



顾祥鹏, 黄禹禹, 张金永, 张晓明, 陈国华. 短时高温胁迫对瓜实蝇生长发育及繁殖的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (2): 391–399.

短时高温胁迫对瓜实蝇生长发育及繁殖的影响

顾祥鹏, 黄禹禹, 张金永, 张晓明*, 陈国华*

(云南农业大学植物保护学院, 云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201)

摘要: 为明确瓜实蝇对短时高温胁迫的耐受性。利用人工气候箱模拟短时高温胁迫, 测定了不同高温处理 (34、36、38、40、42、44、46、48℃) 12 h, 对不同发育阶段瓜实蝇的存活率和生长发育的影响。结果表明短时高温显著影响瓜实蝇的存活, 随温度升高, 瓜实蝇各虫态的存活率逐渐降低; 高温处理 12 h 后瓜实蝇卵、幼虫、蛹、雌成虫、雄成虫的致死中温度 LT_{50} 分别为 35.48、37.55、41.85、43.62、43.32℃; 34~42℃ 短时高温胁迫对瓜实蝇各虫态的发育历期无明显影响, 44℃ 时其发育历期均显著增长; 46℃、48℃ 处理下各虫态死亡率较高, 不能正常发育; 随着处理温度的升高, 雌成虫产卵前期不断增长, 单雌产卵量呈下降趋势, 成虫寿命不断缩短, 后代雌性比增大。44℃ 及以上的短时高温胁迫不利于瓜实蝇的生长发育, 40℃ 及以上的短时高温胁迫不利于瓜实蝇的繁殖, 雌性瓜实蝇对短时高温的胁迫的适应性强于雄性, 随着处理温度的升高, 后代雌性比例增大。

关键词: 瓜实蝇; 高温胁迫; 生长发育; 繁殖力

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 02-0391-09

Effects of short-term high-temperature stress on growth, development and reproduction of melon fly

GU Xiang-Peng, HUANG Yu-Yu, ZHANG Jin-Yong, ZHANG Xiao-Ming*, CHEN Guo-Hua* (College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, National Key Laboratory for Conservation and Utilization of Biological Resources in Yunnan, Kunming 650201, China)

Abstract: In order to determine the tolerance of *Bactrocera cucurbitae* under short-term high temperature stress. Short-time high temperature stress test was carried out using artificial climate chamber at the temperatures of 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 and 48℃ in 12 h. The results showed that short-term high temperature has a significant effect on the survival rate of *B. cucurbitae*, and the survival rate of *B. cucurbitae* was decreased with the increase of temperature. The LT_{50} of eggs, larvae, pupae, female adults and male adults were 35.48, 37.55, 41.85, 43.62 and 43.32℃ respectively after 12 h of high temperature stress. The *B. cucurbitae* has held the longest developmental duration at the temperature of 44℃, there was no significant difference in developmental duration of *B. cucurbitae* under 34~42℃ stress. The mortality rate of whole developmental stage of *B. cucurbitae* was higher at the temperature of 46℃ and 48℃, and it could not develop normally at this two temperature stress. With the increase of treatment temperature, the pre-oviposition period of female adults, and the ratio of offspring female were increased, but the single female oviposition and the life span of adults decreases continuously with the increase of treatment temperature. Short-term high temperature stress over 40℃ and 44℃ is not conducive

基金项目: 云南省科技计划项目 (2013EG019); 第十七批昆明市中青年学术和技术后备人才项目 (昆政发 [2019] 43 号)

作者简介: 顾祥鹏, 男, 1991 年生, 安徽宿州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为昆虫生态与害虫综合治理, E-mail: guxiangp@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 张晓明, 博士, 副教授, 主要研究方向为入侵生物学与生态学, E-mail: zxmalex@126.com; 陈国华, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为害虫综合治理, E-mail: chenghkm@126.com

收稿日期 Received: 2019-03-06; 接受日期 Accepted: 2019-05-05

to the reproduction and the growth and development of *B. cucurbitae*, respectively. Female population is more adaptable than that of the male population in short-term high temperature stress, the proportion of female population in offspring was increased with the increase of high temperature stress.

Key words: *Bactrocera cucurbitae*; high temperature stress; growth and development; fertilit

瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae* Coquillett, 幼虫称“瓜蛆”, 隶属双翅目 Diptera, 实蝇科 Trypetidae 果实蝇属 *Bactrocera*。广泛分布于温带、亚热带和热带的 30 多个国家和地区 (王翔韩等, 2012); 在我国主要分布于广东、福建、海南、广西、四川、云南、贵州、台湾、湖南等地 (张金龙等, 2017)。瓜实蝇食性颇杂, 可为害 120 余种蔬菜和水果, 主要是葫芦科和茄科植物, 如黄瓜、南瓜、甜瓜、西瓜、苦瓜、番茄和茄子等 (杨平均等, 1990; 刘朝秀等, 2006)。瓜实蝇雌成虫以尾部产卵器刺入幼瓜表皮内产卵, 幼虫孵化后钻入瓜内取食为害, 严重影响瓜果的品质和产量, 世界上很多国家和地区都将瓜实蝇列为重要的检疫对象 (李人柯, 1997)。

近年来, 全球气候变化异常, 温室效应日益加剧 (马罡和马春森, 2016)。我国东部地区高温热浪天气逐渐增多, 东北华北地区干旱趋势增加, 葡萄牙的极端高温天数相对历史时期达到最高峰, 全球热浪和极端高温事件层出不穷, 并有逐渐增多的趋势 (翟盘茂和刘静, 2012; 马罡和马春森, 2016; Cardoso *et al.*, 2018)。而温度是影响昆虫生长发育繁殖或存活的主要因子, 高温会减少昆虫存活率和繁殖率, 对昆虫的生理生化作用、生长发育和繁殖也都会造成严重影响 (杜尧等, 2007)。关于温度对瓜实蝇影响的研究已有较多报道, 但以往研究多为基于适温区的研究 (韦淑丹等, 2011; 蒋丰泽等, 2015), 且多在恒温条件下进行, 这与田间变温环境如日晒等短时高温对昆虫的影响有较大差异。近年来, 国内外学者结合当地害虫发生情况, 研究了极端温度对昆虫影响, 如红尾肉蝇 *Sarcophaga crassipalpis* Macquart (Yocum *et al.*, 1994)、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner (王竑晟等, 2006)、温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* Westwood 及 B 型烟粉虱 *Bemisia tabaci* Gennadius (崔旭红等, 2008; 丛林等, 2010)、烟蚜 *Myzus persicae* Sulzer (范秀娟等, 2014)、桃小食心虫 *Carposina sasakii* Matsumura (李定旭等, 2014)、龟纹瓢虫 *Coleoptera coccinellidae* Degeer (Zhang *et al.*, 2015), 这些研究均表明短时高温可影响昆虫的生长发育及繁殖

