

卵和蛹短时高温对草地贪夜蛾生长发育的影响

张红梅 王 燕 尹艳琼 李向永 陈福寿* 谌爱东*

(云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205)

摘要:为明确草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 卵和蛹经短时高温处理对其生长发育的影响,将草地贪夜蛾卵和蛹在 34、38、42、46℃ 高温下分别处理 2、4、6 h 后,测定短时高温下草地贪夜蛾卵的孵化率、不同虫态的发育历期、蛹的羽化率和雌成虫及其子代的繁殖力等指标。结果表明:随着温度升高和高温持续时间延长卵的孵化率逐渐降低,卵在 38℃ 及以上处理 6 h 或高温 46℃ 处理 2 h 以上孵化率显著降低;46℃ 处理 6 h 的孵化率最低为 12.21%,幼虫不能成活;在 42℃ 处理 4 h 以上和 46℃ 处理 2 h 以上卵的发育历期延长,与对照差异显著,幼虫的发育历期显著短于对照,蛹的发育历期与对照比无显著差异;38℃ 处理 6 h、42℃ 处理 6 h 成虫的产卵量显著低于对照。短时高温处理蛹后,雌蛹和雄蛹在 46℃ 处理 2~6 h 后羽化率分别为 0~15.00% 和 0~6.75%,均显著低于对照,雌蛹在 42、46℃ 下的羽化率高于雄蛹,蛹在 38℃ 处理 6 h 和 42℃ 处理 2 h 以上后羽化的成虫产卵量较低,为 121.25~186.75 粒。表明高温 38℃ 以上持续 6 h 或 42℃ 以上持续 2 h 以上草地贪夜蛾种群生长会受到抑制。

关键词:草地贪夜蛾;短时高温;卵期;蛹期;孵化率;羽化率;繁殖力

Effects of short-term high temperature in egg and pupal stages on the growth and development of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*

ZHANG Hongmei WANG Yan YIN Yanqiong Li Xiangyong CHEN Fushou* CHEN Aidong*

(Institute of Agricultural Environment and Resources, Yunnan Academy of Agricultural Sciences,
Kunming 650205, Yunnan Province, China)

Abstract: In order to find out the influence of short-term high temperature on the growth and development of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* at egg and pupa stages, the eggs and pupae were treated at 34, 38, 42 and 46℃ for 2, 4 and 6 h, respectively, and the effects of short-time high temperature on the egg hatching rate, developmental durations of different stages, pupa emergence rate and reproduction were determined. The results showed that the hatching rate of eggs gradually decreased with increasing temperature and duration of high temperature; the hatchability of eggs at a temperature above 38℃ for 6 h or at 46℃ for more than 2 h was significantly inhibited: the lowest hatching rate was 12.21% at 46℃ for 6 h, and the larvae could not survive. The egg stage was prolonged at 42℃ for more than 4 h and 46℃ for more than 2 h, and there were significant differences from the control group. The larval stage was significantly lower than the control group. There was no significant difference in pupa stage. The eggs developed to adult at 38℃ and 42℃ for 6 h, and the number of eggs laid by adults was significantly lower than that of control. The emergence rates of female and male pupae were 0–15.00% and 0–6.75%, respectively, at 46℃ for 2, 4 and 6 h under short-term high temperature treatment, significantly lower than the control. The emergence rate of female pupae was higher than that of male pupae

基金项目: 云南省财政专项(YAAS201902), 农业农村部草地贪夜蛾应急调研指导项目, 云南省重点研发计划(2019IB007)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: chenfsh36@163.com, chenad68@163.com

收稿日期: 2020-05-18

at 42°C and 46°C. After the emerged, the number of eggs laid by adults was lower (121.25–186.75) at 38°C for 6 h and 42°C for more than 2 h. It indicated that the population of *S. frugiperda* was suppressed at a high temperature above 38°C for 6 h or 42°C for 2 h.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; short-term high temperature; egg stage; pupal stage; hatching rate; emergence rate; fecundity

