

短时高温对意大利蝗存活和生殖的影响*

向 敏^{1**} 樊泰山² 扈鸿霞¹ 于 非¹ 季 荣^{1***} 王 晗^{1***}

(1. 中亚区域跨境有害生物联合控制国际研究中心, 新疆特殊环境物种保护与调控生物学实验室, 新疆师范大学生命科学学院, 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆维吾尔自治区伊犁哈萨克自治州察布查尔县草原站, 伊犁 835300)

摘 要 【目的】明确短时高温对意大利蝗 *Calliptamus italicus* (L.) 存活和生殖的影响, 为气候变暖趋势下意大利蝗灾害的预测预报及综合防治提供理论依据。【方法】采集初羽化 24 h 内的意大利蝗雌雄成虫, 于 30 ℃ 光照培养箱中饲养。设置 4 个温度处理组, 分别为 33、36、39、42 ℃, 每日处理 4 h, 之后放回 30 ℃ 光照培养箱中继续饲养。未经过短时高温处理的意大利蝗为对照组。观察记录各组意大利蝗存活率、寿命、产卵前期、产卵期、单雌产卵量、卵巢发育情况及卵巢中卵黄蛋白含量, 并分析变化规律。

【结果】短时高温对意大利蝗成虫存活率无显著影响, 但对其寿命有显著影响 ($P < 0.01$), 其中 33 ℃ 处理 4 h, 意大利蝗雌雄成虫寿命显著延长 ($P < 0.01$), 而 36~42 ℃ 范围内处理 4 h, 意大利蝗雌雄成虫寿命显著缩短 ($P < 0.01$)。短时高温对意大利蝗产卵前期有显著影响 ($P < 0.05$), 随温度升高, 产卵前期缩短, 但对产卵期没有显著影响 ($P > 0.05$)。短时高温对意大利蝗单雌产卵量有显著影响 ($P < 0.01$), 其中 33 ℃ 处理组单雌产卵量为 (57.6±2.4) 粒, 显著高于对照组 ($P < 0.01$), 36~42 ℃ 范围内, 随温度升高单雌产卵量显著降低 ($P < 0.01$)。短时高温对意大利蝗卵巢长度、鲜重及发育历期有显著影响 ($P < 0.01$), 但对卵巢宽度没有显著影响 ($P > 0.05$), 且随温度升高, 卵巢长度、宽度、鲜重及发育历期均呈下降趋势。短时高温可使卵黄蛋白在卵巢中提前沉积, 并对其含量 (峰值) 有显著影响 ($P < 0.01$), 其中 33 ℃ 处理组卵黄蛋白含量 (峰值) 为 (49.795±6.253) mg/mL, 显著高于对照组 ($P < 0.01$), 36~42 ℃ 范围内处理 4 h, 卵黄蛋白含量 (峰值) 显著减少 ($P < 0.01$)。【结论】33 ℃ 处理 4 h, 意大利蝗存活及生殖特性显著提高, 而 36 ℃ 及以上高温对意大利蝗生长繁殖产生不利影响。

关键词 意大利蝗, 高温, 存活率, 寿命, 生殖, 卵巢发育, 卵黄蛋白

Effects of short-term exposure to high temperature on the survival and fecundity of *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae)

XIANG Min^{1**} FAN Tai-Shan² HU Hong-Xia¹ YU Fei¹ JI Rong^{1***} WANG Han^{1***}

(1. International Research Center for the Collaborative Containment of Cross-Border Pests in Central Asia, Xinjiang Key Laboratory of Special Species Conservation and Regulatory Biology, College of Life Sciences, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China;

2. Grassland Service Station of Qapqal County, Yili 835300, China)

Abstract 【Objectives】To clarify the effects of short-term exposure to high temperature on the survival and fecundity of *Calliptamus italicus* in order to provide a theoretical basis for forecasting and prevention of outbreaks of this pest under global warming conditions. 【Methods】Newly-eclosed *C. italicus* adults (within 24 h of eclosion) were reared in a phytotron at 30 ℃, and exposed to temperatures of 33, 36, 39 and 42 ℃ for 4 h every day, respectively, after which they were returned to the phytotron which was kept at 30 ℃. The control group were not exposed to high temperatures. The survival rates, longevity, female oviposition rates, ovary development, and vitellin content of the ovary of each treatment group were measured. 【Results】Brief exposure to higher temperatures did not affect survival rates but did a significant effect on longevity

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金 (31260104); 新疆维吾尔自治区重点实验室开放课题 (2015KL028); 科技部国际合作专项 (2015DFR30290); 新疆特殊环境物种多样性应用与调控实验室资助项目

**第一作者 First author, E-mail: 1441109005@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: wanghanguoxi@sina.com; jirong@xjnu.edu.cn

收稿日期 Received: 2016-09-28, 接受日期 Accepted: 2017-01-23

($P < 0.01$); 4 h exposure to 33 °C significantly extended the longevity of male and female adults ($P < 0.01$) but exposure to temperatures within the range of 36–42 °C significantly reduced longevity ($P < 0.01$). Higher temperatures had a significant effect on female oviposition rates ($P < 0.01$). The average fecundity of females was increased by exposure to 33 °C for 4 h, but was reduced after exposure to 36–42 °C. The length, width, fresh weight and developmental duration of ovaries tended to decline with increasing temperature. Higher temperatures had a significant effect on the length, fresh weight and developmental duration of ovaries ($P < 0.01$), but no significant effect on their width ($P > 0.05$). High temperature had a significant effect on the vitellin content of the ovary ($P < 0.01$) which increased after exposure to 33 °C, but decreased following exposure to temperatures in the range of 36–42 °C. **[Conclusion]** The survival and fecundity of *C. italicus* significantly increased after exposure to 33 °C, but was negatively affected by exposure to temperatures > 36 °C.

