

文章编号: 0455-2059(2014)06-0860-04

# 温度对成体荒漠沙蜥代谢率、心率和呼吸频率的影响

徐意<sup>1</sup>, 岳丰<sup>2</sup>, 马明<sup>3</sup>, 田晓柱<sup>3</sup>, 陈强<sup>3</sup>

1. 天津生物工程职业技术学院生物技术系, 天津 300462

2. 兰州大学第一医院生殖医学专科医院, 兰州 730000

3. 兰州大学生命科学院, 兰州 730000

**摘要:** 对荒漠沙蜥成体代谢率和心率等生理指标的温度适应性进行了研究, 旨在检测不同温度下成体荒漠沙蜥的静止代谢率、心率和呼吸频率的差异。结果显示: 成体荒漠沙蜥的静止代谢率和心率随外界温度的升高而明显上升, 但呼吸频率的上升并不显著。雌雄两性间, 雄性蜥蜴呼吸频率对温度变化的依赖性比雌性的略强, 且35℃下雄性的代谢率显著高于雌性的。这些生理特征与荒漠沙蜥的生境和活动特点直接相关。我们推测25~35℃荒漠沙蜥可能更多地依赖于提高心率和增加血流量来调整代谢率。

**关键词:** 静止代谢率; 心率; 呼吸率; 温度适应性; 荒漠沙蜥

中图分类号: Q955

文献标识码: A

doi: 10.13885/j.issn.0455-2059.2014.06.014

## Effect of temperature on the metabolic rate, heart rate and respiration rate of adult lizard *Phrynocephalus przewalskii*

XU Yi<sup>1</sup>, YUE Feng<sup>2</sup>, MA Ming<sup>3</sup>, TIAN Xiao-zhu<sup>3</sup>, CHEN Qiang<sup>3</sup>

1. Department of Biotechnology, Tianjin Vocational College of Bioengineering, Tianjin 300462, China

2. Reproductive Medicine Hospital of the First Hospital of Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

3. School of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

**Abstract:** Thermal fitness of resting metabolic rate, heart rate and respiration rates were investigated in adult oviparous lizard *Phrynocephalus przewalskii* under different temperatures. Resting metabolic rate and heart rate of adult *P. przewalskii* notably increased with temperature, while respiration rate was not significantly different. Compared with females, the respiration rate of males was more sensitive to temperature, which might be related to the active characteristics of male *P. przewalskii*, the metabolic rate of males was positively higher than that of females under 35℃. We speculated that *P. przewalskii* may rely more on increased heart rate and blood flow to adjust its metabolic rate at 25–35℃.

**Key words:** resting metabolic rate; heart rate; respiration rate; thermal fitness; *Phrynocephalus przewalskii*

变温动物的静止代谢水平可受各种因素影响, 如温度、年龄、性别、季节、繁殖状态等, 其中温度是最主要的因素<sup>[1-2]</sup>。爬行动物对环境温度变化的适应性通常表现在对体温的选择、代谢率和酶活性的调节上, 而后两者又主要受到体温的制约。

环境温度通常通过影响变温动物的体温, 从而使其生理功能和行为表现发生变化。大多数爬行动物可以通过行为性体温调节和生理性体温调节, 使组织的代谢能力和能量供应处于稳定状态, 进一步保证了个体的生长、发育、食物摄取和运动能

收稿日期: 2013-11-02; 修回日期: 2014-06-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(31272313, 31071918)

作者简介: 徐意(1979—), 女, 甘肃兰州人, 讲师, e-mail: xuyi912@yahoo.com.cn, 研究方向为动物生理生化;

陈强(1963—), 男, 山东泰安人, 教授, 博士, 博士研究生导师, e-mail: chenq@lzu.edu.cn, 研究方向为爬行动物生理生态学, 通信联系人。

力等<sup>[1]</sup>。动物代谢水平的高低也会影响心率的变化,机体代谢率高时,心率和血流加快,呼吸频率和通气量增大,能更好地供应机体所需的氧气和能量。由于物种或种群在长期进化和适应环境的过程中,行为和生理指标会出现很多特化特征,而这些指标又极大地依赖于环境温度<sup>[3]</sup>。因此,在一个温度范围内监测爬行动物的代谢率和其他生理指标,可显示出外温动物的代谢率随温度变化的一般规律。研究心率、呼吸频率和代谢率之间的关系,则有助于从整体角度了解个体生理活动对温度的依赖性。

