

# 中华鳖新孵幼体的热耐受性、体温昼夜变化和运动能力的热依赖性\*

孙平跃<sup>1</sup> 徐晓寅<sup>2</sup> 陈慧丽<sup>2</sup> 计翔<sup>2\*\*</sup>

(<sup>1</sup> 宁波大学生命科学院海洋与水产系, 宁波 315211; <sup>2</sup> 杭州师范学院生命科学学院, 杭州 310036)

**【摘要】** 研究中华鳖新孵幼体的热耐受性、体温及温度对运动能力的影响。结果表明,在干燥和潮湿环境下,选择体温分别为 28.0 和 30.3;潮湿环境下,临界高温和低温分别为 40.9 和 7.8。在缺乏温度梯度的热环境中,水温对幼鳖体温的影响比气温更直接,体温和环境温度的昼夜变化相一致,说明幼鳖生理调温能力很弱。在有温度梯度的热环境中,幼鳖能通过行为调温将体温维持到较高且较恒定的水平,导致体温昼夜变化不明显。幼鳖运动能力有显著的热依赖性,在一定温度范围内随体温升高而增强。体温 31.5 时,幼鳖的运动表现最好,最大续跑距离、单位时间跑动距离和单位时间停顿次数分别为 1.87m、4.92m·min<sup>-1</sup>和 6.2 次·min<sup>-1</sup>。体温过高时,运动能力下降。当体温为 33.0 时,最大续跑距离、单位时间跑动距离和单位时间停顿次数分别为 1.30m、4.28m·min<sup>-1</sup>和 7.7 次·min<sup>-1</sup>。

**关键词** 中华鳖 选择体温 体温昼夜变化 临界高温 临界低温 运动能力

**文章编号** 1001-9332(2002)09-1161-05 **中图分类号** Q959.6+2 **文献标识码** A

**Thermal tolerance, diel variation of body temperature, and thermal dependence of locomotor performance of hatchling soft-shelled turtles, *Trionyx sinensis*.** SUN Pingyue<sup>1</sup>, XU Xiaoyin<sup>2</sup>, CHEN Huili<sup>2</sup>, JI Xiang<sup>2</sup> (<sup>1</sup> Department of Ocean and Fisheries, School of Life Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211; <sup>2</sup> School of Life Sciences, Hangzhou Normal College, Hangzhou 310036). -Chin. J. Appl. Ecol., 2002, 13(9): 1161 ~ 1165.

The thermal tolerance, body temperature, and influence of temperature on locomotor performance of hatchling soft-shelled turtles (*Trionyx sinensis*) were studied under dry and wet conditions, and the selected body temperature of hatchlings was 28.0 and 30.3, respectively. Under wet condition, the critical thermal maximum and minimum averaged 40.9 and 7.8, respectively. In the environments without thermal gradients, the diel variation of body temperature was highly consistent with the variation of both air and water temperatures, and the body temperature was more directly affected by water temperature than by air temperature, which implied that the physiological thermoregulation of hatchling *T. sinensis* was very weak. In the environments with thermal gradients, hatchling turtles could maintain relatively high and constant body temperatures, primarily through behavioral thermoregulation. The locomotor performance of hatchling turtles was highly dependent on their body temperature. Within a certain range, the locomotor performance increased with increasing body temperature. In our study, the optimal body temperature for locomotor performance was 31.5, under which, the maximum continuous running distance, running distance per minute, and number of stops per minute averaged 1.87 m, 4.92 m·min<sup>-1</sup>, and 6.2 times·min<sup>-1</sup>, respectively. The correspondent values at 33.0 averaged 1.30 m, 4.28 m·min<sup>-1</sup>, and 7.7 times·min<sup>-1</sup>, respectively, which indicated that the locomotor performance of hatchling turtles was impaired at 33.0. Therefore, extremely high body temperatures might have an adverse effect on locomotor performance of hatchling turtles.

**Key words** *Trionyx sinensis*, Selected body temperature, Diel variation of body temperature, Critical thermal maximum, Critical thermal minimum, Locomotor performance.