Key words *Calliptamus italicus*, high temperature, survival rate, longevity, fecundity, ovary development, vitellin

昆虫为变温动物,对环境温度高度敏感,极端高温不仅对昆虫存活造成影响,还可降低昆虫生殖适应性,从而影响昆虫种群发生与发展(高桂珍等, 2012; Zhang *et al.*, 2013; 李千金等, 2015)。已有研究表明,短时高温对昆虫存活、寿命、产卵量、卵巢发育等方面产生不利影响。杨丽红等(2014)研究表明,短时高温对柑橘全爪螨 *Panonychus citri* 的存活和生殖有显著影响,导致雌成螨寿命缩短、产卵量减少,且随着胁迫温度的升高和胁迫时间的延长,影响程度加剧。李定旭等(2010)研究发现,高温胁迫对山楂叶螨 *Tetranychus viennensis* 产卵量和孵化率有明显影响,且影响程度与高温强度及持续时间等相关。极端高温亦对昆虫生殖系统发育造成一定损害(Saxena *et al.*, 1992; Mahroof *et al.*, 2005)。马亚斌等(2016)研究表明,高温可抑制西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 生殖器官的正常发育,导致卵巢管数量减少,对卵黄蛋白合成亦起到抑制作用。

意大利蝗 *Calliptamus italicus* 是新疆荒漠半荒漠草原牧区的优势为害种类,对新疆的畜牧业经济和生态环境造成严重损失。赵忠伟等(2013)研究恒温条件下意大利蝗生长发育规律,表明随温度升高意大利蝗发育速率加快,各虫态(虫龄)发育历期均缩短。王冬梅等(2014)研究表明,随温度升高,意大利蝗的呼吸率、代谢率和 CO_2 释放率均呈增加趋势,高温对意大利蝗的呼吸代谢有显著影响。任金龙等(2014)探讨了意大利蝗卵巢发育与温度的关系,表明 26~35 °C 是卵巢发育的适宜温度,其中 32 °C 为最适发育温度。

近年来,在全球气候变暖背景下,意大利蝗适生区气温升高明显(王晗等, 2014),繁殖期(5—8月)日极端高温经常会超过 33 °C,部分地区甚至出现 42 °C 极端高温,但每日高温仅持续几个小时(国家气象数据网, 2000—2015)。然而,已有的研究均为恒定高温对意大利蝗生长发育、代谢和繁殖的影响,有关短时高温对意大利蝗影响的研究相对较少。因此,本研究探讨了短时高温对意大利蝗存活、寿命、产卵量、卵巢发育及卵黄蛋白含量的影响,从生殖生态学角度研究意大利蝗对短时高温的耐受性,为气候变暖趋势下意大利蝗灾害的预测预报及综合防治提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 供试蝗虫

供试意大利蝗蝗蛹(末龄)采自新疆伊犁察县(81°7'E, 43°45'N),带回实验室后,置于室外饲养,待成虫羽化后,取同天羽化的成虫,置于光照培养箱内继续饲养【(30±1) °C, RH 45%±5%, 光照周期 L:D = 14:10】,以新鲜玉米叶、小麦叶饲喂。

1.2 短时高温对意大利蝗成虫存活率、寿命和生殖力的影响

设置 4 个温度处理组,将初羽化 24 h 内的意大利蝗成虫分别放入 33、36、39、42 °C 光照培养箱(宁波江南仪器厂 GXZ-436B)中处理 4 h,之后放回温度(30±1) °C 光照培养箱中(相对湿

度 $45\% \pm 5\%$ 、光照周期 14L:10D) 继续饲养, 2 h 内统计存活率。之后每日进行短时高温处理一次, 直至成虫全部死亡(共观测 45 d), 记录意大利蝗成虫寿命、产卵前期、产卵期及产卵量。未经短时高温处理的意大利蝗为对照组。每组各 20 头(雌雄各半), 重复 6 次(共用雌雄成虫各 300 头)。

1.3 短时高温对意大利蝗卵巢发育的影响

采集初羽化 24 h 内的意大利蝗成虫, 温度处理同 1.2。每日进行短时高温处理一次, 在 0.65% 生理盐水中解剖意大利蝗雌虫并取出卵巢, 滤纸吸干其水分, 用千分尺测量长、宽并称重。根据任金龙等(2014)对意大利蝗卵巢级别的划分, 将意大利蝗卵巢发育分为 5 级(Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级、Ⅴ级), 本研究参考这个标准逐日记录不同温度处理后意大利蝗雌性成虫卵巢发育级别。未经过短时高温处理的意大利蝗为对照组。每组每日取 10 头雌虫解剖, 重复 6 次。

