

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2014-0221

任金龙, 赵莉, 赵炎, 葛婧. 意大利蝗对温度耐受力的初探[J]. 草业科学, 2015, 32(2): 274-280.

REN Jin-Long, ZHAO Li, ZHAO Yan, GE Jing. A preliminary study on temperature tolerance ability of *Calliptamus italicus* [J]. Pratacultural Science, 2015, 32(2): 274-280.



## 意大利蝗对温度耐受力的初探

任金龙, 赵莉, 赵炎, 葛婧

(新疆农业大学农学院 新疆农林有害生物监测与安全防控自治区重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘要:**对意大利蝗(*Calliptamus italicus*)各虫态过冷却点、成虫耐高温能力和体温调节行为进行测定,并初步探究意大利蝗对温度的耐受力。结果表明,意大利蝗各虫态的过冷却点均服从正态分布;各虫态的过冷却点及冰点有所差异,其中越冬卵的过冷却点及冰点最低( $P < 0.05$ ),3龄蝗蛹过冷却点最高( $P < 0.05$ ),其他各龄蝗蛹及成虫雌雄之间过冷却点均无显著差异( $P > 0.05$ )。环境温度为41℃时,雌成虫和雄成虫的LT<sub>50</sub>、LT<sub>90</sub>均最长,分别为623.83、1 604.98 h,459.52、1 181.97 h;成虫的体温与环境温度均呈极显著的线性关系( $P < 0.01$ );当环境温度以0.5℃·min<sup>-1</sup>速率上升时,成虫的体温升高速率在0.30~0.36℃·min<sup>-1</sup>,其中雄成虫体温升高速率(0.36℃·min<sup>-1</sup>)显著高于雌成虫体(0.30℃·min<sup>-1</sup>)。

**关键词:**意大利蝗;过冷却点;体温调节;耐高温能力

中图分类号:S186

文献标识码:A

文章编号:1001-0629(2015)02-0274-07\*

### A preliminary study on temperature tolerance ability of *Calliptamus italicus*

REN Jin-Long, ZHAO Li, ZHAO Yan, GE Jing

(College of Agronomy, Key Laboratory of the Pest Monitoring and Safety Control on the Crop and Forest at Universities of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** The supercooling points of all stages of *Calliptamus italicus* and body temperature regulation and the heat-resisting ability of adults were measured for the first time in 2013. The results showed that supercooling points of each life stage of *C. italicus* followed normal distribution. And supercooling points and freezing points of different life stages were different. The wintering eggs had the lowest supercooling point and freezing point ( $P < 0.05$ ) while the third instar nymphs had the highest supercooling point ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference of supercooling point among other instars or between the male and female of the adults. When ambient temperature ( $T_a$ ) was 41℃, LT<sub>50</sub> and LT<sub>90</sub> of the female and male adults were the longest, which were 623.83, 1 604.98 and 459.52, 1 181.97 h, respectively. Adult body temperature ( $T_b$ ) and  $T_a$  showed a very significant linear relationship ( $P < 0.01$ ). When  $T_a$  rose by 0.5℃·min<sup>-1</sup>, the  $T_b$  rise rate was 0.30~0.36℃·min<sup>-1</sup>, and the body temperature rise rate of male adults was 0.36℃·min<sup>-1</sup>, which was significantly higher than that of its female adults (0.30℃·min<sup>-1</sup>).

**Key words:** *Calliptamus italicus*; supercooling point; body temperature regulation; heat-resisting ability

**Corresponding author:** ZHAO Li E-mail: zlym57@sohu.com

\* 收稿日期:2014-05-06 接受日期:2014-09-04

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201003079)

作者简介:任金龙(1989-),男,甘肃武威人,在读硕士生,主要研究方向为害虫综合治理。E-mail: rjlinsect.@163.com

通信作者:赵莉(1957-),女,河南新野人,教授,硕士,主要研究方向为害虫综合治理。E-mail: zlym57@sohu.com

意大利蝗广泛分布于沿地中海的北部和东部边缘、中欧、北非、中亚、西伯利亚平原西部、蒙古西北部、中国(新疆、内蒙古、青海、甘肃)<sup>[1-2]</sup>,具有分布广泛、潜在危害大、扩散迁徙的特性。近年来意大利蝗频繁越境危害我国新疆毗邻哈萨克斯坦的阿勒泰、塔城、伊犁等边境地区,为害草地面积达 249 万  $\text{hm}^2$ 。意大利蝗在我国潜在分布地域为长江以北地区<sup>[3]</sup>,随着全球性气候变化、水热季节性分配失调及草原沙化等生态条件的变化,其潜在分布范围、种群适宜水平将有所增加。

