

热驯化对鼎突多刺蚁热适应和运动行为的影响

苏丽娜¹, 李晓晨^{2, *}, 靳 川²

(1. 陕西省动物研究所, 西安 710032; 2. 陕西师范大学生命科学院, 西安 710062)

摘要:为比较恒温和变温驯化对鼎突多刺蚁 (*Polyrhachis vicina* Roger) 热适应和运动行为的影响, 将鼎突多刺蚁分别在 15 °C 恒温和 13.4~21.6 °C 变温下进行驯化, 定量分析两种驯化温度对鼎突多刺蚁热适应和运动行为的影响。结果表明, 恒温和变温驯化对鼎突多刺蚁的最适温度、逃避高温、运动中的停顿频率、疾跑速度、最大持续运动距离均有显著影响 ($p < 0.01$), 而对逃避低温的影响不显著 ($p = 0.343$); 变温驯化后鼎突多刺蚁的最适温度仅有一个峰值, 这不符合最适性模型的预测; 恒温和变温驯化下鼎突多刺蚁的疾跑速度与最大持续运动距离都呈显著的正相关 (分别为 $p = 0.017$ 和 $p < 0.001$), 且经过变温驯化的鼎突多刺蚁的运动能力明显强于恒温驯化下个体的运动能力。

关键词:热驯化; 热适应; 运动行为; 鼎突多刺蚁

文章编号: 1000-0933 (2006) 10-3265-05 中图分类号: Q143, Q958.1 文献标识码: A

The effect of thermal acclimation on thermal adaptation and locomotor performance of ant, *Polyrhachis vicina* Roger

SU Li-Na¹, LI Xiao-Chen^{2, *}, JIN Chuan² (1. Shaanxi Institute of Zoology, Xi'an 710032, China; 2. College of Life Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(10): 3265~3269.

Abstract: To evaluate the effect of thermal acclimation on thermal adaptation and locomotor performance of ant *Polyrhachis vicina* Roger, and to test optimality models, the subjects were divided into two groups, acclimated respectively to 15 °C and 13.4~21.6 °C under a 14L:10D dark-light cycle for 2 weeks. Preferred temperature, critical high temperature, critical low temperature were measured using a thermal gradient apparatus. Pause frequency, sprint speed and maximum length of continuous locomotion were selected as the locomotor parameters of *Polyrhachis vicina* Roger. The temperature range selected by the ant acclimated to constant temperature is from 19.2~35.2 °C, the highest peak of which is 23.2~27.2 °C; the preferred temperature of the subject individuals acclimated to constant temperature is (26.39 ± 0.41) °C. The temperature range selected by the ant acclimated to variable temperature is from 21.2~35.2 °C, the highest peak of which is 27.2~31.2 °C; the preferred temperature of the subject individuals acclimated to variable temperature is (28.70 ± 0.42) °C. One-way ANOVA showed that the preferred temperature of the ants was significantly influenced by both constant temperature and variable temperature ($F_{1,50} = 15.70$, $p < 0.001$). Critical high temperature of individuals acclimated to constant temperature is (43.48 ± 0.39) °C, while the critical high temperature (CHT) of individuals acclimated to variable temperature is (41.22 ± 0.35) °C; Critical low temperature (CLT) of individuals acclimated to constant temperature is (4.55 ± 0.26) °C, while the critical low temperature of individuals acclimated to variable temperature is (4.83 ± 0.14) °C. One-way ANOVA showed that there is significant difference between the CHT of the ants acclimated to constant temperature and the CHT of the ants acclimated to variable temperature ($F_{1,22} = 17.40$, $p < 0.01$). There

基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目 (98H16)

收稿日期: 2005-06-26; **修订日期:** 2006-04-27

作者简介: 苏丽娜 (1981~), 陕西蒲城人, 硕士生, 主要从事动物生态学研究. E-mail: chenxier0929@hotmail.com

致谢: 王立志、郑军分别在志在数据分析处理和实验中给予了帮助, 谨此致谢

*通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaochen@snnu.edu.cn

Foundation item: The project was supported by Shaanxi Natural Science Foundation (No. 98H16)