## 1 引言

爬行动物的许多生理功能和行为表现通常随体温的变化而变化。在临界低温 CTMin (critical thermal minimum) 以上,各项生理功能和行为表现随着体温升高而加强,但过高的温度会抑制动物的生理活动并显著影响其行为表现;极端高温对动物有致死性影响,持续将动物暴露在临界高温 CTMax

(critical thermal maximum) 及以上温度会导致所有生理和行为活动的终止<sup>[2,5,7-9,11,13-16,22]</sup>。各项生理功能和行为表现的最适温度、热敏感性和相对重要性有不同程度的差异。野外生活的爬行动物进行体温调节,其体温的设定点在很大程度上是动物对

\* 浙江省自然科学基金青年人才专项基金(RC97019)、浙江省 151 人才基金和杭州市跨世纪人才基金资助项目。

\*\* 通讯联系人。E-mail: xji@mail.hz.zj.cn

2000-11-17 收稿, 2001-01-08 接受。

各最适温度妥协的结果,使得各项生理功能和行为表现均能较好地表达。一般而言,爬行动物生理功能和行为表现的最适温度较接近 CTMax 而远离 CTMin。选择体温 Tsel (selected body temperature) 是在实验室具有温度梯度的热环境中测得的动物体温,用于估算野外动物试图通过体温调节达到的体温<sup>[2,17]</sup>。

动物能通过生理调温和行为调温两种途径调节体温,恒温动物生理调温能力显著,变温动物的生理调温能力通常较弱。野外活动的爬行动物通常具有较高且稳定的体温,行为调温是其体温调节的重要途径。在有温度梯度的热环境中,爬行动物能够通过趋近或躲避热源、姿势和选择活动时间等行为调温方式将体温调节到适宜的温度范围内。这已在许多实验中得到证实<sup>[5,13~15,22]</sup>,如野外生活的北草蜥 (*Takydromus septentrionalis*)<sup>[13]</sup>、中国石龙子 (*Eumeces chinensis*)<sup>[15]</sup> 和地中海岩蜥 (*Podarcis muralis*)<sup>[22]</sup>。

与蜥蜴类的相关研究比较,龟鳖类热生物学的研究较为缺乏。本文以中华鳖 (*Trionyx sinensis*) 新孵幼体为研究对象,着重报道 Tsel、CTMax 和 CTMin;体温的昼夜变化以及行为调温对维持体温相对恒定的重要性;以及温度对幼鳖运动表现的影响。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料和仪器

实验用中华鳖新孵幼体(简称幼鳖)来自杭州市郊五常养鳖场,平均体重为  $3.3 \pm 0.1\text{g}$  (1SE) ( $n = 40$ , 范围:1.8~4.3g),平均甲长  $\times$  甲宽为  $25.6 \pm 0.4 \times 23.9 \pm 0.3\text{g}$  (1SE) ( $n = 40$ , 范围:甲长 21.3~29.1mm,甲宽 19.3~27.2mm)。幼鳖于 2000 年 8 月 12 日~14 日孵出,孵出 5~6d 后开始进行实验。实验过程中,温度均用上海精华仪器厂生产的 RC-95 型电子点温计测定,精确至 0.1。幼鳖体温用广东医疗器械厂产 LRH-250 型生化培养箱控制,幼鳖运动能力用 Panasonic VX7 型摄像机拍摄。

### 2.2 试验设计

**2.2.1 Tsel、CTMax 和 CTMin 测定** 在干燥和潮湿的两种环境条件下分别测定选择体温。实验时将幼鳖置于 6 个体积(长  $\times$  宽  $\times$  高)为 500m  $\times$  300m  $\times$  300m 的玻璃缸内,每缸个体 6~8 只。玻璃缸底部铺一薄层细沙,沙层上覆石棉瓦和草皮。干燥环境缸内不添加水分;潮湿环境加水,水层液面略高于沙层,水层高度约 10mm。缸内微生境设置使实验幼鳖能自主接受或躲避热辐射。各缸一端悬挂一只 250W 白炽灯泡。灯泡发热可在缸内形成气温(基底以上 20mm)为 15~60 的连续温度梯度。灯泡于 6:00 时开启,温度梯度稳定 8~10h 后用点温计测定幼鳖的体温。每种环境条件下的实验

