

太行隆肛蛙的早期胚胎发育及生态适应性

陶娟^① 杨杰^{①②} 陈晓虹^{①*}

(^① 河南师范大学生命科学学院 新乡 453007; ^② 新乡医学院 新乡 453003)

摘要:报道了在自然条件下太行隆肛蛙(*Feirana taihangnicus*)早期胚胎发育的过程。根据胚胎外部形态变化、主要生理特征及行为的出现,其早期胚胎发育过程可划分为25个时期。在水温11.0~18.0℃下,从受精卵形成至蝌蚪两侧鳃盖完全闭合、出水管形成为止,共历时470.18 h。卵裂开始时集中在动物极顶端,直到囊胚早期植物极才出现分割线;胚体的出膜时间集中在右侧鳃盖闭合期,出膜后即具备主动取食的能力,属于晚出膜类型;隐蔽的产卵环境、特殊的卵群附着方式以及大卵径、高卵黄量,是太行隆肛蛙对低温条件下早期胚胎发育时程长的生态适应。

关键词:太行隆肛蛙;早期胚胎发育;生态适应性

中图分类号:Q954 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2010)05-39-08

The Early Embryonic Development and Ecological Adaptation of *Feirana taihangnicus*

TAO Juan^① YANG Jie^{①②} CHEN Xiao-Hong^{①*}

(^① College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007;

^② Xinxiang Medical University, Xinxiang 453003, China)

Abstract:The early embryonic development of *Feirana taihangnicus* was studied. The whole process, from fertilization to spiracle formation, took 470.18 hours under water temperature of 11–18℃ and the process was divided into 25 stages according to the embryonic morphological, physiological and behavioral characteristics. Cleavage began from the top of animal hemisphere, and the cleavage furrows of vegetal pole were observed at early stage of blastula. The hatching occurred mainly at the stage of opercular fold closure on the right side. The time of hatching was late. The newly hatched tadpoles can self-feeding. Hidden spawning environment, special attachment of egg masses, big egg diameter and large amount of yolk in the eggs indicated the ecological adaptations to long course of early development under the low water temperature in *F. taihangnicus*.

Key words:*Feirana taihangnicus*; Early embryonic development; Ecological adaptation

两栖类胚胎是胚胎学、发育生物学、遗传学等多学科研究的较好材料。对两栖类早期胚胎发育进行研究不但可以丰富生物学基础资料,为珍稀濒危两栖类物种资源的保护和合理利用提供参考,而且可为探讨两栖类进化历程提供线索。目前,国内外关于无尾两栖类早期胚胎发育的研究已有一些报道^[1-18],主要是在室内或恒温条件下的研究结果,缺乏自然条件下早期胚胎发育过程的报道。太行隆肛蛙(*Feirana*

taihangnicus)隶属于蛙科(Ranidae)隆肛蛙属^[19],是一种营溪流生活的蛙类,个体较大,具有一定的经济价值。笔者在自然条件下对该物种早期胚胎发育阶段进行了详细的观察和记

基金项目 国家自然科学基金项目(No. 30870277)部分资助;

* 通讯作者, E-mail: xhchen-xx@sohu.com;

第一作者介绍 陶娟,女,硕士研究生;研究方向:动物学;

E-mail: taojuan1114@163.com.

收稿日期:2010-04-22,修回日期:2010-07-05

录, 以期在两栖动物生物学、生态学及其人工繁育提供基础资料和科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料 2006 年 4 月 5 日 14:50 时在太行隆肛蛙模式产地河南省济源市邵原镇采集临产的太行隆肛蛙, 次日 17:00 时在室内自然产卵。将卵团置于室外环境中孵育。

1.2 方法 早期胚胎发育的观察在室外自然条件下进行。采取持续观察和间断观察相结合, 每次随机抽取 10 枚左右发育正常的胚胎在 Olympus 双目解剖镜下进行观察、拍照, 确定其发育分期, 记录发育时间及气温、水温。使用游标卡尺对胚体长度进行测量; 以外鳃、尾鳍的血