温度为生物极为重要的生态因子,任何一种生物的生存和发育均受外界温度的影响和控制,其中高温或低温均会影响其正常生活。在不良的低温环境中,昆虫耐寒能力的高低是种群存在与发展的重要前提,同时决定种群生殖、扩散、分布及下一季节的发生动态<sup>[4]</sup>,其中过冷却点(Super-cooling Point, SCP)常作为界定昆虫耐寒性强弱的一个关键指标<sup>[5-9]</sup>;在高温环境中,昆虫耐高温能力则决定其生存及发育。同时,温度亦为影响有机体体温的主要因素,而体温的高低又决定了动物新陈代谢的强弱及动物种群的数量、繁殖、生长发育速度、分布和行为等<sup>[10]</sup>。据 Blanford 和 Thomas<sup>[11]</sup>的研究,金龟子绿僵菌生物杀虫剂防治蝗虫效果差的主要原因之一为环境温度和蝗虫的体温调节,致使微孢子毒力降低或失效。对意大利蝗已有的研究集中于取食特性、草地损失估计、生态型等<sup>[11-18]</sup>,而温度与生物学相关性研究较少<sup>[19]</sup>。因此,本研究首次测定意大利蝗不同虫态过冷却点、成虫耐高温能力及体温调节行为,初步探究意大利蝗对温度的耐受力,以期为意大利蝗分布、潜在危害区提供基础理论,尤其为探明意大利蝗体温调节机理适生性分析提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试虫源

2012—2013 年间于新疆维吾尔自治区玛纳斯县大阳山(43.928 510° N, 86.155 213° E, 海拔 1 292 m)采集意大利蝗蝗蛹,将其置于玛纳斯南山试验区(43.905 063° N, 86.129 871° E, 海拔 1 297.8 m)饲养,收集羽化成虫及卵,并在试验区 5 个地点放置 Microlab EC650 温湿度记录仪(距地高度 10 cm, 外置气象罩)。

### 1.2 过冷却点测定

利用温度记录仪(Toprie TP700, Taiwan)测定意大利蝗卵(卵体近孵化已解除滞育),1、2、3、4、5 龄蝗蛹,雌成虫,雄成虫的过冷却点 SCP 及冰点(Freezing Point, FP),每个处理样本量 30 头。测定时用胶带将虫体与探头紧密固定,置于超低温冰箱(Espec MT3030, 广东爱斯佩克环境仪器有限公司),由 5 °C 开始降温,以 1 °C · min<sup>-1</sup> 降温速率降至 -40 °C 停止收录数据<sup>[20]</sup>。

### 1.3 意大利蝗成虫耐高温能力测定

分别设置人工气候箱(PQX-28OB-22H, 宁波莱福科技有限公司)41、44、47 和 50 °C 共 4 个温度处理,箱内控温误差为 ±1 °C,培养条件(40%~50% 相对湿度,光照强度 1 530 lx,光周期(光照/黑暗, 14 h/10 h),每个处理雌雄各 20 头,重复 5 次,每隔一定时间(41 和 44 °C 每隔 24 h 检查一次,47 和 50 °C 每隔 2 h 检查一次)检查其死亡情况,并及时饲喂试虫<sup>[21]</sup>。

### 1.4 意大利蝗体温与环境温度的关系

使用两种测定方法,一组将探头插入试虫着生翅胸节内测定体温,参照岳梅等<sup>[21]</sup>的测定方法;另一组将探头紧贴着生翅胸节体壁测定体壁温度,均置于超低温冰箱设置箱内温度,使其从 24 °C 开始,以 2 °C 为一梯度升至 48 °C,每个温度梯度保持一定的时间(大于 1 h)以保证虫体温度稳定,测定在一定温度下的体温和体壁温度,每个处理雌雄成虫各 20 头。

### 1.5 意大利蝗体温随环境温度的变化速率、致死时间及致死温度

将测温探头插入试虫生翅胸节内,置于超低温冰箱,以 30 °C 为起点保持 0.5 °C · min<sup>-1</sup> 升温速率,利用温度记录仪收录试虫体温( $T_b$ )和箱内环境温度( $T_a$ ),直至试虫死亡,记录致死时间及致死温度,雌雄成虫各测 20 头<sup>[21]</sup>。

### 1.6 数据处理及分析

数据均采用统计软件 SPSS Statistics (SPSS 19.0, Inc., Chicago, USA)分析,其中不同虫态过冷却点及成虫耐高温数据间的差异采用方差分析(Duncan Test);不同虫态过冷却点的频次分布特征采用单样本 Kolmogorov-Smirnov 检验分析;而成虫耐高温能力的  $LT_{50}$ 、 $LT_{90}$  (分别表示 50% 和 90% 供试虫死亡的致死温度)利用 Polo Plus 1.0 计算。