1.4 短时高温对意大利蝗卵巢中卵黄蛋白含量的影响

采集初羽化 24 h 内的意大利蝗成虫, 温度处理同 1.2。每日进行短时高温处理一次, 每隔 1 日取不同温度处理下意大利蝗雌虫, 在 0.65% 生理盐水中解剖取出卵巢, 加 0.4 mol/L NaCl 溶液匀浆, 1 000 r/min 离心 20 min, 取上清液, 采用 ELISA 方法对卵黄蛋白含量进行测定(卵黄蛋白抗体由上海生工制备)(陈建新等, 2002)。未经短时高温处理的意大利蝗为对照组。每组每日取 10 头雌虫, 重复 6 次。

1.5 数据统计与分析

采用 SPSS18.0 统计软件对数据进行分析, 用平均值和标准误表示测定结果, 对不同温度处理组间寿命、产卵前期、产卵期、单雌产卵量和卵黄蛋白含量(峰值)进行单因素方差分析, 对不同温度处理组间卵巢长、宽、鲜重及发育历期进行多因素方差分析, 并采用 LSD 法对各测定数据进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 短时高温对意大利蝗成虫存活率的影响

短时高温不会导致意大利蝗成虫立即死亡, 33、36、39、42 处理 4 h 后, 雌雄成虫的存活率与对照组无显著性差异, 均为 100%。

2.2 短时高温对意大利蝗成虫寿命的影响

30 对照组雌雄成虫寿命分别为 (37.0 ± 2.7) d 和 (19.7 ± 1.4) d。短时高温对意大利蝗雌雄成虫寿命有显著影响 ($P < 0.01$), 其中, 33 处理组雌雄成虫寿命最高, 且与对照组差异显著 ($P < 0.01$), 分别为 (41.4 ± 2.1) d、 (22.4 ± 2.2) d, 而 36、39、42 处理组雌雄成虫寿命显著低于对照组 ($P < 0.01$), 分别为 (34.3 ± 2.8) d (36 雌) 和 (17.1 ± 1.5) d (36 雄)、 (29.9 ± 2.2) d (39 雌) 和 (14.1 ± 1.9) d (39 雄)、 (26.7 ± 2.4) d (42 雌) 和 (11.9 ± 1.7) d (42 雄)(图 1:A, B)。

2.3 短时高温对意大利蝗生殖力的影响

意大利蝗成虫交配后 4~5 d 开始产卵。短时高温对意大利蝗产卵前期有显著影响 ($P < 0.05$), 随温度升高, 产卵前期缩短, 30 对照组产卵前期为 (20.5 ± 0.2) d, 42 处理组产卵前期为 (16.4 ± 0.1) d (表 1)。短时高温对意大利蝗产卵期没有影响, 对照组产卵期与各温度处理组之间没有显著差异 ($P > 0.05$)(表 1)。短时高温对意大利蝗单雌产卵量有显著影响 ($P < 0.01$); 30 对照组单雌产卵量为 (46.9 ± 1.5) 粒, 33、36、39、42 处理组单雌产卵量分别为 (57.6 ± 2.4) 、 (45.8 ± 1.4) 、 (38.6 ± 1.7) 、 (32.9 ± 2.1) 粒, 其中 33 处理组单雌产卵量显著高于 30 对照组 ($P < 0.01$), 而 39、42 处理组单雌产卵量显著低于对照组 ($P < 0.01$), 36 处理组单雌产卵量与对照组差异不显著 ($P > 0.05$)(表 1)。

2.4 短时高温对意大利蝗卵巢发育的影响

短时高温对意大利蝗卵巢长度、鲜重有显著影响 ($P < 0.01$)(图 2:A, C), 但对卵巢宽度没有显著影响 ($P > 0.05$)(图 2:B); 高温

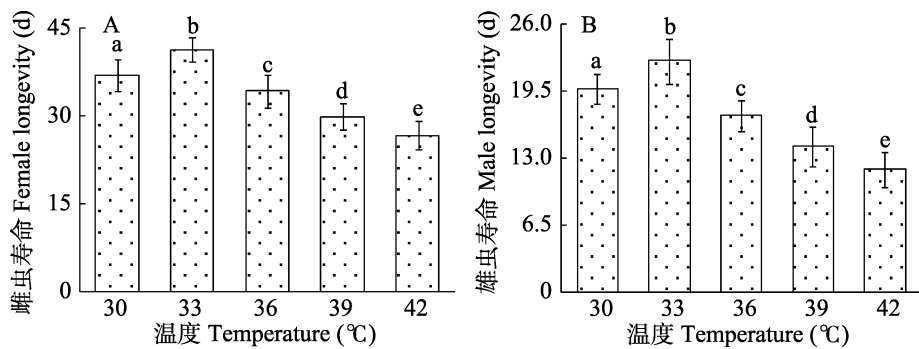


图 1 短时高温处理后意大利蝗雌雄成虫寿命

Fig. 1 Female and male longevity of *Calliptanus italicus* after short exposure to high temperature

A. 雌虫寿命；B. 雄虫寿命。柱上标有不同字母表示温度间差异显著 ($P<0.01$)。下图同。

A: Female longevity; B: Male longevity. Histograms with different small letters indicate significant difference between different temperatures at 0.01 level. The same below.

