

研究报告

浙江丽水中国石龙子卵孵化温度效应的进一步研究

陈雪君, 林植华, 计翔¹

(杭州师范学院 生命科学学院, 浙江 杭州 310036)

摘要: 在 3 个恒定温度 (24、30、32) 和 1 个自然波动温度 (22.0~36.2) 下孵化中国石龙子 (*Eumeces chinensis*) 卵。结果表明温度对孵化成功率和孵出幼体的疾跑速无影响, 对孵化期有显著影响; 24 和波动温度下孵出幼体的湿重和躯干重较大, 剩余卵黄干重较小 (即卵黄利用率较高); 32 高温对幼体形态发育有负面影响, 但卵在自然波动温度下 (包括短暂的高温相) 的成功孵化应视为该种进化适应的结果。

关键词: 中国石龙子; 孵化温度; 幼体特征; 温度波动

中图分类号: Q959.6; Q958.11; Q418 **文献标识码:** A **文章编号:** 0254 - 5853(2003)01 - 0021 - 05

Further Study on Effects of Temperature on Egg Incubation in Chinese Skinks, *Eumeces chinensis* at Lishui, Zhejiang

CHEN Xue-jun, LIN Zhi-hua, JI Xiang¹

(School of Life Sciences, Hangzhou Normal College, Hangzhou 310036, China)

Abstract: We incubated eggs of *Eumeces chinensis* at different temperature forms (constant at 24, 30 and 32 , and naturally fluctuating between 22.0 and 36.2) to assess the influence of incubation temperature on hatching success and hatchling traits. The duration of incubation varied considerably among temperature treatments, but the hatching success and the sprint speed of hatchlings did not differ. Incubation temperature significantly affected the size/shape, weight and residual yolk dry mass of hatchlings: the young incubated at 24 and fluctuating temperatures were heavier in wet body mass and carcass dry mass but lighter in residual yolk dry mass (i.e., higher use rate of yolk) than that at 30 and 32 . The high temperature (32) showed a negative effect on the development of somatic growth. That the fluctuation of temperature increased the range of incubation temperature suitable for this species should be viewed as a result of adaptation to natural environment.

Key words: *Eumeces chinensis*; Incubating temperature; Hatchling trait; Fluctuation of temperature

卵生爬行动物缺乏亲体孵卵行为, 孵化温度不仅影响孵化期、孵化成功率和胚胎畸形率 (Deeming & Ferguson, 1991; Overall, 1994), 还影响孵出幼体的形态特征和功能表现 (van Damme et al, 1992; Burger, 1998; Ji & Braña, 1999; Ji et al, 1999; Ji et al, 2002a, b; Braña & Ji, 2000; Pan & Ji, 2001; Zhang & Ji, 2002)。由于许多爬行动

物的野外产卵地点很难定位, 野外温度对卵孵化期、孵化成功率和孵出幼体的影响难以检测; 因此, 国内外同行多用恒温孵卵的方法来研究温度对爬行动物孵化卵和孵出幼体的影响。恒温孵卵的优点在于温度容易控制, 而且其作用容易检测; 但缺点是恒温通常不代表野外的真实情况。在自然条件下, 环境温度有昼夜变化和季节变化, 这种变化对

* 收稿日期: 2002 - 05 - 15; 接受日期: 2002 - 07 - 31

基金项目: 浙江省自然科学基金青年人才基金 (RC 97019); 浙江省 151 人才和杭州市 131 人才基金资助项目

1. 通讯作者 (Corresponding author), E-mail: xji@mail.hz.zj.cn

产在地表层或浅层的卵有十分显著的影响 (Castilla & Swallow, 1996)。虽然爬行动物的卵不能在存活孵化温度以外的高温或低温条件下孵化 (Vinegar, 1974), 但卵短期暴露在过高或过低的温度下, 并不一定会增加胚胎的死亡率 (Sexton & Marion, 1974; Overall, 1994; Shine & Harlow, 1996; Andrews et al, 1997)。由此我们猜测, 波动温度应该能够拓宽爬行动物卵的孵化温度的范围。