2 结果与分析

2.1 意大利蝗各虫态的过冷却点测定

2.1.1 各虫态的过冷却点频次分布 意大利蝗各虫态的 SCP 分布范围有所差异,卵、1 龄蝗蛹、2 龄蝗

蛹、3 龄蝗蛹、4 龄蝗蛹、5 龄蝗蛹、雌成虫、雄成虫的 SCP 分布范围分别为  $-15.3 \sim -5.6$ 、 $-6.9 \sim -4.0$ 、 $-9.9 \sim -3.1$ 、 $-6.8 \sim -3.1$ 、 $-8.0 \sim -4.1$ 、 $-9.1 \sim -4.4$ 、 $-8.3 \sim -3.5$  和  $-11.3 \sim -4.7$  °C (图 1)。SCP 分布范围最宽为卵,最低值与最高值相差 9.7 °C;其

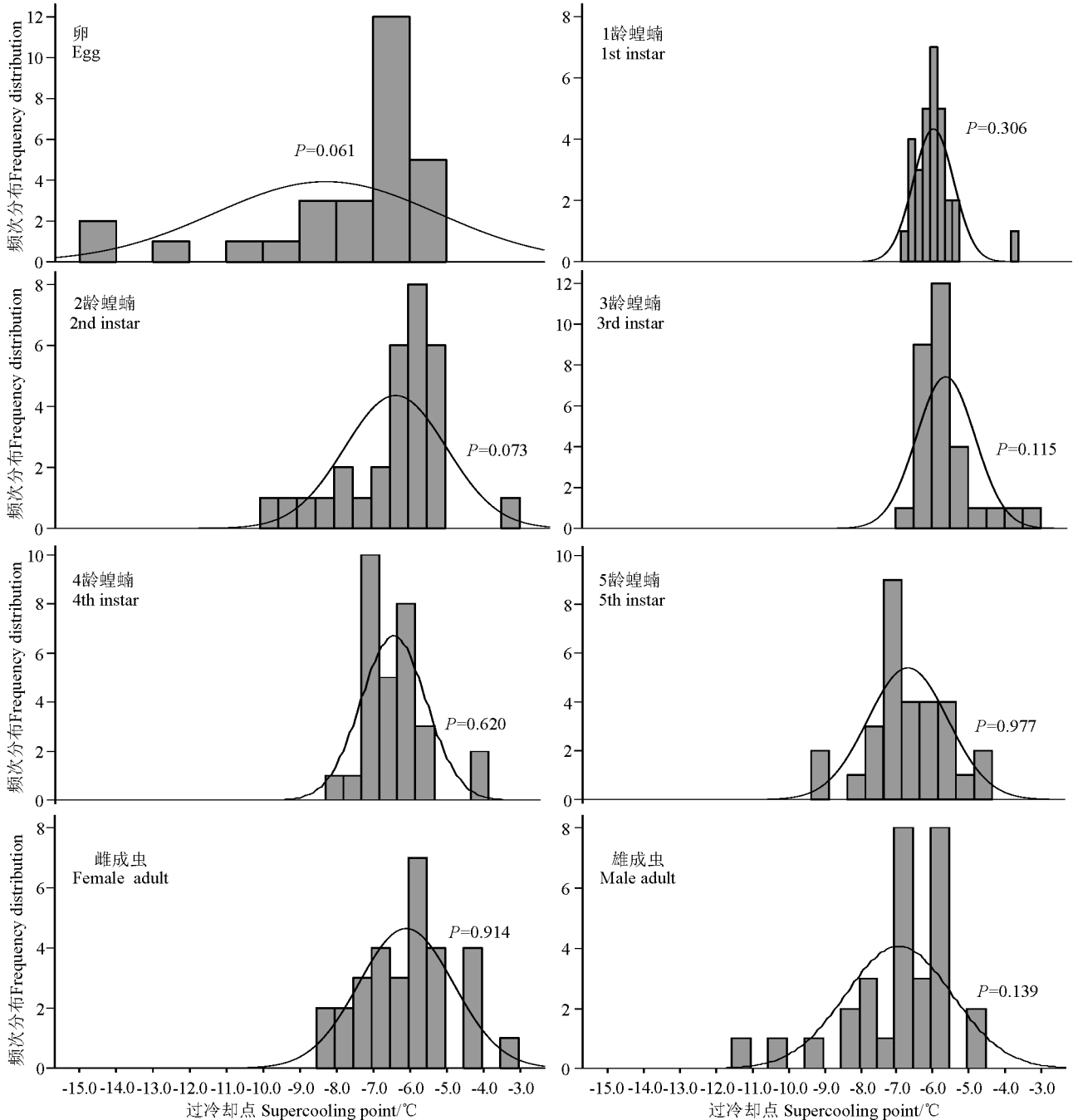


图 1 意大利蝗各虫态的过冷却点频次分布

Fig.1 Frequency distribution of supercooling points in different stage of *Calliptamus italicus*

注: P 值为 Kolmogorov-Smirnov 检测值,拟合曲线符合正态分布。

Note: P was the value of one sample of Kolmogorov-Smirnov Test; the simulated curve followed the normal distribution.