等特性, 过高温度还可导致昆虫直接死亡 (杜尧等, 2007); 瓜实蝇是热带与亚热带地区为害果蔬的一种重要检疫性害虫, 其发生环境温度相对较高, 且其发生区常常不同程度的出现短时高温, 并影响着瓜实蝇的为害情况 (张金龙等, 2017); 因此, 明确短时高温对瓜实蝇的生长发育和繁殖的影响, 为进一步探究瓜实蝇的温度适应机理以及瓜实蝇的预测预报和综合防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与温度设定

供试瓜实蝇采自云南省红河州蒙自市南郊菜园, 在温度 $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $70\% \pm 5\%$ 条件下的养虫室中继代饲养 5 代。短时高温处理在人工气候箱中进行, 处理的温度设定为 34、36、38、40、42、44、46、48 $^{\circ}\text{C}$, 人工气候箱中相对湿度设定为 $70\% \pm 5\%$, 光周期为 L:D=14:10。24 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 条件下的处理为对照组, 每个处理设 4 个重复, 每个温度热激 12 h。热激处理后立即放入温度 $24 \pm 1^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 70% 的养虫室中饲养。

人工气候箱: 型号为 BIC-300, 上海博讯医疗设备厂制造。

体视镜: 型号为 SZX7, 日本奥林巴斯株式会社制造。

西葫芦 *Cucurbita pepo* Linnaeus: 购买自沃尔玛超市的有机食品区, 洗净晾干后保存于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱冷藏室中备用。

南瓜 *Cucurbita moschata* Duchesne: 购买自沃尔玛超市的有机食品区, 洗净晾干后保存在冰箱 4 $^{\circ}\text{C}$ 冷藏室中备用。

1.2 试验方法

1.2.1 短时高温对瓜实蝇卵生长发育的影响

选取 24 h 内产的新鲜卵为试验材料, 每 10 粒卵为 1 组接种至事先准备好的 1 cm 厚西葫芦切片上, 并置于 7.5 cm 培养皿中。每个温度设置为 1 个处理, 每个处理设置 4 个重复。将盛有卵的培养皿放置于人工气候箱中分别热激 12 h。热激后的卵立即放入养虫室进行饲养, 每隔 24 h 利用体

视镜观察记录 1 次卵的发育进度及存活情况, 直至供试卵孵化或死亡 (卵发黑变色或失水干瘪视为死亡)。

1.2.2 短时高温对瓜实蝇幼虫生长发育的影响

选取 1 日龄幼虫作为试验材料, 每 10 头幼虫为 1 组, 放置于特制的一次性纸杯中。纸杯中以切成 4 cm 厚成块的西葫芦和人工饲料混合进行饲养。纸杯放入透明玻璃罐中, 用纱网袖套封口。每个温度设置 4 个重复。将盛有幼虫纸杯的玻璃罐放入提前开启设置好的人工气候箱分别热激 12 h。热激后的幼虫立即放入养虫室进行饲养, 定时更换补充西葫芦确保幼虫有充足的食物, 同时观察幼虫发育进度、存活情况及其发育历期。幼虫即将成熟时, 将纸杯置于底部铺有 3 cm 厚细沙土的沙盆里, 纸杯上盖一浸湿 3 层纱布补充水分, 每隔 24 h 观察记录 1 次幼虫的化蛹情况, 直至供试幼虫化蛹或死亡 (张金龙等, 2017)。

1.2.3 短时高温对瓜实蝇蛹生长发育的影响

选取 1 日龄的蛹为试验材料, 每 10 头蛹为 1 组放置于铺有浸润滤纸的直径 7.5 cm 培养皿中, 将培养皿放入透明玻璃罐中, 用纱网袖套封口, 每个温度设置 4 个重复。将盛有蛹的玻璃罐放入提前开启设置好的人工气候箱分别热激 12 h。热激完成后立即将蛹放入养虫室, 定时喷水补充水分, 同时每隔 24 h 观察记录蛹的发育进度、存活情况及其发育历期, 直至供试蛹羽化或死亡 (蛹发黑变色或干瘪破损, 则视为死亡)。

1.2.4 短时高温对瓜实蝇成虫存活、繁殖、寿命及子代性比的影响

选取 24 h 内羽化的同一批实蝇成虫作为试验材料。每 1 头雌虫与 1 头雄虫为 1 对, 放置于 1 个透明玻璃罐中, 并用 2 个 7.5 cm 培养皿分别盛放水 and 雀巢果珍粉供其补充水和食物, 盛水的培养皿内放置脱脂棉, 在其上铺盖湿润滤纸, 防止实蝇溺亡。玻璃罐用纱网袖套封口, 便于添加水跟食物, 每 10 对瓜实蝇为 1 个处理, 每个温度下的处理设置 4 个重复。将盛有成虫的玻璃罐放入提前开启设置好的人工气候箱分别热激 12 h。热激完成后将成虫立即放入养虫室, 每罐每日放入 1 块 1 cm³ 的南瓜块用来收集卵, 每隔 24 h 更换 1 次并观察记录产卵前期、日产卵数、单雌产卵量和成虫寿命, 直至供试成虫全部死亡。将每日收集到的卵分组放入养虫笼中, 并以西葫芦、南瓜饲养, 待成虫羽化后分别统计不同处理下瓜实蝇的后代雌性比。

