

环境温度对黑龙江草蜥体温及生理体温调节能力的影响

徐骁骁 孙清琳 刘鹏* 赵文阁

(哈尔滨师范大学生命科学与技术学院, 哈尔滨 150025)

摘要 本文以长白山地区的黑龙江草蜥 (*Takydromus amurensis*) 为研究对象, 于 2014 年 4—6 月在实验室进行饲养和繁殖, 10 月初, 将成体和孵出的幼体置于恒温培养箱内进行体温测量, 探讨不同恒温条件和急速升温条件对黑龙江草蜥体温和生理体温调节能力的影响。结果表明: 在 11~39 °C 的恒温条件下, 黑龙江草蜥的体温受测量时间的影响显著, 07:00 时体温最低; 在 11~19 °C 的恒温条件下, 黑龙江草蜥幼体体温显著高于成体体温, 在 21 °C 的恒温条件下, 成体和幼体体温间无显著差异, 在 23~39 °C 的恒温条件下, 幼体体温显著低于成体体温; 黑龙江草蜥的体温与环境温度呈线性正相关, 成体的回归方程为 $y = 0.72366x + 7.1778$, 幼体的回归方程为 $y = 0.6508x + 8.8039$, 与等温线 $y = x$ 的交点温度分别为 25.97 和 25.21 °C; 当环境温度从 10 °C 急速升高到 30 °C 时, 黑龙江草蜥体温在短时间内快速升高, 但升温速率逐渐降低。由此可知, 黑龙江草蜥体温受环境温度的影响显著, 且具有一定的生理体温调节能力, 幼体的生理体温调节能力较强, 使其具有较强的恒温性。

关键词 黑龙江草蜥; 体温; 环境温度; 体温调节能力; 等温点

Effect of ambient temperature on body temperature and physiological thermoregulation ability of *Takydromus amurensis*. XU Xiao-xiao, SUN Qing-lin, LIU Peng*, ZHAO Wen-ge (College of Life Science and Technology, Harbin Normal University, Harbin 150025, China).

Abstract: We used Heilongjiang grass lizards (*Takydromus amurensis*), which were collected from Changbai Mountain, as model animals. These lizards were housed to breed in the laboratory from April to June, 2014. In early October, adult and juvenile lizards were placed in the constant temperature incubator for measurement of body temperature. The effects of different temperature conditions (constant temperature and rapid warming) on body temperature and thermoregulation ability of *T. amurensis* were studied. The measuring time had significant impacts on the body temperature of *T. amurensis* from 11 to 39 °C, and the lowest body temperature appeared at 07:00 a. m. The body temperature was significantly higher in juveniles than in adults from 11 to 19 °C. There was no difference in the body temperature between juveniles and adults at 21 °C; the body temperature was significantly lower in juveniles than in adults from 23 to 39 °C. The body temperature of *T. amurensis* was linearly positively correlated with ambient temperature. The linear regression equations were as follows: $y = 0.72366x + 7.1778$ for the adults, and $y = 0.6508x + 8.8039$ for the juveniles, whose intersection point temperatures with isothermal line ($y = x$) were 25.97 and 25.21 °C, respectively. The body temperature of *T. amurensis* increased in a short time with the ambient temperature increased rapidly from 10 to 30 °C, but the heating rate gradually decreased. We concluded that the ambient temperature had a significant impact on body temperature of *T. amurensis*, and the thermoregulation ability of different aged lizards was different. Juvenile lizards had stronger thermoregulation ability, thus they could keep their body temperature stable more easily than adults.

Key words: *Takydromus amurensis*; body temperature; ambient temperature; thermoregulation ability; isothermal point.