次为雄成虫,最低值与最高值相差 6.6 °C;1 龄蝗蚬的最小,最低值与最高值相差 2.9 °C。各虫态的过冷却点均服从正态分布( $P>0.05$ )。

**2.1.2 各虫态的过冷却点及冰点** 意大利蝗各虫态 SCP 与 FP 的变化趋势不同(图 2)。SCP 由高到低依次为 3 龄蝗蚬、雌成虫、1 龄蝗蚬、4 龄蝗蚬、2 龄蝗蚬、5 龄蝗蚬、雄成虫和卵,依次为 -5.67、-6.11、-6.17、-6.36、-6.61、-6.68、-6.90、-8.28 °C。各虫态的过冷却点不同,其中卵的过冷却点最低( $P<0.05$ ),3 龄蝗蚬过冷却点最高(-5.67 °C)。各龄蝗蚬之间,以 5 龄(-6.68 °C)最低,显著低于 3 龄;其他各龄蝗蚬过冷却点差异不显著。成虫雌雄之间过冷却点无显著差异。FP 由高到低依次为雌成虫、雄成虫、1 龄蝗蚬、2 龄蝗蚬、5 龄蝗蚬、3 龄蝗蚬、4 龄蝗蚬、卵,分别为 -1.10、-1.11、-1.21、-1.28、-1.29、-1.31、-1.36、-5.60 °C。

## 2.2 意大利蝗成虫耐高温能力

意大利蝗成虫在 41~50 °C 恒温范围内,LT<sub>50</sub> 和 LT<sub>90</sub> 随着环境温度( $T_a$ )的升高逐渐变短,即耐热力逐渐降低(表 1)。 $T_a$  为 41 °C,雌成虫和雄成虫的 LT<sub>50</sub>、LT<sub>90</sub> 均最长,雌成虫 LT<sub>50</sub>、LT<sub>90</sub> 分别为 623.83、1 604.98 h;雄成虫 LT<sub>50</sub>、LT<sub>90</sub> 分别为 459.52、1 181.97 h;在 41~50 °C 间,除 44 °C 外其他温度雌成虫 LT<sub>50</sub>、LT<sub>90</sub> 均高于雄成虫,但两者间无显著性差异( $P>0.05$ )。

## 2.3 意大利蝗成虫体温随环境温度的变化

意大利蝗成虫体温( $T_b$ )均随着  $T_a$  的升高显著升高( $P<0.05$ )(表 2)。28 °C< $T_a$ <30 °C, $T_b$  和

$T_a$  温差在 1.9~3.2 °C; $T_a>30$  °C 时, $T_b$  和  $T_a$  温差在 0.3~1.1 °C;表明 28 °C< $T_a$ <32 °C,可能受体温调节作用; $T_a>30$  °C,意大利蝗成虫将减弱或丧失体温调节作用。意大利蝗成虫  $T_b$  与  $T_a$  拟合方程分别为:雄成虫  $T_b = -1.0569T_a - 3.023$ , $R^2 = 0.9918$ ;雌成虫  $T_b = -1.0181T_a - 1.5574$ , $R^2 = 0.9925$ ,意大利蝗成虫的  $T_b$  与  $T_a$  呈极显著的线性关系( $P<0.01$ )。

当环境温度在 30~38 °C 范围内,雄成虫体温高于雌成虫(图 3),仅 30~34 °C 范围内,雄成虫体温显著高于雌成虫( $P<0.05$ );当环境温度在 38~48 °C 范围内,雄成虫体壁温度低于雌成虫,但无显著差异( $P>0.05$ )。当环境温度为 30 和 32 °C 时,雄成虫体壁温度显著高于雌成虫体温,而雌成虫体温显著低于雌成虫体壁温度和雄成虫体壁温度与体温。当环境温度为 34 °C 时,雌成虫体温显著低于雌成虫体壁温度和雄成虫体壁温度与体温。当环境温度在 36~48 °C,雄成虫体温和体壁温度和雌成虫体温和体壁温度无显著差异。