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 于2019年1月侵入我国后(杨学礼等, 2019), 对我国玉米等粮食安全构成严重威胁。它具有适应性广、迁飞距离远、繁殖能力强、为害损失重等特点(Rose et al., 1975; Johnson, 1987; Westbrook et al., 2016)。草地贪夜蛾幼虫猖獗为害期集中在4—9月, 我国夏季大部分地区均会出现超过35°C的日极端高温, 局部地区甚至出现42°C以上的极端高温, 云南省金沙江河谷、红河河谷及澜沧江河谷地区夏季常出现35°C以上的高温, 其中玉溪市元江县、红河哈尼族彝族自治州元阳县、楚雄彝族自治州元谋县、昆明市东川区、昭通市巧家县、临沧市耿马傣族佤族自治县、西双版纳傣族自治州、普洱市等地甚至出现40°C以上极端高温(<https://www.tianqi.com/news/244157.html>)。在恒温条件下, 温度对草地贪夜蛾生长发育的影响研究已有报道(张红梅等, 2020), 而短时高温对草地贪夜蛾生长发育的影响研究尚未见报道。

目前, 国内外学者报道发现棉蚜 *Aphis gossypii* 随着温度的升高和高温持续天数的延长, 其累计死亡率呈上升趋势, 38°C条件下其累计死亡率明显迅速上升(高桂珍等, 2012); 桃小食心虫 *Carposina sasakii* 不同虫态经35、38、41°C高温处理14 h后对卵的孵化率影响较小, 对成虫的存活率、寿命、产卵量影响较大(李定旭等, 2014); 锯谷盗 *Oryzaephilus surinamensis* 成虫在36~48°C高温处理1~7 h后, 存活率和繁殖力显著下降(向玉勇和戴荣涛, 2016); 31°C和37°C的极端高温抑制麦长管蚜 *Sitobion avenae* 和桃蚜 *Myzus persicae* 的发育、生殖和存活(Jeffs & Leather, 2014; Chiu et al., 2015); 在32~41°C条件下柑橘全爪螨 *Panonychus citri* 经热激后会对雌成螨的存活和生殖产生影响(杨丽红等, 2014); 在44°C暴露1 h后Q型烟粉虱 *Bemisia tabaci* 产卵量降低, 寿命缩短(朱绍光等, 2010); 在33°C条件下处理4 h意大利星翅蝗 *Calliptamus italicus* 其存活及生殖显著提高, 而36°C及以上高温对其生长繁殖会产生不利影响(向敏等, 2017)。2002—2012年, 欧洲热浪事件导致黄蜂出现区域性灭绝(Rasmont & Iserbyt, 2012), 32.3~40.4°C极端高温对苹淡褐卷蛾 *Epi-
phyas postvittana* 自然种群产生急性的致死效应

(Bürgi & Mills, 2012)等相关报道表明短时高温会及时或后期抑制昆虫的发育。

因此, 本研究通过测定草地贪夜蛾卵和蛹经短时高温处理后对其生长发育的影响, 明确草地贪夜蛾在极端高温季节下的种群变化规律, 以期为极端高温下草地贪夜蛾的预测和防治提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源及土壤: 采自云南省普洱市宁洱县春玉米田草地贪夜蛾高龄幼虫(101°02'54.02" N, 23°1'59.62" E), 海拔1 301 m, 带回室内塑料大棚于长、宽、高各50 cm的养虫笼内饲养, 幼虫用盆栽新鲜玉米苗饲养, 高龄幼虫爬进盆里土壤化蛹, 待蛹期将盆转移到另一个养虫笼, 同时放入新鲜盆栽玉米苗, 让其羽化后自由交配并在玉米叶片上产卵, 同时提供10%蜂蜜水供给成虫营养, 每天收集的卵块转移到新养虫笼里提供新鲜玉米苗让其孵化饲养幼虫, 循环饲养10代。选择新鲜卵块、蛹备用, 饲养条件为温度28°C、光周期为16 L:8 D、相对湿度70%。玉米苗由试验室播种备用, 品种为黑糯1号, 种子由云南省农业科学院粮食作物研究所提供。每盆播种20~30粒玉米种子, 长出3~4片叶, 株高为8~13 cm时备用。供试土壤来自附近农田蔬菜地, 土壤经高压灭菌处理, 土壤的湿度约40%~50%。

仪器: LRH-400-GS人工气候箱, 韶关市泰宏医疗器械有限公司; SZ2-1LST OLYMPUS显微镜, 日本奥林巴斯公司。

1.2 方法

1.2.1 卵短时高温处理对草地贪夜蛾发育的影响

草地贪夜蛾卵的短时高温处理试验设置34、38、42和46°C共4个温度梯度, 每个温度分别设2、4、6 h三个时间梯度, 每个处理4次重复, 均在光周期16 L:8 D、相对湿度70%、光照强度9 000 lx的条件下进行, 以28°C作为对照, 其余条件不变。