中国石龙子年产单窝卵, 雌体筑窝产卵并且与其他 *Eumeces* 属石龙子一样有母体护卵行为。这种护卵行为导致繁殖期表观性比显著偏向雄性 (Lin & Ji, 2000; de Fraipont et al, 1996)。Ji & Zhang (2001) 曾用 2 个恒定湿度 (0 和 - 220 kPa) 和 4 个恒定温度 (24、26、30 和 32) 组合, 孵化中国石龙子卵, 发现较大幅度的湿度变化对孵化卵和孵出幼体无显著影响, 而温度则对孵化期、胚胎的物质和能量利用以及被检测的幼体特征产生显著影响。本研究中, 我们用 3 个恒定温度和 1 个自然波动温度孵化中国石龙子卵, 进一步比较不同温度下的孵化成功率和孵出幼体特征, 重点评价波动温度孵卵的意义。

1 材料方法

中国石龙子于 2001 年 4 月 8 ~ 15 日捕自浙江丽水三岩寺, 带到杭州实验室, 经测量、称重、性别鉴定和剪趾标记后, 关养在户外 1.8 m × 1.5 m × 0.6 m 水泥池内。池底铺厚约 100 mm 的泥沙 (重量比为 1 份泥土 1 份细纱), 上覆草皮模拟野外生境条件, 提供足量黄粉虫 (*Tenebrio molitor*) 幼虫和饮水。石龙子能在池内进行自主体温调节、饮水并通过摄食获得充足的营养物质。5 月中旬以后注意观察母体的怀卵状态, 将已怀输卵管卵的母体从水泥池中移出, 单个关入有潮湿沙质基底的 200 mm × 150 mm × 250 mm 产缸内。母体于 6 月 15 ~ 30 日产卵, 共收集到 20 窝卵。

卵均在产后 6 h 内被收集, 经测量和称重后移入 250 mm × 150 mm × 40 mm、内含 - 12 kPa 孵化基质 (重量比为 1 份干蛭石 2 份水) 的孵化盒内, 孵化卵的 1/3 被埋在基质中。为减少水分蒸发速率同时确保胚胎正常呼吸, 孵化盒上覆穿孔的塑料薄膜。用 LRH-250G 型生化培养箱 (广东医疗仪器厂) 做 3 个温度 (24、30 和 32) 的恒温孵化。另外用约 400 mm 深的人工巢 (上覆木板, 周边有

300 ~ 400 mm 高的杂草) 做自然波动温度孵化; 巢内置 Tinytalk 温度数据记录块 (Gemini Pty, Australia) 每隔 1 h 自动记录 1 次, 6 月 15 日至 7 月下旬的纪录见图 1 (范围 22.0 ~ 36.2)。同窝卵尽可能分配在不同的孵化温度环境中。

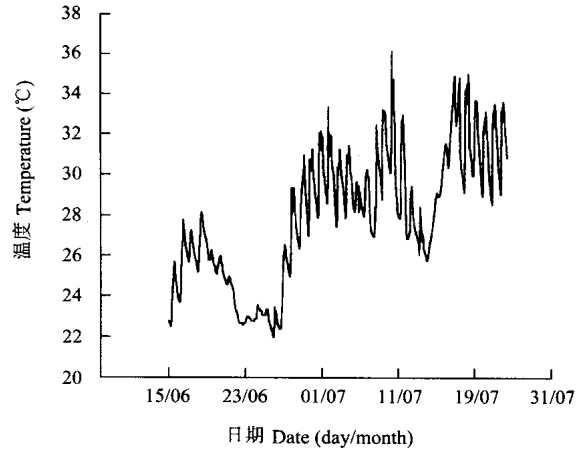


图 1 浙江丽水中国石龙子卵在自然波动温度孵化时经历的温度变化

Fig. 1 Natural changes in temperature experienced by incubating eggs of *Eumeces chinensis* at Lishui, Zhejiang