## 2.4 意大利蝗成虫体温随环境温度的变化速率、致死时间及致死温度

从 30 °C 起, $T_a$  以 0.5 °C·min<sup>-1</sup> 速率上升时, $T_b$  升高速率为 0.30~0.36 °C·min<sup>-1</sup>(表 3)。成虫死亡标志为体温和环境温度保持相同的升温速率,对于致死体温、致死时间、致死环境温度和体温升高幅度,成虫雌雄之间均无显著差异( $P>0.05$ )。体温升高速率,雄成虫(0.36 °C·min<sup>-1</sup>)显著高于雌成虫(0.30 °C·min<sup>-1</sup>)( $P<0.05$ )。

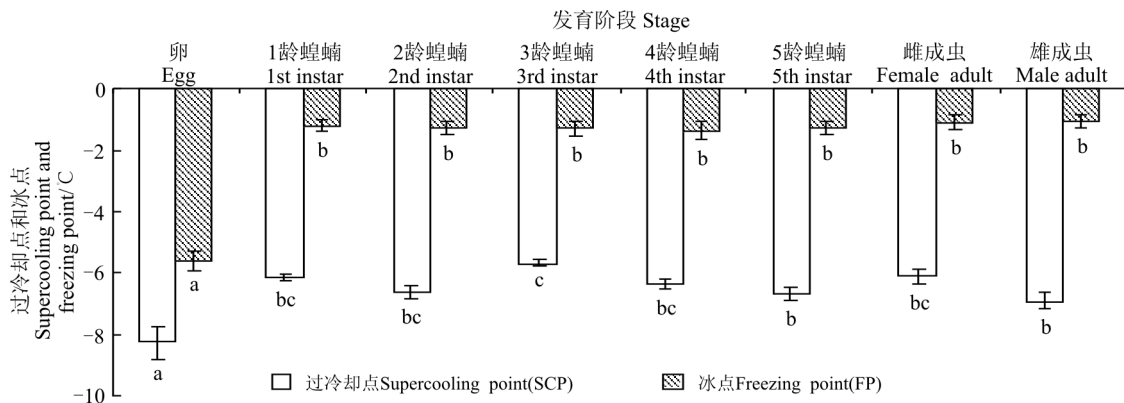


图 2 意大利蝗各虫态的过冷却点及冰点

Fig.2 Supercooling points and freezing points in different stages of *Calliptamus italicus*

注:不同小写字母表示相同指标不同虫态间差异显著( $P>0.05$ )。

Note: Different lower case letters within the same treatment indicate significant difference among different stages at 0.05 level.

表 1 意大利蝗成虫耐高温曲线及  $LT_{50}$ 、 $LT_{90}$ Table 1 The curve of withstanding high temperature of *Calliptamus italicus* adults and  $LT_{50}$  and  $LT_{90}$ 

环境温度( $T_a$ ) 成虫性别 Temperature Adult sex	拟合曲线 Fitting curves	$R^2$	$LT_{50}/h$	$LT_{90}/h$
41 °C	♀ $y = -0.000\ 03T^2 + 0.017\ 3T + 2.037$	0.925 9	623.83±86.17A	1 604.98±118.73A
	♂ $y = 0.000\ 02T^2 + 0.016\ 5T + 1.345\ 1$	0.883 6	459.52±27.96A	1 181.97±63.75A
44 °C	♀ $y = 0.000\ 008T^2 + 0.010\ 6T + 2.562\ 2$	0.987 1	246.02±21.93B	619.31±81.66B
	♂ $y = 0.000\ 02T^2 + 0.011\ 9T + 2.418\ 4$	0.990 8	305.60±5.84B	672.81±36.41B
47 °C	♀ $y = 0.006\ 7T^2 - 0.043\ 7T + 3.141\ 6$	0.979 9	18.64±0.76C	26.46±1.12C
	♂ $y = 0.007\ 2T^2 + 0.066\ 3T + 2.898\ 7$	0.976 8	12.21±0.76C	20.16±1.56C
50 °C	♀ $y = 0.003\ 9T^2 + 0.244\ 9T + 2.727\ 3$	0.954 3	7.07±0.92C	13.51±1.19C
	♂ $y = 0.006\ 4T^2 + 0.117\ 6T + 3.539\ 7$	0.975 2	6.36±0.81C	15.13±3.02C

注:表中曲线使用 poloplus 拟合,  $y$  为死亡率,  $T$  为时间(h);表中数据为平均值±标准误, A、B、C、D 表示不同温度下全世代发育历期差异极显著( $P < 0.01$ )。

Note: The curve in Table 1 used poloplus multiple range fitting, where  $y$  represent mortality rate,  $T$  represent time(h). The data in Table 1 present as mean±standard error. A, B, C and D representd extremely significant differences of whole generation developmental period under different temperatures at 0.01 level.