管内可见血细胞持续流动作为判断该部位血液循环建立的依据; 统计 10 枚左右随机抽取的胚体在卵胶膜内转动一周所需的时间, 通过计算其平均值来检测胚体转动速度。早期胚胎发育时期的划分参照 Gosner^[20] 和 Shumway^[21] 的分期方法。以占观察总数 60% 左右的胚胎显示某时期典型特征作为该期发育的开始和前一个发育时期的结束。

2 结果

2.1 胚胎发育分期 根据胚胎发育过程中各期外部形态变化, 主要生理特征及行为的出现, 将太行隆肛蛙早期胚胎发育过程划分为 25 个期(表 1, 图版 I、II)。

表 1 太行隆肛蛙早期胚胎发育时程

Table 1 The early embryonic developmental schedule of *Feirana taihangnicus*

| 发育时期 Development stage | 各期时长 (h) Time of every stage | 起始时长 (h) Start time | 胚体长 (mm) Embryo length (Mean ± SD) | 水温 (°C) Water temperature | 观察次数 Observation times |
|--|---------------------------------|------------------------|--|---------------------------------|---------------------------|
| 受精卵期 Fertilized egg stage | 5.13 | 0 | 4.227 ± 0.207 | 17 | 持续观察 |
| 2 细胞期 2-cell stage | 1.37 | 5.13 | 4.265 ± 0.062 | 17 | 持续观察 |
| 4 细胞期 4-cell stage | 1.80 | 6.50 | 4.267 ± 0.033 | 17 | 持续观察 |
| 8 细胞期 8-cell stage | 0.70 | 8.30 | 4.296 ± 0.069 | 17 | 持续观察 |
| 16 细胞期 16-cell stage | 1.33 | 9.00 | 4.300 ± 0.016 | 17 | 持续观察 |
| 32 细胞期 32-cell stage | 2.80 | 10.33 | 4.305 ± 0.030 | 16 ~ 17 | 持续观察 |
| 囊胚早期 Early blastula stage | 13.87 | 13.13 | 4.340 ± 0.024 | 16 | 5 |
| 囊胚中期 Mid-blastula stage | 8.03 | 27.00 | 4.400 ± 0.014 | 16 ~ 17 | 11 |
| 囊胚晚期 Late blastula stage | 9.80 | 35.03 | 4.408 ± 0.030 | 15 ~ 17 | 8 |
| 原肠早期 Early gastrula stage | 12.52 | 44.83 | 4.423 ± 0.040 | 15 ~ 17 | 8 |
| 原肠中期 Mid-gastrula stage | 6.00 | 57.35 | 4.427 ± 0.041 | 17 ~ 18 | 5 |
| 原肠晚期 Late gastrula stage | 10.32 | 63.35 | 4.443 ± 0.021 | 17 | 4 |
| 神经板期 Neural plate stage | 11.42 | 73.67 | 4.473 ± 0.025 | 16 ~ 17 | 5 |
| 神经褶期 Neural folds stage | 14.77 | 85.09 | 4.513 ± 0.025 | 14 ~ 17 | 8 |
| 胚胎转动期 Rotation stage | 17.52 | 99.86 | 4.516 ± 0.116 | 12 ~ 14 | 9 |
| 神经管期 Neural tube stage | 13.58 | 117.38 | 4.616 ± 0.153 | 12 ~ 13 | 5 |
| 尾芽期 Tail bud stage | 63.92 | 130.96 | 4.940 ± 0.167 | 11 ~ 14 | 21 |
| 肌肉效应期 Muscular response stage | 24.83 | 194.88 | 5.440 ± 0.360 | 14 | 5 |
| 心跳期 Heart beat stage | 17.65 | 219.71 | 7.126 ± 0.527 | 14 ~ 15 | 8 |
| 鳃血液循环期 Gill circulation stage | 41.87 | 237.36 | 9.394 ± 0.387 | 15 ~ 18 | 21 |
| 开口期 Mouth open stage | 17.78 | 279.23 | 10.484 ± 0.203 | 17 ~ 18 | 8 |
| 尾血液循环期 Tail fin circulation stage | 7.33 | 297.01 | 11.260 ± 0.322 | 16 | 2 |
| 鳃盖褶期 Operculum fold stage | 31.67 | 304.34 | 12.309 ± 0.353 | 15 ~ 16 | 8 |
| 右侧鳃盖闭合期 Right operculum close stage | 54.67 | 336.01 | 14.250 ± 0.525 | 15 ~ 16 | 8 |
| 鳃盖完成期 Operculum completion stage | 79.50 | 390.68 | 17.166 ± 0.600 | 16 ~ 18 | 6 |

