

褚世海, 丛胜波, 李儒海, 等. 短时高温处理对黑点切叶野螟生长发育和繁殖的影响 [J]. 福建农业学报, 2019, 34 (11): 1288–1293.

CHU S H, CONG S B, LI R H, et al. Effects of Short-term High-temperature Exposure on Growth, Development and Reproduction of *Herpetogramma basalis* (Lepidoptera: Crambidae) [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 34 (11): 1288–1293.

短时高温处理对黑点切叶野螟生长发育和繁殖的影响

褚世海^{1,2}, 丛胜波², 李儒海², 黄启超², 侯有明^{1*}

(1. 闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室/福建省昆虫生态重点实验室/福建农林大学植物保护学院, 福州 350002; 2. 湖北省农业科学院植保土肥研究所/农业农村部华中作物有害生物综合治理重点实验室/农作物重大病虫害防控湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430064)

摘 要:【目的】研究短时高温处理对黑点切叶野螟生长发育和繁殖的影响, 为准确地评估其生防潜能提供科学依据。【方法】将黑点切叶野螟 1 龄幼虫分别在 2 种高温 (35℃ 和 40℃) 暴露 4 种时长 (2、4、8、16 h) 后, 观察测定幼虫存活率、化蛹率、羽化率、蛹重、发育历期、成虫产卵量等指标。【结果】经 2 种温度、不同时间的处理后, 黑点切叶野螟各项生长发育和繁殖指标均受到不同程度的影响。幼虫存活率显著降低, 35℃ 处理 16 h, 幼虫存活率由 1 龄的 65.83% 降为 5 龄的 28.33%; 对化蛹率和羽化率无显著影响; 幼虫发育历期随温度升高而延长, 2 种温度 (35℃ 和 40℃) 处理 16 h 后, 幼虫历期分别比对照长 0.90 d 和 1.74 d; 对蛹期无影响; 成虫寿命在经 8 h 和 16 h 处理后缩短约 1 d; 蛹重在 8 h 和 16 h 高温处理后略有下降; 雌虫产卵量在 2 种温度下均为处理 16 h 的最低; 对卵的孵化率无显著影响。【结论】黑点切叶野螟受短时高温的影响主要体现在降低存活率和抑制发育速率, 影响程度取决于高温强度和持续时间。在供试条件下, 黑点切叶野螟均能完成生活史, 保持种群的延续, 这对生防是有益的。但是, 较长时间的高温处理导致幼虫存活率显著下降, 这可能是黑点切叶野螟夏季种群密度低的原因。

关键词: 黑点切叶野螟; 短时高温; 生长发育; 繁殖

中图分类号: S 451.1

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2019) 11-1288-06

Effects of Short-term High-temperature Exposure on Growth, Development and Reproduction of *Herpetogramma basalis* (Lepidoptera: Crambidae)

CHU Shi-hai^{1,2}, CONG Sheng-bo², LI Ru-hai², HUANG Qi-chao², HOU You-ming^{1*}

(1. State Key Laboratory of Ecological Pest Control of Fujian-Taiwan Crops/Fujian Provincial Key Laboratory of Insect Ecology/College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; 2. Institute of Plant Protection and Soil Science, Hubei Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Central China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Hubei Key Laboratory of Crop Diseases, Insect Pests and Weeds Control, Wuhan, Hubei 430064, China)

Abstract: 【Objective】Effects of short-term high-temperature exposure on the growth, development, and reproduction of *Herpetogramma basalis* (Lepidoptera: Crambidae) were studied for a potential biocontrol application. 【Method】The 1st instar larvae of the insects were treated at 35℃ or 40℃ for 2 h, 4 h, 8 h or 16 h to determine the rates of larval survival, pupation, and emergence as well as the pupal weight, developmental duration, and female fecundity of the following generations.