1.2.5 计算公式

校正存活率和发育历期的计算方法参考范秀娟等 (2014) 的方法:

校正存活率 (%) = (处理组存活虫量/供试初始虫量, 对照组死亡虫量/供试初始虫量)

瓜实蝇某虫态的发育历期 (d) = (Σ 存活的某虫态瓜实蝇的发育历期) / 某虫态瓜实蝇存活数量

LT₅₀ (致死中温度), 是指某一特定的处理时间内, 受试动物死亡一半时所需要的温度, 其公式 (欧阳芳和戈峰, 2014) 为:

$$S(x) = [\exp(a - bx)] / [1 + \exp(a - bx)]$$

式中: S(x) 为昆虫种群在一定时间或低温下的死亡率 (%), x 为温度 T, a 和 b 为模型参数。当死亡率 S(x) 为 50% 时, 即 a - bx = 0, x = a/b, x 值即致死中温度 (LT₅₀)。

1.2.6 数据处理

对两种实蝇的耐热性试验数据采用 SPSS 22.0 进行单因素 (One way ANOVA) 分析, 使用 Duncan 氏多重比较法比较不同虫态在不同温度耐热差异显著性。

不同性别成虫在同一温度耐热差异显著性利用独立样本 T 检验 (Independent-Samples T Test)。

2 结果与分析

2.1 不同短时高温处理对瓜实蝇各虫态存活率的影响

分别在温度 34、36、38、40、42、44、46 和 48℃ 条件下热激, 瓜实蝇卵、幼虫、蛹、成虫的校正存活率之间均有显著性差异 (表 1)。其中, 卵的校正存活率在 48℃ 处理组中最低, 存活率为 15.67%, 在 34℃ 时最高, 存活率达 90.00% (表 1); 34、36、38 的处理与 42℃, 42℃ 与 44、46、48℃ 的处理之间皆有显著性差异 (F = 15.73, P = 0.0001); 幼虫的校正存活率在 48℃ 下最低, 为 6.33%, 在 34℃ 时最高, 为 86.67%, 此时幼虫的校正存活率比卵的校正存活率稍低, 达到 86.67%, 在所有处理温度间幼虫的校正存活率之间差异显著 (表 1); 蛹的存活率在 38℃ 以下所有处理中均超过 90%, 之后随着处理温度的升高, 存活率逐渐下降, 在 40℃ 时校正存活率为 86.67%, 在 44℃ 时校正存活率急剧下降至 3.33%, 其中校正存活率在 34、36、38℃ 的处理与 40℃ 处理间有显著差异, 40℃ 处理与 42℃ 的处

理之间也有显著差异, 42℃与44、46、48℃处理之间有显著差异 ($F = 156.79, P = 0.0001$); 雌性瓜实蝇成虫在34、36、38℃的温度条件下存活率最高, 均为100%, 随着温度的升高, 存活率逐渐减低, 44℃时校正存活率升至66.67%, 均高于其它虫态在该温度时的存活率 ($F = 32.88, P = 0.0001$), 46℃条件下存活率急剧降低并全部死亡(表1); 雄性瓜实蝇成虫的校正存活率变化规律与

雌性的一致, 随着温度的升高, 存活率下降, 46℃及以上温度条件下种群全部死亡(表1); 综合不同短时高温胁迫下瓜实蝇各虫态的校正存活率结果表明, 瓜实蝇各虫态的校正存活率在34~48℃度范围内, 随着温度的升高, 存活率降低, 且蛹、雌成虫、雄成虫在超过46℃均不能存活, 雌成虫对高温的抵抗能力稍强于雄成虫。

表1 不同虫态瓜实蝇高温处理12 h后的存活率

Table 1 Survival rates of different instars of *Bactrocera cucurbitae* exposed to different short-term high-temperatures for 12 h

温度 (℃) Temperature	校正存活率 (%) Correction survival rates				
	卵 Egg	幼虫 Larva	蛹 Pupa	雌成虫 Female adult	雄成虫 Male adult
34	90.00 ± 5.77 a	86.67 ± 3.33 a	100.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 a
36	83.33 ± 3.33 a	70.00 ± 0.00 ab	100.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 a
38	76.67 ± 3.33 a	63.33 ± 8.82 b	93.33 ± 3.33 ab	100.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 a
40	73.33 ± 8.82 ab	53.33 ± 8.82 bc	86.67 ± 3.33 b	91.67 ± 8.33 a	91.67 ± 8.33 a
42	53.33 ± 17.64 b	43.33 ± 3.33 cd	53.33 ± 8.82 c	83.33 ± 8.33 ab	83.33 ± 8.33 a
44	26.67 ± 3.33 c	33.33 ± 8.82 d	3.33 ± 3.33 d	66.67 ± 16.67 b	50.00 ± 14.43 b
46	16.67 ± 3.33 c	6.67 ± 3.33 e	0.00 ± 0.00 d	0.00 ± 0.00 c	0.00 ± 0.00 c
48	15.67 ± 3.33 c	6.33 ± 3.33 e	0.00 ± 0.00 d	0.00 ± 0.00 c	0.00 ± 0.00 c
<i>F</i>	15.73	24.04	156.79	35.98	44.09
df	7, 16	7, 16	7, 16	7, 16	7, 16
<i>P</i>	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

注: 表中数据为瓜实蝇校正存活率的平均值 ± 标准误, 同列不同字母分别表示不同虫态(卵、幼虫、蛹、雌成虫、雄成虫)组内各处理间经过Duncan's检测后差异显著 ($P < 0.05$)。Note: The data in the table mean ± SE among different treatments. Different letters in the same line mean significant difference among different insects (egg, larva, pupa, female adult, Male adult) within different groups after treatment by Duncan's test ($P < 0.05$).

