

温度对饰纹姬蛙蝌蚪生长的影响

王守红^{①②} 李豪^③ 刘露莎^① 张兴其^③ 江建平^{①*}

① 中国科学院成都生物研究所 成都 610041; ② 中国科学院大学 北京 100049; ③ 四川师范大学生命科学院 成都 610086

摘要: 为揭示温度对饰纹姬蛙 (*Microhyla fissipes*) 蝌蚪生长的影响, 将同一家系发育至 28 期的 45 只蝌蚪随机均分为 3 组, 每组 15 只, 分别置于水温 25、28、30 °C 条件下饲养, 测定其全长、体宽、眼距、吻长及头体长 5 项形态指标, 分析不同温度下各项形态指标的变化。结果显示, 5 项形态特征有基本一致的变化趋势, 其中全长最易表征蝌蚪的生长状况。从全长看, 25 °C 组蝌蚪生长发育缓慢, 但在 12 d 后有加快的趋势; 30 °C 组在饲养第 3 ~ 12 d, 生长最迅速 (增长率 $\beta = 50.05\%$), 但在 12 d 后生长明显变缓 ($\beta = 9.42\%$), 而到 28 d 时, 已有较多蝌蚪死亡 (5/15); 28 °C 组的蝌蚪生长发育态势最好, 且在饲养第 28 d 均超过 30 °C 组, 其在 3 d 后加快的生长趋势也强于 25 °C 组。其他 4 项指标与全长有类似的结果。综合结果分析表明, 30 °C 下蝌蚪在后期 (21 d 后) 的成活率明显降低, 而 25 °C 下其生长缓慢, 提示 28 °C 是饰纹姬蛙蝌蚪比较适合的饲养温度。

关键词: 饰纹姬蛙; 蝌蚪; 生长; 温度

中图分类号: Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2018) 02-191-07

Effect of Temperature on Growth of *Microhyla fissipes* Tadpole

WANG Shou-Hong^{①②} LI Hao^③ LIU Lu-Sha^① ZHANG Xing-Qi^③ JIANG Jian-Ping^{①*}

① *Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041*; ② *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*; ③ *College of Life Science, Sichuan Normal University, Chengdu 610086, China*

Abstract: Environment factors affect many larval amphibian traits, including larval growth, development, and time to metamorphosis. Temperature is found to be a key factor in the growth larval among all the environment factors. To uncover the effect of temperature on tadpole growth of *Microhyla fissipes*, adults *M. fissipes* collected from Shuangliu, Chengdu, China (30°34'57"N, 103°50'38"E) were used in this work and induced breeding with Luteinizing Hormone Releasing Hormone analogue hormones (LHRHa, dosage: 0.3 µg/g body weight) in laboratory. Forty-five full-sib family tadpoles of stage 28 (stages according to Wang et al. 2017) were randomly and averagely divided into three groups and raised at water temperature (WT) 25 °C, 28 °C and 30 °C, respectively. Five morphological measurements (Fig. 1) including total length (TOL), body width (BW), interocular space (IOS), snout length (SL) and snout-vent length (SVL) were measured by a stereo microscope with Mshot Image Analysis system (Mc50-N). We used one-way ANOVA and DUNCAN

基金项目 中国科学院重点部署项目 (No. KJZD-EW-L13), 国家自然科学基金项目 (No. 31471964);

* 通讯作者, E-mail: jiangjp@cib.ac.cn;

第一作者介绍 王守红, 女, 博士研究生; 研究方向: 两栖爬行动物学; E-mail: wangsh@cib.ac.cn.