【Result】The development and reproduction of *H. basalis* were affected in varying degrees under the treatments. The larval survival rate decreased significantly after the exposure, e.g., from 65.83% in the 1st instar to 28.33% in the 5th instar under 35℃/16 h. The pupation and emergence rates were hardly affected. On the other hand, when treated for 16 h, the larval development took 0.90d at 35℃, and 1.74 d at 40℃, longer than control. The pupal period was not affected, but the adult lifespan shortened by one day after a 35℃ or 40℃ exposure for 8 h or 16 h. The average individual pupal weight decreased slightly after 8 h or 16 h of the exposures. The fecundity of female adults reached its lowest level after being exposed to either of the two temperatures

收稿日期: 2019-10-15 初稿; 2019-11-06 修改稿

作者简介: 褚世海 (1974—), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 入侵生物学, 杂草学 (E-mail: chushihai1@163.com)

* 通信作者: 侯有明 (1966—), 男, 博士, 教授, 研究方向: 昆虫生态学 (E-mail: ymhou@fafu.edu.cn)

基金项目: 湖北省农业科技创新中心项目 (2011-620-003-03-04)

for 16 h, which did not significantly alter the egg hatching rate. 【Conclusion】 Depending upon the severity and duration, the short-term high-temperature exposure mainly decreased the survival rate and inhibited the development of *H. basalis*. The moth could complete its normal development even at a relatively high temperature and maintain the population continuity, which benefits biocontrol. Nonetheless, due likely to the summer heat, the larval mortality rose and population of *H. basalis* declined in the season.

Key words: *Herpetogramma basalis*; short-term high-temperature exposure; development; fecundity

0 引言

【研究意义】黑点切叶野螟 *Herpetogramma basalis* (Lepidoptera: Crambidae) 是一种可以控制空心莲子草的潜在生防昆虫^[1]。它对夏季高温的适应能力必然影响其生防潜能。野外调查发现, 黑点切叶野螟有种群动态季节性差异现象。研究高温对黑点切叶野螟生长发育和繁殖的影响对于了解其对高温的适应性, 解释夏季种群密度降低的现象, 进而准确评估其生防潜能, 具有重要意义。【前人研究进展】昆虫是变温动物, 保持和调节体温的能力不强。温度是昆虫进行积极生命活动的条件之一, 它决定着生命过程的特点、趋向和水平, 当环境温度超过一定限度, 昆虫的生命活动即受到严重影响^[2-3]。一般而言, 在适宜的温度范围内, 昆虫发育速率随着外界温度的升高而加快, 但当温度升到一定程度, 发育速率反而变慢^[4-5]。极端高温下, 昆虫在短时间内即会死亡^[6-9]; 有些昆虫在高温下会滞育^[10-11]; 有些昆虫在高温下出现发育畸形^[12]。在高温作用下, 昆虫的生殖也会受到明显抑制, 如生殖率下降或者完全不能生殖^[13-14]。因此, 可以利用高温对昆虫的抑制来防治害虫^[5]。但对生防昆虫来说, 高温伤害却降低了其对有害生物的防治效果。例如防治空心莲子草的莲草直胸跳甲在盛夏季节种群密度显著降低, 就是受到夏季极端高温的影响^[15-17]。黑点切叶野螟作为一种有潜力的生防天敌昆虫, 目前尚未见关于高温对其生长发育、繁殖和种群动态影响的报道。【本研究切入点】选择 1 龄幼虫为研究对象, 设计了 2 种温度 (35℃ 和 40℃)、4 种处理时长 (2、4、8、16 h), 探讨对黑点切叶野螟各项生长发育和繁殖指标的影响。选择黑点切叶野螟 1 龄幼虫作为研究对象基于以下几个原因: 幼虫在黑点切叶野螟所有虫态中历期最长, 因而遭受高温的概率更高; 黑点切叶野螟有卷叶取食的习性, 但 1 龄幼虫个体小, 移动能力弱, 尚不具备卷积叶片包裹自身的能力, 因而抵御高温伤害的能力相对较弱。因此, 考察 1 龄幼虫的耐热性比较有代表性和