2.2 各期主要特征

2.2.1 受精卵期 刚排出的卵粒卵胶膜尚未吸水膨胀,平均卵径为 4.23 mm。卵胶膜为三层,由内向外依次增厚。动物极棕黑色,约占卵球的 1/4,中央可见一白色圆点,动物极下方附近可见一明显浅棕色圆环,植物极淡黄色(图版 I:1)。

2.2.2 2 细胞期 第 1 次卵裂为经裂,卵裂沟从动物极白色圆点处开始出现,逐渐向植物极延伸,将动物极分为几乎相等的两部分(图版 I:2)。

2.2.3 4 细胞期 第 2 次卵裂仍为经裂,与第 1 次卵裂沟垂直。第 2 次卵裂后,动物极分为大小相等的 4 部分,此时植物极还没有完成卵裂(图版 I:3)。

2.2.4 8 细胞期 第 3 次卵裂为纬裂,首先在第 1 次卵裂沟的两侧各出现 1 条与第 2 次卵裂沟垂直的凹痕,2 条凹痕逐渐延伸,最终在动物极互相交接成 1 个圆圈,从而完成纬裂,把整个胚胎分为大小不等的 8 个细胞,动物极的 4 个细胞远小于植物极的 4 个细胞(图版 I:4)。

2.2.5 16 细胞期 第 4 次卵裂为经裂。第 3 次卵裂完成后,在第 2 次卵裂沟的两侧分别出现与第 1 次卵裂沟垂直的凹痕,新形成的 2 条卵裂沟一直延伸到植物极,2 个卵裂面基本保持平行。卵裂完成后细胞变得不规则(图版 I:5)。

2.2.6 32 细胞期 第 5 次卵裂有经裂也有纬裂。首先在动物极出现 4 个接近平行的卵裂沟,4 个卵裂沟与第 2 次卵裂沟和第 4 次卵裂沟垂直。在中间的 2 条卵裂沟为经裂,延伸速度较快;两侧的 2 条卵裂沟为纬裂,延伸速度较慢。卵裂完成后细胞形状更加不规则(图版 I:6)。

2.2.7 囊胚早期 卵裂不同步且不规则,经多次卵裂,动物极半球色素区面积增大,分裂球体积越来越小,但细胞界限清晰,肉眼可辨认。植物极半球出现完整分裂沟,植物极细胞体积较大(图版 I:7)。

2.2.8 囊胚中期 胚胎表面凸凹不平,整体呈

桑葚状。动、植物极细胞数目增加明显,细胞体积变得很小,细胞界限肉眼难以辨认,在解剖镜下细胞界限清晰。动物极半球色素区面积继续增大(图版 I:8)。

2.2.9 囊胚晚期 胚体表面光滑平整。随着卵裂球数目继续增多,在解剖镜下细胞之间的界限已很难分清。动物极半球色素区向植物极半球延伸,约占整个胚体的 2/3(图版 I:9)。

2.2.10 原肠早期 在胚体偏植物极处出现“一”字形凹痕,即原口沟。凹痕逐渐变长加深,延伸长度略超过胚胎直径的 1/2,凹痕背侧即为背唇(图版 I:10,箭头所指)。

2.2.11 原肠中期 随着动物极细胞外包和植物极细胞内卷,背唇向两侧扩展延伸,形成半圆形的侧唇,原口沟呈马蹄铁型。凹痕继续向下延伸,形成腹唇,最后汇合成圆形的胚孔,由卵黄栓所填塞,胚孔直径接近胚体直径的 2/3(图版 I:11)。

2.2.12 原肠晚期 胚孔及卵黄栓逐渐缩小,动物极色素区面积继续扩大,当胚孔直径接近胚体直径 1/5 时,背部开始变平(图版 I:12)。

2.2.13 神经板期 胚胎背部平坦,形成前宽后窄的勺状结构,色素比周围略深。神经板形成后逐渐隆起,其上色素变深。胚孔继续缩小,尚未消失。胚体仍为球形(图版 I:13)。