收稿日期: 2017-09-05, 修回日期: 2018-01-12 DOI: 10.13859/j.cjz.201802004

test to analyze the data by the sigmaplot 13.0 software. The growth rate β (%) = (the ending data-beginning data) / beginning data \times 100%. Descriptive statistics was presented as mean \pm standard error, and the significance level was set at $P < 0.05$. The results showed that the five measured morphological characters had similar growth trend, of which TOL could be the dominant character to indicate the growth of tadpoles (Fig. 2). The TOL indicated that tadpoles under 25 °C grew slowest but presented quickening growth trend after 21 d; tadpoles under 30 °C grew fastest but presented slower growth trend after 12 d, and 5 tadpoles were died before end of feeding 28 d; tadpoles under 28 °C grew continuously fast and the TOL is longer than those under 30 °C at 28 d, also presented quickening growth trend after 21 d, which higher than that under 25 °C (Table 1). So, it could be concluded that the survival ratio of tadpoles under 30 °C decreased, tadpoles grow slower under 25 °C, and 28 °C is the best feeding temperature for tadpoles of *M. fissipes*.

Key words: *Microhyla fissipes*; Tadpoles; Growth; Temperature

两栖动物是动物资源的重要组成部分,近年来其种群数量在全球范围内持续锐减,一些种群已经灭绝或濒临灭绝(IUCN 2017)。据统计,在评估的中国两栖动物 408 种中,已有 1 种灭绝,1 种区域灭绝,受威胁的两栖动物共计达 176 种(江建平等 2016)。国内外学者对于引起两栖类种群数量下降因素做了许多调查研究,归纳为 6 类:栖息地退化或丧失、捕捉、污染、自然灾害与气候变化、物种内在因素以及种间影响(江建平等 2016)。在众多的影响因素中,气候变化即温度为关键因素之一,温度是一个影响生物形态、生理、行为和生存等重要的环境因子(Harkey et al. 1988, Álvarez et al. 2002, Gao et al. 2015, Smith et al. 2015)。环境温度可以通过影响变温动物的体温,进而影响动物的生理功能及行为表现(王立志 2014)。过高或过低的温度均会对其产生不利的影响,甚至导致其死亡(Ji et al. 2001)。因此探究温度对两栖动物胚胎及幼体生长发育的影响具有重要科学意义和保护实践指导作用(Walther et al. 2002, Rohr et al. 2010)。

饰纹姬蛙(*Microhyla fissipes*)隶属两栖纲(Amphibia)无尾目(Anura)姬蛙科(Microhylidae)姬蛙属,分布于东亚及东南亚地区(Matsui et al. 2005),国内主要分布于华东、华南、华北和西南部分地区(费梁等 2009)。饰纹姬蛙常栖息于水田、园圃和水坑附近的泥

窝、土穴缝隙或草丛中,常以白蚁和小型鞘翅目昆虫为食。其蝌蚪常在静水域的表层活动,吞食浮游生物(施林强等 2012)。饰纹姬蛙具有种群数量大,体形小,生存能力强,物种稳定,个体差异小,雌雄易分辨,产卵多,蝌蚪透明,一年多次产卵且繁殖期长(3~8月),性成熟较快,卵直径较大(0.8~1.0 mm)(费梁等 2012, Wang et al. 2017),以及二倍体(李树深 2006)等特点,使其在胚胎发育、适应性机制、人类疾病及环境健康等方面有着重要的研究价值(Liu et al. 2016)。

近年来,有关饰纹姬蛙的研究备受关注,研究涉及其胚胎发育图谱(Wang et al. 2017),求偶鸣声特征分析(韦力等 2013),急性毒性实验(薛清清等 2005, 郭赛男等 2014),繁殖特征及蝌蚪的反捕食行为(魏洁 2016),基于转录组研究其变态发育及肺发育等(Zhao et al. 2016, Liu et al. 2017)。但有关温度对饰纹姬蛙蝌蚪生长发育影响方面的研究却鲜见报道。徐梦阳等(2012)和我们前期预实验发现,在水温 22~25 °C 条件下,升温可促进饰纹姬蛙蝌蚪的生长和发育。但更高温度对其蝌蚪生长的影响还未见报道,是否会存在更合适的饲养温度?因此本实验设置 3 个饲养温度(25、28、30 °C),探讨其对饰纹姬蛙蝌蚪生长的影响,旨在探索饰纹姬蛙蝌蚪人工饲养的最适温度,进而为优化饰纹姬蛙的实验室繁育与饲养技术

