

439-445

Q954.4  
Q959.62

## 孵化温湿度对北草蜥孵化卵和孵出幼体的影响\*

林植华<sup>①</sup> 计翔<sup>②</sup>

(杭州师范学院生物学系 杭州 310036)

**摘要** 北草蜥 (*Takydromus septentrionalis*) 卵从孵化基质吸收水分导致质量增加。24℃湿度对孵化卵的终末质量无显著影响；26℃和28℃时，高湿度孵化的卵终末质量较大。孵化卵终末重与初始重呈正相关，终末卵重的差异部分地由初始卵重决定。温度对孵化期、孵化成功率及孵出幼体的大小、质量和疾跑速有显著影响；孵化期随孵化温度升高而缩短，24℃和26℃的孵化成功率显著高于更高温度的孵化成功率，较低温度孵出的幼体较大、较重。本研究设置的湿度对孵化期、孵化成功率及孵出幼体的大小、质量和疾跑速无显著影响。孵化温湿度与孵出幼体的性别无关。

**关键词** 北草蜥, 卵, 孵化, 孵出幼体, 疾跑速

**中图分类号** Q959.62

对蜥蜴种群生物学的研究主要集中在孵后或产仔后阶段。然而，在许多蜥蜴种群中，卵或胚胎的存活率决定了种群内实际新增的个体数。因此，研究影响卵或胚胎存活率的因子对了解蜥蜴种群动态十分重要。显然，温度和湿度是两个很重要的因子。孵化温度影响卵生爬行动物的孵化期和胚胎存活率 (Gutzke 等, 1987a; Packard 等, 1987)、孵出幼体的形态和大小 (Allsteadt 等, 1995; Congdon 等, 1995; Ferguson 等, 1982, 1983; Osgood, 1978; Phillips 等, 1990; Whitehead 等, 1990) 及幼体的生理、行为、生长和存活率 (Webb 等, 1989; Burger, 1990; van Damme 等, 1992)。孵化温度也影响一些种类的性别 (Bull, 1980; Packard 等, 1988)。爬行动物初生卵内水含量种间变异很大。与大型柔性卵相比，小型柔性卵内的初始水含量远不足以提供胚胎发育所需的量，其中胚胎能否存活更大程度地取决于孵化环境中水的可得性 (Ji 等, 1996b, 1997a, 1997b; Overall, 1994; Vleck, 1991)。因此，孵化湿度对小型柔性卵的影响尤其显著，除直接关系到胚胎存活与否外，还影响一些种类的孵化期、剩余卵黄和孵出幼体的大小等 (Dmi'el 等, 1993; Gutzke 等, 1987a, 1987b)。

关于爬行动物卵孵化的研究报道不少，但深入的研究仍然十分缺乏。本文将报道北草蜥 (*Takydromus septentrionalis*): ①孵化过程中卵大小的变化；②孵化温湿度对孵化期、孵化成功率、性比和幼体大小的影响；③孵出幼体疾跑速的孵化温湿度依赖性。研究得出的结果有助于完善爬行动物孵化生物学的有关理论。