2.2.14 神经褶期 神经板边缘逐渐隆起形成神经褶并相互靠近,出现宽而浅的神经沟,胚体有加长的趋势,卵黄栓已消失(图版 I:14)。

2.2.15 胚胎转动期 随着神经褶隆起靠近,神经沟加深变窄逐渐消失,此时胚胎开始在卵胶膜内沿顺时针方向缓慢转动。头部两侧出现感觉板和鳃原基。感觉板前端有 1 对突起,颜色较深,为口吸盘原基。背部肌节 4 对(图版 I:15)。

2.2.16 神经管期 两侧神经褶完全愈合,神经管形成。胚体头部和尾部膨大明显,躯干部略低,神经管逐渐隆高。感觉板和鳃板突起明显,鳃板一分为二。体节增至 6~7 节。胚体转动速度,平均为 174 s/圈,胚轴伸长(图版 I:16)。

- 2.2.17 尾芽期** 尾芽向背部翘起,逐渐增长并开始弯曲。头部隆起明显,口凹出现,口吸盘色素加深。肾原基 1 对(图版 I:17,箭头所指),为长条状,位于鳃板后部背神经管两侧。体节增至 10~13 个,尾长接近全长的 1/5。胚体增长明显,转动速度加快,平均为 78 s/圈。
- 2.2.18 肌肉效应期** 在强光或机械刺激下,胚体扭曲运动。胚体进一步分化为头部,躯干部,尾部。头部 2 对鳃芽呈乳突状,大的 1 对出现很多小突起,嗅窝开始形成但并不明显。口吸盘突起显著。口凹较浅,眼泡逐渐突起(图版 I:18a,箭头所指)。尾长约占全长的 1/3(图版 I:18a、II:18b)。
- 2.2.19 心跳期** 咽部出现规律的心跳,初期约 8~10 次/min,后期平均 18 次/min。头部 2 对鳃芽依次呈指状分支。嗅窝明显,呈灰黑色(图版 II:19,箭头所指)。口吸盘发达,近长方形,倒“八”字型排列。口凹加深。眼泡突起明显,下缘为黑色。尾长约占全长的(1/3)~(1/2)。肌节数目多。鳍褶外缘略厚。在尾中部位置,上、下鳍褶宽度之和小于尾肌宽度。
- 2.2.20 鳃血循环期** 2 对外鳃呈鹿角状分支,初期分支较短,血液流动缓慢。后期分支逐渐发达,血液作脉冲状流动。口凹继续加深,由菱形渐变为扇形,眼部轮廓逐渐明显。尾长约为全长的 1/2,尾中部位置上、下鳍褶宽度之和与尾肌宽度相当(图版 II:20)。
- 2.2.21 开口期** 鳃芽分支更加发达,心跳 53 次/min。口窝内口咽膜穿通,口部比以前略小,边缘隆起,呈扇形。头顶正中出现黑色圆点。眼部色素加深,眼球下部仍不够清晰。尾长超过全长的 1/2,鳍褶半透明,尾中部上、下鳍褶宽度之和接近尾肌宽度的 2 倍(图版 II:21)。
- 2.2.22 尾血循环期** 2 对鳃芽基本保持不变。心跳速度较开口期快。嗅窝凹陷加深。眼球明显,视杯黑色,下半部仍埋于皮下。尾长超过全长的 2/3,鳍褶宽大透明,其上出现少量色素斑点,尾肌基部与鳍褶下叶之间可见血细胞缓慢流动(图版 II:22)。
- 2.2.23 鳃盖褶期** 外鳃基部出现褶皱,逐渐

向腹面中央汇成 1 条鳃盖褶,2 对外鳃萎缩。嗅窝深陷。眼部结构清晰,视杯色素继续加深,可见瞳孔。口部逐渐由前部移向腹面,边缘隆起明显,口内形成 1 个着生唇齿的腔。口吸盘白色,扁平状(图版 II:23a,箭头所指)。尾长超过全长的 2/3,上尾鳍血液流动缓慢。胚体背部及尾部出现黑色星状斑(图版 II:23a、b)。