指示意义。【拟解决的关键问题】通过研究, 揭示黑点切叶野螟在试验设计的相对高温下能否存活, 生长发育受到何种程度的影响, 种群是否能够延续以及黑点切叶野螟夏季种群密度降低与高温的关系。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试昆虫为黑点切叶野螟, 来自实验室饲养 5 代以上的种群。收集同一批黑点切叶野螟的卵, 待孵化后取 1 龄幼虫供试。饲养昆虫的寄主植物为空心莲子草, 取野外长势良好的空心莲子草健康植株备用。

1.2 试验方法

用小毛笔将孵化后 1 d 的 1 龄幼虫 40 头移到用三角瓶水培的空心莲子草叶片上。将三角瓶放入人工气候箱中的饲养盒中。试验设置两种温度: 35℃ 和 40℃; 设置 4 种处理时长: 2、4、8、16 h, 以不作高温处理 (即处理时长为 0 h) 作对照。将处理完毕的饲养盒置入另一常温人工气候箱中 (温度 $27 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度 $70\% \pm 5\%$, 光照 L/D=13 h/11 h)。观察记录幼虫的存活及化蛹情况; 幼虫化蛹后记录蛹的数量, 次日称量蛹重后继续观察记录蛹的羽化时间和数量。羽化后的成虫雌雄配对, 每个处理 5 对 (个别处理因幼虫死亡率过高导致雌虫不足 5 头的, 则以实际数量处理), 置于同一个养虫盒, 盒中放置新鲜空心莲子草及浸有 1% 蜂蜜水的脱脂棉球。观察记录成虫产卵量、死亡时间和孵化幼虫数。子代幼虫孵化完毕后结束试验。试验期间每天观察 2 次 (8:00 和 18:00)。试验重复 3 次。

1.3 统计分析

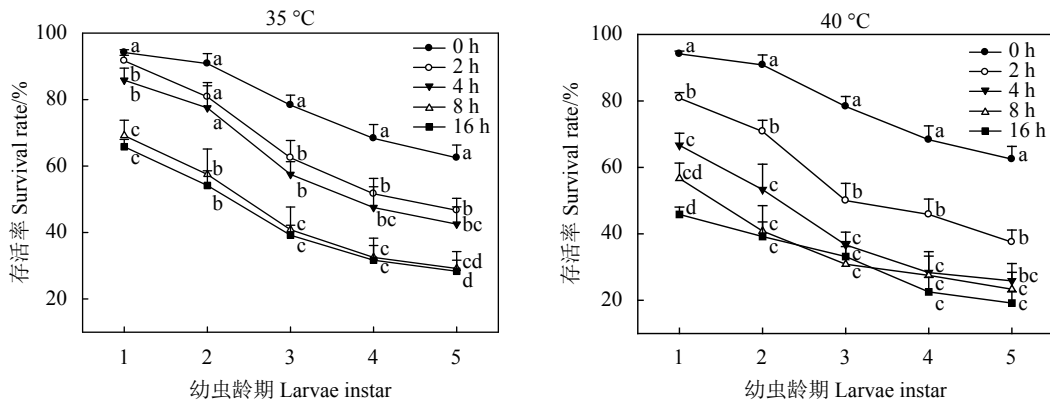
使用 Excel 2007 和 SPSS19.0 进行统计分析。数据采用平均数±标准误表示。对同一种温度内不同处理时长的结果采用单因素方差分析 (One way ANOVA); 对 2 种温度 (35℃ 和 40℃)、4 种处理时长 (2、4、8、16 h) 的组合 (8 种) 与对照一起做单因素方差分析。百分数先进行反正弦平方根转换后再进行分析。多重比较采用 LSD 法, $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 对幼虫存活率的影响