体系提供温度方面的基础资料和理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

饰纹姬蛙繁殖亲本采自四川省成都市双流彭镇 (30°34'57"N, 103°50'38"E), 将成蛙带回实验室后, 选取健壮的雌雄蛙各一只配对, 通过对雌雄亲本腹腔注射促黄体生成素释放激素类似物 (luteinizing hormone releasing hormone analogue, LHRHa, 宁波市三生药业有限公司) 进行催产处理 (注射剂量按体重计为 0.3 μg/g), 然后置于模拟自然环境的塑料盒中 (用青苔、水草、砂石进行丰容, 水陆面积比为 3:2), 以待产卵。在室温 28 °C, 水温 26 °C 条件下, 12 h 左右获得受精卵。获得的受精卵置于水温 23~25 °C 条件下饲养, 饲养用水均为曝气的自来水, 待蝌蚪卵黄消失后 (第 27 期) 开始一直饲喂熟鸡蛋黄, 选取 28 期的蝌蚪用于实验。

1.2 实验方法

依据 Wang 等 (2017) 对饰纹姬蛙的分期标准, 待同一家系的蝌蚪发育至 28 期时, 每组随机选取 15 只蝌蚪放于透明塑料饲养盒 (长 × 宽 × 高为 220 mm × 125 mm × 135 mm) 中, 水深 80 mm。将盛有蝌蚪的饲养盒放于设好培养条件 (水温分别为 25、28、30 °C, 光周期

均为 12 L:12 D, 光照度均为 20%) 的人工气候箱中 (BIC-250, 上海博讯实业有限公司)。在每台气候箱中提前放置曝气水, 每隔 2 d 换一次水, 每次换去原来的 1/2, 加入提前放置的干净的曝气水, 并将水中的食物残渣以及排泄物及时用吸管吸出。饲养 3、12、21 和 28 d 时测量其形态指标, 测量时将待测蝌蚪置于洁净的培养皿中, 用连有 Mshot 成像分析系统软件 (Mc50-N, 广州明美科技有限公司) 的体视镜 (JSZ8T, 江南永新光学有限公司) 观察、拍照后立即放回对应的培养箱。用 Mshot 系统测量记录上述不同培养时间各温度下蝌蚪的形态指标 (图 1)。各长度的测量方法依据费梁等 (2005) 描述的方法进行。