国家自然科学基金项目(31172079)和黑龙江省自然科学基金项目(C2016035)资助。

收稿日期: 2016-06-11 接受日期: 2016-11-02

* 通讯作者 E-mail: liupeng111111@163.com

作为变温动物,蜥蜴的体温除了受激素水平、个体大小、年龄、繁殖状态、热驯化时间、光照周期等因素的影响外,还与环境温度显著相关(杜宇等,2008;杜青霖,2013;Lara-Reséndiz *et al.*,2015;扬成等,2015)。在异质热环境中,受外界环境温度的影响,蜥蜴的体温具有一定的日变化和季节变化节律(杜宇等,2008;牛超等,2014;朱梦瑶等,2015),在一定的温度范围内,随着体温升高,蜥蜴的生理功能和行为表现逐渐加强,但过高或过低的体温均会抑制生理活动并显著影响行为表现,甚至会导致动物死亡。因此,当外界条件或自身生理状态发生变化时,蜥蜴可以通过体温调节使自身的体温达到生命活动相对适合的温度(舒霖等,2005;许云华,2010;王宁波,2013;毛志刚等,2014a;扬成等,2015)。

蜥蜴的体温调节主要有两种方式,一种是行为热调节(behavioral thermoregulation),通过其行为使体温维持在一个相对稳定的状态(Cecchetto *et al.*,2015),如选择栖息地、调整活动节律和日晒行为等(舒霖等,2005);另一种是生理热调节(physiological thermoregulation, Bauwens *et al.*,1996; Seebacher *et al.*,2005),当温度感受器接受体内、外环境温度的刺激时,通过体温调节中枢(下丘脑)的应激活动,引起相应组织器官活动的改变(和建政,2013),从而改变外周血的循环和心率来调控自身体内与环境的热交换(Dzialowski *et al.*,2001)。但在均质热环境中,蜥蜴的体温调节能力可能会受到限制(舒霖等,2010)。

黑龙江草蜥(*Takydromus amurensis*)主要分布于黑龙江、吉林、辽宁以及俄罗斯、朝鲜半岛(赵尔宓等,1999;赵文阁等,2008),栖息地纬度较高、温度低且波动较大,生活在该生境类型中的物种,如胎生蜥蜴(*Zootoca vivipara*)、捷蜥蜴(*Lacerta agilis*)等均具有较强的体温调节能力(Herczeg *et al.*,2003;扬成等,2015)。本研究在实验室条件下去除行为调节的影响,分析在恒温(均质热环境)和变温(急速升温)条件下黑龙江草蜥的体温和体温调节能力,进一步探讨影响蜥蜴体温调节能力的主要因素和蜥蜴对温度变化的适应机制。

1 材料与方法

1.1 动物采集和饲养

于2014年4月,在长白山北麓的吉林省白山市抚松县(N 42°35', E 127°50', 海拔640 m)采用徒手

的方式捕捉蜥蜴。将捕获的黑龙江草蜥运至哈尔滨师范大学实验室内,剪趾标记后在95 cm×45 cm×50 cm(长×宽×高)的玻璃缸内进行饲养,6月开始繁殖(杜青霖,2013;牛超等,2014;扬成等,2015)。

1.2 不同恒温条件下黑龙江草蜥体温的测定

于10月初,选取繁殖后的12条黑龙江草蜥成体(其中雄性4条、雌性8条)和6条幼体,放入45 cm×35 cm×35 cm(长×宽×高)的玻璃缸内(只提供食物和水,没有躲避物和灯泡,避免行为调节),并将此玻璃缸放到LRH-250-G型光照恒温培养箱内进行实验,设定光照周期为12 L:12 D(07:00—19:00)。将恒温培养箱的起始恒定温度设为11℃(王纪军等,2009),适应2 d后开始实验。

每天在07:00、11:00、15:00和19:00四个测量时间测量黑龙江草蜥的体温(用上海医疗仪器厂UT325数字温度计测定黑龙江草蜥泄殖腔内0.5 cm的温度),每个个体在1 min内完成测量,4个测量时间体温的平均值为该条蜥蜴的日平均体温。每天测量完毕后于20:00将恒温箱的温度升高2℃,从初始温度11℃一直升温到最终温度39℃,共设置15个恒温条件(即11、13、15、17、19、21、23、25、27、29、31、33、35、37、39℃),实验共进行15 d。实验结束后,将18条黑龙江草蜥放在实验室条件下饲养(条件同1.1),一周后再对这18条黑龙江草蜥进行急速升温实验。