短时高温处理对幼虫存活率影响结果见图 1。2 种温度下, 存活率都随处理时间的延长而降低。35℃ 下, 除了处理 2 h 的 1 龄幼虫存活率 ($F_{4,10}=20.589$, $P=0.000\ 0$) 以及处理 2 h 和 4 h 的二龄幼虫存活率与对照差异不显著 ($F_{4,10}=7.588$, $P=0.004\ 5$) 外, 其他各龄期各处理的幼虫存活率均显著低于对

照 (3 龄: $F_{4,10}=2.425$, $P=0.000\ 7$; 4 龄: $F_{4,10}=8.627$, $P=0.002\ 8$; 5 龄: $F_{4,10}=10.822$, $P=0.001\ 4$), 表明在此温度下, 较长时间的处理显著降低幼虫存活率, 短时间的处理对幼虫存活影响相对较小。40℃ 下, 各龄期幼虫存活率均显著低于对照 (1 龄: $F_{4,10}=34.203$, $P=0.000\ 0$; 2 龄: $F_{4,10}=23.761$, $P=0.000\ 0$; 3 龄: $F_{4,10}=23.345$, $P=0.000\ 0$; 4 龄: $F_{4,10}=15.065$, $P=0.000\ 3$; 5 龄: $F_{4,10}=18.838$, $P=0.000\ 2$)。处理 16 h 的存活率由 1 龄的 45.83% 降为 5 龄的 19.17%。



注: 折线图上的短柱表示平均值的标准误, 不同小写字母表示不同处理间的幼虫存活率有显著差异 ($P<0.05$)。

Note: Bars on line plot are standard errors of mean. Different lowercase letters indicate significantly different survival rates among different treatments ($P<0.05$).

图 1 短时高温处理对黑点切叶野螟幼虫存活率的影响

Fig. 1 Effect of short-term high-temperature exposure on larval survival rate of 1st instar *H. basalis*

比较两种温度处理的结果, 高温强度对幼虫存活率影响很大, 35℃ 下的幼虫存活率显著高于 40℃; 高温持续时间对幼虫存活率亦有显著影响, 较长时间的高温处理急剧降低幼虫存活率。

2.2 对蛹重、化蛹率和羽化率的影响

短时高温处理对黑点切叶野螟蛹重、化蛹率和羽化率的影响结果见表 1。高温处理后蛹重有所降低。35℃ 下, 对照处理的蛹重显著高于处理 8 h 和 16 h 的蛹重, 与另 2 个处理差异不显著 ($F_{4,10}=3.526$, $P=0.048\ 2$); 40℃ 下, 对照处理的蛹重与处理 2 h 的蛹重之间差异不显著, 但显著高于另 3 个处理 ($F_{4,10}=3.797$, $P=0.039\ 6$)。不同温度下, 相同处理时间之间差异不显著 ($F_{8,18}=2.743$, $P=0.035\ 9$)。

黑点切叶野螟化蛹率 (35℃: $F_{4,10}=0.301$, $P=0.870\ 5$; 40℃: $F_{4,10}=0.424$, $P=0.788\ 1$) 和羽化率 (35℃: $F_{4,10}=0.133$, $P=0.966\ 8$; 40℃: $F_{4,10}=0.449$, $P=0.771\ 4$) 受短时高温处理的影响不显著。

2.3 对幼虫历期、蛹历期和成虫寿命的影响

短时高温处理对黑点切叶野螟幼虫历期、蛹历期和成虫寿命的影响结果见表 2。温度越高, 持续时

间越长, 幼虫发育历期越长。同一温度下, 处理 2 h 和 4 h 与对照之间差异不显著; 处理 8 h 和 16 h 之间也差异不显著, 但显著长于前 3 个处理 (35℃: $F_{4,10}=7.412$, $P=0.004\ 8$; 40℃: $F_{4,10}=20.941$, $P=0.000\ 1$)。不同温度下相同处理时间对比, 2 h 和 4 h 处理差异不显著; 8 h 和 16 h 处理则均为 40℃ 处理显著长于 35℃ 处理 ($F_{8,18}=16.973$, $P=0.000\ 1$)。2 种温度下, 幼虫历期最长的均为 16 h 处理。