首先取刚产的草地贪夜蛾卵块, 每块卵块分别在显微镜下统计卵粒数, 分别将卵块放在培养皿中编号, 培养皿底部垫有抽纸, 同时提供新鲜的玉米叶

供其取食,每个处理观察4块卵块,按上述试验设计把卵块放入不同温度下处理不同时间后,每12 h记录1次卵孵化时间和孵化数量。

当卵孵化后,每个处理选择刚孵化幼虫转移到20 mL试管中饲养,单头单管饲养编号,试管内提供新鲜的玉米叶,每天更换玉米叶,及时清理粪便,每个处理选10头幼虫,每个处理4次重复,共120头幼虫,每12 h观察1次草地贪夜蛾幼虫发育情况,记录虫态、发育历期、6龄幼虫存活头数、化蛹头数、羽化头数。

当羽化为成虫后,把成虫转移到室内长、宽、高均为30 cm的养虫笼内,室温下产卵,同时养虫笼内提供盆栽玉米小苗和10%蜂蜜水让成虫产卵。每个养虫笼配5对成虫让其交配产卵,每个处理4个次复,同时每12 h记录1次成虫产卵时间、产卵数量和成虫成活头数。

1.2.2 蛹短时高温处理对草地贪夜蛾发育的影响

草地贪夜蛾蛹短时高温处理试验设置34、38、42和46℃共4个温度梯度,每个温度分别设2、4、6 h三个时间梯度,每个处理4次重复,在光周期为16 L:8 D、相对湿度均为70%、光照强度为9 000 lx的条件下进行,以蛹不经高温处理作为对照。

当蛹体色完全变为红棕色时,在显微镜下根据形态特征将雌蛹和雄蛹分开,每个处理分别选10头雌蛹和10头雄蛹,每个处理4次重复,将雌蛹和雄蛹分别单独装入培养皿中进行不同处理,处理后把蛹放在室温通风透气装有土的羽化盒中,用土壤把蛹

覆盖,待其羽化,每天记录蛹羽化的数量。

把刚羽化的成虫进行配对放在室内的长、宽、高均为30 cm的养虫笼中,于室温下产卵,每个笼子5对成虫,其余条件跟上述产卵条件相同,每12 h记录1次,成虫产卵时间、产卵数量和成虫成活头数。

1.3 数据分析

采用Excel 2007和SPSS 21.0软件对草地贪夜蛾卵的孵化率和蛹的羽化率进行双因素方差分析,其余数据进行单因素方差分析,采用Duncan's新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 卵短时高温处理对其孵化率及发育的影响

2.1.1 对卵孵化率的影响

草地贪夜蛾卵经不同温度和时间处理后孵化率为12.21%~81.75%(图1)。卵经不同温度处理后的孵化率差异显著($F=6.450, P<0.05$),温度与孵化率呈负相关($r=-0.909$);卵经不同时间处理后的孵化率差异显著($F=6.850, P<0.05$),时间与孵化率呈负相关($r=-0.979$);温度和时间交互作用对草地贪夜蛾卵的孵化率有显著影响($F=4.490, P<0.05$)。46℃处理2、4、6 h,38℃和42℃处理6 h后卵的孵化率显著低于对照,46℃处理6 h孵化率最低为12.21%,卵在不同高温和不同时长处理下,随着温度的升高和时间的延长,孵化率逐渐下降。

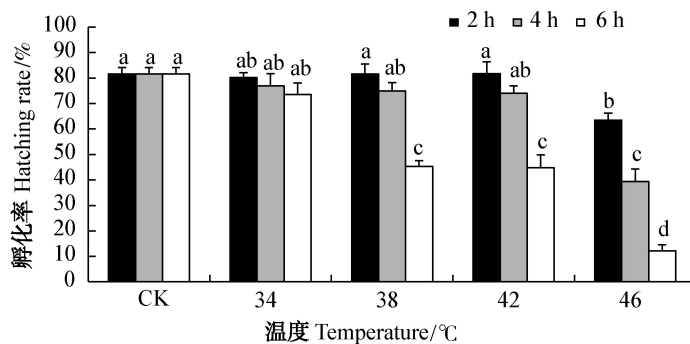


图1 高温对草地贪夜蛾卵孵化率的影响

Fig. 1 Effects of high temperature on the hatchability of *Spodoptera frugiperda*

图中数据为平均数±标准误。不同小写字母表示不同处理间经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the figure are mean±SE. Different lowercase indicate significant difference among different treatments at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.1.2 对卵、幼虫、蛹发育历期的影响