2.2.24 右侧鳃盖闭合期 2 对外鳃萎缩明显,右侧鳃盖褶向下延伸逐渐将右侧鳃丝包入其内,并与皮肤愈合。角膜透明。吸盘大且平,口部出现角质颌并可活动。胚体背部及尾部色素加深,呈灰黑色。绝大多数胚体出膜,胚体出膜后具备较强的平衡及运动能力,属于晚出膜型。肠管开始分化,螺旋状盘绕于腹内,由 0.5 圈渐增至 2.5 圈(图版 II:24 a、b)。

2.2.25 鳃盖完成期 鳃盖褶将左侧鳃丝完全包入其内,仅形成 1 个出水管孔与外界相通。口吸盘缩小变平,口内唇齿逐渐形成,唇齿式为 I:1-1 / I:1-1。肠管盘绕圈数逐渐增加到 3.5 圈以上,肛孔开通(图版 II:25a、b、c)。

2.3 发育时间 自然条件下,太行隆肛蛙早期胚胎发育总历时长达 470.18 h,接近 20 d,各时期经历时间有较大差异(表 1)。其中卵裂阶段各发育时期历时较短,而尾芽期、鳃血循环期和鳃盖褶形成阶段各发育时期历时较长。

2.4 发育温度 自然条件下,太行隆肛蛙在水温 11.0~18.0℃ 之间完成早期胚胎发育。

3 讨论

3.1 卵裂 太行隆肛蛙卵裂属于不等全裂,由于受精卵体积大、卵黄多且卵黄主要分布在植物极,因此卵裂开始时集中在动物极顶端,植物极分割滞后,直到囊胚早期才出现分割线,与峨嵋髭蟾(*Vibrissaphora boringii*)^[1]、雷山髭蟾(*V. leishanensis*)^[2]、棘腹蛙(*Paa boulengeri*)^[4]、棘胸蛙(*P. spinosa*)^[5]的卵裂方式相似。受精卵体积小、卵黄含量少的北方狭口蛙(*Kaloula borealis*)、四川狭口蛙(*K. rugifera*)、饰纹姬蛙(*Microhyla ornata*)、金线侧褶蛙(*Pelophylax plancyi*)、虎纹蛙(*Hoplobatrachus chinensis*)、黑

眶蟾蜍 (*Bufo melanostictus*), 虽然也是不等全裂, 但第一次卵裂沟直达植物极, 形成 2 个大小相等的分裂球^[6-11]。

3.2 出膜 大部分两栖动物行体外受精, 双亲缺少孵卵和育幼行为, 胚胎出膜的早晚将直接影响其对环境的适应能力。太行隆肛蛙胚胎出膜时间集中在右侧鳃盖闭合期, 与棘腹蛙^[4]和棘胸蛙^[5]的出膜时期相近, 胚胎出膜后即能在水中保持平衡并作短距离的游动, 具备了主动取食的能力, 属于晚出膜类型。大部分的无尾两栖类胚胎在鳃血循环期出膜^[6-8, 12-13], 有的则早至肌肉效应期^[14-15]和尾芽期^[1-2, 11, 16-17], 出膜后的胚体尚未开口, 无平衡、运动和主动摄食能力, 应属于早出膜类型。虽然影响胚胎出膜早晚的机制尚不能确定, 但对于适应溪流生活的太行隆肛蛙、棘腹蛙和棘胸蛙胚胎来说, 溪流环境对出膜后的胚体存在较大的选择压力。胚体出膜时期越晚发育越完善, 平衡和运动能力越能得到加强, 胚体在出膜后即具备主动取食和躲避敌害的能力, 可提高其在低温、溪流环境中的适应性和存活率。