高温处理对黑点切叶野螟蛹历期影响很小。35℃ 下, 仅有处理 16 h 的蛹历期显著长于对照, 其他各处理间无显著差异 ($F_{4,10}=1.883$, $P=0.190\ 1$); 40℃ 下, 所有处理的蛹历期之间无显著差异 ($F_{4,10}=1.111$, $P=0.403\ 9$)。2 种温度的所有处理一起比较则无显著差异 ($F_{8,18}=1.055$, $P=0.434\ 2$)。

高温处理后成虫寿命略有缩短。35℃ 下, 处理 2 h 和 4 h 的成虫寿命与对照差异不显著, 与处理 8 h 和 16 h 之间亦差异不显著, 但后两者显著低于对照处理 ($F_{4,10}=2.148$, $P=0.149$)。40℃ 下, 处理 4 h 和 8 h 的成虫寿命与对照差异不显著, 与处理 16 h 之间差异不显著, 但后者显著低于对照处理 ($F_{4,10}=2.919$,

表 1 短时高温处理对黑点切叶野螟蛹重、化蛹率和羽化率的影响
Table 1 Effects of short-term high-temperature exposure on pupal weight, pupation rate and egg emergence rate of 1st instar *H. basalis*

温度 Temperature	处理时间 Duration of exposure/h	蛹重 Pupal weight/ (mg·头 ⁻¹)	化蛹率 Pupation rate/%	羽化率 Emergence rate/%
35℃	0	33.78±0.33 aA	82.59±2.31 aA	90.08±2.93 aA
	2	33.17±0.86 abAB	82.47±4.47 aA	89.09±2.24 aA
	4	32.08±0.27 abcBC	81.05±4.77 aA	87.71±2.59 aA
	8	31.97±0.63 bcBC	79.44±4.19 aA	88.89±5.56 aA
	16	31.12±0.49 cC	83.81±10.72 aA	89.26±6.43 aA
40℃	0	33.78±0.33 aA	82.59±2.31 aA	90.08±2.93 aA
	2	33.32±0.27 abAB	80.23±4.55 aA	92.46±4.14 aA
	4	32.48±0.41 bcABC	78.08±10.72 aA	88.89±6.41 aA
	8	32.13±0.66 bcBC	76.15±8.40 aA	86.11±7.35 aA
	16	32.01±0.06 cBC	82.22±1.92 aA	81.67±4.41 aA

注：同列数据后不同的小写字母表示同一温度下不同处理间差异显著($P<0.05$)；同列数据后不同的大写字母表示2种温度下不同处理间差异显著($P<0.05$)。表2、表3同。
Note: Data followed by different lowercase letters on a column of a same temperature treatment are significantly different ($P<0.05$); those followed by different capital letters on a column for two different temperature treatments are significantly different ($P<0.05$). Same for Tables 2 & 3.

表 2 短时高温处理对黑点切叶野螟幼虫历期、蛹历期和成虫寿命的影响
Table 2 Effects of short-term high-temperature exposure on larval development time, pupal duration and adult lifespan of 1st instar *H. basalis*