表 1 短时高温对意大利蝗生殖力的影响					
Table 1 Effect on fecundity of <i>Calliptanus italicus</i> after short exposure to high temperature					
生殖力 Fecundity	30	33	36	39	42
产卵前期 Preoviposition period (d)	23.7±0.2 ^a	21.3±0.6 ^b	20.9±0.4 ^c	19.2±0.5 ^d	18.4±0.1 ^e
产卵期 Oviposition period (d)	8.4±0.9 ^a	8.1±0.3 ^a	8.5±0.6 ^a	8.4±0.2 ^a	7.9±0.4 ^a
单雌产卵量 Single female spawning	46.9±1.5 ^a	57.6±2.4 ^b	45.8±1.4 ^a	38.6±1.7 ^c	32.9±2.1 ^d

数据后标有不同字母表示温度间差异显著 ($P<0.01$)。

Data with different small letters indicate significant difference between different temperatures at 0.01 level.

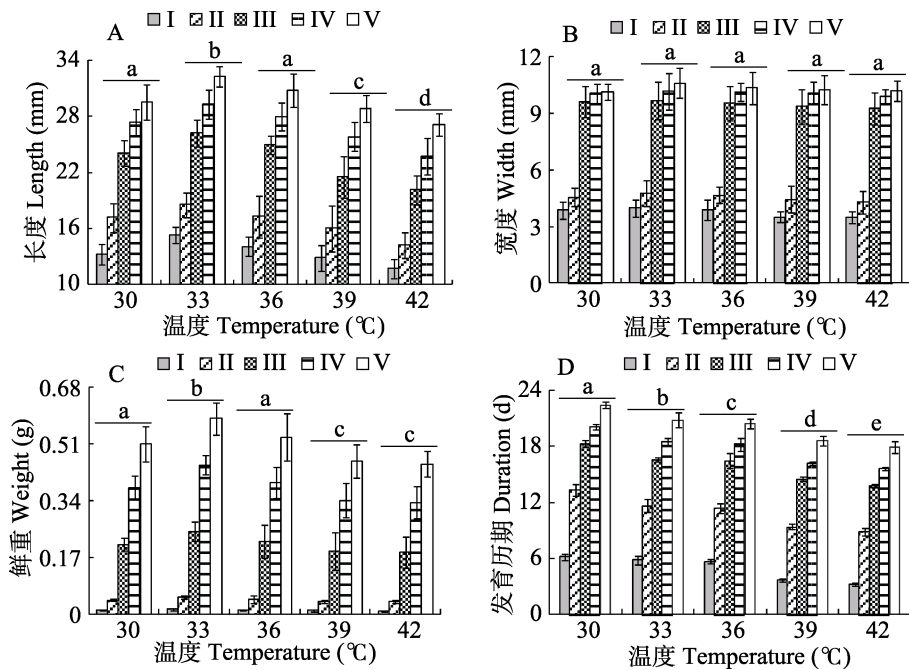


图 2 短时高温处理后意大利蝗卵巢发育动态变化

Fig. 2 Ovary development of *Calliptanus italicus* after short exposure to high temperature

A. 卵巢长度；B. 卵巢宽度；C. 卵巢鲜重；D. 卵巢发育历期。 、 、 、 、 ：表示卵巢发育级别。

A. Ovary length; B. Ovary width; C. Ovary weight; D. Ovary duration. , , , , : The stage of ovarian development.

处理组之间 (33、36、39、42), 随温度升高, 卵巢长度、宽度、鲜重均呈下降趋势; 其中 33 处理组雌虫卵巢各级别长度和鲜重均显著高于对照组 ($P<0.01$) (图 2)。

短时高温对意大利蝗卵巢发育历期有显著影响 ($P<0.01$), 30 对照组卵巢发育历期为 (22.5 ± 0.3) d, 33、36、39、42 处理组卵巢发育历期分别为 (20.9 ± 0.8)、(20.5 ± 0.5)、(18.7 ± 0.5)、(17.9 ± 0.6) d, 随温度升高, 卵巢各级别发育历期均呈下降趋势 (图 2:D)。

2.5 短时高温对卵巢中卵黄蛋白含量的影响

对照组意大利蝗雌虫羽化后 1~5 日, 其卵巢中未检测到卵黄蛋白, 羽化后第 7 日卵黄蛋白开始在卵巢中沉积, 含量为 (0.963 ± 0.105) mg/mL, 羽化后第 13 日卵巢中卵黄蛋白含量达到峰值, 为 (43.952 ± 3.797) mg/mL。短时高温处理后 (33、36、39、42), 意大利蝗雌虫卵巢均在羽化后第 3 日开始有卵黄蛋白沉积, 在羽化后第 11 日卵黄蛋白含量达到峰值; 短时高温处理对卵黄蛋白含量 (峰值) 有显著影响 ($P<0.01$), 其中 33 处理组卵黄蛋白峰值为 (49.795 ± 6.253) mg/mL, 显著高于对照组 ($P<0.01$), 而 36、39、42 处理组显著低于对照组 ($P<0.01$) (图 3)。

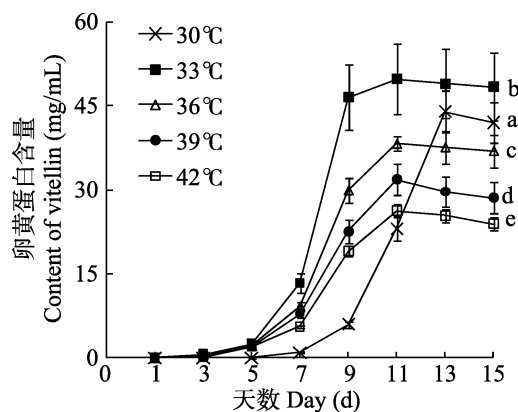


图 3 短时高温处理后意大利蝗卵巢中卵黄蛋白含量动态变化

Fig. 3 Changes in the vitellin content in ovary of *Calliptanus italicus* after short exposure to high temperature