统计草地贪夜蛾卵经不同温度处理不同时长后不同虫态的发育历期,结果显示,卵经短时高温处理

后的卵发育历期为2.65~3.01 d,不同处理间差异显著($F=7.630, P<0.05$),42℃处理4、6 h和46℃处理2、4、6 h的发育历期均显著长于对照;幼虫的发育历期

为 10.18~12.55 d, 不同处理间差异显著($F=3.181, P<0.05$), 幼虫的发育历期均比对照的短; 蛹的发育历期为 8.80~10.38 d, 不同处理与对照均无显著差异($F=1.742, P>0.05$); 成虫的发育历期为 12.08~16.65 d, 34、38、42℃处理 2 h 的成虫发育历期均显著长于对照($F=9.107, P<0.05$)(表 1)。

表 1 卵经高温处理后对草地贪夜蛾不同虫态发育历期的影响

Table 1 Effects of high temperature treatment at egg stage on different developmental stages of *Spodoptera frugiperda*

温度 Temperature/℃	时间 Time/h	卵 Egg/d	幼虫 Larva/d	蛹 Pupa/d	成虫 Adult/d
34	2	2.78±0.09 bcd	11.85±0.45 ab	8.80±0.19 c	16.63±0.75 a
	4	2.74±0.11 cd	10.98±0.86 bcd	8.95±0.33 bc	14.50±1.29 bcd
	6	2.65±0.13 d	11.45±0.49 abc	9.00±0.38 bc	12.30±1.16 e
38	2	2.86±0.24 abc	11.68±1.01 ab	9.55±0.88 abc	16.65±1.00 a
	4	2.67±0.17 d	10.88±0.94 bcd	9.48±0.48 abc	15.03±0.87 abc
	6	2.60±0.07 d	10.18±0.38 d	10.13±0.63 ab	12.08±0.40 e
42	2	2.95±0.13 ab	11.35±0.77 bcd	9.25±0.56 abc	15.48±0.61 ab
	4	2.99±0.09 a	10.33±0.40 cd	9.75±0.96 abc	12.35±1.25 e
	6	3.01±0.11 a	10.68±0.70 bcd	10.38±0.82 a	14.63±1.27 bcd
46	2	2.99±0.13 a	11.13±0.85 bcd	9.20±0.89 abc	15.28±0.99 abc
	4	3.00±0.20 a	10.88±0.85 bcd	9.63±0.96 abc	13.05±1.40 de
	6	3.01±0.15 a	—	—	—
CK		2.76±0.13 bcd	12.55±0.88 a	9.23±0.32 abc	13.68±1.13 cde

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.1.3 对幼虫存活率、化蛹率和羽化率的影响

草地贪夜蛾卵经 46℃处理 6 h 后, 孵化的幼虫饲养到 3~4 龄时全部死亡, 其余处理 6 龄幼虫存活率为 90.50%~97.00%, 34℃处理 2 h、38℃处理 4 h 和 46℃处理 4 h 与对照差异显著($F=6.446, P<0.05$); 不同处理后的化蛹率为 81.05%~96.25%, 34℃处理 2、

6 h、38℃处理 2 h、42℃处理 4、6 h、46℃处理 4 h 与对照呈差异显著($F=25.050, P<0.05$), 42℃处理 6 h 后的化蛹率最高, 46℃处理 4 h 后的化蛹率最低; 不同处理后的羽化率为 80.50%~94.00%, 34℃处理 6 h、38℃处理 2、4 h、42℃处理 6 h、46℃处理 4 h 与对照差异显著($F=14.669, P<0.05$)(表 2)。

表 2 卵经高温处理后对草地贪夜蛾不同虫态存活率的影响

Table 2 Effects of high temperature treatment at egg stage on the survival rate of *Spodoptera frugiperda* at different insect stages

温度/℃ Temperature	时间/h Time	6 龄幼虫存活率/% Survival rate of 6th instar	化蛹率/% Rate of pupation	羽化率/% Rate of emergence
34	2	97.00±1.41 a	88.75±2.22 d	91.00±2.58 ab
	4	96.50±1.29 ab	94.50±1.91 ab	94.00±2.16 a
	6	94.80±0.50 abcd	84.75±2.87 e	81.75±1.89 c
38	2	95.25±0.96 abc	96.00±1.83 a	80.50±1.29 c
	4	97.00±1.41 a	89.50±3.32 cd	80.75±2.75 cd
	6	92.50±2.83 de	94.25±3.10 ab	93.50±1.29 ab
42	2	96.50±2.38 ab	95.50±1.29 ab	89.25±2.50 b
	4	93.25±2.36 cd	81.25±1.26 f	92.75±2.63 ab
	6	92.25±1.71 de	96.25±1.71 a	83.50±1.29 c
46	2	94.75±1.26 abcd	93.75±2.63 ab	93.00±2.94 ab
	4	90.50±0.96 e	81.05±2.63 f	83.75±1.71 c
	6	—	—	—
CK		94.25±1.71 bcd	92.25±3.59 bc	90.75±2.50 ab