温度 Temperature	处理时间 Duration of exposure/h	幼虫历期 Larval duration/d	蛹历期 Pupal duration/d	成虫寿命 Adult longevity/d
35℃	0	13.7±0.4 bE	7.6±0.1 bA	10.6±0.5 aA
	2	13.8±0.2 bE	7.7±0.1 abA	10.2±0.3 abAB
	4	13.8±0.2 bE	7.8±0.1 abA	10.3±0.2 abAB
	8	14.4±0.3 aCD	7.9±0.2 abA	9.5±0.3 bBC
	16	14.6±0.2 aC	8.0±0.1 aA	9.5±0.3 bBC
40℃	0	13.7±0.4 bE	7.6±0.1 aA	10.6±0.5 aA
	2	13.8±0.3 bE	7.9±0.1 aA	10.5±0.3 aA
	4	14.0±0.2 bDE	7.8±0.2 aA	9.9±0.3 abABC
	8	15.0±0.2 aAB	8.0±0.1 aA	10.0±0.1 abABC
	16	15.4±0.4 aA	7.9±0.1 aA	9.3±0.3 bC

$P=0.077\ 2$)。这一结果表明，在 2 种温度下，处理时间较长导致成虫寿命缩短，短时间则影响较小。不同温度，相同处理时间之间均差异不显著 ($F_{8,18}=2.420, P=0.056\ 9$)。

2.4 对产卵量和下一代卵孵化率的影响

短时高温处理对黑点切叶野螟成虫产卵量和下一代卵孵化率的影响结果见表 3。高温处理对成虫产卵量有一定影响。35℃ 下，处理 2、4、8 h 与对照

之间差异不显著 ($F_{4,10}=3.288, P=0.057\ 7$)；40℃ 下，各处理之间差异不显著 ($F_{4,10}=1.151, P=0.387\ 9$)。不同温度下，相同处理时间之间差异均不显著 ($F_{8,18}=1.640, P=0.182\ 4$)。

短时高温处理对黑点切叶野螟下一代卵孵化率无显著影响 (35℃： $F_{4,10}=0.687, P=0.617\ 4$ ；40℃： $F_{4,10}=583, P=0.682\ 2$)，所有处理之间差异不显著 ($F_{8,18}=0.622, P=0.748\ 5$)。

表 3 短时高温处理对黑点切叶野螟化蛹率、雌虫产卵量和下一代卵孵化率的影响

Table 3 Effects of short-term high-temperature exposure on eggs laid per female and egg hatching rate of 1st instar *H. basalis*

温度 Temperature	处理时间 Duration of exposure/h	单雌产卵量 Egg number per female	下一代卵孵化率 Offspring hatching rate/%
35℃	0	317.0±18.7 aA	66.73±2.01 aA
	2	322.7±27.3 aA	66.01±0.95 aA
	4	287.3±17.9 abABC	66.59±1.12 aA
	8	289.3±16.5 abABC	64.70±0.94 aA
	16	228.7±20.7 bC	64.43±1.12 aA
40℃	0	317.0±18.7 aA	66.73±2.01 aA
	2	294.0±16.7 aABC	66.44±1.06 aA
	4	307.7±48.5 aAB	65.12±1.66 aA
	8	281.0±22.0 aABC	64.58±0.88 aA
	16	240.3±20.7 aBC	64.38±1.09 aA

3 讨论与结论

短时高温处理对黑点切叶野螟幼虫存活率的影响非常显著，但化蛹率和羽化率基本不受影响。短时高温处理 1 龄幼虫，对黑点切叶野螟存活的影响主要在幼虫阶段。存活下来的幼虫，其幼虫化蛹率及蛹的羽化率均不受影响。众多研究已经证明，幼虫期短时高温处理对幼虫存活率影响较大，而且幼虫期是最为敏感、死亡率最高的时期^[4, 12, 18-19]，本研究的结果与相关研究的结果是基本一致的。

高温处理对黑点切叶野螟幼虫历期的影响程度取决于高温强度和持续时间。在高温强度对幼虫历期的影响方面有不少研究结果。如相同日龄处理中，随温度的升高，桃小食心虫幼虫发育历期有延长趋势^[19]；二化螟的发育速率受高温抑制，幼虫历期随日最高气温的升高而延长^[4]。本研究中，40℃下处理 8 h 和 16 h 的幼虫发育历期显著长于 35℃下相同时间的处理，与上述研究结果是一致的。