2.2 不同短时高温胁迫下瓜实蝇各虫态的 LT_{50}

通过计算得到各虫态短时高温胁迫下的回归方程与半致死温度。其中卵的 LT_{50} 最低, 为35.48℃; 幼虫的 LT_{50} 为37.55℃; 蛹的 LT_{50} 为41.85℃; 瓜实蝇雌性成虫的 LT_{50} 最高, 达到43.62℃; 雄性瓜实蝇成虫的 LT_{50} 为43.32℃。综合不同短时高温胁迫下瓜实蝇各虫态的 LT_{50} 结果表明, 瓜实蝇各虫态的 LT_{50} 随着虫态的不断生长变化, 逐渐升高, 且雌成虫的 LT_{50} 稍高于雄成虫。

2.3 瓜实蝇各虫态在不同短时高温胁迫下的发育历期

温度与瓜实蝇各虫态的发育历期密切相关。分别在温度34、36、38、40、42、44、46和48℃条件下热激, 瓜实蝇卵、幼虫、蛹的发育历期之间均有显著性差异(表3)。其中, 卵的发育历期

在42℃处理组中最短, 为1.00 d, 44℃时最长, 达4.00 d; 44℃的处理与24、34、36、38、40、42℃的处理之间皆有显著性差异 ($F = 4.28, P = 0.0001$); 幼虫的发育历期在40℃处理下最短, 为5.20 d, 42℃与44℃处理下的发育历期最长, 分别达到6.63 d和6.78 d; 42、44℃的处理与24、34、36、38、40℃的处理之间皆有显著性差异 ($F = 8.71, P = 0.0001$); 蛹的发育历期在40℃处理下的发育历期最短, 为6.93 d, 在44℃处理下发育历期最长, 达11.50 d; 44℃的处理与24、34、36、38、40、42℃的处理之间皆有显著性差异 ($F = 8.39, P = 0.0001$); 综合不同短时高温胁迫下瓜实蝇各虫态的发育历期结果表明, 在24~44℃度范围内, 随着温度的升高, 其发育历期逐渐升高, 且均在44℃处理下增幅最大。

表 2 不同虫态瓜实蝇高温处理 12 h 后的 LT_{50} Table 2 LT_{50} of different instars of *Bactrocera cucurbitae* exposed to different short-term high-temperatures for 12 h

虫态 Insects stage	回归方程 Regression equation	半致死温度 (°C) LT_{50}	相关系数 R^2	95% 置信区间 95% Confidence interval
卵 Egg	$y = 9.419x - 14.599$	35.48	0.056	33.490 ~ 37.111
幼虫 Larva	$y = 11.723x - 18.459$	37.55	0.055	35.572 ~ 39.209
蛹 Pupa	$y = 52.664x - 85.403$	41.85	0.458	41.327 ~ 42.385
雌成虫 Female adult	$y = 54.651x - 89.612$	43.62	0.772	42.773 ~ 44.543
雄成虫 Male adult	$y = 56.645x - 92.710$	43.32	0.960	42.477 ~ 44.209

表 3 不同虫态瓜实蝇高温处理 12 h 后的发育历期

Table 3 Developmental periods of different instars of *Bactrocera cucurbitae* exposed to different short-term high-temperatures for 12 h

温度 (°C) Temperature	发育历期 (d) Developmental periods		
	卵 Egg	幼虫 Larva	蛹 Pupa
24	1.14 ± 0.07 b	5.29 ± 0.13 b	6.54 ± 0.21 b
34	1.18 ± 0.08 b	5.44 ± 0.15 b	7.33 ± 0.26 b
36	1.20 ± 0.20 b	5.59 ± 0.24 b	7.00 ± 0.26 b
38	1.39 ± 0.39 b	5.21 ± 0.21 b	7.67 ± 0.30 b
40	1.47 ± 0.27 b	5.20 ± 0.12 b	6.93 ± 0.20 b
42	1.00 ± 0.00 b	6.63 ± 0.32 a	7.35 ± 0.38 b
44	4.00 ± 1.53 a	6.78 ± 0.28 a	11.50 ± 0.29 a
<i>F</i>	4.28	8.71	8.39
df	6, 106	6, 103	6, 165
<i>P</i>	0.0001	0.0001	0.0001

注: 表中数据为瓜实蝇发育历期的平均值 ± 标准误。同列不同字母分别表示不同虫态 (卵、幼虫、蛹) 组内各处理间经过 Duncan's 检测后差异显著 ($P < 0.05$)。46°C、48°C 处理下各虫态死亡率较高, 已不能正常发育, 故表中无 46°C、48°C 处理下的数据。Note: The data in the table mean ± SE among different treatments. Different letters in the same line mean significant difference among different insects (egg, larva, pupa) within different groups after treatment by Duncan's test ($P < 0.05$). The mortality rate of each insect state under the treatment of 46°C and 48°C is too high, and it can not develop normally. Therefore, there is no data under the treatment of 46°C and 48°C in the table.

2.4 不同高温处理下瓜实蝇成虫的产卵前期

温度与瓜实蝇成虫的产卵前期密切相关。分别在温度 34、36、38、40、42、44、46 和 48°C 条件下热激处理, 瓜实蝇成虫的发育历期之间皆有显著性差异 ($F = 84.73$, $P = 0.0001$)。其中, 24、36、34°C 的处理与 38、40、42°C 的处理之间有显著差异 (图 1)。34°C 与 24°C 处理下的对照相比产卵前期随着温度的升高而降低, 34°C 处理下最短 (图 1), 为 17.67 d; 34、36、38、40、42°C 处理下产卵前期随着温度的升高, 逐渐增加, 42°C 处理下的产卵前期最长 (图 1), 达 23.33 d。

2.5 不同高温处理下瓜实蝇成虫的单雌产卵量

不同高温处理对瓜实蝇成虫的单雌产卵量有较大影响。分别在温度 34、36、38、40、42°C 条件下热激处理, 瓜实蝇成虫的单雌产卵量之间有显著性差异 ($F = 98.92$, $P = 0.0001$)。其中, 34、36、38°C 的处理与 24、24°C 与 40°C, 40°C 与 42°C 的处理之间皆有显著性差异 (图 2)。38°C 处理下的瓜实蝇成虫单雌产卵量最高 (图 2), 达 237.67 粒, 少于 24°C 处理的对照组; 42°C 高温处理的瓜实蝇成虫单雌产卵量最低 (图 2), 为 65.33 粒; 综合不同短时高温胁迫下瓜实蝇成虫的单雌产卵