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.1.4 对成虫产卵期、寿命及其繁殖力的影响

草地贪夜蛾卵经不同温度、不同时间处理后统计成虫的产卵前期、产卵期、寿命和产卵量,结果显示,不同处理的产卵前期为6.50~9.50 d,42℃处理4 h产卵前期最短为6.50 d,与对照差异显著($F=2.931, P<0.05$);不同处理的成虫产卵期为2.43~6.00 d,34℃处理2、4 h,38℃处理2 h,46℃处

理4 h与对照间均差异显著($F=8.544, P<0.05$);不同处理的成虫寿命为12.08~16.65 d,34、38、42℃处理2 h与对照差异显著($F=9.107, P<0.05$);不同处理的单雌产卵量差异显著($F=8.216, P<0.05$),38℃处理2 h的产卵量最高,为457.50粒,42℃处理6 h的产卵量最低,为287.00粒(表3)。

表3 卵经高温处理后对草地贪夜蛾成虫繁殖力的影响

Table 3 Effects of high temperature treatment at egg stage on *Spodoptera frugiperda* adult fecundity

温度/℃ Temperature	时间/h Time	产卵前期/d Pre-oviposition period	产卵期/d Oviposition period	成虫寿命/d Adult life span	单雌产卵量 Oviposition quantity
34	2	7.63±1.49 bcd	5.15±0.87 ab	16.63±0.75 a	427.00±50.22 ab
	4	8.03±0.74 abcd	6.00±0.71 a	14.50±1.29 bcd	297.00±49.12 de
	6	7.00±0.82 cd	3.58±0.43 cd	12.30±1.16 e	377.50±33.00 bc
38	2	8.50±1.29 abc	5.28±0.41 ab	16.65±1.00 a	457.50±43.00 a
	4	8.05±0.10 abcd	4.20±0.37 bc	15.03±0.87 abc	365.00±56.87 c
	6	7.40±0.78 cd	3.30±0.42 cde	12.08±0.40 e	289.00±29.11 e
42	2	8.15±1.03 abc	4.03±0.88 cd	15.48±0.61 ab	386.00±26.00 bc
	4	6.50±0.62 d	3.03±0.26 de	12.35±1.25 e	301.25±25.00 de
	6	9.50±0.58 a	3.40±0.70 cde	14.63±1.27 bcd	287.00±48.76 e
46	2	8.20±0.36 abc	4.33±1.34 bc	15.28±0.99 abc	297.75±60.25 de
	4	9.18±0.95 ab	2.43±0.84 e	13.05±1.40 de	362.00±16.00 c
	6	—	—	—	—
CK		8.25±1.26 abc	3.63±0.48 cd	13.68±1.13 cde	355.00±40.00 cd

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.2 蛹短时高温处理对其生长发育的影响

2.2.1 对羽化率的影响

草地贪夜蛾雌蛹经不同温度处理后的羽化率差异显著($F=304.289, P<0.05$),不同时间处理下雌蛹的羽化率差异显著($F=0.883, P<0.05$),温度与时间交互后的雌蛹羽化率呈显著性差异($F=3.120, P<0.05$);雌蛹经46℃处理2、4、6 h与对照差异显著,羽化率分别为15.00%、2.78%、0,其余处理羽化率在87.80%~91.70%之间。雄蛹经不同温度处理的羽化率也差异显著($F=673.006, P<0.05$),不同时间处理下雄蛹羽化率无显著差异($F=0.492, P>0.05$),温度与时间交互后的雄蛹羽化率差异显著($F=0.940, P<0.05$);高温46℃处理2、4、6 h雄蛹羽化率为0~6.75%,高温42℃处理2、4、6 h后羽化率为76.11%~80.58%,显著低于对照。蛹经短时高温处理后,42℃和46℃下雌蛹的羽化率高于雄蛹,说明雌蛹耐