表 2 意大利蝗成虫在不同环境温度( $T_a$ )的体温( $T_b$ )Table 2 Body temperature( $T_b$ ) of *Calliptamus italicus* adult at different ambient temperature( $T_a$ )

$T_a/°C$	$T_b/°C$	
	雄成虫 Male adult	雌成虫 Female adult
24	23.8±0.1m	23.7±0.1m
26	26.1±0.2l	26.7±0.1l
28	24.8±0.2k	25.5±0.1k
30	28.1±0.2j	28.0±0.2j
32	31.7±0.1i	31.6±0.1i
34	33.7±0.1h	33.7±0.1h
36	35.5±0.1g	35.5±0.1g
38	37.4±0.1f	37.3±0.1f
40	39.2±0.1e	39.2±0.1e
42	41.0±0.1d	41.0±0.1d
44	43.6±0.1c	43.2±0.1c
46	45.6±0.1b	45.5±0.2b
48	47.3±0.1a	46.9±0.2a

注:同列不同小写字母表示  $T_b$  间差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different lower case letters within the same column indicated significant difference between different body temperature ( $T_b$ ) at 0.05 level.  $T_a$ , ambient temperature  $T_b$ , body temperature.

### 3 讨论与结论

#### 3.1 意大利蝗耐寒性

过冷却点常作为昆虫耐寒性强弱的一项关键指

标,过冷却点越低,其耐寒力越强。蝗虫的虫态不同,耐寒性不同,且越冬虫态的耐寒性最强,如西藏飞蝗(*Locusta tibetensis*)各虫态耐寒性由强至弱依次为孵前卵(越冬虫态)、1龄蝗蛹、2龄蝗蛹、5龄蝗蛹、雄成虫、雌成虫、3龄蝗蛹、4龄蝗蛹<sup>[20]</sup>。本研究表表明,意大利蝗各虫态耐寒性由强至弱分别为孵前越冬卵(-8.28 °C)、雄成虫(-6.90 °C)、5龄蝗蛹(-6.68 °C)、2龄蝗蛹(-6.61 °C)、4龄蝗蛹(-6.36 °C)、1龄蝗蛹(-6.17 °C)、雌成虫(-6.11 °C)、3龄蝗蛹(-5.67 °C)。意大利蝗各虫态与耐寒性相关的生理生化物质(甘油、赤藓糖、葡萄糖、甘露醇、山梨醇、肌醇和海藻糖等)有待进一步深入研究。

#### 3.2 意大利蝗成虫对温度的耐受力

意大利蝗成虫对温度的耐受力表现为耐寒性和耐热性,其中意大利蝗雄成虫(-6.90 °C)的耐寒性略强于雌成虫(-6.11 °C),但无显著差异,与西藏飞蝗雌成虫(-7.86 °C)、雄成虫(-7.96 °C)研究结果<sup>[20]</sup>一致。意大利蝗成虫在 41~50 °C 范围内,  $LT_{50}$  和  $LT_{90}$  随着环境温度( $T_a$ )的升高逐渐变短,即耐热力逐渐降低。  $T_a$  为 41 °C 时,意大利蝗雌成虫和雄成虫的  $LT_{50}$ 、 $LT_{90}$  均最长,雌成虫  $LT_{50}$  和  $LT_{90}$  分别达 623.83、1 604.98 h;雄成虫  $LT_{50}$  和  $LT_{90}$  分别为 459.52、1 181.97 h;除 44 °C 外的其他温度处理  $LT_{50}$ 、 $LT_{90}$ ,雌成虫均高于雄成虫,但无显著差异。

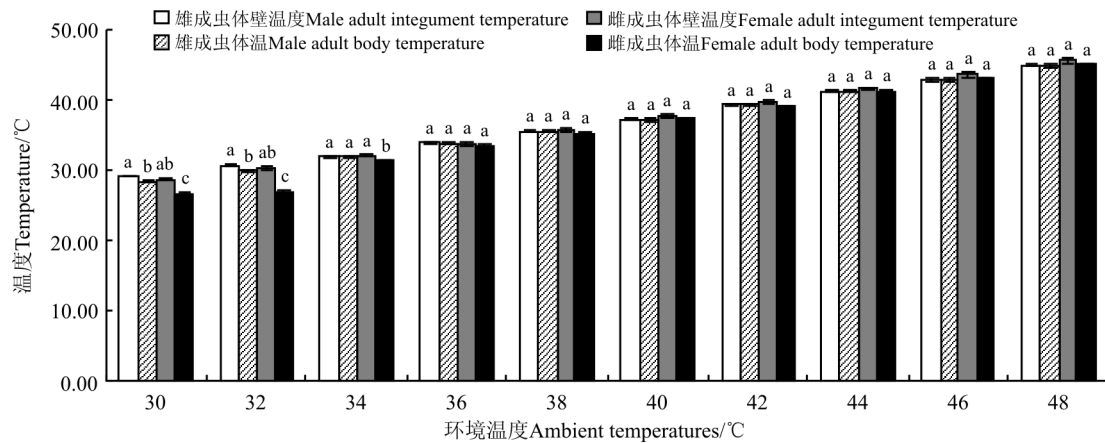


图3 意大利蝗成虫体壁温度和体温

Fig.3 The integument temperature and body temperature ( $T_b$ ) of *Calliptamus italicus* adults