幼体出壳 1 h 内被收集和称重, 随后测定疾跑速。测定前, 用生化培养箱将幼体体温恒定为 30 , 该体温在成体疾跑速的适宜体温范围内。用 Panasonic NV - DS77 数码摄像机记录被强烈驱赶 (但不推动) 的幼体在 2 000 mm × 100 mm × 150 mm 木质跑道中的运动表现, 每条幼体重复测定 2 次。疾跑速用 2 次测定中幼体跑过 250 mm 的最大速度表示。部分幼体在跑道上表现不佳 (如中途折返等), 对应数据不用于进一步的统计处理。测定完毕, 测量幼体体长 (snout-vent length, SVL)、尾长、头长 (外耳道前缘至吻端间距) 和头宽 (左右颌关节间距)。随后, 将幼体解剖分离成躯干 (含脂肪体) 和剩余卵黄, 65 烘干至恒重, 分别称出干重。数码磁带上的运动表现数据资料用 MGI VideoWave 软件 (MGI Software Corp., Canada) 读出, 该软件允许将数据转入计算机硬盘或刻入光盘, 记录时间精度为 0.01 s。

所有数据在做进一步统计检验前, 用 Kolmogorov-Smirnov 和 F-max 分别检验正态性和方差同质性。进行参数统计的数据均经 ln 转换。

2 结果

2.1 孵化期和孵化成功率

温度对孵化期有显著影响 ($F_{3,171} = 509.16$, $P < 0.001$)。孵化期随温度升高而缩短：30 组的孵化期比 24 的短 19.3 d, 32 组比 30 的短 1.9 d (表 1)。4 个温度处理组的孵化成功率无差异 ($G = 0.30$, $df = 3$, $P > 0.50$) (表 1)。

2.2 孵出幼体形态、重量和剩余卵黄

不同温度处理组中孵化卵的初始重量本身就

有显著差异 (表 2); 各组孵出幼体的湿重、干重、躯干干重和剩余卵黄干重均与初生卵重呈正相关 ($P < 0.01$)。以初始卵重为协变量的 ANCOVA 表明：孵化温度对幼体湿重、躯干干重和剩余卵黄干重有极显著的影响，对幼体干重有显著影响；24 和波动温度组孵出幼体的湿重和躯干干重大于 30 和 32 组，剩余卵黄干重则相反 (表 2)。

孵化温度显著影响孵出幼体的 SVL 和形态特

表 1 温度对浙江丽水中国石龙子卵孵化期和孵化成功率的影响
Table 1 Effects of temperature on incubating duration and hatching success in *Eumeces chinensis* at Lishui, Zhejiang

孵化温度 Incubating temperature ()	孵化卵数 Incubated eggs	孵化期 Duration of incubation (d)	孵化成功率 Hatching success (%)
24	38	40.4 ±0.4 (37.4 ~ 45.1)	81.6
30	42	21.1 ±0.3 (18.4 ~ 23.8)	78.6
32	43	19.2 ±0.1 (18.0 ~ 20.6)	83.7
22.0 ~ 36.2	88	26.8 ±0.3 (20.9 ~ 33.2)	85.2

表 2 温度对浙江丽水中国石龙子孵出幼体形态、重量和剩余卵黄干重的影响*

Table 2 Effects of temperature on the morphological trait, mass, and residual yolk dry mass of hatchlings in *Eumeces chinensis* at Lishui, Zhejiang*