3 讨论

近年来, 在全球气候变暖趋势下, 新疆平均

气温明显上升, 意大利蝗灾害在新疆频繁发生。研究表明, 随温度升高, 意大利蝗发育速率加快, 呼吸代谢增强, 且对卵巢发育有显著影响 (赵忠伟, 2013; 任金龙等, 2014; 王冬梅等, 2014)。全球气候变暖亦导致极端高温发生的频率增加 (Rahmstorf and Coumou, 2011; 梁利娜, 2014)。气象数据表明, 在意大利蝗适生区, 每年 5—8 月 (意大利蝗繁殖期) 日极端高温经常会超过 33, 部分地区甚至出现 42 极端高温, 且极端高温出现天数也逐年增加 (国家气象数据网, 2000—2015)。然而, 田间高温可能仅持续几个小时, 是否对意大利蝗生长繁殖造成不利影响尚需进一步研究。

昆虫为变温动物, 对温度变化非常敏感, 高温对昆虫存活率存在一定影响。研究表明, 短时高温使温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum*、悬铃木方翅网蝽 *Corythucha ciliate* 存活率显著下降, 寿命显著缩短 (崔旭红等, 2008; Ju et al., 2013)。尽管气候变暖对昆虫生命活动产生显著影响, 但在长期进化中, 昆虫也形成了较为复杂的温度耐受性机制, 以应对高温胁迫 (Thomson et al., 2010)。任金龙等 (2015) 对意大利蝗成虫耐高温能力进行了研究, 结果表明, 41 条件下, 意大利蝗雌雄成虫 50%、90% 致死时间分别为 623.83 h、1 604.98 h (雌成虫) 和 459.52 h、1 181.97 h (雄成虫), 且意大利蝗成虫耐高温上限为 58.7, 表现出较强的高温耐受能力。本研究亦得到相似结果, 短时高温对意大利蝗成虫没有致死效应, 不会导致其立即死亡。李爽等 (2015) 研究显示, 高温胁迫下意大利蝗成虫体内可积累海藻糖、游离蛋白质和不饱和脂肪酸等抗逆保护物质, 这可能是其具有较强耐高温能力的原因之一。此外, 热激蛋白 (Heat shock proteins, Hsps) 基因和相应蛋白的表达与调控在昆虫抵抗短时高温胁迫过程中具有重要作用, 研究显示昆虫在受到高温胁迫后, 其耐热能力与 HSP 的表达量呈正相关, 且在一定温度范围内, HSP 表达量随温度升高而增加 (马文静和马纪, 2012; 王欢等, 2012; 韩岚岚等, 2014; 张青等, 2014)。此外昆虫体内保护酶系活性、脂质过

氧化物含量以及热激蛋白表达量的变化,可从生理水平缓减或降低高温胁迫产生的危害,进而提高昆虫对高温胁迫的耐受性(孙灵,2012;郭俊杰等,2013;陈芳和陆永跃,2014;季璐等,2015)。

短时高温对意大利蝗雌虫卵巢中卵黄蛋白含量(峰值)有显著影响,36℃及以上高温导致卵黄蛋白含量(峰值)显著降低。研究表明,卵黄蛋白的合成和吸收受蜕皮激素和保幼激素的调控,而高温可使昆虫体内这两种激素分泌减少,从而抑制卵黄蛋白的合成、转运和摄取(Ye *et al.*, 1999; 衣维贤, 2003; Bryant and Raikhel, 2011),这可能是高温导致意大利蝗卵巢中卵黄蛋白含量减少的原因。

短时高温对意大利蝗雌虫卵巢发育及繁殖力有显著影响,在33~42℃范围内,随温度升高,卵巢长度、宽度、鲜重均呈下降趋势,产卵量亦显著下降。卵黄发生是昆虫生殖过程的关键步骤,卵母细胞中卵黄蛋白的迅速积累,可促进卵子发生和卵巢发育成熟(龚和和翟启慧,1979)。高温通过影响昆虫体内激素水平,抑制卵巢中卵黄蛋白的积累,进而抑制卵母细胞和卵巢的正常发育,降低产卵量和孵化率(赵鑫等,2009; Roux *et al.*, 2010; 马亚斌等,2016),这可能是高温影响意大利蝗卵巢发育及繁殖力的原因。

短时高温对意大利蝗雌虫卵巢发育历期和产卵前期有显著影响,随温度升高,雌虫卵巢各级别发育历期及产卵前期均显著缩短。高温可加快昆虫卵黄发生进程,使卵巢中卵黄蛋白含量提前达到峰值(吕慧平,2002),而卵巢对卵黄蛋白的摄取量与卵巢发育的进度存在显著的正相关(董胜张,2007)。本研究中,对照组(30℃)意大利蝗卵巢中卵黄蛋白在羽化后第7日开始产生,在羽化后第13日达到峰值,而短时高温处理后(33~42℃),意大利蝗卵巢中卵黄蛋白沉积时间提前,在羽化后第3日出现,并在羽化后第11日达到峰值。短时高温处理后意大利蝗卵黄发生提前,这可能是高温造成意大利蝗雌虫卵巢发育历期和产卵前期缩短的原因之一。