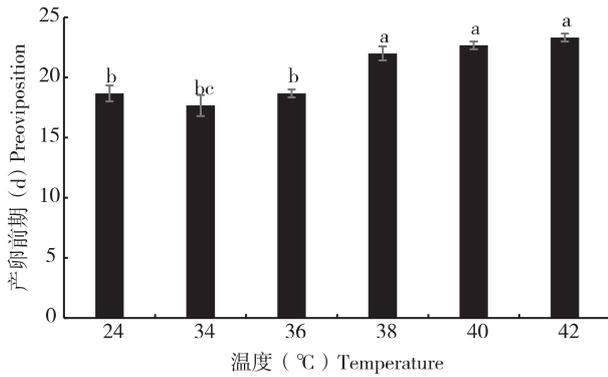


图 1 高温处理成虫 12 h 后瓜实蝇的产卵前期

Fig. 1 Preoviposition of *Bactrocera cucurbitae* adults exposed to different short-term high-temperatures for 12 h

注: 图中数据为平均值 ± 标准误, 图 2 - 图 3 同。图柱上不同小写字母表示瓜实蝇成虫的产卵前期在不同高温处理间经过 Duncan's 检测后差异显著 ($P < 0.05$)。44、46、48°C 处理下成虫未性成熟即全部死亡, 故图中无 44、46、48°C 处理下的数据, 下同。Note: The data in the figure is mean ± SE, the same for figure 2 to figure 3. Different lowercase letters above bars represent significant differences between preoviposition at different high temperature treatments after treatment by Duncan's test ($P < 0.05$). At 44°C, 46°C, 48°C treatment, the adults died without sexual maturity, so there is no data under 44, 46, 48°C treatment, the same below.

量结果表明, 瓜实蝇成虫的单雌产卵量在 24 ~ 42°C 度范围内, 随着处理温度的升高而逐渐降低。

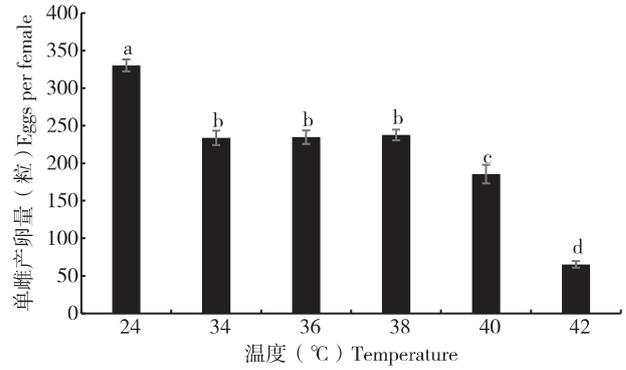


图 2 高温处理成虫 12 h 后瓜实蝇的繁殖力

Fig. 2 Eggs per female of *Bactrocera cucurbitae* exposed to different short-term high-temperatures for 12 h

注: 图柱上不同小写字母表示瓜实蝇成虫的单雌产卵量在不同高温处理间经过 Duncan's 检测后差异显著 ($P < 0.05$)。Note: Different lowercase letters above bars represent significant differences between Eggs per female at different high temperature treatments after treatment by Duncan's test ($P < 0.05$).

2.6 不同高温处理下瓜实蝇成虫的寿命

瓜实蝇的成虫寿命也与温度密切相关, 分别在温度 34、36、38、40、42、44°C 处理下热激, 瓜实蝇的雌雄成虫寿命间皆存在显著性差异 (表 4)。其中, 雌成虫的寿命在 42°C 与 34、36、38、40°C 下的处理, 42°C 与 44°C 的处理间皆有显著性差异 ($F = 14.25, P = 0.0001$), 雄成虫的寿

表 4 不同高温处理成虫 12 h 后瓜实蝇成虫的寿命

Table 4 Life expectancy of *Bactrocera cucurbitae* adults exposed to different short-term high-temperatures for 12 h

温度 (°C) Temperature	不同高温处理下瓜实蝇成虫的寿命 (d) Life expectancy of <i>Bactrocera cucurbitae</i> adults exposed to different high temperature	
	雌 (♀) Female	雄 (♂) Male
24	167.67 ± 16.02 a	139.67 ± 22.85 a
34	149.67 ± 2.91 a	129.33 ± 14.75 a
36	140.33 ± 16.80 a	178.00 ± 6.08 a
38	132.00 ± 15.37 a	147.67 ± 13.98 a
40	145.67 ± 11.57 a	142.67 ± 19.68 a
42	63.33 ± 27.06 b	74.33 ± 23.59 b
44	7.00 ± 1.73 c	3.33 ± 0.88 c
F	14.25	12.62
P	0.0001	0.0001

注: 表中数据为瓜实蝇校正存活率的平均值 ± 标准误, 同列不同字母分别表示雌雄组内各处理间经过 Duncan's 检测后差异显著 ($P < 0.05$)。Note: The data in the table mean ± SE among different treatments. Different letters in the same line mean significant difference among female or male within different groups after treatment by Duncan's test ($P < 0.05$).