\* 国家自然科学基金 (39270124) 和丽水地区科委资助项目

①现工作单位: 丽水师范专科学校化学系 ②通讯联系人

本文 1998 年 -01-04 收到, 1998-04-16 修回

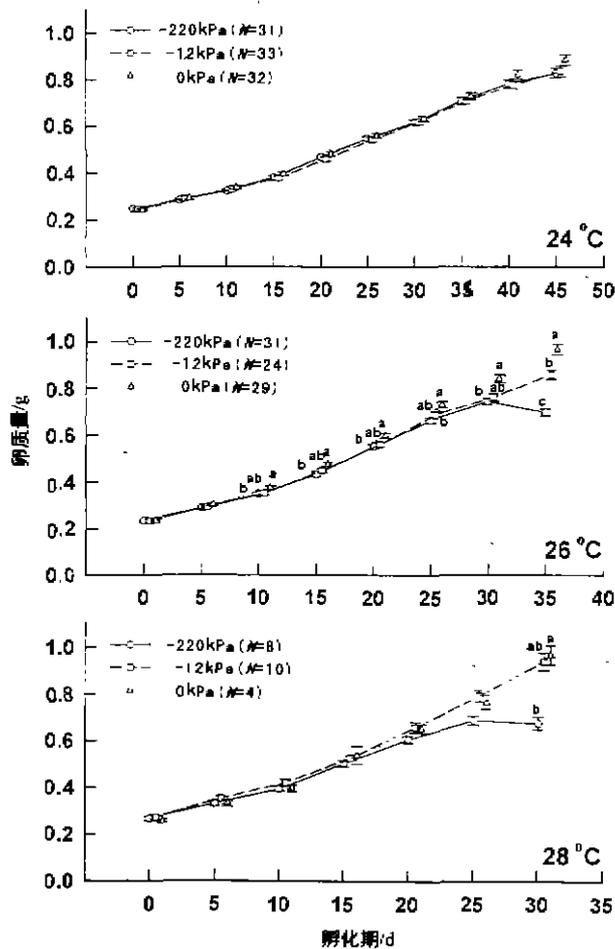


图1 孵化过程中卵重量变化

Fig.1 Variations in egg mass during incubation

数据用平均值±标准误差表示,不同上标的平均值差异显著(Tukey's 检验,  $\alpha = 0.05$ )。图中显示孵化温湿度和样本数 [data are expressed as mean  $\pm$  SE. Means with different superscripts are statistically different (Tukey's test,  $\alpha = 0.05$ ). Incubation temperature and humidity and sample sizes are indicated in the figure.]。

料薄膜, 安放在广东医疗仪器厂产 LRH-250A 型生化培养箱中, 每日调整圆罐在箱内的位置以减少相互间的温差。本研究共设置了 12 种孵化温湿度, 温度设置为 24、26、28、31 和 32℃。其中 24、26 和 28℃ 各设置 -220、-12 和 0 kPa 3 个湿度 (分别由干蛭石 vermiculite: 水 = 1:1、1:2 和 1:3 组成), 31℃ 和 32℃ 仅设置了 -12 kPa 湿度。每日向圆罐内加适量的水, 保持原有湿度; 每隔 5 日称卵重, 直至幼体孵出。26℃ 尚有一非湿度控制组 (UC), 凭经验使其中的蛭石潮湿但不含饱和水 (0 kPa)。

幼体出壳称重后测定疾跑速。测定前, 控制幼体体温至 30℃, 该体温为成体跑速的最适体温 (Ji 等, 1996a)。我们用 Panasonic M7 摄像机记录幼体在 1200 mm  $\times$  100 mm  $\times$

## 1 材料和方法

研究用的北草蜥亲体于 1996 年 3 月底捕自浙江丽水三岩寺。捕回的蜥蜴带回杭州实验室, 经测量、称重和鉴定性别后被关养在专用玻璃培养缸 (900 mm  $\times$  650 mm  $\times$  500 mm) 内。各缸内蜥蜴的总数不超过 12 条, 动物能在缸内自由取食足量的面包虫 (larvae of *Tenebrio molitor*), 接受自然光照。当环境温度低于 28℃ 时, 玻璃缸顶部的 100 W 灯泡被开启, 提供辅助热源, 保证蜥蜴能将体温调整到喜好温度 30℃ (Ji 等, 1996a)。定期在蜥蜴的饮水中添加德国产爬行动物专用复合微量元素 (NEKTON-REP<sup>®</sup>) 和儿童钙粉, 确保其营养需求。定期触摸判断雌体的怀卵状态, 怀有输卵管卵的雌体单个关入有潮湿沙质基底的产卵缸 (200 mm  $\times$  150 mm  $\times$  250 mm) 内。所有的卵均在产后 1 h 内被收集。卵经测量和称重后, 部分被解剖测试成分 (结果另文报道), 多数移入直径为 120 mm、内含不同湿度孵化基质的圆罐内。孵化卵的 1/3 埋在基质中, 同窝卵尽可能分配在不同的罐内。圆罐上覆穿孔的塑料薄膜, 安放在广东医疗仪器厂产 LRH-250A 型生化培养箱中, 每日调整圆罐在箱内的位置以减少相互间的温差。本研究共设置了 12 种孵化温湿度, 温度设置为 24、26、28、31 和 32℃。其中 24、26 和 28℃ 各设置 -220、-12 和 0 kPa 3 个湿度 (分别由干蛭石 vermiculite: 水 = 1:1、1:2 和 1:3 组成), 31℃ 和 32℃ 仅设置了 -12 kPa 湿度。每日向圆罐内加适量的水, 保持原有湿度; 每隔 5 日称卵重, 直至幼体孵出。26℃ 尚有一非湿度控制组 (UC), 凭经验使其中的蛭石潮湿但不含饱和水 (0 kPa)。