3.3 早期胚胎发育的生态适应性 无尾两栖类繁殖习性、卵径大小、早期胚胎发育时间是物种对栖息环境长期适应的进化结果。太行隆肛蛙繁殖期在 4 月份, 卵径 4.23 mm, 在水温 11.0 ~ 18.0℃ 自然条件下, 需要约 20 d (470.18 h) 完成早期胚胎发育。峨嵋髭蟾 (卵径 3.7 mm) 的繁殖期在 2 月下旬至 3 月上旬, 在 9.0 ~ 18.5℃ 的室内条件下, 早期胚胎发育需要 36 d^[1]。雷山髭蟾 (卵径 3.7 mm) 的繁殖季节是 11 月, 在水温 4.5 ~ 13.0℃ 的条件下, 早期胚胎发育 116 d, 需要越冬^[2]。西藏齿突蟾 (*Scutiger boulengeri*) (卵径 3.0 mm) 繁殖季节为 5 月下旬, 在水温 6.0 ~ 9.0℃ 野外条件下, 早期胚胎发育需要 40 d^[17]。这些营山溪生活的无尾两栖类, 卵群产在山溪的石块下或石缝间^[22], 隐蔽的产卵环境是蛙类对低温条件下长时间早期胚胎发育的生态适应, 而大卵径高卵黄量则为胚胎发育提供了充足的能量。

对于一些繁殖期在春末夏初, 卵群产在开

阔的水域或临时性积水中的蛙类来说, 较小的卵径、较高的水温和较快的早期胚胎发育速度, 可有效减少卵块被天敌发现的危险, 避免水分蒸发干涸造成的危害。竹叶臭蛙 (*Odorrana versabilis*) (卵径 2.5 mm) 在水温 20.0 ~ 24.0℃ 下, 早期胚胎发育需要约 9 d (226 h)^[18]; 沼水蛙 (*Hylarana guentheri*) (卵径 1.45 mm) 在 (24.0 ± 1.0)℃ 的室内条件下, 需要约 8 d (187.5 h)^[14]; 金线侧褶蛙 (卵径 1.7 mm) 在常温 21.5 ~ 24.0℃ 下, 约需 7 d (170.95 h)^[9]; 虎纹蛙 (卵径 1.44 mm) 在水温 18.0 ~ 23.0℃ 的室内条件下, 约需 5 d (126 h)^[10]; 四川狭口蛙在水温 (26.0 ± 0.5)℃ 情况下, 只需 45.5 h 即完成早期胚胎发育^[7]。

致谢 河南省太行山猕猴国家级自然保护区对本研究提供大力支持和帮助, 研究生应浩、梁俊波及本科生李特锋、时舰兵等同学参与部分实验, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 费梁, 叶昌媛, 王朝芳. 峨嵋髭蟾早期胚胎发育的初步观察. 动物学杂志, 1987, 22(6): 18-22.
- [2] 费梁, 王朝芳, 叶昌媛. 雷山髭蟾早期胚胎发育及其适应性的研究. 动物世界, 1985, 2(3/4): 189-198.
- [3] 张忠如, 唐振杰, 黄丽转. 瑶山髭蟾早期胚胎发育观察研究. 广西师范大学学报: 自然科学版, 1992, 10(1): 79-84.
- [4] 李文健. 棘腹蛙早期胚胎发育与分期的研究. 生命科学研究, 1998, 2(2): 132-137.
- [5] 虞鹏程, 林光华. 棘胸蛙早期胚胎发育的初步观察. 水生生物学报, 1995, 19(3): 216-222.
- [6] 李宗云, 孙建梅, 胡斌, 等. 北方狭口蛙早期胚胎发育的初步观察. 动物学杂志, 1998, 33(5): 4-8.
- [7] 费梁, 叶昌媛. 四川狭口蛙早期胚胎发育的初步观察. 两栖爬行动物学报, 1983, 2(1): 41-48.
- [8] 耿宝荣, 温青, 张秋金. 饰纹姬蛙的早期胚胎发育. 动物学杂志, 1996, 31(5): 17-21.
- [9] 韩耀平, 卢祥云. 金线蛙早期胚胎发育的初步观察. 动物学杂志, 2001, 36(1): 6-11.
- [10] 耿宝荣, 陈友铃, 张秋金, 等. 虎纹蛙的早期胚胎发育. 福建师范大学学报: 自然科学版, 1999, 15(4): 85-90.