热性强于雄蛹,42℃以上对蛹的羽化率有抑制作用(表4)。

2.2.2 对成虫产卵期、寿命及产卵量的影响

草地贪夜蛾蛹经38℃处理2 h和6 h,成虫产卵前期较对照显著延长($F=5.790, P<0.05$);不同处理间的成虫产卵期也存在显著差异($F=59.921, P<0.05$),46℃处理2 h及以上成虫不产卵,产卵期均比对照短;42℃处理2 h及以上和46℃处理2 h后的成虫寿命均显著低于对照($F=29.398, P<0.05$),46℃处理2 h后的成虫寿命最短,为5.48 d;不同处理间的成虫产卵量存在显著差异($F=32.111, P<0.05$),不同处理产卵量均低于对照,在38℃处理6 h和42℃处理2 h以上羽化的成虫产卵量较低,为121.25~186.75粒(表5)。说明蛹经短时高温处理后对成虫产卵量有抑制作用,随着温度升高、处理时间延长,成虫寿命和产卵期缩短,产卵量逐渐下降。

表 4 蛹经高温处理后对草地贪夜蛾羽化率的影响

Table 4 Effects of high temperature treatment at pupal stage on the emergence rate of <i>Spodoptera frugiperda</i>			
温度 Temperature/℃	时间 Time/h	雌蛹羽化率 Survival rate of female pupa/%	雄蛹羽化率 Survival rate of male pupa/%
34	2	90.07±3.35 a	90.71±3.02 a
	4	89.63±3.94 a	88.89±9.07 a
	6	90.63±5.41 a	93.25±4.71 a
38	2	91.25±2.50 a	91.25±6.29 a
	4	90.00±4.08 a	87.50±6.45 ab
	6	91.67±5.60 a	91.67±5.56 a
42	2	88.92±4.56 a	76.11±7.71 c
	4	91.70±5.54 a	80.56±6.32 bc
	6	87.70±7.13 a	77.78±9.07 c
46	2	15.00±5.23 b	6.75±2.50 d
	4	2.78±2.10 c	—
	6	—	—
CK		91.48±2.98 a	93.59±2.37 a

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

表 5 蛹经高温处理后对草地贪夜蛾成虫繁殖力的影响

Table 5 Effects of high temperature treatment at pupa stage on <i>Spodoptera frugiperda</i> adult fecundity					
温度/℃	时间/h	产卵前期/d	产卵期/d	成虫寿命/d	单雌产卵量
Temperature	Time	Pre-oviposition period	Oviposition period	Adult life span	Oviposition quantity
34	2	6.13±0.40 bcd	4.98±0.34 a	12.15±0.60 a	327.25±59.76 a
	4	6.50±0.64 abc	4.68±0.25 ab	11.88±0.48 ab	333.00±66.67 a
	6	5.73±0.43 cdef	4.23±0.30 bc	10.98±0.41 bc	276.00±34.61 ab
38	2	6.95±0.31 ab	5.00±0.41 a	12.15±0.87 a	341.75±47.02 a
	4	6.53±0.41 abc	4.33±0.42 bc	11.83±0.74 ab	304.25±27.87 a
	6	7.05±0.79 a	3.90±0.45 c	10.98±0.92 bc	176.25±40.51 bcd
42	2	6.08±0.59 bcde	4.15±0.37 bc	10.38±0.55 cd	186.75±15.76 bc
	4	5.20±0.29 ef	4.08±0.46 c	10.28±0.63 cd	157.50±30.49 cd
	6	5.00±0.71 f	3.88±0.44 c	9.75±0.97 d	121.25±17.37 d
46	2	5.48±0.75 def	0.00±0.00 d	5.48±0.75 e	0.00±0.00 e
	4	—	—	—	—
	6	—	—	—	—
CK		5.73±0.61 cdef	5.20±0.34 a	11.93±0.65 ab	349.25±45.67 a

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are means±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

3 讨论

本研究结果表明,草地贪夜蛾的卵经短时高温处理后,卵的孵化率随温度的升高和高温持续时间的延长孵化率逐渐降低,这与李永涛等(2016)发现

双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* 的卵随温度升高,处理时间延长其孵化率逐渐降低的结论一致,而李定旭等(2010)研究结果表明山楂叶螨 *Tetranychus viennensis* 卵经历 33~42℃ 的高温处理 1~6 h 其孵化率无明显变化。产生这种现象可能主

要取决于不同昆虫对高温的敏感性不同,草地贪夜蛾卵在38℃处理6 h和42℃处理6 h后的孵化率分别为45.30%和44.78%,说明在38~42℃下卵的孵化率受高温持续时间影响更大,一旦温度达到46℃以上孵化率明显下降,卵经46℃处理6 h后的孵化率最低,幼虫不能成活,卵经短时高温38℃及以上处理6 h或高温46℃处理2 h以上时其孵化率显著降低。