1.3 急速升温条件下黑龙江草蜥体温的测定

按照雄性、雌性和幼体的顺序每天选取1条黑龙江草蜥进行实验,共进行18 d,实验时间设置为每天早上07:00。实验开始时,将1条黑龙江草蜥放入10℃恒温培养箱内的玻璃缸中(长、宽、高分别为45、35和35 cm),第二天07:00时,将该蜥蜴取出后立即测量体温,作为急速升温实验的起始温度,然后将其放入30℃的恒温培养箱内相同规格的玻璃缸中,每隔3 min测量并记录一次该条黑龙江草蜥的体温,共测量15次。

1.4 数据分析

所有数据的统计分析用SPSS 22.0统计软件包完成,用SigmaPlot 10.0软件进行制图。数据在进一步统计前用Kolmogorov-Smirnov和Bartlett检验分别检测正态性和方差同质性。用单因素方差分析(ANOVA)比较雌雄成体体温间的差异,由于雄性和雌性间体温在实验的各阶段均无显著性差异,故而将雄性、雌性体温数据合并为成体组进行后续分析,

用双因素分析的方法比较不同测量时间和年龄结构黑龙江草蜥体温变化,用 repeated measures ANOVA 分析急速升温条件下黑龙江草蜥成体和幼体平均体温的差异。对黑龙江草蜥成体和幼体日平均体温(一天内 4 个时间点的平均体温)和环境温度之间进行相关和回归分析,描述性统计值用平均值 \pm 标准误差表示,显著性水平设置为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 恒温条件下黑龙江草蜥体温的变化

在恒温条件下(环境温度为 11~39 °C),不同测量时间(07:00、11:00、15:00、19:00)黑龙江草蜥体温的差异显著(所有 $P<0.05$) (表 1),线性回归方程显示 07:00 体温最低,而其他测量时间的体温无显

著差异(图 1)。年龄结构对黑龙江草蜥体温的影响与环境温度有关,在 11~19 °C 时,幼体体温显著高于成体体温(所有 $P<0.05$),在 21 °C 时,成体和幼体间体温无显著性差异($P>0.05$),在 23~39 °C 时,幼体体温显著低于成体体温(所有 $P<0.05$) (表 1)。

黑龙江草蜥成体和幼体的日平均体温(y)随环境温度(x)的升高而升高,呈线性正相关,其中成体的回归方程为 $y = 0.72366x + 7.1778$,与等温线 $y = x$ 的交点温度为 25.97 °C,幼体的回归方程为 $y = 0.6508x + 8.8039$,与等温线 $y = x$ 的交点温度为 25.21 °C (图 2)。

2.2 急速升温条件下黑龙江草蜥体温的变化

在初始温度下(10 °C),黑龙江草蜥幼体体温为(15.92 \pm 0.34) °C,成体体温为(14.66 \pm 0.22) °C,幼

表 1 恒温条件下不同测量时间黑龙江草蜥成体和幼体体温的比较

Table 1 Comparison of body temperature between adult and juvenile lizards of *Takydromus amurensis* at different measuring time in constant temperature conditions