Received date: 2005-06-26; **Accepted date:** 2006-04-27

Biography: SU Li-Na, Master candidate, mainly engaged in animal ecology. E-mail: chenxier0929@hotmail.com

is significant difference between pause frequency (PF) of individuals acclimated to constant temperature and PF of individuals acclimated to variable temperature ($F_{1,15} = 78.29$, $p < 0.001$); There is significant difference between sprint speed (SS) of individuals acclimated to constant temperature and SS of individuals acclimated to variable temperature ($F_{1,15} = 53.12$, $p < 0.001$); There is significant difference between maximum length of continuous locomotion (MLCL) of individuals acclimated to constant temperature and MLCL of individuals acclimated to variable temperature ($F_{1,15} = 155.09$, $p < 0.001$). Partial correlation analysis showed that there is significant positive correlation between the SS and MLCL of ants acclimated to constant temperature ($r = 0.63$, $df = 12$, $p = 0.017$) and very significant positive correlation between the SS and MLCL of ants acclimated to variable temperature ($r = 0.81$, $df = 12$, $p < 0.001$). The results that the preferred temperature of the animals acclimated to variable temperature didn't meet the prediction of optimality models.

It could be concluded that the thermal adaptation and locomotor performance of this species are significantly influenced by thermal acclimation and that the results doesn't support the optimality models.

Key words: thermal acclimation; thermal adaptation; locomotor performance; *Polyrhachis vicina* Roger

变温动物主要利用外热源,通过选择活动时间或在冷与热的斑块环境之间迁移等行为进行体温调节,以维持相对较高且稳定的体温。环境温度通过影响体温而影响动物的生理功能和行为表现,过高或过低的体温对动物有害甚至能导致其死亡^[1~4]。事实上,由于自然条件下环境因子,例如温度、湿度、辐射度等,通常呈现季节性变化和昼夜波动,动物常常将诸如生长、繁殖和觅食等能够提高适合度的活动集中在一个较窄的温度范围内^[5,6]。显然,动物在最适温度范围内能最有效地完成那些能够提高适合度的活动。虽然恒温下饲养实验动物一直是生物学研究工作中采用的标准方法,但这不符合变温动物在自然生境中的体温变化情况,即以24h为周期的“低-高-低”的正弦轨迹式温度变化。与恒温相比,变温可能会对动物的活动产生不同的影响。Buatois等的研究表明,恒温(27 °C)和变温((27 ± 2.5) °C)条件下驯养的蟑螂在温度偏爱性、领域拓展行为方面存在明显差异^[7~10]。

任何随时间呈正弦轨迹变化的环境因子,如温度的昼夜变化,都会呈现两峰或三峰分布^[11]。最适性模型认为,双峰环境实际上是具有相同标准误差的两个正态分布的混合体,这两个正态分布被一个峰间距所隔离。该模型预测,当呈双峰式分布的日温度的峰间距(即日温差)为17 °C时,与生物个体适合度密切相关的最适温度将出现3个峰值^[12]。目前验证该模型的实验资料尚未见报道。本文以鼎突多刺蚁(*Polyrhachis vicina* Roger)为实验动物,验证最适性模型。

鼎突多刺蚁隶属昆虫纲,膜翅目,蚁科,是国家卫生部唯一指定的药食兼用性蚂蚁,在我国南方各省均有分布。它作为一种变温动物,其生长、发育、繁殖、行为、分布及其它生命活动都易受外界环境温度的影响。有关鼎突多刺蚁的研究资料比较丰富,主要集中在营巢习性、取食习性、生活史、群体结构、社会生物学性、蚁群动态以及医药疗效等方面^[13~20]。上述文献虽然也涉及到温度对鼎突多刺蚁的某些影响,但未见恒温驯化和变温驯化对鼎突多刺蚁的热适应和运动行为影响的确切报道。为比较恒温 and 变温驯化对鼎突多刺蚁(*Polyrhachis vicina* Roger)热适应和运动行为的影响,本文将鼎突多刺蚁分别在15 °C恒温 and 13.4~21.6 °C变温下进行热驯化,定量分析两种驯化温度对鼎突多刺蚁热适应和运动行为的影响。