全长 (total length, TOL): 自吻端至尾末端的长度。

头体长 (snout-vent length, SVL): 自吻端至肛门的长度。

体宽 (body width, BW): 体两侧最大的宽度。

眼间距 (interocular space, IOS): 两眼之间的最窄距离。

吻长 (snout length, SL): 自吻端至眼前角的长度。

1.3 数据处理方法

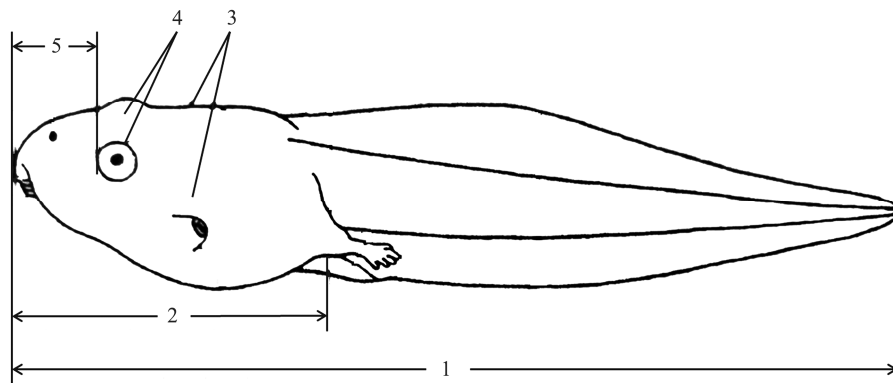


图 1 蝌蚪外形示意图

Fig. 1 External morphology of tadpole

1. 全长; 2. 头体长; 3. 体宽; 4. 眼间距; 5. 吻长。

1. Total length, TOL; 2. Snout-vent length, SVL; 3. Body width, BW; 4. Interocular space, IOS; 5. Snout length, SL.

所有数据用 sigmaplot 13.0 进行单因素方差分析 (one-way ANOVA) 及多重比较 (DUNCAN) 检验样本间的差异显著性, $P < 0.05$ 为差异显著水平。增长率 β (%) = [(试验末参数 - 试验初参数) / 试验初参数] \times 100% (王汉屏 2006), 文中所有描述性统计值使用平均值 \pm 标准误 (Mean \pm SE) 表示。

2 结果与分析

观测饰纹姬蛙蝌蚪的 5 项形态部位的增长结果统计见表 1。总体看, 它们的增长趋势相似 (图 2), 其中全长的增长量和增长率均最大, 因此其是最灵敏地表征蝌蚪生长状况的指标。

2.1 温度对蝌蚪全长的影响

表 1 不同温度下饰纹姬蛙蝌蚪的形态量度 (单位 mm)

Table 1 Morphological measurements of *Microhyla fissipes* tadpole under different temperature (Unit mm)

形态量度 Morphological measurements	时间 Time (d)	温度 Temperature (°C)		
		25	28	30
全长 Total length	3	7.01 \pm 0.31 ^a	7.18 \pm 0.60 ^a	7.83 \pm 0.23 ^b
	12	8.27 \pm 2.36 ^a	9.68 \pm 2.86 ^b	11.75 \pm 3.37 ^c
	21	9.94 \pm 2.96 ^a	11.91 \pm 4.15 ^b	12.86 \pm 3.97 ^b
	28	12.19 \pm 3.46	15.24 \pm 4.92	14.25 \pm 4.37
体宽 Body width	3	2.38 \pm 0.11	2.40 \pm 0.14	2.49 \pm 0.12
	12	2.42 \pm 0.28 ^a	2.73 \pm 0.29 ^b	3.06 \pm 0.33 ^c
	21	2.99 \pm 0.51	2.99 \pm 0.53	3.41 \pm 0.42
	28	3.38 \pm 0.69	3.64 \pm 0.62	3.21 \pm 0.50
眼间距 Interocular space	3	1.69 \pm 0.07 ^a	1.68 \pm 0.13 ^a	1.81 \pm 0.11 ^b
	12	1.80 \pm 0.18 ^a	2.03 \pm 0.23 ^b	2.27 \pm 0.26 ^c
	21	2.33 \pm 0.46	2.41 \pm 0.27	2.46 \pm 0.28
	28	2.57 \pm 0.60	2.67 \pm 0.52	2.38 \pm 0.37
吻长 Snout length	3	0.86 \pm 0.07 ^a	0.88 \pm 0.07 ^{ab}	0.92 \pm 0.05 ^b
	12	0.89 \pm 0.10 ^a	1.03 \pm 0.09 ^b	1.12 \pm 0.11 ^b
	21	1.05 \pm 0.31	1.12 \pm 0.18	1.25 \pm 0.14
	28	1.27 \pm 0.23	1.40 \pm 0.24	1.26 \pm 0.21
头体长 Snout-vent length	3	2.94 \pm 0.10 ^a	3.11 \pm 0.13 ^b	3.22 \pm 0.14 ^b
	12	3.11 \pm 0.28 ^a	3.60 \pm 0.33 ^b	4.08 \pm 0.30 ^c
	21	3.71 \pm 0.64 ^a	4.14 \pm 0.55 ^{ab}	4.37 \pm 0.62 ^b
	28	4.18 \pm 0.87	4.77 \pm 0.85	4.41 \pm 0.67

同行数据肩标小写字母完全不同的表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同小写字母或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

Different peer lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$), same lowercase letters or no letter mean no difference ($P > 0.05$).