高温对昆虫的发育速率存在显著影响,在一

定温度范围内,昆虫的发育速率随温度的升高而加快,但当温度升高到一定程度时,昆虫的发育速率随温度升高而变慢(赵明和鞠瑞亭,2010)。研究表明,在试验温度范围内,随温度升高,甜菜夜蛾(40~46℃)、西花蓟马(40~45℃)产卵前期明显延长(王站晟等,2006; Jiang *et al.*, 2014),而大草蛉 *Chrysopa septempunctata* Wesm. (15~30℃)、异色瓢虫 *Harmonia axyridis* Pallas (15~30℃)产卵前期明显缩短(陶淑霞,2004; 陈洁,2008)。本研究发现,随温度升高(33~42℃),意大利蝗产卵前期和卵巢发育历期呈缩短趋势。赵忠伟等(2013)、任金龙(2015)研究结果亦表明,意大利蝗雌虫发育历期及产卵前期随温度升高而缩短。这可能与意大利蝗具有较强的高温耐受能力和试验温度设置有关。研究显示,意大利蝗成虫耐高温上限为58.7℃(任金龙等,2015),而相关研究中设置的温度均在24~42℃范围内,在42℃以下温度范围内,意大利蝗发育速率可随温度升高而加快,而42℃以上高温对意大利蝗发育速率产生何种影响及高温对意大利蝗发育速率的影响机制仍需深入研究。

参考文献 (References)

- Bryant B, Raikhel AS, 2011. Programmed autophagy in the fat body of *Aedes aegypti* is required to maintain egg maturation cycles. *PLoS ONE*, 6(11): e25502.
- Chen F, Lu YY, 2014. Expression analysis of heat shock protein genes in *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) under temperature stress. *Acta Entomologica Sinica*, 57(11): 1253–1264. [陈芳, 陆永跃, 2014. 温度胁迫下棉花粉蚧热激蛋白基因的表达分析. *昆虫学报*, 57(11): 1253–1264.]
- Chen J, 2008. Study on adaptation to different temperature and vitellogenesis of *Harmonia axyridis* Pallas. Masteral dissertation. Baoding: Agricultural University of Hebei. [陈洁, 2008. 异色瓢虫对温度的适应性及其卵黄发生的初步研究. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学.]
- Chen JX, Shen J, Song DL, Zhang L, Yan YH, 2002. Effect of *Nosema locustae* on the content of vitellogenin of *Locusta migratoria manilensis*. *Acta Entomologica Sinica*, 45 (2): 170–174. [陈建新, 沈杰, 宋敦伦, 张龙, 严毓骅, 2002. 蝗虫微孢子虫对东亚飞蝗卵黄原蛋白含量的影响. *昆虫学报*, 45(2): 170–174.]
- Cui XH, Xie M, Wan FH, 2008. Effects of brief exposure to high