1 材料与方法

1.1 实验动物

选取成年且健康的鼎突多刺蚁工蚁个体300只,将其随机分为两组,平均体长分别为(5.8 ± 0.32) mm和(5.7 ± 0.18) mm,各组间无显著差异。将蚂蚁置于广口瓶内,并在其内放入直径为1 cm、长5 cm的小纸筒作为蚂蚁的巢穴,每个广口瓶内容纳50只蚂蚁。将上述广口瓶分别置于恒温 and 变温下驯化2周。恒温条件由恒温恒湿培养箱(LRH-250-S,广东医疗器械厂)提供,温度设为15 °C,湿度(RH)设为70% ± 5%,从当时的室温20 °C开始,以1 °C d⁻¹速率递减直至达到所设计的驯化温度。变温条件是指在实验室的室温下驯化,变温驯

化两周内的日平均温度变化范围为 13.4~21.6 °C,平均湿度(RH)为 72%。驯化期间以足量的苹果和蜂蜜喂养。光照周期设为 14L:10D。

1.2 热适应测定

取一块 70cm×5cm×2cm 的金属槽,金属槽两端距端点 10 cm 处向下弯成直角,用一长 60 cm、宽 6 cm 的玻璃条盖在铁板上以防止实验中蚂蚁逃逸,将其两端分别置于 0 °C 的冰水浴和恒温水浴锅中,调整水浴锅的温度,在铁板两端建立起 0~50 °C 稳定的温度梯度。这样,就制成了一个温度梯度仪。实验时将恒温或变温下驯化的鼎突多刺蚁置于温度梯度仪上,待其适应 5~10min 后,用数字点温计(Thermistor 400 series)测定其长时间停留或出现频率最高的位置的温度,即为最适温度。在测量逃避温度时,用毛笔轻轻刺激蚂蚁,使其在温度梯度仪上向高温处或低温处爬行,在高温处某一点蚂蚁呈现急躁、乱撞、转身逃跑等行为时或在低温处某一点出现附肢伸展、运动减缓、偶尔昏迷等行为时,用记号笔标出该位置并测量其温度,即分别为逃避高温和逃避低温。恒温和变温驯化下测定热适应性指标均用鼎突多刺蚁 94 只,每次只测量一只蚂蚁且只用于测定一个指标。

1.3 运动行为测定

经恒温驯化和变温驯化的鼎突多刺蚁的运动行为均在(24±1) °C 下测定。为避免产生驯化效应,实验开始前,规定鼎突多刺蚁在测定温度下的标准化适应时间为 2 min,然后将其置于长 2 m、宽 1 cm 的钢尺上,并用毛笔刺激使其爬行,每只实验动物连续实验 10~15min,每次只测量一只蚂蚁且只用于测定一个指标。用 3 项指标表示鼎突多刺蚁的运动行为:(1) 疾跑速度,指其每秒钟的运动距离,即 10cm 与跑过 10cm 距离所用时间之比;(2) 停顿频率,指其运动中每分钟的停顿次数;(3) 最大持续运动距离,指其不间断持续运动的最长距离。恒温和变温驯化下测定运动行为指标均用鼎突多刺蚁 45 只。

1.4 数据处理

数据统计前,首先对所有的数据进行正态性检验。用单因素方差分析和偏相关分析对数据进行统计处理,各项指标的描述性数据均用“均值±标准误差”表示,显著性水平取 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 热耐受性

恒温(15 °C 驯化下。鼎突多刺蚁在温度梯度仪上的分布范围为 19.2~35.2 °C;其分布高峰为 23.2~27.2 °C,约有 58% 的个体群集在该温区;恒温驯化下鼎突多刺蚁的最适温度为(26.39±0.41) °C。变温(13.4~21.6 °C 驯化下,鼎突多刺蚁分布范围为 21.2~35.2 °C(图 1),其分布高峰在 27.2~31.2 °C,约有 52% 的个体群集在该温区;变温驯化下鼎突多刺蚁的最适温度为(28.70±0.42) °C。单因素方差分析表明,恒温驯化和变温驯化对鼎突多刺蚁的最适温度呈现极显著影响($F_{1,50}=15.70$, $p<0.001$) (见表 1)。