环境温度 (°C)	年龄 结构	测量时间				日平均体温 (°C)	双因素方差分析	
		07:00	11:00	15:00	19:00		年龄结构 $F_{1,71}$	测量时间 $F_{3,71}$
11	成体	14.16 \pm 0.10	15.28 \pm 0.12	15.46 \pm 0.09	15.11 \pm 0.08	15.00 \pm 0.09	56.195 **	39.695 **
	幼体	14.90 \pm 0.12	16.13 \pm 0.16	16.07 \pm 0.21	15.62 \pm 0.15	15.68 \pm 0.13		
13	成体	15.78 \pm 0.08	17.03 \pm 0.11	16.95 \pm 0.07	16.63 \pm 0.10	16.60 \pm 0.09	63.718 **	75.911 **
	幼体	16.32 \pm 0.04	18.25 \pm 0.20	17.52 \pm 0.14	16.82 \pm 0.04	17.23 \pm 0.16		
15	成体	17.18 \pm 0.05	18.39 \pm 0.08	18.26 \pm 0.07	18.49 \pm 0.06	18.08 \pm 0.08	113.676 **	116.902 **
	幼体	17.55 \pm 0.04	19.05 \pm 0.16	19.37 \pm 0.18	19.17 \pm 0.12	18.78 \pm 0.16		
17	成体	18.77 \pm 0.04	19.83 \pm 0.06	19.83 \pm 0.06	19.66 \pm 0.04	19.52 \pm 0.07	55.417 **	97.258 **
	幼体	19.15 \pm 0.07	20.17 \pm 0.13	20.22 \pm 0.09	20.08 \pm 0.12	19.90 \pm 0.10		
19	成体	20.13 \pm 0.03	21.33 \pm 0.06	21.15 \pm 0.02	21.03 \pm 0.04	20.91 \pm 0.07	20.503 **	63.984 **
	幼体	20.43 \pm 0.09	21.53 \pm 0.28	21.53 \pm 0.15	21.33 \pm 0.10	21.21 \pm 0.12		
21	成体	21.07 \pm 0.05	22.23 \pm 0.09	22.33 \pm 0.05	22.68 \pm 0.08	22.08 \pm 0.09	0.444	122.638 **
	幼体	20.78 \pm 0.17	22.48 \pm 0.22	22.55 \pm 0.10	22.68 \pm 0.04	22.13 \pm 0.18		
23	成体	23.04 \pm 0.04	24.17 \pm 0.11	24.10 \pm 0.05	23.88 \pm 0.02	23.80 \pm 0.07	7.020 *	85.561 **
	幼体	22.56 \pm 0.28	24.30 \pm 0.06	24.02 \pm 0.09	23.58 \pm 0.04	23.62 \pm 0.15		
25	成体	24.18 \pm 0.06	25.15 \pm 0.06	25.67 \pm 0.03	25.45 \pm 0.03	25.11 \pm 0.09	22.990 **	165.160 **
	幼体	23.98 \pm 0.05	24.68 \pm 0.22	25.58 \pm 0.05	25.20 \pm 0.04	24.86 \pm 0.14		
27	成体	25.92 \pm 0.06	27.51 \pm 0.06	27.61 \pm 0.06	27.29 \pm 0.03	27.08 \pm 0.10	7.709 **	248.266 **
	幼体	25.96 \pm 0.08	27.50 \pm 0.08	27.44 \pm 0.10	26.90 \pm 0.05	26.95 \pm 0.13		
29	成体	27.51 \pm 0.06	28.43 \pm 0.05	28.55 \pm 0.04	28.70 \pm 0.06	28.30 \pm 0.07	128.122 **	120.968 **
	幼体	27.06 \pm 0.10	27.76 \pm 0.02	28.06 \pm 0.10	28.18 \pm 0.07	27.77 \pm 0.10		
31	成体	28.48 \pm 0.15	30.28 \pm 0.05	30.42 \pm 0.06	30.28 \pm 0.06	29.87 \pm 0.12	32.098 **	94.266 **
	幼体	28.66 \pm 0.11	29.72 \pm 0.04	29.78 \pm 0.12	29.62 \pm 0.14	29.45 \pm 0.11		
33	成体	30.73 \pm 0.12	31.57 \pm 0.09	31.64 \pm 0.09	31.80 \pm 0.13	31.43 \pm 0.08	58.255 **	24.738 **
	幼体	30.00 \pm 0.24	30.54 \pm 0.18	30.90 \pm 0.20	31.24 \pm 0.08	30.67 \pm 0.13		
35	成体	32.00 \pm 0.14	32.58 \pm 0.13	32.84 \pm 0.10	32.63 \pm 0.12	32.51 \pm 0.08	43.847 **	13.086 **
	幼体	31.00 \pm 0.29	32.12 \pm 0.20	32.14 \pm 0.12	31.58 \pm 0.29	31.71 \pm 0.15		
37	成体	33.32 \pm 0.17	33.51 \pm 0.14	34.15 \pm 0.17	34.18 \pm 0.23	33.79 \pm 0.10	54.475 **	12.177 **
	幼体	31.56 \pm 0.52	32.36 \pm 0.30	32.72 \pm 0.15	33.45 \pm 0.24	32.52 \pm 0.21		
39	成体	34.30 \pm 0.23	35.13 \pm 0.19	35.42 \pm 0.19	34.99 \pm 0.16	34.96 \pm 0.11	74.014 **	5.964 **
	幼体	33.30 \pm 0.17	33.75 \pm 0.23	33.98 \pm 0.22	33.48 \pm 0.18	33.63 \pm 0.11		