150 mm 跑道中的速度, 每条幼体重重复测定 2 次, 疾跑速用 2 次测定中幼体跑过 200 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), 对应的数据不用于进一步的统计处理。32℃ 孵出的幼体因被用于测试代谢率, 未作跑速测定。其他温湿度中孵出的幼体跑速测定后鉴定性别(雄幼体具有明显的半阴茎), 然后 65℃ 烘干至恒重。

所有数据在作进一步统计检验前, 用 Kolmogorov-Smirnov 和 F-max (Statistica 统计软件包) 分别检验其正态性和方差同质性。经检验, 用于参数统计的原始数据无需作任何转化。我们用 G 检验、方差分析、线性回归、协方差分析 (ANCOVA) 和 Post-hoc 比较 (Tukey's 检验) 等处理和比较相应的数据。文中的描述性统计值用平均值 ± 标准误表示。

## 2 结果

本研究中孵化成功的卵初始质量为  $(246.4 \pm 1.9)$  mg ( $N = 244$ ), 最小和最大卵质量分别为 152.4 和 346.0 mg。经统计检验, 各孵化条件中孵出的两性幼体的孵化期、特定初孵卵重的幼体体长、尾长、湿重和干重以及疾跑速无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 因此两性幼体的数据合并。

孵化过程中, 卵从孵化基质中吸收水分导致质量增加 (图 1)。24℃ 不同湿度中的孵化卵终末质量无显著差异, 26℃ 和 28℃ 孵化基质的湿度对孵化卵的终末质量有显著影响, 较高湿度基质中的孵化卵终末质量较大 (图 1)。表 1 显示 24、26 和 28℃ 不同湿度中孵化卵的初始质量均无显著差异, 因此 26℃ 和 28℃ 不同湿度中孵化卵终末质量的差异主要由卵从基质中吸水量的差异所致。由于孵化卵终末重与初始重呈正相关 ( $P < 0.05$ ), 终末卵重的差异部分地由初始卵重决定。

表 1 不同温湿度条件下孵化的北草蜥卵初始质量和终末质量

Table 1 The initial and final masses of eggs incubated in different thermal and hydic environments