在幼虫期受过高温刺激，即使成虫期处于适宜温度下，昆虫的生殖也会受到抑制^[13]。本研究中，成虫产卵量随温度升高、处理时间延长而降低，与上述研究结果是一致的。也有研究表明，幼虫期短时高温处理对成虫产卵量无显著影响^[19]。不同研究结果的差异可能与实验条件的不同有关，也可能与昆虫种类及昆虫个体的适应性、抗逆性有关。

短时高温处理对昆虫的影响持续多长时间，影响到何种阶段？有些研究表明这种影响有时滞效应^[5, 20]，亦有研究结果表明其影响是短时的^[19]。本研究中黑点切叶野螟在低龄幼虫期受到短时高温处理后，影响一直持续到成虫的生殖阶段，具有明显的

时滞效应，但对下一代卵的孵化率已无影响，至于下一代的生长发育是否受影响，有待进一步研究。

总之，高温处理对黑点切叶野螟的影响主要体现在降低存活率和抑制发育速率，影响程度取决于高温强度和持续时间。本研究表明黑点切叶野螟 1 龄幼虫在 35℃ 和 40℃ 两种高温下，经 2~16 h 处理后，均能完成生活史，保持种群延续，这对于其作为生防昆虫有积极意义。但较长时间高温导致幼虫存活率显著下降，不利于昆虫的越夏。这一结果也解释了黑点切叶野螟夏季野外种群密度降低的原因。据此结果，要在高温季节保持野外种群的高密度，达到较好的生防效果，可能需要借助于人工释放。

本研究中，黑点切叶野螟直接暴露于高温下，这与野外的情况有一定差异。比如，当外界温度达到 35℃ 以上时，黑点切叶野螟所处的小环境实际温度是否达到同样温度？而且，许多昆虫能通过行为或生理特性（如迁飞，夏眠）来逃避或适应不利的生存环境，以避免直接暴露在极端温度下^[21-22]。此外，研究采用的是实验室饲养多代的实验种群，其生命力较野外种群有所下降。所以，本研究结果可作为黑点切叶野螟防治空心莲子草的生态学依据之一，但也应注意到自然环境的温度变化对昆虫的影响更加复杂。除了温度，影响黑点切叶野螟野外种群动态的还有降雨、天敌、农药等，都是生防研究不应忽视的因子。

参考文献：

[1] 褚世海, 丛胜波, 侯有明, 等. 不同寄主植物对黑点切叶野螟生长发育及营养指标的影响 [J]. 湖北农业科学, 2015, 54 (22): 5593-