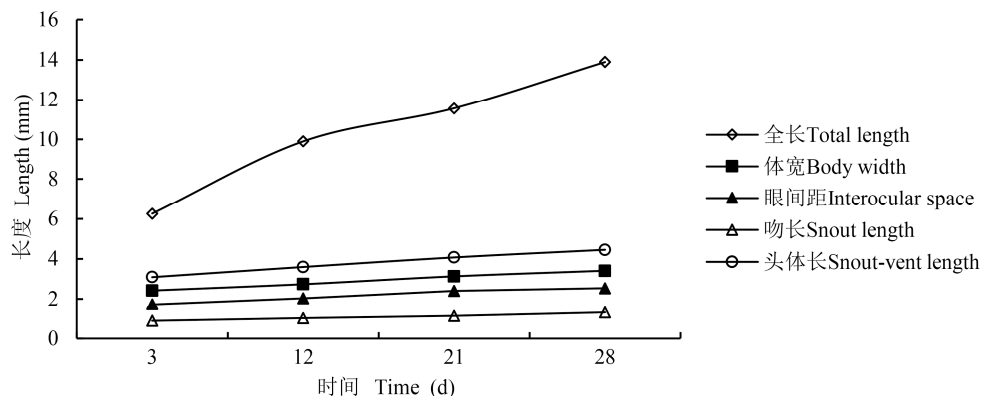


图 2 饰纹姬蛙蝌蚪 5 项形态指标随时间的增长趋势

Fig. 2 Growth trend of five morphological characters of *Microhyla fissipes* tadpoles

饲养第 3 天, 30 °C 组蝌蚪的全长显著高于 25 °C ($P < 0.01$) 和 28 °C ($P < 0.01$) 组, 而后 2 组间差异不显著 ($P > 0.05$); 饲养第 12 天, 3 组间蝌蚪的全长均存在显著差异, 30 °C 组蝌蚪的全长显著高于 28 °C 和 25 °C 组, 而 28 °C 组蝌蚪的全长显著高于 25 °C 组; 饲养第 21 天, 25 °C 组显著小于另 2 组, 而另 2 组之间差异不显著; 饲养第 28 d, 3 组间全长无显著差异 ($F_{2,27} = 2.709$, $P > 0.05$) (表 1)。从增长率看, 蝌蚪在饲养 3 ~ 12 d 期间, 25 °C 组全长增长较慢 ($\beta = 17.90\%$), 而 30 °C 组蝌蚪全长此期间增长迅速 ($\beta = 50.05\%$), 但在饲养 12 d 后, 其增长率降低 (12 ~ 21 d, $\beta = 9.42\%$; 21 ~ 28 d, $\beta = 10.88\%$)。28 °C 组蝌蚪全长增长较为迅速且稳定, 始终大于 25 °C 组, 饲养 28 d 时, 蝌蚪全长达 (15.24 ± 4.92) mm, 超过 30 °C 组的全长 (14.25 ± 4.37) mm, 成为 3 组中最长组。

2.2 温度对蝌蚪体宽的影响

蝌蚪饲养第 3 天, 不同温度组间体宽无显著差异 ($F_{2,42} = 3.102$, $P > 0.05$)。饲养第 12 天, 3 组间出现显著变化 ($F_{2,42} = 15.969$, $P < 0.01$), 表明温度对体宽的影响略有滞后。而饲养第 21 天, 3 组间显著性差异消失 ($F_{2,38} = 1.099$, $P > 0.05$) (表 1)。25 °C 组蝌蚪在饲养 3 ~ 12 d 期间, 体宽增长缓慢 ($\beta = 1.77\%$), 而在 21 ~ 28 d 期间变得迅速 ($\beta = 13.23\%$); 28 °C 组蝌蚪体宽增长较为稳定, 在饲养第 28 天达 (3.64 ± 0.62) mm, 超过 30 °C 组蝌蚪体宽 (3.21 ± 0.55) mm; 30 °C 组蝌蚪在饲养 3 ~ 12 d 期间, 体宽增长迅速 ($\beta = 22.81\%$), 而在 12 ~ 21 d 期间变缓 ($\beta = 11.62\%$), 在 21 ~ 28 d 期间, 增长率为负值 ($\beta = -5.95\%$), 暗示饰纹姬蛙蝌蚪不适宜长期在水温 30 °C 条件下饲养。