- temperature on survival and fecundity of two whitefly species: *Bemisia tabaci* B-biotype and *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). *Scientia Agricultura Sinica*, 41(2): 424–430. [崔旭红, 谢明, 万方浩, 2008. 短时高温暴露对 B 型烟粉虱和温室白粉虱存活以及生殖适应性的影响. 中国农业科学, 41(2): 424–430.]
- Dong SZ, 2007. Physiological and molecular research of vitellogenesis and oogenesis in the endoparasitoid *Pteromalus puparum*. Doctoral dissertation. Hangzhou: Zhejiang University. [董胜张, 2007. 蝶蛹金小蜂卵黄发生与卵子发生的生理与分子基础. 博士学位论文. 杭州: 浙江大学.]
- Gao GZ, Lü ZZ, Xia DP, Sun P, 2012. Effects of pattern and timing of high temperature exposure on the mortality and fecundity of *Aphis gossypii* Glover on cotton. *Acta Ecologica Sinica*, 32(23): 7568–7575. [高桂珍, 吕昭智, 夏德萍, 孙平, 2012. 高温胁迫及其持续时间对棉蚜死亡和繁殖的影响. 生态学报, 32(23): 7568–7575.]
- Gong H, Zhai QH, 1979. Insect vitellogenin and vitellogenesis. *Acta Entomologica Sinica*, 22(2): 219–238. [龚和, 翟启慧, 1979. 昆虫卵黄原蛋白和卵黄发生. 昆虫学报, 22(2): 219–238.]
- Guo JJ, Wang Y, Ji Q, Chen JH, 2013. The influence of the activity of *Fopius arisanus* (Sonan) protective enzyme system at high temperature. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 34(6): 1166–1169. [郭俊杰, 王勇, 李清娥, 陈家骅, 2013. 高温对阿里山潜蝇茧蜂体内保护酶系统活性的影响. 热带作物学报, 34(6): 1166–1169.]
- Han LL, Zhu MH, Dong TY, Zhao KJ, Qu ZC, Lu Y, Han XX, 2014. Effects of heat shock and imidacloprid on the expressions of *hsp70* and *hsc70* mRNA in the *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae). *Acta Entomologica Sinica*, 57(4): 387–394. [韩岚岚, 朱明贺, 董天宇, 赵奎军, 曲忠诚, 吕洋, 韩晓旭, 2014. 热应激和吡虫啉对大豆蚜 *hsp70* 和 *hsc70* 基因 mRNA 表达的影响. 昆虫学报, 57(4): 387–394.]
- Ji L, Cui XH, Zhu M, 2015. Effects of brief heat shock on the survival and *hsp70* expression of brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stal). *Journal of Plant Protection*, 42(4): 619–625. [季璐, 崔旭红, 朱敏, 2015. 短时高温胁迫对褐飞虱存活及其热激蛋白基因 *hsp70* 表达的影响. 植物保护学报, 42(4): 619–625.]
- Jiang S, Zhang NQ, Wang SF, Li J, Zhang B, Zheng CY, 2014. Effects of heat shock on life parameters of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) F₁ offspring. *Florida Entomologist*, 97(3): 1157–1166.
- Ju RT, Gao L, Zhou XH, Li B, 2013. Tolerance to high temperature extremes in an invasive lace bug, *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae), in subtropical China. *PLoS ONE*, 8(1): e54372.
- Li DX, Zhang XN, Yang YL, Zhu HW, 2010. Effects of high temperature shocks on howthorn spider mite, *Tetranychus viennensis* Zacher. *Acta Ecologica Sinica*, 30(16): 4437–4444. [李定旭, 张晓宁, 杨玉玲, 朱华伟, 2010. 高温冲击对山楂叶螨的影响. 生态学报, 30(16): 4437–4444.]
- Li GJ, Xu XH, Zhang HL, Zhu M, Cui XH, 2015. Effects of short-term exposure to high temperature on the survival and fecundity of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens*). *Scientia Agricultura Sinica*, 48(9): 1747–1755. [李干金, 徐显浩, 张海亮, 朱敏, 崔旭红, 2015. 短时高温暴露对褐飞虱存活和生殖特性的影响. 中国农业科学, 48(9): 1747–1755.]
- Li S, Wang DM, Li J, Hu HX, Ji R, 2015. Differences in heat tolerance and physio-biochemical mechanisms between adult female and male *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(4): 960–967. [李爽, 王冬梅, 李娟, 扈鸿霞, 季荣, 2015. 雌雄意大利蝗耐高温差异及其生理生化响应对策. 应用昆虫学报, 52(4): 960–967.]
- Liang LN, 2014. The effect of temperature on reproduction and diapause of *Grapholitha molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae). Masteral dissertation. Masteral dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [梁利娜, 2014. 温度对梨小食心虫生殖及滞育的影响. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]
- Lü HP, 2002. Effects of some factors on ovarian development and vitellogenesis of *Pteromalus Puparum* (Hymenoptera: Pteromalidae). Doctoral dissertation. Hangzhou: Zhejiang University. [吕慧平, 2002. 蝶蛹金小蜂卵巢发育和卵黄发生的影响因子及其作用. 博士学位论文. 杭州: 浙江大学.]
- Ma WJ, Ma J, 2012. Cloning and sequence analysis of a heat shock protein gene (*Mphsp70*) from *Microdera punctipennis* and its expression in relation to high temperatures. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(2): 439–447. [马文静, 马纪, 2012. 小胸蠃甲热激蛋白基因(*Mphsp70*)的克隆、序列分析及温度对其表达的影响. 应用昆虫学报, 49(2): 439–447.]
- Ma YB, Sun LJ, Li HG, Wang SF, Zhang B, Zheng CY, Wan FH, 2016. Effects of high temperature on ovary development and yolk protein content of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Acta Entomologica Sinica*, 59(2): 127–137. [马亚斌, 孙丽娟, 李洪刚, 王思芳, 张彬, 郑长英, 万方浩, 2016. 高温对西花蓟马卵巢发育及卵黄蛋白含量的影响. 昆虫学报, 59(2): 127–137.]
- Mahroof R, Subramanyam B, Flinn P, 2005. Reproductive performance of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) exposed to the minimum heat temperature as pupae and adults. *Journal of Economic Entomology*, 98(2): 626–633.
- Rahmstorf S, Coumou D, 2011. Increase of extreme events in a warming world. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(44): 17905–17909.
- Ren JL, 2015. Study on biology and life table of *Calliptamus italicus*