荒漠沙蜥(*Phrynocephalus przewalskii*)隶属于爬行纲,有鳞目,蜥蜴亚目,鬣蜥科,沙蜥属,分布于内蒙古、宁夏、甘肃、青海、新疆等省区,是中国特有蜥蜴种类。荒漠沙蜥生活于1000~1500 m的荒漠、半荒漠及荒漠草原地带,其外部形态有许多适应荒漠生活的特征,如上/下眼睑鳞的游离缘尖出构成锯齿状,鼻孔内有能自主启闭的瓣膜,耳孔及鼓膜均隐于皮肤内等等。作为一种变温动物,荒漠沙蜥的生理活动易受环境条件(尤其是温度)的影响。因此,对其生理生化特征的温度依赖性及生活史的地理变异已有较多关注<sup>[4-8]</sup>。李仁德等<sup>[8]</sup>曾推测25~35℃是荒漠沙蜥生理上的最适温度区域。本文选取25, 30, 35℃3个温度,拟检测活动期内成体荒漠沙蜥雌雄两性的代谢率、心率和呼吸频率差异,并对这些生理特征的温度依赖性进行了讨论,旨在分析其对荒漠环境的适应机制。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验动物的采集和饲养

荒漠沙蜥于2011年5月底-6月初采自甘肃景泰(104°05'E, 37°13'N, 海拔1400 m)。蜥蜴带回实验室后,触诊法判断雌体怀卵状况,剔除怀卵蜥蜴,以排除母体繁殖对待测生理指标的影响。30只荒漠沙蜥按性别分为雌、雄2个成体组,称重、编号,分别饲养于800 mm×360 mm×400 mm(长×宽×高)饲养箱内,每个饲养箱放蜥蜴15只。蜥蜴每天7:00-19:00接受自然光照,饲养箱一端悬挂辅助加热光源(100 W白炽灯),使箱内形成温度梯度(9:00-17:00, 25~37℃),夜间饲养箱内温度和室内气温等同。整个实验过程中提供足量的黄粉虫和纯净水。

### 1.2 静止代谢率的测定

随机选取荒漠沙蜥雌雄个体各8只,在25, 30, 35℃下进行静止代谢率的测定。实验于晚

上22:00-凌晨6:00进行,实验前禁食2天,以避免昼夜节律和食物产热对代谢率的影响。静止代谢率用RP1LP低量程动物呼吸作用测量仪(加拿大Qubit Systems)测定,测定前先将动物放在待测温度下适应0.5 h以上,使其体温接近待测温度。静止代谢率用单位时间的CO<sub>2</sub>生成量表示,单位:mg/min。

### 1.3 心率、呼吸频率的测定

分别在25, 30, 35℃下测定成体荒漠沙蜥的心率和呼吸频率。实验前将动物放在待测温度下适应0.5 h以上,使其体温接近待测温度。蜥蜴在清醒状态下背部向下、腹面向上固定于木板上,将不锈钢针形记录电极的正极插入左前肢皮下,负极插入右前肢皮下,插入深度均为5 mm<sup>[9]</sup>,电极的另一端与BL-420F生物信号采集系统(成都泰盟科技有限公司)相连,记录心率。用连有丝线的蛙心夹夹于蜥蜴腹部呼吸较为明显处胸部皮肤,蛙心夹上的连接线和的张力传感器相连接,随着呼吸时胸廓的运动,呼吸的频率由BL-420F生物信号采集系统自动记录。整个实验过程中,将恒温箱置于网形金属屏蔽罩内以隔绝外波干扰。

### 1.4 数据统计

所有数据用SPSS 16.0软件进行统计分析,在统计分析前进行正态性和方差同质性检验。以体重为协方差,ANCONA分析比较基础代谢率、心率和呼吸频率在温度和雌雄间的差异。所有描述性统计值用 $\bar{x} \pm SE$ 表示,显著水平设置为 $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 温度对成体荒漠沙蜥静止代谢率的影响

不同环境温度下成体荒漠沙蜥的静止代谢率存在明显差异( $F_{2,29}=41.936$ ,  $P<0.001$ ),其静止代谢率随外界温度的升高而明显上升(图1)。25, 30℃时荒漠沙蜥雌雄间的代谢率差异不显著,但35℃下雄性的代谢率显著高于雌性的( $F_{1,11}=7.999$ ,  $P<0.05$ )。

### 2.2 温度对成体荒漠沙蜥心率和呼吸频率的影响

BL-420F生物信号采集系统记录的蜥蜴心率和呼吸频率记录图如图2所示。环境温度显著影响荒漠沙蜥的心率( $F_{2,38}=66.773$ ,  $P<0.001$ ),但雌雄两性间心率并没有显著差异( $P>0.05$ )。

荒漠沙蜥的呼吸为非连续性呼吸,即通气期和非通气期相交替。通气期呼吸频率随温度的上升并不显著( $F_{2,38}=1.527$ ,  $P=0.230$ 。图3)。荒漠沙

