All specimens were diverted into constant temperature biochemical incubator after 21 dph. One-chamber air bladder and two-chamber ones formed on the 30 dph and 50 dph, respectively. The larvae had 52 to 53 myomeres when the total length reached 14.05 mm in TL on the 55 dph, moreover, all fin rays reached the same fixed number of adult fish and 7 to 8 dark-brown speckle bands had appeared on the body sides. Yolk sac volumes of the larvae decreased at the average ratio of $0.027 \text{ mm}^3/\text{d}$. Growth in length and body morphometrics varied during different developmental stages. The proportion of post-anal length to total length increased gradually from 31% at the beginning and it stabilized at about 42% finally.

Key words *Triplophysa bleekeri*; Embryo; Larvae; Morphological development



图版 I 贝氏高原鳅胚胎及仔鱼发育各时期

Plate I Developmental Stages of *Triphophysa bleekeri* embryos and larvae

1. 受精后 40min; 2. 胚盘期; 3. 2 细胞期; 4. 4 细胞期; 5. 8 细胞期; 6. 16 细胞期; 7. 32 细胞期; 8. 64 细胞期; 9. 多细胞期; 10. 囊胚早期; 11. 囊胚中期; 12. 囊胚晚期; 13. 原肠早期; 14. 原肠中期; 15. 原肠晚期; 16. 神经胚期; 17. 胚孔封闭期; 18. 肌节出现期; 19. 眼囊期; 20. 尾芽期; 21. 听囊期; 22. 眼晶体期; 23. 心脏出现期; 24. 耳石出现期; 25. 心脏搏动期; 26. 胸鳍原基期; 27. 眼色素期; 28. 体色素期; 29. 初出膜; 30. 第 1 天仔鱼; 31. 第 2 天仔鱼; 32. 第 4 天仔鱼; 33. 第 5 天仔鱼 (示感觉芽); 34. 第 6 天仔鱼; 35. 第 8 天仔鱼; 36. 第 30 天仔鱼; 37. 第 37 天仔鱼; 38. 第 50 天仔鱼; 39. 第 55 天仔鱼; 40. 第 55 天仔鱼 (背面观)
1. 40min after fertilization; 2. Blastodisc; 3. 2-cell; 4. 4-cell; 5. 8-cell; 6. 16-cell; 7. 32-cell; 8. 64-cell; 9. Morula; 10. Early blastula; 11. Middle blastula; 12. Late blastula; 13. Early gastrula; 14. Middle gastrula; 15. Late gastrula; 16. Neurula; 17. Closure of blastopore; 18. Appearance of myomere; 19. The presence of optic vesicles; 20. Tail bud; 21. Auditory sac; 22. Eye lens; 23. Appearance of Heart; 24. Appearance of Otolith; 25. Heart pulsation; 26. Rudiment of pectoral fins; 27. Eye pigment; 28. Body pigment; 29. Hatching; 30. 1-day larva; 31. 2-day larva; 32. 4-day larva; 33. 5-day larva (sensory buds); 34. 6-day larva; 35. 8-day larva; 36. 30-day larva; 37. 37-day larva; 38. 50-day larva; 39. 55-day larva; 40. 55-day larva (dorsal view)