温度 /℃	湿度 /kPa	样本数 /只	初始卵质量/mg	显著性	终末卵质量/mg	显著性
24	-220	31	248.5 ± 5.2 (201.2 ~ 312.5)	$F_{2,90} = 0.28$ $P = 0.76$	824.8 ± 21.1 (682.8 ~ 1148.4)	$F_{2,90} = 1.91$ $P = 0.15$
	-12	33	246.5 ± 5.5 (152.4 ~ 299.8)		832.5 ± 23.2 (572.5 ~ 1073.7)	
	0	32	243.2 ± 4.6 (175.1 ~ 294.8)		881.3 ± 22.7 (653.5 ~ 1274.4)	
26	-220	31	234.4 ± 4.5 (192.2 ~ 320.0)	$F_{2,81} = 0.02$ $P = 0.98$	697.7 <sup>a</sup> ± 14.8 (573.8 ~ 942.8)	$F_{2,81} = 55.44$ $P < 0.00001$
	-12	24	234.4 ± 5.4 (189.9 ~ 306.9)		858.2 <sup>b</sup> ± 19.7 (645.1 ~ 1029.6)	
	0	29	235.6 ± 4.8 (194.1 ~ 313.9)		966.3 <sup>a</sup> ± 21.9 (798.3 ~ 1236.2)	
28	-220	8	266.4 ± 8.3 (219.0 ~ 289.7)	$F_{2,19} = 0.61$ $P = 0.55$	676.1 <sup>b</sup> ± 27.1 (579.7 ~ 788.7)	$F_{2,19} = 20.81$ $P < 0.00002$
	-12	10	272.6 ± 8.3 (243.0 ~ 327.7)		940.1 <sup>ab</sup> ± 37.1 (849.6 ~ 1139.4)	
	0	4	257.3 ± 4.9 (249.2 ~ 270.1)		967.2 <sup>a</sup> ± 40.6 (881.0 ~ 1069.0)	
31	-12	8	279.3 ± 3.8 (257.2 ~ 295.0)		871.5 ± 73.2 (598.4 ~ 1259.7)	
32	-12	15	269.7 ± 8.9 (229.4 ~ 346.0)		940.8 ± 48.8 (723.6 ~ 1313.0)	

数据用平均值 ± 标准误(范围)表示, 不同上标的平均值之间差异显著 (Tukey's 检验,  $\alpha = 0.05$ ) [data are expressed as mean ± SE (range). Means with different superscripts are statistically different (Tukey's test,  $\alpha = 0.05$ )].

表 2 显示孵化期、孵化成功率和孵出幼体的性比。同一温度孵化期的变异相当小, 不同温度间孵化期差异显著 ( $F_{11,235} = 1460.51$ ,  $P < 0.0001$ ), 并随孵化温度升高而缩短。各温级中, 湿度对孵化期无显著影响。温度对胚胎存活率有显著影响, 24℃ 和 26℃ 的孵化成功率 (92.3% ~ 100%) 显著高于更高温度的孵化成功率 (33.3% ~ 83.3%); 同一温度中, 不同湿度对孵化成功率有一些影响, 但本研究设置的湿度对孵化成功率的影响并不明显。G-检验显示孵化温度 ( $G = 0.94$ ,  $df = 3$ ,  $P > 0.75$ ) 和湿度 ( $G = 3.04$ ,  $df = 2$ ,

$P > 0.10$ ) 对孵出幼体的性别无影响。

表 2 温湿度对北草蜥孵化期、孵化成功率和孵出幼体性比的影响

Table 2 The effects of incubation thermal and hydric environments on duration of incubation, hatching success and sex ratio of hatchlings

温度/℃	湿度/kPa	样本数/只	孵化期/d	孵化成功率/%	性比(雌/雄)
24	-220	31	48.4 <sup>a</sup> ±0.1 (47.0~49.9)	96.9 (31/32)	18/13
	-12	33	47.9 <sup>a</sup> ±0.1 (46.6~49.8)	100.0 (33/33)	15/18
	0	32	48.3 <sup>a</sup> ±0.2 (45.9~50.5)	100.0 (32/32)	21/11
26	-220	31	37.6 <sup>b</sup> ±0.1 (36.5~39.9)	100.0 (31/31)	14/17
	-12	24	37.8 <sup>b</sup> ±0.1 (36.0~38.9)	92.3 (24/26)	14/10
	0	29	37.7 <sup>b</sup> ±0.2 (36.5~41.0)	96.7 (29/30)	22/7
	UC	19	37.8 <sup>b</sup> ±0.1 (36.8~38.8)	95.0 (19/20)	10/9
28	-220	8	32.4 <sup>c</sup> ±0.2 (31.7~33.0)	66.7 (8/12)	3/5
	-12	10	32.7 <sup>c</sup> ±0.4 (30.8~35.1)	83.3 (10/12)	4/6
	0	4	32.9 <sup>c</sup> ±0.4 (31.9~33.8)	33.3 (4/12)	1/3
31	-12	8	27.1 <sup>d</sup> ±0.3 (25.8~28.5)	66.7 (8/12)	4/4
32	-12	15	26.7 <sup>d</sup> ±0.3 (25.0~28.0)	50.0 (15/30)	

孵化期数据用平均值±标准误(范围)表示,不同上标的平均值之间差异显著(Tukey's 检验,  $\alpha=0.05$ )  
the data on duration of incubation are expressed as mean±SE (range). Means with different superscripts are statistically different (Tukey's test,  $\alpha=0.05$ ).