隔天重复一次,两天测定结果取平均值,选择体温为所有动物在对应环境条件下的平均体温<sup>[5,13~15]</sup>。因动物个体太小,无法测定其泄殖腔温度,本实验以动物后肢窝作为体温测定部位。

CTMax 和 CTMin 均在潮湿环境中测定。每次实验开始前,将动物在室温条件下饲养一天,期间动物能够自由取食蛋黄。实验时把盛动物的玻璃缸移入温度预置为 28 的生化培养箱内,温度按 1min 递增或递减 0.5 的速率向上或向下调节。CTMax 和 CTMin 的终点判定以动物在强烈刺激下不作出反映(不能眨眼、翻身和爬动)、动物移出培养箱后能逐渐恢复正常活动为标准<sup>[6,18]</sup>。测定 CTMax 时有 5 个个体在实验结束一周内死亡,对应数据不被用于统计分析。

**2.2.2 体温昼夜变化** 体温的昼夜周期变化分别在自然条件和实验室受控条件下进行。自然条件下,动物均处于室外天然环境中,以 3h 为间隔测定动物的体温,历时一昼夜。每次测量时同时记录体温、气温和水温。受控条件下,动物置于室温为 15~20 空调间内,各缸一端悬挂一只 250W 白炽灯泡,放热时提供气温为 15~60 的温度梯度。受控条件的实验在连续两昼夜内完成,间隔 4h 测定动物体温。第二昼夜每次测定时间与前一昼夜相差 2h。

**2.2.3 温度对运动能力的影响** 实验开始前,所有动物均在室温下饲养两天。实验按低温至高温顺序进行。每一温级下动物在生化培养箱内驯化 10h 左右,驯化室内光照周期为 14L:10D。动物运动能力的测定在周长为 1.92m 的环形跑道内进行,跑道底面粗糙,有间隔 240mm 的标记线。

各温级实验均在 10:00 时开始,2h 内结束。实验时始终由同一人强烈驱赶(但不推动)动物,另一人用摄像机追踪拍摄动物的运动表现,每一动物的拍摄时间为 90s。本研究用 3 项指标显示动物的运动能力,即单位时间跑动距离、单位时间停顿次数和最大续跑距离(不间断持续跑过的最大距离)。

### 2.3 数据处理

数据在作进一步统计检验前,用 Kolmogorov-Smirnov 和 Bartlett 分别检验正态性和方差同质性(Statistica 统计软件包)。经检验,部分数据需经 Log<sub>e</sub> 转化才符合参数统计条件。用 *t* 检验、线性回归、方差分析(ANOVA)和 Tukey 多重比较等处理相应的数据。全文中的描述性统计值用平均值  $\pm$  标准误表示。显著性水平设置在  $P = 0.05$ 。

## 3 结果与讨论

### 3.1 Tsel、CTMax 和 CTMin

中华鳖新孵幼体在干燥和潮湿环境下的选择体温分别为 28.0 和 30.3,两者之间有显著的差异( $t = 3.71$ ,  $df = 78$ ,  $P < 0.001$ )。在干燥环境下,Tsel 的个体间变异幅度为 11;在潮湿环境下,Tsel 的个体间变异幅度仅为 5。CTMax 和 CTMin 分别为 40.9 和 7.8 (表 1)。

由于发育状况、营养状况和性别等方面的个体

差异,即便同一种动物的  $T_{sel}$ 、 $CT_{Max}$  和  $CT_{Min}$  也会有所不同.因此,这些参数不是恒定的,并不反映特定种稳定的热生物学特性<sup>[12]</sup>.然而,比较不同种类或同一种类不同亚种间的  $T_{sel}$ 、 $CT_{Max}$  和  $CT_{Min}$  的差异是完全可行且具有重要的生态学意义.对杭州 4 种蜥蜴 [北草蜥、中国石龙子、蜓 (*Sphenomorphus indicus*) 和蓝尾石龙子 (*Eumeces elegans*)]  $T_{sel}$ 、 $CT_{Max}$  和  $CT_{Min}$  的测定结果表明,喜阴凉环境的蜓这 3 项指标明显低于喜干燥向阳环境的其他 3 种蜥蜴的对应指标<sup>[5,13~15]</sup>.这 4 种蜥蜴  $T_{sel}$ 、 $CT_{Max}$  和  $CT_{Min}$  的差异在一定程度上反映了它们在生境选择和行为模式等方面的差异.