5595.
CHU S H, CONG S B, HOU Y M, et al. Development and Nutrition of *Herpetogramma basalis* on Different Host Plants [J]. *Journal of Hubei Agricultural Sciences*, 2015, 54 (22) : 5593–5595. (in Chinese)
- [2] HOFFMANN K H. *Metabolic and enzyme adaptation to temperature*[M]//Environmental Physiology and Biochemistry of Insects. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1984: 1–2.
- [3] 彩万志, 庞雄飞, 花保祯, 等. 普通昆虫学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001: 391.
- [4] 罗举, 张孝羲, 翟保平, 等. 高温对二化螟实验种群生长、存活和繁殖的影响 [J]. *生态学报*, 2005, 25 (4) : 931–936.
LUO J, ZHANG X X, ZHAI B P, et al. Effect of high temperature on the growth, survival and reproduction of a laboratory population of the rice stem borer *Chilo suppressalis* Walker [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (4) : 931–936. (in Chinese)
- [5] 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.
DU Y, MA C S, ZHAO Q H, et al. Effects of heat stress on physiological and biochemical mechanisms of insects: a literature review [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (4) : 1565–1572. (in Chinese)
- [6] PELLETIER Y. Determination of the lethal high temperature for the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) [J]. *Canadian Agricultural Engineering*, 1998, 40 (3) : 185–189.
- [7] WRIGHT E J, SINCLAIR E A, ANNIS P C. Laboratory determination of the requirements for control of *Trogoderma variabile* (Coleoptera: Dermestidae) by heat [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2002, 38 (2) : 147–155.
- [8] BOINA D, SUBRAMANYAM B. Relative susceptibility of *Tribolium confusum* life stages exposed to elevated temperatures [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2004, 97 (6) : 2168–2173.
- [9] WANG S, YIN X, TANG J, et al. Thermal resistance of different life stages of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2004, 40 (5) : 565–574.
- [10] NIBOUCHE S. High temperature induced diapause in the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1998, 87 (3) : 271–274.
- [11] ISHIKAWA Y, YAMASHITA T, NOMURA M. Characteristics of summer diapause in the onion maggot, *Delia antiqua* (Diptera: Anthomyiidae) [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2000, 46 (2) : 161–167.
- [12] 马春森, 陈瑞鹿. 温度对小菜蛾(*Plutella xylostella* L.)发育和繁殖影响的研究 [J]. *吉林农业科学*, 1993 (3) : 44–49.
MA C S, CHEN R L. Effect of temperature on the development and fecundity of *Plutella xylostella* [J]. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 1993 (3) : 44–49. (in Chinese)
- [13] MA C S, HAU B, POEHLING H M. Effects of pattern and timing of high temperature exposure on reproduction of the rose grain aphid, *Metopolophium dirhodum* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2004, 110 (1) : 65–71.
- [14] MAHROOF R, SUBRAMANYAM B, FLINN P. Reproductive performance of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) exposed to the minimum heat treatment temperature as pupae and adults [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2005, 98 (2) : 626–633.
- [15] 林冠伦, 孙进东, 王远, 等. 美国、澳大利亚空心莲子草的生物防治研究 [J]. *生物防治通报*, 1988, 4 (2) : 94–96.
LIN G L, SUN J D, WAGN Y, et al. Biological control of alligatorweed, *Alternanthera philoxeroides* in U. S. A and Australia [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 1988, 4 (2) : 94–96. (in Chinese)
- [16] STEWART C A, CHAPMAN R B, Emberson R M, et al. The effect of temperature on the development and survival of *Agasicles hygrophila* Selman & Vogt (Coleoptera: Chrysomelidae), a biological control agent for alligator weed (*Alternanthera philoxeroides*) [J]. *New Zealand Journal of Zoology*, 1999, 26 (1) : 11–20.
- [17] 吴浪明, 田世尧, 王晓容, 等. 广东莲草直胸跳甲生物学的观察 [J]. *中国生物防治*, 2000, 16 (3) : 144–145.
WU L M, TIAN S Y, WANG X R, et al. Biological Observations of *Agasicles hygrophila* in Guangdong [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2000, 16 (3) : 144–145. (in Chinese)
- [18] MA C S, HAU B, POEHLING H M. The effect of heat stress on the survival of the rose grain aphid, *Metopolophium dirhodum* (Hemiptera: Aphididae) [J]. *European Journal of Entomology*, 2004, 101 (2) : 327–331.
- [19] 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 D X, LEI X H, XU D C, 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. (in Chinese)
- [20] 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.
CONG L, GUO J Y, WAN F H. Effects of heat shock temperature and duration of exposure on the survival and fecundity of *Bemisia tabaci* B-biotype (Homoptera: Aleyrodidae) [J]. *Acta Phytotaphylacica Sinica*, 2010, 37 (4) : 347–352. (in Chinese)
- [21] CAMPBELL A, FRAZER B D, GILBERT N, et al. Temperature requirements of some aphids and their parasites [J]. *Journal of Applied Ecology*, 1974, 11 (2) : 431–438.
- [22] GILBERT N, GUTIERREZ A P, FRAZER B D, et al. *Ecological relationships*[M]. Freeman, San Francisco, 1976.

(责任编辑：林海清)