孵出幼体体长、尾长和体重与孵化初始卵重呈正相关( $P < 0.05$ ),协方差分析显示孵化温度对孵出幼体的大小和质量有显著影响:24℃和26℃孵出的幼体个体较大,较重,28、31和32℃孵出的幼体较小,较轻,26℃孵出的幼体最大、最重(表3)。同一温度不同湿度中孵出幼体的大小和质量一般无显著差异。

孵出幼体大小(SVL)与疾跑速无显著相关性( $P > 0.05$ ),方差分析显示不同温度中孵出的幼体疾跑速差异显著( $F_{3,139}=25.12, P < 0.0001$ ),并随孵化温度升高而减小。24、26、28和31℃孵出的幼体疾跑速分别为 $888.6 \pm 25.4$  ( $N=60$ )、 $637.5 \pm 34.3$  ( $N=59$ )、 $498.6 \pm 42.9$  ( $N=15$ )和 $397.2 \pm 58.8$  ( $N=9$ ) mm/s。

### 3 讨论

本研究显著的结果是:孵化湿度仅对孵化卵的后期质量有影响,且这种影响仅限于26℃和28℃孵化的卵(表1、图1);孵化温度对孵化期、孵出幼体的大小和质量、孵出幼体的运动能力有显著影响(表2和表3);孵化温湿度对孵出幼体性比无影响(表2)。因28℃以上温度未设置多种湿度,故无法检验高温中湿度对孵化卵大小变化的影响。

基质湿度不被标准化的情况下,经验性保持基质潮湿能有效地提高早期胚胎的存活率。在标准湿度的基质中孵化的卵质量(或大小)的变化决定于卵与环境之间的水分交换。孵化卵能通过与其接触面和暴露的表面吸水或失水,导致质量的变化(Ji, 1992)。同所有产小型柔性卵的爬行动物一样,北草蜥初生卵内的储水量远低于胚胎发育的实际需求量,因此卵在孵化过程中必须从外界环境中吸收水分。缺水对早期北草蜥胚胎的致命影响尤其显著。随着发育,胚胎对水的需求量增大,表现为卵大小和质量持续增大。胚胎发育后期,卵内蓄积了一定量的水分,胚胎对环境短期缺水有一定的耐受性,表现为短期缺水对胚胎无致死影响。显然,孵化过程中卵质量的变化决定于胚胎对水分的

需求量(可能的主动吸水)和卵与环境之间的水势差(被动吸水或失水)。-220 kPa 基质较干燥,及时保持原有水势才能保证胚胎(尤其早期)的存活。-12 kPa 基质较潮湿,但无可见的表面水,这种基质能保证水分的持续供给和较好的通气性,因此对北草蜥卵是较合适的。0 kPa 基质含饱和水,有可见的表面水,这种基质虽然能提供胚胎足量的水,但通气性较差,孵化卵易发生霉变而导致胚胎死亡。24℃时湿度对终末卵重无显著影响,可能与该温度中较长的孵化期有关,在24℃孵化的卵有较长时间被动吸水,使不同湿度中孵化的卵终末重量趋同。

表3 孵出幼体大小和质量的协方差分析,初始卵质量为协变量

Table 3 An analysis of covariance on size and mass of hatchlings, with initial egg mass as the covariate