表 1 中华鳖新孵幼体的选择体温、临界高温和临界低温  
Table 1 Selected body temperature ( $T_{sel}$ ), critical thermal maximum ( $CT_{Max}$ ) and critical thermal minimum ( $CT_{Min}$ ) of hatching soft-shelled turtles, *Trionyx sinensis*

项目 Item	选择体温 (°C) Selected body temperature		临界高温 Critical thermal maximum (°C)	临界低温 Critical thermal minimum (°C)
	干燥环境 Arid environment	潮湿环境 Wet environment		
平均值 Average	28.0	30.3	40.9	7.8
标准误 Standard error	0.6	0.2	0.1	0.2
样本数 Sample size	40	40	35	40
范围 Range	23.0~34.0	27.5~32.5	39.5~41.9	5.8~9.5

$T_{sel}$ 、 $CT_{Max}$  和  $CT_{Min}$  数值的大小与动物温度驯化历史有关,驯化至少需要两周以上的时间<sup>[12,19,20]</sup>.本研究中的中华鳖新孵幼体未经特定温度的驯化,因此文中报道的数据仅反映幼鳖在原饲养热环境中驯化的  $T_{sel}$ 、 $CT_{Max}$  和  $CT_{Min}$ .干燥和潮湿两种情况下测得的幼鳖  $T_{sel}$  差异显著,且干燥环境条件下幼鳖选择体温的个体变异的幅度大于潮湿环境下的幼鳖,说明水温对幼鳖体温的影响大于气温.

中华鳖主要生活在水环境中,干燥和潮湿条件下幼鳖选择体温个体变异的幅度差在一定程度上与该种动物的水生生活习性有关.根据本实验结果,作者认为在潮湿环境下测定的选择体温 (30.3 °C) 能更好地反映它们在自然环境中的实际情况.从实验室得出的数据要沿用于野外种群必须谨慎<sup>[1,14]</sup>,因为实验条件下动物的生活环境与野外自然环境有很大的差异.本实验模拟中华鳖的自然生境旨在使实验动物的生活环境尽量与野外环境一致化,从而得出有生态学意义的的数据.

将动物暴露在其亚致死温度中常能增强其对致死温度的耐受性,高温驯化能强化动物对高温的耐受性,低温驯化能强化动物对低温的耐受性.本实验结果表明,中华鳖新孵幼体对高温的耐受性较强

( $CT_{Max} = 40.1$  °C)、对低温的耐受性 ( $CT_{Min} = 7.8$  °C) 相对较低.这可能与亲体及幼鳖生长和发育一直在饲养场内温度较高的热环境 (30~33 °C) 中进行有关.

### 3.2 体温昼夜变化

在缺乏温度梯度的热环境中,幼鳖体温的昼夜变化与气温和水温的昼夜变化非常一致 (图 1). 气温和水温昼夜变化范围分别为 26.1~33.7 °C 和 25.3~30.5 °C. 动物平均体温昼夜变化范围为 25.7~30.9 °C, 更接近水温的昼夜变化. 动物平均体温 ( $M_{Tb}$ ) 与水温 ( $T_w$ ) 和气温 ( $T_a$ ) 的回归方程分别为  $M_{Tb} = 0.94 T_w + 1.94$  ( $F_{1,7} = 147.12$ ,  $r^2 = 0.95$ ,  $P < 0.001$ ) 和  $M_{Tb} = 0.59 T_a + 10.74$  ( $F_{1,7} = 29.88$ ,  $r^2 = 0.81$ ,  $P < 0.001$ ) (图 2). 气温、水温和体温最低值都出现在凌晨 5:00 左右,最高值都出现在 11:00~14:00. 幼鳖平均体温与气温的差异为  $-1.5 \pm 0.5$  °C ( $n = 9$ , 范围:  $-4.0 \sim 0.2$  °C), 与水温的差异为  $0.3 \pm 0.1$  °C ( $n = 9$ , 范围:  $-0.3 \sim 0.6$  °C). 这一结果进一步证明,水温对幼鳖体温的影响更为直接和明显,气温主要是通过改变水温从而间接影响到实验动物的体温.在缺乏温度梯度的热环境中幼鳖体温昼夜变化与水温的气温的昼夜变化高度相似,且幼鳖平均体温与气温和水温的相关性均非常显著.由于在缺乏温度梯度的热环境中,行为调温受到有效的限制,幼鳖体温与环境温度相近的结果说明幼鳖生理调温能力很弱.