* $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。

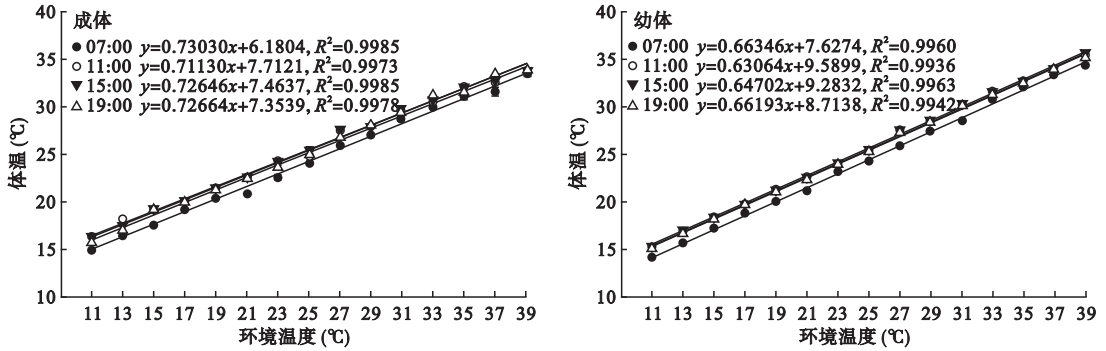


图1 恒温条件下测量时间对黑龙江草蜥体温的影响

Fig.1 Impact of measuring time on body temperature of *Takydromus amurensis* in constant temperature conditions

体体温显著高于成体体温 ($F_{1,17} = 10.343$, $P = 0.005$)。当环境温度变为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温环境时,黑龙江草蜥的体温随着时间的增加先快速升高,后趋于与环境温度一致。其中, $0\sim 3\text{ min}$ 时,升温速率最快, 6 min 后,幼体的体温升高至 $(27.45 \pm 0.63)\text{ }^{\circ}\text{C}$,成体的体温升高至 $(27.25 \pm 0.55)\text{ }^{\circ}\text{C}$,两者体温无显著差异 ($F_{1,17} = 0.05$, $P = 0.826$);随着时间的增加,升温速率逐渐降低, 12 min 时,幼体的体温

升高至 $(28.82 \pm 0.35)\text{ }^{\circ}\text{C}$,成体的体温升高至 $(29.77 \pm 0.23)\text{ }^{\circ}\text{C}$,成体体温显著高于幼体体温 ($F_{1,17} = 5.361$, $P = 0.034$),此后,幼体和成体的体温一直维持相对稳定状态(图3)。

3 讨论

与其他的一些昼行性蜥蜴一样(舒霖等,2010;毛志刚等,2014a,2014b),黑龙江草蜥的体温受环境温度的影响显著,表现为随着环境温度的升高而升高,此外,黑龙江草蜥的体温还受怀孕、断尾、地理位置等内外因素的影响(杜青霖,2013;牛超等,2014)。本研究进一步证实,环境温度的高低对蜥蜴体温变化也具有重要的作用,当环境温度低于回归方程与等温线的交点温度时(成体为 $25.95\text{ }^{\circ}\text{C}$,幼体为 $25.19\text{ }^{\circ}\text{C}$),黑龙江草蜥的体温高于环境温度,两者的差异随环境温度的降低而增加;当环境温度高于该交点温度时,黑龙江草蜥的体温低于环境温度,两者的差异随环境温度的升高而增加(图2),因此,交点温度(等温点或同温区)直接影响环境温度和蜥蜴体温之间的关系(Huey *et al.*, 1976;毛志刚等,2014a,2014b;扬成等,2015)。

本实验证实,不同环境温度对黑龙江草蜥成体和幼体体温的影响不同,当环境温度低于 $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,幼体体温显著高于成体体温,当环境温度高于 $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,幼体体温显著低于成体体温。因为实验设计过程中去除了行为热调节的影响,由此可以推断,黑龙江草蜥幼体与成体体温的变化与生理热调节有关。由于体温与环境温度回归方程($y = kx + b$)中的斜率 k 值越小,表明生理体温调节能力越强(Hertz *et al.*, 1993;扬成等,2015),因此推测黑龙江草蜥幼体的生理体温调节能力($k = 0.65080$)比成体($k = 0.72366$)强,这与捷蜥蜴体温调节能力的研究结果相似(扬