温度/℃	湿度/kPa	样本数/只	体长/mm	尾长/mm	体湿重/mg	体干重/mg
24	-220	31	24.1 <sup>ab</sup> ±0.2	48.3 <sup>bc</sup> ±0.7	296.4 <sup>bc</sup> ±4.4	54.2 <sup>c</sup> ±0.9
			21.6~26.8	38.5~55.2	246.0~339.9	43.4~63.8
	-12	33	23.9 <sup>b</sup> ±0.2	50.0 <sup>ab</sup> ±0.5	305.0 <sup>abc</sup> ±4.4	56.5 <sup>bc</sup> ±0.9
	0	32	21.5~25.5	44.2~54.0	225.8~348.2	39.7~67.4
			24.0 <sup>ab</sup> ±0.3	48.1 <sup>bc</sup> ±0.8	303.6 <sup>abc</sup> ±4.0	55.9 <sup>c</sup> ±0.9
	-220	31	18.7~26.3	34.0~54.1	248.8~352.0	43.3~64.4
26	-220	31	24.8 <sup>ab</sup> ±0.2	52.1 <sup>a</sup> ±0.5	305.7 <sup>ab</sup> ±4.0	60.8 <sup>c</sup> ±1.0
			22.4~26.3	47.3~57.4	260.4~348.9	50.1~74.4
	-12	24	24.8 <sup>ab</sup> ±0.2	53.0 <sup>a</sup> ±0.6	313.3 <sup>ab</sup> ±3.6	60.8 <sup>ab</sup> ±1.0
	0	29	22.8~26.4	45.6~58.7	280.9~336.0	50.6~69.4
			24.8 <sup>a</sup> ±0.2	51.7 <sup>a</sup> ±0.4	319.9 <sup>a</sup> ±3.8	60.8 <sup>ab</sup> ±0.9
	UC	19	23.3~26.9	47.0~55.1	271.8~370.6	51.4~73.3
28	-220	8	24.1 <sup>ab</sup> ±0.2	49.8 <sup>ab</sup> ±1.0	292.3 <sup>bc</sup> ±5.3	58.1 <sup>abc</sup> ±1.0
			21.3~26.4	46.2~56.0	243.7~338.1	53.4~69.9
	-12	10	23.0 <sup>bc</sup> ±0.5	44.9 <sup>abc</sup> ±1.6	271.4 <sup>c</sup> ±16.0	53.2 <sup>cd</sup> ±1.9
	0	4	20.6~24.6	34.9~49.7	194.2~326.7	43.7~61.9
			22.5 <sup>c</sup> ±0.4	43.0 <sup>cd</sup> ±1.7	289.1 <sup>bc</sup> ±9.8	51.4 <sup>d</sup> ±1.0
	UC	19	20.4~24.5	29.9~49.1	246.2~344.8	48.1~57.8
31	-12	8	23.0 <sup>bc</sup> ±0.4	43.6 <sup>bcd</sup> ±1.0	316.3 <sup>abc</sup> ±17.1	52.4 <sup>abcd</sup> ±2.3
			22.2~24.2	41.8~45.2	268.2~347.0	47.1~58.0
	UC	19	21.9 <sup>c</sup> ±0.7	39.8 <sup>c</sup> ±1.9	310.7 <sup>abc</sup> ±18.6	52.9 <sup>cd</sup> ±2.7
32	-12	15	18.2~24.3	32.5~48.4	252.6~437.2	46.2~66.6
			23.2 <sup>bc</sup> ±0.3	47.1 <sup>bcd</sup> ±0.9	292.8 <sup>ab</sup> ±8.0	
			20.8~25.0	42.8~54.6	261.3~361.4	

数据用矫正平均值±标准误和范围表示,设置初始卵质量为246.4 mg。上标不同的矫正平均值之间差异显著(Tukey's检验,  $\alpha=0.05$ ) [data are expressed as adjusted mean±SE and range. The initial egg mass is set to 246.4 mg. Adjusted means with different superscripts are statistically different (Tukey's test,  $\alpha=0.05$ )].