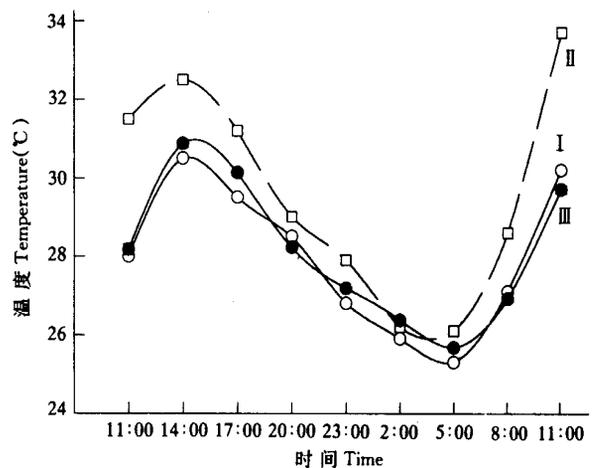


图 1 缺乏温度梯度的热环境下中华鳖新孵幼体体温的昼夜变化  
Fig. 1 Diel variation in body temperature of hatching soft-shelled turtles in the environments without thermal gradients. 幼鳖体温以平均值  $\pm$  标准误表示,每一温度级下样本数均为 40. Data on body temperatures are expressed as Mean  $\pm$  SE, and sample sizes are 40 in every temperature grade. 水温 Water temperature, 气温 Air temperature, 体温 Body temperature. 下同 The same below.

在具有温度梯度的热环境中,气温昼夜变化范

围为 15.1 ~ 20.0 ,幼鳖的体温昼夜变化范围为 22.6 ~ 27.2 ,幼鳖平均体温显著高于气温 ( $t = 11.67, df = 20, P < 0.001$ ),变化幅度较小(图 3)。这一结果表明,幼鳖行为调温导致体温显著高于环境温度。类似的结果和调温方式也见于中国石龙子、铜石龙子、蓝尾石龙子、北草蜥和地中海岩蜥等爬行动物<sup>[5,13~15,21,22]</sup>。

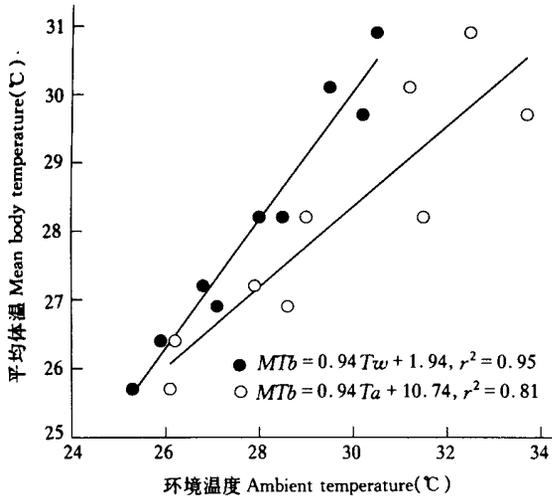


图 2 缺乏温度梯度的热环境中中华鳖幼体平均体温 (MTb) 与水温 (Tw) 和气温 (Ta) 的线性回归

Fig. 2 Linear regressions of mean body temperature (MTb) of hatchling soft-shelled turtles on water (Tw) and air (Ta) temperatures in the environments without thermal gradients.