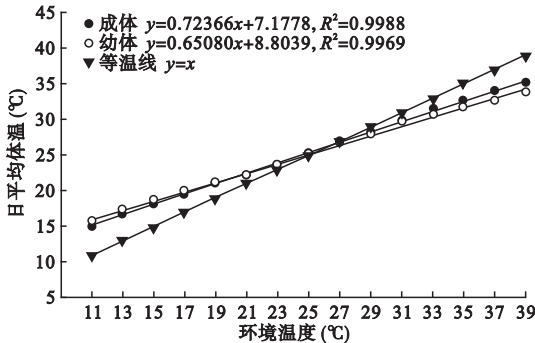


图2 黑龙江草蜥日平均体温与环境温度之间的关系

Fig.2 Relationship between the mean daily body temperature of *Takydromus amurensis* and ambient temperature

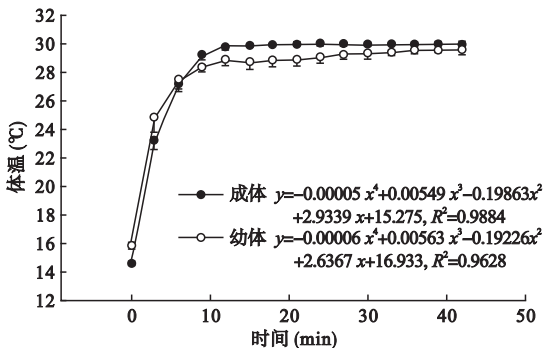


图3 急速升温条件下(从10到 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$)黑龙江草蜥的体温

Fig.3 Body temperature of *Takydromus amurensis* in rapid heating condition from 10 to $30\text{ }^{\circ}\text{C}$

成等,2015)。当环境温度过高或过低时,具有较强生理体温调节能力的幼体可以将自身的体温维持在较小的波动范围内,能够有效地维持体内酶的活性(Huey,1982),以便更好地完成生长发育过程,因为环境温度在很大程度上能够影响蜥蜴幼体的生长速率(Warner *et al.*,2007);而黑龙江草蜥成体的生理体温调节能力较弱,体温可在较大的范围内波动,表明成体对生理体温调节的能量投入较少,这有利于满足其维持捕食、逃避、繁殖等其他重要生命活动所需的能量(杜卫国等,2005)。

以往研究表明,黑龙江草蜥在波动的环境温度下(18~27℃)体温具有显著日节律变化,早上最低,中午最高,且幼体的日平均体温显著高于成体的日平均体温(牛超等,2014),但在恒温环境并去除行为热调节的情况下(本实验条件),无论成体还是幼体,一天中的最低体温均出现在早上,白天的体温没有明显的波动。由此推断,黑龙江草蜥在中午体温升高并不是生理热调节的结果,而是通过行为热调节从较高温度的环境中获得需要的热量,对于黑龙江草蜥夜间体温和体温调节能力的变化规律有待于进一步研究。此外,黑龙江草蜥的体温在短时间内能够快速升高,但升温速率不断下降,体温逐渐稳定在某一温度范围内,表明该物种能够在短时间内适应环境温度的变化,这与红尾沙蜥(*Phrynocephalus erythrurus*)、荒漠沙蜥(*P. przewaskii*)等物种相似,但体温调节的生理机制及其过程需要更多的实验来证实(王宁波,2013)。

参考文献

杜宇,丁国骅,孙燕燕,等. 2008. 北草蜥禁食期间喜好体温的漂移. *动物学报*, **54**(4): 739-743.

杜青霖. 2013. 黑龙江草蜥不同种群雌性形态和繁殖策略及温度生态的研究(硕士学位论文). 哈尔滨: 哈尔滨师范大学.

杜卫国,王小雷,沈建洋,等. 2005. 不同北草蜥地理种群的野外活动体温. *两栖爬行动物学研究*, (10): 117-126.