	处理 Treatment				差异 Difference (F, P)
孵化温度 Incubating temperature ()	24	30	32	22.0 ~ 36.2	
样本数 Sample size	31	33	36	75	
初始卵重 Initial egg mass (mg)	710.5 ±8.4 ^a (626.3 ~ 824.5)	713.3 ±13.1 ^a (560.8 ~ 853.3)	661.2 ±11.6 ^b (569.0 ~ 913.5)	702.4 ±7.7 ^a (528.9 ~ 847.5)	$F_{3,171} = 4.77$, $P < 0.01$
幼体湿重 Hatchling wet mass (mg)	743.1 ±13.1 ^a (598.0 ~ 904.0)	711.3 ±12.6 ^b (577.0 ~ 835.9)	649.0 ±9.5 ^b (549.3 ~ 797.0)	722.8 ±8.0 ^a (549.0 ~ 846.5)	$F_{3,170} = 12.90$, $P < 0.001$
幼体干重 Hatchling dry mass (mg)	156.4 ±2.7 (128.9 ~ 193.6)	160.5 ±3.8 (116.6 ~ 201.0)	144.5 ±2.5 (109.7 ~ 173.3)	157.4 ±2.2 (107.4 ~ 199.3)	$F_{3,170} = 2.72$, $P < 0.05$
躯干干重 Carcass dry mass (mg)	131.4 ±3.2 ^a (88.2 ~ 166.3)	131.4 ±3.2 ^b (88.2 ~ 166.3)	117.8 ±1.9 ^b (88.3 ~ 140.2)	117.8 ±1.9 ^a (88.3 ~ 140.2)	$F_{3,170} = 15.29$, $P < 0.001$
剩余卵黄干重 Residual yolk dry mass (mg)	14.3 ±1.4 ^c (6.5 ~ 48.1)	29.1 ±2.3 ^a (8.2 ~ 56.2)	26.3 ±1.5 ^a (9.8 ~ 44.9)	20.6 ±1.1 ^b (4.8 ~ 47.2)	$F_{3,170} = 27.50$, $P < 0.001$
体长 Snout-vent length (mm)	30.2 ±0.2 ^a (26.4 ~ 32.6)	29.4 ±0.3 ^{ab} (24.9 ~ 31.5)	29.2 ±0.3 ^b (25.9 ~ 31.6)	30.2 ±0.2 ^a (25.7 ~ 33.0)	$F_{3,170} = 5.14$, $P < 0.01$
尾长 Tail length (mm)	37.8 ±0.4 ^{ab} (32.5 ~ 42.7)	37.7 ±0.5 ^a (28.5 ~ 42.3)	35.7 ±0.4 ^b (29.4 ~ 40.4)	38.7 ±0.3 ^a (31.6 ~ 43.2)	$F_{3,170} = 7.93$, $P < 0.001$
头长 Head length (mm)	7.6 ±0.04 ^a (7.2 ~ 8.2)	7.5 ±0.05 ^a (6.7 ~ 8.3)	7.3 ±0.04 ^b (6.7 ~ 7.7)	7.6 ±0.04 ^a (6.8 ~ 8.5)	$F_{3,170} = 10.35$, $P < 0.001$
头宽 Head width (mm)	5.4 ±0.03 ^a (4.9 ~ 5.9)	5.2 ±0.04 ^a (4.7 ~ 5.6)	4.9 ±0.03 ^b (4.6 ~ 5.2)	5.3 ±0.03 ^a (4.8 ~ 5.8)	$F_{3,170} = 28.08$, $P < 0.001$

* 初始卵重用方差分析。其他变量用协方差分析：初始卵重为幼体体长和称重变量 ANCOVA 的协变量；幼体体长为其他测量变量 ANCOVA 的协变量。上标不同的平均值差异显著 (Tukey 检验, $\alpha = 0.05$; $a > b > c$)。

* ANOVA for initial egg mass. ANCOVAs for other variables: initial egg mass was used as the covariate for hatchling SVL and weighing variables in ANCOVAs; hatchling SVL as the covariate for other measuring variables in ANCOVAs. Means with different superscripts differ significantly (Tukey's test, $\alpha = 0.05$; $a > b > c$).