恒温和变温驯化后,鼎突多刺蚁的逃避高温分别为(43.48±0.39) °C和(41.22±0.35) °C,逃避低温分别为(4.55±0.26) °C和(4.83±0.14) °C(表 1)。可以看出恒温驯化后鼎突多刺蚁的温度耐受范围较变温驯化宽。单因素方差分析表明,恒温和变温驯化后鼎突多刺蚁逃避高温之间的差异达极显著水平($F_{1,22}=17.40$, $p<0.01$),而逃避低温之间的差异则不显著($F_{1,22}=0.92$, $p=0.343$)。

2.2 运动行为

恒温和变温驯化后,鼎突多刺蚁的停顿频率分别为(10.70±0.46)次 min⁻¹和(6.11±0.17)次 min⁻¹(表 1),两者之间存在极显著差异($F_{1,15}=78.29$, $p<0.001$);疾跑速分别为(2.64±0.10)cm s⁻¹和(4.23±0.20)cm s⁻¹,两者之间也存在极显著差异($F_{1,15}=53.12$, $p<$

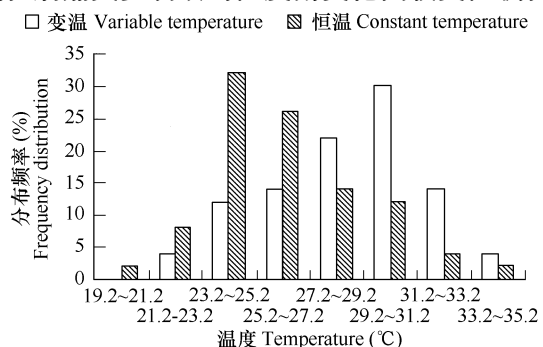


图 1 鼎突多刺蚁在不同温度梯度范围内的分布频率

Fig. 1 Frequency distribution of *Polyrhachis vicina* at different temperatures

0.001);最大持续运动距离分别为 (40.00 ± 1.95) cm 和 (80.93 ± 2.51) cm,两者之间也存在极显著差异($F_{1,15} = 155.09$, $p < 0.001$)。

偏相关分析显示,恒温驯化下,疾跑速与最大持续运动距离呈显著的正相关($r = 0.63$, $df = 12$, $p = 0.017$);停顿频率与最大持续运动距离呈显著的正相关($r = 0.60$, $df = 12$, $p = 0.024$);停顿频率与疾跑速度无关($r = 0.22$, $df = 12$, $p = 0.453$)。变温驯化下,疾跑速与最大持续运动距离呈极显著的正相关($r = 0.81$, $df = 12$, $p < 0.001$);停顿频率与最大持续运动距离无关($r = 0.15$, $df = 12$, $p = 0.606$);停顿频率与疾跑速无关($r = 0.39$, $df = 12$, $p = 0.169$)。

表1 恒温和变温驯化对鼎突多刺蚁热耐受性和运动行为的方差分析

驯化温度(°C) AT	最适温度(°C) PT	逃避高温(°C) CHT	逃避低温(°C) CLT	停顿频率(次 min ⁻¹) PF(times min ⁻¹)	疾跑速度(cm s ⁻¹) SS	最大持续运动距离(cm) MLCL
15	26.39 ± 0.41 (N = 50)	43.48 ± 0.39 (N = 22)	4.55 ± 0.26 (N = 22)	10.70 ± 0.46 (N = 15)	2.64 ± 0.10 (N = 15)	40.00 ± 1.95 (N = 15)
13.4~21.6	28.70 ± 0.42 * (N = 50)	41.22 ± 0.35 * (N = 22)	4.83 ± 0.14 (N = 22)	6.11 ± 0.17 * (N = 15)	4.23 ± 0.20 * (N = 15)	80.93 ± 2.51 * (N = 15)

*差异极显著 Very significant differences; AT, acclimation temperature; PT, preferred temperature; CHT, critical high temperature; CLT, critical low temperature; PF, pause frequency; SS, sprint speed; MLCL, maximum length of continuous locomotion; N, number of samples