2.3 温度对蝌蚪眼间距的影响

饲养第 3 天, 30 °C 组蝌蚪的眼间距显著高于 25 °C 组 ($P < 0.01$) 和 28 °C ($P < 0.05$) 组, 而后 2 组间无显著差异 ($P > 0.05$); 饲养第 12 天, 3 组间均存在显著性差异; 但到饲养第 28 天,

显著性差异消失 ($F_{2,27} = 0.724$, $P > 0.05$) (表 1)。25 °C 组蝌蚪在饲养第 3 至第 12 天期间, 其眼间距增长较慢 ($\beta = 6.75\%$), 第 12 天至第 21 天, 增长加快 ($\beta = 29.20\%$); 28 °C 组蝌蚪眼间距增长速率稳定; 在饲养 3 ~ 12 d 期间, 30 °C 组蝌蚪眼距显著大于另外 2 组, 但到饲养第 28 天时, 30 °C 组眼间距变窄, 增长率为负值 ($\beta = -3.05\%$), 其与体宽变化趋势相似, 推测 30 °C 不适合为饰纹姬蛙长期的室内饲养温度。

2.4 温度对蝌蚪吻长的影响

饲养第 3 天, 30 °C 组蝌蚪的吻长显著大于 25 °C 组 ($P < 0.05$), 但与 28 °C 组差异不显著 ($P > 0.05$); 饲养第 12 天, 28 °C 组蝌蚪吻长显著大于 25 °C 组 ($P < 0.01$), 与 30 °C 组差异不显著 ($P > 0.05$); 饲养第 21 天和 28 天, 3 组间均无显著性差异 ($F_{2,27} = 1.020$, $P < 0.05$), 但 28 °C 组蝌蚪的吻长始终大于 25 °C 组 (表 1), 表明适当升温可以促进蝌蚪吻长的生长。而 30 °C 组随着饲养时间增长, 增长速率降低, 在饲养 21 ~ 28 d 期间, 吻长的增长趋于停止 ($\beta = 1.05\%$)。

2.5 温度对蝌蚪头体长的影响

饲养第 3 天, 30 °C 组和 28 °C 组的蝌蚪头体长均显著高于 25 °C 组 ($P < 0.01$), 而 30 °C 组和 28 °C 组之间差异不显著 ($P > 0.05$); 饲养第 12 天和 21 天, 3 组间差异均显著 ($F_{2,42} = 35.761$, $P < 0.01$), 但在饲养第 28 天, 组间差异不显著 ($F_{2,27} = 1.257$, $P > 0.05$) (表 1)。25 °C 组蝌蚪在饲养 3 ~ 12 d 期间, 头体长增长较缓慢 ($\beta = 5.84\%$)。饲养过程中, 28 °C 增长最稳定 [$\beta_{(3-12d)} = 15.62\%$, $\beta_{(12-21d)} = 14.88\%$, $\beta_{(21-28d)} = 15.37\%$], 且一直高于 25 °C 组。30 °C 组在饲养 3 ~ 12 d, 蝌蚪头体长增长较快 ($\beta = 26.73\%$), 但在饲养 12 d 后, 其增长减缓, 在 21 ~ 28 d 期间, 增长趋于停止 ($\beta = 0.83\%$)。