和建政. 2013. 青海沙蜥低氧习服和适应的不同调节机制及低氧对荒漠沙蜥体温调节和静止代谢率的影响(硕士学位论文). 兰州: 兰州大学.

毛志刚,王振兴,武正军,等. 2014a. 广东罗坑自然保护区丽棘蜥的体温调节. *四川动物*, **33**(5): 731-736.

毛志刚,王振兴,武正军,等. 2014b. 丽纹攀蜥的热生物学研究. *广西师范大学学报: 自然科学版*, **32**(2): 147-153.

牛超,扬成,高歌,等. 2014. 黑龙江草蜥和白条草蜥体温的比较研究. *中国农学通报*, **30**(8): 53-56.

舒霖,杜卫国. 2005. 浙江舟山北草蜥的野外活动体温及

体温调节. *应用与环境生物学报*, **11**(4): 471-473.

舒霖,张群利,屈彦福,等. 2010. 青海沙蜥的热耐受性、选择体温及摄食和运动表现的热依赖性. *生态学报*, **30**(8): 2036-2042.

王纪军,裴铁璠,王安志,等. 2009. 长白山地区近50年平均最高和最低气温变化. *北京林业大学学报*, **31**(2): 50-57.

王宁波. 2013. 红尾沙蜥和荒漠沙蜥体温调节的比较研究(硕士学位论文). 兰州: 兰州大学.

许云华. 2010. 体温调节机制研究进展. *连云港师范高等专科学校学报*, (2): 96-98.

扬成,林枢,刘鹏,等. 2015. 捷蜥蜴新疆种群的生理体温调节能力. *生态学杂志*, **34**(6): 1591-1594.

赵尔宓,赵肯堂,周开亚,等. 1999. 中国动物志: 爬行纲第二卷. 北京: 科学出版社.

赵文阁,刘鹏,陈辉. 2008. 黑龙江省两栖爬行动物志. 北京: 科学技术出版社.

朱梦瑶,朱奇平,张利双,等. 2015. 昼行性蜥蜴的活动节律研究进展. *生物学教学*, **40**(2): 4-5.

Bauwens D, Hertz PE, Castilla AM. 1996. Thermoregulation in a lacertid lizard: The relative contributions of distinct behavioral mechanisms. *Ecology*, **77**: 1818-1830.

Cecchetto NR, Naretto S. 2015. Do sex, body size and reproductive condition influence the thermal preferences of a large lizard? A study in *Tupinambis merianae*. *Journal of Thermal Biology*, **53**: 198-204.

Dzialowski EM, O'Connor MP. 2001. Physiological control of warming and cooling during simulated shuttling and basking in lizards. *Physiological and Biochemical Zoology*, **74**: 679-693.

Herczeg G, Kovács T, Hettyey A, *et al.* 2003. To thermoconform or thermoregulate? An assessment of thermoregulation opportunities for the lizard *Zootoca vivipara* in the subarctic. *Polar Biology*, **26**: 486-490.

Hertz PE, Huey RB, Stevenson RD. 1993. Evaluating temperature regulation by field-active ectotherms: The fallacy of the inappropriate question. *American Naturalist*, **142**: 796-818.

Huey RB, Slatkin M. 1976. Cost and benefits of lizard thermoregulation. *Quarterly Review of Biology*, **51**: 363-384.

Huey RB. 1982. Temperature, physiology, and the ecology of reptiles// Gans C, Pough FH, eds. *Biology of the Reptilia*. London: Academic Press, **12**: 25-91.

Lara-Reséndiz RA, Arenas-Moreno DM, Beltrán-Sánchez E, *et al.* 2015. Selected body temperature of nine species of Mexican horned lizards (*Phrynosoma*). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **86**: 275-278.

Seebacher F, Franklin CE. 2005. Physiological mechanisms of thermoregulation in reptiles: A review. *Journal of Comparative Physiology B*, **175**: 533-541.

Warner DA, Shine R. 2007. Fitness of juvenile lizards depends on seasonal timing of hatching, not offspring body size. *Oecologia*, **154**: 65-73.

作者简介 徐骁骁,女,1990年生,硕士研究生,主要从事两栖爬行动物学研究。E-mail: xuxiaoxiao90@163.com
责任编辑 李凤芹