蜥雌雄间呼吸频率也没有显著差异,但雄性蜥呼吸频率对温度变化的依赖性比雌性的略强。

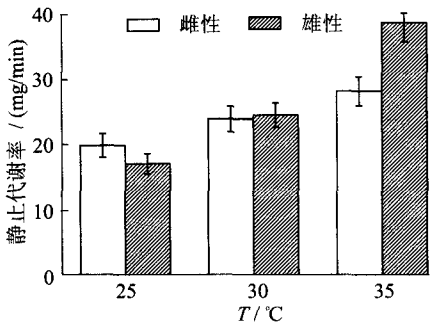


图 1 不同温度下荒漠沙蜥的静止代谢率

Figure 1 Resting metabolic rate of *P. przewalskii* at different ambient temperatures

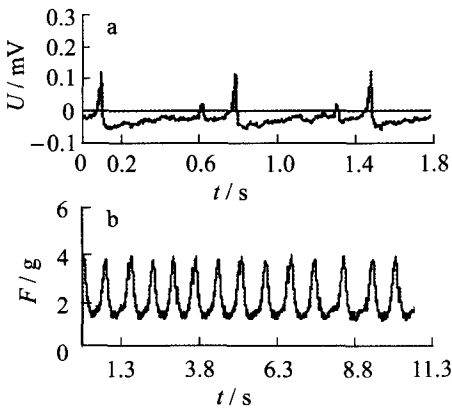


图 2 蜥心电图和呼吸频率记录图

Figure 2 Heart rate patterning and respiratory rate patterning of *P. przewalskii*

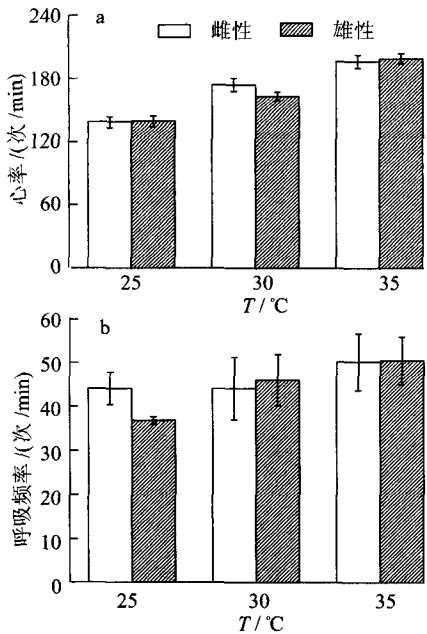


图 3 不同环境温度下荒漠沙蜥的心率和呼吸频率

Figure 3 Heart rate and respiratory rate of *P. przewalskii* at different ambient temperatures

### 3 讨论

实验结果表明,荒漠沙蜥维持体温的能源主要依赖外界的辐射热能,但自身也具有一定的调节体温能力:环境温度低于25℃时荒漠沙蜥的体温稍高于环境温度,在环境温度25℃以上环境中,其体温又稍低于环境温度<sup>[4]</sup>。尽管荒漠沙蜥具有一定的生理性调节体温的能力,但它仍然保持了典型的变温动物的代谢特点,即静止代谢率随环境温度而发生变化。这与国内很多变温动物,如北草蜥<sup>[10]</sup>、黑眉锦蛇<sup>[11]</sup>、大蟾蜍<sup>[12]</sup>、鳄蜥<sup>[13]</sup>、多疣壁虎<sup>[14]</sup>等的能量代谢特点类似,即代谢率和实验温度之间呈显著正相关,随实验温度的升高代谢率也随之增加。同时,已有研究证实荒漠沙蜥在5~15℃时代谢率增加缓慢,而在25~35℃时代谢率迅速增加<sup>[8]</sup>。这一代谢特点可能与荒漠沙蜥长期的生境适应相关。荒漠沙蜥主要生活在低湿度、高气温的荒漠、半荒漠地区,在较高的环境温度中,活动也比较频繁,因此必须消耗较多的能量,才能维持较高的体温和较大的活动强度。本实验还发现荒漠沙蜥雌雄间代谢的温度敏感性是有差异的,25, 30℃时荒漠沙蜥雌雄间的代谢率差异不显著,但35℃下雄性的代谢率显著高于雌性的,这可能与雄性荒漠沙蜥的活动特点有关。在整个活动季节,雄性荒漠沙蜥较雌性的活动时间长,活动频率高,家域范围更大,因此高温下雄性荒漠沙蜥具有较高的代谢率。

环境温度显著影响荒漠沙蜥的心率。在25~35℃时荒漠沙蜥的心率随着实验温度的升高而加快,这一规律和能量代谢随体温升高而增加的特点也是一致的。与其他文献报道的蜥蜴的心率进行比较,在相同体温条件下,荒漠沙蜥的心率显著高于其他蜥蜴物种的。一般来说,动物的体重与心率呈负相关,体重越大,心率越低。荒漠沙蜥体型较小,只有4.6~9.5 g,我们推测这种心率加快可能更好地满足其能量需求。