- [11] 叶瑞琼, 洪小峰, 陈小舟. 黑框蟾蜍早期胚胎发育的分期. 两栖爬行动物学报, 1986, 5(3): 185-188.
- [12] 徐大德, 李军, 李方满. 斑腿泛树蛙早期胚胎发育的研究. 四川动物, 2007, 26(3): 647-651.
- [13] 王寿兵, 张思路, 屈云芳, 等. 辽宁产中国林蛙早期胚胎发育研究. 复旦学报: 自然科学版, 1996, 35(2): 163-169.
- [14] 邹佩贞, 温彩燕, 徐剑, 等. 沼水蛙早期胚胎发育的初步研究. 动物学杂志, 2001, 36(6): 15-19.
- [15] 王延斌, 刘代军, 肖明军. 威宁趾沟蛙早期胚胎发育的观察. 四川动物, 2007, 26(2): 379-381.
- [16] 赵振芳. 花背蟾蜍早期胚胎发育的初步观察. 动物学杂志, 1991, 26(2): 11-16.
- [17] 宋志明, 欧阳峰. 西藏齿突蟾早期胚胎发育. 两栖爬行动物学报, 1985, 4(1): 17-24.
- [18] 耿宝荣, 温青, 蔡明章. 竹叶蛙的早期胚胎发育. 福建师范大学学报: 自然科学版, 1997, 13(1): 81-85.
- [19] 费梁, 胡淑琴, 叶昌媛, 等. 中国动物志: 两栖纲: 下卷. 北京: 科学出版社, 2009, 1429-1442.
- [20] Gosner K L. A simplified table for staging Anuran embryos and larvae. *Herpetologica*, 1960, 16: 183-190.
- [21] Shumway W. Stage in the normal development of *Rana pipiens*. *Anat Rec*, 1940, 78: 139-147.
- [22] 费梁, 胡淑琴, 叶昌媛, 等. 中国动物志: 两栖纲: 中卷. 北京: 科学出版社, 2009, 266-291.

图版 I 说明

1. 受精卵期; 2. 2细胞期; 3. 4细胞期; 4. 8细胞期; 5. 16细胞期; 6. 32细胞期; 7. 囊胚早期; 8. 囊胚中期; 9. 囊胚晚期; 10. 原肠早期; 11. 原肠中期; 12. 原肠晚期; 13. 神经板期; 14. 神经褶期; 15. 胚胎转动期; 16. 神经管期; 17. 尾芽期; 18 a. 肌肉效应期, 背面观。

Explanation of Plate I

1. Fertilized egg stage; 2. 2-cell stage; 3. 4-cell stage; 4. 8-cell stage; 5. 16-cell stage; 6. 32-cell stage; 7. Early-blastula stage; 8. Mid-blastula stage; 9. Late-blastula stage; 10. Early-gastrula stage; 11. Mid-gastrula stage; 12. Late-gastrula stage; 13. Neural plate stage; 14. Neural folds stage; 15. Rotation stage; 16. Neural tube stage; 17. Tail bud stage; 18 a. Muscular response stage, dorsal view.

图版 II 说明

18 b. 肌肉效应期, 侧面观; 19. 心跳期; 20. 鳃血循环期; 21. 开口期; 22. 尾血循环期; 23 a. 鳃盖褶期, 腹面观; 23 b. 鳃盖褶期, 背面观; 24 a. 右侧鳃盖闭合期, 腹面观; 24 b. 右侧鳃盖闭合期, 背面观; 25 a. 鳃盖完成期, 腹面观; 25 b. 鳃盖完成期, 侧面观; 25 c. 鳃盖完成期, 背面观。

Explanation of Plate II

18 b. Muscular response stage, lateral view; 19. Heart beat stage; 20. Gill circulation stage; 21. Mouth open stage; 22. Tail fin circulation stage; 23 a. Operculum fold stage, ventral view; 23 b. Operculum fold stage, dorsal view; 24 a. Right operculum close stage, ventral view; 24 b. Right operculum close stage, dorsal view; 25 a. Operculum completion stage, ventral view; 25 b. Operculum completion stage, lateral view; 25 c. Operculum completion stage, dorsal view.