征 (表 2)。以初生卵重为协变量的 ANCOVA 发现, 24 和波动温度组孵出幼体特定初始卵重的 SVL 总体上大于 30 和 32 组; 以孵出幼体 SVL 为协变量的 ANCOVA 发现, 24、30 和波动温度组孵出幼体特定 SVL 的头部大小 (头长和头宽) 和尾长总体上大于 32 组 (表 2)。

2.3 孵出幼体的运动表现

不同温度处理组孵出幼体疾跑速的实测值有显著差异 ($F_{3,130} = 4.06$, $P < 0.001$)。各组孵出幼体的疾跑速均与幼体 SVL 呈显著的正相关 (all $P > 0.05$), 即大个体的疾跑速大于小个体。以幼体 SVL 为协变量的 ANCOVA 去除 SVL 差异的影响后, 各温度组孵出幼体的疾跑速无显著差异 ($F_{3,129} = 2.60$, $P = 0.055$) (表 3)。

表 3 温度对浙江丽水中国石龙子孵出幼体 (体温 30) 疾跑速的影响
Table 3 Effects of temperature on sprint speed of hatchlings (body temperature 30) in *Eumeces chinensis* at Lishui, Zhejiang

孵化温度 Incubating temperature ()	样本数 Sample size	实测值 Observed values (cm/s) *	矫正值 Adjusted values (cm/s)
24	17	37.3 ±1.6 ^{ab}	35.7 ±1.4
30	20	40.4 ±2.1 ^{ab}	41.2 ±1.7
32	34	36.5 ±1.8 ^b	38.7 ±1.8
22.0 ~ 36.2	63	43.6 ±1.3 ^a	42.6 ±1.2

上标不同的平均值差异显著 (Tukey 检验, $\alpha = 0.05$; $a > b$)。

Means with different superscripts differ significantly (Tukey's test, $\alpha = 0.05$; $a > b$).

3 讨论

本研究中恒温孵化结果与 Ji & Zhang (2001)、Ji et al (2002a) 对浙江丽水产中国石龙子卵孵化的研究结果基本一致, 即: 3 个恒定温度的孵化期与前两者相同; 3 个恒定温度的孵化成功率差异不显著; 24 发育的胚胎对卵黄的利用最为充分; 32 孵出的幼体体长和头部都较小、剩余卵黄较多。上述结果的最后一点是所有曾被研究的有鳞类爬行动物的共同特点。这与胚胎卵黄利用不充分, 以及幼体躯干发育较差有关。本研究中, 3 个恒定温度孵出幼体的疾跑速无显著差异; 而 Ji & Zhang (2001) 报道, 32 孵出幼体疾跑速小于 24 ~ 30 的。

低温主要导致胚胎发育减缓或停滞, 持续将卵暴露在孵化临界低温下将导致胚胎死亡; 此外, 低温下孵化期长, 卵被天敌捕食的几率相对较高。因此, 低温将降低孵化成功率。高温虽然能加速胚胎的发育, 但是也会导致胚胎的死亡率和畸形率升高 (Deeming & Ferguson, 1991; van Damme et al, 1992; Ji & Braña, 1999; Ji & Du, 2001a, b; Ji et al, 2002b)。种内比较发现: 个体较大且头部较大的蜥蜴抵御天敌和获得食物的能力较强, 野外食物利用谱较宽; 个体较小且头部较小的蜥蜴适应性较低, 处于竞争的劣势地位 (Webb 1986; Garland et al, 1990; Braña & Ji, 2000; Ji et al, 2002b)。由

于 32 孵出的幼体体长和头部都较小, 因此 32 不是中国石龙子适宜的孵化温度; 而 24 也不是中国石龙子较为适宜的孵化温度, 此温度下的孵化期长、胚胎发育能耗大、孵出幼体当年越冬前的生长期短 (Ji & Zhang, 2001; Ji et al, 2002a)。不过我们认为, 丽水产中国石龙子卵恒温孵化的适宜温度范围应在 24 ~ 30 。