- L. Masteral dissertation. Urumqi: Xinjiang Agricultural University. [任金龙, 2015. 意大利蝗生物学及生命表的研究. 硕士学位论文. 乌鲁木齐: 新疆农业大学.]
- Ren JL, Zhao L, Ge J, 2014. Ovarian development in *Calliptamus italicus* (L.) (Orthoptera: Catantopidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(5): 1280–1288. [任金龙, 赵莉, 葛婧, 2014. 意大利蝗 *Calliptamus italicus*(L.) 卵巢发育的研究. 应用昆虫学报, 51(5): 1280–1288.]
- Ren JL, Zhao L, Zhao Y, Ge J, 2015. A preliminary study on temperature tolerance ability of *Calliptamus italicus*. *Pratacultural Science*, 32(2): 274–280. [任金龙, 赵莉, 赵炎, 葛婧, 2015. 意大利蝗对温度耐受力的初探. 草业科学, 32(2): 274–280.]
- Roux O, Lann CL, van Alphen JJM, van Baaren J, 2010. How does heat shock affect the life history traits of adults and progeny of the aphid parasitoid *Aphidius avenae* (Hymenoptera: Aphidiidae)? *Bulletin of Entomological Research*, 100(5): 543–549.
- Saxena BP, Sharma PR, Thappa RK, Tikku K, 1992. Temperature induced sterilization for control of three stored grain beetles. *Journal of Stored Products Research*, 28(1): 67–70.
- Sun L, 2012. Effect of heat treatment on the survival rate, protective enzyme and HSP70 of kinds of color patterns of *Tenebrio molitor*. Masteral dissertation. Ya'an: Sichuan Agricultural University. [孙灵, 2012. 高温对两种色型黄粉虫的存活、保护酶及热休克蛋白的影响研究. 硕士学位论文. 雅安: 四川农业大学.]
- Tao SX, 2004. Studies on vitellin and vitellogenesis of *Chrysopa septempunctata* Wesmael. Doctoral dissertation. Harbin: Northeast Forestry University. [陶淑霞, 2004. 大草蛉卵黄蛋白及卵黄发生的研究. 博士学位论文. 哈尔滨: 东北林业大学.]
- Thomson LJ, Macfadyen S, Hoffmann AA, 2010. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biological Control*, 52(3): 296–306.
- Wang DM, Li J, Li S, Hu HX, Ji R, 2014. Effects of temperature on the respiratory metabolism of *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae). *Acta Entomologica Sinica*, 57(3): 373–378. [王冬梅, 李娟, 李爽, 扈鸿霞, 季荣, 2014. 温度对意大利蝗呼吸代谢的影响. 昆虫学报, 57(3): 373–378.]
- Wang FS, Xu HF, Cui F, 2006. Effect of high temperature on fecundity and ovary development of beet armyworm *Spodoptera exigua*. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 19(5): 916–919. [王竑晟, 徐洪富, 崔峰, 2006. 高温处理对甜菜夜蛾雌虫成虫期生殖力及卵巢发育的影响. 西南农业学报, 19(5): 916–919.]
- Wang H, Li K, Fang Q, Ye GY, 2012. Prokaryotic expression and thermo-protective function of heat shock proteins from *Pteromalus puparum* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(8): 903–910. [王欢, 李凯, 方琦, 叶恭银, 2012. 蝶蛹金小蜂热激蛋白家族基因表达与热保护功能. 昆虫学报, 55(8): 903–910.]
- Wang H, Yu F, Hu HX, Ji R, 2014. Climatic changes in suitable distribution areas of *Calliptamus italicus* L. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 35(6): 611–621. [王晗, 于非, 扈鸿霞, 季荣, 2014. 新疆意大利蝗适生区的气候变化特征分析. 中国农业气象, 35(6): 611–621.]
- Yang LH, Huang H, Wang JJ, 2014. Effect of exposure to heat stress on survival and fecundity of *Panonychus citri*. *Scientia Agricultura Sinica*, 47(4): 693–701. [杨丽红, 黄海, 王进军, 2014. 高温胁迫对柑橘全爪螨存活及生殖的影响. 中国农业科学, 47(4): 693–701.]
- Ye G Y, Hu C, Gong H, 1999. Effect of a high temperature on vitellogenesis in the Japanese oak silkworm, *Antheraea yamamai* (Lepidoptera: Saturniidae). *Entomologia Sinica*, 6(3): 242–252.
- Yi WX, 2003. Characterization of vitellin and effectation of high temperature on its vitellogenesis in brown planthopper (*Nilaparvata lugens* (Stal)). Masteral dissertation. Nanjing: Nanjing Agricultural University. [衣维贤, 2003. 褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stal) 卵黄蛋白的性质及高温对卵黄发生的影响. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学.]
- Zhang Q, Lu MX, Zhu SD, 2014. Cloning, sequence analysis and expression profiling of heat shock protein 90 gene in the small brown plant hopper, *Laodelphax striatellus* (Hemiptera: Delphacidae). *Acta Entomologica Sinica*, 57(7): 777–786. [张青, 陆明星, 祝树德, 2014. 灰飞虱热激蛋白 Hsp90 基因的克隆、序列分析与表达模式. 昆虫学报, 57(7): 777–786.]
- Zhang W, Zhao F, Hoffmann AA, Ma CS, 2013. A single hot event that does not affect survival but decreases reproduction in the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *PLoS ONE*, 8(10): e75923.
- Zhao M, Jü RT, 2010. Effects of temperature on the development and fecundity of experimental population of *Rhychophorus ferrugineus*. *Journal of Plant Protection*, 37(6): 517–521. [赵明, 鞠瑞亭, 2010. 温度对红棕象甲实验种群生长发育及繁殖的影响. 植物保护学报, 37(6): 517–521.]
- Zhao X, Fu JW, Wan FH, Guo JY, Wang JJ, 2009. Effects of brief high temperature exposure on reproductive characteristics of *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Acta Entomologica Sinica*, 52(10): 1110–1114. [赵鑫, 傅建伟, 万方浩, 郭建英, 王进军, 2009. 短时高温暴露对莲草直胸跳甲生殖特性的影响. 昆虫学报, 52(10): 1110–1114.]
- Zhao ZW, Zhang YC, Cao GC, Zhang ZH, 2013. Influence of temperature on the development of *Calliptamus italicus*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(2): 466–473. [赵忠伟, 张英财, 曹广春, 张泽华, 2013. 温度对意大利蝗生长发育的影响. 应用昆虫学报, 50(2): 466–473.]