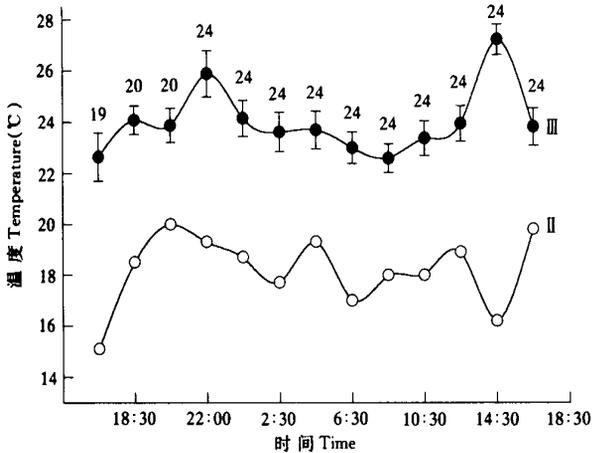


图 3 具有温度梯度的热环境中中华鳖新孵幼体体温的昼夜变化

Fig. 3 Diel variation in body temperature of hatchling soft-shelled turtles in the environments with thermal gradients. 幼鳖体温以平均值 ±标准误表示,样本数在图中显示。Data on body temperatures are expressed as Mean ±SE, and sample sizes are indicated in the figure.

在具有温度梯度的热环境中,幼鳖体温昼夜变化相对不明显,与幼鳖在缺乏温度梯度的热环境中具有显著体温昼夜变化不同。这种差异表明温度梯度的存在和动物的行为调温对幼鳖维持较高且相对

稳定的体温具有重要作用。

### 3.3 温度对动物运动能力的影响

温度对幼鳖的运动表现有显著影响。这一结果见于许多已被研究的爬行动物<sup>[3~9,13,15,21]</sup>。单位时间跑动距离 ( $F_{4,192} = 12.68, P < 0.001$ )、最大续跑距离 ( $F_{4,174} = 18.62, P < 0.001$ ) 和单位时间停顿次数 ( $F_{4,176} = 23.24, P < 0.001$ ) 在不同温级条件下差异显著(表 2)。总体而言,动物的运动速度决定于单位时间的位移距离和不间断快速运动的能力。因此,运动表现较好个体,单位时间跑动距离和最大续跑距离应较大而单位时间停顿次数应较少。此外,由于爬行动物的运动能力与体温有密切关系,那些能够强化动物运动表现的温度应为运动的适宜温度。

表 2 温度对中华鳖新孵幼体运动能力的影响  
Table 2 Effects of temperature on the locomotor performance of hatchling soft-shelled turtles, *Trionyx sinensis*

体温 Body temperature (°C)	样本数 Sample size	单位时间停顿次数 Time-specific number of stops (stops · min <sup>-1</sup> )	单位时间跑动距离 Time-specific running distance (m · min <sup>-1</sup> )	最大续跑距离 Maximum continuous running distance (m)
23.8		11.5 ± 0.8 (21) <sup>a</sup> 5.0 ~ 19.0	3.19 ± 0.17 (37) <sup>b</sup> 1.20 ~ 5.28	0.50 ± 0.04 (19) <sup>c</sup> 0.24 ~ 0.84
26.3	40	11.2 ± 0.6 <sup>a</sup> 5.0 ~ 21.0	4.49 ± 0.19 <sup>a</sup> 2.16 ~ 7.08	1.06 ± 0.09 <sup>b</sup> 0.36 ~ 2.40
29.2	40	8.5 ± 0.4 <sup>b</sup> 5.0 ~ 16.0	4.63 ± 0.15 <sup>a</sup> 2.76 ~ 6.48	1.34 ± 0.11 <sup>ab</sup> 0.48 ~ 3.36
31.5	40	6.2 ± 0.3 <sup>c</sup> 3.0 ~ 11.0	4.92 ± 0.21 <sup>a</sup> 2.16 ~ 7.32	1.87 ± 0.18 <sup>a</sup> 0.48 ~ 5.52
33.0	40	7.7 ± 0.4 <sup>b</sup> 3.0 ~ 14.0	4.28 ± 0.19 <sup>a</sup> 2.04 ~ 7.80	1.30 ± 0.10 <sup>ab</sup> 0.36 ~ 3.12