注:相同环境温度中的小写字母表示不同体壁温度和体温差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different lower case letters within the same ambient temperature indicate significant difference among different adult integument temperatures and body temperatures.

表3 意大利蝗成虫体温上升至死亡过程的测定指标

Table 3 Measurement parameters during the increasing process of body temperature of *Calliptamus italicus* adults until death

发育阶段 Stage	雄成虫 Male adult	雌成虫 Female adult
致死时间 Lethal time/min	71.20 ± 4.20a	72.40 ± 3.20a
体温升高幅度 Elevated range of $T_b$ /°C	25.30 ± 1.50a	22.10 ± 1.40a
致死环境温度 $T_a$ at the moment of death/°C	58.70 ± 2.10a	57.10 ± 1.70a
致死体温 $T_b$ at the moment of death/°C	55.30 ± 1.50a	52.10 ± 1.40a
体温升高速率 Increasing velocity of $T_b$ /°C · min <sup>-1</sup>	0.36 ± 0.00a	0.30 ± 0.01b

意大利蝗成虫的耐受环境温度的低温和高温上下限分别为-6.90、58.7 °C,其耐受力表现为较弱的耐寒性和较强的耐高温能力,预示其耐寒性和耐热性的关系符合耐寒性和耐热性间存在均衡假说(当获得耐热性时,耐寒性会因此丧失)<sup>[22]</sup>。据2012—2013年间新疆玛纳斯县南山气象数据,意大利蝗成虫羽化生殖期(6—9月)在7—8月环境温度36~41 °C的高温下仍可生存,而仅在生长期(9月)经历零下低温(该地区9月末地表温度在零摄氏度以下),表明意大利蝗较弱的耐寒性和较强的耐热性为成虫羽化生殖期生态适应性表达的结果。据田间观察,意大利蝗成虫常喜栖息于植被覆盖度低、土表裸露的蒿属植物生境内,在田间表现偏喜高温的习性与本研究结果相一致。

昆虫在高温胁迫驯化下诱导产生的耐受性机制较复杂,包括合成渗透性胁迫物质(如多元醇和海藻糖等)、改变细胞膜脂饱和度、补偿性表达关键酶的

同工酶或异性酶、代谢阻抑、产生自由基净化剂(超氧化歧化酶、谷胱甘肽、细胞色素酶P45)和热激蛋白家族(Heat Shock Protein Hps)<sup>[22]</sup>。本研究仅初步分析了意大利蝗成虫表现较强的高温耐受力,因此深入研究其高温胁迫下热激蛋白家族、自由基净化剂、关键酶的同工酶和异性酶的表达及合成渗透性物质的变化,将有助于进一步阐明意大利蝗高温耐受机理和荒漠、半荒漠草原的适生性问题。

### 3.3 意大利蝗成虫的体温调节行为

大多数昆虫遵循两种体温变化规律,即行为性的调节体温和无行为性调节体温。行为性调节体温表现为体温与环境温度非线性变化,而无行为性体温调节则表现为体温趋近环境温度,与环境温度呈线性关系<sup>[19,21]</sup>。如臭腹腺蝗(*Zonocerus variegatus* Linnaeus, 1758)、蔗蝗(*Hieroglyphus daganensis* Krauss, 1877)成虫属于无行为性体温调节<sup>[11,19,23]</sup>,东亚飞蝗(*Locusta migratoria migratoria* Linnae-

us, 1758)、亚洲小车蝗(*Oedaleus decorus asiaticus* Bei-Bienko, 1941)、褐飞蝗(*Locustana pardalina* Walker, 1870)、摩洛哥戟纹蝗(*Doclostaurus maroccanus* Thunberg, 1815)、红翅蝗(*Nomadacris septemfasciata* Servilla, 1838)、澳洲疫蝗(*Chortocetes terminifera* Walker, 1870)成虫为行为性体温

调节<sup>[11,23]</sup>。本研究表明,意大利蝗成虫的体温趋近环境温度,与环境温度呈线性关系,而Klass等<sup>[19]</sup>研究表明,2007年意大利蝗成虫西班牙地理种成虫体温与环境温度呈曲线关系,属于行为性调节体温。关于意大利蝗体温调节方式与地理种之间的关系有待深入研究。