3 讨论与结论

鼎突多刺蚁作为一种小型变温动物,在自然生境中可以通过运动主动选择有利环境温度。然而大多数研究中昆虫被迫接受人为设定的恒温或变温,并未体现出昆虫本身对适宜温度的主动选择性^[21]。本文在实验室内采用的变温驯化条件是对鼎突多刺蚁来源地春季和秋季的日温度变化的模拟。研究结果表明,恒温驯化和变温驯化对鼎突多刺蚁的最适温度、逃避高温、停顿频率、疾跑速度、最大持续运动距离均有显著影响($p < 0.01$),但对逃避低温的影响不显著($p = 0.343$)。可见恒温驯化下研究得出的影响鼎突多刺蚁生长、发育、觅食或繁殖的热适应性和运动能力,实际上并不能完全反映该物种在自然生境中的真实情况。

不同的温度驯化方式能够明显改变鼎突多刺蚁的最适温度和逃避高温。恒温驯化(15 °C)的最适温度为26.39 °C,低于变温驯化(13.4~21.6 °C)的最适温度28.70 °C,这与 Buatois 等对蟑螂最适温度研究时所得的恒温下驯养的值低于变温下驯养的值结论相一致^[7]。最适性模型认为,当外温动物所处环境的日温差变化为17 °C时,与生物个体适合度密切相关的最适温度将出现3个峰值^[12]。实验室内变温驯化(13.4~21.6 °C)下的鼎突多刺蚁和生活在野外自然条件下的个体一样,也经历了以24h为周期的“低-高-低”的正弦轨迹式温度变化。但经过变温驯化后鼎突多刺蚁的最适温度仅有一个峰值,这显然与最适性模型的预测不相符合。恒温驯化(15 °C)的鼎突多刺蚁经历的温度驯化过程是稳定的,因而其最适温度的分布只有一个峰值。值得注意的是,恒温驯化和变温驯化方式对鼎突多刺蚁的逃避低温影响不大,但恒温下的逃避高温(43.5 °C)却高于变温下的值(41.2 °C)。这一结果可能与本实验所选用的鼎突多刺蚁源自亚热带地区因而对低温不敏感有关。

变温(13.4~21.6 °C)驯化下的疾跑速度和最大持续运动距离明显高于恒温(15 °C)驯化下的对应值,而停顿频率则呈现出相反的趋势。可见,与恒温驯化相比,变温驯化显著增强了鼎突多刺蚁的运动能力。这与 Buatois 等研究恒温和变温条件下饲养的蟑螂在圆形场地内的探索行为时所得结论相吻合^[10],同时也符合 Manning 和 Dawkins 认为的实验室内恒温驯养限制了自然条件下动物的真实运动能力的观点^[22]。在这两种驯化温度下,疾跑速度与最大持续运动距离均呈显著的正相关,疾跑速度较大时,鼎突多刺蚁的最大持续运动距离也较大,反之亦然。然而,停顿频率与最大持续运动距离及疾跑速度并无明显的相关性,这可能是由于疾跑速和最大持续运动距离分别代表了鼎突多刺蚁的瞬时运动速度和运动耐力,而这两项指标直接与野外鼎突多刺蚁逃避天敌和获取食物的能力有关。因此本项研究涉及的3项运动表现指标中,疾跑速度和最大持续运动距离的生态学意义比停顿频率更为重要。

References :