草地贪夜蛾卵经短时高温处理发育至6龄幼虫,46℃处理4 h存活率最低为90.50%,蛹经34℃处理2、6 h,42℃处理4 h和46℃处理4 h后化蛹率显著低于对照,34℃处理2 h化蛹率低,产生这些现象的原因可能是在饲养过程中试管中放入新鲜玉米量不一致,新鲜玉米多,水分重,草地贪夜蛾幼虫容易污染,不利于存活,这与瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae* 随着温度升高各虫态存活率逐渐降低有所不同(顾祥鹏等,2020),这主要是短时高温对不同虫态进行处理,而本研究主要在卵期和蛹期进行短时高温处理,高温处理对幼虫和成虫的影响还有待进一步研究。草地贪夜蛾卵经短时高温38℃处理2 h后,成虫寿命最长、产卵期最长、产卵量最多,42℃处理6 h后的产卵量最低,46℃处理4 h后的产卵量与对照没有差异,可能在一定温度范围内,短时的变温有利于草地贪夜蛾繁育,而高温则对繁殖有一定的抑制作用,也有可能是卵的日龄不太整齐的原因,这取决于高温的强度、持续的时间、卵的日龄,这有待下一步开展研究。

草地贪夜蛾蛹在46℃处理2 h及以上,蛹少量羽化,羽化的成虫不能产卵,蛹在42℃处理2 h及以上,雌蛹的羽化率明显高于雄蛹,说明雌蛹比雄蛹耐热性更强,可能为了保存后代繁衍,雌蛹具有较强的耐热性,这与莲草直胸跳甲 *Agasicles hygrophila* 雌成虫的耐热能力比雄成虫强基本一致(陈磊等,2010),随着温度的升高和高温持续时间的延长成虫寿命和产卵期逐渐缩短、产卵量逐渐下降,42℃以上处理2 h以上对蛹的羽化率有一定的抑制作用,38℃以上处理6 h和42℃以上处理2 h以上对蛹羽化子代成虫的繁殖能力有影响。

草地贪夜蛾原产于美洲热带及亚热带地区,高温胁迫对草地贪夜蛾适应入侵环境以及种群发生有重要意义,本试验发现卵在38℃以上持续6 h或46℃持续2 h以上,蛹在38℃以上持续6 h或42℃以上持续2 h以上草地贪夜蛾种群受到抑制,这将给我

国夏季高温天气条件下草地贪夜蛾的防治和测报提供科学依据,一般夏季高温持续或不间断出现几个小时,应选择高温出现后在卵和蛹脆弱时采取化学防治措施和农事操作更有利于降低草地贪夜蛾种群数量。

参 考 文 献 (References)