命在 42℃ 与 34、36、38、40℃ 下的处理, 42℃ 与 44℃ 的处理间皆有显著性差异 ($F = 12.62, P = 0.0001$); 雌成虫的寿命在 34℃ 处理下最长, 达 149.67 d, 44℃ 处理下最短, 为 7.00 d (表 4); 雄成虫的寿命在 36℃ 处理下最长, 达 178.00 d, 44℃ 处理下最短, 为 3.33 d (表 4); 综合不同短时高温处理下瓜实蝇成虫的寿命结果表明, 随着处理温度的升高, 瓜实蝇成虫的寿命逐渐减短, 并且瓜实蝇雌成虫较雄成虫更为耐热, 对照组中雌成虫寿命也比雄成虫要长。

2.7 不同高温处理下瓜实蝇的后代雌性比

不同高温处理对瓜实蝇的后代雌性比具有较大影响, 分别在温度 34、36、38、40 和 42℃ 条件下处理, 瓜实蝇的后代雌性比间存在显著性差异 ($F = 38.05, P = 0.0001$)。其中, 36℃ 下的处理与 40℃, 40℃ 与 34℃, 34℃ 与 24℃ 的处理之间皆有显著性差异 (图 3); 36℃ 处理下的瓜实蝇后代雌性比最高, 达 60.84%, 34℃ 处理下的瓜实蝇后代雌性比最低, 为 55.21%, 但仍高于对照组, 且与对照组差异显著 (图 3); 综合不同短时高温处理下瓜实蝇成虫的后代雌性比结果表明, 随着处理温度的升高, 瓜实蝇成虫的后代雌性比也在逐渐升高, 且在 36℃ 时达到最高。

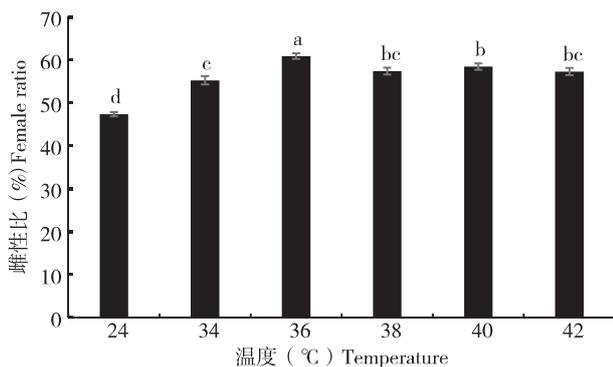


图 3 高温处理成虫 12 h 后瓜实蝇子代雌性百分率

Fig. 3 Female ratio of offspring of *Bactrocera cucurbitae*

exposed to different short-term high-temperatures for 12 h

注: 图柱上不同小写字母表示瓜实蝇的后代雌性比在不同高温处理间经过 Duncan's 检测后差异显著 ($P < 0.05$)。Note: Different lowercase letters above bars represent significant differences between female ratio of offspring at different high temperature treatments after treatment by Duncan's test ($P < 0.05$).

3 结论与讨论

温度是影响昆虫生长发育及繁殖的重要环境因子之一, 影响到昆虫的发育期、存活率、产卵量、后代性比等, 从而影响其种群增长 (张方平等, 2015)。本文研究结果表明, 短时高温胁迫对瓜实蝇各虫态的生长、发育、繁殖、后代性比均有明显影响, 在 34~48℃ 范围内, 随着温度的升高, 瓜实蝇各虫态的校正存活率逐渐降低, 已有研究结果表明, 温度对桃小食心虫的生长发育、存活以及繁殖力有很大影响 (Kim *et al.*, 2001; Toyoshima *et al.*, 2010; 张方平等, 2015)。本试验中, 瓜实蝇各虫态的耐热范围有很大不同, 耐热能力最强的是成虫, 在 44℃ 时卵、幼虫、蛹的存活率均低于 30%, 而成虫仍有 50% 以上的存活率, 其中雌成虫在 44℃ 时仍有 66.67% 的存活率, 远高于其他虫态, 这与 Laskar 研究结果类似, 实蝇成虫在温度 25~37℃ 条件下活跃度最高 (Laskar and Chatterjee, 2010)。

雌成虫对短时高温胁迫的耐受性稍强于雄成虫; 卵、幼虫、蛹、雌成虫、雄成虫高温处理 12 h 后的致死中温度 LT_{50} 分别为 35.48、37.55、41.85、43.62、43.32℃, 随着瓜实蝇的生长发育, LT_{50} 逐渐升高。雌成虫的 LT_{50} 稍高于雄成虫, 高温处理后的存活率也高于雄成虫, 朱绍光等 (2010) 在短时高温暴露对 Q 型烟粉虱 *Bemisia tabaci* Q-biotype 存活和生殖适应性的影响试验中, 也发现 Q 型烟粉虱雌虫耐热性强于雄虫, 这会导致种群中雌性比例上升, 从而增强种群的抗逆能力, 有利于种群的延续。

瓜实蝇各虫态的发育历期在 24~44℃ 度范围内, 随着温度的升高, 发育历期不断延长, 这可能是由于高温胁迫导致虫体内能量代谢的紊乱, 并延缓变态发育所需营养物质的积累 (Neven, 2000; Yukawa *et al.*, 2016)。程树兰等 (2007) 在龟纹瓢虫 *Propylea japonica* Thunberg 广东种群和北京种群的耐热性比较研究中也发现, 高温胁迫会使各虫态的发育历期显著增长, 这与本研究的结果一致。

不同温度胁迫下, 瓜实蝇的产卵前期呈现先降低后增长的趋势, 34℃ 与对照 24℃ 处理相比, 产卵前期随着温度的升高而降低, 温度升高促使实蝇发育速率加快, 产卵前期缩短。34~42℃ 处理下, 产卵前期随着温度的升高而逐渐延长。

Zeng 等 (2018) 研究结果显示, 在 45℃ 高温处理 1 h 后, 瓜实蝇的产卵前期显著增长, 与本研究的结论一致。在 24 ~ 42℃ 范围内, 瓜实蝇成虫的单雌产卵量和寿命随着处理温度的升高而逐渐降低和缩短。Zhao 等 (2016) 研究表明空心莲子草叶甲 *Agasicles hygrophila* Selman & Vogt 成虫在 36℃ 和 39℃ 下经过 4 h 的热胁迫, 存活成虫产卵量和卵的孵化率明显下降; Ebrahimi 等 (2015) 证实小菜蛾成虫在 30 ~ 40℃ (2 h ~ 6 h) 热胁迫后寿命缩短, 繁殖力下降; 姜姍等 (2016) 在极端高温对西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* Pergande 存活、繁殖特性及体内海藻糖、山梨醇含量的影响试验中也发现, 45℃ 的高温 2 h 热激两次后, 无论是孤雌生殖还是两性生殖, 雌性成虫的寿命都明显缩短, 甚至影响到 F₂ 代雌虫寿命; 这与本研究结果一致。一些研究也表明, 昆虫生殖器官容易受到高温胁迫产生不良反应, 高温处理一定强度和持续时间后, 能降低某些昆虫的生殖力 (王屹晟等, 2006), 例如桃小食心虫雌成虫进行短时高温处理后会抑制桃小食心虫的卵巢发育, 使卵巢管长度和卵巢鲜重有不同程度的下降, 产卵量与卵的孵化率显著下降 (贾向风和王洪平, 2014); 高温对天蚕 *Antheraea yamamai* Guérin-Méneville 睾丸生长发育有明显影响, 会使其精子生长受阻、活力减弱, 睾丸中可溶性蛋白含量和精子形成数量明显下降 (叶恭银, 2000)。