用恒温孵化卵并未提供与胚胎在野外发育经历的温度范围及其极限真正相关的、具有生态学意义的信息 (Overall, 1994)。美洲鬣蜥 (*Sceloporus undulatus*) 的卵在 6、15 和 20 恒温条件下不能孵出 (Sexton & Marion, 1974), 但将卵暴露在 8、11、14 或 17 低温中 5 d 再回复到 20 ~ 30 时, 则孵化成功率不变 (Andrews et al, 1997)。Overall (1994) 在另一种美洲鬣蜥 (*Sceloporus merriami*) 中发现: 每日将卵暴露在 37 中 1 ~ 3 h, 约有半数的卵能孵出; 而持续暴露在 37 的卵均不能孵出。因此, 孵化卵短期经历极端低温和高温, 不会导致胚胎死亡率的显著增高 (Andrews et al, 1997)。

人工巢址可视为“室外孵化箱”, 可以模拟室外温度的波动变化。22.0 ~ 36.2 的波动温度组虽然经历了在恒温条件下足以导致胚胎死亡、畸形或胚胎呼吸能耗显著增加的极端高温 (> 32 to max. 36.2) 和极端低温 (< 24 to min. 22.0) (Ji & Zhang, 2001; Ji et al, 2002a), 仍有与其他 3 个恒定温度组相同的孵化结果, 表明中国石

龙子孵化卵能够耐受短期的极端高温和低温。因此, 波动温度孵化的优点在于能够拓宽适宜孵化温度范围。虽然 32 °C 高温对幼体形态发育有负面影

响, 但卵在自然波动温度下 (包括短暂的高温相) 的成功孵化, 应视为该种进化适应的结果。

参考文献:

- Andrews RM, Qualls CP, Rose BR. 1997. Effects of low temperature on embryonic development of *Sceloporus lizards* [J]. *Copeia*, **1997**: 827 - 833.
- Braña F, Ji X. 2000. Influence of incubation temperature on morphology, locomotor performance, and early growth of hatchling wall lizards (*Podarcis muralis*) [J]. *J. Exp. Zool.*, **268**: 422 - 433.
- Burger J. 1998. Antipredator behaviour of hatchling snake: Effects of incubation temperature and stimulated predators [J]. *Anim. Behav.*, **56**: 547 - 553.
- Castilla AM, Swallow JG. 1996. Thermal dependence of incubation duration under a cycling temperature regime in the lizard, *Podarcis hispanica atrata* [J]. *J. Herpetol.*, **30**: 247 - 253.
- Deeming DC, Ferguson MWJ. 1991. Physiological effects of incubation temperature on embryonic development in reptiles and birds [A]. In: Deeming DC, Ferguson MWJ. *Egg Incubation, Its Effect on Embryonic Development in Birds and Reptiles* [M]. Cambridge: Cambridge University Press. 147 - 171.
- de Fraipont M, Clobert J, Barbault R. 1996. The evolution of oviparity with egg guarding and viviparity in lizards and snakes: A phylogenetic analysis [J]. *Evolution*, **50**: 391 - 400.
- Carland Jr T, Hankins E, Huey RB. 1990. Locomotor capacity and social dominance in male lizards [J]. *Functional Ecology*, **4**: 243 - 250.
- Ji X, Braña F. 1999. Influence of thermal and hydric environments on embryonic use of energy and nutrients, and hatchling traits, in the wall lizards (*Podarcis muralis*) [J]. *Comp. Biochem. Physiol.*, **124A**: 205 - 213.
- Ji X, Du WG. 2001a. Effects of thermal and hydric environments on incubating eggs and hatchling traits in the cobra, *Naja naja atra* [J]. *J. Herpetol.*, **35**: 186 - 194.
- Ji X, Du WG. 2001b. The effects of thermal and hydric environments on hatching success, embryonic use of energy and hatchling traits in a colubrid snake, *Elaphe carinata* [J]. *Comp. Biochem. Physiol.*, **129A**: 461 - 471.
- Ji X, Zhang CH. 2001. The effects of thermal and hydric environments on incubating eggs, hatching success, and hatchling traits in the Chinese skink (*Eumeces chinensis*) [J]. *Acta Zool. Sin.*, **47**: 250 - 259. [计翔, 章朝华. 2001. 水热环境对中国石龙子孵化卵、孵化成功率及孵出幼体特征的影响. *动物学报*, **47**: 250 - 259.]
- Ji X, Huang HY, Hu XZ, Du WG. 2002a. Geographic variation in female reproductive characteristics and egg incubation of Chinese skinks, *Eumeces chinensis* [J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, **13**: 680 - 684. [计翔, 黄红英, 胡晓忠, 杜卫国. 2002a. 中国石龙子雌体繁殖特征和卵孵化的地理变异. *应用生态学报*, **13**: 680 - 684.]
- Ji X, Qiu QB, Diong CH. 2002b. Influence of incubation temperature on hatching success, embryonic use of energy, and size and morphology of hatchlings in the oriental garden lizard, *Calotes versicolor* (Agamidae) [J]. *J. Exp. Zool.*, **292**: 649 - 659.
- Ji X, Xu XF, Lin ZH. 1999. Influence of incubation temperature on characteristics of *Dinodon rufonotatum* (Reptilia: Colubridae) hatchlings, with comments on the function of residual yolk [J]. *Zool. Res.*, **20**: 343 - 346. [计翔, 许雪峰, 林植华. 1999. 孵化温度对火赤链游蛇幼体特征的影响兼评剩余卵黄的功能. *动物学研究*, **20**: 343 - 346.]
- Lin ZH, Ji X. 2000. Food habits, sexual dimorphism and female reproduction of the skink (*Eumeces chinensis*) from a Lishui population in Zhejiang [J]. *Acta Ecol. Sin.*, **20**: 304 - 310. [林植华, 计翔. 2000. 浙江丽水中国石龙子的食性、两性异形和雌性繁殖. *生态学报*, **20**: 304 - 310.]
- Overall KL. 1994. Lizard egg environments [A]. In: Vitt LJ, Pians ER. *Lizard Ecology: Historical and Experimental Perspectives* [M]. Princeton, NJ: Princeton University Press. 51 - 72.
- Pan ZC, Ji X. 2001. The influence of incubation temperature on size, morphology, and locomotor performance of hatchling grass lizards (*Takydromus wolteri*) [J]. *Acta Ecol. Sin.*, **21**: 2031 - 2038. [潘志崇, 计翔. 2001. 孵化温度对白条草蜥孵出幼体大小、形态和运动表现的影响. *生态学报*, **21**: 2031 - 2038.]
- Sexton OJ, Marion KR. 1974. Duration of incubation of *Sceloporus undulatus* eggs at constant temperature [J]. *Physiol. Zool.*, **47**: 91 - 98.
- Shine R, Harlow PS. 1996. Maternal manipulation of offspring phenotypes via nest-site selection in an oviparous lizard [J]. *Ecology*, **77**: 1808 - 1817.
- van Damme R, Bauwens D, Braña F, Verheyen RF. 1992. Incubation temperature differentially affects hatching time, egg survival, and hatchling performance in the lizard *Podarcis muralis* [J]. *Herpetologica*, **48**: 220 - 228.
- Vinegar A. 1974. Evolutionary implications of temperature induced anomalies of development in snake embryos [J]. *Herpetologica*, **30**: 72 - 74.
- Webb PV. 1986. Locomotor and predator-prey relationships [A]. In: Feder ME, Lauder GV. *Predator-Prey Relationships: Perspectives and Approaches from the Study of Lower Vertebrates* [M]. Chicago: University of Chicago Press. 24 - 41.
- Zhang YP, Ji X. 2002. Further studies of egg incubation on red-banded wolf snakes, *Dinodon rufonotatum*, with comments on influence of hydric environments [J]. *Acta Zool. Sin.*, **48**: 51 - 58. [张永普, 计翔. 2002. 火赤链游蛇卵孵化的进一步研究兼评孵化水环境的影响. *动物学报*, **48**: 51 - 58.]