- BÜRGI LP, MILLS NJ. 2012. Ecologically relevant measures of the physiological tolerance of light brown apple moth, *Epiphyas postvittana*, to high temperature extremes. *Journal of Insect Physiology*, 58(9): 1184–1191
- CHEN L, CAI DC, CHEN Q, TANG C, PENG ZQ, JIN QA, WEN HB. 2010. Effect of short-term high temperature on survival and fecundity of *Agasicles hygrophila*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(2): 308–312 (in Chinese) [陈磊, 蔡笃程, 陈青, 唐超, 彭正强, 金启安, 温海波. 2010. 短时高温对莲草直胸跳甲成虫存活及繁殖的影响. *昆虫知识*, 47(2): 308–312]
- CHIU MC, KUO JJ, KUO MH. 2015. Stage-dependent effects of experimental heat waves on an insect herbivore. *Ecological Entomology*, 40(2): 175–181
- 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 (in Chinese) [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]
- GU XP, HUANG YY, ZHANG JY, ZHANG XM, CHEN GH. 2020. Effects of short-term high-temperature stress on growth, development and reproduction of melon fly. *Journal of Environmental Entomology*, 42(2): 391–399 (in Chinese) [顾祥鹏, 黄禹禹, 张金永, 张晓明, 陈国华. 2020. 短时高温胁迫对瓜实蝇生长发育及繁殖的影响. *环境昆虫学报*, 42(2): 391–399]
- JEFFS CT, LEATHER SR. 2014. Effects of extreme, fluctuating temperature events on life history traits of the grain aphid, *Sitobion avenae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 150(3): 240–249
- JOHNSON SJ. 1987. Migration and the life history strategy of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in the western hemisphere. *International Journal of Tropical Insect Science*, 8(4/5/6): 543–549
- LI DX, LEI XH, XU YC, LI Z, GAO LW. 2014. Effects of brief exposure to high temperature on the growth, development and reproduction of the peach fruit moth, *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae). *Acta Entomologica Sinica*, 57(2): 218–225 (in Chinese) [李定旭, 雷喜红, 徐艳彩, 李政, 高灵旺. 2014. 短时高温对桃小食心虫生长发育与繁殖的影响. *昆虫学报*, 57(2): 218–225]
- LI DX, ZHANG XN, YANG YN, ZHU HW. 2010. Effects of high temperature shocks on hawthorn spider mite, *Tetranychus viennensis* Zacher. *Acta Ecologica Sinica*, 30(16): 4437–4444 (in Chinese) [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 YT, LIU M, PAN YF, ZHANG YN, ZHANG JP. 2016. Effects of brief exposure of *Neoseiulus bicaudus* Wainstein to high temperature. Chinese Journal of Applied Entomology, 53(1): 40-47 (in Chinese) [李永涛, 刘敏, 潘云飞, 张燕南, 张建萍. 2016. 短时高温暴露处理对双尾新小绥螨 *Neoseiulus bicaudus* Wainstein 生长发育的影响. 应用昆虫学报, 53(1): 40-47]
- RASMONT P, ISERBYT S. 2012. The bumblebees scarcity syndrome: are heat waves leading to local extinctions of bumblebees (Hymenoptera: Apidae: *Bombus*)? Annales de la Société Entomologique de France, 48(3/4): 275-280
- ROSE AH, SILVERSIDES RH, LINDQUIST OH. 1975. Migration flight by an aphid, *Rhopalosiphum maidis* (Hemiptera: Aphididae), and a noctuid, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). The Canadian Entomologist, 107(6): 567-576
- WESTBROOK J, NAGOSHI RN, MEAGHER R, FLEISCHER SJ, JAIRAM S. 2016. Modeling seasonal migration of fall armyworm moths. International Journal of Biometeorology, 60(2): 255-267
- XIANG M, FAN TS, HU HX, YU F, JI R, WANG H. 2017. Effects of short-term exposure to high temperature on the survival and fecundity of *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae). Chinese Journal of Applied Entomology, 54(3): 426-433 (in Chinese) [向敏, 樊泰山, 扈鸿霞, 于菲, 季荣, 王晗. 2017. 短时高温对意大利蝗存活和生殖的影响. 应用昆虫学报, 54(3): 426-433]
- XIANG YY, DAI RT. 2016. Effects of brief exposure to high temperature on the survival and reproduction of *Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus) during the storage period of *Lonicera japonica* Thunb. Chinese Journal of Applied Entomology, 53(4): 802-808 (in Chinese) [向玉勇, 戴荣涛. 2016. 短时高温对金银花贮藏期害虫锯谷盗存活及繁殖的影响. 应用昆虫学报, 53(4): 802-808]
- 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 (in Chinese) [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]
- YANG XL, LIU YC, LUO MZ, LI Y, WANG WH, WAN F, JIANG H. 2019. Fall armyworm was firstly detected in Jiangcheng County, Yunnan Province, China. Yunnan Agriculture, (1): 72 (in Chinese) [杨学礼, 刘永昌, 罗茗钟, 李依, 王文辉, 万飞, 姜虹. 2019. 云南省江城县首次发现迁入我国西南地区的草地贪夜蛾. 云南农业, (1): 72]
- ZHANG HM, WANG Y, ZHAO XQ, YIN YQ, LI XY, LIU Y, CHEN FS, CHEN AD. 2020. The growth and development characteristics of *Spodoptera frugiperda* under different temperature conditions. Journal of Environmental Entomology, 42(1): 52-59 (in Chinese) [张红梅, 王燕, 赵雪晴, 尹艳琼, 李向永, 刘莹, 陈福寿, 谌爱东. 2020. 草地贪夜蛾在不同温度条件下的生长发育特性. 环境昆虫学报, 42(1): 52-59]
- ZHU SG, LI ZH, WAN FH. 2010. Effects of brief exposure to high temperature on survival and reproductive adaptation of *Bemisia tabaci* Q-biotype. Entomological Knowledge, 47(6): 1141-1144 (in Chinese) [朱绍光, 李照会, 万方浩. 2010. 短时高温暴露对Q型烟粉虱存活和生殖适应性的影响. 昆虫知识, 47(6): 1141-1144]

(责任编辑:王璇)