## 参考文献

- [1] FAO. Locust Watch Release[EB]. [2014-01-31]. <http://www.fao.org/ag/locusts-CCA/en/1010/1018/1075/>.
- [2] 陈永林. 蝗虫再猖獗的控制与生态学治理[J]. 中国科学院院刊, 2000(5): 341-345.
- [3] Qin Y J, Li Z H, Zhao L. The current and future potential geographical distribution of the Italian locust, *Calliptamus italicus* (Linnaeus) (Orthoptera: Acrididae) in China[J]. IFIP Advances in Information and Communication Technology, 2013, 393: 290-298.
- [4] 李庆, 王思忠, 封传红, 张敏, 蒋凡, 杨刚, 罗林明. 西藏飞蝗 (*Locusta migratoria tibetensis* Chen) 耐寒性理化指标[J]. 生态学报, 2008, 28(3): 1314-1320.
- [5] 景晓红, 康乐. 飞蝗越冬卵过冷却点的季节性变化及生态学意义[J]. 昆虫知识, 2003, 40(4): 326-328.
- [6] Jing X H, Kang L. Seasonal changes in the cold tolerance of eggs of the migratory locust, *Locusta migratoria* L. (Orthoptera: Acrididae)[J]. Environmental Entomology, 2004, 33(2): 113-118.
- [7] Zhao Y X, Hao S G, Kang L. Variations in the embryonic stages of overwintering eggs of eight grasshopper species (Orthoptera: Acrididae) in Inner Mongolian grasslands[J]. Zoological Studies, 2005, 44(4): 536.
- [8] Tanaka S, Zhu D H. Geographic variation in embryonic diapause, cold-hardiness and life cycles in the migratory locust *Locusta migratoria* (Orthoptera: Acrididae) in China[J]. Entomological Science, 2008, 11(3): 327-339.
- [9] Qi X L, Wang X H, Xu H F, Kang L. Influence of soil moisture on egg cold hardiness in the migratory locust *Locusta migratoria* (Orthoptera: Acrididae)[J]. Physiological Entomology, 2007, 32(3): 219-224.
- [10] 张淑德, 巫国瑞. 昆虫耐寒性原理[M]. 北京: 科学出版社, 1960.
- [11] Blanford S, Thomas M B. Thermal behavior of two acridid species: Effects of habitat and season on body temperature and the potential impact on biocontrol with pathogens[J]. Environmental Entomology, 2000, 29(5): 1060-1069.
- [12] Darvishzadeh A, Bandani A B. Identification and characterization of alpha-amylase in the Italian locust, *Calliptamus italicus* (Linnaeus, 1758) (Orthoptera: Acrididae)[J]. Munis. Entomology and Zoology, 2012, 7(2): 1028-1032.
- [13] Sergeev M G, Van'kova I A. Dynamics of the Italian locust *Calliptamus italicus* L. population in the southeast of the West Siberian Plain[J]. Contemporary Problems of Ecology, 2008, 1(2): 204-209.
- [14] Evlakhova A. Development of fungus *Empusa gryllii* (Fres.) Nowak in the body of Italian locust[J]. Mikrobiologiya, 1954, 23(2): 185-190.
- [15] 卢慧莹. 霍山蹦蝗和意大利蝗全基因组测序及分析[D]. 西安: 陕西师范大学, 2006.
- [16] 何雪清. 植物次生代谢产物对意大利蝗择食影响的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2008.
- [17] 薛智平. 意大利蝗为害草场损失估计研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009.
- [18] 张洋. 意大利蝗生态学及生物学特性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [19] Klass J I, Blanford S, Thomas M B. Development of a model for evaluating the effects of environmental temperature and thermal behaviour on biological control of locusts and grasshoppers using pathogens[J]. Agricultural and Forest Entomology, 2007, 9(3): 189-199.
- [20] 王思忠, 李庆, 封传红, 张敏, 蒋凡, 杨刚, 罗林明. 西藏飞蝗各发育阶段的耐寒性[J]. 昆虫知识, 2007, 44(6): 896-897.
- [21] 岳梅, 雷仲仁, 朱彬洲, 姚君明. 东亚飞蝗耐高温能力及其体温调节行为[J]. 昆虫学报, 2009(10): 1103-1109.
- [22] 陈兵, 康乐. 昆虫对环境温度胁迫的适应与种群分化[J]. 自然科学进展, 2005(3): 11-17.
- [23] Anderson R V, Tracy C R, Abramsky Z. Habitat selection in two species of short-horned grasshoppers[J]. Oecologia, 1979, 38(3): 359-374.

(责任编辑 武艳培)