- [1] Avery R A. Field studies of body temperature and thermoregulation. In: Gans C. , Pough F. H. eds. Biology of the Reptilia Vo. 1. 12. New York: Academic Press, 1982. 93~116.
- [2] Huey R B. Temperature, physiology and the ecology of reptiles. In: Gans C. , Pough F. H. eds. Biology of the Reptilia Vo. 1. 12. New York: Academic Press, 1982. 25~91.
- [3] Pough F H. The advantages of ectothermy for tetrapods. Amer. Nat. , 1980, 115: 92~112.
- [4] Huey R B, Kingsolver J G. Evolution of thermal sensitivity of ectotherm performance. Trends Ecol. Evol. , 1989, 4: 131~135.
- [5] Andrewartha H G, Birch L C. The distribution and abundance of animals. Chicago, USA: University of Chicago Press, 1954.
- [6] Magnuson J J, Crowder L B, Medvick P A. Temperature as an ecological resource. American Zoologist, 1979, 19: 331~343.
- [7] Buatois A. Etude de la poikilothermie par voie thermométrique. Exemple de la blatte *Blaberus craniifer*, Burm. These no. Univ. Lyon 1, 1985. 8514.
- [8] Buatois A, Croze J P, Pernin M O, Pontier J. Déplacement et température chez la blatte. Etude par la statistique d'autocomparaison. Biol. Behav. , 1986, 11: 217~234.
- [9] Buatois A, Croze J P. Effect of variability of breeding temperature on the thermal responses of a poikilothermic insect, the female cockroach *Blaberus craniifer*. J. Therm. Biol. , 1991, 16: 31~36.
- [10] Buatois A, Mimouni P, Chasse J L, et al. Effects of constant or variable thermal rearing condition: a behavioural approach using an automated tracking system in *Blaberus craniifer*. J. Therm. Biol. , 2000, 25: 281~286.
- [11] Curry G L, Feldman R M. Mathematical foundations of population dynamics. College Station: Texas A&M University Press, 1987.
- [12] Gilchrist G W. Specialists and generalists in changing environments I. fitness landscapes of thermal sensitivity. The American Naturalist, 1995, 146 (2): 252~270.
- [13] Chen Y, Tang J. Studies on population structure and life history of *Polyrhachis vicina* Roger. Zoological Research, 1989, 19 (1): 57~63.
- [14] Chen Y, Tang J. Observation of feeding habit of *Polyrhachis vicina* Roger. Journal of Zhejiang Agricultural University, 1989, 15 (2): 203~208.
- [15] Chen Y, Tang J. Nesting behavior of *Polyrhachis vicina* Roger. Acta Entomologica Sinica, 1990, 33 (2): 193~199.
- [16] Wang J F. Studies on colonial sociobiology of *Polyrhachis vicina* Roger. Journal of Zhejiang Agricultural University, 1987, 13 (2): 222~223.
- [17] Wang J F, Tang J. Food abundance and foraging patterns of natural colonies of *Polyrhachis vicina* Roger. Insectes Sociaux, 1994, 41: 141~151.
- [18] Wang J F, Tang J. The spatial patterns on nest and the population dynamics of *Polyrhachis vicina* Roger. Zoological Research, 1996, 17: 129~137.
- [19] Wang J F, Chen R, Lu S H. Effects of nest collecting on the population recovery of *Polyrhachis vicina* Roger. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21 (7): 1153~1157.
- [20] Zhang J W, Ding X L. Studies on trace elements extracted from *Polyrhachis vicina* Roger and its clinical application. Studies of Trace Elements and Health, 1998, 15 (1): 511.
- [21] Ma C S, Ma G, Du Y, et al. Current status and future perspectives for behavioural response of insects to temperature gradient. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25 (12): 3390~3397.
- [22] Manning A, Dawkins M S. An Introduction to Animal Behaviour. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

参考文献:

- [13] 陈益,唐觉. 鼎突多刺蚁群体结构和生活史的研究. 动物学研究, 1989, 19 (1): 57~63.
- [14] 陈益,唐觉. 鼎突多刺蚁取食习性的观察. 浙江农业大学学报, 1989, 15 (2): 203~208.
- [15] 陈益,唐觉. 鼎突多刺蚁的营巢习性. 昆虫学报, 1990, 33 (2): 193~199.
- [16] 王金福. 鼎突多刺蚁的社会生物学研究. 浙江农业大学学报, 1987, 13 (2): 222~223.
- [19] 王金福,陈睿,陆绍红. 鼎突多刺蚁蚁群的采收与恢复效应. 生态学报, 2001, 21 (7): 1153~1157.
- [20] 张俊巍,丁先露. 鼎突多刺蚁微量元素及临床应用研究. 微量元素与健康研究, 1998, 15 (1): 511.
- [21] 马春森,马罡,杜尧,等. 连续温度梯度下昆虫趋温性的研究现状与展望. 生态学报, 2005, 25 (12): 3390~3397.