董彬等 (2018) 研究表明高温胁迫下, 东亚飞蝗的血淋巴蛋白浓度增加, 从而影响昆虫生长、繁殖、免疫防御等生理机制。本研究系统的研究了短时高温胁迫对瓜实蝇生长、发育和繁殖的影响, 研究结果为进一步研究瓜实蝇抗高温胁迫能力、温度胁迫的生理机制及全球变暖环境下瓜实蝇种群变动规律提供理论依据。

参考文献 (References)

- Cardoso RM, Soares PMM, Lima DCA, et al. Mean and extreme temperatures in a warming climate-EURO CORDEX and WRF regional climate high-resolution projections for Portugal [J]. *Climate Dynamics*, 2018, 7-8: 1-29.
- Cheng SL, Zhang F, Pang H. Comparative study on heat tolerance of Guangdong and Beijing populations of *Propylea japonica* (Thunberg) (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2007, 4: 376-382. [程树兰, 张帆, 庞虹. 龟纹瓢虫广东种群和北京种群的耐热性比较研究 [J]. 昆虫学报, 2007, 4: 376-382]
- Cong L, Guo JY, Wan FH. Effect of heat shock temperature and duration of exposure on the survival and fecundity of *Bemisia tabaci* B-biotype (Homoptera: Aleyrodidae) [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 37 (4): 347-352. [丛林, 郭建英, 万方浩. 卵期短时高温暴露对 B 型烟粉虱存活和繁殖特性的影响 [J]. 植物保护学报, 2010, 37 (4): 347-352]
- Cui XH, Xie M, Wan FH. Effects of brief exposure to high temperature on survival and fecundity of two whitefly species: *Bemisia tabaci* B-biotype and *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 2: 424-430. [崔旭红, 谢明, 万方浩. 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 [J]. 中国农业科学, 2008, 2: 424-430]
- Dong B, Ye XF, Xiang M, et al. Expression analysis and identification of proteins in hemolymph of *Locusta migratoria manilensis* Meyen (Orthoptera: Acrididae) under short-term exposure to high temperature [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2018, 40 (4): 901-907. [董彬, 叶小芳, 向敏, 等. 短时高温暴露下东亚飞蝗雌虫血淋巴蛋白表达分析及质谱鉴定 [J]. 环境昆虫学报, 2018, 40 (4): 901-907]
- Du Y, Ma CS, Zhao QH, et al. Effects of heat stress on physiological and biochemical mechanism of insects: A literature review [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (4): 1565-1572. [杜尧, 马春森, 赵清华, 等. 高温对昆虫影响的生理生化作用机理研究进展 [J]. 生态学报, 2007, 27 (4): 1565-1572]
- Ebrahimi N, Talebi AA, Fathipour Y. Effects of short-term heat shock of eggs on the development and fecundity of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) [J]. *Journal of Crop Protection*, 2015, 4 (1): 73-83.
- Fan XJ, Chen D, Sun ZJ, et al. Effects of brief exposure to high temperatures on the development, reproduction and feeding behavior of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 57 (10): 1188-1197. [范秀娟, 陈丹, 孙志娟, 等. 短时高温对烟蚜生长发育、繁殖和取食行为的影响 [J]. 昆虫学报, 2014, 57 (10): 1188-1197]
- Jia XF, Wang HP. Fecundity and ovary development of peach fruit borer under short-term high temperature [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2014, 42 (6): 73-75. [贾向风, 王洪平. 短时高温处理桃小食心虫雌成虫的生殖力及卵巢发育 [J]. 贵州农业科学, 2014, 42 (6): 73-75]
- Jiang FZ, Zheng LY, Guo JX, et al. Effects of temperature stress on insect fertility and its physiological and biochemical mechanisms [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (3): 653-663. [蒋丰泽, 郑灵燕, 郭技星, 等. 温度对昆虫繁殖力的影响及其生理生化机制 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (3): 653-663]
- Jiang S, Li S, Zhang B, et al. Effects of extreme high temperature on survival rate, reproduction, trehalose and sorbitol of *Frankliniella occidentalis* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49 (12): 2310-2321. [姜姍, 李帅, 张彬, 等. 极端高温对西花蓟马存活、繁殖特性及体内海藻糖、山梨醇含量的影响 [J]. 中国农业科学, 2016, 49 (12): 2310-2321]
- Kim DS, Lee JH, Yiem MS. Temperature-dependent development of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) and its stage emergence models [J]. *Environmental Entomology*, 2001, 30 (2): 298-305.