温度上升使呼吸频率增加是代谢率的增加所致<sup>[15]</sup>。荒漠沙蜥同其他变温动物一样,环境温度的升高引起体温上升,同时伴随着新陈代谢强度和呼吸频率的改变。李仁德等<sup>[8]</sup>研究了5~45℃内不同温度对荒漠沙蜥呼吸频率的影响,结果表明:在通气期,呼吸频率随实验温度的升高而增加且呈现一定的规律性。当实验温度处于5~25℃时,荒漠沙蜥呼吸频率的增加速率较大;而实验温度为25~35℃时,呼吸频率的增加速率减小。当实验温度为35~45℃时,呼吸频率的增加速率又增

大<sup>[8]</sup>。我们的实验结果显示:在25~35℃时荒漠沙蜥的呼吸频率随温度上升并不显著。这也证实了李仁德等<sup>[8]</sup>的推测:25~35℃是荒漠沙蜥生理上的最适温度区域,也是呼吸速率增加最小的区域。同时,我们发现雄性蜥蜴呼吸频率对温度变化的依赖性较强,这可能也与其活动时间长、频率高的活动特点有关。

通过对荒漠沙蜥代谢率、心率和呼吸频率的实验研究发现,在25~35℃时荒漠沙蜥代谢率的增加可能更多地依赖心率的加快和血流量的增加来为组织提供足够的氧,而呼吸频率并没有显著增加。而在此温度范围内,呼吸频率呈现对温度的弱依赖性可能对于保持行为表现和生理功能的相对稳定具有重要的适应意义。但本实验并没有检测环境温度对蜥蜴通气量的影响,在心率增加的同时,荒漠沙蜥很可能通过增加单次通气量以摄取更多的氧气,这还需要更深入的研究。

## 参考文献

- [1] PRECHT H, CHRISTOFERSEN J, HENSEL H, et al. Temperature and Life[M]. New York: Springer-Verlag, 1973.
- [2] ANGILLET M J. Thermal Adaptation: a theoretical and Empirical Synthesis[M]. London: Oxford University Press, 2009.
- [3] ZARI T A. Seasonal acclimation in resting metabolism of the skink, *Mabuya brevicollis* (Reptilia: Scincidae) from southwestern Saudi Arabia[J]. Journal of Thermal Biology, 2013, 38(7): 449–453.
- [4] 李仁德, 刘迺发. 环境温度对荒漠沙蜥和密点麻蜥体温的影响及其对环境温度的选择[J]. 动物学研究, 1992, 13(1): 47–52.
- [5] 李仁德, 陈强. 温度对蜥蜴红蛋白及血浆总蛋白浓度的影响[J]. 动物学报, 1996, 42(3): 247–252.
- [6] 康旭, 刘重斌, 王子仁, 等. 荒漠沙蜥冬眠前与冬眠中期肝脏, 胰腺, 脂肪体超微结构的比较[J]. 动物学杂志, 2006, 40(6): 103–107.
- [7] TANG Xiao-long, YUE Feng, MA Ming, et al. The effects of thermal and hydric conditions on egg incubation and hatchling phenotypes in two Phrynocephalus lizards[J]. Asian Herpetological Research, 2012, 3(3): 184–191.
- [8] 李仁德, 宋志明. 温度对荒漠沙蜥能量代谢, 呼吸和水分蒸发的影响[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 1990, 26(4): 107–112.
- [9] LI Ren-de, CHEN Qiang, LIU Nai-fa. Effects of body temperature on electrocardiograms of lizard *Eremias multiocellata*[J]. Zoological Research, 1998, 19(4): 269–276.
- [10] 王培潮, 徐宏发. 环境温度对北草蜥热能代谢和体温的影响[J]. 两栖爬行动物学报, 1987, 6(1): 10–15.
- [11] 王培潮, 陆厚基. 黑眉锦蛇的热能代谢与体温调节[J]. 两栖爬行动物学报, 1986, 5(1): 10–16.
- [12] 王培潮, 陆厚基和祝龙彪. 大蟾蜍生理生态的研究 I: 体温调节与热能代谢[J]. 两栖爬行动物学报, 1984, 3(1): 47–54.
- [13] 王振兴, 武正军, 于海, 等. 广东罗坑自然保护区鳄蜥的体温调节及静止代谢率的热依赖性[J]. 动物学报, 2008, 54(6): 964–971.
- [14] 许雪峰, 计翔. 多疣壁虎静止代谢率的热依赖性研究[J]. 杭州师范学院学报: 自然科学版, 1998, 15(6): 64–69.
- [15] 陈松波, 范兆廷, 陈伟兴. 不同温度下鲤鱼呼吸频率与耗氧率的关系[J]. 东北农业大学学报, 2006, 37(3): 352–356.

(责任编辑: 王春燕)