3 讨论与结论

水温对饰纹姬蛙蝌蚪的全长、体宽、眼间

距、吻长及头体长性状都有显著的影响。在 25 °C 条件下, 蝌蚪生长缓慢; 30 °C 组的蝌蚪在饲养 3 ~ 21 d 期间, 各项测量的形态指标都大于另外 2 组, 但在饲养 12 ~ 28 d 期间, 其生长速率降低甚至出现负增长。依照 Wang 等 (2017) 的分期标准, 第 32 期的饰纹姬蛙蝌蚪 (后肢长为宽的 1.5 倍, 膝关节明显) 眼间距、体宽应继续增长, 而本实验结果显示, 30 °C 组处于 32 期的蝌蚪眼间距及体宽增长减缓, 甚至出现变窄, 且在饲养第 28 天时, 有 5 只蝌蚪死亡, 占比达到 33.3%, 表明饰纹姬蛙蝌蚪在饲养短时间内虽然表现出对高温 (30 °C) 较强的适应性, 但随着饲养时间增长, 出现了负增长甚至死亡, 这与陈雯等 (2010) 高温使棘胸蛙胚胎发育出现畸形的结果类似。在饲养过程中, 28 °C 组蝌蚪生长状态最为稳定, 在饲养第 28 天, 其各项测量指标均超过 30 °C 组, 且在整个实验过程中均高于 25 °C 组, 表明饲养温度为 28 °C 时, 蝌蚪的生长状态更好, 这与施林强等 (2012) 研究饰纹姬蛙在 15 ~ 38 °C 水温下主动选择 28 °C 左右的温度相符合。

在本实验中, 与 28 °C 组蝌蚪生长状况相比较, 25 °C 组蝌蚪生长发育缓慢, 30 °C 组在饲养 3 ~ 12 d 期间发育较快, 之后生长发育减缓甚至出现负值。表明在同一饲喂水平、一定的温度范围内, 适当升温促进饰纹姬蛙蝌蚪的生长发育, 这与 Hadfield (1996)、陈雯等 (2010)、赵蒙蒙等 (2014) 研究结果相似; 但温度过高可导致蝌蚪处于应激状态, 表现为蝌蚪生长减缓, 甚至死亡 (刘莉等 2006, 王立志等 2007)。

综上所述, 水温 30 °C 下蝌蚪在后期 (21 d 后) 的成活率明显降低, 而 25 °C 下其生长缓慢, 28 °C 下蝌蚪的生长指标均优于另外 2 组温度下蝌蚪的生长指标, 提示 28 °C 是饰纹姬蛙蝌蚪比较适合的饲养温度。这将为优化饰纹姬蛙的室内饲养、繁育技术体系提供温度方面的基础资料和科学依据。

参 考 文 献

- Álvarez D, Nicieza A. 2002. Effects of temperature and food quality on anuran larval growth and metamorphosis. *Functional Ecology*, 16(5): 640–648.
- Gao X, Jin C N, Llusia D, et al. 2015. Temperature-induced shifts in hibernation behavior in experimental amphibian populations. *Scientific Reports*, 5: 11580.
- Hadfield S. 1996. Observations on body temperature and activity in the toad *Bufo woodhousei fowleri*. *Copeia*, 1996(3): 581–582.
- Harkey G A, Semlitsch R D. 1988. Effects of temperature on growth, development, and color polymorphism in the ornate chorus frog *Pseudacris ornate*. *Copeia*, 1988(4): 1001–1007.
- IUCN. 2017. The IUCN Red List of Threatened Species. Ver. 2017. 3. [EB/OL]. [2018-01-7]. <http://www.iucnredlist.org/>.
- Ji X, Du W G. 2001. The effects of thermal and hydric environments on hatching success, embryonic use of energy and hatchling traits in a colubrid snake, *Elaphe carinata*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 129(2): 461–471.
- Liu L S, Wang S H, Zhao L Y, et al. 2017. De novo transcriptome assembly for the lung of the ornamented pygmy frog (*Microhyla fissipes*). *Genomics Data*, 13(2017): 44–45.
- Liu L S, Zhao L Y, Wang S H, et al. 2016. Research proceedings on amphibian model organisms. *Zoological Research*, 37(4): 237–245.
- Matsui M, Ito H, Shimada T, et al. 2005. Taxonomic relationships within the Pan-Oriental narrow-mouth toad *Microhyla ornata* as revealed by mtDNA analysis (Amphibia, Anura, Microhylidae). *Zoological Science*, 22(4): 489–495.
- Rohr J R, Raffel T R. 2010. Linking global climate and temperature variability to widespread amphibian declines putatively caused by disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(18): 8269–8274.
- Smith G D, Hopkins G R, Mohammadi S, et al. 2015. Effects of temperature on embryonic and early larval growth and development in the rough-skinned newt (*Taricha granulosa*). *Journal of Thermal Biology*, 51(2015): 89–95.
- Walther G R, Post E, Convey P, et al. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 2002, 416(6879): 389–395.
- Wang S H, Zhao L Y, Liu L S, et al. 2017. A complete embryonic