数据用平均值 ±标准误及范围表示,相应于不同字母的平均值有显著差异,23.8 温级的样本数显示在括号内,Turkey's 检验, = 0.05。Data are expressed as mean ±SE and range, means with different superscripts differ significantly, sample sizes of 23.8 are indicated in the parenthesis, Turkey's test, = 0.05.

体温为 23.8 时,幼鳖的单位时间跑动距离和最大续跑距离均低于其它几个更高温级下的相应指标,而单位时间停顿次数则明显高于其它更高温级下的同一指标。因此,23.8 的体温不利于幼鳖充分表达其运动潜力。随着体温升高,幼鳖的运动能力有明显的增强趋势。本实验中,体温为 31.5 的幼鳖运动表现最好,其最大续跑距离、单位时间跑动距离和单位时间停顿次数分别为 1.87m、4.92m · min<sup>-1</sup> 和 6.2 次 · min<sup>-1</sup>。体温进一步升高抑制幼鳖充分表达其运动潜力,当体温为 33.0 时,最大续跑距离、单位时间跑动距离和单位时间停顿次数分别为 1.30m、4.28m · min<sup>-1</sup> 和 7.7 次 · min<sup>-1</sup>。本实验中,中华鳖新孵幼体运动表现的最适温度为 31.5 ,大于其选择体温 (30.3 )。这种结果见于多种爬行动物<sup>[2~6,8~10,13,15,21]</sup>。

## 4 结 论

4.1 中华鳖新孵幼体的生活环境能影响其选择体温的测定值,干燥和潮湿环境中测得的选择体温分别为 28.0 和 30.3。由于中华鳖主要生活在水中,潮湿环境中测得的选择体温更能代表幼鳖在野外试图通过体温调节达到的体温。

4.2 幼鳖生理调温能力很弱,表现为在缺乏温度梯度的热环境中体温变化与环境温度(水温 and 气温)变化高度吻合。提供幼鳖行为调温所必须的温度梯度后,其体温变化与环境温度变化有显著差异,体温昼夜变化幅度较小,平均体温显著高于环境温度。温度梯度的存在和行为调温对幼鳖维持相对较高且稳定的体温具有重要作用。

4.3 幼鳖运动表现的热依赖性显著,过高或过低的体温不利于充分表达其运动潜力。在一定的温度范围内,幼鳖的运动表现随体温升高而加强。本实验中,幼鳖运动表现的最适体温为 31.5,大于幼鳖的选择体温(30.3)。