- Laskar N, Chatterjee H. The effect of meteorological factors on the population dynamics of melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Coq.) (Diptera: Tephritidae) in the foot hills of Himalaya [J]. *Journal of Applied Sciences & Environmental Management*, 2010, 14 (3): 1481–1483.
- Li DX, Lei XH, Xu YC, et al. Effects of brief exposure to high temperature on the growth, development and reproduction of the peach fruit moth, *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 57 (2): 218–225. [李定旭, 雷喜红, 徐艳彩, 等. 短时高温对桃小食心虫生长发育与繁殖的影响 [J]. 昆虫学报, 2014, 57 (2): 218–225]
- Li RK. The harm and prevention of melon fly [J]. *China Vegetables*, 1997, 3: 28–29. [李人柯. 瓜实蝇的为害与防治 [J]. 中国蔬菜, 1997, 3: 28–29]
- Liu CX, Zhou DN, Zhang XH. Causes and prevention methods of recurrence of fruit fly [J]. *China Plant Protection*, 2006, 26 (11): 21–22. [刘朝秀, 周冬年, 张孝辉. 瓜类蔬菜实蝇重发原因与防治方法 [J]. 中国植保导刊, 2006, 26 (11): 21–22]
- Maestri E, Klueva N, Perrotta C, et al. Molecular genetics of heat tolerance and heat shock proteins in cereals [J]. *Plant Molecular Biology*, 2002, 48 (5–6): 667–681.
- Ma G, Ma CS. The impacts of extreme high temperature on insect populations under climate change: A review [J]. *Scientia Sinica Vitae*, 2016, 46 (5): 556–564. [马昱, 马春森. 气候变化下极端高温对昆虫种群影响的研究进展 [J]. 中国科学: 生命科学, 2016, 46 (5): 556–564]
- Neven LG. Physiological responses of insects to heat [J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2000, 21 (1): 103–111.
- Ou YF, Ge F. Methodology of measuring and analyzing insect cold hardiness [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2014, 51 (6): 1646–1652. [欧阳芳, 戈峰. 昆虫抗冻耐寒能力的测定与分析方法 [J]. 应用昆虫学报, 2014, 51 (6): 1646–1652]
- Toyoshima S, Arai T, Yaginuma K. Effect of constant temperatures on the development of peach fruit moth, *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) [J]. *Bulletin of the National Institute of Fruit Tree Science*, 2010, 10: 1–8.
- Wang HS, Xu HF, Cui F. Effect of high temperature on fecundity and ovary development of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner) [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2006, 19 (5): 916–919. [王竑晟, 徐洪富, 崔峰. 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 [J]. 西南农业学报, 2006, 19 (5): 916–919]
- Wang XH, Wu WJ, Li MH, et al. The orthogonal optimization of artificial diet for larvae of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2012, 34 (1): 115–119. [王翔韩, 吴伟坚, 李梅辉, 等. 瓜实蝇幼虫人工饲料设计及其优化 [J]. 环境昆虫学报, 2012, 34 (1): 115–119]
- Wei SD, Huang SS, Wang YQ, et al. Effect of temperature on the development and reproduction of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) population [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2011, 42 (7): 744–747. [韦淑丹, 黄树生, 王玉群, 等. 温度对瓜实蝇实验种群生长发育及生殖的影响研究 [J]. 南方农业学报, 2011, 42 (7): 744–747]
- Yang PJ, Zhou CQ, Chen HD, et al. Study on the influence of five common hosts on the growth of experimental population of fruit fly [J]. *Ecological Sciences*, 1990, 2: 54–60. [杨平均, 周昌清, 陈海东, 等. 五种常见寄主对瓜实蝇实验种群增长影响的研究 [J]. 生态科学, 1990, 2: 54–60]
- Ye GY, Hu C, Gong H. Impact of high temperature on testicular growth and development of valuable silkworm *Antheraea yamamai* (Lepidoptera: Saturniidae) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20 (3): 490–494. [叶恭银, 胡萃, 龚和. 高温对珍贵绢丝昆虫-天蚕卵巢生长发育的影响 [J]. 生态学报, 2000, 20 (3): 490–494]
- Yocum GD, Jan Žďárek, Joplin KH, et al. Alteration of the eclosion rhythm and eclosion behavior in the flesh fly, *Sarcophaga crassipalpis*, by low and high temperature stress [J]. *Journal of Insect Physiology*, 1994, 40 (1): 13–21.
- Yukawa J, Ichinose M, Kim W, et al. Lower development threshold temperatures and thermal constants for four species of *Asphondylia* (Diptera: Cecidomyiidae) in Japan and their larval developmental delay caused by heat stress [J]. *Applied Entomology & Zoology*, 2016, 51 (1): 71–80.
- Zeng B, Zhu W, Fu Y, et al. Influence of high-temperature exposure on the mating, oviposition and thermotaxis of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae) [J]. *PLoS ONE*, 2018, 13 (9): e0204065.
- Zhai PM, Liu J. Extreme weather/climate events and disaster prevention and mitigation under global warming background [J]. *Engineering Sciences*, 2012, 14 (9): 55–63, 84. [翟盘茂, 刘静. 气候变暖背景下的极端天气气候事件与防灾减灾 [J]. 中国工程科学, 2012, 14 (9): 55–63, 84]
- Zhang FP, Zhu HJ, Han DY, et al. Effect of low temperature on the development and reproduction of *Metaphycus parasaissetiae* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (6): 1252–1256. [张方平, 朱俊洪, 韩冬银, 等. 低温对副珠蜡蚧阔柄跳小蜂发育及繁殖的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (6): 1252–1256]
- Zhang JL, Yan ZH, Fang XJ, et al. Oviposition selectivity and competitive research on *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) and *Bactrocera tau* (Walker) [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2017, 32 (3): 427–431. [张金龙, 闫振华, 方薛交, 等. 瓜实蝇与南亚实蝇产卵选择性及种间竞争研究 [J]. 云南农业大学学报, 2017, 32 (3): 427–431]
- Zhang S, Fu W, Li N, et al. Antioxidant responses of *Propylaea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae) exposed to high temperature stress [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2015, 73: 47–52.
- Zhao MT, Wang Y, Zhou ZS, et al. Effects of periodically repeated heat events on reproduction and ovary development of *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2016, 109 (4): 1586–1594.
- Zhu SG, Li ZH, Wan FH. Effects of brief exposure to high temperature on survival and reproductive adaptation of *Bemisia tabaci* Q-biotype [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2010, 47 (6): 1141–1144. [朱绍光, 李照会, 万方浩. 短时高温暴露对 Q 型烟粉虱存活和生殖适应性的影响 [J]. 昆虫知识, 2010, 47 (6): 1141–1144]