孵化期随孵化温度升高而缩短,但孵化期与温度之间并不呈线性负相关。24~28℃,温度每上升2℃,孵化期分别缩短10.5和5.0天;28~31℃孵化期缩短5.6天;31~32℃孵化期缩短0.4天(表2)。

28℃以上高温中孵化成功率较低,因为高孵化温度导致许多爬行动物胚胎畸形率或死亡率升高(Packard等,1988; van Damme等,1992)。然而,简单地将28℃以上较高的胚胎死亡率归因于较高的温度是不恰当的,因为孵化时的胚胎死亡率还可能与入孵卵内的胚胎是否存活有关。28~31℃孵化的卵是5月下旬以后收集的,其间白天气温经常高于

33℃, 卵在亲体输卵管内滞留期间完成受精和胚胎分化(王培潮, 1966), 曾受极端高温的影响。从受精到分化是爬行动物生命史上最脆弱的阶段, 极端的环境高温无疑会导致胚胎的早期死亡。由于入孵卵胚胎的存活与否从卵的外部形态无法判定, 要确定 28~31℃ 胚胎死亡率在孵化起始时占的比率是困难的。

由于孵化温度对孵出幼体的大小和重量有显著影响, 可以推断孵化过程中存在着卵内物质和能量收支的温度依赖性。28~32℃ 孵出的幼体个体小、重量轻(表 3), 提示高温中胚胎完成发育消耗的能量较多, 导致高温中特定大小的卵内孵出的幼体较小、较轻。有趣的是: 24℃ 和 26℃ 孵出的幼体大小相近, 但 26℃ 孵出的幼体较重(表 3)。24℃ 孵出的幼体可能比 26℃ 孵出的幼体发育更完全。已知爬行动物孵出幼体一般可以分为 3 个主要部分: 躯干、剩余卵黄和腹脂肪体。剩余卵黄内的物质能用于躯干的生长(Ji 等, 1997b), 低温中孵出的幼体一般较大、对剩余卵黄的利用较完全(Packard 等, 1988; van Damme 等, 1992)。故 24℃ 孵出的幼体较轻可能是较充分地利用了剩余卵黄的结果。24℃ 孵出的幼体比 26℃ 孵出幼体疾跑速快, 从侧面证实了前者的发育更完善。

显然, 在本研究设置的孵化温度范围内, 24℃ 和 26℃ 是最适合的孵化温度, 其中孵出的幼体个体大、运动能力强, 推测它们的生态适应能力强于更高温度中孵出的幼体, 并有更高的几率生存到性成熟。

### 参 考 文 献

- 王培潮, 1966. 杭州四种蜥蜴的生态研究 II. 繁殖. 动物学报, 8 (2): 170~185.
- Allsteadt J, Lang J W, 1995. Incubation temperature affects body size and energy reserves of hatchling American alligators (*Alligator mississippiensis*). *Physiol. Zool.*, 68: 76-97.
- Bull J J, 1980. Sex determination in reptiles. *Quat. Rev. Biol.*, 55: 3-21.
- Burger J, 1990. Effects of incubation temperature on behavior of young black racers (*Crotalus constrictor*) and kingsnakes (*Lampropeltis getulus*). *J. Herpetol.*, 24: 158-163.
- Congdon J D, Fischer R U, Gatten R E Jr, 1995. Effects of incubation temperature on characteristics of hatching American alligators. *Herpetologica*, 51: 497-504.
- Dmi'el R, Perry G, Belinsky A *et al*, 1993. The effects of hydric and thermal properties of incubation substrate on embryonic development in the water snake, *Natrix tessellata*. *Herpetol. J.*, 3: 60-64.
- Ferguson M J W, Joanen T, 1982. Temperature of egg incubation determines sex in *Alligator mississippiensis*. *Nature*, 296: 850-853.
- Ferguson M J W, Joanen T, 1983. Temperature-dependence sex determination in *Alligator mississippiensis*. *J. Zool.*, 200: 143-177.
- Gutzke W H N, Packard G C, 1987a. Influence of hydric and thermal environments on eggs and hatchlings of bull snakes *Pituophis melanoleucus*. *Physiol. Zool.*, 60: 9-17.
- Gutzke W H N, Packard G C, Packard M J *et al*, 1987b. Influence of the hydric and thermal environments on eggs and hatchlings of painted turtles (*Chrysemys picta*). *Herpetologica*, 43: 393-404.
- Ji X, 1992. Storage and utilization of energy and material in eggs in two lizard species, *Gekko japonicus* and *Takydromus septentrionalis*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 102A: 781-784.
- Ji X, Du W, Sun P, 1996a. Body temperature, thermal tolerance and influence of temperature on food assimilation and sprint speed in adult grass lizards, *Takydromus septentrionalis*. *J. Therm. Biol.*, 21 (3): 155-161.
- Ji X, Fu S, Zhang H *et al*, 1996b. Material and energy budget during incubation in a Chinese skink, *Eumeces chinensis*. *Amphibia-Reptilia*, 17: 209-216.
- Ji X, Sun P, Fu S *et al*, 1997a. Incubation and utilization of energy and material during embryonic development in the cobra *Naja naja atra*. *J. Herpetol.*, 31: 302-306.
- Ji X, Sun P, Fu S *et al*, 1997b. Utilization of energy and some nutrients in incubating eggs and post-hatching yolk in a colubrid snake, *Elaphe carinata*. *Herpetol. J.*, 7: 7-12.
- Osgood D W, 1978. Effect of temperature on the development of meristic characters in *Natrix fasciata*. *Copeia*, 33-37.