## 参考文献

- 1 Beaupre SJ, Dunham AE, Overall KL. 1993. The effects of consumption rate and temperature on apparent digestibility coefficient, urate production, metabolizable energy coefficient and passage time in canyon (*Sceloporus merriami*) from two populations. *Func Ecol*, **7**:272 ~ 280
- 2 Bennett AF. 1980. The thermal dependence of lizard behaviour. *Anim Behav*, **28**:752 ~ 762
- 3 Braña F, Ji X(计翔). 2000. The influence of incubation temperature on morphology, locomotor performance, and early growth of hatchling wall lizards. *J Exp Zool*, **286**:422 ~ 433
- 4 Crowley SR. 1985. Thermal sensitivity of sprint-running in the lizard *Sceloporus undulatus*: Support for a conservative view of thermal physiology. *Oecologia*, **66**:219 ~ 225
- 5 Du W-G(杜卫国), Yan S-J(严水娟), Ji X(计翔). 2000. Selected body temperature, thermal tolerance and thermal dependence of food assimilation and locomotor performance in adult blue-tailed skinks, *Eumeces elagans*. *J Therm Biol*, **25**:197 ~ 202
- 6 Hertz PE, Huey RB, Nevo N. 1983. Homage to Santa Anita: Thermal sensitivity of sprint speed in agamid lizards. *Evolution*, **37**:1057 ~ 1084
- 7 Huey RB. 1982. Temperature, physiology, and the ecology of reptiles. In: Gans C, Pough PH eds. *Biology of the Reptilia*. Vol. 12. London: Academic Press. 25 ~ 91
- 8 Huey RB, Bennett AF. 1987. Phylogenetic studies of coadaptation: Preferred temperature versus optimal performance temperatures of lizards. *Evolution*, **41**:131 ~ 135
- 9 Huey RB, Kingsolver J G. 1989. Evolution of thermal sensitivity of ectotherm performance. *Tree*, **4**:131 ~ 135
- 10 Huey RB, Niewiarowski PH, Kaufmann J K, et al. 1989. Thermal biology of nocturnal ectotherms: Is sprint performance of geckos maximal at low body temperature? *Physiol Zool*, **62**:488 ~ 504
- 11 Huey RB, Stevenson RD. 1979. Intergrating thermal physiology and ecology of ectotherms: A discussion of approaches. *Am Zool*, **19**:357 ~ 366
- 12 Hutchison VH. 1976. Factors influencing thermal tolerances of individual organisms. In: Each GW, McFarlane RW eds. *Thermal Ecology 11*. Proc. 2nd SREL Thermal Ecology Symposium. U. S. National Technical Information Service, Oak Ridge, TN. 10 ~ 26
- 13 Ji X(计翔), Du W-G(杜卫国), Sun P-Y(孙平跃). 1996. Body temperature, thermal tolerance and influence of temperature on sprint speed and food assimilation in adult grass lizard, *Takydromus septentrionalis*. *J Therm Biol*, **21**(3):155 ~ 161
- 14 Ji X(计翔), Sun P-Y(孙平跃), Du W-G(杜卫国). 1997. Selected body temperature, thermal tolerance and food assimilation in a viviparous skink, *Sphenomorphus indius*. *Netherlands J Zool*, **47**:103 ~ 110
- 15 Ji X(计翔), Zheng X-Z(郑向忠), Xu Y-G(徐永根), et al. 1995. Several aspects of thermal biology the skink *Eumeces chinensis*. *Acta Zool Sin(动物学报)*, **41**:268 ~ 274(in Chinese)
- 16 Ji X(计翔), Zhou W-H(周文辉), He G-B(贺国标), et al. 1993. Food intake assimilation efficiency, and growth of juvenile lizards, *Takydromus septentrionalis*. *Comp Biochem Physiol*, **105A**:283 ~ 285
- 17 Licht P, Dawson WR, Schoemaker VH, et al. 1966. Observations on the thermal relations of Western Australian lizards. *Copeia*, **1966**:97 ~ 110
- 18 Lowe CH, Vance J H. 1955. Acclimation of the critical thermal maximum of the reptile *Urosaurus ornatus*. *Science*, **122**:73 ~ 74
- 19 Sievert LM, Hutchison VH. 1988. Light versus heat: Thermoregulatory behavior in nocturnal lizard (*Gekko gekko*). *Herpetologica*, **44**:266 ~ 273
- 20 Sievert LM, Hutchison VH. 1991. The influence of photoperiod and position of a light source on behavioral thermoregulation in *Crotaphytus collaris* (Squamata: Iguanidae). *Copeia*, **1991**:105 ~ 110
- 21 Van Damme R, Bauwens D, Braña F, et al. 1992. Incubation temperature differentially affects hatching time, egg survival, and hatchling performance in the lizard *Podarcis muralis*. *Herpetologica*, **48**:220 ~ 228
- 22 Xu X-F(许雪峰), Zhao Q(赵群), Ji X(计翔). 1999. Selected body temperature, thermal tolerance and influence of temperature on food assimilation in juvenile Chinese skinks, *Eumeces chinensis*. *Raff Bull Zool*, **47**:465 ~ 471

作者简介 孙平跃,男,1971年生,硕士,研究方向为水生生物学,发表论文 12 篇,其中 SCI 收录 6 篇。E-mail: herplab@mail. hz. zj. cn