- developmental table of *Microhyla fissipes* (Amphibia, Anura, Microhylidae). *Asian Herpetological Research*, 8(2): 108–117.
- Zhao L Y, Liu L S, Wang S H, et al. 2016. Transcriptome profiles of metamorphosis in the ornamented pygmy frog *Microhyla fissipes* clarify the functions of thyroid hormone receptors in metamorphosis. *Scientific Reports*, 6: 27310.
- 陈雯, 俞宝根, 郑荣泉, 等. 2010. 温度对棘胸蛙胚胎发育及蝌蚪表型特征的影响. *贵州农业科学*, 38(1): 108–110.
- 费梁, 胡淑琴, 叶昌媛, 等. 2009. 中国动物志: 两栖纲(中卷). 北京: 科学出版社, 904–910.
- 费梁, 叶昌媛, 黄永昭, 等. 2005. 中国两栖动物检索及图解. 成都: 四川出版集团四川科学技术出版社, 1–340.
- 费梁, 叶昌媛, 江建平. 2012. 中国两栖动物及其分布彩色图鉴. 成都: 四川科技出版社: 572–573.
- 郭赛男, 童美玲, 陈文君, 等. 2014. 烯唑醇·苯醚甲环唑和咪鲜胺锰盐对饰纹姬蛙蝌蚪的急性和联合毒性. *安徽农业科学*, 42(27): 9350–9353.
- 江建平, 谢锋, 臧春鑫, 等. 2016. 中国两栖动物受威胁现状评估. *生物多样性*, 24(5): 588–597.
- 李树深. 2006. 中国两栖动物细胞分类学. 北京: 科学出版社, 1–252.
- 刘莉, 李成, 李乃兵, 等. 2006. 不同水温条件下中华蟾蜍蝌蚪的表型可塑性研究. *四川动物*, 25(2): 214–217.
- 施林强, 赵丽华, 马小浩, 等. 2012. 泽陆蛙和饰纹姬蛙蝌蚪不同热驯化下选择体温和热耐受性. *生态学报*, 32(2): 465–471.
- 王汉屏. 2006. 温度对中国林蛙 (*Rana chensinensis*) 蝌蚪生长发育的影响. *陕西教育学院学报*, 22(4): 81–84.
- 王立志. 2014. 恒温 and 变温驯化对大蟾蜍蝌蚪热耐受性的影响. *生态学报*, 34(4): 1030–1034.
- 王立志, 李晓晨. 2007. 温度对中国林蛙卵孵化和孵出热耐受性的影响. *动物学杂志*, 42(1): 121–127.
- 韦力, 邵伟伟, 林植华. 2013. 饰纹姬蛙求偶鸣声特征分析. *动物学研究*, 34(1): 14–20.
- 魏洁. 2016. 同域分布饰纹姬蛙和泽陆蛙的繁殖特征及其蝌蚪反捕食行为. 杭州: 杭州师范大学硕士学位论文, 1–75.
- 徐梦阳, 徐剑. 2012. 粤北山区饰纹姬蛙胚后发育的初步观察. *四川动物*, 31(4): 589–592.
- 薛清清, 姚丹, 黄泽宇, 等. 2005. 杀虫剂敌敌畏和除草剂丁草胺对饰纹姬蛙蝌蚪的急性毒性实验. *四川动物*, 24(2): 209–212.
- 赵蒙蒙, 郑荣泉, 宋婷婷, 等. 2014. 饲料营养水平和温度对棘胸蛙蝌蚪变态发育的影响. *广东农业科学*, 41(20): 119–122.