- Overall K L, 1994. Lizard ecology: Historical and experimental perspectives. Princeton, New Jersey: Princeton University Press. 51-72.
- Packard G C, Packard M J, Miller K *et al.*, 1987. Influence of moisture, temperature and substrate on snapping turtle eggs and embryos. *Ecology*, **68**: 983-993.
- Packard G C, Packard M J, 1988. Biology of the Reptilia. New York: Liss. 523-606.
- Phillips J A, Garel A, Packard G C *et al.*, 1990. Influence of moisture and temperature on eggs and embryos of green iguanas (*Iguana iguana*). *Herpetologica*, **46**: 238-245.
- Van Damme R, Bauwens D, Bran ñ F *et al.*, 1992. Incubation temperature differentially affects hatching time, egg survival and hatchling performance in the lizard *Podarcis muralis*. *Herpetologica*, **48**: 220-228.
- Vleck D, 1991. Egg incubation, its effect on embryonic development in birds and reptiles. Cambridge: Cambridge University Press. 245-259
- Webb G J W, Cooper-Preston H, 1989. Effects of incubation temperature on crocodiles and the evolution of reptilian oviparity. *Am. Zool.*, **29**: 953-971.
- Whitehead P J, Webb G J W, Seymour R S, 1990. Effect of incubation temperature on development of *Crocodylus johnstoni* embryos. *Physiol. Zool.*, **63**: 949-964.

## THE EFFECTS OF THERMAL AND HYDRIC ENVIRONMENTS ON INCUBATING EGGS AND HATCHLINGS OF THE GRASS LIZARD, *Takydromus septentrionalis*

LIN Zhi-hua JI Xiang

(Department of Biology, Hangzhou Normal College, Hangzhou 310036)

### Abstract

Pliable-shelled eggs of *Takydromus septentrionalis* increased in wet mass over the incubation due to absorbing water from the substrate. The levels of substrate moisture significantly influenced final masses of the eggs incubated at 26 and 28°C. Eggs gained more mass in wetter substrates than in drier substrates. In contrast to those at 26 and 28°C, final masses of the eggs incubated at 24°C were independent of the level of substrate moisture. Due to the positive relationship between final and initial egg masses seen in all cases, variations in final egg mass could be partly explained by the variation in initial egg mass. Within the range from 24 to 32°C, incubation temperature significantly influenced duration of incubation, hatching success, and size, mass, and sprint speed of hatchlings, with the eggs incubated at 24 and 26°C exhibiting higher hatching successes and producing larger, heavier, and faster-running hatchlings. Within the range from -220 to 0 kPa, incubation hydric environments had no impacts on duration of incubation, hatching success, and size, mass, and sprint speed of hatchlings. Incubation thermal and hydric environments did not determine sex in *T. septentrionalis*.

**Key words** *Takydromus septentrionalis*, Egg, Incubation, Hatchling, Sprint speed