陶 娟等:太行隆肛蛙的早期胚胎发育及生态适应性

图版 I

TAO Juan *et al.*: The Early Embryonic Development and Ecological Adaptation of
Feirana taihangnicus

Plate I



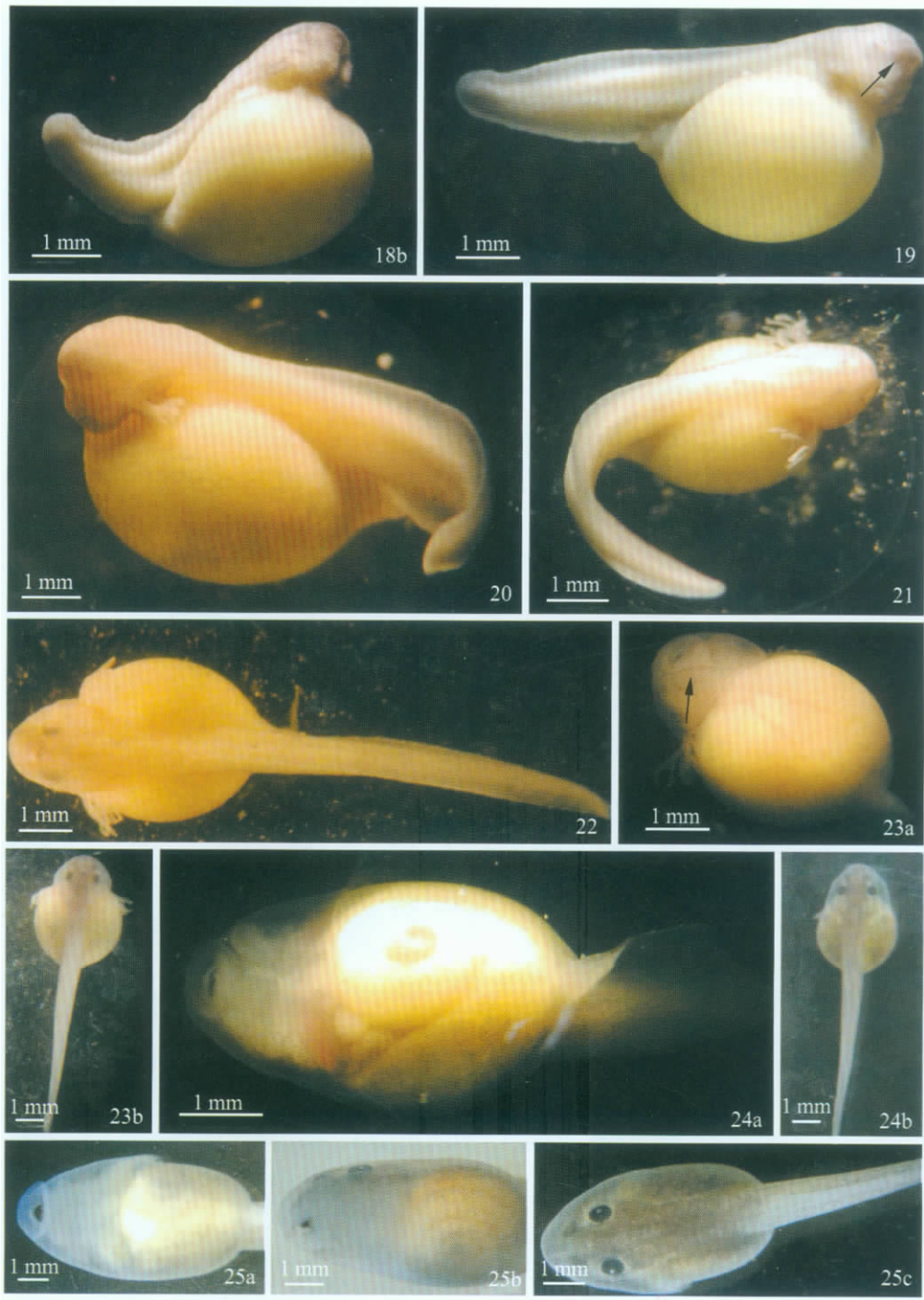
图版说明见文后

陶娟等:太行隆肛蛙的早期胚胎发育及生态适应性

图版 II

TAO Juan *et al.*: The Early Embryonic Development and Ecological Adaptation of *Feirana taihangnicus*

Plate II



图版说明见文后